

DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO
UTILIZANDO EL RCM COMO ESTRATEGIA PARA SER APLICADO A EQUIPOS
Y SISTEMAS ELECTRICOS EN PLANTAS DE FERTILIZANTES.

YOLVIN HUGO CORTES BELEÑO
JORGE LUIS TOVAR MONTERROSA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2007

DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO
UTILIZANDO EL RCM COMO ESTRATEGIA PARA SER APLICADO A EQUIPOS
Y SISTEMAS ELECTRICOS EN PLANTAS DE FERTILIZANTES.

YOLVIN HUGO CORTES BELEÑO
JORGE LUIS TOVAR MONTERROSA

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

Director: Oscar Segundo Acuña Camacho
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2007

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

La Gerencia de operaciones de Abonos Colombianos S.A. por el apoyo que nos brindaron al permitirnos realizar este proyecto a sus instalaciones productivas, y continuar con nuestro proceso de crecimiento profesional,

Además queremos agradecer a los ingenieros Monica Ayazo, Nelson Escobar, y Ferney Álvarez por la información suministrada, su acompañamiento y asesoría en la elaboración de esta monografía.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTA DE FERTILIZANTES COMPUESTOS	2
1.1. RESEÑA HISTORICA	4
1.2. ORGANIZACIÓN	4
1.3. DESCRIPCIÓN PROCESOS EN PLANTA DE FERTILIZANTES	4
1.4. AMBIENTE PRODUCTIVO	7
1.5. SISTEMA ELÉCTRICO EN PLANTA DE FERTILIZANTES	8
1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.7. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES	16
2. SITUACIÓN ACTUAL GESTION DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE FERTILIZANTES	18
2.1. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	18
2.2. ROLES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL	19
2.3. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	23
2.4. MANTENIMIENTO APLICADO A EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO	27
2.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN INTEGRADO Y COMPUTARIZADO	34
3. PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INCLUYENDO EL RCM	41
3.1. TEORIA DE RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad)	41
3.2. RESULTADO ESPERADO DEL RCM AL APLICARLO AL PROCESO DE PLANTA DE FERTILIZANTES	47
3.3. NUEVO ORGANIGRAMA	50
4. IMPLEMENTACION DEL RCM EN PLANTA DE FERTILIZANTES	52
4.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE CRITICIDAD	53
4.2. EQUIPO DE TRABAJO	61
4.3. METODOLOGÍA PROPUESTA EJECUCIÓN ANALISIS RCM	65

4.4. RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM	67
5. MANTENIMIENTO RECOMENDADO A EQUIPO ELÉCTRICO EN PLANTA DE FERTILIZANTES	73
5.1. MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA Y MEDIA TENSIÓN	73
5.2. TRANSFORMADORES DE POTENCIA	89
5.3. MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES DE POTENCIA	99
5.4. MANTENIMIENTO DE BANCO DE BATERIAS	102
6. CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura organizacional.	4
Figura 2. Proceso de acidulación.	5
Figura 3. Diagrama del proceso de granulación y secado.	6
Figura 4. Proceso de enfriamiento, anti-compactación y recubrimiento.	7
Figura 5. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en Planta de Fertilizantes.	8
Figura 6. Porcentaje de fallas de equipos por especialidad.	12
Figura 7 Presentación del software Prisma.	13
Figura 8. Organigrama de Mantenimiento en Planta de fertilizantes.	18
Figura 9. Proceso de monitoreo de variables dinámicas.	24
Figura 10. Diagrama de flujo de la elaboración del proceso de RCA. en la planta de fertilizante.	26
Figura 11. Diagrama de flujo generación de orden de trabajo.	35
Figura 12 Proceso de implementación del RCM en Planta de fertilizantes.	42
Figura 13. Diagrama decisiones para establecimiento de consecuencias en RCM.	44
Figura 14. Propuesta del organigrama para mantenimiento en planta de fertilizantes.	51
Figuras 15. Diagrama del proceso para establecimiento de criticidad de sistemas y equipos.	54

	Pág
Figura 16 Proceso de un análisis de RCM.	65
Figura 17 Porcentaje de tipo de mantenimiento en planta de fertilizantes al final de RCM.	70
Figura 18 Perfil de costos de mantenimiento en planta de fertilizantes con y sin RCM.	71
Figura19 Distribución de costos según eventos de fallas en plantas de fertilizantes.	72
Figura 20 Esquema mantenimiento sugerido a equipos eléctricos en plantas fertilizantes.	73
Figura 21 Aplicación de un probador de aislamiento y corrientes de fugas.	77

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Transformadores de potencia utilizados en la planta de fertilizantes.	9
Tabla 2. Listado de motores eléctricos usando en Planta de Fertilizantes.	10
Tabla 3 Módulos operativos del Software Prisma.	13
Tabla 4 Listado de equipos para estudios con la metodología RCM.	17
Tabla 5 Voltaje de prueba para equipos eléctricos.	29
Tabla 6 Evaluación del software Prisma.	38
Tabla 7 Recurso humano requerido para RCM en planta de Fertilizantes.	52
Tabla 8 Criterio para establecer criticidad de equipos por Impacto a la Salud Humana	55
Tabla 9 Factores para establecer criticidad de equipos por impacto al Medio Ambiente	55
Tabla 10 Factores para establecer criticidad de equipos por imagen Corporativa	56
Tabla 11 Factores para establecer criticidad de equipos por costos de Reparación	56
Tabla 12 Factores para establecer criticidad de equipos por impacto Operacional	56
Tabla 13 Factores para establecer criticidad de equipos por flexibilidad Operacional	57
Tabla 14 Factores para establecer criticidad de equipos por efectos en los Clientes	57
Tabla 15 Factores para establecer criticidad de equipos por fallos Ocultos	57

	Pág
Tabla 16 Rangos para establecer criticidad	58
Tabla 17 Criterio para establecer criticidad de equipos determinación de criticidad.	59
Tabla 18 Listado de equipos críticos en plantas de fertilizantes	60
Tabla 19 Costo de implementación del RCM en plantas de fertilizantes	62
Tabla 20 Establecimiento de equipo de trabajo.	63
Tabla 21 Plan de ejecución de metodología del RCM	64
Tabla 22 Resumen de RCM aplicado.	67
Tabla 23 Estrategia de mantenimiento resultante de la aplicación de RCM a equipos en planta de fertilizantes.	68
Tabla 24 Estrategia de mantenimiento aplicado a motores eléctricos en planta de fertilizantes.	75
Tabla 25 Clase de aislamiento en motores eléctricos.	76
Tabla 26 Coeficiente por corrección de temperatura de motor eléctrico.	78
Tabla 27 Valores mínimos de índices de polarización.	80
Tabla 28 Comparativo de índices de polarización y de absorción.	80
Tabla 29 Formato para registro de pruebas de resistencia.	81
Tabla 30 Formato de lubricación de motores eléctricos.	84
Tabla 31 Valores límites de vibración en motores eléctricos.	85
Tabla 32 Formato para registro de inspección visual de motores.	86
Tabla 33 Reporte de mantenimiento a motor en taller.	88
Tabla 34 Estrategia de mantenimiento de transformadores de potencia.	89

	Pág
Tabla 35 Procedimiento para muestra de aceite de transformador.	91
Tabla 36 Valores aceptables resultante del análisis físico-químico de aceite dieléctrico de transformadores	95
Tabla 37 Inspección de Transformadores de potencia en Campo	98
Tabla 38 Estrategia de mantenimiento de interruptores de potencia.	101
Tabla 39 Estrategia de mantenimiento de Banco de baterías.	103

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Tabla de resultado de criticidad de equipos en plantas de Fertilizantes.	106
Anexo B. Cuadro de RCM aplicado a RCM.	108

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO EL RCM COMO ESTRATEGIA PARA SER APLICADO A EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTRICOS EN PLANTAS DE FERTILIZANTES.*

AUTOR(ES): YOLVIN HUGO CORTES BELEÑO, JORGE LUIS TOVAR MONTERROSA **

PALABRAS CLAVES

Planta de fertilizantes (ABOCOL), Mantenimiento Basado en Confiabilidad RCM, Modelo de gestión del mantenimiento, Operación, criticidad, fallas funcionales.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se desarrolla un modelo de gestión de mantenimiento a los equipos y sistemas eléctricos de la planta de fertilizantes en Abonos Colombianos S.A ABOCOL. La estrategia esta basada en el análisis metodológico de RCM.

La determinación de la estrategia mas adecuada del mantenimiento para los equipos objeto del estudio se obtuvo con la evaluación de criticidad de estos en su contexto operacional, considerando el ambiente agresivo en el que se desempeñan este tipo de equipos. La evaluación realizada fue posible debido al aporte de la información y datos históricos recopilados en la planta de Abocol.

La estrategia planteada implica un análisis del actual sistema de información existente en la compañía, en que se encontraron algunas debilidades a mejorar con la finalidad de poder tener un mejor control de la planeación y ejecución del mantenimiento, permitiendo así ajustar los programas planteados para los diferentes sistemas. Igualmente esto conlleva a una reestructuración organizacional del personal en la administración y ejecución del mantenimiento.

Se realizará un análisis estadístico de datos históricos de los costos que se han incurrido por tener un proceso de mantenimiento netamente preventivo y correctivo; en cuanto se ataca a la falla en su parte técnica y no en sus consecuencias. Este análisis mostrará las conveniencias para la gerencia al incrementar las utilidades por aumento en los procesos de producción, una producción más limpia en el cuidado del medio ambiente y minimizar los riesgos de accidentes si se llega a implementar el modelo de gestión mantenimiento basado en RCM.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director Oscar Segundo Acuña, Ingeniero Electricista.

SUMMARY

Title: DEVELOPMENT OF A MANAGEMENT MODEL OF MAINTENANCE UTILIZING THE RCM LIKE STRATEGY TO BE DILIGENT To TEAMS And ELECTRIC SYSTEMS IN PLANTS OF FERTILIZERS.*

AUTHOR (S): YOLVIN HUGO CORTES BELEÑO, JORGE LUIS TOVAR MONTERROSA **

KEY WORDS

Fertilizers Plant (ABOCOL), Reliability Centered Maintenance RCM, Step Model of maintenance, Operation, critical equipments, functional faults.

Description:

In this project it's develop a management model of maintenance to the equipments and electrical systems of the fertilizers plant by in ABOCOL, based in a RCM strategy.

The determination of the best-suited strategy of the maintenance for this equipments was done using the critical evaluation methodology, from his operational context, considering the aggressive environment they perform in itself. The realized evaluation was possible due to the contribution of the information and historic data compiled in Abocol's plant.

The presented strategy implies an analysis of the present-day existent information system in the company, in that they found some weaknesses to get better with the purpose to be able to have a better control of planning and execution of maintenance, allowing that way to adjust the programs presented for the different systems. Equally this bears an organizational reorganization of the staff in administration and execution of maintenance.

It will be accomplished a statistical analysis of historic data of the costs that they have incurred to have a process of purely preventive maintenance and corrective medicine; As soon as you break up in to the rift his technical part and no in his consequences. This analysis will evidence the conveniences for the management when the utilities for increase in the processes will increase in production, a most clean production in the care of the ambient midway and minimizing the risks of accidents if maintenance based in RCM takes place to implement the management model.

* Monografía

** , Authorize of Physical Mechanical Engineers. Specialization in Management of Maintenance, the Director Oscar Segundo Acuña, Electrical Engine



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: YOLVIN HUGO CORTÉS BELEÑO		CÓDIGO: 2057455	
TÍTULO DEL PROYECTO: DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO A EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS EN PLANTAS DE FERTILIZANTES.			
REGISTRO No.	FACULTAD: INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA: Posgrado en Gerencia de Mantenimiento	
EVALUACIÓN: APROBADA		CRÉDITOS: 1	
DIRECTOR DEL PROYECTO			
NOMBRE: Oscar Segundo Acuña Camacho		FIRMA:	
CALIFICADORES			
Firma:	Firma:	FECHA	
Nombre: CARLOS BORRÁS PINILLA	Nombre: CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ B	A 2007	M 08 D 28

Original: Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copia: Coordinación de Carrera



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JORGE LUIS TOVAR MONTERROSA		CÓDIGO: 2057467	
TÍTULO DEL PROYECTO: DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO A EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS EN PLANTAS DE FERTILIZANTES.			
REGISTRO No.	FACULTAD: INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA: Posgrado en Gerencia de Mantenimiento	
EVALUACIÓN: APROBADA		CRÉDITOS: 1	
DIRECTOR DEL PROYECTO			
NOMBRE: Oscar Segundo Acuña Camacho		FIRMA:	
CALIFICADORES			
Firma:	Firma:	FECHA	
Nombre: CARLOS BORRÁS PINILLA	Nombre: CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ B	A 2007	M 08 D 28

Original: Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copia: Coordinación de Carrera

INTRODUCCIÓN

En la alta dirección de la planta de fertilizantes, se cuenta con la iniciativa de establecer un proceso de mejoramiento continuo, con el firme convencimiento de elevar el nivel de la ejecución y gestión del mantenimiento hasta clasificarlo dentro del marco de “clase mundial”.

Para lograr este objetivo desde el año 2003 se vienen generando los espacios y recursos donde cada año se plantea un programa denominado plan de mejoramiento en el que se describe las actividades a realizar y se definen las responsabilidades de quienes acometerán la ejecución de los compromisos que se establezcan y los respectivos documentos catalogados como entregables y el respectivo seguimiento de las acciones.

Teniendo como marco lo anterior expuesto, corresponde continuar con esta iniciativa, analizando la situación actual del proceso y gestión de mantenimiento rutinario en la planta de fertilizantes y con base en las mejores prácticas se integrará un nuevo paso a la estrategia del mantenimiento como es la implementación del RCM que dará una nueva visión a la gestión de mantenimiento, proponiendo un nuevo modelo de gestión para lograr este objetivo.

En esta monografía se propone establecer los criterios requeridos para poder implementar el RCM en la planta de fertilizantes, partiendo desde la identificación de los sistemas o equipos críticos de la planta productiva, resumiendo los resultado en una matriz de criticidad, definir los equipos a realizar la metodología o pasos de RCM, definiendo su concepto operacional, los diferentes modos de fallas asociados, costos asociados a la reparación, inspección o mantenimiento preventivo y finalmente, dependiendo del resultado de este análisis, se establece la estrategia de mantenimiento adecuado para cada equipo, desde el punto de vista de la confiabilidad que deben tener los equipos productivos durante su ciclo de vida esperado.

1. PLANTA DE FERTILIZANTES COMPUESTOS

ABOCOL es una empresa colombiana dedicada a la producción de fertilizantes líquidos y sólidos a partir de materias primas de tipo químico y mineral, cuyo producto final está destinado a cubrir las necesidades del sector Agrícola e Industrial del mercado nacional, los mercados de Centroamérica, el Caribe y la Región Andina. Sus principales productos son: Fertilizantes simples, basados en un solo compuesto mineral por ejemplo el KCL, MAP o UREA etc., fertilizantes compuestos como el NPK (formado por la mezcla entre nitrógeno, fósforo y potasio), Amoníaco, ácido nítrico, y nitrato de amonio para el sector industrial.

Las Plantas de producción de ABOCOL están localizadas en Cartagena Distrito Turístico, Sector industrial de Mamonal Km 11.

1.1. RESEÑA HISTORICA

En 1960, se creó lo que hoy es el Complejo Industrial ABOCOL, como dos empresas independientes: ABOCOL y AMOCAR.

ABOCOL comenzó operaciones con dos plantas, una destinada a la producción de fertilizantes compuestos NPK, con una capacidad instalada de 140.000 TM/año, y otra a la producción de Urea, con una capacidad instalada de 80.000 TM/año que salió de operación en 1977.

AMOCAR (Amoniacos del Caribe S.A.), se creó al mismo tiempo que ABOCOL y también con dos plantas: una destinada a la producción de Amoníaco con una capacidad instalada de 112.000 TM/año, y otra a la producción de Ácido Nítrico con una capacidad instalada de 75.000 TM/año. Doce años más tarde, en 1972, ABOCOL compró la totalidad de las acciones de AMOCAR y se integró verticalmente en la producción de Nitrógeno.

Con el transcurso del tiempo las plantas han pasado por varios procesos tecnológicos: En 1989, se inició el primer gran plan de inversión para modernizar la Planta de NPK, cuyo objeto fue actualizar el proceso de producción, aumentar la capacidad de la planta de NPK de 140.000 TM/año a 220.000 TM/año y adicionar una Planta de Nitrato de Amonio líquido con una capacidad de producción de 300 TM/Día, este proyecto terminó en 1992.

En 1997, se inició el segundo plan de inversión para modernizar y ampliar la capacidad del proceso de producción de la Planta de NPK. Con tecnología de la firma INCRO de España, con casa matriz en Alemania, se construyó una planta con sistema de control electrónico y un nuevo sistema de reacción-granulación que permite una mayor gama de formulaciones, así se aumentó la capacidad instalada a 330.000 TM/año (*) y se lograron otras ventajas adicionales. Las características de esta nueva planta han colocado a la Empresa a la vanguardia en la producción de fertilizantes compuestos NPK, al poseer la más moderna tecnología para la producción de fertilizantes complejos de NPK, en América Latina.

En el 2002 se inaugura una nueva planta de Nitrato de Amonio con una capacidad de 300 TM/Día (*) la cual permite aumentar la capacidad de producción para satisfacer los requerimientos de producción de fertilizante NPK.

En septiembre de 2005 inicia la operación de la nueva planta de ácido Nítrico, con capacidad de 300 TM/día (*), para aumentar disponibilidad de producto, para venta y consumo en NPK.

En noviembre de 2005 se construye e inicia la operación de la Planta de Nitrato de Calcio con una capacidad de 60 TM/día, la cual aumentará el portafolio de productos nacionales y de exportación.

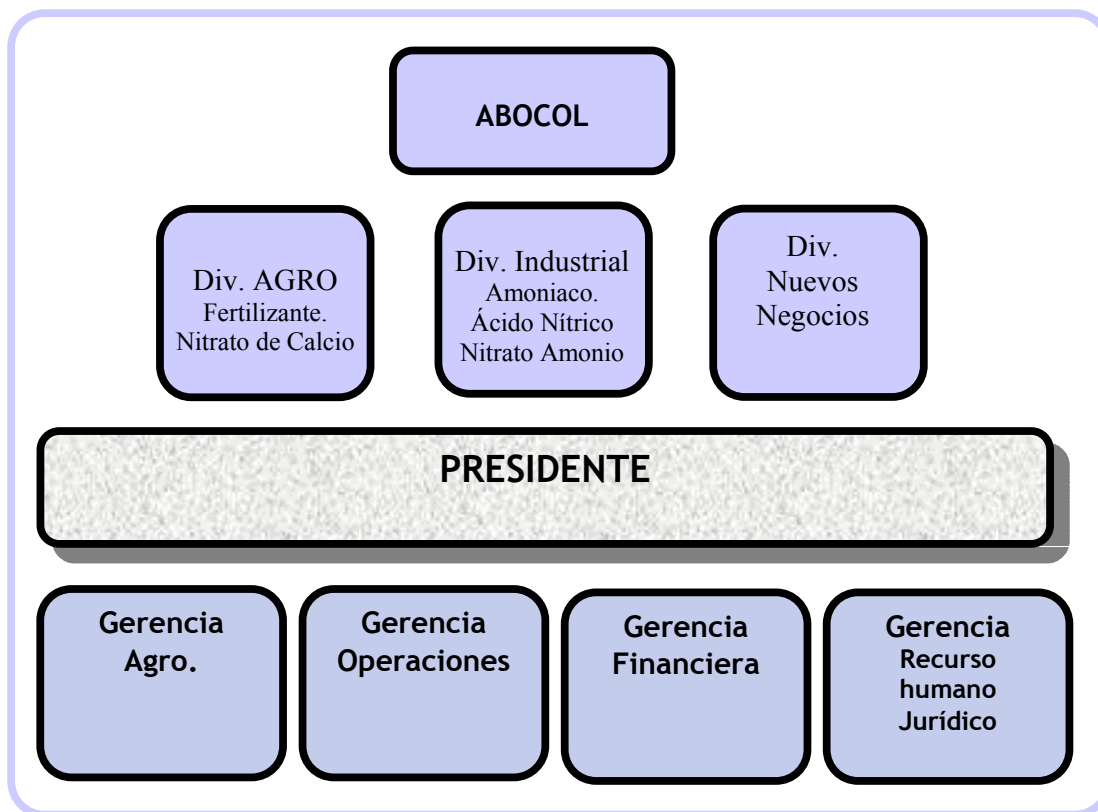
1.2. ORGANIZACIÓN

La estructura organizativa existente en la empresa está conformada por un Presidente, quien es el representante de la compañía, la cual está conformada por una gerencia operativa, una gerencia de mercadeo, una gerencia financiera y una gerencia de recursos humanos, de las direcciones de recursos humanos, operación y mantenimiento y dirección de procesos e ingeniería, tal como se muestra en la figura 1.

Las diferentes direcciones se apoyan en los departamentos de planeación y logística de los productos a procesar, del departamento de compras y contratos como soporte de logística, producción y mantenimiento, el departamento de tráfico y seguridad como soporte al despacho de productos y de la seguridad física de plantas y el departamento de seguridad, salud y medio ambiente, como soporte de toda la organización.

(*) Dato tomado de especificaciones de diseño planta NPK de ABOCOL.

Figura 1. Estructura organizacional



1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EN PLANTA DE FERTILIZANTES.

El proceso de NPK utiliza materias primas sólidas y líquidas así:

Entre los diferentes flujos de las materias primas que se adicionan al proceso se han clasificado como líquidos los siguientes Ácido Nítrico (55%), Solución de Antiespumante Solución de Urea.

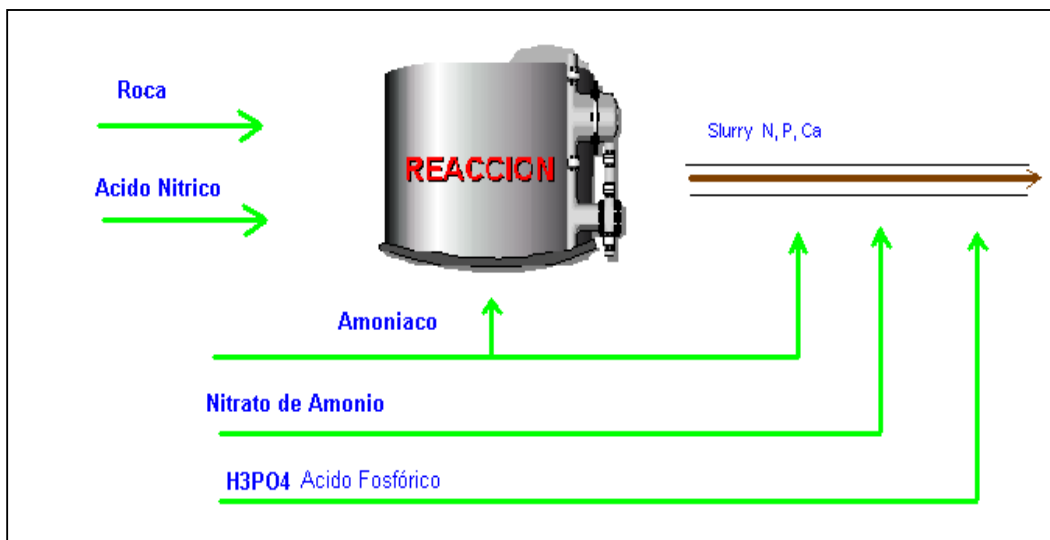
Entre las materias primas sólidas utilizadas en la planta se almacenan en los son Roca fosfórica, MAP, DAP, KCL entre otras. Algunas materias primas son nacionales y otras importadas.

1.3.1. Acidulación

En los reactores de acidulación, se alimentan Ácido Nítrico y Roca Fosfórica, en cantidades determinadas por el grado del fertilizante a producir. Estos materiales se alimentan sin ningún tratamiento previo. Este proceso se puede observar en la figura 2.

La acidulación de la roca se inicia al ponerse ésta en contacto con el ácido Nítrico. Durante la acidulación, el ácido nítrico ataca la roca y la disuelve, transformando el fosfato tricálcico insoluble en formas solubles.

Figura 2. Proceso de acidulación



1.3.2. Neutralización

Aquí, se agrega el Amoniaco junto con el resto de materias primas, entre las cuales se incluye MAP, DAP y Sulfato de Amonio.

El proceso de neutralización debe efectuarse controlando el pH para evitar el espesamiento de los reactores.

1.3.3. Sistema purificador de gases de acidulación.

Este sistema tiene la misión de eliminar partículas en suspensión y de limpiar los gases generados en el proceso de reacción y en el sistema de granulación secado y clasificación. Mediante este sistema de lavadores, se controla el material particulado emitido a la atmósfera.

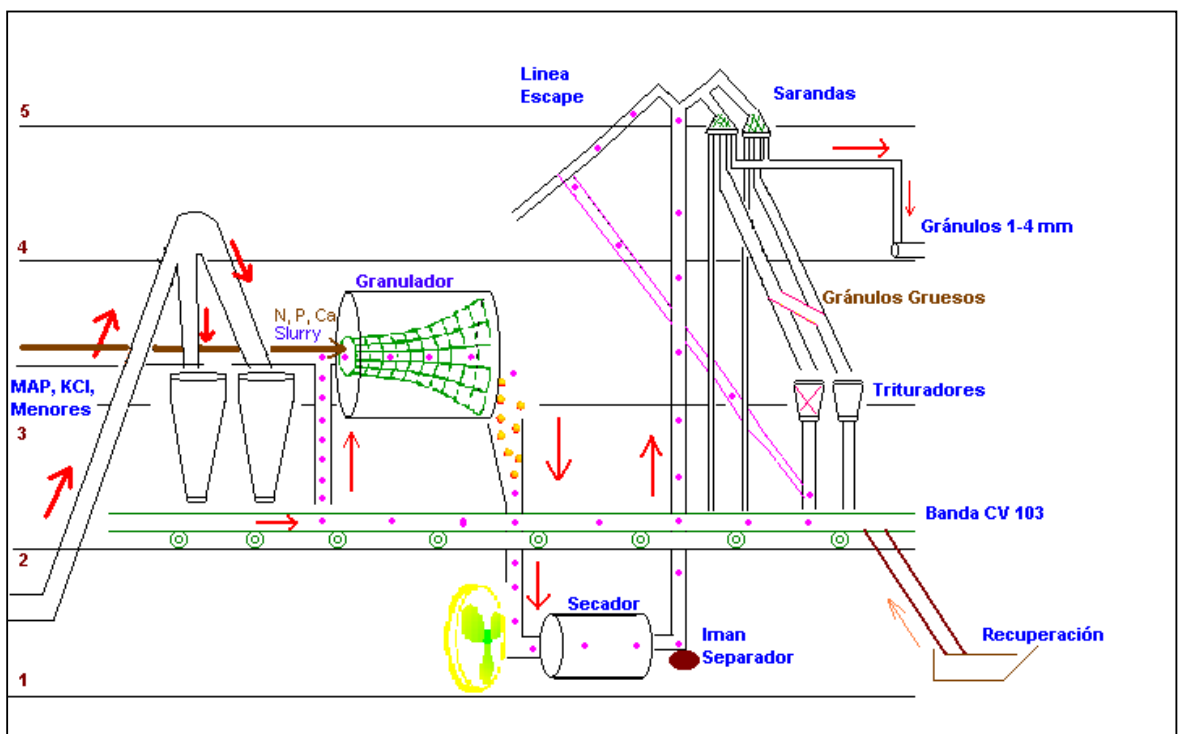
1.3.4. Granulación

Esta etapa que se muestra en la figura 3, es donde tiene lugar las reacciones químicas en el tambor granulador (ME-101), mezclas físicas y disolución de sales presente donde se forma el grano del fertilizante por el movimiento del tambor.

1.3.5. Secado

El secador es un tambor rotativo encargado de secar el producto por medio de una corriente de aire caliente que recorre el tambor en el mismo sentido del producto, hasta obtener una humedad final requerida del 1%, o inferior. Ver secador en la figura 3.

Figura 3. Diagrama del proceso de granulación y secado



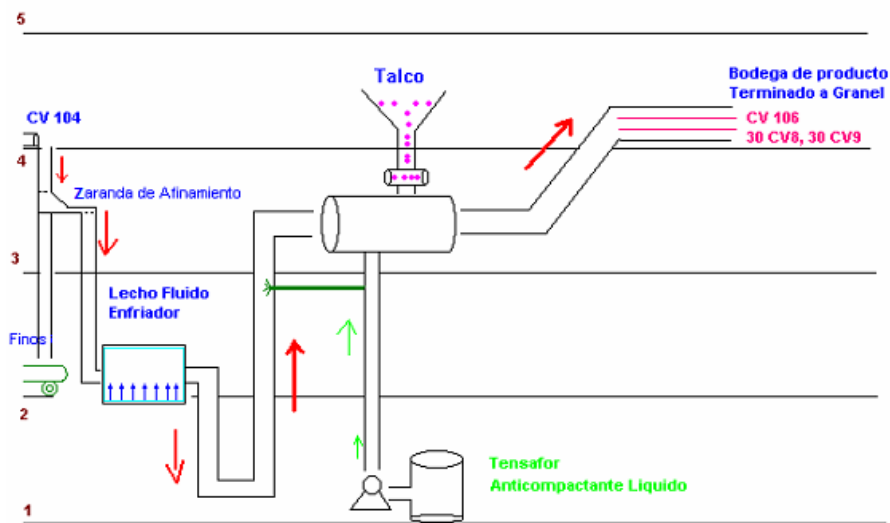
1.3.6. Clasificación y molienda

Se cuenta con cuatro cribas que aseguran que el tamaño del producto se obtenga acorde a lo especificado al cliente. El material que no cumple especificaciones es retornado al proceso ya sea para aumentar tamaño o para ser triturado.

1.3.7. Acondicionamiento y almacenamiento de producto final

El acondicionamiento del producto debe ser almacenado en lugar libre de agua, cubiertos para evitar que se compacte, cuando se trata de formulaciones con contenido alto en nitrato amónico, puesto que la higroscopicidad de éste puede provocar el apelmazamiento, principalmente cuando se producen variaciones en la temperatura y humedad del aire, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Proceso de enfriamiento, anti-compactación y recubrimiento



1.4. AMBIENTE PRODUCTIVO

Las plantas de fertilizantes están conformadas de equipos productivos que implican el procesamiento de materias primas provenientes de elementos químicos productos de la minería, de los derivados del amoníaco y del ácido nítrico entre otros, que hacen que los sistema productivos, máquinas de producción y elementos de transporte de energía (térmica, eléctrica etc.) operen en un ambiente corrosivo y abrasivo

El proceso productivo es realizado por equipos principales tales como: Agitadores, reactores, tambores rotativos (granulador, secador y recubridor). El transporte del producto entre los diferentes equipos principales se realiza utilizando elevadores de cangilones, bandas transportadoras, bombas de sólidos. La clasificación de productos dentro de especificaciones se realiza por medio de zarandas de proceso o vibradores con sistema de mallas.

