

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL  
SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN QUE SUMINISTRA ENERGÍA A  
LOS POZOS PRODUCTORES PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA  
DE OPERACIONES DE MARES - GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA  
MEDIO - ECOPETROL S.A.**

**ANGÉLICA PATRICIA ROMERO GÓMEZ  
LILIANA ASTRID JOLIANIS NAVARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2011**

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL  
SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN QUE SUMINISTRA ENERGÍA A  
LOS POZOS PRODUCTORES PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA  
DE OPERACIONES DE MARES - GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA  
MEDIO - ECOPETROL S.A.**

**ANGÉLICA PATRICIA ROMERO GÓMEZ  
LILIANA ASTRID JOLIANIS NAVARRO**

**Monografía de Grado presentado como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**DIRECTOR  
ROBINSON RINCÓN ORTEGA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional.

A nuestro Director de trabajo de grado, el Ingeniero Robinson Rincón Ortega, por todo el tiempo que nos ha proporcionado, por sus aportes, sugerencias e ideas, por el respaldo y su amistad.

A todos los maestros que hicieron parte de nuestra formación y quienes nos enseñaron más que el saber científico, a compartir el conocimiento con los demás.

A todos nuestros amigos, amigas y todas aquellas personas que han sido importantes para nosotras por su apoyo durante todo este proceso.

A todos ellos, muchas gracias....

***Angélica y Liliana***

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN .....  | 18   |
| 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....                         | 21   |
| 1.1 MARCO CONTEXTUAL.....                                   | 21   |
| 1.1.1 ECOPETROL S.A. ....                                   | 21   |
| 1.1.2 Vicepresidencia de producción. ....                   | 23   |
| 1.1.3 Crudos Pesados. ....                                  | 26   |
| 1.1.4 Campos Maduros. ....                                  | 27   |
| 1.1.5 Gas. ....   | 28   |
| 1.1.6 Gestión a la Vista. Resultados mensuales VPR .....    | 29   |
| 1.1.7 Gerencia Regional Magdalena Medio.....                | 30   |
| 1.1.8 Gerencia Regional Magdalena Medio ECOPETROL S.A. .... | 31   |
| 1.2 PROCESO PRODUCTIVO .....                                | 34   |
| 1.2.1 Etapas de la Producción .....                         | 37   |
| 1.2.2 Procesos de producción.....                           | 39   |
| 1.3 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO .....                     | 40   |
| 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                         | 40   |
| 1.5 OBJETIVOS.....  | 41   |
| 1.5.1 Objetivos Generales .....                             | 41   |
| 1.5.2 Objetivos Específicos.....                            | 42   |
| 1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO .....                  | 42   |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                      | 44   |
| 2.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) .....    | 44   |
| 2.1.1 Historia del RCM.....                                 | 44   |
| 2.1.2. Definición de RCM.....                               | 46   |
| 2.1.3. RCM Las Siete Preguntas Básicas. ....                | 48   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.2 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO EQUIPO ELECTRICO  | 55  |
| 2.2.1 Indicadores de Confiabilidad.....   | 55  |
| 3. SISTEMA ELÉCTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN.....  | 61  |
| 3.1 TAXONOMÍA SISTEMA ELECTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN CON CONTROL CONVENCIONAL.....  | 62  |
| 3.1.1 Subsistema de Potencia.. ..   | 63  |
| 3.1.2 Subsistema de Control.....  | 71  |
| 3.1.3 Subsistema de Protecciones.....   | 74  |
| 3.1.4 Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Variador de Velocidad .....  | 81  |
| 3.1.5 Subsistema de Potencia .....  | 82  |
| 3.1.6 Subsistema de Lógica de Control .....   | 84  |
| 3.1.7 Interfaz subsistema de lógica de control – subsistema de potencia .....   | 87  |
| 4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN .....  | 94  |
| 5. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO 480V DE LOS POZOS DE PRODUCCIÓN DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES ..... | 112 |
| CONCLUSIONES .....  | 118 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 120 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos.....                                    | 44   |
| Figura 2. Generaciones del RCM.....  | 46   |
| Figura 3. Clasificación del RCM.....   | 47   |
| Figura 4. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM.....  | 48   |
| Figura 5. Curva de la Batea .....  | 51   |
| Figura 6. Desgaste.....  | 52   |
| Figura 7. Fatiga.....  | 52   |
| Figura 8. Seguridad Infantil.....  | 53   |
| Figura 9. Aleatorio.....   | 53   |
| Figura 10. Mortalidad Infantil.....  | 54   |
| Figura 11. Diagrama Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional..... | 62   |
| Figura 12. Control Eléctrico Convencional.....   | 62   |
| Figura 13. Diagrama Taxonomía Subsistema de Potencia – Control Convencional .....                      | 63   |
| Figura 14. Terminales para cable eléctrico .....   | 63   |
| Figura 15. Cable eléctrico .....   | 64   |
| Figura 16. Ductos y accesorios para alojamiento de cables eléctricos. ....                             | 64   |
| Figura 17. Interruptor eléctrico .....   | 64   |
| Figura 18. Contactor .....   | 65   |
| Figura 19. Partes del Contactor Electromagnético.....  | 68   |
| Figura 20. Motor eléctrico .....   | 70   |
| Figura 21. Partes del Motor Eléctrico de Inducción.....  | 70   |
| Figura 22. Diagrama Taxonomía Subsistema de Control - Control Convencional.                            | 71   |
| Figura 23. Relés Electrónicos Temporizadores .....   | 72   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 24. Relés Electrónicos Retardadores .....   | 73 |
| Figura 25. Interruptor selector.....   | 73 |
| Figura 26. Transformador de control.....   | 74 |
| Figura 27. Diagrama Taxonomía Subsistema de Protecciones - Control Convencional .....  | 75 |
| Figura 28. Interior de un interruptor de circuito .....  | 76 |
| Figura 29. Relé de sobrecarga.....   | 76 |
| Figura 30. Monitor de tensión de fase.....   | 77 |
| Figura 31. Monitor de termistores .....  | 78 |
| Figura 32. Dispositivo de protección contra sobretensiones.....  | 78 |
| Figura 33. Sistema de puesta a tierra .....  | 80 |
| Figura 34. Diagrama Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Variador de Velocidad.....                                      | 81 |
| Figura 35. Variador de Velocidad.....  | 81 |
| Figura 36. Diagrama Taxonomía Subsistema de Potencia – Variador de Velocidad .....   | 82 |
| Figura 37. Subsistema de potencia variador de velocidad.....   | 84 |
| Figura 38. Diagrama Taxonomía Subsistema Lógica de Control – Variador de Velocidad .....   | 84 |
| Figura 39. Subsistema de lógica de control variador de velocidad .....   | 87 |
| Figura 40. Diagrama Taxonomía Subsistema Interfaz entre subsistema de lógica de control y subsistema de potencia– Variador de Velocidad..... | 87 |
| Figura 41. Interfaz subsistema de lógica de control – subsistema de potencia .....   | 89 |
| Figura 42. Diagrama Taxonomía Subsistema Protecciones – Variador de Velocidad .....  | 90 |
| Figura 43. Despiece Variador de velocidad Danfoss .....  | 93 |

## LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Resultados del tablero balanceado de Gestión año 2010.....  | 29   |
| Tabla 2. Fases del proceso de extracción de crudo.....   | 35   |
| Tabla 3. Hoja de Información RCM II.....   | 94   |
| Tabla 4. Definición de Funciones Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción (Sistema con Control Convencional o Variador de Velocidad) .....   | 95   |
| Tabla 5. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla de la acometida, contactor, motor y transformador de control y sus Efectos (Sistema con Control Convencional).....  | 96   |
| Tabla 6. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del temporizador, retardador y selector Manual-Off-Auto y sus Efectos (Sistema con Control Convencional).....   | 97   |
| Tabla 7. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del interruptor de circuito, relé de sobrecarga, monitor de fase y sus Efectos (Sistema con Control Convencional).....  | 98   |
| Tabla 8. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del monitor de termistores, dispositivo de protección contra sobretensiones sistema de puesta a tierra y sus Efectos (Sistema con Control Convencional) ..... | 99   |
| Tabla 9. Matriz de Valoración del Riesgo Ecopetrol S.A.....  | 100  |
| Tabla 10. Criterios de Aceptabilidad Valoración de Consecuencias y Criticidad de Fallas .....  | 100  |
| Tabla 11. Hoja de Decisión RCM II.....   | 101  |
| Tabla 12. Diagrama de Decisión RCM II, Parte 1 .....   | 102  |
| Tabla 13. Diagrama de Decisión RCM II, Parte 2 .....   | 103  |
| Tabla 14. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional – Parte 1 .....   | 105  |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 15. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional – Parte 2 .....                         | 106 |
| Tabla 16. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 1..... | 107 |
| Tabla 17. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 2..... | 108 |
| Tabla 18. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 3..... | 109 |
| Tabla 19. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 1 .....   | 110 |
| Tabla 20. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 2 .....   | 111 |
| Tabla 21. Tareas a condición cada 120 días sistema eléctrico con control convencional.....   | 112 |
| Tabla 22. Tareas a condición cada 180 días sistema eléctrico con control convencional.....   | 113 |
| Tabla 23. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 120 días sistema eléctrico con control convencional .....                         | 113 |
| Tabla 24. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 180 días sistema eléctrico con control convencional .....                         | 114 |
| Tabla 25. Tareas detectivas cada 120 días sistema eléctrico con control convencional.....  | 114 |
| Tabla 26. Tareas correctivas y por oportunidad sistema eléctrico con control convencional.....   | 115 |
| Tabla 27. Tareas a condición cada 180 días sistema eléctrico con variador de velocidad.....  | 115 |
| Tabla 28. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 120 días sistema eléctrico con variador de velocidad.....                         | 116 |
| Tabla 29. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 180 días sistema eléctrico con variador de velocidad.....                         | 116 |

Tabla 30. Tareas detectivas cada 120 días sistema eléctrico con variador de velocidad.....117

Tabla 31. Tareas correctivas y por oportunidad sistema eléctrico con variador de velocidad.....117

## LISTA DE ILUSTRACIONES

|  | Pág. |
|--|------|
| Ilustración 1. Marco de referencia productivo ECOPETROL S.A.....                               | 24   |
| Ilustración 2. Mapa Estratégico VPR .....  | 24   |
| Ilustración 3. Departamentos de Incidencia de VIP en el Magdalena Medio .....                  | 31   |
| Ilustración 4. Ubicación geográfica GRMM ECOPETROL S.A. ....                                   | 31   |
| Ilustración 5. Áreas de influencia de la GRMM ECOPETROL S.A, Galán .....                       | 32   |
| Ilustración 6. Áreas de influencia de la GRMM ECOPETROL S.A, Lisama .....                      | 33   |
| Ilustración 7. Áreas de influencia de la GRMM ECOPETROL S.A, Provincia.....                    | 33   |
| Ilustración 8. Proceso de Extracción de Petróleo Sistema Bombeo Convencional                   | 36   |
| Ilustración 9. Proceso de Extracción de Petróleo Sistema Bombeo Cavidad Progresiva (PCP) ..... | 37   |
| Ilustración 10. Proceso de producción del crudo .....  | 39   |
| Ilustración 11. Sistema eléctrico unidades de bombeo .....                                     | 41   |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   | Pág. |
|---|------|
| Gráfico 1. Estrategia. Iniciativas Estratégicas de la VPR. Incremento Factor de Recobro ..... | 25   |
| Gráfico 2. Índice de producción de crudos pesados .....                                       | 26   |
| Gráfico 3. Índice de producción de campos maduros .....                                       | 27   |
| Gráfico 4. Índice de producción de gas.....   | 28   |
| Gráfico 5. Diferida de crudo Departamento de Mantenimiento 2009-2010 .....                    | 43   |
| Gráfico 6. Diferida de crudo Área Mantenimiento Eléctrico de Campo 2009-2010                  | 43   |

## RESUMEN

### TITULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN QUE SUMINISTRA ENERGÍA A LOS POZOS PRODUCTORES PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES - GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO - ECOPEPETROL S.A. \*

### AUTORES:

LILIANA ASTRID JOLIANIS NAVARRO  
ANGÉLICA PATRICIA ROMERO GÓMEZ \*\*

### PALABRAS CLAVES:

Sistema eléctrico, diferida de producción, disponibilidad, RCM, modos de fallo, tareas de mantenimiento.

### CONTENIDO:

Este proyecto se realizó como respuesta a la necesidad de la Unidad de Mantenimiento Eléctrico de Campo de la Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM) de reducir la diferida de producción de crudo que le es atribuida anualmente para mejorar los indicadores de gestión y optimizar los recursos asignados.

El área de Mantenimiento Eléctrico de Campo es, dentro del Departamento de Mantenimiento de la SOM, la encargada de garantizar la funcionalidad de los equipos que conforman el sistema eléctrico de los pozos productores de la superintendencia, las fallas asociadas a este sistema han aportado la mayor diferida de crudo atribuida al Departamento de Mantenimiento en los dos últimos años debido a su recurrencia e impacto, por esta razón se generó la necesidad de plantear y desarrollar una estrategia de mantenimiento bajo la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Un paso fundamental en el desarrollo del proyecto fue la identificación de los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, luego se estableció la forma adecuada de gestionarlos, si cada una de las fallas era merecedora de prevención, de esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. Para efectuar todo este proceso de manera estructurada se aplicó el árbol lógico de decisiones del RCM de Jhon Mourbray propuesto en su libro de RCM II. De esta forma se determinó cuáles eran las tareas adecuadas y su frecuencia y se elaboró el programa de mantenimiento para los activos.

En el análisis de los modos de falla y sus efectos se involucró al personal del área eléctrica: supervisores y técnicos de mantenimiento, y personal de operaciones, aprovechando la experiencia que todos poseen acerca del sistema.

---

\* Monografía de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director Ingeniero Robinson Rincón Ortega.

## ABSTRACT

### TITLE:

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PLAN (RCM) FOR LOW-VOLTAGE ELECTRICAL SYSTEM THAT PROVIDES POWER TO PRODUCING WELLS BELONGING TO THE MARES OPERATIONS SUPERINTENDENCE - MAGDALENA MEDIO REGIONAL MANAGEMENT - ECOPETROL S.A. \*

### AUTHORS:

LILIANA ASTRID JOLIANIS NAVARRO  
ANGÉLICA PATRICIA ROMERO GÓMEZ \*\*

### KEYWORDS:

Electrical system, deferred production, availability, RCM, failure modes, maintenance tasks.

### CONTENTS:

This project was done in response to the need of the Electrical Maintenance Unit of "The Mares Operations Superintendent" (SOM) to reduce the deferred production of crude oil that annually is attributed to them in order to improve performance indicators and optimize resources.

Electrical Maintenance is the area within the Maintenance Department of the SOM, that handles of ensuring the functionality of the equipment that are part of the electrical system of the producing wells of the superintendence, the failures associated with this system have provided the largest deferred production attributed to maintenance department in the last two years because of its recurrence and impact, for this reason was generated the need to establish a and develop a maintenance strategy under the philosophy of Reliability Centered Maintenance (RCM).

A fundamental step in the project was to identify modes and effects of failures and their consequences, then set the appropriate way to manage if each of them was worthy of prevention, efforts to predict, some periodic intervention to prevent them, redesign to eliminate them, or just any action. To make this process in a structured manner was applied the RCM logical decision tree of John Mourbray proposed in his book RCM II. Thus it was determined the appropriate tasks and their frequency and developed the maintenance program for the assets.

In the analysis of failure modes and their effects was involved the electric field staff: supervisors and maintenance technicians, and operations personnel, using the experience they all have about the system.

---

\* Monograph

\*\* Physical - Mechanical Engineering Faculty. Maintenance Management Specialization. Director: Engineer Robinson Rincón Ortega.

## INTRODUCCIÓN

La industria moderna, se rige por la alta competitividad, la eficiencia y la eficacia, factores determinantes para la permanencia de una compañía en el cambiante mercado globalizado, en el caso de la industria petrolera donde el negocio es producir crudo con bajos costos operativos, ambientales y humanos el correcto gerenciamiento de los activos hace parte de la estrategia productiva y la cadena de valor del negocio.

El mantenimiento contribuye en la competitividad de la empresa cuando sus costos representan una inversión que asegura la continua operación, por este motivo el mundo del mantenimiento sufre constantes cambios tecnológicos y de estrategias en pro de optimizar su gestión.

Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe incluir la revisión de los requerimientos operativos y específicos de los equipos en funcionamiento, estos requerimientos han cambiado en los últimos tiempos por esto es importante una evaluación detenida de las políticas del negocio con respecto a la gestión de sus activos para poder seleccionar las tareas de mantenimiento apropiadas para lograr el objetivo de producir de forma continua, segura y costo efectiva.

La aplicación de RCM es una de las estrategias que resuelve el problema anterior con una estructura que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de tareas que se pueden implementar en forma rápida y segura, esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas y lo hace de esta manera:

- Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar.

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evita inconvenientes y problemas que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa.

Si RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente, reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha hecho generalmente a un 40% a 70%. De otro lado, si RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

El RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no existe mucha documentación, apoyándose en la experiencia de los mantenedores y operadores de los equipos, aquí radica una de sus fortalezas por eso el RCM utiliza un lenguaje técnico sencillo y fácil de entender para todos los involucrados esto genera confianza en el técnico y mejora su efectividad al hacerlo parte del proceso y tener en cuenta su experiencia.

Como RCM utiliza los requerimientos de cada uno de los equipos y sus condiciones operativas, permite tener una base para establecer políticas de manejo de repuestos y optimiza el gerenciamiento de los inventarios.

El RCM ha sido aplicado en diferentes tipos de empresas alrededor del mundo con gran éxito. No obstante, su uso en la industria petrolera es reciente, lo que indica que las compañías que lo están aplicando tienen una ventaja comparativa, debido a que la optimización del mantenimiento afecta la competitividad.

## 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1 MARCO CONTEXTUAL

**1.1.1 ECOPETROL S.A.** Ecopetrol es la compañía más grande de Colombia y es una empresa integrada en la cadena del petróleo, ubicada entre las 40 petroleras más grandes del mundo y entre las cuatro principales en Latinoamérica. Además de Colombia, en donde genera más del 60% de la producción nacional, tiene presencia en actividades de exploración y producción en Brasil, Perú y Estados Unidos (Golfo de México). Ecopetrol cuenta con la mayor refinería de Colombia, la mayor parte de la red de oleoductos y poliductos del país y está incrementando significativamente su participación en biocombustibles.