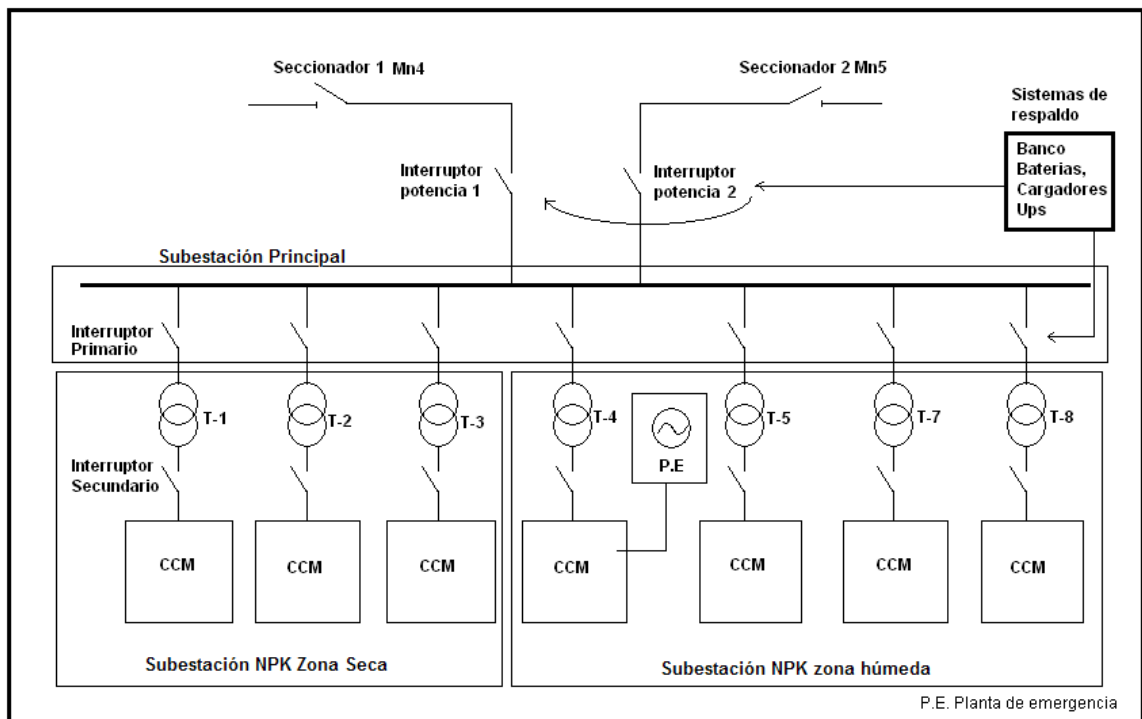
Para la realización de las operaciones en la planta se utilizan sistemas de suministro de servicios tales como compresores de aire, calderas para la generación de vapor, energía eléctrica utilizando el sistema de generación propia o a través de la red pública suministrada por un proveedor de este servicio.

1.5. SISTEMA ELECTRICO EN PLANTA DE FERTILIZANTES

El sistema eléctrico tiene la configuración mostrada en la figura 5.

Una Subestación principal a nivel de 13.8 KV, la cual es alimentada a través de dos (2) circuitos (Mamonal 4 y 5). En esta Subestación se encuentran las celdas primarias de los transformadores de potencia T-1, T-2, T-3, T-4, T-5, T-7 y T-8, la celdas de interfase entre barras de 13.8 KV, y las celdas de medida que contienen los transformadores de potencial, de corriente y los medidores de energía.

Figura 5. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en Planta de Fertilizantes



Existe de igual forma una Subestación para la Planta de fertilizante, llamada subestación NPK zona húmeda o de reacción, la cual está dividida en dos secciones; una donde se ubican los transformadores T-4, T-5, T-6, T-7, T-8, (ver

listado en tabla 1) y otra donde se ubican los respectivos interruptores secundarios que alimentan los centros de control de motores (CCM's) que alojan a su vez a los arrancadores directos de cada uno de los motores existente en la planta.

Tabla 1. Transformadores de potencia utilizados en la planta de fertilizantes.

LISTADO DE TRANSFORMADORES EXISTENTES EN PLANTA DE FERTILIZANTES										
ITEM	ETIQUETA	KVA	TENSION	SERIE	INTENSIDAD	MARCA	CONEXIÓN	REFRIGERACION	ACEITE EN GAL.	UBICACIÓN
1	TR-1	1250	13800/2400	N.P.	300.7A / 2400V	SIERRA	D-y-5	ACEITE	264,72	SUR-NPK
2	TR-2	1250	13800/480	8150118	1570A / 480V	SIERRA	D-y-5	ACEITE	264,72	SUR-NPK
3	TR-3	1000	13800/480	N.P.	1250A / 480V	DESCONOCIDA	D-y-5	ACEITE	250	SUR-NPK
4	TR-4	1000	13200/480-277	N.P.	1250A / 480V	GENERAL ELECTRIC	D-y-5	ACEITE	250	S/E ZONA REACCION
5	TR-5	1000	13200/480-277	E-688022E	1250A / 480V	GENERAL ELECTRIC	D-y-5	ACEITE	250	S/E ZONA REACCION
6	TR-7	1500	13800/2400	811701E	361A / 2400V	SUNTEC	D-y-5	ACEITE	300	S/E ZONA REACCION
7	TR-8	700	13800/460	NICA	879 /460V	GENERAL ELECTRIC	D-y-5	ACEITE	250	S/E ZONA REACCION

En esta subestación también se ubican los interruptores de potencia del tipo en vacío que suministran energía eléctrica a los dos motores ventiladores que hacen la extracción de gases calientes del tambor secador y de los reactores.

Ubicado cerca de la planta NPK, se localiza la subestación de NPK, zona seca, la cual contiene los transformadores de potencia T-1, T-2 y T-3, cuyas características se pueden observar en la tabla 1, así como los interruptores secundarios y los CCM's que contienen los arrancadores directos de los motores de la zona seca del proceso productivo.

Para dar alimentación a las cargas críticas como son: Agitadores de Reactores, bombas de contra incendio, alumbrado, entre otras, se tiene en el sistema eléctrico una Planta de emergencia de 750KW, cuya acción de encendido, apagado y conmutación se hace en forma automática.

Se incluyen además los elementos de protección y control así como los sistemas de potencia ininterrumpida o UPS's. que se complementan con bancos de baterías sostenidos por cargadores de baterías y un sistema de emergencia auxiliar de generación eléctrica entre otros.

El sistema eléctrico incluye los motores eléctricos listados en la tabla 2.

Tabla 2. Listado de motores eléctricos usados en Planta de fertilizantes.

DATOS DE PLACA DE CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES ELECTRICOS UBICADOS EN PLANTA DE FERTILIZANTES											
ITEM	TAG NAME	H.P.	RPM	MODELO	TENS.(Y)	INTENS.(A)	RODAMIENTOS	FREC.	MARCA	FRAME	
PLANTA NUEVA INCRO											
1	A-101	3	1700	AM100LS4	230/460	8.3/4.15	6206ZZC3/6206ZZC3	60 HZ	AEG	100L	
2	SC-B101-M	7.5	1760	7966B	230/460	19/9.5	6208ZZJC3/6206ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	213T	
3	SC-B102-M	150	1185	5779B	460	185	6313JC3/6220JC3	60 HZ	US MOTORS	444T	
4	SC-B103-M	125	1780	7926B	460	150	6313JC3/6220JC3	60 HZ	US MOTORS	444T	
5	SC-B104-M	25	1765	1L2184M60	460	34.5	6210C4/6210C4	60 HZ	SIEMENS	180M	
6	SC-B105-M	100	1780	7976B	460	116	6217JC3/6214JC3	60 HZ	US MOTORS	405T	
7	SC-B106-M	75	1185	7982B	460	90	6217JC3/6214JC3	60 HZ	US MOTORS	405T	
8	SC-B107-M	350	1185	G48362	2400	84	6226JC3/6226JC3	60 HZ	US MOTORS	5807ML	
9	SC-CR101A1-M	75	1785	1L4BG225M	230/460	94	6213C3/6213C3	60 HZ	SIEMENS	225M	
10	SC-CR101A2-M	75	1780	G-52345	220/440	87	6213C3/6213C3	60 HZ	US MOTORS	444T	
11	SC-CR101B1-M	75	1780	1L4BG225M	220/440	94	6213C3/6213C3	60 HZ	SIEMENS	225M	
12	SC-CR101B2-M	75	1780	1L4BG225M	220/440	94	6213C3/6213C3	60 HZ	SIEMENS	225M	
13	SC-CR-102-M	30	1770	1LA21864AA60	460	40	6210C4/6210C4	60 HZ	SIEMENS	180L	
14	SC-CV-101-M	15	1760	7966B	230/460	8.3/4.15	6208ZZJC3/6208ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	254T	
15	SC-CV-102-M	15	1720	BF5132M84	480	16.5	6208ZZJC3/6206ZZJC3	60 HZ	EFACEC	132M	
16	SC-CV103-M	R	15	1755				60HZ	US MOTORS		
17	SC-CV104-M	6.6	1745	1LA31134YB60	220/440	19/9.5	6206ZZC3/6205ZZC3	60 HZ	SIEMENS	112 M	
18	SC-CV105-M	6.5	1690	BF5112M44	480	9.1	6206ZZC3/6205ZZC3	60 HZ	EFACEC	112M	
19	SC-CV106-M	7.5	1740	R706	230/460	21.4/10.7	6208ZZC3/6206ZZC3	60HZ	US MOTORS	213T	
20	SC-DV101-M	0.34	1680	C61-Z10-M1B4	240/480	1.5/0.75	NO ESPECIFICADO	60 HZ	FLENDER	NO ESP.	
21	*FL4	1	3450	M3545	230/460	3.6/1.8	NO ESPECIFICADO	60 HZ	BALDOR	56	
22	SC-L101-M	R	60	1780	ECP8431T-4	460	69	6313/6312	60 HZ	BALDOR	364 T
23	SC-L102-M	89.1	1775	BF4250M44	480	106	NU314/6314C3	60 HZ	EFACEC	250M	
24	SC-L103-M	R	40	1775	ECP84110T-4	460	46	6312/6311	60 HZ	BALDOR	324 T
25	SC-L104-M	30	1765	BF5180M44	480	36	62102ZC3/62102ZC3	60 HZ	EFACEC	180M	
26	SC-L101M-M	6.2	1690	BF5112M44	480	9.1	6206ZZC3/6206ZZC3	60 HZ	EFACEC	112M	
27	SC-L102M-M	12	1720	BF5132M84	480	16.5	6208ZZC3/6208ZZC3	60 HZ	EFACEC	132M	
28	SC-L103M-M	5	1680	BF5100L44	480	7.1	6206ZZC3/6206ZZC3	60 HZ	EFACEC	100L	
29	SC-L104M-M	3.5	1675	BF5100L24	480	5.3	6206ZZC3/6206ZZC3	60 HZ	EFACEC	100L	
30	SC-ME101-M	178	1775	BF4315SA44	480	206	N218/6218C3	60 HZ	EFACEC	315S	
31	SC-ME102-M	364.5	1790	BF6355L124	2400	80	6222C3/6219C3	60 HZ	EFACEC	355L	
32	SC-ME103-M	60	1700	Y0641000645-2	230/460	143/71.5	6313C3/6212C3	60 HZ	US MOTORS	364T	
33	SC-P101A-M	60	1780	7974B	460	72.5	6313ZZJC3/6212ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	364T	
34	SC-P101B-M	60	1780	7974B	460	72.5	6313ZZJC3/6212ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	364T	
35	SC-P112A-M	150	1780	7027B	460	175	6313JC3/6220JC3	60 HZ	US MOTORS	445T	
36	SC-P112B-M	150		7027B	460	175	6313JC3/6220JC3	60 HZ	US MOTORS	445T	
37	SC-P103A-M	100	1780	7976B	460	116	6217JC3/6214JC3	60 HZ	US MOTORS	405T	
38	SC-P103B-M	100	1780	7976B	460	116	6217JC3/6214JC3	60 HZ	US MOTORS	405T	
39	P-104	0.25	1725	KM34A63-835	230/460	1.3/2.65	-96	60 HZ	BALDOR	56C	
39	SC-P604M-M	20	1770	7969B	230/460	49/24.5	6309ZZJC3/6207ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	256T	
40	SC-P605M-M	10	1755	7967B	230/460	24.8/12.4	6208ZZJC3/6206ZZJC3	60 HZ	US MOTORS	215T	
41	SC-P606M-M	5	3480	1LA51122YB60	220/440	16/8.0	6206ZZJC3/6206ZZJC3	60 HZ	SIEMENS	112M	
42	SC-SC101A-M	34	880	MBT225M8	480	27	6214C3/6214C3	60 HZ	ABB	225M	
43	SC-101B-M	34	880	MBT225M8	480	27	6214C3/6214C3	60 HZ	ABB	225M	
44	SC-SF101A1-M	6	1775	FX2700-6	277/480	15.1/8.7	NJ2314ETVPC4(AMB05)	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
45	SC-SF101A2-M	6	1775	FX2700-6	277/480	15.1/8.7	NJ2314ETVPC4(AMB05)	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
46	SC-SF101B1-M	6	1775	FX2700-6	277/480	15.1/8.7	NJ2314ETVPC4(AMB05)	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
47	SC-SF101B2-M	6	1775	FX2700-6	277/480	15.1/8.7	NJ2314ETVPC4(AMB05)	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
48	SC-SC102-M	17	870	MBT 180	480	14.4	6210C3/6210C3	60 HZ	ABB	180	
49	SC-SF1021-M	0.68	1175	BK2-90-6	277/480	2.55/4.6	NJ308LTVPC4	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
50	SC-SF1022-M	0.68	1175	BK2-90-6	277/480	2.55/4.6	NJ308LTVPC4	60 HZ	VIMARC	NO ESP.	
51	SC-SP101-M	1	741	577DT80N4US	220/440	3.8/1.91	6004C3ZZ/6004C3ZZ	60 HZ	SEW EURODRIVE	80	
52	SC-WC101M-M	2.4	1653	BF5 30L 44	480	3.9	6205ZZC3/6204ZZC3	60 HZ	EFACEC	90L	
53	SC-WC102M-M	1	1680	SA62DT80N4TF	277/480	3.05/1.75	6004C3ZZ/6004C3ZZ	60 HZ	SEW EURODRIVE	80	
54	SC-WC103M-M	1	1680	SA62DT80N4TF	277/480	3.05/1.75	6004C3ZZ/6004C3ZZ	60 HZ	SEW EURODRIVE	80	

1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Acorde a lo expresado anteriormente en el ambiente productivo de la planta de fertilizantes en donde se describe un proceso con un grado de corrosión y abrasión alto lo que hace que en los equipo productivos, se generen un sinnúmero de fallas aleatorias y en algunos casos se tornan repetitivos o crónicos que repercute en desviaciones de los mantenimientos preventivos o planeados, pasando a ser el correctivo o mantenimiento reparativo el mayor causante del aumento de los costos por mantenimiento y de los índices de horas extras laboradas semanales.

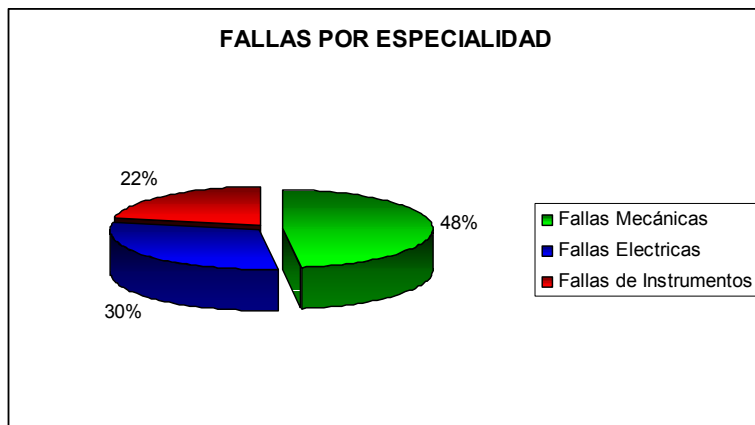
Dentro de las fallas más recurrentes que se presentan en este tipo de plantas se destacan las siguientes: fallas en los rodamientos de los motores, desgaste en los rodillos de las bandas transportadoras, en ruptura de piezas mecánicas de bombas, válvulas, fallas en los cables que alimentan los motores, entre otros.

Los equipos eléctricos que suministran energía, la distribuye en los diferentes sistemas, controla los arranques y protege de las desviaciones de las variables eléctricas, están sujetos al deterioro progresivo debido al ambiente agresivo y corrosivo que se ha comentado, causando esto serios impactos al continuidad del proceso productivo, de acuerdo a los datos históricos de fallas eléctrica ocupan el 30% de la totalidad de las causas de fallas en los equipos, siendo las fallas mecánicas la primera con un 48% y las fallas en los instrumentos se promedian en un 22%, como se puede apreciar en la figura 6.

Actualmente el mantenimiento está estructurado en planes de mantenimiento o rutinas de preventivos siendo los más usado los sugeridos por el fabricante y los que los técnicos mantenedores han impuesto de acuerdo a su experiencia, y con la llegada de la tecnología se involucraron técnicas de mantenimiento tales como el monitoreo de variables de equipos, (vibraciones, temperatura, análisis de aceites, medición de espesores, medición de amperajes, voltajes, resistencia de aislamiento etc.) que favorecen la ejecución de planes de mantenimiento por condición.

En el mantenimiento por condición se tiene establecido rutas de inspección tanto para equipo dinámico (motores, bombas, bandas transportadoras, elevadores, ventiladores industriales etc.). Además existen procedimientos, métodos de pruebas o actividades relacionadas a la realización de mantenimiento de equipos eléctricos no compilados, es decir dispersos, los cuales necesitan ser agrupados, interrelacionados y sistematizados de manera global para que sean técnicamente aplicados.

Figura 6. Porcentajes de fallas de equipo por especialidad



Tomado de informe mensual de confiabilidad, Abocol enero 31 de 2006.

La literatura existente de las técnicas de aplicación de mantenimiento a equipos industriales relacionados a procesos productivos, es generalizada y se aplica a cubrir las expectativas de áreas específicas, con énfasis al área de especialidad mecánica. Pocos son los estudios que comprenden y abarcan temas relacionados al mantenimiento general de equipos y sistemas eléctricos que permitan a los encargados del mantenimiento tener en una sola fuente de información, todos los parámetros adecuados para poder determinar la mejor estrategia del mantenimiento a aplicar, teniendo en cuenta la optimización de frecuencias, la criticidad del equipo o sistema, la mantenibilidad y finalmente los costos asociados.

La ejecución del mantenimiento depende de la emergencia y esta se impone sobre el preventivo, el cual sencillamente se deja de hacer.

El Indicador del mantenimiento programado versus el ejecutado está entre un 70% y un 80% de cumplimiento (*), ocasionando gran cantidad de trabajo retrasado o por hacer (back-log); en la actualidad el backlog es de 15 a 20 semanas/hombre, que contrasta con las 6 a 8 semanas/hombre que se puede apreciar haciendo benchmarking con las empresas que presentan un mantenimiento de clase mundial.

Dentro del sistema de información no existe una cultura arraigada que favorezca el cierre de las órdenes de trabajo lo que hace que no se documentan o registran adecuadamente la información proveniente de las actividades de mantenimiento.

Actualmente se cuenta con un sistema integrado computarizado o CMMS para la gestión de mantenimiento (PRYSMA, ver pantallazo en la figura 7). Este software

(*) Dato tomado de informe de planeación de mantenimiento Abocol, Diciembre de 2005.

se adquiere bajo el concepto de “hecho a la medida” y ha requerido de mucha “horas hombre – tecla” a lo largo de los cuatro años de operación, y consta de los siguientes módulos, descritos en la tabla 3:

Figura 7. Presentación del software Prysma.

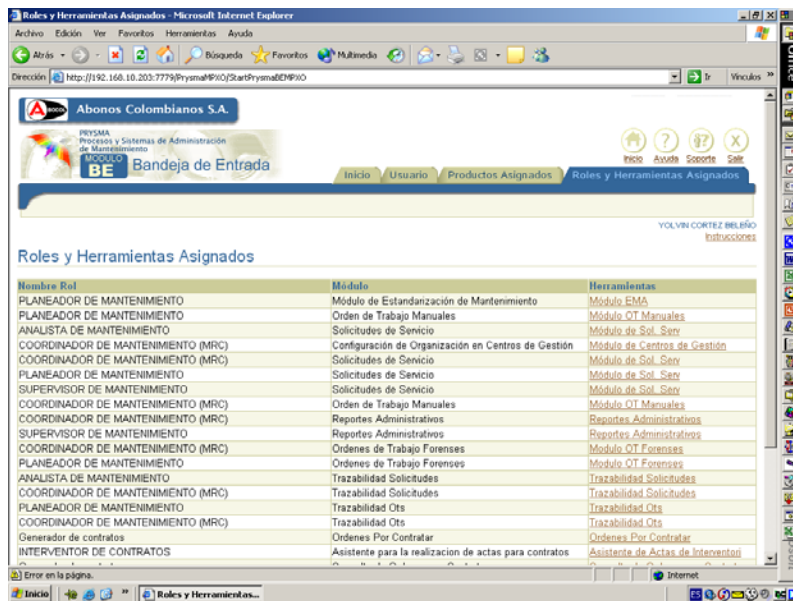


Tabla 3. Módulos operativos del Software Prysma.

FUNCIONALIDADES DEL PRYSMA	
ITEM	DESCRIPCION
1	MÓDULO DE MANEJO DE ACTIVOS
	ARBOL DE EQUIPOS (JERARQUIA)
	CLASES DE EQUIPOS
	MODOS DE FALLA
	CRITICIDAD
	DATA SHEET
2	FLUJO DE MANTENIMIENTO
	OT CORRECTIVAS
	OT PREVENTIVAS
	OT RUTINAS
	SOLICITUDES
	REPORTES DE OT
	TRAZABILIDAD DE INFORMACION DE OT
3	GESTION DE MANTENIMIENTO
	HISTORICOS DE MANTENIMIENTO (HOJA DE VIDA)
	EJECUCION DEL MANTENIMIENTO
	CONTROL Y SEGUIMIENTO
	REPORTES DE FALLAS Y DESEMPEÑO
4	CONTROL DE CONTRATOS
5	PLANEACION
	REPORTES DE PROGRAMACION DIARIA
	REPORTES DE PROGRAMACION SEMANAL
	PROGRAMAS DE SHUT DOWN
6	ANALISIS DE FALLAS
	RCA
	FMECA
	RCM

1. Módulo de estandarización de mantenimiento: Permite la creación de un jerarquía de agrupamiento de equipos enfocada a reunir todos aquellos de mantenimientos similares, además de:

- ◆ La definición de las patologías típicas de estos grupos de equipos (Tipos de Modo de Falla y Modos de Falla.)
- ◆ La creación y estandarización de tareas, procedimientos, grupos de tareas y actividades.
- ◆ La definición de intervenciones de mantenimiento y operación basadas en el seguimiento de una condición de equipo o proceso.

Este módulo no está operando en forma normal y está en proceso de reevaluación para poder poner a disposición del usuario.

2. Módulo de registro de solicitudes de servicio: Es una herramienta donde se pueden crear Solicitudes de Servicios a partir de requerimientos realizados. Esta herramienta permite:

- ◆ Crear una solicitud de servicio a partir de un requerimiento.
- ◆ Calcular la prioridad de la solicitud de manera automática o Manual. Cuando el cálculo de la prioridad es de manera automática tendrá en cuenta la información suministrada para el equipo en análisis de criticidad.
- ◆ Cambiar el estado de la solicitud de servicio. Una vez diligenciada toda la información, se podrá cambiar el estado a la solicitud para proceder con las verificaciones necesarias antes de ser enviada a Mantenimiento.

Este módulo está operando en forma normal.

3. Modulo documentación de solicitudes de orden de trabajo Interna: Es una herramienta para documentar Solicitudes de Orden de Trabajo Interna, esta información es suministrada por el Analista de Mantenimiento y requerida para la creación de la orden de trabajo. A través de este asistente se puede:

- ◆ Gestionar toda la información pertinente al Análisis de Mantenimiento (Objeto de la Orden, Resultados Verificables, Indicación Logística, etc.).
- ◆ Suministrar la información contable requerida para la Orden de Trabajo.
- ◆ Asociar equipos y modos de fallas a la Solicitud de Orden de Trabajo.
- ◆ Seleccionar al Planeador que se considere Pertinente para el proceso de Planeación de la Orden.
- ◆ Enviar la Solicitud de Orden de Trabajo al planeador seleccionado.

Este módulo opera en forma normal y está en servicio a disposición del usuario.

4. Módulo de OT Forenses: Crear una Orden de trabajo para efectos de atender una falla imprevista en algún equipo productivo y poder asignar materiales y recursos de mano de obra.

Cambiar el estado de la Orden de trabajo, una vez diligenciada toda la información y se podrá cambiar el estado a la solicitud para proceder con las verificaciones necesarias antes de ser enviada a registro.

5. Módulo RAP (registro de activos productivos): Es la herramienta para crear en PRYSMA los Activos de la empresa que deban recibir atención en su Operación o su Mantenimiento. Con el Módulo RAP se puede:

- ◆ Crear CLASES de Activos (Equipos)
- ◆ Crear Hojas de datos de equipos para cada CLASE de Activo a Registrar
- ◆ Crear ACTIVOS y Definir su ordenamiento Jerárquico
- ◆ Aplicar Metodologías de Asignación de Criticidad a los Equipos

Este módulo opera en forma normal y está en servicio a disposición del usuario.

6. Administración de Centros de Gestión: Esta funcionalidad debe permitir al usuario encargado crear, actualizar y mantener los Centros de Gestión. Los Centros de Gestión están conformados por Frentes Ejecutores quienes a su vez tienen asociados el recurso disponible para cada uno de ellos en los periodos especificados. Esta herramienta permite:

- ◆ Crear y Editar Naturalezas o Tipos de Centros de Gestión.
- ◆ Crear y Editar Centros de Gestión.
- ◆ Registrar Frentes Ejecutores para cada Centro de Gestión.
- ◆ Registrar el Recurso disponible para cada Frente Ejecutor.

7. Reportes: Este módulo define los diferentes tipos de informes requeridos para la verificación de la ejecución de los programas de mantenimiento y de información relevante al proceso, el módulo incluye:

- ◆ Consolidado total de las ordenes de trabajo
- ◆ Número total de Ordenes de trabajo por estados y por especialidad de ejecución.
- ◆ Reporte de la evolución de la Programación
- ◆ Reporte resumen por estados de las solicitudes de Servicio
- ◆ Listado de Solicitudes de servicio en la respectiva bandeja de cada usuario.
- ◆ Listado solicitudes de servicio canceladas.
- ◆ Listado Ordenes de trabajos no ejecutados.
- ◆ Ordenes de trabajos creados en el periodo.

La evaluación del sistema se realiza en el capítulo 2.

Por todo lo anterior se genera la necesidad de reevaluar el actual sistema de gestión de mantenimiento y proponer un nuevo modelo de gestión que permita solucionar estos inconvenientes presentados en el actual modelo y redunde en beneficios tanto en lo administrativo como en lo económico.

1.7. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

1.7.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de gestión de mantenimiento aplicado a equipos haciendo énfasis en los sistemas eléctricos de plantas de fertilizantes que permitan la estabilidad de los procesos productivos mejorando su confiabilidad, disponibilidad y logrando la disminución de los costos generados por mantenimiento no programado o fallas imprevistas.

1.7.2. Objetivos específicos

1. Recolectar información a través de consultas bibliográficas en temas eléctricos existentes, manuales de fabricantes de acuerdo a los equipos usados en este tipo de plantas, toma de datos y recomendaciones según los fabricantes de los diferentes equipos eléctricos.

2. Analizar los diferentes tipos de mantenimientos existentes, (preventivos, correctivos, predictivos, inspecciones etc.) aplicados a equipos y sistemas eléctricos en plantas industriales y las empleadas específicamente en plantas de fertilizantes, para definir las mas adecuadas.

3. Utilizar la técnica del RCM, para determinar la estrategia de mantenimiento a implementar a los diferentes I tipo de función que aplique en los equipos y sistemas eléctricos.

4. Desarrollar un modelo de gestión de mantenimiento por equipos y sistemas eléctricos de plantas de fertilizantes compuestos, en donde se concentren las diferentes técnicas, metodologías, frecuencias, normas, etc. a ser aplicadas.

5. Establecer los criterios para determinar las características de lo requerido en un sistema de información computarizado.

1.7.3 Alcance de los equipos a los que se le determinará la estrategia del mantenimiento según RCM: El estudio cubre los equipos y sistemas eléctricos de la planta de fertilizantes de ABOCOL, de los cuales se analizarán los descritos en la tabla 4.

Tabla 4. Listado de equipos para el estudio con la metodología RCM.

EQUIPOS ELECTRICOS	CANTIDAD
◆ Transformadores de potencia de 13.800V, listados en la tabla 1.	7
◆ Interruptores y seccionadores de potencia Asociados a cada transformador del listado anterior.	7
◆ Motores eléctricos desde 1 HP, hasta 400 HP. A diferentes niveles de tensión 2400V, 440VAC trifásicos, según listado en tabla 2.	54
◆ Centro de control de motores, donde se alojan los arrancadores directos de los motores de equipos productivos, del listado anterior.	8
◆ Banco de baterías compuestos por celdas y cargadores eléctricos.	3
◆ Banco de condensadores, correctores del factor de potencia.	3

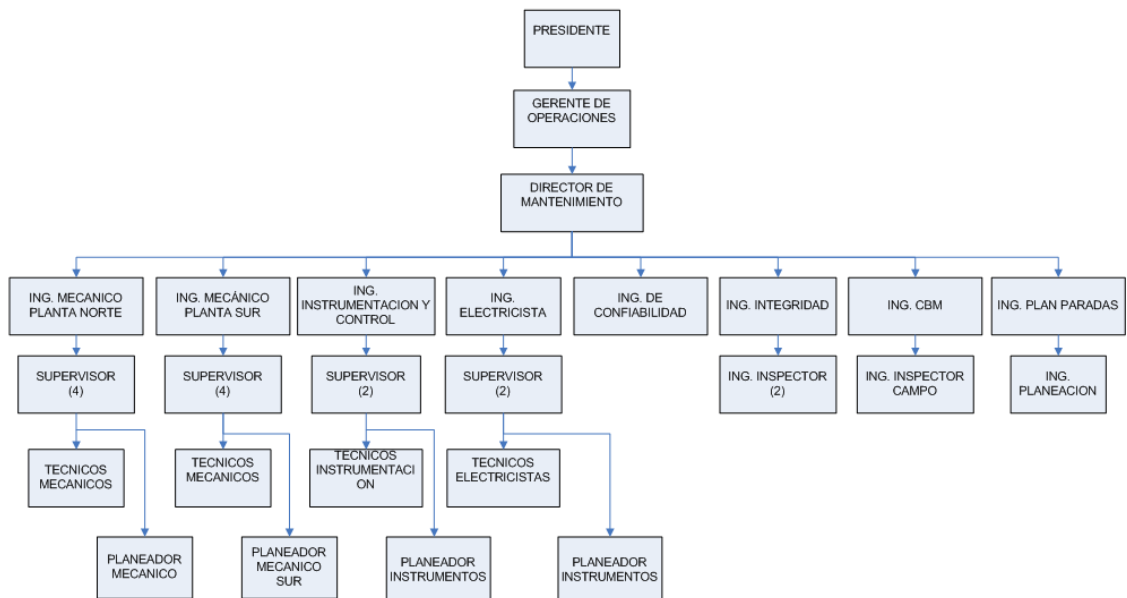
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE FERTILIZANTES

2.1. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento en la planta de fertilizantes está conformado por un Director de mantenimiento que en la actualidad ejerce también como director de operaciones, haciendo de que el proceso productivo esté muy interrelacionado con el proceso de mantenimiento.

Este departamento se compone de una parte encargada de la ejecución del mantenimiento, otra que se dedica al monitoreo de variables de funcionamiento de diferentes equipos y elementos, de la planeación de parada, seguimiento de estado de equipos estáticos y de la administración de la gestión del mantenimiento. La figura 8 muestra el organigrama de Mantenimiento en Planta de fertilizantes.

Figura 8. Organigrama de Mantenimiento en Planta de fertilizantes



La planeación está bajo el control de los mismos ejecutores de los mantenimientos a realizar así como el seguimiento, registro y cierre logrando de esta forma que en determinado momento, no se realice un control objetivo de las actividades programadas versus las realmente ejecutadas, favoreciendo, como se puede analizar de los datos existentes del Back-log, descritos en la sección 1.6 planteamiento del problema, la cultura de la no información a tiempo de las no ejecuciones de equipos relevantes al proceso productivo.

2.2. ROLES Y RESPONSABILIDADES, PERSONAL DE MANTENIMIENTO (*)

Las funciones descritas son las actuales en la organización y la información corresponde a los roles establecidos en el sistema de gestión de calidad, área de recursos humanos, roles y responsabilidades

2.2.1. Ingeniería de Mantenimiento por especialidad

- ◆ Elaborar y ejecutar los planes de mantenimiento a fin de mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- ◆ Controlar y ejecutar las actividades de su área en parada, durante la parada de planta, para cumplir con los objetivos de la programación y de ésta forma maximizar la disponibilidad de los equipos.
- ◆ Evaluar, entrenar y retroalimentar al personal, con el fin de asegurar las competencias técnicas del equipo de trabajo y el cumplimiento de los objetivos planteados.
- ◆ Identificar, planear, ejecutar y controlar los proyectos de inversión relacionados a los equipos y sistemas de su área de trabajo.
- ◆ Realizar un control a la ejecución presupuestal, con el fin de mantener los costos del área dentro de los parámetros establecidos para ello. (KPI's).
- ◆ Asegurar la disponibilidad de repuestos; con el fin de controlar los materiales críticos en Bodega.
- ◆ Mantener un estricto control sobre las actividades desarrolladas por contratistas en los equipos operativos a fin de controlar la calidad y seguridad de los trabajos.

2.2.2. Ingeniero Júnior de Mantenimiento por especialidad

- ◆ Identificar los proyectos de inversión que se realizaran en el año con su jefe inmediato, a fin de visualizar las oportunidades de mejora de los equipos y sistemas en el área eléctrica.

(*) Tomado de Sistema de gestión de Calidad, recursos humanos, roles y responsabilidades

- ◆ Optimizar los recursos que están a su cargo (H-H, equipos, materiales y herramientas) que contribuyan a una mayor disponibilidad, eficiencia y disminución de costos a fin de maximizar la utilización de los recursos disponibles para la ejecución del mantenimiento a los equipos de los sistemas eléctricos de distribución, protección fuerza y control.
- ◆ Controlar las actividades desarrolladas por contratistas y subcontratistas, en los equipos del sistema eléctrico a fin de controlar la calidad y seguridad de los trabajos en desarrollo.
- ◆ Elaborar los informes de los eventos asociados a fallas de los equipos cuando estas ocurran, y participar en la elaboración del RF o RCA cuando se requiera.

2.2.3. Inspector de Equipos

- ◆ Control de calidad a: la instalación de aislamientos térmicos en las plantas, la aplicación de pinturas, recubrimientos en tuberías y equipos de las plantas
- ◆ Documentación y Actualización de files de equipos con reportes de inspecciones realizadas.
- ◆ Aseguramiento del programa de calibración de válvulas de seguridad.
- ◆ Elaborar los informes de los eventos asociados a fallas de los equipos cuando estas ocurran, y participar en la elaboración del RF o RCA cuando se requiera.
- ◆ Controlar actividades de su área durante paradas mayores de planta.
- ◆ Calibración de equipos de inspección para asegurar su buen funcionamiento y Confiabilidad

2.2.4. Ingeniero de mantenimiento basado en condición CBM

- ◆ Monitorear el desempeño de los equipos rotativos mayores a fin de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos; alcanzando los valores establecidos y acordados con el Director de Mantenimiento.
- ◆ Planear y ejecutar las rutas de monitoreo establecidas de los equipos rotativos; a fin de mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

- ◆ Mantener actualizada las frecuencias de las rutas de monitoreo por condición a los equipos rotativos y reciprocantes.
- ◆ Acordar con los ingenieros de las áreas de mecánica, transporte de sólidos y eléctrica las labores requeridas por los equipos rotativos y reciprocantes a fin de mantener su confiabilidad y disponibilidad; maximizando la efectividad de la labor de mantenimiento evitando retrasos.
- ◆ Elaborar y hacer seguimiento a su ejecución de las órdenes de trabajo necesarias a fin de mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos rotativos y reciprocantes.
- ◆ Participar en los análisis RCA con el fin de detectar problemas y los posibles soluciones respecto a los equipos rotativos y reciprocantes.
- ◆ Mantener actualizada las bases de datos de los reportes de resultados de análisis de aceite a los equipos rotativos y reciprocantes.
- ◆ Elaborar y desarrollar las rutas de lubricación a los equipos rotativos y reciprocantes, para controlar la ejecución de dichas rutas.
- ◆ Realizar un control a la ejecución presupuestal, con el fin de mantener los costos de los gastos del área dentro de los parámetros establecidos para ello.
- ◆ Evaluar, entrenar y retroalimentar al personal con el fin de garantizar la buena disponibilidad y confiabilidad de las plantas.

2.2.5. Ingeniero Júnior CBM

- ◆ Mantener actualizada las frecuencias de las rutas de monitoreo por condición a los equipos rotativos y reciprocantes, con el fin de actualizar cada vez que se requiera la frecuencia para un equipo determinado.
- ◆ Elaborar los informes de los eventos asociados a fallas de los equipos cuando estas ocurran, y participar en la elaboración del RF o RCA cuando se requiera.
- ◆ Identificar los proyectos de inversión que se realizaran en el año con su jefe inmediato, a fin de visualizar las oportunidades de mejora de los equipos y sistemas en el área de CBM.

- ◆ Mantener actualizada las bases de datos de los reportes de resultados de análisis de aceite y análisis de vibración a los equipos rotativos y reciprocantes.

2.2.6. Ingeniero de planeación y programación

- ◆ Desarrollar los paquetes de parada para todas las paradas de planta y establecerlos como procedimientos de trabajo con el fin de estandarizar la información en las bases de datos de la compañía.
- ◆ Controlar las actividades en parada de la planta; a fin de mantener el tiempo de ejecución de la parada dentro del tiempo estimado.
- ◆ Coordinar, entrenar y retroalimentar al personal a cargo y adicional en paradas, con el fin de asegurar las competencias técnicas del equipo de trabajo y el cumplimiento de los objetivos planteados.
- ◆ Realizar un control a la ejecución presupuestal, con el fin de mantener los costos de los gastos del área dentro de los parámetros establecidos para ello. (KPI's).

2.2.7. Ingeniería de Técnicas de Confiabilidad

- ◆ Coordinar el Plan de Mejoramiento Anual resultante del benchmarking realizado por la auditoría externa, para garantizar la obtención de la calificación propuesta para cada año.
- ◆ Implementar las técnicas y metodologías de ingeniería de mantenimiento basadas en Confiabilidad (RBI, RCM, RCA) con el fin de soportar los planes estratégicos de la gestión de mantenimiento alineados con el negocio.
- ◆ Establecer indicadores claves de los equipos críticos (MTBF) que ayuden a controlar y mejorar el desempeño en la gestión de mantenimiento.
- ◆ Coordinar el entrenamiento y retroalimentar al personal en RCA y RCM con el fin de soportar la gestión de mantenimiento.
- ◆ Realizar (Participar) en los análisis de confiabilidad (Grupos de Mejoramiento) a equipos e instalaciones para diseñar una estrategia de mantenimiento para los sistemas y facilidades a fin de incrementar los índices de disponibilidad y confiabilidad

2.2.8. Ingeniería de Integridad de Equipos

- ◆ Elaborar y controlar los programas preventivos, predictivos y de inspección de los equipos estáticos de planta de Fertilizantes, para asegurar la integridad de estos equipos.
- ◆ Controlar y ejecutar en forma eficiente las actividades de su área durante las Paradas de planta, con el fin de mantener la disponibilidad de los equipos
- ◆ Coordinar, entrenar y retroalimentar al personal a cargo y adicional en paradas, con el fin de asegurar las competencias técnicas del equipo de trabajo y el cumplimiento de los objetivos planteados.
- ◆ Realizar seguimiento a la ejecución presupuestal del área de Confiabilidad, para controlar los costos de esta área.
- ◆ Analizar y ejecutar los requerimientos de instalación y reparación de aislamientos térmicos, para efectos de conservación de energía y protección personal de las plantas de Planta de fertilizantes
- ◆ Mantener un estricto control sobre las actividades desarrolladas por contratistas de Inspecciones técnicas de instalación de aislamientos térmicos para asegurar la calidad y seguridad de los trabajos ejecutados

De lo anterior descrito se puede visualizar que existe un rol que no está claramente definido y es el de los planeadores por cada especialidad quienes de acuerdo a lo expuesto anteriormente en la estructura organizativa del mantenimiento, no dependen de un ente diferente a los ejecutores de mantenimiento.

2.3. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento en la planta de fertilizantes basa su estrategia actual en el mantenimiento por condición (Conditioning centred Maintenance) o CBM, y de los resultados que arrojen los análisis de causa raíz o RCFA, para implementar mejoras en el sistema de acuerdo a la falla que se presente y que genere paradas de las plantas productivas.

Adicionalmente al mantenimiento por condición, se cuenta con una base mínima de mantenimiento preventivo para lo cual se diseñaron rutinas de mantenimiento cuyas frecuencias de mantenimiento, así como las diferentes pruebas y toma de

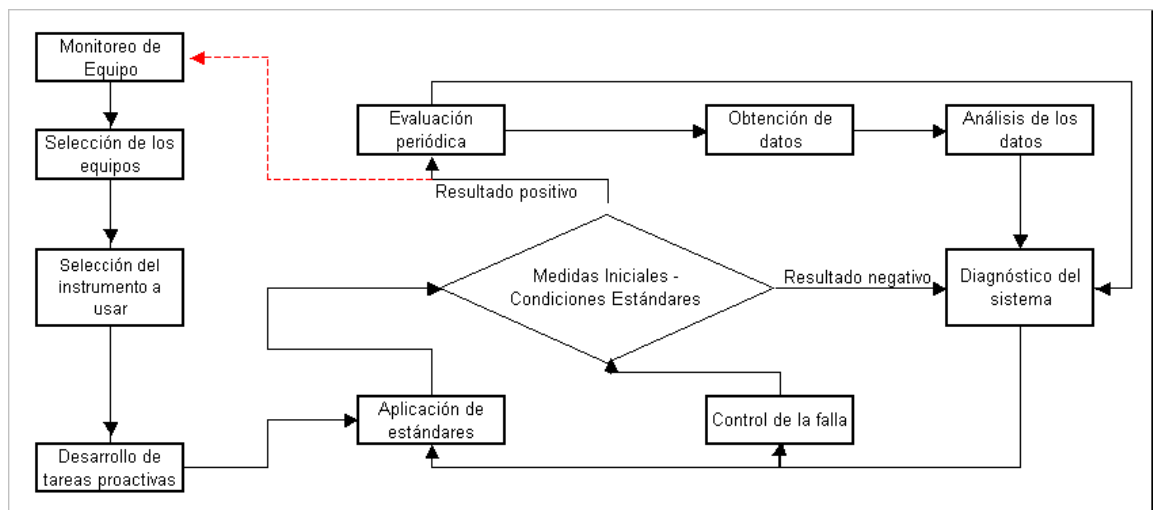
datos a equipos operativos y sistemas eléctricos se basan en datos teóricos o sugeridos por los fabricantes que muchas veces no aplican en condiciones reales.

Estas rutas de mantenimiento plantean actividades de tipo predictivo que requiere de la utilización de herramientas especializadas que con personal experto entrenado en cada rama de la ingeniería toman datos de campo y posteriormente se analizan para tratar de determinar el verdadero estado de los equipos que conforman los sistemas productivos.

2.3.1. MONITOREO DE VARIABLES DINAMICAS

Para tal caso se utiliza un analizador de vibraciones que recoge los datos de campo labor desarrollada por el Inspector de equipos dinámicos y que posteriormente es llevado al computador donde se descarga la información y esta es analizada por un Ingeniero experto y certificado, quien dependiendo de las variables y de los rangos permisivos, genera unas actividades correctivas, de verificación de medidas, de reemplazos de elementos etc. Para evitar las ocurrencias de fallas intempestivas de equipos que generan parada de equipos productivos bien sea en forma parcial o total, este proceso se puede apreciar en la figura 9.

Figura 9. Proceso de monitoreo de variables dinámicas en Planta de fertilizantes



Adaptado de mantenimiento estratégico para empresas industriales por Alberto Mora.

En términos generales la efectividad del monitoreo de condición, bien sea por la aplicación de rutas de personal, o de otras técnicas de monitoreo se debe evaluar teniendo en cuenta que si el elemento se deja correr hasta llegar a fallar puede

incurrir en costos mayores debido a las reparaciones que se deben realizar para volver el equipo a su condición normal operativa.

Se logra además una ganancia en eficiencia de ejecución, debido a que el mantenimiento se convierte en una tarea correctiva planeada, diferente a una tarea no planeada.

2.3.2. MONITOREO DE CONDICIONES DE EQUIPOS ESTÁTICOS

Se utilizan técnicas y equipo de medición para verificación del estado de los equipos estáticos tal como tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor, tuberías, válvulas etc., se destacan:

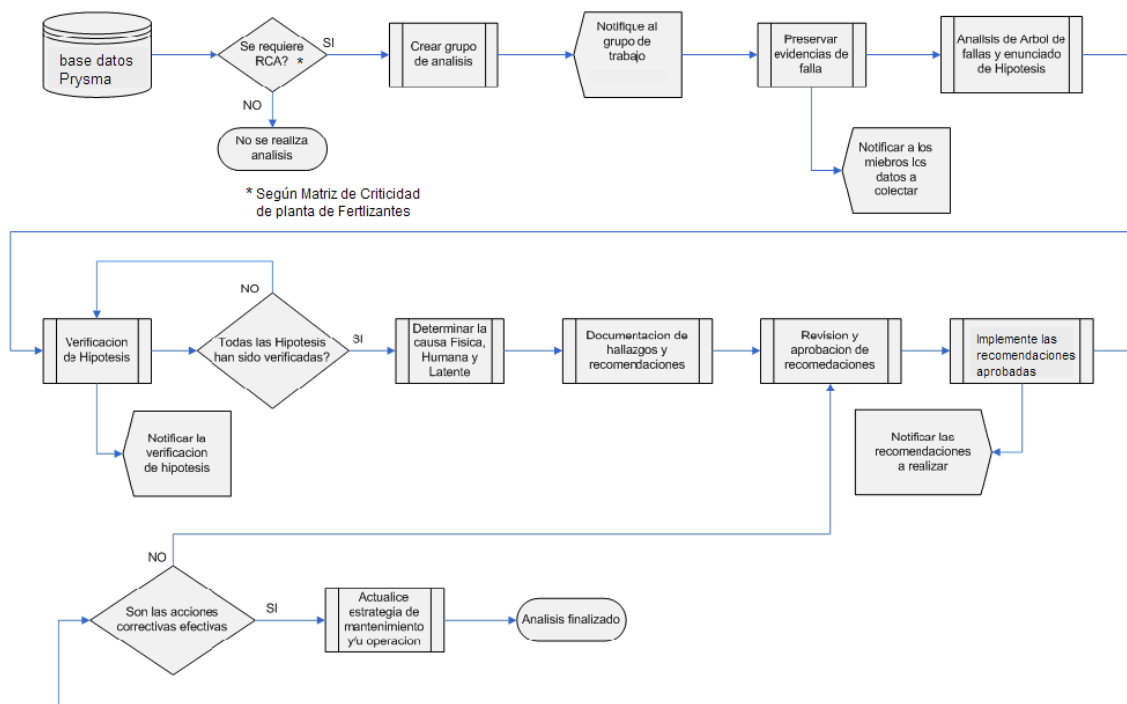
- ◆ Inspección Radiográfica para detectar discontinuidades, imperfecciones e impurezas internas mediante equipos de Rayos X y Rayos Gamma de Uniones Soldadas en Piezas, Tuberías, Recipientes, Válvulas, Cisternas, estructuras metálicas, Piezas Forjadas o Fundidas etc.
- ◆ Inspección Ultrasónica manual de chapas, tuberías, barras, estructuras metálicas, piezas de forja y fundición, uniones forjadas, etc.
- ◆ Medición Ultrasónica de Espesores de tuberías, recipientes, estructuras metálicas o cualquier tipo de construcción.
- ◆ Inspección de Partículas Magnéticas mediante equipos de corriente continua y alterna, utilizando partículas magnéticas por vía seca con luz natural o partículas fluorescentes por vía húmeda, en cualquier material ferromagnético, para detectar la posible existencia de grietas, pliegues o cualquier defecto superficial o cercano a la superficie.
- ◆ Inspección de Líquidos Penetrantes mediante el empleo de tintes normales y fluorescentes, en cualquier pieza metálica, para detectar defectos superficiales.

2.3.3. REPORTES DE FALLAS Y ANALISIS RCFA

Las fallas de equipos productivos que generen paradas de plantas parciales o totales son motivo de estudio y análisis para determinar su verdadera causa raíz que hizo que el sistema saliera de servicio, estos eventos de fallas se registran teniendo en cuenta la siguiente información:

- ◆ Información general del evento, fecha, hora de la ocurrencia de falla, tiempo total de la parada, lucro cesante por causa de la parada, y costo total de la reparación.
- ◆ Secuencia de los eventos desde que se detectó la falla hasta que se entrega el equipo por parte de mantenimiento a personal de producción.
- ◆ Realizar un árbol de fallas que trata de esbozar la posible causa raíz del evento, teniendo en cuenta el modo de falla, la causa de la falla, clase de falla y la parte que falló.
- ◆ Las respectivas acciones de mantenimiento a realizar, tanto correctivas, como cambio de elemento, rediseño, revisión de procedimiento etc.
- ◆ Si la falla es representativa, es decir de acuerdo a la matriz de criticidad de equipo y por la duración de la parada, costo de reparación y lucro cesante se realiza un RCA, donde se involucra tanto al personal operativo, de proceso y al de mantenimiento. Este proceso se puede observar en la figura 10.

Figura 10. Diagrama de Flujo de la elaboración del proceso de RCA en la planta de fertilizantes.



Tomado del sistema de gestión de calidad de ABOCOL procedimiento para la realización de RCA.

En resumen el mantenimiento está basado en un concepto básico de mantenimiento preventivo y un esquema de mantenimiento por condición que de acuerdo a los incrementos de las fallas graduales de un 5% entre el 2000 y el 2003, hace pensar que es tiempo de reevaluar la estrategia de mantenimiento aplicado y analizar que otra estrategia existente puede aplicarse par mejorar el desempeño del mantenimiento en la planta de fertilizantes. Es por eso que se propone realizar un análisis para determinar si el RCM puede ser esa metodología que permita realizar el mejoramiento continuo del proceso de mantenimiento, y orientarlo hacia un estatus de clase mundial.

2.4. MANTENIMIENTO APLICADO A EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

Actualmente en planta de fertilizantes, la estrategia del mantenimiento en el área eléctrica se basa en el establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los diferentes elementos o componentes de los equipos, las recomendaciones del fabricante, delimitada por su ubicación en planta y a su criticidad en la operación, destacándose el mantenimiento estructurado a manera de rutinas y rutas de mantenimiento.

Estas rutinas o rutas se dimensionaron basados en la experiencia del personal técnico eléctrico que realiza el mantenimiento, y según algunas recomendaciones sugeridas por el fabricante de los equipos, con un factor determinante, y es que hace énfasis en el aspecto mecánico y solo sugiere algunas actividades para los sistemas eléctricos, debido a que el 90% de las actividades de mantenimiento son de tipo mecánico. Ya que los problemas de naturaleza eléctrica o, electromagnética de los equipos y sistemas eléctricos, son difíciles de reducir a una expresión eléctrica porque confunde los fenómenos físicos, químicos y mecánicos.

De acuerdo al tipo de elemento y de su ubicación se establece el siguiente plan de mantenimiento:

2.4.1. Mantenimiento a motores eléctricos

En la planta de fertilizantes se realizan los siguientes tipos de mantenimientos:

1. Mantenimiento rutinario de motores eléctricos: Semanalmente se realiza un recorrido a los equipos pertenecientes al proceso productivo en donde además de una inspección visual general a la carcaza del motor, se toman datos de amperaje, voltaje y temperatura en un punto específico del motor (área central del motor) y estos se registran en un formato, estos datos son

analizados por el supervisor del área para determinar las acciones a seguir para efectos de corregir alguna deficiencia o posible falla del motor.

2. Mantenimiento a motores durante paradas de planta programadas: Debido al material particulado existente en el ambiente operativo de las plantas de fertilizantes es necesario utilizar las paradas programadas para limpieza y realizar un tipo de mantenimiento consistente en limpieza externa de la carcasa de los motores incluyendo el retiro de la tapa caperuza donde se aloja el ventilador en los motores TEFC (totally enclosed fan cooled) y de esta forma retirar el exceso de polvo fertilizante y facilitar o permitir la circulación de aire por los canales de ventilación, garantizando la buena operación del motor a temperatura adecuada, Menores de 60 grados centígrados según datos registrados. Este tipo de mantenimiento se registra en su respectivo formato con las observaciones y se almacena en carpeta ubicada en Taller eléctrico.
3. Mantenimiento de motores en taller: Se realiza durante paradas de planta, o a motores de repuesto, este tipo de mantenimiento, se realizará de acuerdo a solicitud de inspección quienes realizan el monitoreo (análisis de vibraciones), y reportar la necesidad de un mantenimiento por condición de acuerdo a los niveles previamente determinados para cada tipo de equipo productivo, o por tiempo sugerido por el fabricante y se tendrá en cuenta lo siguiente para su ejecución: Verificar la existencia de los Rodamientos a reemplazar, verificar el estado físico del motor, base, acople, ventilador, eje de motor caperuza etc., cuando se destapa el motor se debe verificar tolerancias rodamiento - eje y rodamiento - alojamiento en tapas, definiendo si se cuenta con el ajuste requerido de acuerdo al manual de la SKF, realizar el cambio de los rodamientos, anotar los datos en formato respectivo y almacenarlo en carpeta ubicada en taller eléctrico de cada planta.
4. Megueo rutinario de motores eléctricos: Aplicable a los motores eléctricos que deban ser megueados de manera rutinaria o durante parada de planta en Planta de fertilizantes. El proceso de megueo requiere de la utilización de un instrumento de medición denominado probador de aislamiento, este equipo en varias marcas se consigue con diferentes rangos de aplicación de tensión así como electromecánicos o electrónicos, en cualquier caso lo que se debe es ubicar las puntas del instrumento en las terminales del equipo a medir una punta en una fase y la otra punta referenciada a tierra, seleccionar el valor de tensión aplicar:

Al realizar la prueba de resistencia de aislamiento con un megger, se recomiendan los siguientes voltajes DC de prueba a temperatura ambiente de acuerdo con el nivel de tensión del motor (ver tabla 5).

Tabla 5. Voltajes de prueba para equipos eléctricos.

Nivel de tensión del motor en Volt.	Voltaje de prueba DC en Volt.
600 o menos.	500
601 a 1000.	500 a 1000
1001 en adelante.	500 a 2500
	2500 a 5000 es lo optimo.

Según NETA MTS 2001 TABLA 10-1

El valor de resistencia de aislamiento medido no debe estar por debajo del valor indicado en la siguiente ecuación:

$$R_m = K_v + 1$$

Donde R_m es la resistencia mínima de aislamiento en $M\Omega$ a $40^\circ C$ y K_v es el nivel de tensión de trabajo del motor en kilovoltios.

El equipo utilizado para medir la resistencia del aislamiento es por medio del "megger", que indica la resistencia en megohmios directamente. La tensión de prueba debe ser aplicada por lo menos un minuto.

La práctica recomienda para la medida de resistencia del aislamiento, llevar siempre el tanque, la carcasa o el núcleo a tierra cortocircuitando cada bobinado del motor en los terminales de los cables conductores. La medida de resistencia se hace entonces entre cada bobinado y entre cada uno de los bobinados y tierra. Los bobinados nunca deben dejarse flotando o sueltos cuando se toman medidas de resistencias del aislamiento.

En resumen los valores sugeridos como resultados de las pruebas son:

- a. -Motores hasta 460V AC, aplicar 500 V.
- b. -Motores hasta 2400V AC aplicar entre 1000 y 2000V.

Una vez aplicado la tensión adecuada al nivel de operación del motor, se registra los datos y se informa al supervisor y/o ingeniero si encuentra una lectura por debajo de 1.4 Megohmios, para motores a 460V.

Para el caso de motores a 2400V, se registran los datos y se informa al supervisor o al ingeniero si encuentra una lectura por debajo de 3,4 Megohmios, para motores de 2400 y 5.16 Megohmios para motores de 4160V.

5. Programa de lubricación de motores eléctricos: Se lubrican los motores eléctricos cuyos rodamientos sean de tipo abierto y las tapas posean el orificio o ducto destinado para su lubricación.

La frecuencia para su re-engrase o lubricación está estimada en tres meses, o de acuerdo a recomendación de inspección resultado de una toma de vibraciones. Los datos se registran y se almacena en carpeta ubicada en el taller eléctrico de cada planta.

Se requiere analizar como el RCM puede mejorar la estrategia del mantenimiento de motores al clasificarlos según su criticidad previamente y estimar el tipo adecuado de mantenimiento a ser aplicado según el concepto operativo del equipo. Aplicar normas internacionales que sugieren otros tipos de pruebas para determinar el estado real de los componentes de los motores como es el caso del monitoreo en línea de los devanados estáticos de los motores que permitan establecer el valor de la resistencia de aislamiento durante la operación en aquellos equipos cuya operación es de 24 horas día, y con paradas muy eventuales durante el año.

2.4.2. Mantenimiento de transformadores de potencia.

1. Mantenimiento rutinario o de inspección semanal: Los transformadores de potencia refrigerados en aceite se inspeccionarán semanalmente anotando los datos de: Nivel de aceite, temperatura, presión, voltaje, amperaje, presencia de fugas.

Los datos se registran y se almacenan en carpeta ubicada en el taller eléctrico de cada planta, las anomalías que se encuentren generarán una orden de trabajo, para su corrección.

2. Pruebas de aceite (anual): Anualmente se contrata la toma muestra de aceite dieléctrico de los transformadores y el respectivo envío al laboratorio para realizarles pruebas según Normas ASTM y verificar Rigidez dieléctrica, Tensión interfacial, Gravedad específica, Número de neutralización, Color y Contenido de humedad y cromatografía de gases, para su análisis y programación de mantenimientos preventivos y/o correctivos. Los resultados de estos análisis se comparan con la prueba de rigidez dieléctrica que se debe realizar con el equipo existente, Hipotronics (chispómetro) ubicado en Taller eléctrico Planta Norte las cuales se realizan de acuerdo a la norma ASTM 877 y de los resultados obtenidos y actividades a realizar que resulten se les hará una orden de trabajo para su ejecución. Los detalles de las pruebas se pueden observar en el capítulo 5.

2.4.3. Mantenimiento de arrancadores de centro de control de motores

Aplicable a los arrancadores del centro de control de motores situados en todas las subestaciones de la planta que contienen equipos a un nivel de tensión inferior a 480 V. Este mantenimiento se realiza durante paradas de planta superior a una semana o de acuerdo al resultado de la termografías realizadas al sistema eléctrico, en donde se detecten puntos calientes o puntos cuya diferencia con a otros del mismo elemento superan los 50 grados centígrados e Incluye:

-Medición de la resistencia de aislamiento del arrancador para ver en que estado se encuentra.

-Revisión de contactos de cierre, el estado de la bobina del contactor, retorqueo de Bornes de control y fuerza y limpieza general de los equipos,

-Revisión de los sistemas de corte por alto amperaje, fusibles, interruptores monopolares, etc.

2.4.4. Mantenimiento de interruptores de potencia.

Aplicable a los Interruptores, ubicados en todas las subestaciones de la planta y que permiten la actuación de quipos a un nivel de tensión de 2400V equipos como los ventiladores extractores de gases calientes y el tambor secador. Este mantenimiento se realiza durante paradas de planta superior a una semana o de acuerdo al resultado de la termografías realizadas al sistema eléctrico, en donde se detecten puntos calientes o puntos cuya diferencia con a otros del mismo elemento superan los 50 grados centígrados, e incluye:

-Medición de la resistencia de aislamiento del arrancador para ver en que estado se encuentra.