Son dueños absolutos o tienen la participación mayoritaria de la infraestructura de transporte y refinación del país, poseen el mayor conocimiento geológico de las diferentes cuencas, cuentan con una respetada política de buena vecindad entre las comunidades donde se realizan actividades de exploración y producción de hidrocarburos, es reconocida por la gestión ambiental y, tanto en el Upstream como en el Downstream, han establecido negocios con las más importantes petroleras del mundo.

Cuentan con campos de extracción de hidrocarburos en el centro, el sur, el oriente y el norte de Colombia, dos refinerías, puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.124 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

Tienen a disposición de los socios el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), considerado el más completo centro de investigación y laboratorio científico de su género en el país, donde reposa el acervo geológico de un siglo de historia petrolera de Colombia.

Desde 1997 han marcado récords al obtener las más altas utilidades de una compañía colombiana en toda la historia. En 2003 se convirtieron en una sociedad pública por acciones y emprendieron una transformación que garantiza mayor autonomía financiera y competitividad dentro de la nueva organización del sector de hidrocarburos de Colombia, con la posibilidad de establecer alianzas comerciales fuera del país.

En 2007, Ecopetrol consolidó grandes transformaciones. Por un lado renovó su marca y asumió a una iguana verde como su nuevo logo símbolo. Por el otro, desarrolló el proceso de capitalización más grande de Colombia con el que vinculó a cerca de 450 mil colombianos de todos los niveles y regiones del país como accionistas.

Para garantizar la transparencia de sus operaciones y fluidez e integridad en la información, han adoptado un código de Buen Gobierno. Gracias a sus fortalezas y competencias, Ecopetrol S.A. es líder en Colombia y el socio preferido para explorar y producir hidrocarburos.

Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.

**1.1.2 Vicepresidencia de producción.** Son responsables de maximizar el recobro de las reservas de hidrocarburo y optimizar la tasa de producción de los yacimientos, de manera rentable y mediante un desarrollo sostenido.

Realizan la explotación óptima de los campos por medio de los procesos de extracción, recolección, tratamiento, almacenamiento, bombeo o comprensión de hidrocarburos.

Cuentan con seis gerencias para el manejo de 95 campos activos de operación directa y tenemos participación en 171 campos activos con terceros mediante la figura de contratos de asociación, que nos permite ser el primer productor de hidrocarburos en el país.

Están en la constante búsqueda del desarrollo de una operación óptima y eficiente, a través de la incorporación tecnológica en todas las áreas de operación, sustentado en su principal activo que es un equipo de humano preparado, conocedor de los procesos y motivado para el cumplimiento de los retos de corto y largo plazo.

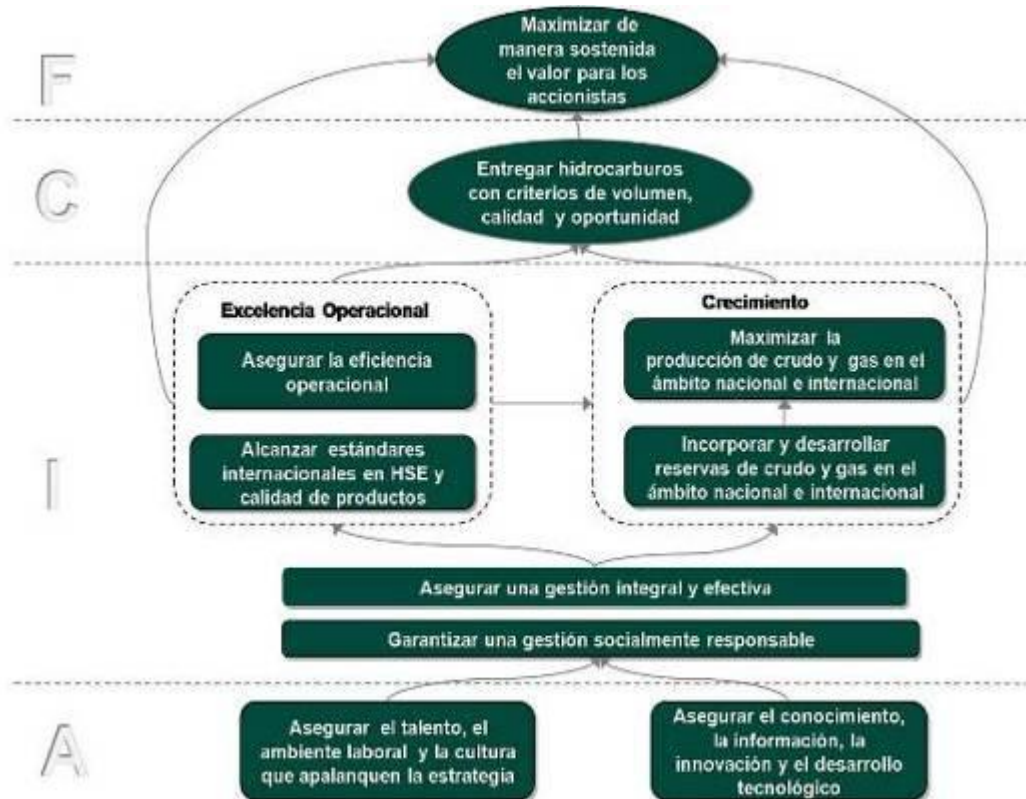
Ecopetrol S.A. tiene como de valor al año 2015 es contar con un factor de recobro último del 30% que junto con una operación eficiente de los campos, permitirán mantener un crecimiento promedio de la producción al 2015 del 12% y una incorporación de reservas equivalente de mínimo 100 MBL por año desde el 2008 al 2012.

Ilustración 1. Marco de referencia productivo ECOPETROL S.A.

| MEGAS GRUPO EMPRESARIAL ECOPETROL 2009 – 2015 |   |   |                 |       |             |                                     |      |
|---|---|---|-----------------|-------|-------------|-------------------------------------|------|
| CRECIMIENTO                                   |   | Medida  | 2008            | 2011  | 2015        | Crecimiento Anual Prom. 2008 - 2015 |      |
| UPSTREAM<br>1'000,000 BPED                    | ROCE: Grupo Empresarial: 20%<br>Ecopetrol S.A.: 17% | 1. Producción (KBPED)                               | CRUDO           | 362   | 400         | 810                                 | 12%  |
|   |   |   | GAS             | 85    | 150         | 190                                 |      |
|   |   | 2. Adición de Nuevas Reservas (Exploración) (MMBPE) |                 | 19,5  | 2008 - 2012 | 256 promedio año                    | n.a. |
|   |   | 3. Adición Reservas (Producción) (MMBPE)            |                 | 169,0 |             | 100 promedio año                    | n.a. |
| 4. Adición por Compra de Reservas (MMBPE)     |   | n.a.  | 80 promedio año | n.a.  |             |                                     |      |

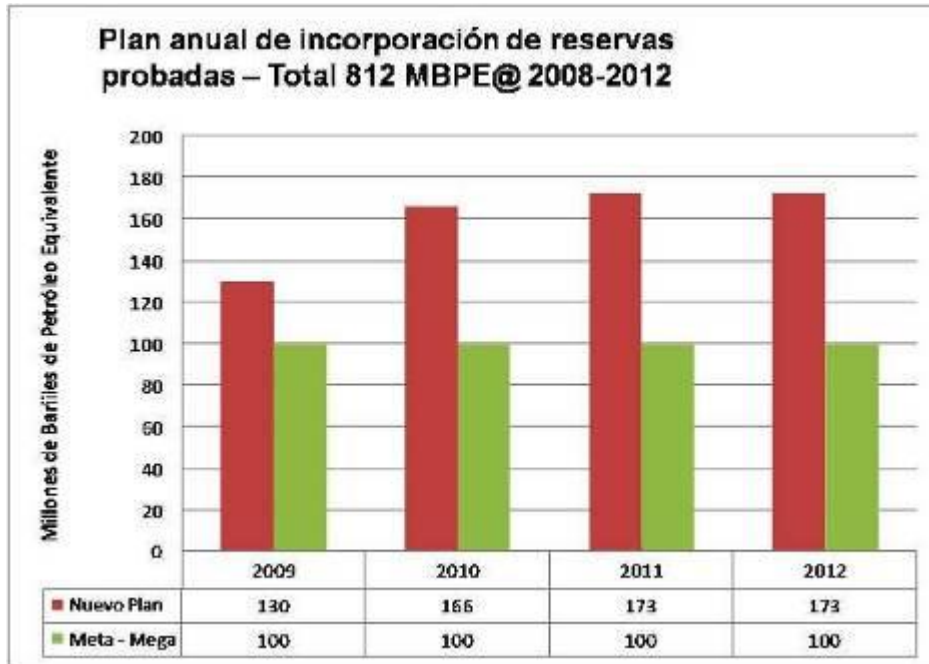
Fuente: ECOPETROL S.A.

Ilustración 2. Mapa Estratégico VPR



Fuente: ECOPETROL S.A.

Gráfico 1. Estrategia. Iniciativas Estratégicas de la VPR. Incremento Factor de Recobro



Fuente: ECOPETROL S.A.

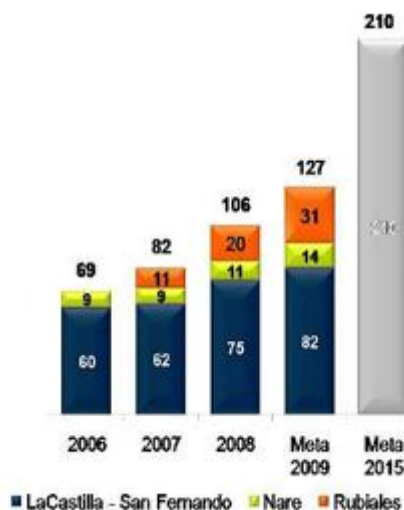
Proyectos para mantener 150+ MBPE como meta después del 2012:

- Reducción Espac. Chichimene @ 20 acres
- Reducción Espac. Castilla 20 acres
- K1 inyección Agua Apiay Ariari
- Reducción Espaciamientos Zona C- La Cira
- Reducción A&B – La Cira
- Yariguí- Cantagallo: Expansión Inyección
- Proyectos EOR – Crudo Pesado
- Inyección- Agua Orito
- Proyecto Adicional Sur Campos San Antonio
- T2 Apiay – Suria

**1.1.3 Crudos Pesados.** La producción de crudos pesados es uno de los pilares de crecimiento de Ecopetrol. Debido a su potencial se ha contemplado su desarrollo transversal en el mapa estratégico para soportar el incremento en la producción de la empresa.

Los Campos Castilla y Chichimene del bloque Cubarral de operación directa de Ecopetrol; Nare-Teca, en asociación con la compañía Mansarovar (conformada por Sinopec de China y ONGC de la India); y Rubiales, con la canadiense Pacific Rubiales Energy, son el eje de este objetivo estratégico.

Gráfico 2. Índice de producción de crudos pesados



Fuente: ECOPETROL S.A.

Las estrategias para el desarrollo de esta iniciativa se centra en:

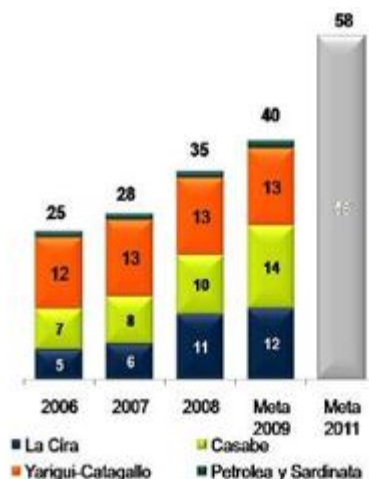
- Estructuración programas de desarrollo.
- Perforación pozos horizontales y multilaterales.
- Evaluación tecnologías especializadas recobro térmico Sinergia de la cadena de valor, que permite fortalecer la infraestructura de producción, transporte, refinación y comercialización con estándares internacionales.

**1.1.4 Campos Maduros.** El desarrollo de Campos Maduros hace parte de la estrategia de Ecopetrol para incrementar los volúmenes de producción y reservas, dado que la mayor parte de los campos del país están en dicha categoría.

Estos yacimientos, que fueron descubiertos hace más de 20 años, aún conservan un volumen importante de reservas que pueden ser recuperadas con la aplicación de nuevas tecnologías y agresivas campañas de perforación de desarrollo.

Los activos claves en esta iniciativa son principalmente La Cira, Cravo Norte, Apiay-Suria, Yariguí- Cantagallo, Occidente.

Gráfico 3. Índice de producción de campos maduros



Fuente: ECOPETROL S.A.

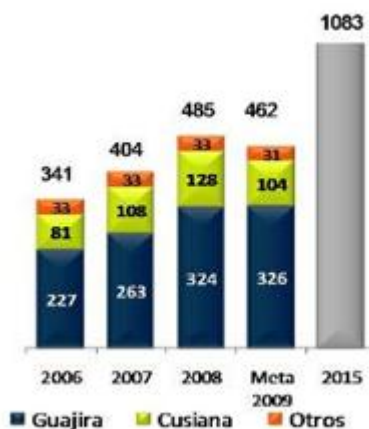
Las estrategias propuestas para la iniciativa de Campos Maduros son:

- Alianzas estratégicas con socios y compañías de servicios.
- Aumento Factor de Recobro: Generación planes de desarrollo de largo plazo; Evaluación/expansión recobro secundario; Expansión tecnologías de estimulaciones.

**1.1.5 Gas.** La estrategia de gas de la Vicepresidencia de Producción está enfocada en maximizar la producción y aumentar la incorporación de reservas, para lo cual ha establecido diferentes alianzas y proyectos encaminados al logro de los objetivos.

Los activos claves para estas iniciativas son principalmente, el Desarrollo Cusiana-Cupiagua, incluyendo plantas de gas.

Gráfico 4. Índice de producción de gas



Fuente: ECOPETROL S.A.

Las estrategias diseñadas para el desarrollo de esta iniciativa son principalmente:

- Gibraltar: desarrollo y ventas de 30 MPCD
- Mantener la capacidad de producción de Guajira de 680 MPCD
- Ampliación planta de gas Cusiana a 270 MPCD
- Construcción planta de gas Cupiagua de 210 MPCD de capacidad.

### 1.1.6 Gestión a la Vista. Resultados mensuales VPR

Tabla 1. Resultados del tablero balanceado de Gestión año 2010

| <b>Indicador</b>  | <b>Plan<br/>Ago.</b> | <b>Real<br/>Ago.</b> | <b>%<br/>Cumpl.</b> | <b>Plan<br/>Acum.</b> | <b>Real<br/>Acum.</b> | <b>%<br/>Cumpl.</b> |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| F.1.1 Margen EBITDA VEP   | N.A                  | N.A                  | N.A                 | N.A                   | N.A                   | N.A                 |
| C.1.1 Producción Promedio de Crudo Participación de Ecopetrol S.A.      | 473,82               | 501,66               | <b>106%</b>         | 449,39                | 468,33                | <b>104%</b>         |
| C.1.2 Producción Promedio de Gas Ventas Participación de Ecopetrol S.A. | 94,33                | 97,82                | <b>104%</b>         | 86,07                 | 96,71                 | <b>112%</b>         |
| I.5.1 Eficacia del Sistema de Control Interno                           | N.A                  | N.A                  | N.A                 | N.A                   | N.A                   | N.A                 |
| I.5.2 Indicador Conjunto de Proyectos                                   | N.A                  | N.A                  | N.A                 | 83                    | 50                    | <b>60%</b>          |
| I.6.1 Eventos de Entorno con Afectación                                 | 0                    | 0                    | <b>100%</b>         | 4                     | 0                     | <b>200%</b>         |
| I.6.2 Cumplimiento de Actividades Ambientales                           | N.A                  | N.A                  | N.A                 | N.A                   | N.A                   | N.A                 |

|  |       |       |        |                  |                  |        |
|--|-------|-------|--------|------------------|------------------|--------|
| I.1.1 Índice de Frecuencia de Accidentalidad con Pérdida de Tiempo | 1,06  | 1,69  | 41%    | 1,06             | 1,86             | 25%    |
| I.1.2 Incidentes Ambientales por causa operacional                 | 3     | 4     | 67%    | 28               | 12               | 157%   |
| I.2.1 Costo de Levantamiento                                       | N.A   | N.A   | N.A    | 8,06             | 7,34             | 109%   |
| I.2.2 Confiabilidad Empresarial Operacional                        | 94,25 | 93,55 | 99,30% | 94,25            | 93,09            | 98,80% |
| I.4.1 Producción adicional al P-50 de Campos Convencionales        | 2     | 0     | 0%     | 2                | 0                | 0%     |
| I.4.2 Producción adicional al P-50 de Crudos Pesados               | 2     | 15    | 750%   | 2                | 10               | 500%   |
| I.4.3 Producción adicional al P-50 de Gas Ventas                   | 2     | 4     | 200%   | 2                | 12               | 600%   |
| A.1.1 Cumplimiento de metas de Talento Humano                      | n.a   | n.a   | n.a    | 100              | 100,4            | 100%   |
| A.2.1 Número de Ventajas Tecnológicas (VT)                         | n.a   | n.a   | n.a    | Seg. Plan<br>70% | Real Plan<br>70% | 100%   |

Fuente: ECOPETROL S.A.

**1.1.7 Gerencia Regional Magdalena Medio.** Se encuentra ubicado en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, en los departamentos de Santander, Bolívar, Antioquia, Boyacá y Cesar, donde operan sus 4 superintendencias. Tienen influencia en 28 municipios.

Ilustración 3. Departamentos de Incidencia de VIP en el Magdalena Medio



Fuente: ECOPETROL S.A.

### 1.1.8 Gerencia Regional Magdalena Medio ECOPETROL S.A.

Ilustración 4. Ubicación geográfica GRMM ECOPETROL S.A.



Fuente: ECOPETROL S.A.

1.1.8.1 Superintendencia de Operaciones de Mares. La Superintendencia de Operaciones De Mares (SOM) opera sus campos en los departamento de Santander (Barrancabermeja, San Vicente de Chucuri, Cimitarra, el Carmen de Chucuri y Sabana de Torres) y Cesar (San Martín).