-Revisión de contactos de cierre, el estado del resorte de carga, de la bobina de cierre, de disparo contactos auxiliares y los peines de conexión.

Si los peines a inspección visual se notan recalentados y los resortes han perdido presión, proceda a reemplazarlos. En ocasiones es factible solo cambiar el resorte.

2.4.5. Mantenimiento de banco de baterías.

- ◆ Mantenimiento rutinario o de inspección mensual: Los Bancos de baterías existentes en las subestaciones bien sean de tipo seco o de plomo-acido, se inspeccionarán semanalmente anotando los datos de:

- ◆ Voltaje x celda
- ◆ Amperaje total
- ◆ Temperatura x celda
- ◆ Estado físico del banco.
- ◆ Muestra de líquido en el caso de los de Plomo ácido para medir su densidad.

Los datos se consignan en los formatos específicos por cada tipo de batería o celda y se almacena en carpeta ubicada en el taller eléctrico de cada planta.

Las anomalías que se encuentren se anotan como observaciones y generan una orden de trabajo, para posteriormente planear su corrección.

Para el caso de las baterías con líquido (plomo - ácido) se debe identificar la celda piloto, la que tiene instalado permanentemente el termómetro que lee la temperatura de operación.

Retirar el termómetro e Introducir el medidor de densidad y tome la muestra presionando el dispositivo de succión (pera) en esta celda.

Leer la densidad medida y anote en el formato respectivo.

Una vez tomado la muestra incorpore la muestra a la celda y normalizar introduciendo el termómetro en su lugar.

- ◆ Mantenimiento durante paradas programadas: Durante las paradas de planta se realizarán mantenimiento consistente en limpieza externa y retorqueo de las conexiones de las celdas de los bancos.

Este tipo de mantenimiento se registrará en su respectivo formato con los observaciones y se almacenarán en carpeta ubicada en Taller eléctrico planta Fertilizantes.

2.4.6. Mantenimiento el sistema de puesta a tierras

1. Mantenimiento o inspección anual: El sistema de puesta a tierras de cada planta será inspeccionado anualmente, realizando mediciones de la resistencia a tierra en los diferentes puntos ubicados para inspección. Estos datos se anotarán en formato respectivo y se generarán ordenes de trabajo para corregir deficiencias encontradas.

Para tal fin se utilizará el Megger de tierra (Telurómetro) Biddle y se anotarán los siguientes datos en el formato:

- Punto de prueba,
- Medición Dial 1
- Medición Dial 2
- Medición Dial 3
- Se multiplica por el factor ajustado en el medidor y se anotará la lectura final.

2. Inspecciones rutinarias de puestas a tierras: Las puestas a tierras de equipos eléctricos tales como motores, baterías, tableros etc. se chequearán de acuerdo a frecuencia y formatos definidos y así mismo de encontrarse alguna anomalía deberá registrarse y generar una orden de trabajo para mejorar y/o reparar.

De encontrarse algunos de los valores excediendo 10 ohmios, este generará una orden de trabajo para su mejoramiento, cuya solución debe ser analizada por el grupo eléctrico en general y determinar la forma de disminuir la resistencia del punto anormal, siguiendo las recomendaciones de IEEE 80 y 81 y la norma ICONTEC 2050. Las puestas a tierras de los equipos de campo tales como, motores, estructuras metálicas, tanques metálicos etc. deberán aterrizar con cable calibre mínimo # 2. Y en los tableros de control # 12 AWG.

2.4.7. Termografía a Motores eléctricos, transformadores, celdas primarias, y CCM's.

La termografía es un modo de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. ¹

El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión o problemas con un rodamiento en caso de equipos mecánicos. ¹

Observando el comportamiento térmico de los componentes pueden detectarse defectos y evaluar su severidad. La herramienta de inspección utilizada por los termógrafos es una cámara térmica que miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad. ¹

1. Land Instruments International, 2004, Publication No: Training ThermographyV1/1104

En el mantenimiento de la planta de fertilizantes existe una ruta de inspección de ejecución anual y en ocasiones cuando se tenga sospecha de alguna anomalía en un equipo o sistema, este servicio es contratado y realizado por personal certificado. La termografía generalmente es utilizada en:

- ◆ Inspección de equipos eléctricos
- ◆ Inspección de equipos mecánicos
- ◆ Inspección de estructuras de material refractario
- ◆ Monitoreo de procesos, etc.

En la inspección de equipo eléctrico se cubren los transformadores de potencia, los motores críticos, todos los centros de control de motores, celdas primarias y secundarias, interruptores de potencia, baterías y bancos de condensadores.

2.5. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO ACTUAL.

El sistema de información se basa en el uso de un software o sistema informático y de la elaboración y seguimiento de indicadores de gestión.

2.5.1. Software integrado al proceso de mantenimiento: Para el manejo de la información de mantenimiento, planeación, programación, seguimiento, revisión costos de mantenimiento, generación de ordenes de trabajo rutinarios, planeados y archivo de mantenimiento reparativo, se gestionó la adquisición de un software “hecho a la medida” el cual se concibió de tal forma que fuera moldeado de acuerdo al tipo de mantenimiento requerido en las plantas productivas y que integrara la parte contable – administrativa, con la ejecución diaria del mantenimiento. Este Software es el PRYSMA, (procesos y sistemas de mantenimiento)

El software es capaz de permitir la planeación de la actividades de mantenimiento dependiendo de la fuente generadora de solicitudes de ordenes de trabajo, esta puede venir de:

- Operadores de las plantas como solicitudes de servicios
- Ingenieros de procesos como solicitudes de servicio
- Ingenieros de CBM e Integridad de equipos, como una orden de trabajo.

Cada solicitud u orden viene priorizada y durante la planeación se definen las tareas correspondientes a realizar y se estiman los recursos requeridos tanto de materiales como de mano de obra, y al final se programa dependiendo de la prioridad con que se solicitó y se anuncia su programación en una reunión semanal donde se integra el personal de mantenimiento, operaciones y procesos.

En la figura 11 se puede observa el diagrama de flujo que sigue una solicitud de servicio hasta convertirse en orden de trabajo.

Figura 11. Diagrama de flujo de generación de orden de trabajo

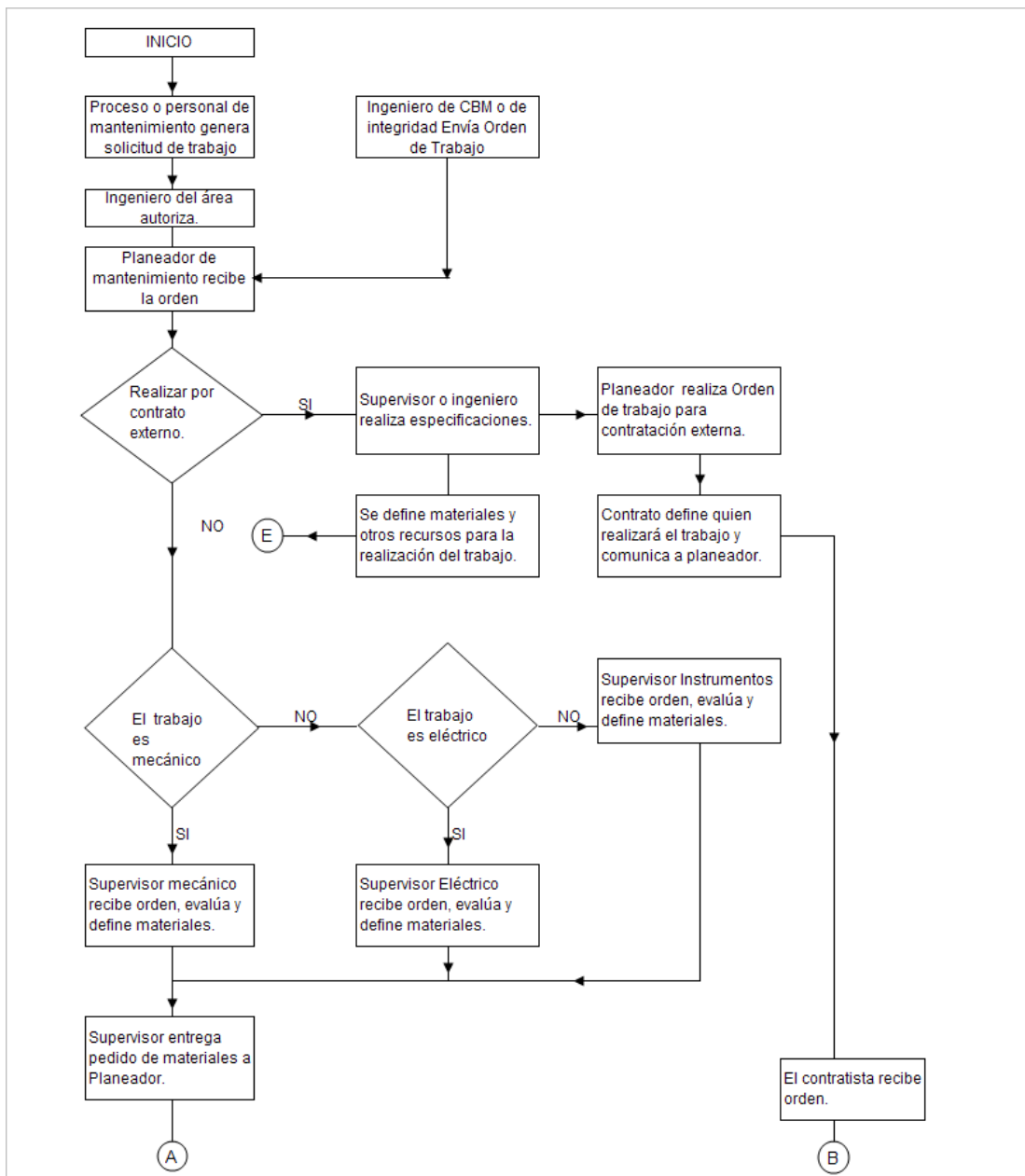


Figura 11 (continuación). Diagrama de flujo de generación de orden de trabajo.

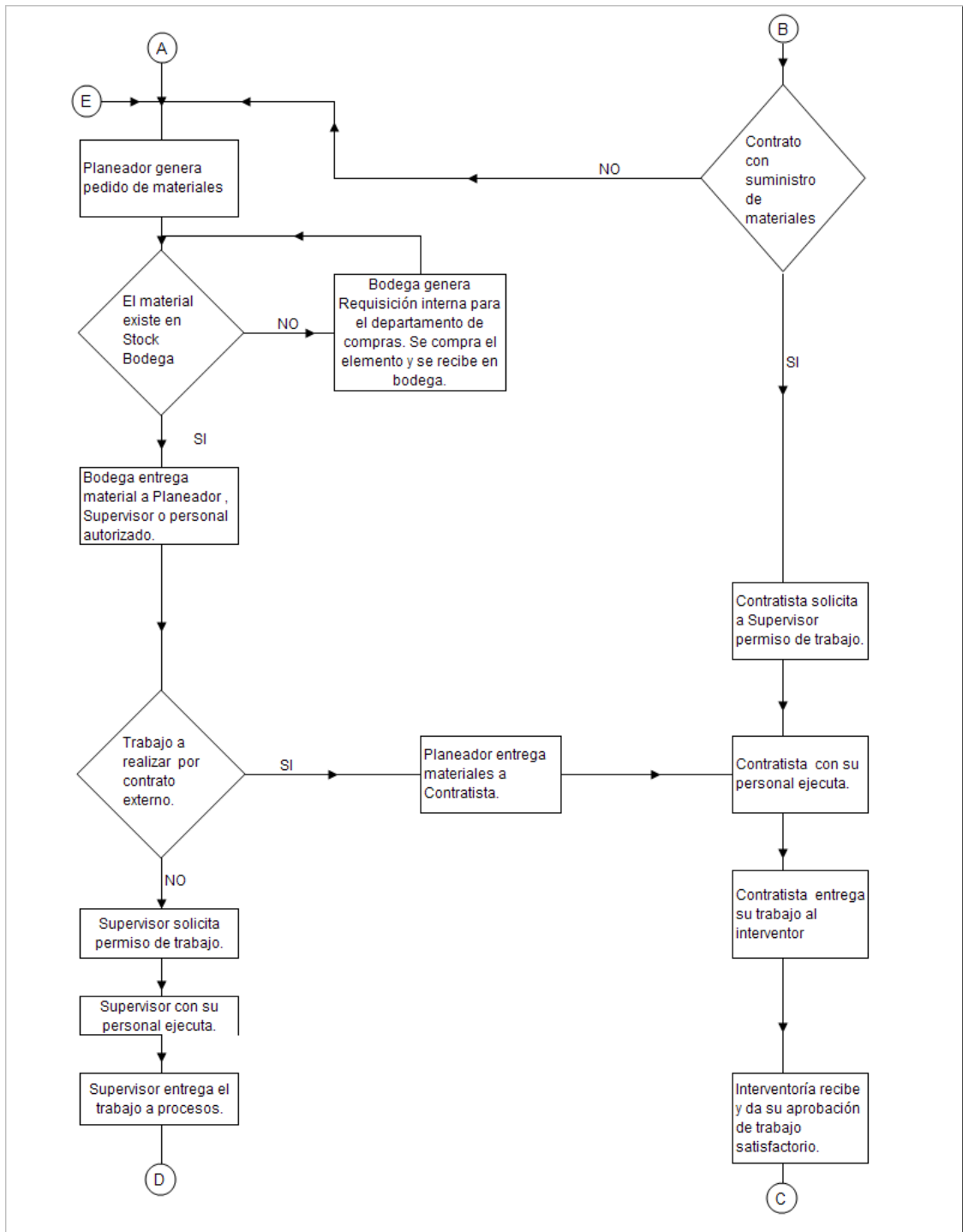


Figura 11 (continuación) Diagrama de flujo de generación de orden de trabajo.



En el diagrama de flujo anterior que define el camino a seguir de una orden de trabajo, se puede observar como la función del planeador no está delimitada siendo el supervisor quien en algunas ocasiones el que se encargue del análisis de la orden de trabajo y realice su planeación realmente, el planeador se limita a recibir lo planeado y a digitar en el sistema sin análisis previo, por esta razón se requiere reevaluar o redefinir sus funciones.

El proceso de registro y cierre de ordenes de trabajo no funciona apropiadamente, no se documentan o registran en su totalidad, después de ejecutadas, en el sistema de información, la información de la actividad implementada queda al conocimiento del que realiza el trabajo, perdiéndose así la historia de los equipos y la posibilidad de utilizar la información a futuro.

Con el objeto de optimizar el software del sistema de información computarizado, se evaluó el desempeño teniendo en cuenta los requerimientos teóricos de un Sistema de información de mantenimiento, requerido para alcanzar el mantenimiento de clase mundial deseado en la compañía. El consolidado de esta evaluación se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Evaluación del software PRYSMA.

ITEM	REQUERIMIENTO	DESCRIPCION	% CUMPLIMIENTO	COMENTARIOS
1	Programas de Mantenimiento Preventivo y Presupuestado de costos.	Que el sistema genere los programas de mantenimiento preventivo en base a horas trabajadas (horómetros) de cada máquina.	0	Actualmente el módulo de Preventivos está en evaluación y rediseño
2	Información de Mantenimiento por Máquina.	Acceso a los costos totales para cada uno de los mantenimientos preventivos para todas las máquinas, la frecuencia de mantenimiento para las máquinas, características generales de la máquina, edad de la máquina, frecuencia de paradas, tipo de paradas de esa máquina, sección y planta de ubicación de la máquina.	0	Esta información no es posible ser requerida
3	Manejo de ABC de paradas de operación.	Presentación del ABC de paradas para cualquier periodo, poder ver información por tipo de parada.	50	Se puede visualizar los mantenimientos programado para diferentes periodos establecidos, pero no por tipo de parada.
4	Acceso a Inventario de Herramientas.	Tener acceso a los inventarios de herramientas con nombre de la herramienta, cantidades existentes, máquinas para las que se utilizan, operarios de mantenimiento que las deben utilizar y su uso principal, la frecuencia con la que se utiliza, costo de la herramienta.	70	Existe el control de inventarios pero no se puede clasificar repuesto por las diferentes máquinas existentes.
5	Órdenes de Trabajo.	Elaboración desde el área de Mantenimiento o producción. Debe incluir el tipo de OT, horas hombre requeridas, herramienta necesaria para realizar el trabajo, máquina a reparar, tipo de paro, convención de paro, número de máquina, la explicación y comentarios del operario de producción, nombre del operario de producción que operaba la máquina al momento del paro y repuesto o insumos a usar.	100	Cumple con lo requerido
6	Órdenes de Trabajo Ejecutadas.	Información estadística del manejo de las órdenes de trabajo y tiempo real trabajado para cada uno de los miembros del equipo de mantenimiento.	100	Cumple con lo requerido
7	Manejo de personal.	Acceso a los nombres del total de operarios de mantenimiento en nómina y externos, status en el que se encuentran (activos, vacaciones, incapacidades, activos ausentes)	100	Cumple con lo requerido
8	Categorización de personal (Ejemplo : Mecánico 1, 2 y 3) .	El sistema debe tener almacenados la información de la matriz de flexibilidad, así como hacer sencillo el acceso a la información requerida sobre el conocimiento, capacitación y habilidades de los operarios de mantenimiento.	0	No aparece establecida esta posibilidad en asignación de recursos.
10	Disponibilidad del personal de mantenimiento.	Acceso a información de disponibilidad de personal de mantenimiento en el sistema según sus asignaciones diarias.	100	Cumple con lo requerido

11	Acceso a inventarios de repuestos.	Poder acceder en el sistema a los inventarios de repuestos con el fin de monitorear la existencia de stocks de seguridad para mantenimiento preventivo y correctivos futuros.	100	Cumple con lo requerido
12	Datos de proveedores de servicios de mantenimiento o servicios técnicos	En el momento de no contar con suficiente personal para una OT, el sistema debe proporcionar información acerca de proveedores de servicio de mantenimiento o servicios técnicos. La información debe contar nombre de proveedor, que convenciones de parada puede solucionar, una explicación, la persona de contrato.	100	Cumple con lo requerido
13	Requisición de Compra	Debe incluir el nombre del repuesto, fecha en la que se desea recoger el repuesto, cantidad de repuestos solicitados, nombre del solicitante, planta que la solicita, fecha de la elaboración de la solicitud,	0	Este módulo no está en operación, no existe interface con el módulo de contabilidad existente.
14	Orden de Trabajo	Ingreso de datos después de sucedido el evento, desde el área de mantenimiento o producción. En caso de ser una orden de trabajo de un paso debe decir si se genero la falla debido a que se detectó una anomalía después de realizada otra OT en esa máquina. Todas las OT deben contener tiempo estimado de mantenimiento, tiempo que se tardo el mantenimiento, herramienta utilizada para realizar el trabajo, tipo de paro, convención de paro, número de máquina, la explicación y comentarios del operario de producción de la razón del paro, comentarios del operario de mantenimiento acerca de la reparación, nombre de los operarios de producción que operaban la máquina al momento del paro, nombre de los operarios de mantenimiento que ejecutaron la orden de trabajo.	100	Cumple con lo requerido
15	Indicador % del cumplimiento de OT	Capacidad de visualización de todas la ordenes de trabajo en proceso o recién cerradas. Índices de relación de ordenes de trabajo asignadas en un periodo de tiempo con ordenes de trabajo no realizadas en ese mismo periodo.	100	Cumple con lo requerido
16	Informe de aprovechamiento de horas hombre	Índice de relación entre la cantidad de horas disponibles del personal de mantenimiento en relación con las horas trabajadas para mantenimiento	100	Cumple con lo requerido
17	Indicador del % de mantenimiento Preventivo vs Correctivo	Índice de la relación que existe entre la cantidad total de mantenimiento programados y los mantenimientos correctivos en un periodo de tiempo, una sección o una máquina.	0	Solo define las ordenes generadas por fallas reportadas.
18	Informe de cumplimiento de presupuesto (%)	Relación entre la diferencia de los totales de cantidades presupuestales de costos, mano de obra, y tiempos comparados con las cantidades reales	0	Esta relación no existe como predeterminada para su solicitud
19	Informe de costos	Informe de los costos incurridos durante el proceso de mantenimiento. Costos como la mano de obra, los repuestos utilizados.	100	Cumple con lo requerido
20	Índices de calidad de OT's ejecutadas	Índices que indiquen la cantidad de OT's de un paso generadas debido a la detección de una anomalía después de realizar otra OT en relación con el total de OT's realizadas	0	No está establecido este indicador.
			56,00	% Promedio

Este resultado indica que se hace necesario optimizar el software existente, o estudiar la posibilidad de adquirir uno, de acuerdo a los criterios tenidos en cuenta durante la evaluación.

2.5.2. Indicadores de gestión

Los indicadores de gestión actualmente utilizados en la evaluación de la gestión de mantenimiento, se basan en:

- ◆ Porcentaje disponibilidad de equipos productivos: Relación entre la diferencia del número de horas del período considerado (calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento.
- ◆ Porcentaje de confiabilidad de equipos productivos: MTBF (Tiempo medio entre fallas), o la relación entre el producto del número del ítem por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítem en el período observado, índices λ (Rata de fallas).
- ◆ Ejecución de mantenimiento (programación): Horas hombre no reportadas, horas hombre no programadas, cumplimiento de programación, % Trabajo realizado, Backlog, % Emergencias, % de sobretiempos en intervenciones
- ◆ Ejecución del presupuesto: Costos presupuestado Vs Costo real ejecutado, con control semanal.

Diariamente se realiza reunión entre el equipo de mantenimiento y el de operaciones, para programar y coordinar los trabajos de mantenimiento, pero estas carecen de estructura, las reuniones se convierten en una sesión de quejas y reclamos y en muchas ocasiones se tiende a resolver los problemas cuando ese no es el escenario apropiado para tal fin.

3. PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INCLUYENDO EL RCM

3.1. TEORÍA DE RCM. (*)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. Es un proceso utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional.

El objetivo del estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es establecer una estrategia de mantenimiento adecuado evaluando los modos de falla que puedan afectar las funciones de los equipos productivos de las planta productivas incluyendo los sistemas eléctricos de tal manera que contribuya a aumentar la disponibilidad, confiabilidad de los equipos y reducir los costos de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.

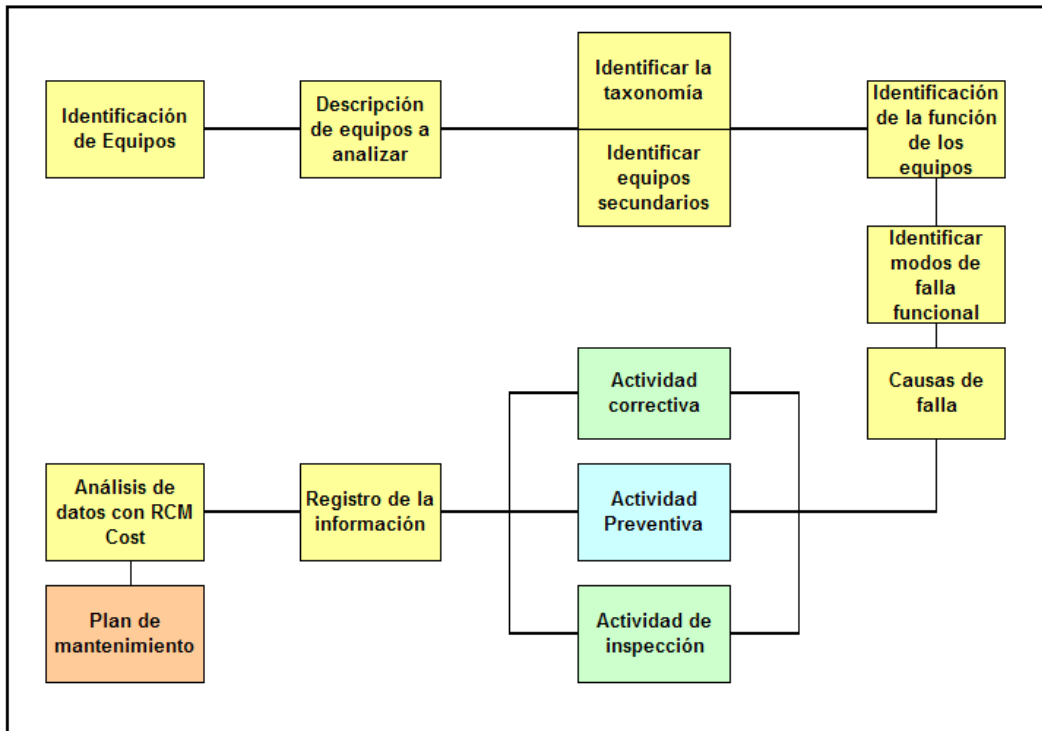
Las ventajas del RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicada a un mantenimiento preventivo ya existente en la empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70% y aplicado a un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

El RCM se considera como una metodología de análisis por sistemas, aplicable a cualquier tipo de instalación, para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento, basado en las siguientes etapas, mostradas en la figura 12.

3.1.1. Estudio y preparación: En esta etapa se selecciona los sistemas objeto de evaluación y se establece el cronograma del proyecto, identificándose los recursos necesarios definiendo los sistemas sobre el cual se aplicará la metodología. Decidir cuales son los activos físicos que tendrán prioridad y se beneficiaran más con la aplicación del RCM. Además de que manera se realizara la aplicación de la metodología

(*) Dato tomado de curso RCM2 Aladon 2003

Figura 12. Proceso de implementación RCM en Planta de fertilizantes



3.1.2 Análisis funcional de la falla: el objeto de esta etapa es definir y clasificar las funciones de cada bien o activo físico de la compañía en su contexto operacional en acuerdo con los parámetros de funcionalidad deseada. Es por ello que se divide en dos categorías:

- ◆ Funciones primarias: Es el porque del equipo o activo físico que fue adquirido por la empresa, Ej.: capacidad de carga, tiempo, velocidad, producción, servicio al cliente.
- ◆ Funciones secundarias: Son aquellas que trae adicionalmente el equipo o que el usuario espera que haga fuera de los funciones primarias, Ej.: seguridad, control, confort, manejo de información, eficiencia operacional, apariencia, etc.

3.1.3. Selección de ítems críticos: El objetivo fundamental de esta etapa es la identificación de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión. La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de

fallo. Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad que el impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación.

3.1.4. Tratamiento de los ítems no críticos: Aunque la teoría del RCM admite que a los componentes considerados como no críticos se les deje operar hasta su fallo sin aplicarles ningún tipo de mantenimiento preventivo, se recomienda efectuar una evaluación de estos componentes no críticos antes de tomar esta decisión.

3.1.5. Colección y análisis de los datos: Los datos necesarios para el análisis RCM, pueden ser categorizados en datos de diseño, datos operacionales, datos de confiabilidad.

3.1.6. Determinación de los modos de fallos según el RCM: El proceso de RCM plantea siete preguntas para analizar y buscar la solución o posibles soluciones a las diferentes fallas o problemas que se presentan en los activos físicos en su contexto operacional, a continuación se plantean las siete preguntas:

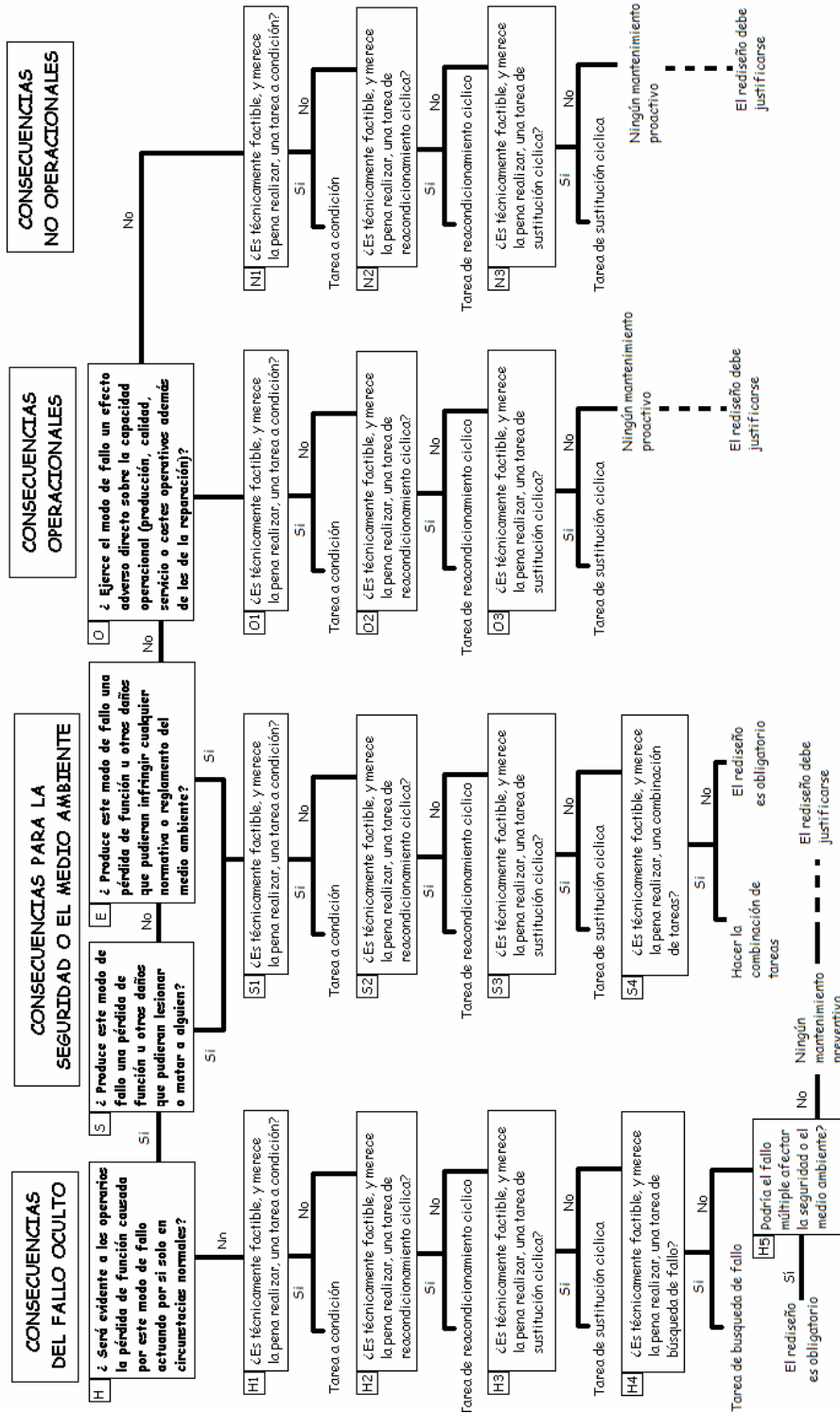
- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados a los activos físicos en su actual contexto operacional?
- ¿De que manera falla en cumplir y satisfacer los funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿De que manera importa cada falla?
- ¿Qué se puede o debe hacer para predecir prevenir cada falla?
- ¿Qué se debe hacer si no se encuentra una tarea o solución proactiva adecuada?

El análisis de estas preguntas se realiza siguiendo el siguiente diagrama mostrado en la figura 13.

3.1.7. Análisis de los Modos de Fallo y sus efectos: El objetivo de esta etapa es identificar los modos de falla dominantes, tal como se describió anteriormente entre las cuales se encuentran las siguientes:

- ◆ Fallas funcionales: Mantenimiento debe alcanzar y cumplir los objetivos propuestos de acuerdo con la función de los equipos o activos físicos en su contexto operacional; son consideradas fallas funcionales, por que no permiten que el activo cumpla con las funciones de acuerdo con los parámetros de su contexto operacional y los requerimientos del usuario; esto abarca hasta las fallas parciales, en las que el activo aun funciona pero fuera de los parámetros exigidos en su contexto operacional. RCM permite identificar dichas fallas funcionales y lo realiza en dos niveles:

Figura 13. Diagrama de decisiones para el establecimiento de consecuencias.



- Primero, identifica las circunstancias que con llevan a la falla
 - Segundo, se pregunta que acciones o eventos pueden causar que el activo falle.
- ◆ Modo de falla: Una vez identificada la falla funcional, RCM busca identificar los hechos o causas que conllevan al estado de falla. Estos hechos RCM los llama modos de falla. Los modos de falla incluyen aquellos que ocurren en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto operacional, las fallas que están siendo prevenidas y que no han ocurrido pero que tienen una alta probabilidad de que ocurran, las fallas causadas por el desgaste y deterioro del uso normal, las fallas causadas por error humano y las fallas por error de diseño. Es importante identificar claramente las causa de cada falla para no perder tiempo y esfuerzo atacando los síntomas y no la causa raíz de la falla.
 - ◆ Efectos de falla: RCM describe bien detallado lo que ocurre en cada modo de falla. Esto debe poseer toda la información necesaria para ayudar a encontrar la causa raíz y evaluar bien las consecuencias de las fallas, a esto se le llama efectos de falla.
 - ◆ Consecuencias de la falla: Se pueden presentar un sin número de fallas en diferentes modos, que afectan la funcionalidad de los activos físicos. RCM reconoce que es más importante la consecuencia de estas fallas que la parte técnica de la falla misma. Por lo tanto no es relevante evitar la falla sino reducir las consecuencias de las fallas se clasifica cuatro grandes grupos de consecuencias:
 1. Consecuencia de fallas ocultas: No tienen impacto directo pero exponen el equipo a fallas múltiples con serias consecuencias.
 2. Consecuencias ambientales y para la seguridad: Esto es si la falla causa daño físico o muerte a un ser humano, si la falla afecta el equilibrio del ecosistema o contamina el medio ambiente.
 3. Consecuencias operacionales: Esto es si las fallas afectan la producción, la eficiencia de las maquinas, los costos de mantenimiento y reparación.
 4. Consecuencias no operacionales: Aquellas que se relacionan y afectan solamente los costos directos de mantenimiento o reparación.

3.1.8. Selección de las tareas de mantenimiento: El resultado de la tarea de selección de ítems críticos, es la lista de componentes (críticos y no críticos seleccionados) a los que convendrá identificar una tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo. De forma genérica, el proceso de selección de tareas de mantenimiento se inicia con la identificación de las causas más probables asociadas a los distintos modos de fallo de los componentes

considerados; el resultado de esta tarea será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendados para cada equipo y se define el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes. Las tareas por tipo de falla se describen a continuación:

- ◆ Para fallas ocultas: el mantenimiento proactivo es la mejor elección si reduce significativamente el riesgo de fallas múltiples de tal manera que sean tolerables de acuerdo con la función del equipo en su contexto operacional. Si es imposible una tarea proactiva, entonces se debe realizar una tarea de búsqueda de falla o correctivo. Si ninguna de las dos es posible ya debe pensarse en un rediseño de los componentes que se vean mas afectados por las fallas múltiples.
- ◆ Para fallas con consecuencias ambientales o de seguridad: solo vale la pena un mantenimiento proactivo si por si solo minimiza el riesgo a niveles muy bajos o elimina el riesgo de raíz. Si esto no es posible entonces se debe pensar en rediseñar componentes o modificar el proceso.
- ◆ Para fallas con consecuencias operacionales: el mantenimiento proactivo será el mejor si el costo de aplicarlo a lo largo del tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación dentro del mismo periodo de tiempo. Si económicamente no es viable ningún mantenimiento proactivo o programado, entonces se debe pensar en aplicar el mantenimiento correctivo, en ultimas el rediseño.
- ◆ Para fallas con consecuencias no operacionales: se aconseja el mantenimiento proactivo solo si económicamente es menor que el costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo. Si no se justifica económicamente entonces se trabaja a correctivo y si los costos siguen siendo elevados, hay que rediseñar nuevamente.

3.1.9. Determinación de los intervalos de mantenimiento: Para determinar los intervalos óptimos de mantenimiento, es necesaria la información acerca de las fallas, es decir la función de razón de fallos, las consecuencias y los costos de las fallas, etc.

3.1.10. Análisis y comparación de las estrategias de mantenimiento: El criterio de la selección de las tareas de mantenimiento usadas en el RCM, tiene dos requisitos:

- ◆ La aplicabilidad: un programa de mantenimiento es aplicable, cuando este puede eliminar la falla, o reducir la probabilidad de ocurrencia hasta un nivel aceptable, reduciendo el impacto de las fallas.

- ◆ La efectividad: significa que el costo de las tareas de mantenimiento es menor que los costos de las fallas. Las tareas del programa de mantenimiento definidas.

3.1.11 Establecimiento de recursos para RCM: Esta conformado por un equipo de trabajo y un facilitador.

- ◆ Equipo de trabajo conformado por un grupo multidisciplinario para poder responder adecuadamente las siete (7) preguntas básicas del RCM. Este equipo debe poseer miembros de producción, mantenimiento y procesos; que estén capacitados y debidamente entrenados en RCM, además que posean profundos conocimiento del los activos físicos a estudiar y de su funcionamiento en cada contexto operacional.
- ◆ Facilitador: Se debe trabajar bajo la guía y asesoría de especialistas en RCM, llamados facilitadores, son los responsables o patrocinadores para asegurar que cada análisis sea debidamente planeado, brindando el apoyo directivo y logístico apropiado, van revisando el proceso y deben asegurar que: desplazar a la derecha
 1. Que se realice un buen análisis de RCM en el nivel correcto, establecer claramente y definir los límites del sistema. Que no se pase por alto ningún ítem y sean debidamente registrados los resultados de los análisis.
 2. Que cada miembro del equipo comprenda y aplique correctamente los procesos de RCM.
 3. Que se llegue a un consenso rápido por parte del equipo, de manera organizada y sin que se pierda el entusiasmo individual de cada colaborador.
 4. Que los análisis progresen razonablemente rápido y dentro de los tiempos establecidos.

3.2 RESULTADO ESPERADO DEL RCM AL APLICARLO EN EL MANTENIMIENTO DE PLANTA DE FERTILIZANTES.

El mantenimiento actualmente aplicado en los equipos productivos de la planta de fertilizante, como ya se comentó está basado en un diseño básico de un plan de mantenimiento preventivo consistente en el seguimiento de una rutina de mantenimiento de frecuencia preestablecida y de resultados dependientes del

análisis particular de cada especialista de mantenimiento, teniendo en cuenta para la base de su diseño las recomendaciones del fabricante, la experiencia de los técnicos de mantenimiento y un plan de mantenimiento predictivo consistente en la utilización de equipos dedicados al monitoreo de vibraciones en equipos, inspecciones a equipo estático y uso de pistolas infrarrojas y cámaras termográficas para la búsqueda de “puntos calientes” o puntos de diferencial de temperatura en un elemento componente de un equipo así como otras técnicas no enumeradas en esta sección.

Todas estas herramientas están incluidas en un programa de mantenimiento de monitoreo por condición con una frecuencia establecida, posterior a su análisis, arrojan actividades correctivas o preventivas para evitar la presencia de fallas o minimizar el efecto sobre el elemento, de una falla en progreso.

El resultado de este mantenimiento programado y monitoreo de equipos ayuda a sostener una disponibilidad de equipos productivos, pero no evita la ocurrencia de nuevas y diferentes tipos de fallas, que se presentan aleatoriamente en los sistemas productivos dependiendo del tiempo de operación o de forma cíclica debido a condiciones especiales que se presentan cada cierto período de tiempo.

El análisis de falla RCFA que es el método utilizado actualmente para detectar las posibles causas raíces, solo permite corregir el efecto de la falla de manera “reactiva”, y si se tiene un buen registro de datos, aumenta la posibilidad que se evite o minimice su nueva ocurrencia dentro de un período de tiempo es una herramienta que analiza la falla y busca su causa raíz, para poder actuar en forma proactiva al implementar actividades de tipo preventivo, como es tomar medidas de conservación, así como actividades predictivas que impliquen realizar inspecciones de tipo instrumental, para corregir la causa raíz y evitar su ocurrencia nuevamente.

Una vez determinadas estas acciones preventivas y predictivas se deben implementar y aplicar sin que se haya producido falla alguna, pues el objeto de esto es no esperar a que suceda la falla.

Es aquí en este punto en donde se plantea la necesidad de realizar un cambio en el sistema de ejecución de mantenimiento, que permita establecer nuevos parámetros a considerar dentro del programa de mantenimiento y que al tiempo aumente los valores de los tiempo medios entre fallas, (MTBF), al realizar un análisis detallado de un sistema específico dentro de el proceso productivo, teniendo en cuenta su contexto operativo y como puede fallar cada uno de los componentes, correspondiendo este a un mantenimiento de acciones preventivas que establezca nuevos patrones de fallas diferentes a los conocidos en los reportes de fallas históricos y como puede perder su función el equipo o sistema en su totalidad.

Al tener en cuenta estos nuevos parámetros o sucesos de fallas potenciales se pueden plantear nuevas estrategias de mantenimiento adaptados a las posibles nuevas fallas, que hacen de la labor de mantenimiento una actividad más integral y conciente se debe analizar como se puede evitar esas “nuevas” fallas sin descuidar las ya conocidas, logrando de una u otra forma la optimización de los recursos.

Entonces la aplicación del RCM al proceso de la planta de fertilizante tiene como meta esperada:

- ◆ Determinar un plan estratégico para el mantenimiento preventivo con el fin de incrementar los índices de disponibilidad y confiabilidad de la Planta de fertilizantes que actualmente está en 80% y 85% respectivamente.
- ◆ Evaluar las proporciones de las actuales estrategias de mantenimiento implementadas (correctivo 40%, predictivo 30% y preventivo 30%) corresponde a las definidas posterior al análisis del RCM.
- ◆ Disminuir los efectos de los eventos que potencialmente puedan ocurrir.
- ◆ Identificar mediante una metodología consistente, las funciones críticas que puedan afectar la productividad de la planta.
- ◆ Disminuir los fallos que pueden tener consecuencias en la seguridad e integridad ambiental, actualmente del total de fallos de mantenimiento el 3% han tenido efectos ambientales y/o seguridad.
- ◆ Disminuir las acciones correctivas no efectivas que ocasionan aumento de costo, actualmente del total de fallos en el año de estudio, el 5% de las acciones no han sido costo efectivo.
- ◆ Determinar las oportunidades de mejora de la integridad y control de riesgos asociados con la operación de los equipos.
- ◆ Obtener la información que permita identificar y prevenir los riesgos asociados a los cambios operacionales y estructurar los requerimientos para mantener una dinámica de mejoramiento continuo.

Aplicando correctamente RCM en los sistemas de mantenimiento ya existentes se reducen considerablemente las tareas rutinarias entre un 40% a un 70% (*). Si se utiliza para desarrollar un nuevo plan de mantenimiento la carga de trabajo de este será más baja que si se realiza por métodos tradicionales de prueba y error.

(*) Dato tomado de curso RCM2 Aladon 2003

Otros logros teóricos esperados de la implementación del RCM no solo al proceso en planta de fertilizantes sino en otras plantas.

- ◆ Mayor motivación del personal: RCM logra aumentar el sentido de pertenencia de los integrantes del equipo de análisis, por que les permite entender mejor el contexto operacional de los activos, analizar mejor los problemas o fallas que se presentan, a dar soluciones más duraderas y contundentes que perduren en el tiempo.
- ◆ Mejor trabajo en equipo: El lenguaje técnico y sencillo que maneja el RCM permite que sea entendido en todos los niveles por todos los integrantes. Da una mayor y mejor capacidad de entendimiento acerca de lo que se puede lograr con el mantenimiento y lo que no se puede hacer. Además de que se puede hacer para lograr los resultados y alcanzar los objetivos.

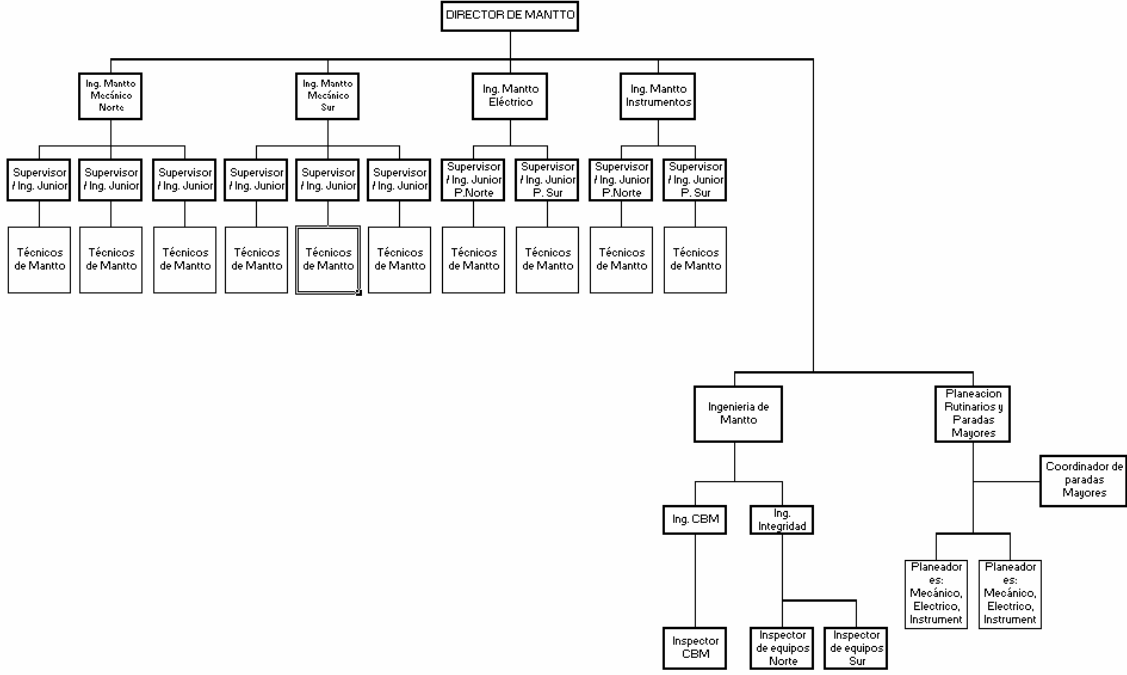
RCM provee y facilita un efectivo sistema de pasos que se pueden trabajar al tiempo e involucrar y comprometer a todos los miembros del equipo. Esto da resultados rápidos que si son enfocados y aplicados correctamente se justifican en si mismo en poco tiempo. Se transforma la visión que se tiene del mantenimiento mismo, los requerimientos para el mantenimiento de los activos físicos ya existentes y el resultado es un mantenimiento más costo-efectivo, más armonioso y exitoso.

3.3. NUEVO ORGANIGRAMA PROPUESTO.

De acuerdo a lo analizado en el organigrama existente, una de las debilidades que tiene el sistema es que los planeadores están asignados a cada jefe de área o especialidad, lo que no permite un control objetivo de la realización acorde con lo programado previamente, siendo esto motivo de pérdida de información valiosa que no ayudaría a reflejar la realidad del cumplimiento de los mantenimientos propuestos, siendo esto un punto de mejora del sistema.

En la figura 14, se puede observar la propuesta de separar los planeadores de la ejecución del mantenimiento, creando una nueva sección dentro del mantenimiento llamado planeación de rutinarios y paradas de planta, el cual se encargaría de la planeación y programación de todas las actividades semanales y se incluye la preparación de las actividades a realizar en paradas de plantas mayores, logrando con esto el control total de la planeación y ser veedores del cumplimiento de las tareas asignadas a cada especialidad dentro del tiempo y oportunidad de la intervención del equipo a mantener.

Figura 14. Organigrama de mantenimiento propuesto para la planta de fertilizantes.



4. IMPLEMENTACION DEL RCM EN PLANTA DE FERTILIZANTES

El éxito de una correcta implementación de un proceso RCM, se basa en que se dedique 100% del tiempo laboral de un grupo interdisciplinario, lo cual requiere de que exista plena disposición por parte del cuerpo directivo para que durante esta actividad, que puede durar meses, no se separe del grupo ningún miembro como tal, para que sea efectivo el tiempo de dedicación y no se generen interrupciones debido a fallas en el sistema productivo o inconvenientes administrativos que vaya en contra del cronograma de trabajo previo establecido.

Previo a la iniciación de las actividades referidas al análisis de sistemas a través de la metodología del RCM se requiere definir los equipos que serán materia de análisis dependiendo de su importancia en el proceso productivo o de la criticidad de cada equipo dentro del sistema productivo. La tabla 7, muestra el tiempo de trabajo requerido para cada especialidad según el plan de mantenimiento RCM.

Tabla 7. Recurso humano requerido para análisis RCM en Planta de Fertilizantes.

ROL	PLANTA DE FERTILIZANTES HORAS
FACILITADOR	629
OPERADOR	77
TECNICO MECANICO	308
TECNICO ELECTRICO	245
TECNICO INSTRUMENTOS	287

Para tal fin se requiere que esté definida la criticidad de los equipos productivos que involucran consigo sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos para de esta forma realizar el cronograma definitivo para el desarrollo de la metodología.

El estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM, para ABOCOL se desarrolla aplicando la metodología de RCM 2 desarrollada por ALADON y el Software RCM Cost V3.

El RCMCost es un programa capaz de construir un modelo que representa la planta a la cual se le aplicará el análisis usando RCM. Provee algoritmos de simulación para predecir costos de mantenimiento en un período de tiempo establecido, los requerimientos de personal técnico, los riesgos en seguridad y del medio ambiente, también identifica modos críticos de falla y compara los costos por efectos de seguridad y los beneficios operacionales a intervalos diferentes de mantenimiento.

El programa no decide cuál estrategia de mantenimiento o combinación de estrategias se debe adoptar, solo da los parámetros de costos y actividades a realizar para que el usuario determine cual es la mas aplicable a los equipos motivos de análisis.

4.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es un estudio semicuantitativo de los eventos de fallas posibles en los activos y el ordenamiento de estos de acuerdo con la gravedad de las consecuencias.

- ◆ Crítico: Categoría donde se ubican los activos cuya función es primaria para llevar acabo el proceso productivo o los consecuencias de falla pueden provocar graves daños a la salud o medio ambiente.
- ◆ Semicrítico: Categoría donde se ubican los activos que no cumplen funciones primarias o causan graves daños pero su indisponibilidad en el tiempo puede llevar a interferir con el proceso productivo
- ◆ No Crítico: Categoría donde se ubican los equipos con funciones de soporte o alternativas que no generan grandes impactos en el proceso o tiene posibilidad de ser remplazados por otros.

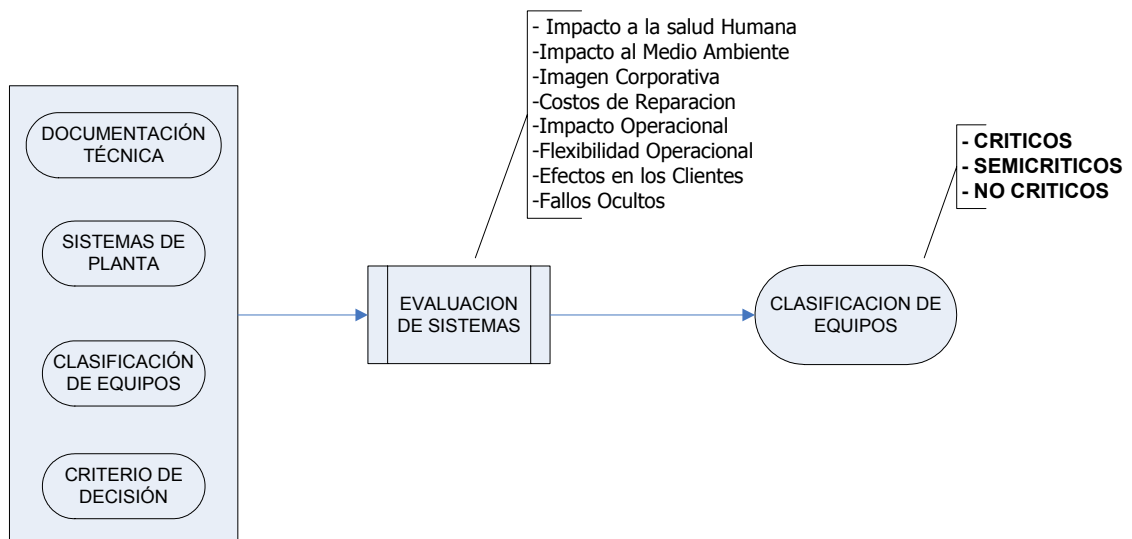
Mediante el estudio de la criticidad se analiza y se evalúan los siguientes aspectos:

- ◆ Impacto a la Salud Humana
- ◆ Impacto al Medio Ambiente
- ◆ Imagen Corporativa

- ◆ Costos de Reparación
- ◆ Impacto Operacional
- ◆ Flexibilidad Operacional
- ◆ Efectos en los Clientes (Calidad)
- ◆ Fallos Ocultos

El diagrama del proceso para el establecimiento de criticidad de sistemas o equipos, se puede observar en la figura 15.

Figura 15. Diagrama del proceso para el establecimiento de la criticidad de sistemas o equipos.



En el modelo se debe hacer inicialmente una revisión completa de la documentación técnica de cada sistema o equipo a fin de entender su complejidad, se clasifica la planta por sistemas de acuerdo a su función, se numeran los equipos de cada sistema asignando un consecutivo, se selecciona el criterio de decisión (ver tabla 8 - 15) y la metodología para el análisis de impactos o consecuencias.

Se evalúan las posibles consecuencias de las fallas para cada equipo de acuerdo a los pesos de cada una de las categorías.

-Calificación de la criticidad: La metodología a seguir para la evaluación de criticidad se basa en la calificación de fallas potenciales de cada uno de los activos en base a las siguientes matrices:

Tabla 8. Factores para establecer criticidad de equipos por impacto a la salud humana.

IMPACTO A LA SALUD HUMANA	
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más Personas	20
Afecta a más de cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	10
Afecta de dos a cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal	3
Afecta a una Persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
No afecta	0

Tabla 9. Factores para establecer criticidad de equipos por impacto al medio ambiente

IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE	
Contaminación grave no controlable, afecta los recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible.	20
Contaminación grave controlable, afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años.	10
Contaminación no controlable con limpieza, afecta de manera leve el MA y reversible a corto plazo (menos de seis meses), no afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema.	3
Contaminación leve y controlable con limpieza o contención local. No daña el ecosistema.	1
No hay contaminación	0

Tabla 10. Factores para establecer criticidad de equipos por impacto a la imagen corporativa.

IMAGEN CORPORATIVA	
Conocimiento Internacional, afecta credibilidad de clientes, puede ser irreversible.	4
Conocimiento Nacional, afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos.	3
Conocimiento sector Bolívar, afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos.	2
Conocimiento Local Mamonal, no afecta credibilidad de clientes.	1
Conocimiento solo en la Empresa	0

Tabla 11. Factores para establecer criticidad de equipos por costos de reparación.

COSTOS DE REPARACIÓN (PERDIDAS ECONÓMICAS)	
Mayor a US 1'000.000	4
Entre US 250.000 y 1'000.000	3
Entre US 20.000 y 250.000	2
Entre 1000 y 20.000	1
No tiene costos asociados	0

Tabla 12. Factores para establecer criticidad de equipos por impacto operacional

IMPACTO OPERACIONAL	
Parada inmediata de toda la producción	10
Parada de área de planta y tiene repercusión en otras áreas	8
Impacta en niveles de producción.	6
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad.	4
No genera ningún efecto significativo sobre la producción	1

Tabla 13. Factores para establecer criticidad de equipos por flexibilidad operacional.

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4
Hay opción de función o repuesto compartido	2
Función o repuesto disponible	1

Tabla 14. Factores para establecer criticidad de equipos por efectos en los clientes.

EFFECTOS EN LOS CLIENTES, CALIDAD	
No afecta la imagen de la empresa, producto se reprocesa.	0
No afecta la imagen de la empresa, producto a reprocesar al interior de la Planta de fertilizantes < 200 Toneladas	1
Producto no conforme sale de la Planta de fertilizantes, Afecta la credibilidad de los clientes y entes reguladores, se maneja con argumentos	2
Afecta la credibilidad de los clientes, se debe recuperar producto del mercado con inversión < USD 500.000	3
Perdida total de credibilidad por parte de los clientes	4

Tabla 15. Factores para establecer criticidad de equipos por fallas ocultas.

FALLOS OCULTOS	
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4
Existe una baja posibilidad de que la falla SÍ sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0

La clasificación de criticidad se da como resultado de la aplicación de la siguiente fórmula:

Consecuencia = Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional + Impacto a la Salud Humana + Impacto al Medio Ambiente + Imagen Corporativa + Efectos en los Clientes + Costos de Reparación + Fallos Ocultos

Consecuencia = IOxFO+IS+IMA+IC+EC+CR+FO

Del puntaje total obtenido se aplica el siguiente criterio, ver tabla 16.

Tabla 16. Rangos para establecer criticidad.

RANGO
>=43 CRITICO <64
>30 SEMICRITICO <43
NO CRITICO =<30

Los valores obtenidos para cada sistema que se desea analizar se registrarán en la tabla 17.

La criticidad antes hallada será la pauta para definir la estrategia y prioridad del mantenimiento dentro del programa global de cuidado de activos. Esta será la entrada del proceso de confiabilidad para así determinar las prácticas de mantenimiento más adecuada.

Ver Anexo A donde se presenta el resultado del análisis realizado para la determinación de la criticidad de equipos la cual necesitó de la participación de personal operativo, jefe u operador de área y del personal de mantenimiento quienes se encargan de la ejecución de los programas de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. En la tabla 18 se extrae el listado de equipos clasificados como críticos.

Definido los equipos críticos en los sistemas productivos, se realiza el listado de los equipos pertenecientes al sistema eléctrico para establecer los que serán objeto de estudio, para el caso de la Planta de fertilizantes, estos equipos eléctricos se relacionan en cuanto a su contexto operacional directamente a los motores eléctricos que realizan el trabajo de movimiento de equipos, e indirectamente los interruptores de potencia, transformadores de potencia, sistemas de control y protección (arrancadores en Centros de control de motores) bancos de baterías cargadores de baterías y sistema de puesta a tierra.

Tabla 17. Determinación de equipos críticos en Planta de fertilizantes.

EQUIPO	Impacto Operacional (IO)	Valor	Flexibilidad Operacional (FO)	Valor	Impacto a la Seguridad (IS)	Valor	Impacto al Medio Ambiente (IMA)	Valor	Imagen Corporativa (IC)	Valor	Efectos en los Clientes (EC)	Valor	Costos de Reparación (CR)	Valor	Fallos Ocultos (FO)	Valor	TOTAL	CRITICIDAD
SC-B101	Parada de área de planta y tiene repercusión en otras áreas	8	No existe opción de producción y no existe función de repuesto	8	Afecta a una Persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	4	No hay contaminación	1	Conocimiento solo en la Empresa	0	Producto no conforme sale de Abocol. Afecta la credibilidad de los clientes y entes reguladores, se maneja con argumentos	0	Entre US 20 000 y 250.000	2	No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0	37	EQUIPO SEMICRITICO
SC-B102	Parada inmediata de toda la producción	10	No existe opción de producción y no existe función de repuesto	10	Afecta a una Persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	4	No hay contaminación	1	Conocimiento solo en la Empresa	0	Producto no conforme sale de Abocol. Afecta la credibilidad de los clientes y entes reguladores, se maneja con argumentos	0	Entre 1000 y 20.000	2	No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0	44	EQUIPO CRITICO
SC-B103	Parada inmediata de toda la producción	10	No existe opción de producción y no existe función de repuesto	10	Afecta a una Persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	4	No hay contaminación	1	Conocimiento solo en la Empresa	0	Producto no conforme sale de Abocol. Afecta la credibilidad de los clientes y entes reguladores, se maneja con argumentos	0	Entre 1000 y 20.000	2	No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0	44	EQUIPO CRITICO

Tabla 18. Resumen final: listado de equipos críticos en Planta de fertilizantes.