- **Campos**

**Área Aledaños:** Conformada por los campos Aguas Blancas, Colorado, Tenerife y San Luis.

**Área Llanito:** Conformada por los campos Gala, Galán, Llanito y San Silvestre.

**Área Lizama:** Conformada por los campos Lizama, Nutria, Peroles y Tesoro.

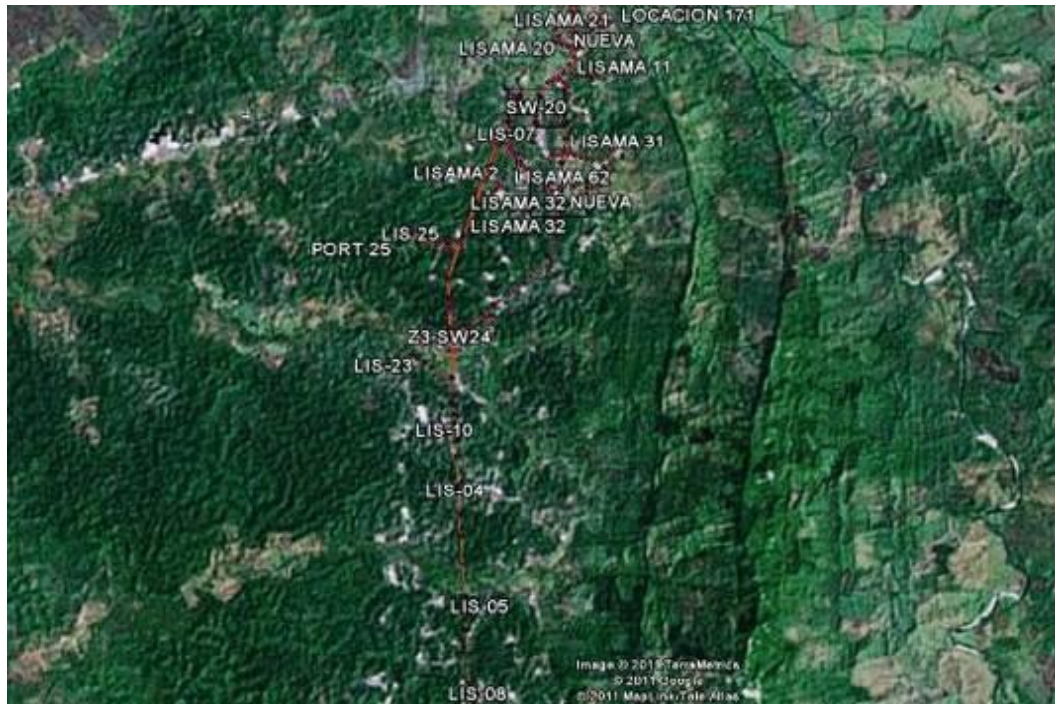
**Área Provincia:** Conformada por los campos Bonanza, Conde, Sabana, Suerte, Santos, San Roque, Tisquirama y Cocorná.

Ilustración 5. Áreas de influencia de la GRMM ECOPETROL S.A, Galán



Fuente: Google Earth

Ilustración 6. Áreas de influencia de la GRMM ECOPEPETROL S.A, Lisama



Fuente: Google Earth

Ilustración 7. Áreas de influencia de la GRMM ECOPEPETROL S.A, Provincia



Fuente: Google Earth

1.1.8.2 Superintendencia de Operaciones La Cira – Infantas. La Superintendencia de Operaciones La Cira-Infantas (SCI), está ubicada en El Centro, Santander. Maneja el contrato de colaboración empresarial para la exploración y producción del área La Cira - Infantas con la Compañía Occidental Andina, firmado el 6 de septiembre de 2005.

Tiene como objetivo incrementar el valor económico del campo, mediante actividades de producción y exploración de hidrocarburos, que incluye, entre otros, un proyecto de Producción Incremental para mejorar el factor de recobro, optimización de procesos y actividades exploratorias.

Alcance: Aplicación de métodos de recobro secundario y mejorado, administración de yacimientos, perforación, reacondicionamiento y mantenimiento de pozos y optimización de producción.

## **1.2 PROCESO PRODUCTIVO**

El petróleo se extrae mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Si la presión de los fluidos es suficiente, forzaré la salida natural del petróleo a través del pozo que se conecta mediante una red de oleoductos hacia su tratamiento primario, donde se deshidrata y estabiliza eliminando los compuestos más volátiles. Posteriormente se transporta a refinerías o plantas de mejoramiento. Durante la vida del yacimiento, la presión descenderá y será necesario usar otras técnicas para la extracción del petróleo. Esas técnicas incluyen la extracción mediante bombas, la inyección de agua o la inyección de gas, entre otras.

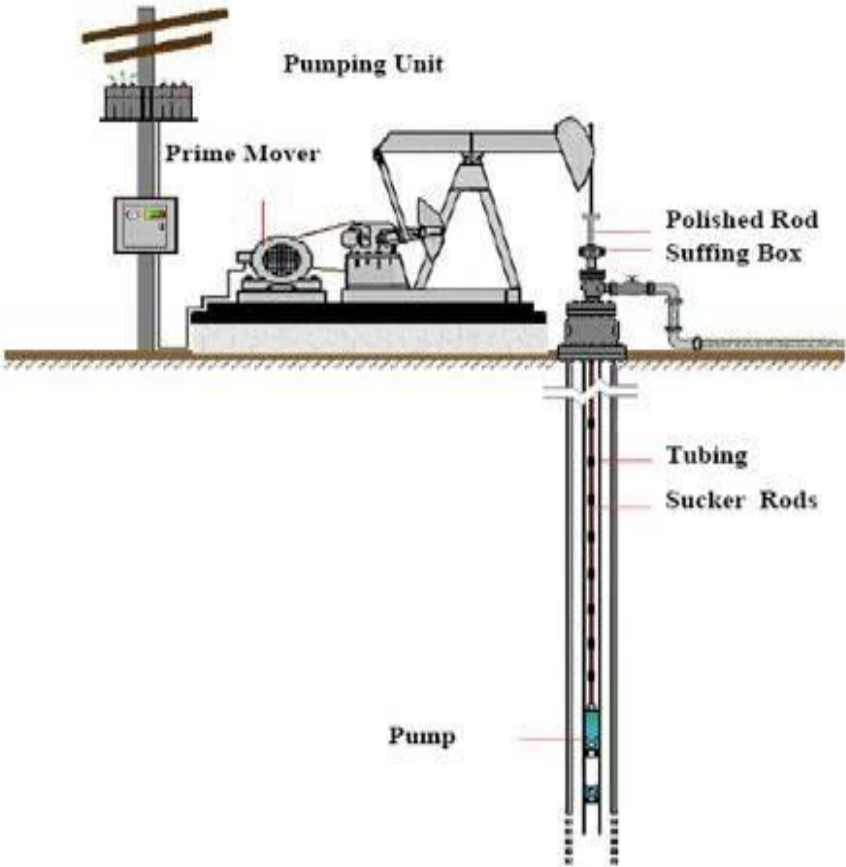
Tabla 2. Fases del proceso de extracción de crudo

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Fase I</b>   | Duración 6 meses. Perforación de 10 pozos, W/O de 8 pozos y evaluación línea base ambiental. Inversión Socio: MUS\$ 10.03.  |
| <b>Fase II</b>  | Duración 2 años. Perforación de 25 pozos incluyendo un exploratorio al Terciario, Perforación de 4 pozos para inyección de vapor ó 4 pozos de avanzada en Infantas Alto. Inversión Socio: MUS\$ 25.5.         |
| <b>Fase III</b> | Ejecución del Plan de Desarrollo para la expansión de los pilotos y el re desarrollo del Campo así como el desarrollo de los Campos Comerciales descubiertos mediante las actividades exploratorias exitosas. |

Fuente: ECOPETROL S.A.

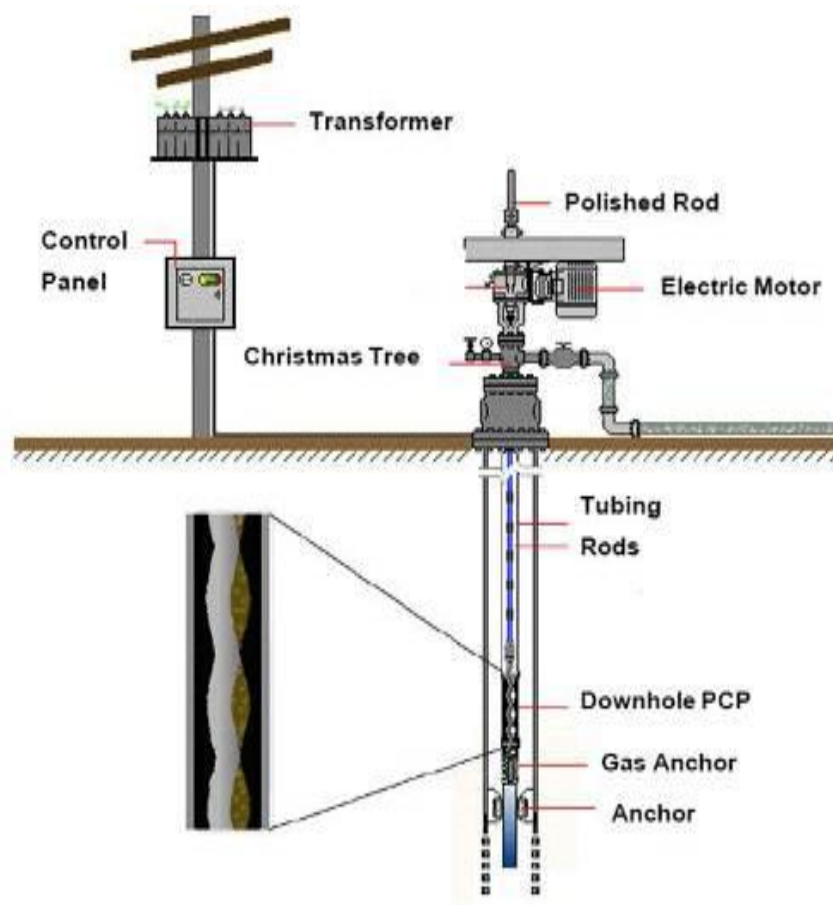
Los componentes químicos del petróleo se separan y obtienen por destilación mediante un proceso de refinamiento. De él se extraen diferentes productos, entre otros: propano, butano, gasolina, keroseno, gasóleo, aceites lubricantes, asfaltos, carbón de coque, etc. Todos estos productos, de baja solubilidad, se obtienen en el orden indicado, de arriba abajo, en las torres de fraccionamiento.

Ilustración 8. Proceso de Extracción de Petróleo Sistema Bombeo Convencional



Fuente: ECOPETROL S.A.

Ilustración 9. Proceso de Extracción de Petróleo Sistema Bombeo Cavity Progresiva (PCP)



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

### 1.2.1 Etapas de la Producción

a. Flujo en el yacimiento. Esta fase se refiere a la difícil y complicada trayectoria que sigue el petróleo dentro del yacimiento –a miles de metros de profundidad- a través de los micros canales de roca porosa y permeable hasta llegar al fondo del pozo. Este recorrido lo hace el petróleo gracias a la presión o energía natural que existe en el yacimiento.

b. Producción en el pozo. Una vez que el petróleo llega al fondo del pozo, continúa su recorrido por la tubería vertical de producción hasta alcanzar la superficie. A medida que el petróleo asciende (bien sea por medios naturales o por métodos de levantamiento artificial) la presión disminuye y ocurre la liberación del gas originalmente disuelto en el crudo.

c. Recolección de crudo. Después que el petróleo de cada uno de los pozos del yacimiento ha alcanzado la superficie, se recolecta mediante un sistema de líneas de flujo que van desde el cabezal de los pozos hasta las estaciones de flujo.

d. Separación del gas. En las estaciones de flujo de petróleo y el gas producidos por los pozos entran a los separadores donde se completa la separación del gas que aún quedaba mezclado con el petróleo. Al salir por los separadores, el petróleo y el gas siguen rutas diferentes para cumplir con los distintos usos y aplicaciones establecidas.

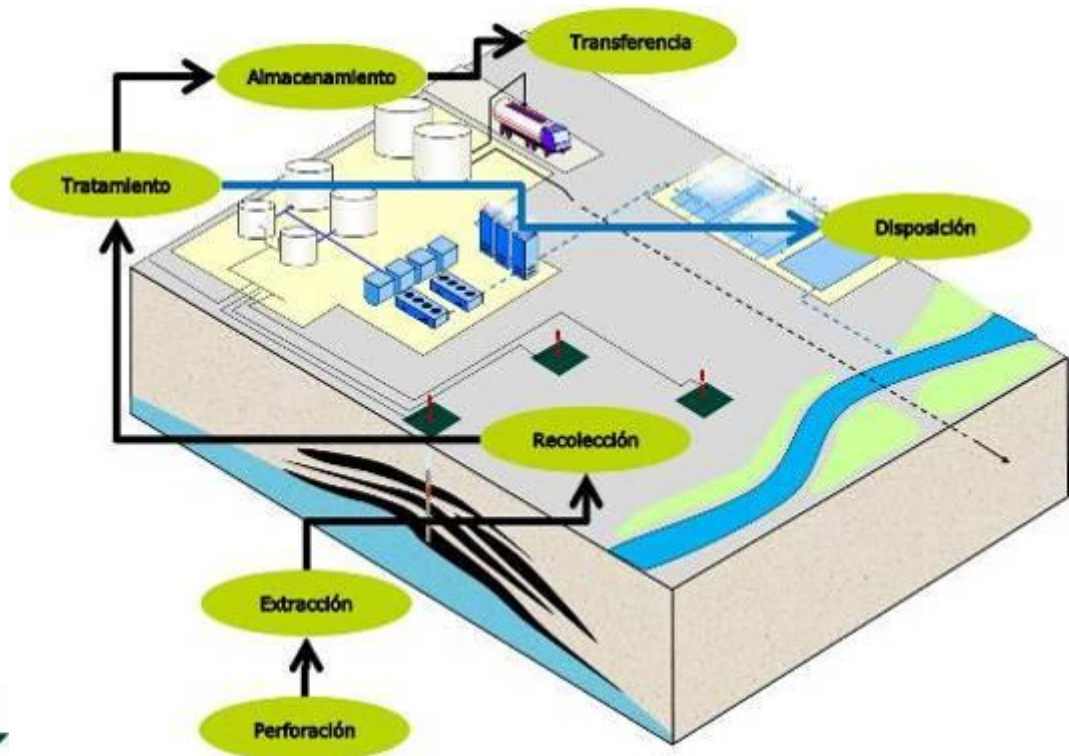
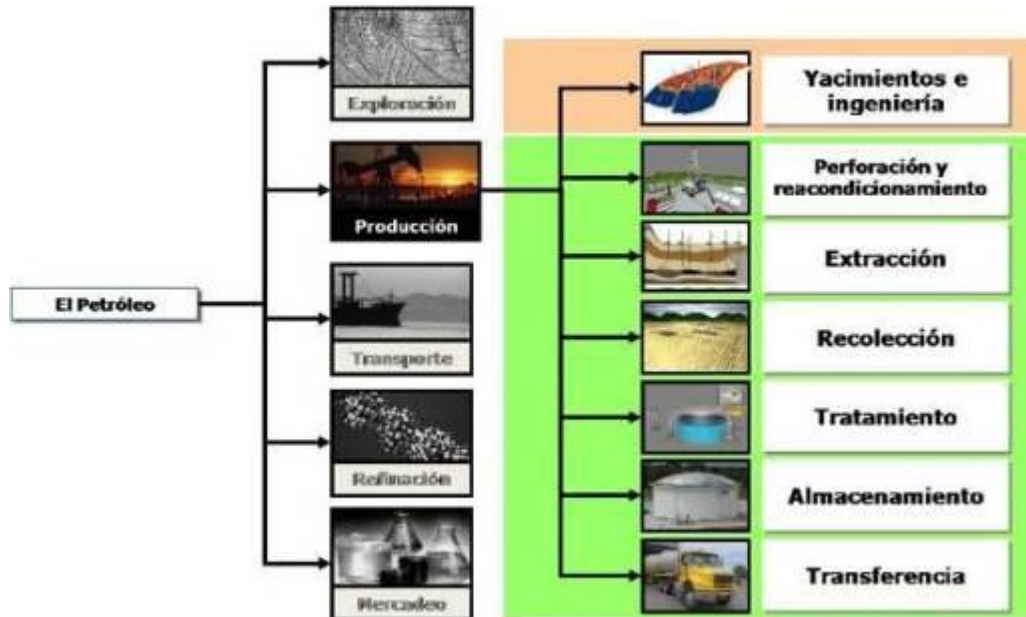
e. Almacenamiento de crudo. Los diferentes tipos de petróleo que llegan a las estaciones de flujo son bombeados a través de las tuberías hasta los patios de tanques, donde finalmente se recolecta y almacena toda la producción de petróleo de un área determinada, para ser tratada, eliminando el agua y la sal, colocándolo bajo especificaciones comerciales.

f. Transporte de oleoductos. El crudo limpio (sin agua y desalado) almacenado en los patios de tanques es enviado a través de los oleoductos a las refinerías del país y a los terminales de embarque para su exportación a los mercados de ultramar.

g. Embarque a exportación. El petróleo que llega a los terminales de embarque es cargado a la flota tanquera para su envío a los distintos mercados del mundo.

## 1.2.2 Procesos de producción

Ilustración 10. Proceso de producción del crudo



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

### **1.3 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**

El Departamento de Mantenimiento De Mares mediante la aplicación de planes de mejora continua realizados por el Talento de Clase Mundial que cumplen las políticas del Sistema de Gestión Integral de Ecopetrol busca maximizar la disponibilidad, confiabilidad e integridad de la infraestructura productiva de la GRM, para cumplir las metas de producción a un costo óptimo.

La Función Mantenimiento en la Gerencia Regional del Magdalena Medio de ECOPETROL S.A. será una organización altamente efectiva, con resultados dentro del estándar mundial que satisfagan los requerimientos del cliente.

### **1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

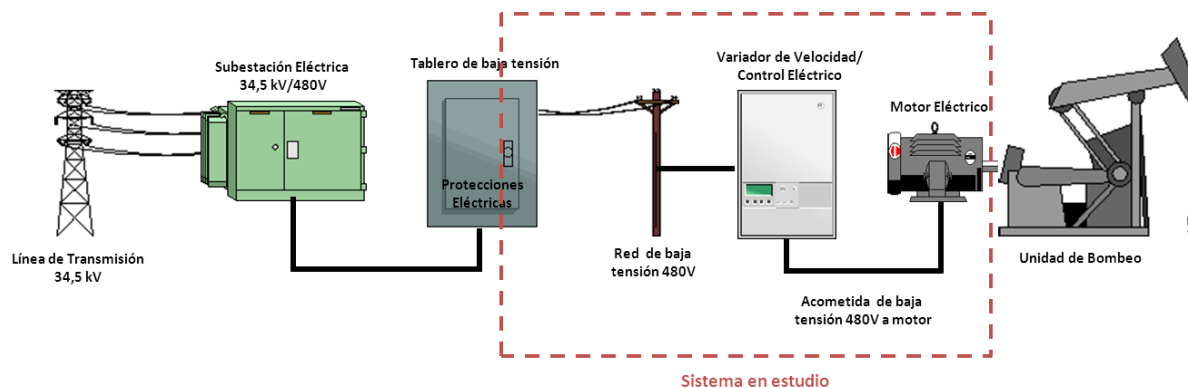
La Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM) hace parte de la Gerencia Regional Magdalena Medio de ECOPETROL S.A. y cuenta con campos de producción de petróleo ubicados en el departamento de Santander, con una producción diaria de crudo de 20.100 barriles los cuales son obtenidos mediante recuperación primaria en su mayor porcentaje y en una menor proporción a través de recuperación secundaria por inyección de gas.

La SOM cuenta en la actualidad con dos sistemas de extracción artificial, Bombeo Mecánico (251 pozos) y Bombeo de Cavidades Progresivas PCP (14 pozos) estos sistemas de extracción tienen como fuente de potencia motores eléctricos alimentados a través de un sistema eléctrico de baja tensión a 480V que se controlan con un arrancador directo o un variador de velocidad según sean los requerimientos operativos (ver ilustraciones 8 y 9).

Durante los años 2009 y 2010 fue atribuida al Departamento de Mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones de Mares una diferida de 96.746,00 barriles

de crudo de los cuales el 13,71% correspondió a fallas del sistema eléctrico de baja tensión, esto ocasionó que este modo de falla fuera incluido en el top 10 de malos actores en los Indicadores de Gestión del Departamento de Mantenimiento, razón por la cual se hace necesario el desarrollo de una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el sistema comprendido desde el mecanismo de protección eléctrica ubicado en el tablero de baja tensión de la subestación eléctrica hasta el motor eléctrico excluyendo el sistema de transmisión de potencia (ver ilustración 11), que reduzca la diferida de crudo asociada a este modo de falla y mejore la disponibilidad del sistema eléctrico de baja tensión de los pozos productores.

Ilustración 11. Sistema eléctrico unidades de bombeo



## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivos Generales

Proponer una nueva estrategia de Mantenimiento basada en la aplicación de la filosofía RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el sistema eléctrico de baja tensión que suministra energía a los pozos productores de la Superintendencia de Operaciones de Mares – Gerencia Regional Magdalena Medio – ECOPETROL S.A.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

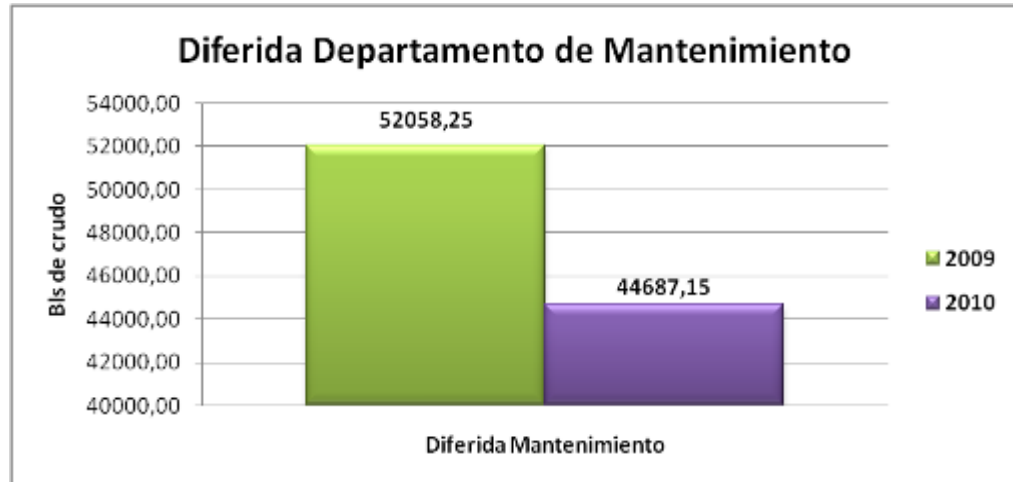
- Realizar el inventario de los equipos que componen el sistema eléctrico de baja tensión que alimenta los pozos de producción de la Superintendencia de Operaciones de Mares.
- Realizar el análisis funcional de las fallas, identificando y describiendo las funciones del sistema a estudiar, los requerimientos de operación y las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos.
- Seleccionar los componentes críticos para el funcionamiento del sistema eléctrico de baja tensión y realizar el análisis de los modos de fallo de los componentes críticos y sus efectos.
- Realizar la selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de Diagrama Lógico de Decisiones de RCM y determinar las frecuencias adecuadas para cada una de ellas.
- Desarrollar la estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad RCM para el sistema eléctrico de baja tensión asociado a los pozos productores de la Superintendencia de Operaciones de Mares.

### **1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO**

El área Mantenimiento Eléctrico de Campo es la encargada de garantizar la funcionalidad de los equipos que conforman el sistema que suministra la energía y controla el funcionamiento de los pozos de producción de la Superintendencia de Operaciones de Mares, sin embargo, las fallas asociadas a este sistema son las que han aportado mayor diferida de crudo en los dos últimos años debido a su

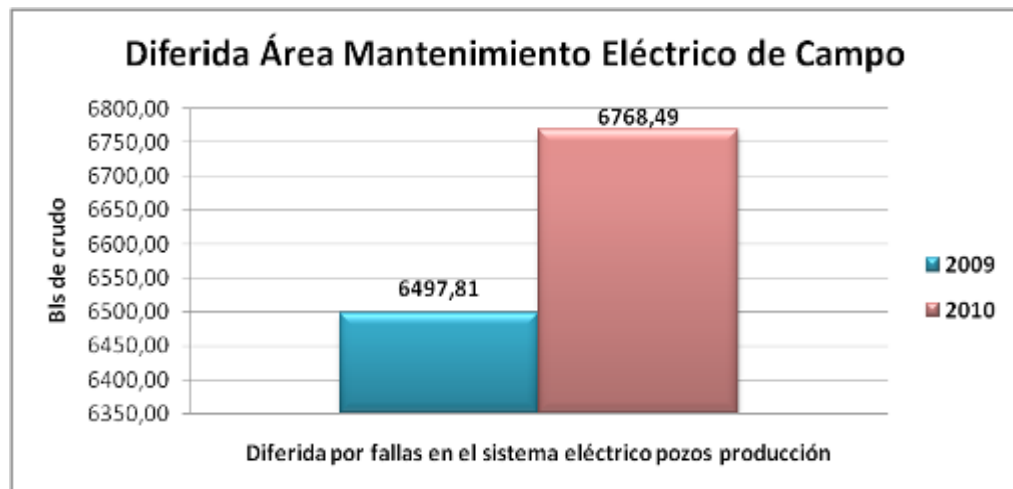
recurrencia e impacto (ver gráficos 5 y 6), por esta razón es necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento bajo el enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita reducir las diferidas causadas por fallas en el sistema.

Gráfico 5. Diferida de crudo Departamento de Mantenimiento 2009-2010



Fuente: Departamento de Mantenimiento GRMM ECOPELROL S.A.

Gráfico 6. Diferida de crudo Área Mantenimiento Eléctrico de Campo 2009-2010



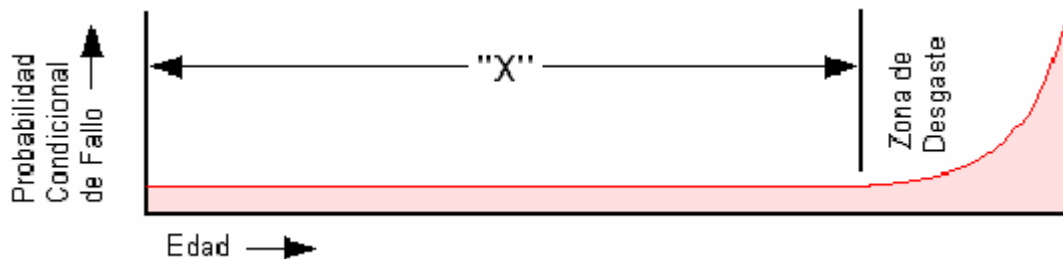
Fuente: Departamento de Mantenimiento GRMM ECOPELROL S.A.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

**2.1.1 Historia del RCM.** EL 1974, EL Departamento de Defensa de los Estados Unidos le asignó a la empresa United Airlines preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones, este informe fue realizado por F. Stanley Nowlan Director de Análisis de Mantenimiento de United Airlines y Howard F. Heap, Gerente de Planeación del Programa de Mantenimiento de United Airlines, el documento fue publicado en 1978 y fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés Reliability-Centered Maintenance.

Figura 1. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos

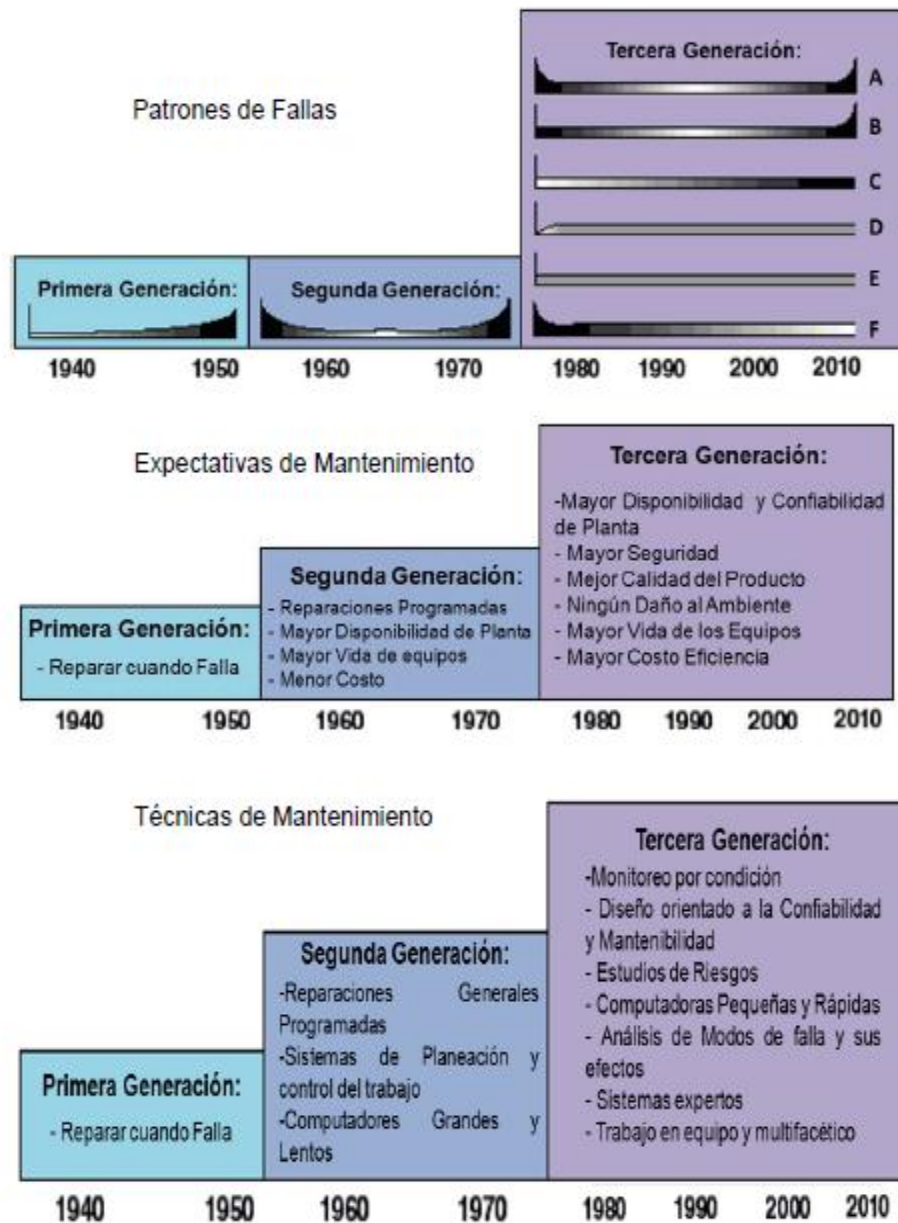


Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray 3 MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 318

El RCM se desarrolló debido a que en las teorías de mantenimiento de la época siempre habían relaciones causa efecto entre el mantenimiento programado y la confiabilidad operacional, esta suposición estaba basada en la creencia intuitiva de que las partes mecánicas se desgastaban y que la confiabilidad de cualquier equipo estaba directamente relacionada con la edad operacional (ver figura 1) , el único problema que había era determinar la edad límite de las partes para reemplazarlas y asegurar una operación confiable, las teorías de la primera y

segunda generación del mantenimiento utilizaban como modelos los patrones de falla tradicionales como el Patrón A o curva de la Bañera que comienza con una gran incidencia de fallas (mortalidad infantil) seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla y por último una zona de desgaste o el Patrón B (ver figura 2) que muestra una probabilidad condicional de falla constante o que crece lentamente y que termina también en una zona de desgaste, sin embargo a través de los años se descubrió que muchos tipos de fallas no podían ser prevenidas de forma efectiva sin importar cuán intensas fueran las actividades de mantenimiento preventivo que se realizaran debido a que las fallas no seguían los patrones tradicionales A o B, pero gracias a las investigaciones realizadas en la industria de la aviación se logró determinar que habían en realidad seis patrones de falla distintos que afectaban la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos, con estos cambios de paradigmas se inició la tercera generación del mantenimiento en el cual las exigencias y expectativas de mantenimiento son mucho mayores lo que obligó a realizar también cambios radicales en las técnicas y teorías del mantenimiento (ver figura 2).

Figura 2. Generaciones del RCM

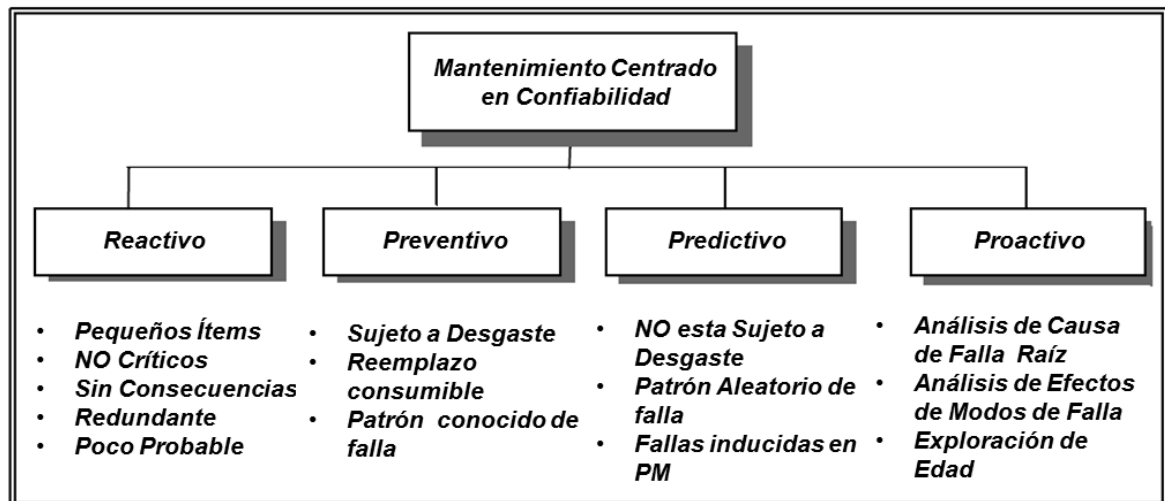


Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

**2.1.2. Definición de RCM.** La Norma SAE JA1011 define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la siguiente manera: "RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier

activo físico en su contexto operacional” En el Libro de RCM II de Jhon Moubray el autor plantea la siguiente definición: “RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”. “El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento, esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla óptima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle”. En conclusión el RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional.

Figura 3. Clasificación del RCM

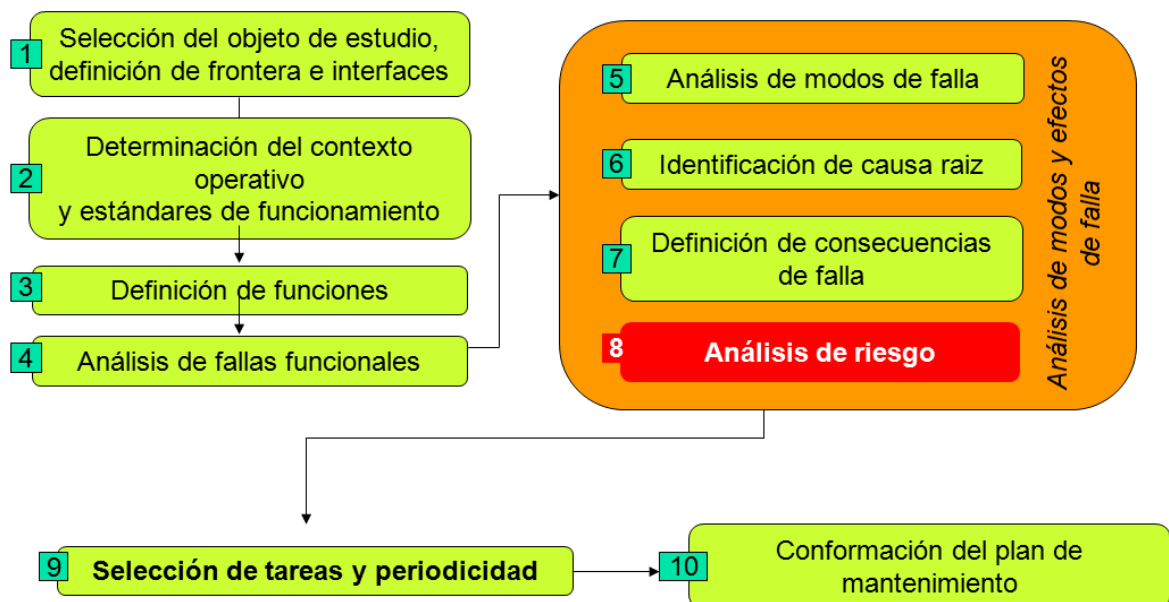


Fuente: NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.