ITEM	ETIQUETA DEL EQUIPO	DESCRIPCION DEL EQUIPO
1	SC-R501	REACTOR ACIDULACION
2	SC-R502	REACTOR ACIDULACION
3	SC-R503	REACTOR ACIDULACION
4	SC-R504	REACTOR ACIDULACION
5	SC-TK501	TANQUE DE SLURRY
6	SC- ME 101	TAMBOR GRANULADOR
7	SC- ME 102	TAMBOR SECADOR
8	SC-ME103	TAMBOR RECUBRIDOR
9	SC-R101	NEUTRALIZADOR
10	SC-R102	NEUTRALIZADOR
11	SC- CV 102	BANDA TRANSPORTADORA SALIDA DEL ME-102
12	SC- CV 103	BANDA TRANSPORTADORA DE RECICLO
13	SC-CV104	TRANSP.REGULADOR DE RECICLO Y DE ALIMENTACION DE PRODUCTO A LA SC-102
14	SC-CV105	TRANSPORTADOR DE PRODUCTO. TERMINADO. (BASC.)
15	SC-CV308	TRANSPORTADOR DE PRODUCTO TERMINADO
16	SC-CV302	TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS
17	SC-CV303	TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS
18	SC-WC101	BANDA PESADORA MATERIAS PRIMAS
19	SC-WC102	BANDA PESADORA MATERIAS PRIMAS
20	SC-WC103	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CAOLÍN
21	SC-L101	ELEVADOR DEL CV-103
22	SC-L102	ELEVADOR DE PRODUCTO A ZARANDAS
23	SC-L103	ELEVADOR DE PRODUCTO TERMINADO AL ME-103
24	SC-L104	ELEVADOR A TOLVAS DE MATERIA PRIMA
25	SC- CR 101B	MOLINO DE MARTILLOS
26	SC- CR 101A	MOLINO DE MARTILLOS
27	SC-SC 101 A	ZARANDA DE PROCESOS
28	SC-SC 101 C	ZARANDA DE PROCESOS
29	SC-SC 101 D	ZARANDA DE PROCESOS
30	SC- B 104	VENTILADOR AXIAL DE H-101
31	SC-B105	VENTILADOR EXTRACCION AIRE DEL LECHO FLUIDO
32	SC-B106	VENTILADOR EXTRACCION AIRE DEL LECHO FLUIDO
33	SC-B107	VENTILADOR DE GASES DEL V-101 AL V-102
34	SC - B 502 A	VENTILADOR DE ME-102 ME 102
35	SC - B 502 B	VENTILADOR EXTRACCION GASES DE RACCION R-503/4
36	SC-P110	RECIRCULACION DE NITRATO AMONIO AL 83%
37	SC-P604	BOMBA NITRATO DE AMONIO
38	SC-SC102B	ZARANDA DE AFINO
39	SC-P101	BOMBA RECIRCULACION T-103
40	SC-H101	HORNO SECADOR DE FERTILIZANTE

Para obtener buenos resultados en la aplicación de la metodología se requiere de personal formado en RCM que participará en el proceso de análisis, bien sea con la ayuda del facilitador o experto del tema quien haya recibido la capacitación y certificación por parte de un ente autorizado, quien sirva de multiplicador del tema ante el personal elegido, o por capacitación a nivel global del grupo.

4.2. EQUIPO DE TRABAJO

Para la realización del estudio de los equipo utilizando la estrategia RCM se establece la necesidad que se cree un grupo multidisciplinario quienes se encargarán de aplicar los pasos para responder *las siete preguntas* que plantea la metodología.

Para el análisis global de los sistemas productivos en la planta de fertilizantes, el equipo queda conformado por:

- ◆ Un técnico electricista con experiencia superior a 5 años en la planta
- ◆ Un técnico mecánico con experiencia superior a 5 años en la planta
- ◆ Un técnico instrumentista con experiencia superior a 5 años en la planta
- ◆ Un operador de planta con experiencia superior a 5 años en la planta
- ◆ Un Ingeniero del área de mantenimiento (o del área productiva) con el conocimiento de la herramienta que actúe como facilitador durante el proceso de análisis.
- ◆ Un Ingeniero del área productiva quien validará la información al final de cada sesión.

Las sesiones deben ser semanales y estas deben realizarse en un sitio específico, un salón de reuniones con condiciones para la realización del RCM, en horario laboral de acuerdo a lo establecido por el empleador.

Para poder cubrir las actividades rutinarias que realizan el personal seleccionado, quienes deben estar dedicado tiempo completo al análisis del RCM, es necesario realizar un costeo de los recursos involucrados en el proceso de ejecución. En este caso los costos estimados se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Costos de la implementación del RCM en planta de fertilizantes.

COSTOS IMPLEMENTACION RCM			
ROL	Horas	\$/hora	\$/hora
Facilitador	800	\$ 25.000,00	\$ 20.000.000,00
Operador	680	\$ 5.133,33	\$ 3.490.666,67
Técnico Mecánico	680	\$ 7.500,00	\$ 5.100.000,00
Técnico Eléctrico	680	\$ 7.500,00	\$ 5.100.000,00
Técnico Instrumentación	680	\$ 7.500,00	\$ 5.100.000,00
Ingenieros con revisiones ocasionales	160	\$ 25.000,00	\$ 4.000.000,00
SOFTWARE RCM COST			\$ 8.500.000,00
Capacitación del facilitador en RCM y RCMcost			\$ 3.000.000,00
TOTAL			\$ 54.290.666,67

Posterior a cada sesión se compromete a los ingenieros de cada especialidad (Eléctrico, Mecánico, Instrumentos) a la revisión y validación de la información elaborada por el grupo formado y si existe algún análisis que consideren requiere de una revisión particular, esta se realizará en la próxima reunión en donde se debate el tema y se concreta la solución final.

En la tabla 20 se hace un resumen de los grupos de trabajos que se encargarán de de la realización del proceso RCM.

Posterior a cada sesión se compromete a los ingenieros de cada especialidad (Eléctrico, Mecánico, Instrumentos) a la revisión y validación de la información elaborada por el grupo formado y si existe algún análisis que consideren requiere de una revisión particular esta se realiza en el marco de la próxima reunión en donde se debate el tema y se concreta la solución final.

Se realiza un plan o cronograma a seguir en donde se planteen los temas o sistemas a analizar y se definan los entregables (documentos) al final de cada proceso. Ver plan establecido en la tabla 21.

Tabla 20. Establecimiento de los grupos de trabajo.

GRUPOS DE TRABAJO			
CANT.	CARGO	RESPONSABILIDAD	ASISTENCIA
1	Facilitador RCM	Conducir el proceso de RCM, Citar a reunión al grupo de trabajo, Recopilar, procesar y cargar información de los análisis para evaluación de RCM Cost en Bogotá	Obligatoria
1	Jefe de producción	Soportar el grupo de análisis, validar información, designar operador de soporte	Ocasional
1	Ingeniero de área	Validar información, designar a supervisor mecánico, soporte al grupo de análisis	Ocasional
1	Operador de área	Asistir a las reuniones, soporte al grupo de análisis	Obligatoria
1	Supervisor/ Técnico mecánico	Asistir a las reuniones, miembro activo del grupo de análisis	Obligatoria
2	Supervisor/ Técnico Eléctrico	Asistir a las reuniones, miembro activo del grupo de análisis	Obligatoria
3	Supervisor/ Técnico Instrumentos	Asistir a las reuniones, miembro activo del grupo de análisis	Obligatoria
1	Inspector mecánico	Soporte al grupo de análisis, busca información	Ocasional
1	Ing de Confabilidad	Soporte al grupo de análisis, entrega información relacionada	Ocasional
1	Soporte de compras	Evalua y entrega costos de repuestos	Ocasional

ACTIVIDAD	TIEMPO EFECTIVO
Documentación	2 hrs
Reunión análisis	4 hrs
Alimentación data	2 hrs
TIEMPO EFECTIVO	8 hrs

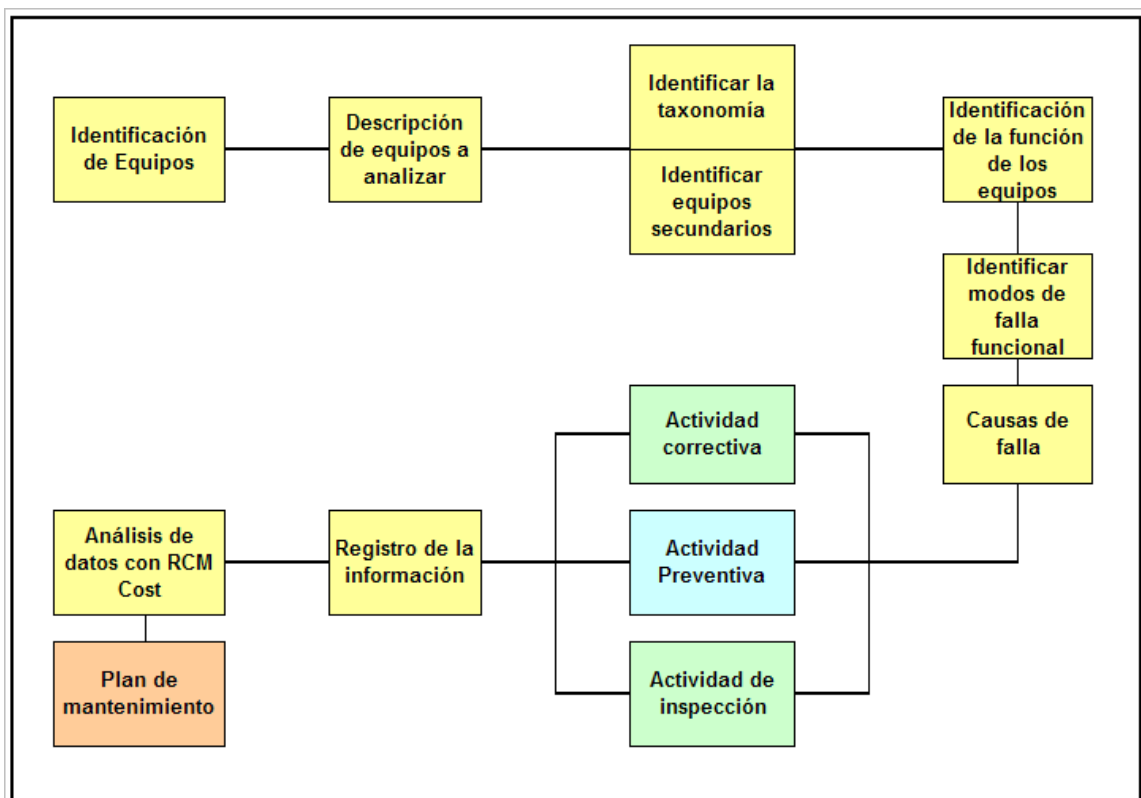
Tabla 21. Plan de ejecución de metodología del RCM en planta de fertilizantes.

PLAN DE EJECUCIÓN DE RCM EN PLANTA DE FERTILIZANTES				
ITEM	ACTIVIDAD	INICIA	FINALIZA	DIAS EFECTIVOS
1	Pre-selección de equipos críticos			2
2	Priorización de equipos críticos para análisis			2
3	Definición de los grupos de trabajo			2
4	Charla introducción de metodología RCM para G de T.			1
5	Ejecución de RCM con soporte Confiabilidad Bogotá			2
6	Ejecución RCM planta NPK (lista abajo TOTAL)			85
7	REACTOR ACIDULACION			2
8	REACTOR ACIDULACION			2
9	REACTOR ACIDULACION			2
10	REACTOR ACIDULACION			2
11	TANQUE DE SLURRY			3
12	TAMBOR GRANULADOR			2
13	TAMBOR SECADOR			3
14	TAMBOR RECUBRIDOR			1
15	NEUTRALIZADOR			2
16	NEUTRALIZADOR			1
17	BANDA TRANSPORTADORA SALIDA DEL ME-102			3
18	BANDA TRANSPORTADORA DE RECICLO			1
19	TRANSP.REGULADOR DE RECICLO Y DE ALIMENTACION DE PRODUCTO A LA SC-102			3
20	TRANSPORTADOR DE PRODUCTO. TERMINADO. (BASC.)			3
21	TRANSPORTADOR DE PRODUCTO TERMINADO			3
22	TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS			2
23	TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS			2
24	BANDA PESADORA MATERIAS PRIMAS			4
25	BANDA PESADORA MATERIAS PRIMAS			2
26	BANDA PESADORA ANTIAPELMAZANTE SOLIDO			2
27	ELEVADOR DEL CV-103			4
28	ELEVADOR DE PRODUCTO A ZARANDAS			2
29	ELEVADOR DE PRODUCTO TERMINADO AL ME-103			2
30	ELEVADOR A TOLVAS DE MATERIA PRIMA			2
31	MOLINO DE MARTILLOS			3
32	MOLINO DE MARTILLOS			3
33	ZARANDA DE PROCESOS			3
34	ZARANDA DE PROCESOS			1
35	ZARANDA DE PROCESOS			1
36	VENTILADOR AXIAL DE H-101			3
37	VENTILADOR EXTRACCION AIRE DEL LECHO FLUIDO			3
38	VENTILADOR EXTRACCION AIRE DEL LECHO FLUIDO			1
39	VENTILADOR DE GASES DEL V-101 AL V-102			1
40	VENTILADOR DE ME-102 ME 102			1
41	VENTILADOR EXTRACCION GASES DE RACCION R-503/4			2
42	RECIRCULACION DE NITRATO AMONIO AL 83%			3
43	BOMBA NITRATO DE AMONIO			2
44	Belt tripper CV303			1
45	ZARANDA DE AFINO			1
46	BOMBA RECIRCULACION T-103			1
47	Validación de resultados en campo RCM de NPK			4

4.3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EJECUCIÓN DE LOS ANALISIS RCM

Para la implementación de la estrategia del RCM en la planta de fertilizantes se debe seguir la secuencia del proceso como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Proceso de un Análisis de RCM



- ◆ Identificar los equipos que intervienen en el análisis de la estrategia.
- ◆ Descripción técnica del equipo que se analizará.
- ◆ Identificar taxonomía del equipo de acuerdo a como se tiene definido en Sistema de información de mantenimiento (software Prysma)
- ◆ Identificar equipos secundarios que pertenezcan a equipo principal, acorde a la conformación del sistema de clasificación o taxonomía de Sistema de información de mantenimiento (software Prysma).

- ◆ Identificar para cada equipo las funciones que cumplen en el sistema.
- ◆ Para cada función se debe identificar el modo de falla funcional y para cada modo de falla funcional se identifican causas de falla de acuerdo a como estén consignadas en Sistema de información de mantenimiento.
- ◆ Para cada causa de falla se definirá una acción correctiva, una acción preventiva (si aplica) y una acción de inspección (si aplica). A una causa de falla se le puede aplicar simultáneamente una acción preventiva y una de inspección o una cualquiera de las dos adicional a la acción correctiva.
- ◆ Cada una de las acciones de mantenimiento preventivo, correctivo y de inspección deberán tener asociada la rata de falla de la causa, la descripción de la tarea a ejecutar, el tiempo de duración de la parada, el tiempo de duración de la acción de mantenimiento, repuestos, etc. La rata de falla preferiblemente se dará con base en históricos de mantenimiento de tal manera que se puedan definir las curvas weibull asociadas. En caso de no tener dato histórico se usará la forma exponencial: No. De fallas en la vida definida para el análisis de RCM.

Para efectos de utilizar el software RCMCost se requiere de limitar un período o tiempo de vida esperado del ejercicio a realizar, en este caso particular se definió en 3 años: 26290 horas

Para el costeo de las actividades o tareas de mantenimientos a realizar se deben considerar el tiempo de ejecución y de logística utilizado por los técnicos (Permiso de trabajo + búsqueda de herramienta + búsqueda de repuestos, etc.)

La información de repuesto requeridos en la actividad definidas, debe incluir el código de repuestos en el sistema contable de manejo de elementos de almacén y el costo unitario en pesos colombianos para alimentar el costo final de la actividad definida en la estrategia.

El análisis RCM para plantas de fertilizantes, incluye 7 sistemas principales seleccionados conjuntamente entre operaciones y mantenimiento teniendo en cuenta el impacto por eventos históricos y criticidad en los procesos que son: Clasificación, Trituración, Granulación, Secado, Acidulación, Neutralización y Alimentación de materia prima y que están descrito en el aparte 1.3 de este documento.

4.4. RESULTADO DE LA IMPLEMENTACION DEL RCM.

Como resultado de la aplicación del estudio se tienen los siguientes productos:

4.4.1. La estrategia de mantenimiento: para los equipos que componen cada uno de los sistemas analizados a través de una base de datos con el listado de actividades de mantenimiento intrusivo de tipos preventivo y actividades de inspección que deberán ser incorporadas al sistema de información en mantenimiento se muestra en la tabla 23.

De acuerdo a los resultados del análisis de los sistemas a su contexto operacional (ver Anexo B) se resume a continuación en la tabla 22 las funciones analizadas, el número de causas de las fallas encontradas de las funciones analizadas y la cantidad de acciones tanto preventivas como de inspección resultantes.

Tabla 22. Resumen del RCM aplicado.

SISTEMA	No. DE FUNCIONES ANALIZADAS	No. CAUSAS DE FALLAS TOTALES ANALIZADAS DE LAS FUNCIONES	ACCIONES PREVENTIVAS RESULTANTES	ACCIONES DE INSPECCION RESULTANTES
Clarificación	69	326	110	73
Trituración	20	97	25	33
Granulación	45	228	106	87
Secado	44	190	78	34
Acidulación	50	230	55	51
Neutralización	38	194	51	57
Alimentación de materia prima	52	225	81	16

Tabla 23. Estrategias de mantenimiento resultantes de aplicación del RCM a equipos de Planta de fertilizantes.

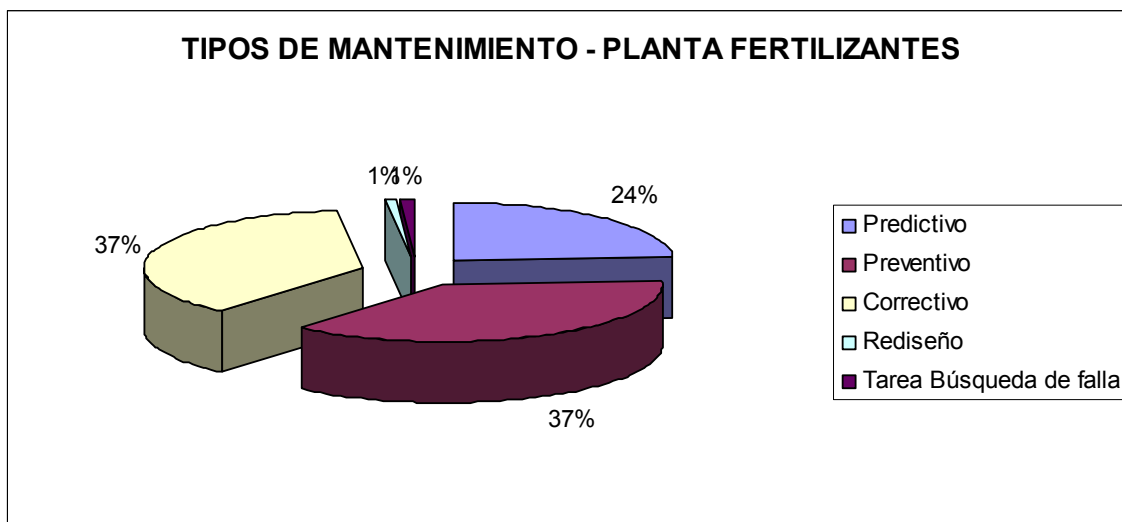
EQUIPO O SISTEMA	DESCRIPCION DE LA FUNCION PRIMARIA	DESCRIPCION DE FALLA FUNCIONAL	ESPECIALIDAD ELECTRICA	SE REQUIERE DE UN MANTO PREVENTIVO	DESCRIPCION DE LA TAREA PREVENTIVA	DURACION	INTERVALO EN SEMANAS	SE REQUIERE DE INSPECCION	DESCRIPCION DE LA TAREA DE INSPECCION	DURACION	INTERVALO EN SEMANAS	DESCRIPCION DE LA TAREA CORRECTIVA	DURACION
1.1.10SC-TS101 Tolva de MAP	SC-TS101: Descargar MAP en la banda pesadora SC-W/C101 mediante la descarga SC-TS101	SC-TS101 No permite descargar MAP a la pesadora SC-W/C101	ELE	si	Realizar limpieza de bobinas y reapretar bornes de los cariones de descarga de aire de la tolva SC-TS101	1	24	No	Revisar estado de la bobina solenoide de los cariones de descarga de aire de la tolva SC-TS101	1	4	Cambiar de la bobina solenoide. Verificar estado de los cables de alimentación.	1
1.1.10SC-TS101 Tolva de MAP	SC-TS101: Descargar MAP en la banda pesadora SC-W/C101 mediante la descarga SC-TS101	SC-TS101 No permite descargar MAP a la pesadora SC-W/C101	ELE	si	Revisar apriete contactos de los relés ubicados en el controlador	2	4	si	Inspección visual cada seis meses de los relés	1	24	Cambiar relé en el controlador de los cariones de disparo a la descarga de la SC-TS101	0.5
1.1.8SC-P501E-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501E-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501E-M 30HP	No Gira el motor SC-P501E-M	ELE	si	Limpieza mensual del motor, ventilador del motor y limpieza del pulsador del motor SC-P501E-M	1	4	No		1	4	Cambiar el motor por stand by	5
1.1.8SC-P501E-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501E-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501E-M 30HP	No Gira el motor SC-P501E-M	ELE	si	Limpieza bandejas portacables	1	24	No	Inspección visual de bandejas portacables	1	4	Reemplazar cable dañado del motor SC-P501E-M	8
1.1.8SC-P501E-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501E-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501E-M 30HP	No Gira el motor SC-P501E-M	ELE	si	Realizar reaprete de bornes	1	52	si	Realizar pruebas termográficas	1	24	Cambiar el contactor de el motor SC-P501E-M	2
1.1.8SC-P501E-M Motor de la bomba de Slurry	Variador de AC-P501C-M: Regular veloc. del motor de la SC-P501C	No regula veloc. del motor de la SC-P501C	ELE	si	Limpieza (copiado de hidrogeno) anualmente del variador de velocidad	0,25	52	No		1	4	Reconfiguración de la programación del variador	3
1.1.7SC-P501AB-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501 AB-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501AB-M 60HP	No Gira el motor SC-P501AB-M	ELE	si	Realizar limpieza incluyendo el ventilador del motor SC-P501AB-M. Realizar limpieza del pulsador arrancador del mismo	1	4	No		1	4	Cambiar el motor por stand by	5
1.1.7SC-P501AB-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501 AB-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501AB-M 60HP	No Gira el motor SC-P501AB-M	ELE	si	Realizar limpieza de bandejas portacables	1	24	No	Inspección visual de bandejas portacables	1	4	Reemplazar cable de alimentación del motor	8

Tabla 23. Estrategias de mantenimiento resultantes de la aplicación del RCM a equipos de Planta de fertilizantes, (continuación).

EQUIPO O SISTEMA	DESCRIPCION DE LA FUNCION PRIMARIA	DESCRIPCION DE FALLA FUNCIONAL	ESPECIALIDAD ELECTRICA	SE REQUIERE DE UN MANTO PREVENTIVO	DESCRIPCION DE LA TAREA PREVENTIVA	DURACION	INTERVALO EN SEMANAS	SE REQUIERE DE INSPECCION	DESCRIPCION DE LA TAREA DE INSPECCION	DURACION	INTERVALO EN SEMANAS	DESCRIPCION DE LA TAREA CORRECTIVA	DURACION
1.1.7SC-P501AB-M Motor de la bomba de Slurry	SC-P501 AB-M: Girar con vel. variable entre 200 y 900 rpm mediante los motores SC-P501AB-M 60HP	No Gira el motor SC-P501AB-M	ELE	si	Realizar reapriete de bormas	1	52	si	Realizar pruebas termograficas	1	24	Cambiar el contactor de el motor SC-P501AB-M	2
1.1.7SC-P501AB-M Motor de la bomba de Slurry	Variador del SC-P501AB-M: Regular veloc. del motor SC-P501AB-M	No regula veloc. del motor de la SC-P501AB-M	ELE	si	Limpieza (soplado de hidrogeno) del variador de velocidad	0,25	52	No		1	4	Reconfiguración de la programación del variador	3
1.1.7SC-P501AB-M Motor de la bomba de Slurry	Variador del SC-P501AB-M: Regular veloc. del motor SC-P501AB-M	No regula veloc. del motor de la SC-P501AB-M	ELE	si	Limpieza (soplado de hidrogeno) del variador de velocidad	1,5	4	No	Inspeccionar visualmente	0,25	4	Cambiar el variador	12
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Hacer girar eje de set de manillos en sentido antihorario a 1750 RPM mediante el motor SC-CR10	Motor SC-ME101-M no hace girar el eje del set de manillos del triturador SC-CR10 (eje 1)	ELE	si	Limpieza de bandejas portacable	3	52	No	Inspección visual del estado del cableado del triturador SC-CR10TA-M2	0,5	4	Reemplazo del cable de poetencia dañado en el motor SC-ME101-M2	16
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Hacer girar eje de set de manillos en sentido antihorario a 1750 RPM mediante el motor SC-CR10	Motor SC-ME101-M no hace girar el eje del set de manillos del triturador SC-CR10TA (eje 1)	ELE	si	Realizar limpieza del ventilador, limpieza del pulsador de arranque del motor SC-ME101-M	1	4	No		0	4	Reemplazo del ventilador del motor SC-ME101-M2	1
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Hacer girar eje de set de manillos en sentido antihorario a 1750 RPM mediante el motor SC-CR10	Motor SC-ME101-M no hace girar el eje del set de manillos del triturador SC-CR10TA (eje 1)	ELE	si	Reapriete de los bormes del contactor del motor SC-ME101-M en la subestación de zona seca	1	52	si	Inspección termográfica del contactor en el cubículo del motor SC-ME101-M en la subestación de zona seca	1	24	Reemplazo del contactor del motor SC-ME101-M2	4
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Hacer girar eje de set de manillos en sentido antihorario a 1750 RPM mediante el motor SC-CR10	Motor SC-ME101-M no hace girar el eje del set de manillos del triturador SC-CR10TA (eje 1)	ELE	si	Reapriete bormes del relé de motor SC-ME101-M en la subestación	0,5	52	No		1	4	Cambiar el relé	1
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Regular veloc. del motor	No regula veloc. del motor de la SC-ME101-M	ELE	si	Limpieza (soplado de hidrogeno) del variador de velocidad (Un año).	0,25	52	No		1	4	Reconfiguración de la programación del variador	3
1.1.5SC-ME101-M Motor del granulador	SC-ME101-M: Regular veloc. del motor	No regula veloc. del motor de la SC-ME101-M	ELE	si	Limpieza y ajustar bormes del variador (mensualmente)	1,5	4	No	Inspeccionar visualmente	0,25	4	Cambiar el variador	12

En cuanto al comparativo de las diferentes estrategias de mantenimiento tales como preventivo, correctivo y predictivo se obtuvo la información mostrada en la figura 17.

Figura 17. Porcentajes de tipos de mantenimiento al final del análisis de RCM.



Como se observa en la figura 17 un 37% corresponde a mantenimiento correctivo, es decir de acuerdo con los resultados obtenidos del RCM, la relación costo eficacia para estas acciones, destinadas a ciertos equipos operativos es más conveniente dejar que la falla ocurra y simplemente se interviene para corregirlas. En cuanto al mantenimiento preventivo que actualmente implementado que corresponde a un 30% se observa en la figura que posterior al análisis del RCM este pasa a un 37% debido a la inclusión de equipos de seguridad y control proceso que producen impactos a la seguridad operacional y al ambiente debían aumentar su confiabilidad.

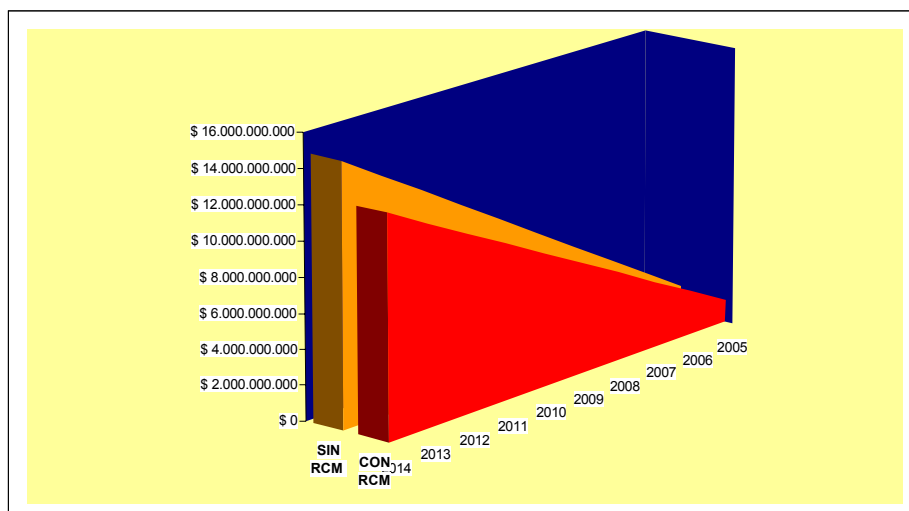
Las tareas de rediseño contribuyen con un pequeño porcentaje ya que RCM no es una metodología especializada para encontrar deficiencias en el diseño de los procesos sino determinar condiciones que potencialmente pueden afectar la función de los equipos. Un pequeño porcentaje corresponde también a tareas de búsqueda de fallas, varias de ellas relacionadas con eventos que pueden afectar la seguridad de las personas.

4.4.2. Resultados del análisis con RCM cost: Con el fin de tener un acercamiento a los costos que se generan en las diferentes estrategias de mantenimiento se utilizó el software RCM cost que tiene las siguientes consideraciones:

- ◆ Se realiza un análisis de costos en un escenario de 10 años.
- ◆ El valor de tiempo medio entre fallas es extraída de la información registrada en base de datos de limitaciones; y en algunos casos se apela a la experiencia del equipo de trabajo conformado para el estudio.
- ◆ El lucro cesante para la Planta de fertilizantes es de \$ 5'400.000 por hora considerando un margen del 24% (180.000 \$/Ton) y una rata promedio de 30 Ton/Hr.
- ◆ La estrategia de costos se modelará con un patrón de falla exponencial y en la medida en que se establezcan otros parámetros cuando se tengan datos más precisos de MTBF se correrá el análisis mediante otros patrones Weibull, normal, etc.

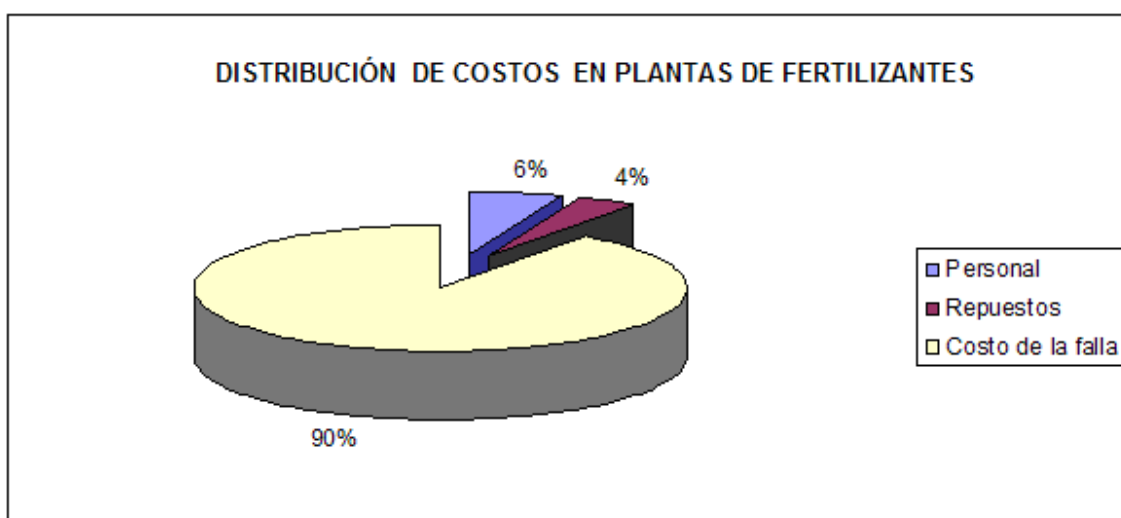
Con este sistema se obtuvo la información que se observa en la figura 18, que muestra un incremento de los costos del 47% de mantenimiento en la proyección de 15 años en caso de no implementar las estrategia mantenimiento obtenidas del análisis de RCM.