**2.1.3. RCM Las Siete Preguntas Básicas.** El RCM plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Figura 4. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM



Fuente: Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Daniel Ortiz Plata

2.1.3.1 Funciones. Parámetros de Funcionamiento y Contexto Operacional. El primer paso en el proceso del RCM es definir las funciones básicas de cada activo en su contexto operacional, o sea, determinar qué es lo que los usuarios quieren

que haga y asegurar que es capaz de realizarlo, las funciones se dividen en dos categorías:

Funciones primarias, estas son la razón de ser del activo o para que se adquirió el activo.

Funciones Secundarias, son las funciones adicionales que cumple el activo, estas están relacionadas con confort, seguridad, apariencia, protección, regulaciones ambientales, etc.

2.1.3.2 Fallas Funcionales. Después de identificar las fallas funcionales hay que identificar los hechos posibles que puedan haber causado cada estado de falla, se responde la pregunta ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, dentro de estos modos de fallas se incluyen las causadas por deterioro o desgaste, por errores humanos (operadores y personal de mantenimiento) y por errores de diseño. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la pérdida de la capacidad son, deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos

Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial, esto se presenta cuando hay sobrecarga deliberada sobre el activo de forma constante y sobrecarga no intencional constante o repentina

Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

2.1.3.3 Efectos de Fallas. En este paso se describe qué pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

Mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué Importancia Tiene?, al describir un efecto de falla de hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla.
- La forma en que la falla supone una amenaza para la seguridad o en ambiente
- La forma en que afecta producción o la operación.
- Los daños físicos causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

2.1.3.4 Consecuencia de la Fallas. En este paso se responde a la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente, las consecuencias se dividen en cuatro grupos, las consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y no operacionales.

2.1.3.5 Elementos claves del RCM. Por estudios realizados en muchos equipos, se determinó que solo existen seis modelos de falla y que si determinamos cuál es el modelo que aplica al equipo, componente o parte en cuestión, podremos determinar la mejor estrategia para su mantenimiento.

**Modelos de falla.** Los seis modelos son:

**Curva de la Batea.** Muestra una “probabilidad” de falla cuando nuevo (Realmente en términos matemáticos esta no es una probabilidad, sino, una “densidad de falla  $f(x)$ ”, pero para efectos prácticos podríamos asimilarlo a una probabilidad), es lo que se conoce comúnmente como Mortalidad infantil. Luego la probabilidad de falla del equipo (componente o parte) disminuye hasta un punto donde se mantiene igual por un tiempo determinado, periodo donde las fallas que se

producen son aleatorias, hasta llegar a otro punto donde nuevamente la probabilidad de falla comienza a aumentar. Normalmente ocurre por un desgaste. Los equipos o piezas que presentan este modelo de fallas son equipos que cuando nuevos requieren de algunos ajustes y que tienen piezas sometidas a desgaste.

Figura 5. Curva de la Batea



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategias recomendadas:

- Análisis de fallas para determinar las fallas de causas infantiles.
- Monitoreo de la condición.
- Reemplazo o reparación basada en el tiempo.

**Desgaste.** Esta curva nos representa un modelo aleatorio de falla desde nuevo hasta un punto donde aumenta la probabilidad de falla. Este modelo se presenta en piezas sometidas a desgaste. Cuando nuevas solo presentan fallas aleatorias, pero cuando pasan cierto límite de desgaste su probabilidad de falla aumenta exponencialmente.

Figura 6. Desgaste



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategias recomendadas:

- Reparación basada en el tiempo.
- Reemplazo basado en el tiempo.
- Análisis de fallas si el desgaste está ocurriendo antes de lo estimado o requerido

**Fatiga.** El equipo o pieza va incrementando su probabilidad de falla linealmente a medida que va envejeciendo. Se presenta en piezas sometidas a esfuerzos cíclicos o fatiga. También ocurre en elementos que se deterioran con el tiempo.

Figura 7. Fatiga



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategias recomendadas:

- Monitoreo de la condición.
- Análisis de fallas si la tasa de falla es muy elevada.

**Seguridad Infantil:** Elementos que nuevos son extremadamente confiables, pero con el tiempo adquieren un modelo de falla aleatoria.

Figura 8. Seguridad Infantil



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategias recomendadas:

- Monitoreo de condición
- Operar hasta fallar.
- Análisis de fallas si la tasa de falla es más alta que la deseada o requerida.
- Provisión de repuestos.

**Aleatorio:** En este modelo el elemento tiene la misma probabilidad de falla en cualquier momento de su vida. La mayoría de los componentes electrónicos se rigen por este modelo.

Figura 9. Aleatorio



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategias recomendadas:

- Análisis de fallas para determinar las causas de las fallas infantiles.

- Provisión de repuestos.
- No se recomienda implementar estrategias de mantenimiento basadas en el tiempo.

**Mortalidad Infantil.** Se presenta una mayor probabilidad de falla cuando el componente es nuevo. Si no falló al principio, la probabilidad de falla en el resto de su vida es aleatoria.

Figura 10. Mortalidad Infantil



Fuente: [www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

Estrategia recomendada:

- Reemplazo basado en el tiempo o en función del costo o riesgo.
- Reparación basada en el tiempo o en función del costo o riesgo.

2.1.3.6 Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivos. En este paso se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esta falla? y ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?, el objetivo de este punto que acciones pueden tomarse para manejar las fallas, las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y Acciones a falta de. Las tareas proactivas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo que el componente llegue a un estado de falla y abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de”

que incluyen procedimientos de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. La factibilidad técnica de una tarea de mantenimiento se define como:

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo”

Al conocer los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, podemos determinar si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. Para realizar este proceso se debe seguir el árbol lógico de decisiones del RCM y de esta forma encontrar cuáles son las tareas adecuadas y el programa de mantenimiento a realizar a los activos físicos.

## **2.2 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO EQUIPO ELECTRICO**

**2.2.1 Indicadores de Confiabilidad.** Productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuáles se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costos operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

Para la función Mantenimiento, esto significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costos.

El hecho de planificar y programar los trabajos de Mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes.

Esto aunado a la mejor práctica de un mantenimiento de Clase Mundial, que establece Sistemas Integrados, ha conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de Mantenimiento de Planificación.

El Modelo de Mantenimiento permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costos y confiabilidad.

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costos de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocada a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes, de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Estos indicadores son:

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF).
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).
- Disponibilidad.
- Utilización.
- Confiabilidad.
- Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).

2.2.1.1 Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF). Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.

2.2.1.2 Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR). Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

2.2.1.3 Disponibilidad. La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

2.2.1.4 Utilización. La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

2.2.1.5 Confiabilidad. Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos. Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad debe darnos la distribución de fallos para una o más combinaciones de esfuerzos y ambientes.

Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, nivel operativo del equipo, número de ciclos conectados – desconectados, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo.

Otros aspectos a tomar en cuenta en la configuración de los sistemas son el tipo y grado de redundancia, naturaleza y frecuencia de las acciones de mantenimiento, modos de fallos de componentes sobre sistemas.

Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites. La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos

del sistema. Se utilizan modelos de un conjunto de bloques en el que cada bloque representa un componente o combinación de componentes que realiza una función, cada bloque solo tiene posibles estados mutuamente excluyentes (Satisfactorio y fallado).

La función representada por cualquier bloque es necesaria para el funcionamiento del sistema. No obstante, el fallo de un bloque no implica fallo del sistema si otro bloque realiza la misma función conteniendo el modelo todas las funciones críticas para el sistema.

La tecnología dispone de estrategias para reducir la probabilidad de fallo de un sistema y sus componentes. Consiste en dispositivos más de una serie de elementos que pueden realizar la misma función.

2.1.1.6 Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF). El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

El estudio de la confiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para

mantenimiento. Es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

### **3. SISTEMA ELÉCTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN**

El sistema eléctrico de 480V de los pozos de producción tiene como función principal suministrar la potencia mecánica requerida por el sistema de bombeo (sea bombeo mecánico o bombeo de cavidades progresivas PCP) bajo unas condiciones establecidas para la extracción de petróleo. En la actualidad en la Superintendencia de Mares existen 265 pozos de producción que utilizan este sistema.

Dentro del sistema eléctrico a 480V de los pozos de producción se distinguen dos clases, la primera que utiliza Control Eléctrico Convencional, y la segunda que utiliza Variador de Velocidad marca Danfoss. De los 265 pozos de la SOM con sistema eléctrico, 89 son de control convencional y 176 son de variador de velocidad.

La primera de las clases de sistema eléctrico, sistema con control convencional, está conformada por los siguientes subsistemas:

- Potencia
- Control
- Protecciones

Mientras que para el sistema eléctrico con variador de velocidad Danfoss se compone de los siguientes subsistemas:

- Potencia
- Lógica de Control
- Interfaz entre el subsistema de potencia y el de control
- Protecciones

A continuación se describe la taxonomía para cada clase de sistema eléctrico.

### 3.1 TAXONOMÍA SISTEMA ELECTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN CON CONTROL CONVENCIONAL

Figura 11. Diagrama Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional

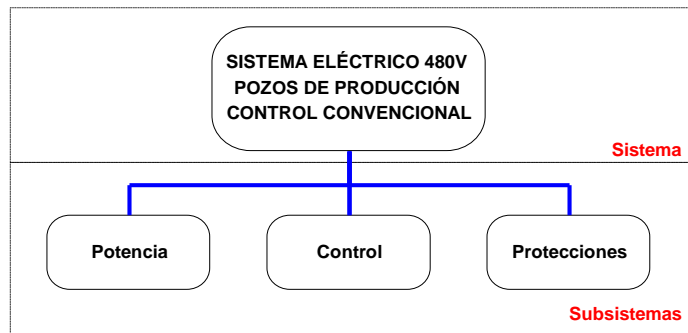


Figura 12. Control Eléctrico Convencional

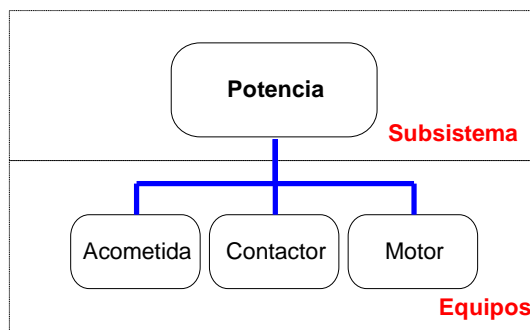


Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

**3.1.1 Subsistema de Potencia.** Se encarga de transmitir la potencia eléctrica necesaria desde la red de distribución de energía eléctrica hasta el motor, para que a través de él sea transformada en potencia mecánica.

Las partes que conforman el subsistema de potencia son la acometida, el contactor y el motor eléctrico.

Figura 13. Diagrama Taxonomía Subsistema de Potencia – Control Convencional



**3.1.1.1 Acometida.** Es la parte del subsistema de potencia que se construye desde la red de distribución de energía eléctrica hasta el motor eléctrico, y está conformada por los siguientes componentes: punto de alimentación, conductores, ductos e interruptor general. Es el medio para la transmisión de la potencia eléctrica de la red de distribución al motor.

Figura 14. Terminales para cable eléctrico



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

Figura 15. Cable eléctrico



Fuente: <http://www.asimet.cl/madeco.htm>

Figura 16. Ductos y accesorios para alojamiento de cables eléctricos.



Fuente: <http://sergensur.com.pe/>

Figura 17. Interruptor eléctrico



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.



muelles, que a modo de resortes, separan la armadura del núcleo, de manera que estas dos partes pueden juntarse estrechamente. Cuando una bobina se alimenta con corriente alterna la intensidad absorbida por esta, denominada corriente de llamada, es relativamente elevada, debido a que en el circuito solo se tiene la resistencia del conductor.

Esta corriente elevada genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo puede atraer a la armadura y a la resistencia mecánica del resorte o muelle que los mantiene separados en estado de reposo. Una vez que el circuito magnético se cierra, al juntarse el núcleo con la armadura, aumenta la impedancia de la bobina, de tal manera que la corriente de llamada se reduce, obteniendo así una corriente de mantenimiento o de trabajo más baja.

- **Núcleo.** Es una parte metálica, de material ferromagnético, generalmente en forma de E, que va fijo en la carcasa. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la columna central del núcleo), para atraer con mayor eficiencia la armadura.
- **Espira de sombra.** Forma parte del circuito magnético, situado en el núcleo de la bobina, y su misión es crear un flujo magnético auxiliar desfasado  $120^\circ$  con respecto al flujo principal, capaz de mantener la armadura atraída por el núcleo evitando así ruidos y vibraciones.
- **Armadura.** Elemento móvil, cuya construcción es similar a la del núcleo, pero sin espiras de sombra. Su función es cerrar el circuito magnético una vez energizada la bobina, ya que debe estar separado del núcleo, por acción de un muelle. Este espacio de separación se denomina cota de llamada.

Las características del muelle permiten que, tanto el cierre como la apertura del circuito magnético, se realicen de forma muy rápida, alrededor de unos 10

milisegundos. Cuando el par resistente del muelle es mayor que el par electromagnético, el núcleo no logrará atraer a la armadura o lo hará con mucha dificultad. Por el contrario, si el par resistente del muelle es demasiado débil, la separación de la armadura no se producirá con la rapidez necesaria.

- **Contactos.** Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se energice. Todo contacto está compuesto por tres conjuntos de elementos:

Dos partes fijas ubicadas en la coraza y una parte móvil colocada en la armadura para establecer o interrumpir el paso de la corriente entre las partes fijas. El contacto móvil lleva un resorte que garantiza la presión y por consiguiente la unión de las tres partes.

Contactos principales: su función es establecer o interrumpir el circuito principal, consiguiendo así que la corriente se transporte desde la red a la carga.

Contactos auxiliares: son contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de la corriente a las bobinas de los contactores o los elemento de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas. Los tipos más comunes son:

- Instantáneos: actúan tan pronto se energiza la bobina del contactor, se encargan de abrir y cerrar el circuito.
- Temporizados: actúan transcurrido un tiempo determinado desde que se energiza la bobina (temporizados a la conexión) o desde que se desenergiza la bobina (temporizados a la desconexión).
- De apertura lenta: el desplazamiento y la velocidad del contacto móvil es igual al de la armadura.

- De apertura positiva: los contactos cerrados y abiertos no pueden coincidir cerrados en ningún momento.
- **Resorte.** Es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez que cesa el campo magnético de la bobina.

Figura 19. Partes del Contactor Electromagnético



Electroimán



Contactos fijos



Contactos móviles

Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPEPETROL S.A.

- **Funcionamiento.** Los contactos principales se conectan al circuito que se quiere gobernar. Asegurando el establecimiento y cortes de las corrientes

principales y según el número de vías de paso de corriente podrá ser bipolar, tripolar, tetrapolar, etc. realizándose las maniobras simultáneamente en todas las vías.

Los contactos auxiliares son de dos clases abiertos, NA, y cerrados, NC. Estos forman parte del circuito auxiliar del contactor y aseguran las autoalimentaciones, los mandos, enclavamientos de contactos y señalizaciones en los equipos de automatismo.

Cuando la bobina del contactor queda excitada por la circulación de la corriente, esta mueve el núcleo en su interior y arrastra los contactos principales y auxiliares, estableciendo a través de los polos, el circuito entre la red y el receptor. Este arrastre o desplazamiento puede ser:

- Por rotación, pivote sobre su eje.
- Por traslación, deslizándose paralelamente a las partes fijas.
- Combinación de movimientos, rotación y traslación.

Cuando la bobina deja de ser alimentada, abre los contactos por efecto del resorte de presión de los polos y del resorte de retorno de la armadura móvil. Si se debe gobernar desde diferentes puntos, los pulsadores de marcha se conectan en paralelo y el de parada en serie.

3.1.1.4 Motor eléctrico. El motor eléctrico se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

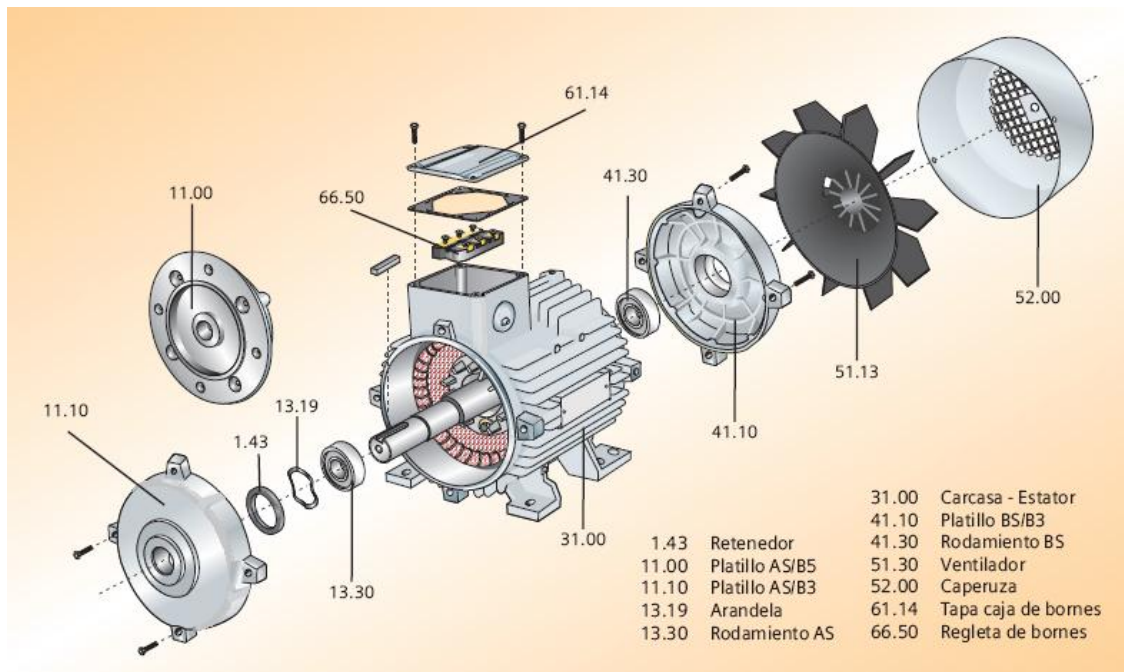
Figura 20. Motor eléctrico



Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia42/HTML/Articulo05.htm>

El motor eléctrico está compuesto por los siguientes elementos: carcasa-estator, rotor, bobinado, rodamientos, tapas, ventilador, caperuza, caja de conexiones.

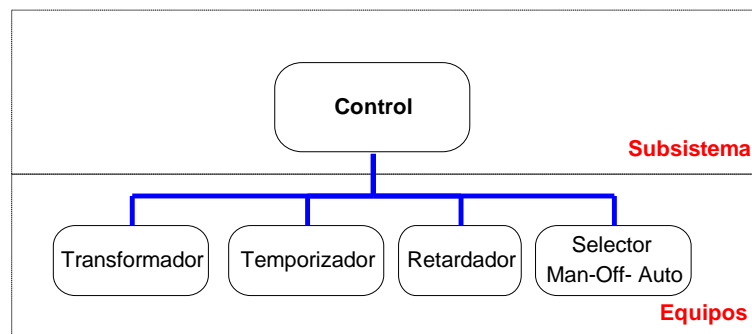
Figura 21. Partes del Motor Eléctrico de Inducción



Fuente: Motores trifásicos de inducción -[http://prof.usb.ve/jaller/Guia\\_Maq\\_pdf/cat\\_motores\\_ind.pdf](http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/cat_motores_ind.pdf)

**3.1.2 Subsistema de Control.** Es el conjunto de componentes que regulan la conducta del subsistema de potencia con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado y obtener los resultados requeridos por el cliente, dentro de los elementos de control tenemos: relés temporizadores, retardadores, selectores funcionamiento modo manual o automático y transformadores de control.

Figura 22. Diagrama Taxonomía Subsistema de Control - Control Convencional



3.1.2.1 Relé temporizador. Un relé temporizador está diseñado para temporizar eventos en un sistema de automatización industrial, cerrando o abriendo contactos antes, durante o después del período de tiempo ajustado. En el sistema eléctrico de 480V de los pozos de producción este componente se encarga de regular la conexión o desconexión del subsistema de potencia según las especificaciones operacionales establecidas por el Departamento de Producción para cada pozo (ej.: el pozo Lisama 23 funciona en ciclos de dos horas de trabajo y una de descanso).

Figura 23. Relés Electrónicos Temporizadores



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPEPETROL S.A

Los temporizadores son compactos y constan de:

- Un oscilador que proporciona impulsos
- Un contador programable en forma de circuito integrado
- Una salida estática o de relé

Es posible ajustar el contador mediante un potenciómetro graduado en unidades de tiempo, situado en la parte frontal del aparato. De este modo, el equipo cuenta los impulsos que siguen al cierre (o la apertura) de un contacto de control y al alcanzar el número de impulsos, es decir, una vez transcurrida la temporización, genera una señal de control hacia la salida.

3.1.2.2 Relé retardador. Las corrientes de arranque de cada uno de los motores eléctricos pueden llegar a alcanzar valores de hasta 5 a 8 veces la corriente nominal del motor y producir caídas de tensión considerables que afecten componentes del sistema de distribución de energía e incluso podrían ocasionar un evento de salida del sistema de distribución. Por medio del retardador electrónico se minimizan los efectos de las corriente de arranque de los motores en la red, introduciendo un retardo en la conexión del subsistema de potencia de cada uno de los pozos de producción que evitará que todos los pozos que se

encuentren conectados al mismo circuito de distribución de energía entren en servicio en el mismo instante luego de una falla del circuito.

El retardo, por lo general es fijado mediante un potenciómetro graduado en unidades de tiempo y puede ir desde fracciones de segundo hasta varios minutos.

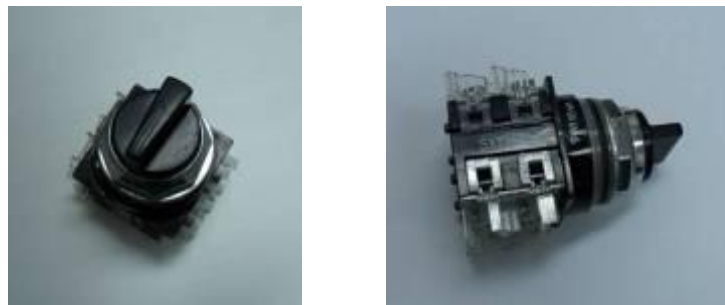
Figura 24. Relés Electrónicos Retardadores



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A

3.1.2.3 Interruptor selector manual-apagado-automático. Su función es abrir o cerrar contactos para seleccionar el modo de operación del subsistema de potencia, ya sea manual, automático: habilitando elementos de control como el temporizador, o su desconexión total.

Figura 25. Interruptor selector



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

3.1.2.4 Transformador de circuito de control. El transformador de circuito de control está diseñado para reducir los voltajes de suministro a los circuitos de control del sistema eléctrico del pozo proporcionando mayor seguridad a los operadores. El transformador suministra salidas de 120 V al circuito de control a partir del circuito de potencia de 480 V.

Figura 26. Transformador de control



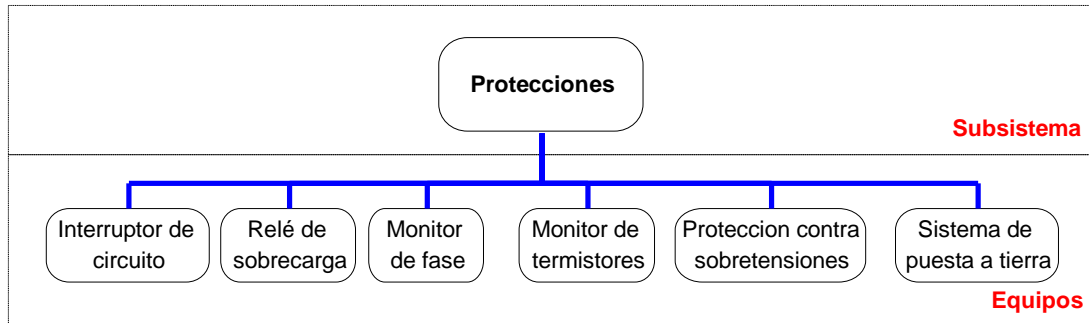
Fuente: <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/12768/229240/1151309/229413/6488319/>

**3.1.3 Subsistema de Protecciones.** El subsistema de protecciones tiene como objetivo evitar la destrucción de los componentes del sistema eléctrico de los pozos de producción por causa de una falla y aislar la parte donde se ha producido la falla buscando perturbar lo menos posible la red de distribución de energía.

Para lograr esto, el subsistema de protecciones de los pozos cuenta con:

- Interruptores de circuito (circuit breaker)
- Relé de sobrecarga
- Monitores de tensión de fase
- Monitor de termistores
- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)
- Sistema de puesta a tierra SPT

Figura 27. Diagrama Taxonomía Subsistema de Protecciones - Control Convencional



3.1.3.1 Interruptor de circuito. El interruptor es un accionamiento eléctrico automático diseñado para proteger un circuito eléctrico de los daños causados por sobrecarga o cortocircuito. Su función básica en el sistema eléctrico de 480V de los pozos de producción consiste en detectar una condición de fallo y, mediante la interrupción de la continuidad suspender inmediatamente el flujo eléctrico. A diferencia de un fusible, que opera una vez y luego tiene que ser sustituido, un interruptor de circuito se puede reiniciar (ya sea manualmente o automáticamente) para reanudar el funcionamiento normal.

Los interruptores se fabrican en diferentes tamaños, desde pequeños dispositivos individuales que protegen a un electrodoméstico hasta grandes celdas diseñadas para proteger los circuitos de alta tensión de alimentación de toda una ciudad.

Figura 28. Interior de un interruptor de circuito



1. Palanca actuador: se usa para desconexión manual y reinicio el disyuntor. También indica el estado del interruptor (activado o desactivado/disparado).
2. Mecanismo de accionamiento: une o separa los contactos.
3. Contactos: permiten el paso de la corriente al unirse y rompen el paso de corriente cuando se separan.
4. Tornillo de calibración: permite al fabricante ajustar con precisión la corriente de disparo del dispositivo después del ensamblado el dispositivo.
5. Solenoide.
6. Arco divisor/extintor.

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/Circuit\\_breaker](http://en.wikipedia.org/wiki/Circuit_breaker)

3.1.3.2 Relé de sobrecarga. Este dispositivo se utiliza dentro del sistema de protecciones del sistema eléctrico para proteger al motor contra sobrecargas débiles y prolongadas.

Figura 29. Relé de sobrecarga



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

3.1.3.3 Monitor de tensión de fase. El monitor de tensión de fase protege al sistema eléctrico contra los efectos dañinos de la pérdida de fase, bajo y sobrevoltaje, desbalanceo de fase e inversión de fase supervisando si existen fallos de fase en la tensión proveniente de la red de distribución de energía. Si se produce uno de estos fallos, el relé de salida del dispositivo se activa se desactiva desconectando el sistema eléctrico y cuando las tres fases están presentes nuevamente con tensión nominal, se activa automáticamente el relé de salida reconectando el sistema.

Figura 30. Monitor de tensión de fase



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPEPETROL S.A.

3.1.3.4 Monitor de termistores. El termistor es un semiconductor que actúa como un resistor sensible térmicamente. Un termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) aumenta repentinamente su resistencia de acuerdo a la temperatura; se trata de una resistencia no lineal, ya que la corriente que la atraviesa no es función lineal del voltaje. El PTC es seleccionado por el fabricante del motor de manera coordinada con el “rating” del aislamiento del motor.

El monitor de Termistor PTC protege al motor eléctrico contra condiciones de sobretemperatura. Este posee una indicación de energizado y otra de disparo y su restablecimiento puede ser manual o automático. Por lo general el nivel de

respuesta es ajustado en  $3400\Omega$  y el nivel de reset en  $1600\Omega$ , es decir que cuando la resistencia del termistor supera los  $3400\Omega$  el monitor se dispara desconectando el circuito de potencia y cuando retoma valores inferiores a  $1600\Omega$  el monitor puede ser reiniciado (ya sea de forma manual o automática) y se energiza nuevamente el sistema.

Figura 31. Monitor de termistores



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

3.1.3.5 Dispositivo de protección contra sobretensiones. Este dispositivo protege al sistema eléctrico de sobretensiones externas causadas por descargas atmosféricas o internas causadas por conmutación: arranque y parada de equipos, operaciones de interruptores.

Figura 32. Dispositivo de protección contra sobretensiones

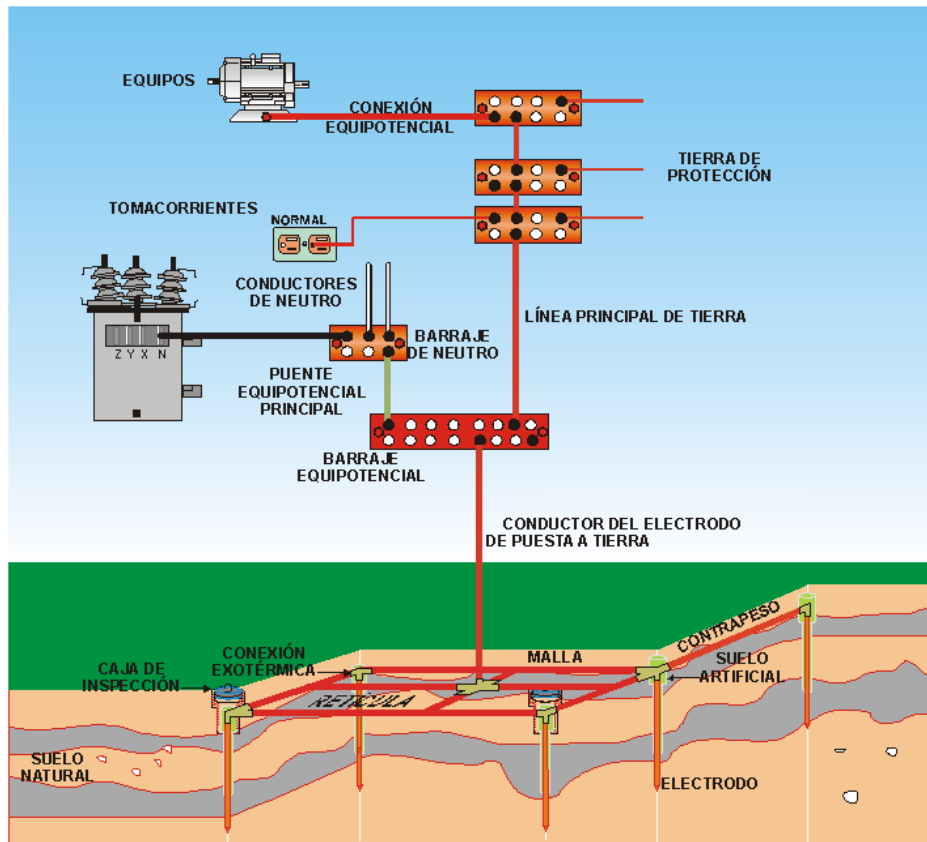


Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A.

3.1.3.6 Sistema de puesta a tierra. El sistema de puesta a tierra cumple dos funciones en el sistema eléctrico de 480V de los pozos de producción, la primera es establecer conexiones equipotenciales. La conexión equipotencial de estructuras metálicas expuestas garantizará normalmente que una falla eléctrica a la carcasa de los componentes del sistema (motor, gabinete del control) no generará una diferencia de potencial entre ella y la estructura metálica puesta a tierra en un componente adyacente, si una persona está en contacto simultáneamente con dos piezas diferentes de una de las estructuras metálicas expuestas, el conductor de conexión a tierra deberá garantizar que la persona no reciba un choque eléctrico, haciendo que la diferencia de potencial entre los equipos sea insuficiente para que esto ocurra.

La segunda función de un sistema de puesta a tierra es garantizar que, en el evento de una falla a tierra, toda corriente de falla que se origine, pueda retornar a la fuente de una forma controlada, de tal modo que no ocurra daño a los equipos o lesión a las personas. La conexión a tierra no es de capacidad infinita e impedancia nula, sin embargo, la impedancia del sistema de tierra debe ser lo bastante baja de modo que pueda fluir suficiente corriente de falla a tierra para que operen correctamente los dispositivos de protección, los cuales a su vez provocarán la operación de interruptores o fusibles para interrumpir el flujo de corriente.

Figura 33. Sistema de puesta a tierra



Fuente: <http://www.qallarix.com/electricidad/>

### 3.1.4 Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Variador de Velocidad

Figura 34. Diagrama Taxonomía Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Variador de Velocidad

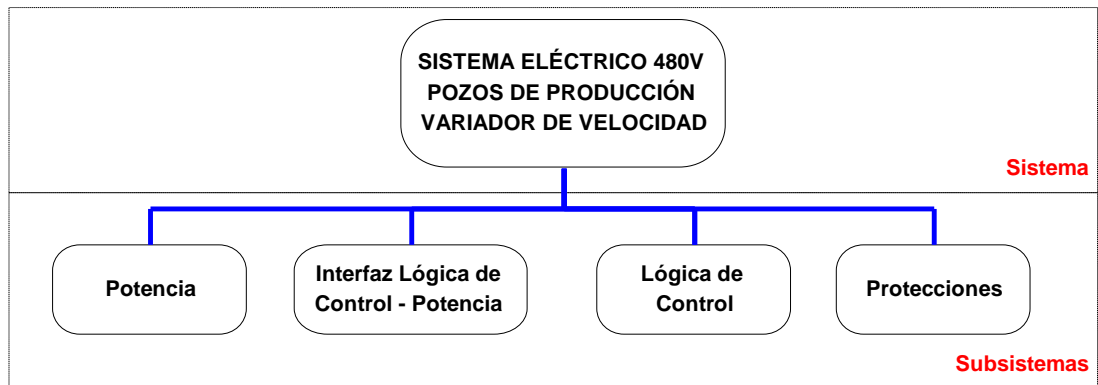


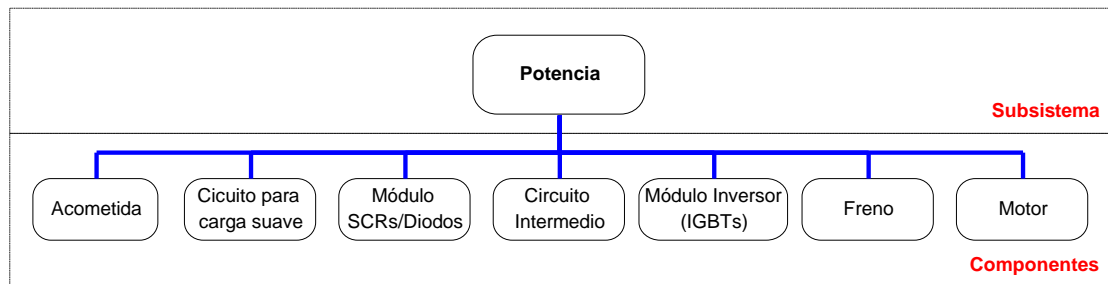
Figura 35. Variador de Velocidad



Fuente: Mantenimiento Eléctrico de Campo, SOM - ECOPETROL S.A..

### 3.1.5 Subsistema de Potencia

Figura 36. Diagrama Taxonomía Subsistema de Potencia – Variador de Velocidad



El subsistema de potencia del sistema eléctrico de pozos con variador de velocidad, además de la acometida y del motor (elementos en común con el subsistema de potencia del sistema eléctrico con control convencional), está compuesto por el circuito para la carga suave, el módulo de SCRs/diodos en el rectificador, las bobinas DC del circuito intermedio que suavizan la intensidad del circuito intermedio y limitan la carga de la red y de los componentes, los condensadores DC del circuito intermedio que suavizan la tensión del circuito intermedio, el módulo de IGBTs que conforman el inversor y el IGBT de freno en el cual se conectar la resistencia de frenado externa.

En relación con el módulo de SCRs/diodos, el circuito de carga suave limita la corriente de entrada cuando la energía se aplica por primera vez y los condensadores del bus DC se cargan. Esto se logra manteniendo deshabilitado el módulo de SCRs mientras la corriente de carga pasa a través de la resistencia de carga suave, lo que limita la corriente. El circuito del bus DC suaviza la tensión continua pulsante creada por la conversión de la alimentación AC.

La bobina DC es una sola unidad con dos bobinas devanadas en un núcleo común. Una bobina se encuentra en el lado positivo del bus DC y la otra en el negativo. La bobina ayuda en la reducción de los armónicos de la línea.