Figura 18. Perfil de costos para la planta de fertilizantes con y sin RCM.



Con el análisis del sistema de RCMcost, se puede concluir (ver figura 19) que los mayores costos esta asociados a los costos de la falla y que solo el 6.2% corresponden a recurso humano y el 3.9% a repuestos en NPK, ya que por el tipo de proceso en la planta de fertilizante un fallo en los equipos tiene un efecto directo sobre la producción, lo cual incrementa los costos por fallos en los equipos por tiempos improductivos.

Figura 19. Distribución de costos según eventos de fallas en plantas de fertilizantes.

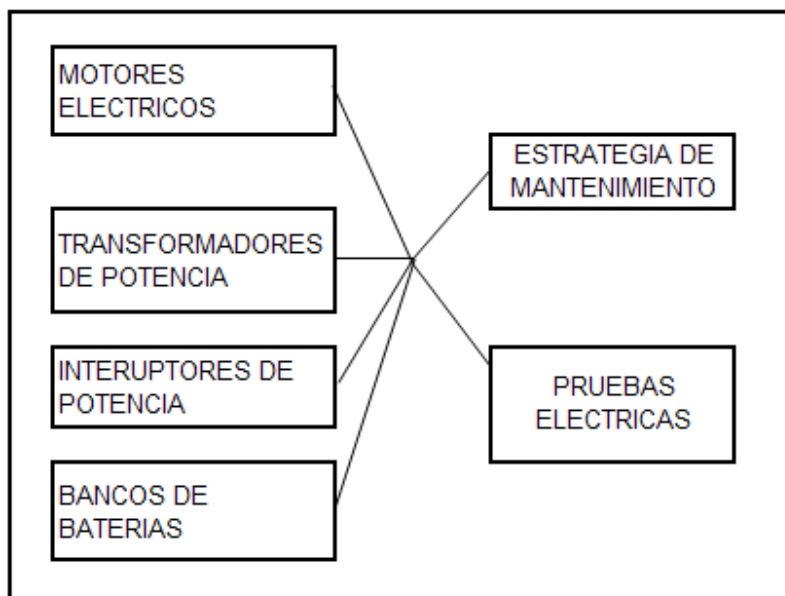


Lo anterior confirma que las ventajas de los resultados obtenidos con la implementación de la metodología en este tipo de proceso son considerablemente apreciables en el mediano plazo.

5. MANTENIMIENTO RECOMENDADO A APLICAR A EQUIPO ELÉCTRICO EN PLANTA DE FERTILIZANTES.

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM a los equipos productivos de la planta de fertilizante, se obtiene como resultado una estrategia de mantenimiento que incluye las actividades y frecuencias propuestas, las cuales se mostrarán en este capítulo según el esquema que se presenta en la figura 20.

Figura 20. Esquema de mantenimientos sugeridos a equipos eléctricos en plantas de fertilizantes.



5.1. MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA Y MEDIA TENSIÓN.

El Concepto básico de un motor eléctrico que se encuentra en los libros, enciclopedias o diccionarios dice que es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

5.1.1. Plan de mantenimiento y actividades propuestas

El mantenimiento de los motores eléctricos, adecuadamente aplicado, se resume a una inspección periódica en cuanto a los niveles de aislamiento, elevación de temperatura, desgastes excesivos, correcta lubricación de los rodamientos y eventuales exámenes en el ventilador, para verificar el correcto flujo de aire.

En plantas de fertilizantes estos equipos son sometidos a condiciones ambientales extremas debido a que el fertilizante compuesto es altamente corrosivo y abrasivo, haciendo de la labor de mantenimiento un punto crítico dentro de la disponibilidad del sistema productivo en su totalidad.

La frecuencia con que se deben realizar las inspecciones, depende del tipo de motor y de las condiciones del local de aplicación del motor. Dentro de una variedad de pruebas que se le pueden realizar a un motor eléctrico, desde su fabricación, puesta en servicio y tiempo de vida útil se deben resaltar las siguientes, ver tabla 24.

5.1.2. Pruebas eléctricas generales.

- a. Amperaje: Por fase tanto en vacío como con carga y corriente de arranque.
- b. Temperatura: En vacío y con carga.
- c. Resistencia ohmica del bobinado.
- d. Resistencia de aislamiento.
- e. Índice de absorción.
- f. Índice de polarización.
- g. Rodamientos.
- h. Vibraciones.
- i. Ventilación.

Tabla 24. Estrategia de Mantenimiento a ser aplicado a motores eléctricos, en plantas de fertilizantes.

MOTORES ELECTRICOS SEGÚN ACTIVIDADES DE MANTTO											
ITEM	ACTIVIDAD	Motores eléctricos V.A.C. de inducción 2400V / 4160V	Frecuencia de la actividad	Motores eléctricos V.A.C. de inducción 440V P. Norte	Frecuencia de la actividad	Motores eléctricos V.A.C. de inducción 440V P. Sur	Frecuencia de la actividad	Motores eléctricos V.A.C. Sincronos 4160V	Frecuencia de la actividad	Motores eléctricos V/DC	Frecuencia de la actividad
1	Megueo (si está Desenergizado)	X	p.p	X	p.p	X	p.p	X	p.p	X	p.p
2	Medición de voltaje (2400V / 4160V, si tiene indicador en panel frontal)	X	Q	X	Q	X	Q	X	M	X	Q
3	Medición de Amperaje (2400V / 4160V, si tiene indicador en panel frontal)	X	Q	X	Q	X	Q	X	M	X	Q
4	Medición de temperatura	X	Q	X	Q	X	S	X	M	X	Q
5	Estado de carcaza	X	Q	X	Q	X	S		M	X	Q
6	Limpieza canales de refrigeración					X	S				
7	Verifica Inspección sistema Motor - excitación							X	S		
8	Mantenimiento a colector Incluyendo ranuras entre delgas									X	A
9	Verificación Inspección visual a estado anillos deslizante							X	S		
10	Verificación Inspección visual a estado escobilla							X	S	X	S
11	Reemplazo escobilla							X	SCON	X	A
12	Temperatura "cabezote" sistema excitación del rotor							X	S		
13	Reemplazo de rodamientos	X	CBM	X	CBM	X	CBM			X	CBM
14	Rebobinado de estator	X	CORR	X	CORR	X	CORR	X	CORR	X	CORR
15	Lavado, secado Horneado de devanado rotórico							X	P.P.M	X	A
16	Lavado, secado Horneado de devanado Estatórico	X	A	X	P.P.M	X	A	X	P.P.M	X	A
17	Medición de tolerancias en el eje	X	DCR	X	DCR	X	DCR			X	DCR
18	Medición de tolerancias en tapas	X	DCR	X	DCR	X	DCR			X	DCR
19	Pintura	X	A	X	P.P.M	X	A	X	P.P.M	X	A
20	Termografía	X	A	X	A	X	A	X	P.P.M	X	A

P.P	Parada de planta
P.P.M	Parada de planta Mayor
Q	Quincenal
S	Semanal
A	Anual
CBM	Según recomendación de CBM
CORR	Mantto correctivo
DCR	Durante cambio de rodamiento
SCON	Según Condición

-Amperaje: Por fase tanto en vacío como con carga y corriente de arranque, Mediante el uso de una pinza amperimétrica ajustado su rango de acuerdo a la medida aproximada esperada en el motor, esta actividad se realiza en el centro de control de motores donde se ubica el arrancador respectivo, solo aplica para motores hasta 460V, los motores de 2400V deben tener instalados en el panel frontal un amperímetro que facilite la toma de este dato, sin riesgo de afectar al técnico que la realice.

-Temperatura: El calentamiento es una consecuencia de las pérdidas que se verifican a cada transformación de la energía, que, en el caso del motor, es la transformación de energía eléctrica en energía mecánica (pérdidas en el cobre, en el hierro, cojinetes, anillos, conmutador, etc. que generan calor en estas partes).

Se utiliza una pistola infrarroja o térmica que ajustando su emisividad en 0.95 (metales, fundiciones) se realiza un barrido al conjunto motor anotando el valor tomado en un solo punto, ubicado al centro lateral del mismo. Durante las termografías con cámara se debe observar el conjunto teniendo en cuenta las diferencias de temperatura entre las áreas donde se alojan los rodamientos.

En las plantas de fertilizantes se produce la acumulación del polvo fertilizante entre los canales de refrigeración propios del motor que pueden llegar a taponarlo y evitar la circulación del aire proveniente del ventilador instalado en el eje del rotor del motor, logrando esto el aumento de la temperatura, razón por la cual se debe implementar en la ruta de mantenimiento la limpieza de estos canales en la carcasa del motor semanalmente en los equipos críticos.

El aumento de temperatura no debe pasar los límites de operación segura de la máquina, se han establecido y normalizado las temperaturas nominales para el devanado de un motor de acuerdo con el tipo de aislamiento. A continuación se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. Clases de aislamiento en motores eléctricos.

Clase de aislamiento	A	B	F	H
Punto caliente máximo °C	105	130	155	180
Tolerancia para punto caliente °C	15	20	25	30
Temperatura límite observable °C	90	110	130	150
Temperatura ambiente estándar °C	40	40	40	40
Elevación límite sobre la ambiente °C	50	70	90	110
Clasificación usual, elevación en °C	40	60	75	90

Resistencia de aislamiento: Realizar periódicamente pruebas de la resistencia de aislamiento y llevar un registro cuidadoso, son de gran ayuda para conseguir una gráfica exacta de la condición del aislamiento. La prueba de resistencia de aislamiento no solo tiene como propósito indicar si el equipo está mal, sino que también indica si el aislamiento del equipo está decayendo.

La resistencia de muchos tipos de aislamientos puede variar ampliamente con la temperatura. Los datos de resistencia obtenidos deben ser corregidos a la temperatura estándar para la clase del equipo bajo prueba.

Al aplicar cualquiera de estos voltajes constantes de prueba se presentará una corriente de fuga a través de dos partes, sobre la superficie del conductor (constante) y dentro del volumen del aislamiento.

Dentro del volumen del aislamiento, se presentan tres tipos de corriente.

- Una corriente capacitiva (I_c) alta, pero de corta duración.
- Una corriente de absorción dieléctrica (I_a), decae a cero con el tiempo.
- Una corriente de conducción de falla (I_f), constante.

Tal como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Aplicación de un probador de aislamiento y las corrientes de fuga

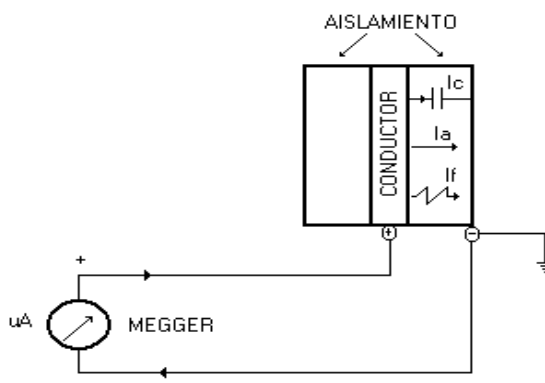
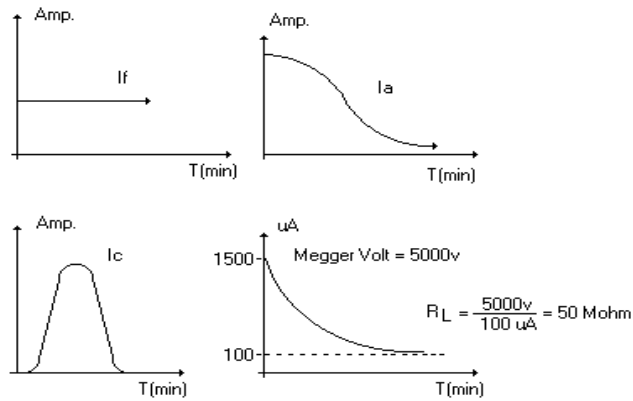


Figura 21. (continuación)



La resistencia de aislamiento es la razón entre el voltaje DC de prueba aplicado y la corriente de fuga medida en cualquier momento dado. Este valor de resistencia se obtiene directamente con el megger.

Los valores obtenidos de resistencia deben ser corregidos a una temperatura estándar de 40°C. Esto puede ser realizado mediante la siguiente ecuación:

$$R_{40^{\circ}C} = K_t \times R_t$$

Donde $R_{40^{\circ}C}$ es la resistencia de aislamiento en $M\Omega$ corregida a 40 °C, R_t es la resistencia de aislamiento en $M\Omega$ medida con el megger y K_t es el coeficiente de corrección por temperatura que se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Coeficiente de corrección por temperatura, en motores eléctricos.

Coef. (Kt)	°C	Coef. (Kt)	°C
0.06	55	3	0
0.09	60	4	5
0.12	65	6	10
0.18	70	8	15
0.24	75	12	20
0.35	80	16	25
0.48	85	23	30
0.7	90	32	35
0.96	95	43	40
1.5	100	64	45
1.97	105	90	50

Índice de absorción. Esta prueba se basa en la comparación de las características de absorción de un buen aislamiento contra las características de absorción de humedad u otro contaminante de un material aislante.

Durante la prueba, un voltaje de prueba es aplicado durante un periodo largo de tiempo, usualmente 10 minutos. El operador toma lecturas con el megger cada 10 segundos durante el primer minuto, y luego cada minuto hasta los 10 minutos.

Al momento de tomar las lecturas de resistencia, la razón entre la lectura tomada a los 60 segundos y la lectura tomada a los 30 segundos, indica el índice dieléctrico de absorción.

$$\frac{\text{Resistencia de aislamiento a } 60''}{\text{Resistencia de aislamiento a } 30''} = \text{Índice de absorción dieléctrica}$$

Esta prueba es útil para aumentar la precisión de pruebas puntuales. En general se debe obtener un índice de absorción de 1.25 a 2, o más es mucho mejor.

Un índice de absorción por debajo de 1.1 es peligroso, entre 1.1 y 1.25 es cuestionable, entre 1.25 y 1.4 es razonable, entre 1.4 y 2 es bueno, y por encima de 2 es excelente. Un índice de absorción por debajo de los indicados indica que el equipo necesita mantenimiento.

Se debe recordar que una prueba de aislamiento DC puede ser usada para una prueba de aceptación, pero es más comúnmente usada para chequear la deterioración gradual del equipo durante su tiempo de vida útil. Se debe consultar al fabricante del equipo para pruebas específicas o para el voltaje de prueba si no se sabe.

La resistencia de aislamiento decrece con la humedad, temperatura y la edad, y debe ser registrado a través del tiempo a una temperatura dada y corregida.

Índice de polarización: Un buen aislamiento debe mostrar un incremento continuo en la resistencia durante los 10 o 15 minutos típicos de prueba.

-Índice de polarización: El índice de polarización se obtiene de la división entre el valor leído al décimo minuto y el valor leído al primer minuto.

$$\frac{\text{Resistencia de aislamiento a } 10'}{\text{Resistencia de aislamiento a } 1'} = \text{Índice de polarización}$$

El índice de polarización indica la calidad o estado en que se encuentra el aislamiento. Un bajo índice de polarización usualmente indica exceso de humedad y contaminación. En grandes motores o generadores valore tan altos como 10 son esperados.

Algunos valores mínimos del índice de polarización para máquinas AC o DC según la clase de aislamiento son (ver Tabla 27):

Tabla 27. Valores mínimos de índice de polarización.

Clase de aislamiento	A	B	C
Índice de polarización	1.5	2.0	2.0

A continuación se presentan valores mínimos del índice de absorción y del índice de polarización que indican en que condiciones se encuentra el sistema de aislamiento, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Comparativo de índice de polarización y de absorción.

	10 minutos: 1 minuto.	60 seg. : 30 seg.
Peligroso	Menor de 1.0	Menor de 1.1
Pobre	1.0 a 1.4	1.1
Cuestionable	1.5 a 1.9	1.1 a 1.24
Aceptable	2.0 a 2.9	1.25 a 1.3
Bueno	3.0 a 4.0	1.4 a 1.6
Excelente	Sobre 4.0	Sobre 1.6

Los resultados se anotarán en el formato que se muestra en la tabla 29.

Rodamientos: Los rodamientos son unos elementos de máquina relativamente robustos y de larga duración, especialmente si están montados correctamente y se cuidan bien. El manejo correcto en el montaje y desmontaje no implica nada extraordinario: exigen limpieza, precisión y atención, pero esto es totalmente normal tratándose de máquinas.

El mantenimiento de los rodamientos significa, en pocas palabras, protegerlos de suciedad y humedad y vigilar que estén bien lubricados.

Tabla 29. Formato para registrar los datos obtenidos de las pruebas de resistencia

		MANTENIMIENTO ELECTRICO PLANTA FERTILIZANTES						FECHA		
		REGISTRO DE MEGUEO DE MOTORES PARA ARRANQUE DE PLANTA						AAAA	MM	DD
ITEM	TAG NAME	H.P.	TENS.(V)	Hora	R.aisl	ITEM	TAG NAME	H.P.	Hora	R.aisl
1	A-101	3	230/460			41	ME-103	60		
2	A-501	12	440			42	P-101-A	60		
3	A-502	18	440			43	P-101-B	60		
4	A-503	100	440			44	P-102-A	150		
5	A-504	100	440			45	P-102-B	150		
6	A-505	18	440			46	P-103-A	100		
7	A-507	40	440			47	P-103-B	100		
8	B-101	7.5	230/460			48	P-107-A	100		
9	B-102	150	460			49	P-107-B	100		
10	B-103	125	460			50	P-503	30		
11	B-104	25	460			51	P-501A	75		
12	B-105	100	460			52	P-501B	75		
13	B-106	75	460			53	P-501-D	30		
14	B-107	350	2400			54	P-501-E	30		
15	B-502A	400	2400			55	P-604	20		
16	B-502C	400	2400			56	P-605	10		
17	CR-101-A1	75	230/460			57	P-606	5		
18	CR-101-A2	75	220/440			58	SC-101-A	34		
19	CR-101-B1	75	220/440			59	SC-101-B	34		
20	CR-101-B2	75	220/440			60	SF-101-A-1	6		
21	CR-102	30	460			61	SF-101-A-2	6		
22	CV-101	15	230/460			62	SF-101-B-1	6		
23	CV-102	12	480			63	SF-101-B-2	6		
24	CV-103	15	220/440			64	SC-102	17		
25	CV-104	6.6	220/440			65	SF-102-1	0.68		
26	CV-105	6.5	480			66	SF-102-2	0.68		
27	CV-106	7.5	230/460			67	SP-101	1		
28	DV-101	0.34	240/480			68	WC-101	2.4		
29	DV-104	0.34	240/480			69	WC-102	1		
30	FL4	1	230/460			70	WC-103	1		
31	L-101	60	480			71	30-BE2	18		
32	L-102	89.1	480			72	40-C1A	75		
33	L-103	36	480			73	40-C1B	75		
34	L-104	30	480			74	40-CT1A	30		
35	L-101-M	6.2	480			75	40-CT1B	30		
36	L-102-M	12	480							
37	L-103-M	5	480							
38	L-104-M	3.5	480							
39	ME-101	178	480							
40	ME-102	364.5	2400							

REALIZA		OBSERVACIONES _____ _____ _____
REVISA		

La eficiencia de la protección depende de la configuración de la disposición, del estado de las obturaciones y del lubricante. La bondad de la lubricación depende del lubricante empleado y de la forma en que se emplea.

De acuerdo a los análisis de causa raíz efectuados a las fallas de los motores, se puede concluir que el 80% de esas fallas se deben a daños en los rodamientos, siendo la causa más generalizada la de contaminación de la grasa interna de los rodamientos por el producto proveniente del proceso productivo.

Para minimizar estas fallas se recomienda el empleo de sellos en los escudo o tapas alojamientos del tipo Improseal que da un hermetismo confiable a los interiores del motor protegiéndolo contra el ingreso de partículas de polvo fertilizante.

Al tiempo se debe utilizar rodamientos con sellos o tapas no-metálicas, tipo RS en la marca SKF, que soportan el ataque corrosivo del polvo fertilizante, logrando con esto aumentar la protección de los elementos rodantes y la grasa circundante al interior del rodamiento.

Todos los rodamientos pueden en principio lubricarse o bien con grasa o bien con aceite. Los rodamientos axiales de rodillos a rótula exigen no obstante normalmente lubricación por aceite; grasa puede usarse solamente a muy bajas velocidades. En cuanto a los rodamientos con placas de protección o de obturación, se llenan de grasa en el momento de fabricación y no necesitan lubricarse nunca.

Determinante para la elección del lubricante es en primer lugar el campo de temperaturas y la velocidad a la que trabaja el rodamiento. En condiciones normales de funcionamiento se puede generalmente emplear grasa, la cual se mantiene más fácilmente en el rodamiento en comparación con el aceite; la grasa contribuye también por sí misma a proteger el rodamiento contra la humedad e impurezas.

La lubricación con aceite se emplea comúnmente cuando las temperaturas de funcionamiento o las velocidades son elevadas, cuando interesa disipar calor de la aplicación y cuando los elementos contiguos de la máquina están lubricados por aceite. En las tablas de rodamientos se especifican los límites de velocidad que rigen para lubricación por grasa y aceite respectivamente.

Se debe establecer un plan de lubricación de rodamiento de motores que poseen graseras de entrada y salida o desfogue que permitan el cambio de la grasa interna del rodamiento, desplazando la gras vieja usada.

Se debe tener especial cuidado en verificar el estado de la boquilla de inserción de la grasa nueva y de que realmente está desfogando favoreciendo la lubricación

total del rodamiento y evitando el ingreso de la misma al interior del motor (devanado estático).

La información de lubricación de rodamientos se debe almacenar en la tabla 30.

-Análisis de vibraciones: La vibración puede definirse como el movimiento de una masa desde su punto de reposo a lo largo de todas las posiciones y de regreso al punto de reposo, en donde está lista para repetir el ciclo. El tiempo que requiere para esto es su periodo, y el número de repeticiones de este ciclo en un tiempo dado es su frecuencia.

La severidad de la vibración se determina por la amplitud, o el máximo movimiento de su velocidad pico y de su aceleración pico. El ángulo de fase a menudo se mide cuando se compara el movimiento de una pieza que está vibrando con respecto a una referencia fija. Las máquinas vibrarán a lo largo de un amplio espectro de frecuencias. El análisis de vibración en el monitoreo de condiciones se realiza comparando las características de las vibraciones de la operación actual con respecto a una línea de referencia, la cual se midió cuando se sabía que la máquina estaba operando normalmente. La selección de los parámetros específicos a medir depende principalmente de la frecuencia de la vibración.

Las técnicas para el análisis de vibraciones pueden utilizarse para vigilar el rendimiento del equipo mecánico que gira, realiza movimiento recíproco o tiene otras acciones dinámicas. Entre los ejemplos se incluyen las cajas de engranes, los rodamientos, motores, bombas, ventiladores, generadores, transportadores, máquinas recíprocas y máquinas indexadoras.

Las vibraciones perjudican ciertas operaciones como el buen funcionamiento de un generador, de una bomba de suministro y evacuación de cualquier fluido, el esmerilado y el aserrado, y no se pueden permitir. Sin embargo, se hará mención a las vibraciones del motor o de la máquina impulsada que se refleja en el funcionamiento del motor.

Las vibraciones excesivas del motor son dañinas en varios aspectos, pues tienden a producir falla estructural del aislamiento debilitándolo, aflojando los cinchos, amarres y cuñas, permitiendo la vibración de los devanados.

Las vibraciones producen chisporroteo en los dispositivos colectores de corriente o escobillas, generando quemaduras en el conmutador o en los anillos colectores y su efecto es acumulativo, agravando el problema. Las vibraciones debilitan el cobre y el alambre puede romperse en cualquier momento. Las vibraciones también producen desgastes prematuros en los rodamientos.

Tabla 30. Formato de lubricación de motores eléctricos.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELECTRICO LUBRICACION DE MOTORES			FECHA		
					AAAA	MM	DD
ITEM	TAG NAME	H.P.	RODAMIENTOS	MARCA	FECHA LUBRICACION		
1	B-101	7.5	6208ZZJC3/6206ZZJC3	US MOTORS			
2	B-102	150	6313JC3/6220JC3	US MOTORS			
3	B-103	125	6313JC3/6220JC3	US MOTORS			
4	B-105	100	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
5	B-106	75	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
6	B-107	350	6226JC3/6226JC3	US MOTORS			
7	CR-101-A1	75	6213C3/6213C3	US MOTORS			
8	CV-101	15	6208ZZJC3/6208ZZJC3	US MOTORS			
9	CV-102	15	6208ZZJC3/6206ZZJC3	US MOTORS			
10	L-102	89.1	NU314/6314C3				
11	ME-101	240	N218/6218 C3				
12	ME-102	364.5	U222C3/6219C3	EFACEC			
13	ME-103	60	6313C3/6212C3	US MOTORS			
14	P-101-A	60	6313ZZJC3/6212ZZJC3	US MOTORS			
15	P-101-B	60	6313ZZJC3/6212ZZJC3	US MOTORS			
16	P-102-A	150	6313JC3/6220JC3	US MOTORS			
17	P-102-B	150	6313JC3/6220JC3	US MOTORS			
18	P-103-A	100	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
19	P-103-B	100	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
20	P-107-A	100	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
21	P-107-B	100	6217JC3/6214JC3	US MOTORS			
22	P-501-E	30	6310ZZJC3/6210ZZJC3	US MOTORS			
23	P-605	10	6208ZZJC3/6206ZZJC3	US MOTORS			
24	A-507	40	6313ZZC3/6212ZZC3				
25	C-501	150	6318ZZC3/6318ZZC3				
26	40-P5A	125	NU318/6316C3				
27	B-502 A	400	NU320ECJ/6315ZZC3				
28	B-502 C	400	NU320ECJ/6315ZZC3				
REALIZA				OBSERVACIONES:			
REvisa							

Las vibraciones se pueden producir por desbalanceo eléctrico o mecánico en el motor, desalineación mecánica entre el motor y la carga o por la propia carga, así como por cimentos deficientes que pueden vibrar o aumentar el grado de desbalanceo.

La vibración en los motores conectados con su carga se puede determinar con instrumentos mecánicos, electrónico o del tipo de lengüeta, que suelen estar calibrados en milésimas de pulgada de desplazamiento.

A continuación en la tabla 31, se presentan algunos límites de vibración de acuerdo a las RPM.

Tabla 31. Valores límites de vibración en motores eléctricos.

VELOCIDAD RPM.	MÁXIMA AMPLITUD PICO A PICO
3000 – 4000	0.001 Pulg.
1500 – 2999	0.0015 Pulg.
1000 - 1499	0.002 Pulg.

Se debe realizar inspección durante la operación del motor detectando si existe obstrucción en la tapa caperuza que impida la circulación adecuada del aire (toma), y durante las actividades de mantenimiento en taller realizar la revisión general y el cambio por un ventilador con balanceo verificado o certificado.

Las acciones de inspección visual y toma de datos se consignan en el siguiente Formato, ver tabla 32.

5.1.3. Mantenimiento en taller de motores eléctricos

El mantenimiento intrusivo del motor de acuerdo a recomendación del inspector de equipo o por detección de un aislamiento en proceso de disminución se debe realizar en taller dedicado con el espacio y las herramientas de desmonte adecuadas tanto en para las piezas metálicas de la carcasa, como para los rodamiento y el ventilador.

Tome lectura de aislamiento al motor después de desconectado y de igual forma a las líneas de la acometida, deje estos valores registrados.

Verifique las tolerancias como:

- Parte externa rodamiento – escudo
- Parte interna rodamiento – eje

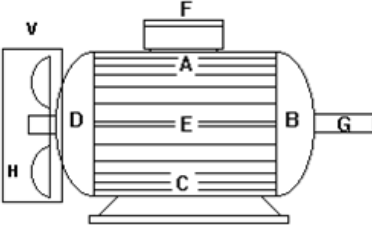
Almacene estos datos en sus respectivos formatos, como la que se muestra en la tabla 33 y compare según lo indicado por manual SKF, de encontrar medidas diferentes a las sugeridas por el manual, consulte con el tornero para que realice maquinado del eje y/o encamisado del alojamiento según sea necesario.

Antes de iniciar el armado del motor nuevamente verifique que el devanado estatórico este completamente limpio lo mismo que el interior del núcleo y verifique el estado de las cuñas, amarres, y demás partes internas, después de haberle tomado su aislamiento se determinará su limpieza dependiendo en las condiciones en que se encuentre. Si solamente tiene polvo se procede a soplarlo con aire seco a una presión no mayor de 30 psi y luego se le pasará trapo limpio sin hilachas. Si se encuentra con grasa o aceite aplíquelo un solvente ya sea con trapo húmedo o con una pistola a presión no mayor 20 psi. Después de esta limpieza se empieza a calentar con bombillos infrarrojos colocados a una distancia de 15 a 20 CMS del bobinado estatórico aproximadamente a una temperatura no mayor de 100°C.

Después del secado se mide su aislamiento, el cual debe ser mayor de 1.4 Megaohmios, se deja enfriar hasta 40°C y se procede a echar una capa de barniz renania A y B o Gliptal con pistola a presión por todo el bobinado.

Terminado el mantenimiento se le tomará el aislamiento y la lectura se comparará con la que dio inicialmente antes del mantenimiento. Con su aislamiento correcto > 1.4 Megohmios.

Tabla 33. Reporte de mantenimiento a motor en taller.