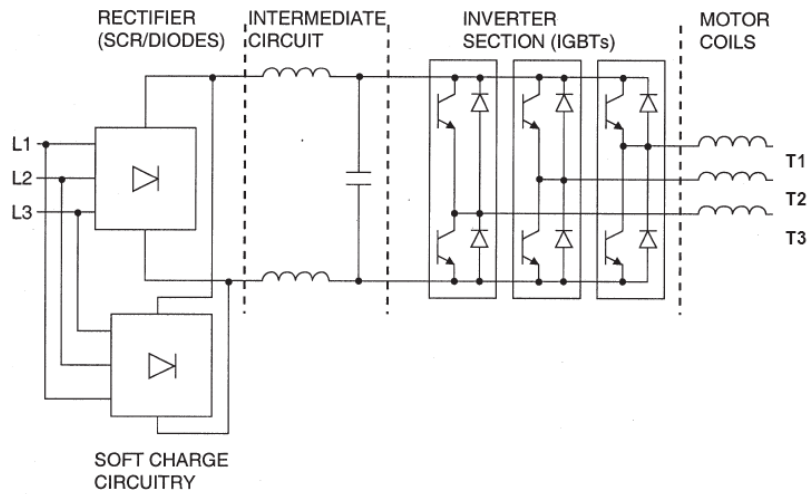
Los condensadores del bus DC están organizados en un banco de condensadores con purga y circuito de equilibrio.

La sección del inversor está formada por seis IGBTs, comúnmente conocidos como interruptores. Un interruptor es necesario para cada media fase de la potencia trifásica, para un total de seis. Los seis IGBTs están contenidos en un solo módulo.

Un sensor de efecto Hall tipo corriente se encuentra en cada fase de salida para medir la corriente del motor. Este tipo de dispositivo se utiliza en lugar de los dispositivos transformadores de corriente (TC) con el fin de reducir la cantidad de frecuencia y la distorsión de fase que los TCs introducen en la señal. Con los sensores Hall, el promedio, máximo, y las corrientes de fuga a tierra se pueden controlar.

La función del IGBT de freno es limitar la tensión en el circuito intermedio, siempre que se supere el límite de tensión máxima. Esto lo hace conmutando la resistencia montada en el exterior a través del bus DC para eliminar el exceso de tensión continua presente en los condensadores del bus. El exceso de tensión DC es generalmente un resultado de un reacondicionamiento de la carga causando energía regenerativa que es retornada al bus DC. Esto ocurre, por ejemplo, cuando la carga conduce al motor, produce tensión para devolver al circuito del bus DC. La resistencia de frenado se ubica externamente para disipar la energía fuera del panel de control, y proteger al variador de velocidad contra el sobrecalentamiento si la resistencia de frenado se sobrecarga.

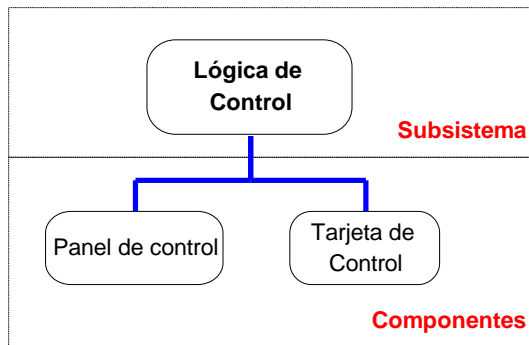
Figura 37. Subsistema de potencia variador de velocidad



Fuente: VLT 5000 SERVICE MANUAL DANFOSS, 2005

### 3.1.6 Subsistema de Lógica de Control

Figura 38. Diagrama Taxonomía Subsistema Lógica de Control – Variador de Velocidad



La tarjeta de control contiene la mayor parte del subsistema de lógica de control. El principal elemento de lógica de la tarjeta de control es un microprocesador, que supervisa y controla todas las funciones de operación del sistema. Además, PROMs separadas contienen los parámetros para proporcionar al usuario

opciones programables. Estos parámetros son programados para habilitar el variador de velocidad para cumplir los requisitos específicos de cada aplicación. Estos datos luego se almacenan en una memoria EEPROM que proporcione seguridad durante salidas de la red de distribución de energía y también permite la flexibilidad para cambiar las características operativas del variador.

Un circuito integrado personalizado genera una onda modulada por ancho de pulso (PWM) de que se envía a los circuitos de interfaz que se encuentran en la tarjeta de potencia. La forma de onda PWM se crea mediante un esquema de control llamado VVCplus, (Control Vector Voltage). VVCplus proporciona una frecuencia y un voltaje variables al motor que cumplen los requisitos del motor. La respuesta dinámica del sistema cambia para satisfacer las necesidades variables de la carga.

Otra parte del subsistema de lógica de control es el panel de control local (LCP). Se trata de un teclado y pantalla extraíbles montados en la parte frontal del variador de velocidad. El teclado proporciona la interfaz entre la lógica digital interna del variador de velocidad y el operador.

Todos los ajustes de los parámetros programables del variador pueden ser cargados en la EEPROM del LCP. Esta función es útil para mantener una copia de seguridad del perfil y el conjunto de parámetros del variador. También puede ser utilizada, mediante la función de descarga, en la programación de otras unidades o para restablecer un programa a una unidad reparada. El LCP se puede retirar durante la operación para prevenir cambios indeseados del programa. Con la incorporación de un kit de montaje remoto, el LCP se puede montar en un lugar remoto de hasta tres metros de distancia.

El variador también cuenta con terminales de control, con funciones programables para los comandos de entrada como marcha, parada, avance, retroceso y la

velocidad de referencia, y terminales adicionales de salida para suministrar señales para ejecutar los dispositivos periféricos o de seguimiento y notificación de estado.

La lógica de la tarjeta de control es capaz de comunicarse a través del enlace serie con dispositivos externos, tales como computadoras personales o los controladores lógicos programables (PLC).

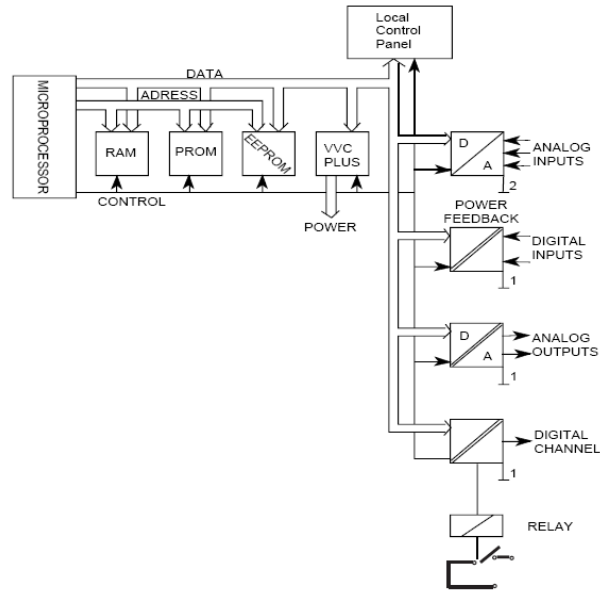
La tarjeta de control también proporciona dos fuentes de tensión para el uso de los terminales de control. 24 VDC se utilizan para las funciones de conmutación, como inicio, parada y avance/retroceso. La alimentación de 24 VDC también es capaz de suministrar 200 mA de potencia, parte de los cuales se pueden utilizar para alimentar codificadores externos u otros dispositivos. Una fuente de 10 VDC nominal de 17mA también está disponible para su uso con el circuito de velocidad de referencia.

Las señales de salida analógica y digital son alimentadas a través de una fuente interna. Las tres fuentes de alimentación son aisladas entre sí para eliminar las condiciones de bucle de tierra en el circuito de control de entrada.

Un relé de bajo voltaje de un solo polo en la tarjeta de control activa los dispositivos exteriores basado en el estado del variador. Los contactos del relé de la tarjeta de control se utilizan para 50 VAC a 1 amperio. Sin embargo, en aplicaciones UL, el valor nominal está limitado a 30 VDC a 1 Amp.

El circuito lógico en la tarjeta de control permite la adición de módulos opcionales para el control de la sincronización, comunicaciones serie, relés adicionales, el controlador de bombas en cascada, o software operativo personalizado.

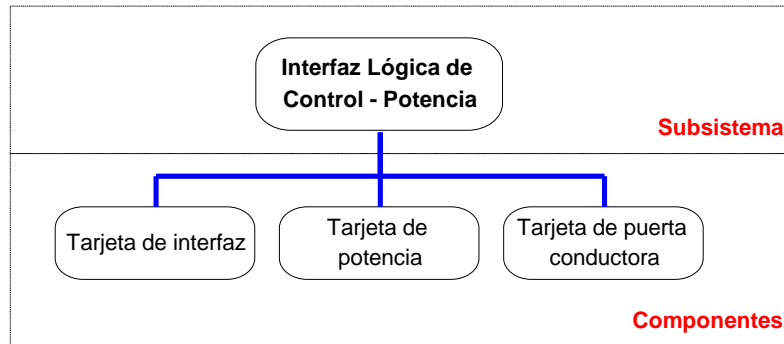
Figura 39. Subsistema de lógica de control variador de velocidad



Fuente: VLT 5000 SERVICE MANUAL DANFOSS, 2005

### 3.1.7 Interfaz subsistema de lógica de control – subsistema de potencia

Figura 40. Diagrama Taxonomía Subsistema Interfaz entre subsistema de lógica de control y subsistema de potencia– Variador de Velocidad



La interfaz entre el sistema de control y el sistema de potencia aísla los componentes de alto voltaje del sistema de potencia (480V) de las señales de bajo voltaje del sistema de control. La interfaz consiste en tres diferentes tarjetas de

circuitos: la tarjeta de interfaz, la tarjeta de potencia y la tarjeta de puerta conductora.

Una tarjeta de interfaz, localizada entre las tarjetas de control y de potencia proporciona la traducción entre los dos esquemas de la señal. La mayor parte de la comunicación entre la lógica de control y el resto de la unidad pasa a través de estas dos tarjetas. La comunicación con la tarjeta de potencia incluye la monitorización de la tensión del bus DC, la tensión de línea, la salida de corriente, junto con el control de la corriente de entrada y las señales de excitación de la puerta de conducción.

Gran parte de las fallas de procesamiento por condiciones producidas por cortocircuitos y fallas a tierra son tratadas por la tarjeta de control. Las tarjetas de potencia y de interfaz proporcionan el condicionamiento de estas señales. El escalamiento de la corriente y la tensión de retroalimentación se realizan en la tarjeta de interfaz antes de ser procesada por la tarjeta de control.

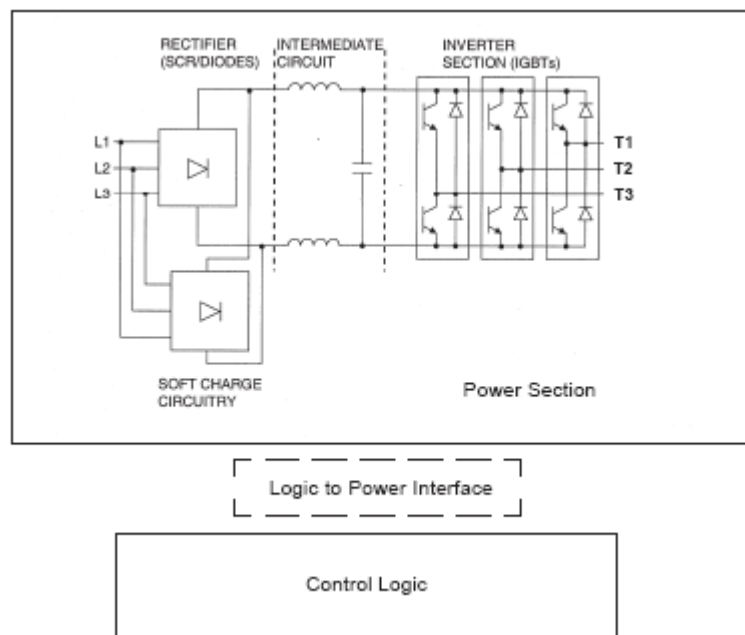
La tarjeta de potencia contiene una fuente de alimentación conmutada (SMPS), que proporciona al variador de velocidad tensiones de funcionamiento: 24 VDC, 18 VDC, -18 VDC y 5 VDC. La lógica de control y el circuito de interfaz son alimentados por la SMPS. La EI SMPS es proveída por la tensión del bus DC. Los circuitos para controlar la velocidad de los ventiladores de refrigeración también se encuentran en la tarjeta de potencia.

También se encuentra en la tarjeta de potencia un relé de control del estado del variador de velocidad. El relé tiene un contacto normalmente abierto y un contacto normalmente cerrado en un solo disparo. Los contactos del relé están clasificados para una carga máxima de 240 VCA a 2 amperios.

Las señales de excitación de la puerta de la tarjeta de control hacia los transistores de salida (IGBT) son aisladas y almacenadas en la tarjeta de puerta conductora.

La señal de puerta del IGBT de freno se origina en la tarjeta de control y se entrega al IGBT de freno a través de la tarjeta de potencia y de la tarjeta de puerta conductora. Además, las tarjetas de control y de potencia monitorizan el IGBT de freno y la resistencia de frenado de cortocircuitos y sobrecargas.

Figura 41. Interfaz subsistema de lógica de control – subsistema de potencia



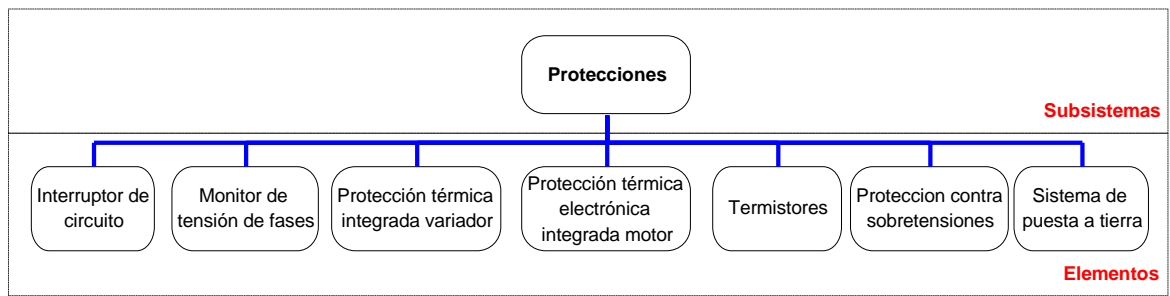
Fuente: VLT 5000 SERVICE MANUAL DANFOSS, 2005

3.1.7.1 Subsistema de Protecciones. Los siguientes elementos conforman el subsistema de protecciones del sistema eléctrico 480V con variador de velocidad:

- Interruptores de circuito (circuit breaker)
- Monitor de tensión de fases

- Protección térmica integrada variador de velocidad - sistema de refrigeración (ventiladores)
- Protección térmica electrónica integrada motor
- Termistores
- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)
- Sistema de puesta a tierra SPT

Figura 42. Diagrama Taxonomía Subsistema Protecciones – Variador de Velocidad



- Monitor de tensión de fases. La lectura de intensidad en las tres fases del motor proporciona una protección perfecta del convertidor de frecuencia contra fallos a tierra y cortocircuitos en la conexión del motor.

El control constante de las tres fases del motor permite la conmutación a la salida del motor mediante un contactor.

El control eficaz de las tres fases de la alimentación garantiza que la unidad se detenga en caso de fallo de fase. Así se evita una sobrecarga del inversor y de los condensadores del circuito intermedio, lo que reduciría drásticamente la vida útil del variador de velocidad.

- Protección térmica integrada variador de velocidad. El variador de velocidad cuenta con protección térmica integrada. Si se produce una situación de sobrecarga térmica, esta función desactiva el inversor.

3.1.7.2 Sistema de refrigeración del variador de velocidad. Los variadores de velocidad cuentan con ventiladores para facilitar la circulación de aire a lo largo del disipador de calor. Además tienen un ventilador montado en la puerta del gabinete para proporcionar un flujo de aire adicional para el resto de la unidad.

Todos los ventiladores son alimentados con la tensión proveniente de la línea principal que es reducida por un autotransformador y luego regulada a 200 o 230 VAC por los circuitos de la tarjeta de potencia. Los ventiladores cuentan con control de encendido / apagado y de alta / baja velocidad para reducir el ruido acústico global y extender su vida.

Independientemente de la temperatura del disipador de calor, los ventiladores son encendidos poco después de que la alimentación de entrada principal es aplicada al variador de velocidad. Si la temperatura del disipador de calor está por debajo de 86°F (30°C), los ventiladores se apagarán después de un breve intervalo de tiempo. A una temperatura del disipador de calor de más de 113°F (45°C), los ventiladores se encienden a baja velocidad. Esto equivale a alrededor de 200 VAC aplicados a los ventiladores. A una temperatura del disipador de calor de más de 140°F (60°C), 230 VAC se aplican a los ventiladores para obtener la máxima velocidad. Cuando la temperatura del disipador de calor vuelve a menos de 131°F (55°C), los ventiladores el retornan a baja velocidad. Por debajo de 86°F (30°C) los ventiladores se apagan.