		ALIANZA ABOCOL - COLOMBIA		FECHA			
		MANTENIMIENTO ELECTRICO PLANTA _____		AAAA	MM	DD	
		REPORTE DE MANTENIMIENTO TIPO E-3 A MOTOR ELECTRICO					
							
TAG MOTOR	Tolerancia Rod vs tapa delantera B	Tolerancia Rod vs tapa trasera. D	Corriente en vacío				
USO	Diámetro alojamiento rodamiento tapa delantera.	Diámetro alojamiento rodamiento tapa Trasera.	Resistencia de aislamiento				
UBICACIÓN	Diámetro alojamiento rodamiento eje parte delantera.	Diámetro alojamiento rodamiento eje parte Trasera.	Ovalidad rotor zona alojamiento rodamientos				
Comentarios generales acerca del motor:		Observaciones y/o recomendaciones para el mejoramiento del estado del motor					
Cuerpo del motor E							
Tapas B y D							
Caperuza H							
Ventilador V							
Eje G							
Estator							
Cuñas del estator							
Amarres de bobinas							
Estado del cuñero							
Rotor							
Bornera F							
REALIZA		OBSERVACIONES:					
REVISÓ							

5.2. TRANSFORMADOR DE POTENCIA

El transformador es una máquina electromecánica que no tiene partes móviles, el cual transfiere la energía eléctrica de un circuito a otro bajo el principio de inducción electromagnética en el caso ideal la potencia que ingresa es igual a la que sale. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes, manteniendo la frecuencia.

5.2.1. Plan de mantenimiento a transformadores de potencia en plantas de fertilizantes. Ver tabla 34.

Tabla 34. Estrategia de mantenimiento de transformadores de potencia.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA SEGÚN ACTIVIDADES DE MANTTO							
ITEM	ACTIVIDAD	Transformadores enfriados por aceite	Frecuencia de la actividad	Transformadores Secos	Frecuencia de la actividad		
1	Megueo (si está Desenergizado)	X	P.P	X	P.P		
2	Medición de voltaje (13800V / 4160V, si tiene indicador en panel frontal)	X	Q	X	S		
3	Medición de Amperaje (13800V / 4160V, si tiene indicador en panel frontal)	X	Q	X	S		
4	Medición de temperatura	X	Q	X	S		
5	Medición de nivel	X	Q				
6	Medición de presión Nitrógeno-Vacío	X	Q				
7	Estado de cuba y radiadores	X	Q				
8	Toma de muestra de aceite	X	Q				
9	Reposición de nitrógeno alta pureza	X	SCON				
10	Tratamiento del aceite dieléctrico, por termovacío	X	SCON				
11	Lavado, secado Horneado de los devanados primarios y secundarios	X	SCON	X	SCON		
12	Reparación de fugas	X	SCON				
13	Revisión/ limpieza de aisladores	X	P.P	X	P.P		
14	Termografía	X	A	X	A		
15	Retorqueo de conexiones	X	A	X	A		
16	Verificación estado de terminales premoldeados	X	A				
17	Reemplazo de terminales premoldeados	X	SCON				
18	Pintura	X	A	X	A		

Algunas de las pruebas que se hacen en los transformadores se consideran como básicas y algunas otras varían de acuerdo a la condición individual de los transformadores y pueden cambiar de acuerdo al tipo de transformador, por lo que existen distintas formas de clasificación de las pruebas a transformadores, por ejemplo algunos las clasifican en prueba de baja tensión y prueba de alta tensión.

También se pueden agrupar como pruebas preliminares, intermedias y de verificación (Finales).

Las pruebas preliminares se realizan cuando un transformador se ha puesto fuera de servicio para mantenimiento programado o para revisión programada o bien ha tenido alguna falla. Las pruebas se realizan antes de “abrir” el transformador y tienen el propósito general de encontrar el tipo y naturaleza de la falla. Las llamadas pruebas preliminares incluyen:

- ◆ Prueba al aceite del transformador.
- ◆ Medición de la resistencia de aislamiento de los devanados.
- ◆ Medición de la resistencia ohmica de los devanados.
- ◆ Determinación de las características del aislamiento.
- ◆ Prueba de corto circuito.




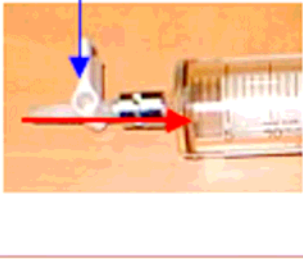
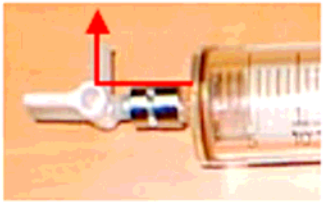
5.2.2. Pruebas al aceite de los transformadores

Mediante el Análisis Dieléctrico y Físicoquímico del Aceite se determina el Porcentaje de Agua en el Papel Aislante, la Calidad Química del Aceite y el Grado de Impregnación de Productos de Oxidación en el Papel Aislante, para diagnosticar el estado del Sistema de Aislamiento Papel-Aceite y poder determinar el procedimiento adecuado de mantenimiento a seguir según la recomendación del Diagnóstico. Previo a este análisis se debe extraer las muestras de aceite las cuales tienen un riguroso procedimiento. Ver tabla 35.

-Análisis físico químico de aceite de transformadores:

-Rigidez dieléctrica – norma ASTM D-877. Es la capacidad del aceite de soportar tensión eléctrica sin fallar. Es útil como PARTE del paquete de pruebas de degradación y es un primer indicio de la presencia de contaminantes tales como agua, impurezas, fibras de celulosa, o partículas conductoras. un alto valor de rigidez dieléctrica no indica un bajo contenido de agua, ni que haya ausencia total de otros contaminantes.

Tabla 35. Procedimiento para toma de muestra de aceite con jeringa 2.

PROCEDIMIENTO	EQUIPOS A UTILIZAR	DIBUJO
<p>1. Marcar debidamente la jeringa, antes de tomar la muestra; procurando en todo momento completar los datos de la etiqueta</p>	<p>1. Jeringas para toma de muestra. 2. Llave de tubo de 14" 3. Llave expansiva de 12" 4. Llaves Cuadrantes 5. Destornillador de Pala Ancha. 6. Conjunto de reducciones de 1/4" a 2" 7. Dispositivo de toma de muestras</p>	 <p style="text-align: center;"><i>JERINGA PARA TOMA DE MUESTRA</i></p>
<p>2. Retire firmemente la válvula de muestreo de aceite del equipo y permita drenar a la vasija recolectora una cantidad de aceite para su limpieza</p>	<p style="text-align: center;">ELEMENTOS DE SEGURIDAD</p>	 <p style="text-align: center;"><i>JERINGA CON REDUCCIONES PARA CONECTAR EN EL TRANSFORMADOR</i></p>
<p>3. Conecte la jeringa con la válvula de tres vías abierta (manija hacia la jeringa), para permitir el flujo de aceite a través de la válvula hacia la vasija recolectora de residuos.</p>	<p>Overol Guantes Botas Dieléctricas Casco *Gafas *Protección Auditiva *Tapabocas</p>	
<p>4. Gire lentamente la manija de la válvula de tres vías hacia la posición de salida del aceite y permita la entrada de 5 a 10 cc de aceite a la jeringa. Inmediatamente después, cierre la válvula de tres vías (posición de la manija hacia la entrada del aceite) y separe la jeringa del dispositivo de acople. Permita que el aceite continúe fluyendo a través de la manguera de acople.</p>	<p style="text-align: center;"><i>MANIJA DE LA VALVULA</i></p> 	 <p style="text-align: center;"><i>FIGURA N° A1- PASO C</i></p>
<p>5. Con la jeringa en posición vertical (manija de la válvula de tres vías hacia arriba), proceda a sacar cualquier burbuja de aire que se entre al aceite presionando cuidadosamente el pistón de la jeringa . Cierre la válvula de tres vías (manija hacia la jeringa) dejando dentro de la jeringa de 1 a 2 cc de aceite. Si se hace necesario evacuar todo el aceite de la jeringa, esto puede ser indicación de una posible</p>		

2. tomado de Manual de procedimientos extracción de aceites de transformadores, Transequipos Ltda. Bogotá

<p>entrada de aire a esta.</p>	 <p style="text-align: center;">PROCESO DE TOMA DE MUESTRA PARA ANALISIS DE CROMATOGRAFIA DE GASES</p>
<p>8. La jeringa con un volumen muerto de aceite y libre de burbujas, es nuevamente conectada al tubo. Para eliminar cualquier posibilidad de que al aire que pueda haber quedado en la válvula ingrese a la jeringa, permita que el aceite nuevamente fluya de la válvula hacia la vasija recolectora de residuos. Figura A1- paso C</p>	
<p>7. Abra la válvula de tres vías y permita que la presión del aceite contenido en el equipo empuje por si solo el pistón de la jeringa hasta que se llene aproximadamente hasta al marca de 30 cc. No succione o maneje el pistón manualmente, debido a que esto puede dar lugar a la formación de burbujas. Figura No A1- paso B</p>	<p>8. Cierre la válvula de tres válvula de tres vías (manija hacia la jeringa) y sepárela del dispositivo de acople (manguera o válvula auxiliar) e inspeccione que no existan burbujas de aire dentro del aceite. Si hay aire presente, descargue el aceite con la jeringa en posición vertical y obtenga otra muestra. Ver Figura A1-paso A</p>

-Contenido de agua – norma ASTM D-1533: Se mide en ppm (partes por millón) mediante el moderno y preciso método de KARL FISHER por TITULACION COULOMETRICA. Esta prueba suple la deficiencia de la rigidez dieléctrica dado que detecta con precisión el contenido total de agua en solución y agua libre, y s considera indispensable dentro del conjunto de pruebas de degradación.

Su principal utilidad radica en el hecho de que podemos calcular el porcentaje aproximado de agua en el papel aislante, teniendo en cuenta la temperatura del aceite en la parte baja del transformador, apoyados en la reciente investigación de S.D. MYERS de USA, y poder determinar la necesidad del secado del transformador. También nos ayuda a calcular el porcentaje de saturación de agua en el aceite para tener una idea del margen de seguridad en cuanto a la posible condensación de agua en partes vitales del transformador.

-Número de neutralización – norma ASTM D-974: Es el valor del peso en miligramos de hidróxido de potasio (koh) requerido para neutralizar la acidez de un gramo de muestra de aceite aislante (mg KOH/g).

Los compuestos ácidos, producto de la degradación del aceite son sustancias polares que inciden en el deterioro del papel aislante, y en condición avanzada se compone de moléculas polimerizadas de alto peso molecular, formado LODOS

afectando de manera de manera más crítica al papel, requiriéndose un MANTENIMIENTO A FONDO del transformador.

-Tensión interfacial – norma ASTM D-971 Es la fuerza de atracción molecular entre el aceite y el agua. Se mide en un tensiómetro de precisión aplicando una fuerza a un anillo de aleación Platino – Iridio, se reporta en Din/cm. Su valor se afecta sensiblemente aun con la presencia de las primeras sustancias polares de degradación que no son de carácter ácido pero que en etapas posteriores del proceso son fundamentales en la formación de dichos ácidos. Por esta razón es una prueba de complemento indispensable a la prueba de número de neutralización; más aún, se interrelacionan estas dos pruebas obteniéndose el índice de calidad (tensión interfacial/número de neutralización), que es de valiosa utilidad en la toma de decisiones sobre el tipo de mantenimiento que debe efectuarse.

-Color – norma ASTM D-1500: Es determinar el color de acuerdo a patrones Standard de la Norma por comparación en un COLORIMETRO. Está asociado al grado de contaminación por acidez del aceite, y complementa los resultados obtenidos en el Número de Neutralización y la tensión interfacial. Su mayor utilidad radica al observar un cambio sensible en corto tiempo.

-Gravedad específica – norma ASTM D-1298: Es el valor adimensional que da la razón entre la masa de un volumen dado de aceite, y la masa de agua para ese mismo volumen. Es un examen rápido para detectar la presencia de contaminantes, y además nos ayuda a determinar el origen del aceite. También se requiere su medición para calcular el factor de corrección de la tensión interfacial leída.

-Recomendaciones para mantenimiento de transformadores: Dependiendo de los resultados de análisis dieléctricos y fisicoquímicos (ADFQ) del aceite aislante, pueden resultar las siguientes alternativas de mantenimiento.

- Tratamiento por termovació y adición de inhibidor. Es el procedimiento preventivo por excelencia y normalmente se recomienda cuando el Índice de calidad (Tensión interfacial/numero de neutralización) empieza a tomar un valor por debajo de 1500, indicio cierto de que se ha iniciado la degradación del aceite formando compuestos polares que mas adelante formaran ácido y lodos. Por tanto, con este tratamiento se puede decidir que congelamos esta condición, y mediante un chequeo anual del contenido de inhibidor y su restitución oportuna, si es que se ha bajado el limite de seguridad garantizada que el transformador nunca tendrá problemas de lodos, asegurándole así su vida útil. Lógicamente este procedimiento se recomienda cuando se cumpla también otra condición y es que el contenido de agua en el papel este en un valor aceptable que no exija un secamiento de la parte activa del transformador.

- Secamiento de la parte activa: Se recomienda ejecutar en sitio procedimiento especializado utilizando vacío sistema Criogénico de muy buena eficiencia. El secamiento se recomienda cuando el contenido de agua en el aceite esta por encima de 30 ppm, lo cual representa el 10% del agua contenida en el sistema total de aislamiento papel aceite, pues el 90% estará en el papel y gracias a los Multiplicadores de MYERS, podemos calcular de manera aproximada el porcentaje de agua en el papel conociendo las ppm de agua en el aceite.
- Lavado y secado con cambio total de aceite. Esta acción se recomienda cuando el índice de calidad esta por debajo de 600 y el volumen de aceite del transformador es demasiado bajo comparado con el volumen de aceite necesario para purgar los equipos.
- Regeneración de aislamiento: Este procedimiento se recomienda cuando se tiene un índice de calidad por debajo de 1000, lo cual quiere decir que ya tenemos lodos en suspensión o depositados, que impregnan el papel y lo atacan en sus propiedades incidiendo directamente en la vida útil del transformador. Por tanto mediante este procedimiento se garantiza una limpieza total del papel, disminuyendo de manera sensible la rata de envejecimiento de este, con una ventaja adicional, que el aceite es recuperado. Es condición que el transformador tenga por lo menos el doble del volumen de aceite requerido para purgar los equipos.
- Regeneración de aislamiento y secado de las partes activas: Cuando tenemos además de la situación que describimos en el punto anterior un alto contenido de agua en el aceite, que representa un alto porcentaje de agua en el papel, se hace necesario que se seque la parte activa del motor.
- Desludificación total: Igual que el procedimiento de regeneración de aislamiento anterior pero con 20 o mas recirculaciones, para casos en que el índice de calidad esta por debajo de 100 (Lodo endurecido en el papel).
- Desludificación total y secado de las partes activas: Igual que el procedimiento de Desludificación pero adicionalmente el transformador un alto porcentaje de agua en el papel se hace necesario secar la parte activa.

Ver resumen de los valores establecidos para determinar el estado de los aceites dieléctricos tabla 36.

Tabla 36: Valores aceptables resultante del análisis físico-químico del aceite dieléctrico de transformadores de potencia.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL ACEITE AISLANTE				
PRUEBA	NORMA	UNIDAD	VALOR OBTENIDO	VALORES ACEPTABLES
1- RIGIDEZ DIELECTRICA	ASTM D-877	KV / 2.5mm		ACEPTABLE ≥ 30 , CUESTIONABLE 25-30, INACEPTABLE < 25
2- TENSION INTERFACIAL	ASTM D-2285	DINAS/CM		ACEPTABLE ≥ 32 , CUESTIONABLE 28 – 31.9, INACEPTABLE < 27.9
3- GRAVEDAD ESPECIFICA	ASTM D-1298			ACEPTABLE 0.84-0.91, CUESTIONABLE < 0.84 , INACEPTABLE > 0.91
4- NUMERO DE NEUTRALIZACIÓN	ASTM D-974	MgKOH/g.		ACEPTABLE ≤ 0.05 , CUESTIONABLE 0.06-0.10, INACEPTABLE > 0.10
5- COLOR	ASTM D-1500			MÁXIMO 4.0
6- CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM D-1533	PPM		ACEPTABLE < 30 , CUESTIONABLE 30-34.9, INACEPTABLE ≥ 35

-Cromatografía de gases en el aceite un diagnóstico predictivo, el análisis de gases disueltos en el aceite, es importante por que permite identificar e interpretar posibles problemas internos en el transformador. Los parámetros básicos del análisis son las cantidades de ciertos gases especiales que se generan, las proporciones relativas de los mismos y su velocidad de aparición. Se puede extraer información directa y valiosa de posibles problemas; puntos calientes, descargas parciales, arcos eléctricos, combustiones internas, envejecimiento, sobrecalentamientos, detectando así posibles fallas incipientes que indican la avería del transformador.

Cromatografía de furáneos: Esta prueba permite identificar la cantidad de furaldehidos en cierta cantidad de muestra de aceite aislante, teóricamente esta sustancia derivados furánicos no se encuentran en el aceite aislante de modo natural a menos que se este presentando una degradación del papel aislante anexo en el transformador. Se pueden usar tratamientos para reducir el grado de humedad, eliminar partículas sólidas, purificar el aceite eliminando productos degradados. Pero para recuperar el papel no existe aun ningún procedimiento, por lo tanto la vida útil del transformador esta sujeta a la vida del papel. Con base en lo anterior los objetivos de esta prueba o técnica son:

- ◆ Monitorear los transformadores en servicio y anticiparse a la falla
- ◆ Supervisar una unidad de operación que se presume tiene falla y esperar el momento crítico para reparar o cambiar
- ◆ Indicar la naturaleza y localización de la falla
- ◆ Asegurarse que un transformador nuevo recién adquirido no sufra ningún tipo de falla durante el tiempo de garantía que da el fabricante.

5.2.3 Pruebas eléctrica para transformadores: Prueba de resistencia de aislamiento: Esta prueba en los transformadores sirve no solo para verificar la calidad del aislamiento en los devanados y carcasa del transformador, sino que también permite verificar el grado de humedad y en ocasiones defectos severos en el aislamiento.

La resistencia de aislamiento se mide por medio de un aparato conocido como megger. El megger consiste de una fuente de alimentación en corriente directa y un sistema de medición. La fuente es un pequeño generador que se puede accionar en forma manual o eléctricamente. El voltaje en las terminales de un megger varía de acuerdo al fabricante ya si se trata de accionamiento manual o eléctrico, pero en general se pueden encontrar en forma comercial megger de 250 volts, 1000 volts y 2500 volts. La escala del instrumento está graduada para leer resistencias de aislamiento en el rango de 0 a 10,000 mega ohmios. La resistencia de aislamiento de un transformador se mide entre los devanados conectados todos entre sí, contra el tanque conectado a tierra y entre cada devanado y el tanque, con el resto de los devanados conectados a tierra.

1. La prueba de corto circuito en el transformador: La prueba de corto circuito consiste en cerrar o poner en corto circuito, es decir, con una conexión de resistencia despreciable, las terminales de uno de los devanados y alimentar el otro con un voltaje reducido (aplicado en forma regulada_ de un valor reducido de tensión que representa un pequeño porcentaje del voltaje del devanado por alimentar, de tal forma, que en los devanados circulen las corrientes nominales. En estas condiciones se miden las corrientes nominales y la potencia absorbida.

Debido a que la tensión aplicada es pequeña en comparación con la tensión nominal, las pérdidas en vacío o en el núcleo se pueden considerar como despreciables, de manera que toda la potencia absorbida es debida a las pérdidas por efecto joule en los devanados primario y secundario.

Prueba de la relación de transformación, esta prueba mide la relación de transformación entre los devanados, permite encontrar corto entre espiras, daños en el conmutador y posiciones incorrectas de éste. Se recomienda tomar lecturas para todas las posiciones del cambiador de Taps para detectar posibles daños en el mismo. Esta prueba permite además comprobar el grupo de conexiones del transformador.

2. Medición del factor de potencia del aislamiento: Esta es la prueba que por excelencia mide la calidad del aislamiento. El factor de potencia se define como la relación de la potencia disipada por el material aislante y el producto de la tensión senoidal eficaz por la corriente.

Las pérdidas dieléctricas del aislamiento se disipan en forma de calor y son consecuencia directa de los agentes que afectan el aislamiento es decir, la humedad y los productos de degradación del aceite causando el deterioro del aislamiento sólido. El factor de potencia permite detectar vacíos en el aislamiento que puedan causar descargas parciales.

3. Medición de la corriente de excitación: Esta prueba detecta fallas en la estructura del núcleo magnético, fallas en el aislamiento que pueden haber resultado como consecuencias de caminos conductores entre espiras del devanado. También permite detectar conexiones incorrectas de los devanados y conmutadores de derivación defectuosos.

4. Termografía aplicada en transformadores: Se deben efectuar periódicamente pruebas de termografía en todo el exterior del transformador y en sus conexiones, con el fin de detectar puntos calientes por conexiones flojas, terminales defectuosos en alta y baja tensión, radiadores que no operan, bombas de aceite fuera de servicio u operando deficientemente, temperaturas indirectas indicadoras de posibles fallas internas.

Ruta de inspección a Transformadores, en la planta de fertilizantes se requiere de una inspección visual y toma de datos con una frecuencia quincenal, en donde se toman datos de corriente por fase, voltaje y se observan el estado de: presión, vacío, temperatura, y nivel del aceite.

Los datos se deben consignar en la tabla 37.

Tabla 37. Inspección de Transformadores de potencia en Campo.

MANTENIMIENTO ELECTRICO PLANTA FERTILIZANTES												FECHA		
INSPECCION RUTINARIA A TRANSFORMADORES DE POTENCIA										AAAA	MM	DD		
EQUIPO	LOCALIZACION	CORRIENTE			TEMP °C	NIVEL DE ACEITE	PRESION PSI	ESTADO INSTRUMENTO DE MEDIDA	OBSERVACIONES					
		a	b	c						n				
TRF-1	S/E INCRO													
TRF-2	S/E INCRO													
TRF-3	S/E INCRO													
TRF-4	S/E ZONA REACCION													
TRF-5	S/E ZONA REACCION													
TRF-7	S/E ZONA REACCION													
NOTA: Los valores en el nivel de aceite se anotarán así: A: ALTO, MA: MEDIO-ALTO, M: MEDIO, MB: MEDIO-BAJO, B: BAJO.														
REALIZA										REVISA				

5.3. MANTENIMIENTO A INTERRUPTORES DE POTENCIA

Los interruptores son equipos que no se utilizan con mucha frecuencia, ya que permanecen cerrados o abiertos por largos periodos de tiempo. De hecho es una caja negra que para estar seguros de su condición hay que abrirlos para verificar el estado de sus contactos y realizar una inspección física, lo cual sale muy costoso.

Existen en el mercado interruptores de muy alta tecnología que requieren de poco mantenimiento, pero esto no garantiza ni da mayor confianza en el sistema, ni en la confiabilidad de operación del equipo. A medida que pasa el tiempo y los sistemas se expanden transportando mayor cantidad de energía a mayor distancia, se hace necesario predecir el correcto funcionamiento de los interruptores a la hora de actuar.

Plan de mantenimiento y actividades propuestas: Con frecuencia la mayoría de los fabricantes de interruptores recomiendan algunas inspecciones:

- ◆ Inspecciones de rutina
 - 1 Inspección visual externa del equipo
 - 2 Revisar de los contadores de operación
 - 3 Revisar los indicadores de presión
 - 4 Medir la temperatura
 - 5 Detectar audible o visualmente fugas

Estas se pueden realizar con el equipo en servicio y con periodos de seis (6) meses o un (1) año, dependiendo del contexto de operación del interruptor.

- ◆ Mantenimiento menor:

Además de la inspección rutinaria, se realiza lo siguiente:

- 1 Inspección profunda del estado de sus componentes y la función de los subconjuntos

- 2 Cambiar los filtros, el aceite o el gas en su defecto
- 3 Cambiar piezas gastadas que sean de fácil acceso
- 4 Realizar pruebas al interruptor

Para esto se debe aislar el interruptor de la red y realizarlo con una frecuencia de seis (6) a ocho (8) años aproximadamente.

◆ Mantenimiento mayor

Además de los anteriores, se abre el interruptor para acceder a las partes internas del mismo.

- 1 Interruptor y sus contactos
- 2 Accionamiento mecánico
- 3 Receptor del tanque

Para esto se debe aislar el interruptor de la red y realizarlo con una frecuencia dependiendo del medio aislante y la tecnología de los interruptores;

- ◆ Doce (12) años interruptores al vacío
- ◆ Quince (15) años interruptores en aceite
- ◆ Veinte (20) años interruptores en gas SF6

Y así dependiendo de la tecnología del interruptor o recomendaciones del fabricante.

◆ Mantenimiento predictivo

Los especialistas en mantenimiento de interruptores de potencia recomiendan el mantenimiento predictivo, ya que permite predecir la condición del equipo sin tener que abrirlo para realizar una inspección.

Por lo tanto la inspección solo se hará para un mantenimiento correctivo o preventivo, reduciendo gastos de mantenimiento, aumentando la confiabilidad de operación del equipo e incrementando el nivel de su eficiencia.

El mantenimiento predictivo se fundamenta básicamente en tres procesos que se complementan entre si; pruebas de interruptores, monitoreo y estudio estadístico.

Posterior a la aplicación de la metodología RCM los resultados arrojados se consignaron en la tabla 38.

Tabla 38. Estrategia de mantenimiento de Interruptores de potencia.

INTERRUPTORES DE POTENCIA SEGÚN ACTIVIDADES DE MANTTO					
ITEM	ACTIVIDAD	Interruptores de potencia extraíbles	Frecuencia de la actividad	Interruptores de Potencia fijos	Frecuencia de la actividad
1	Megueo	X	P.P	X	A
2	Medición de temperatura	X	A	X	A
3	Revisión estado General	X	A	X	A
4	Limpieza gral al interior del Interruptor	X	P.P.M	X	A
5	Verificación de microinterruptores internos	X	P.P.M		
6	Verificación estado de bobinas de cierre y apertura	X	P.P.M		
	Verificación estado de motor sistema apertura-cierre			X	A
7	Pruebas de equipo de protección (calibración)	X	P.P.M	X	A
8	Limpieza verificación de Tulipas	X	P.P.M		
9	Verificación de terminales premoldeados en cable			X	A
10	Verificación de conexiones, retorqueo	X	SCON	X	A
11	Revisión - mantto de motor cargue de resorte	X	P.P.M		
12	Termografía	X	A	X	A

5.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO BANCO DE BATERIAS

Los bancos de baterías se utilizan en las subestaciones como equipo de respaldo de energización ininterrumpida de los sistemas de protección de los equipos de potencia, (interruptores de potencia), garantizando la operabilidad de los mismos aún cuando exista una falla de energía eléctrica total al sistema eléctrico de potencia.

5.4.1. Plan de mantenimiento y actividades propuestas: Para efectos de garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los bancos de baterías se deben realizar los siguientes planes de mantenimiento sugeridos:

- ◆ Mantenimiento rutinario o de inspección mensual:

Los Bancos de baterías existentes en las subestaciones bien sean de tipo seco o de plomo-acido, se inspeccionar semanalmente anotando los datos de:

- 1 Voltaje x celda
- 2 Amperaje total
- 3 Temperatura x celda
- 4 Estado físico del banco.
- 5 Muestra de líquido en el caso de los de Plomo ácido para medir su densidad.

Los datos se deben consignar en los formatos específicos por cada tipo de batería o celda, es decir formatos y se almacenará en carpeta ubicada en el taller eléctrico de cada planta. Las anomalías que se encuentren se anotarán como observaciones y generarán una orden de trabajo, para su corrección.

Para el caso de las baterías con líquido (plomo - ácido) se debe identificar la celda piloto, la que tiene instalado permanentemente el termómetro que lee la temperatura de operación.

Retire el termómetro e Introduzca el medidor de densidad y tome la muestra presionando el dispositivo de succión (pera) en esta celda. La densidad medida y anotar en el formato respectivo.

Una vez tomado la muestra incorporar la muestra a la celda y normalizar introduciendo el termómetro en su lugar.

De acuerdo al estudio realizado aplicando la metodología RCM, los resultados de los mantenimientos propuestos se muestran en la siguiente tabla39.

Tabla 39. Estrategia de mantenimiento de Banco de baterías.

BANCO DE BATERIAS SEGÚN ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO							
ITEM	ACTIVIDAD	Baterías sistema generador de emergencia y Bba Diesel	Frecuencia de la actividad	Banco de baterías subestaciones	Frecuencia de la actividad	Cargadores de Baterías	Frecuencia de la actividad
1	Medición de voltaje x batería (celdas)	X	S	X	P.P.M	X	P.P.M
2	Medición de Amperaje	X	S	X	P.P.M	X	P.P.M
3	Medición de t	X	S	X	P.P.M	X	P.P.M
4	Estado de ca	X	S	X	P.P.M	X	P.P.M
5	Verificación / mantto circuito de control					X	P.P.M
6	Verificación / mantto circuito de potencia					X	P.P.M
7	Verificación densidad			X	M		
8	Retorqueo de conexiones	X	S	X	SCON	X	P.P.M
9	Limpieza mantto externo	X	M	X	M	X	M
10	Termografía	X	S	X	S	X	S

6. CONCLUSIONES

Las plantas de fertilizantes están conformadas por equipos sometidos a un ambiente altamente corrosivo y abrasivo, por lo tanto se convierte en proceso que requieren un alto costo de mantenimiento; el análisis de RCM, permitió visualizar las ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de mantenimiento y determinar la mas acorde para los equipos objeto de estudio.

El planteamiento de reorganizar el personal de mantenimiento estableciendo un equipo de trabajo que se encargue de la planeación, seguimiento y control de las estrategias del mismo permitirá validar los resultados del análisis de RCM realizado.

El análisis del CMMS, actualmente en funcionamiento, mostró que solo satisface las necesidades para un sistema de información de mantenimiento en un 56%. Si la alta gerencia tienen en sus objetivos llevar a Mantenimiento clase mundial en la compañía, es necesario reacondicionar este sistema o adquirir uno de mejor desempeño.

La recolección de la información de mantenimiento eléctrico realizada, permitió corroborar que de manera generalizada los fabricantes establecen estrategias básicas de mantenimiento, pero que es importante incorporando las mejoras que se hacen por la experiencia en los diferentes ambientes operacionales de los equipos eléctricos.

BIBLIOGRAFIA

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. Primera Edición. Medellín: AMG, 2006. 306 p.

RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE. (2003: Medellín) Curso de formación de tres días en RCM, Aladon, 1999.

INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION Inc. Maintenance Testing Specifications for Electrical power Distribution equipment and systems. NETA. 2001.

GALLO MARTINEZ, Ernesto. Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo. Primera Edición. Bogotá: s.n. 2005. 160 p.