Puesto que la temperatura ambiente interna es regulada por uno o más ventiladores de 230 VAC, la transición entre las velocidades alta y baja se produce también si se eleva la temperatura ambiente interna, independientemente de la

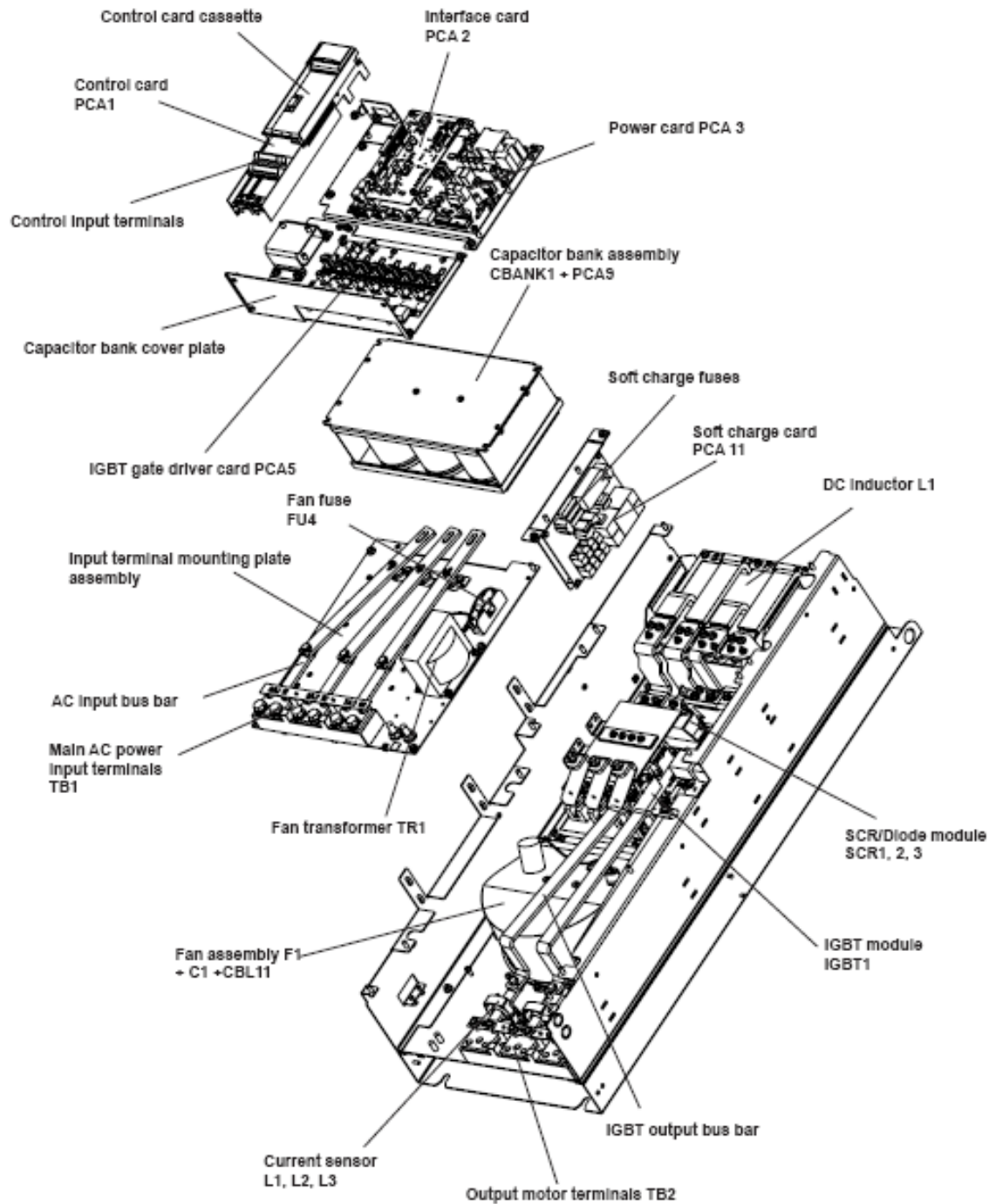
temperatura del disipador de calor. El sensor de temperatura ambiente interna se encuentra en la tarjeta de potencia. Si la temperatura interna se eleva a más de 95 ° F (35 ° C), los ventiladores cambian a alta velocidad, independientemente de la temperatura del disipador de calor. Si la temperatura ambiente interna vuelve a 86°F (30°C) y la temperatura del disipador de calor se mantiene por debajo de 140°F (60°C), los ventiladores volverán a baja velocidad.

3.1.7.3 Protección térmica electrónica integrada motor. El variador de velocidad una protección térmica electrónica integrada del motor. El variador calcula la temperatura del motor según la intensidad, la frecuencia y el tiempo.

En comparación con la protección tradicional bimetálica, la protección electrónica toma en cuenta la disminución de la refrigeración producida a bajas frecuencias debido a la reducción de la velocidad del ventilador del motor (motores con ventilación interna).

La protección térmica del motor es comparable a un termistor de motor. Para obtener la máxima protección contra el sobrecalentamiento del motor si éste quedase cubierto o bloqueado, o si se produce un fallo del ventilador, es posible incorporar un termistor y conectarlo a la entrada de termistor del variador de velocidad.

Figura 43. Despiece Variador de velocidad Danfoss



Fuente: VLT 5000 SERVICE MANUAL DANFOSS, 2005

#### 4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO 480V POZOS DE PRODUCCIÓN

Para realizar el análisis de la información de las fallas en el sistema eléctrico 480V de los pozos de producción, se definió con el supervisor de mantenimiento eléctrico de campo y el grupo técnico de operación y mantenimiento las funciones y las fallas funcionales y de esta manera se determinaron los modos de falla que pueden ocasionar la falla funcional del sistema.

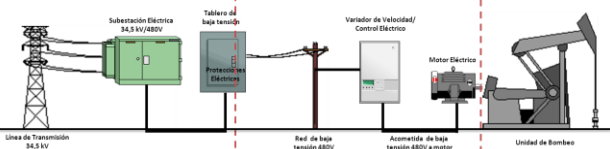

El Análisis de Modos de fallas y sus Efectos (AMFE) se realizó a un segundo nivel aplicando la Hoja de Información de RCM II en la que se describe las funciones, fallas de función, modos de falla y efectos de modos de falla para poder definir claramente la causa de la falla.

Tabla 3. Hoja de Información RCM II

| HOJA DE TRABAJO RCM |         |        |                    |        |               |   |
|---------------------|---------|--------|--------------------|--------|---------------|---|
| Equipo:             |         |        | Equipo de trabajo: |        |               | Fecha de realización:                                       |
| Componente:         |         |        | Aprobado por:      |        |               | Fecha de aprobación:  |
| C.F.                | FUNCIÓN | C.F.F. | FALLA DE FUNCIÓN   | C.M.F. | MODO DE FALLA | EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA<br>(Qué sucede cuando falla) |
| 1                   |         | 1A     |                    | 1A1    |               |   |
|                     |         |        |                    | 1A2    |               |   |
|                     |         | 1B     |                    | 1B1    |               |   |
|                     |         |        |                    | 1B2    |               |   |
| 2                   |         | 2A     |                    | 2A1    |               |   |
|                     |         |        |                    | 2A2    |               |   |
| 3                   |         | 3A     |                    | 3A1    |               |   |
|                     |         |        |                    | 3A2    |               |   |
| 4                   |         | 4A     |                    | 4B1    |               |   |
|                     |         |        |                    | 4B2    |               |   |

Fuente: Fuente: Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004.

Tabla 4. Definición de Funciones Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción (Sistema con Control Convencional o Variador de Velocidad)

| ELEMENTO DE ESTUDIO   | CONDICIONES AMBIENTALES  | FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)   | Cod. Fun. | FUNCIONES   |
|---|--|--|-----------|---|
| <p><b>SISTEMA ELECTRICO A 480V POZOS DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL / VARIADOR DE VELOCIDAD</b></p> | <p>Los campos de extracción de petróleo de la Superintendencia de Operaciones de Mares se encuentran ubicados a una altitud de 85 metros sobre el nivel del mar, precipitaciones de 2.713 mm anuales, humedad relativa de 79% y temperatura media anual es de 28,6 °C.</p> |  | <p>1</p>  | <p>Transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción.</p>  <p>2</p> <p>Brindar protección y seguridad a las personas y los equipos minimizando los efectos derivados de los diferentes tipos de falla que puedan producirse en el sistema eléctrico (cortocircuitos, fallas a tierra, sobrecargas, sobrevoltajes).</p> |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

En primer lugar se presentará la información y el análisis completo para el sistema eléctrico con control convencional y a continuación la información del sistema con variador de velocidad.

Tabla 5. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla de la acometida, contactor, motor y transformador de control y sus Efectos (Sistema con Control Convencional)

| Cód. Func. | Función  | Cód. FF | Descripción Falla Funcional  | Cód. MF | Modo de Falla NIVEL I   | Cód. MF II   | Modo de Falla NIVEL II   | Descripción Efectos  |
|------------|--|---------|--|---------|---|--|--|--|
| A1         | Transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | A1A     | No se puede transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | A1A1    | Falla en Acometida  | A1A101   | Falla de aislamiento por entrada de humedad al ducto y al conductor.   | Falla a tierra, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A102   | Perdida de aislamiento por sobretemperatura del conductor por sobrecarga.  | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A103   | Perdida de aislamiento del conductor por sobrecorriente.   | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A104   | Perdida de aislamiento del conductor por pérdida de material aislante.   | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A105   | Presencia de puntos calientes por defectos en los terminales de conexión, por terminales instalados de forma inadecuada. | Rotura del conductor, falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.                              |
|            |  |         |  | A1A2    | Falla en Contactor  | A1A201   | Erosión de contactos por repetidas operaciones de apertura y cierre.   | Ausencia de tensión en una o dos fases, sobrecarga del sistema, salida del sistema.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A202   | Falla de la bobina por bajo voltaje o sobrevoltaje (480V ±50V).  | Apertura del contactor, salida del sistema eléctrico   |
|            |  |         |  |         |   | A1A203   | Desprendimiento de la espira de sombra por desgaste del material.  | Pierde capacidad de atracción y se abre el contactor, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |         |   | A1A204   | Presencia puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas.                | Rotura de cables de conexión, pérdida de fases o apertura del contactor, salida del sistema eléctrico.                         |
|            |  |         |  | A1A3    | Falla del Motor   | A1A301   | Vibraciones mecánicas por desbalanceo del rotor.   | Fatiga y falla de rodamientos, bloqueo del motor, sobrecarga, daño del equipo, salida del sistema.                             |
|            |  |         |  |         |   | A1A302   | Vibraciones mecánicas por excentricidad.   | Inducción de frecuencias no deseadas a la corriente de alimentación del equipo, daños al equipo, Salida del sistema.           |
|            |  |         |  |         |   | A1A303   | Vibraciones mecánicas por fisura o rotura de barras del rotor.   | Reducción de par, baja eficiencia del motor. El operador para el equipo.   |
|            |  |         |  |         |   | A1A304   | Bloqueo del rotor por falla en rodamientos.  | Sobrecarga del sistema, daño del equipo, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |   | A1A305   | Perdida de aislamiento por sobrecarga.   | Cortocircuito entre bobinados de diferentes fases o entre bobinados y tierras, salida del sistema.                             |
|            |  |         |  | A1A306  | Pérdida de aislamiento por pérdida de una fase o desbalanceo.   |  |  |  |
|            |  |         |  | A1A307  | Pérdida de aislamiento por presencia de contaminantes o abrasivos en los bobinados.                       |  |  |  |
|            |  |         |  | A1A308  | Pérdida de aislamiento por picos de voltaje.  | Rotura de conductores, falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico. |  |  |
|            |  |         |  | A1A309  | Presencia puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas. |  |  |  |
|            |  |         |  | A1A4    | Falla en Transformador de Control   | A1A401   | Falla del transformador por fluctuaciones de voltaje.  | Apertura del circuito de control, se desenergiza la bobina del contactor y el contactor se abre. Salida del sistema eléctrico. |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 6. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del temporizador, retardador y selector Manual-Off-Auto y sus Efectos (Sistema con Control Convencional)

| Cód. Func. | Función  | Cód. FF | Descripción Falla Funcional  | Cód. MF | Modo de Falla NIVEL I              | Cód. MF II | Modo de Falla NIVEL II   | Descripción Efectos   |
|------------|--|---------|--|---------|------------------------------------|------------|--|---|
| A1         | Transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | A1A     | No se puede transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | A1A5    | Falla en Temporizador              | A1A501     | Daño de componentes del temporizador por sobrevoltaje (>270V). | El relé electrónico del temporizador no actúa para energizar la bobina y cerrar el contactor. Salida del sistema eléctrico. |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A502     | Daño de componentes del temporizador por entrada de humedad.   |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A503     | Daño de componentes del temporizador por sobretemperatura.     |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A504     | Falla de los contactos.  |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A505     | Falla del potenciómetro y dip-switch.                          | No se puede realizar el ajuste de tiempos conexión y desconexión en el temporizador para control del sistema eléctrico.     |
|            |  |         |  | A1A6    | Falla en Retardador                | A1A601     | Daño de componentes del retardador por sobrevoltaje (>270V).   | El relé electrónico del retardador no actúa para energizar la bobina y cerrar el contactor. Salida del sistema eléctrico.   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A602     | Daño de componentes del retardador por entrada de humedad.     |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A603     | Daño de componentes del retardador por sobretemperatura.       |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A604     | Falla de los contactos.  |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A605     | Falla del potenciómetro y dip-switch.                          | No se puede realizar el ajuste de tiempos conexión en el retardador para control del sistema eléctrico.                     |
|            |  |         |  | A1A7    | Falla en Selector Manual-Off- Auto | A1A701     | Rotura del mecanismo de conmutación                            | No se puede controlar el sistema, desconexión o conexión en modo manual o automático.                                       |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A702     | Desgaste del mecanismo de conmutación.                         |   |
|            |  |         |  |         |                                    | A1A703     | Falla de los contactos por suciedad o desgaste.                |   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 7. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del interruptor de circuito, relé de sobrecarga, monitor de fase y sus Efectos (Sistema con Control Convencional)

| Cód. Func. | Función  | Cód. FF | Descripción Falla Funcional  | Cód. MF | Modo de Falla NIVEL I            | Cód. MF II | Modo de Falla NIVEL II  | Descripción Efectos   |
|------------|--|---------|--|---------|----------------------------------|------------|---|---|
| A2         | Brindar protección y seguridad a las personas y los equipos minimizando los efectos, derivados de los diferentes tipos de falla que puedan producirse en el sistema eléctrico (cortocircuitos, fallas a tierra, sobrecargas, sobrevoltajes). | A2A     | El sistema de protecciones no brinda protección y seguridad a las personas y a los equipos del sistema eléctrico de los pozos. | A2A1    | Falla en Interruptor de circuito | A2A101     | El interruptor no dispara en el evento de una falla por cortocircuito en el sistema.                      | No es interrumpida la corriente de cortocircuito, daños catastróficos en equipos del sistema, posibles lesiones a las personas.   |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A102     | Falla del dial para calibración de la corriente de disparo.   | No se puede realizar el ajuste adecuado de la corriente de disparo y el interruptor no cumple su función de protección del sistema por o cortocircuitos, daños en equipos, salida del sistema.  |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A103     | Daño del mecanismo de accionamiento.  | No se puede manipular el interruptor para reinicio, apertura o cierre del sistema. Salida del sistema.  |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A104     | Rotura de la palanca del mecanismo de accionamiento   | No se puede manipular el interruptor para apertura o cierre del sistema.  |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A105     | Presencia puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas. | Rotura de cables de conexión, pérdida de fases, falla a tierra o cortocircuito, salida del sistema eléctrico.   |
|            |  |         |  | A2A2    | Falla en relé de sobrecarga      | A2A201     | El dispositivo no actúa por daño en sus componentes.  | Daños en el motor por sobrecarga, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A202     | Falla del dial para calibración de la corriente de disparo.   | No se puede realizar el ajuste adecuado de la curva de disparo y el relé no cumple su función de protección del motor por sobrecarga, daño en el motor, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A203     | Falla mecanismo de reinicio.  | No es posible reiniciar el sistema luego de una falla por sobrecarga. Sistema fuera de servicio.  |
|            |  |         |  | A2A3    | Falla en Monitor de fase         | A2A301     | Daño de componentes del monitor de fase por sobrevoltaje.   | El monitor de fase no actúa ante la pérdida de una fase o inversión de la secuencia de fases de la red de distribución, bajo voltaje o alto voltaje, no desconecta el sistema de potencia, se pueden generar sobrecargas del sistema y daños en los equipos y componentes del |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A302     | Daño de componentes del monitor de fase por entrada de humedad.   | Se desconecta el sistema y no es posible reiniciarlo. Sistema fuera de servicio.  |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A303     | Daño de componentes del monitor de fase por sobretemperatura.   |   |
|            |  |         |  |         |                                  | A2A304     | Falla de contactos. No conmutan de posición abierto a cerrado.  |   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos


Tabla 8. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla del monitor de termistores, dispositivo de protección contra sobretensiones sistema de puesta a tierra y sus Efectos (Sistema con Control Convencional)

| Cód. Func. | Función  | Cód. FF | Descripción Falla Funcional  | Cód. MF | Modo de Falla NIVEL I                                    | Cód. MF II | Modo de Falla NIVEL II  | Descripción Efectos   |
|------------|--|---------|--|---------|--|------------|---|---|
| A2         | Brindar protección y seguridad a las personas y los equipos minimizando los efectos, derivados de los diferentes tipos de falla que puedan producirse en el sistema eléctrico (cortocircuitos, fallas a tierra, sobrecargas, sobrevoltajes). | A2A     | El sistema de protecciones no brinda protección y seguridad a las personas y a los equipos del sistema eléctrico de los pozos. | A2A4    | Falla en Monitor de termistores - termistores            | A2A401     | Daño de componentes del monitor de termistores por sobrevoltaje (>230V).  | El monitor de termistores no actúa ante una sobretemperatura en el motor, no desconecta el sistema de potencia, el motor sufre degradación en su aislamiento y falla. Salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |  | A2A402     | Daño de componentes del monitor de termistores por sobretemperatura.  |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A403     | Daño de componentes del monitor de termistores o de los termistores por entrada de humedad.   |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A404     | Daño de los termistores por contaminación o suciedad.   |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A405     | Falla de contactos. No conmutan de posición abierto a cerrado.  |   |
|            |  |         |  | A2A5    | Falla en dispositivo de protección contra sobretensiones | A2A501     | El dispositivo no actúa por daño en sus componentes.  | La sobretensión no es drenada por el dispositivo a tierra sino que es absorbida por los elementos del sistema. Avería de equipos, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |  | A2A502     | Conexiones, flojas o sueltas por vibración.   | El dispositivo puede actuar de manera incorrecta, energizar el gabinete, explotar, salida del sistema, posibles lesiones a las personas.  |
|            |  |         |  | A2A6    | Falla en Sistema de puesta a tierra                      | A2A601     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por corrosión en los elementos, conductores, electrodos, conectores. | El sistema de puesta a tierra no cumple su función de proteger a los equipos y las personas drenando las corrientes de falla a tierra y estableciendo conexiones equipotenciales, se producen daños en equipos, posibles lesiones a las personas. |
|            |  |         |  |         |  | A2A602     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por daño en conectores rotos.  |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A603     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por daño en conectores o conexiones flojas.                          |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A604     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por cambios en las condiciones del terreno.                          |   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Luego de identificar todos los modos de falla se procedió a determinar las consecuencias de estas fallas, su criticidad según la matriz de valoración de riesgos de Ecopetrol S.A. y la selección de las tareas de mantenimiento según el diagrama y aplicando la Hoja de Decisión de RCM II de Jhon Mourbray.

Tabla 9. Matriz de Valoración del Riesgo Ecopetrol S.A.

|                |                           | DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL |   |                      |              | ECP-DRI-F-045                       |                             |                           |  |  |
|---|---------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|--------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
|   |                           | MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM |   |                      |              | ACT: 2 / 1/1<br>31 de Marzo de 2008 |                             |                           |  |  |
| Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007 |                           |                                       |   |                      |              |                                     |                             |                           |  |  |
| CONSECUENCIAS   |                           |                                       |   |                      | PROBABILIDAD |                                     |                             |                           |  |  |
|   |                           |                                       |   |                      | A            | B                                   | C                           | D                         | E  |  |
| Personas  | Economicos                | Ambiental                             | Clientes                                  | Imagen de la Empresa |              | No ha ocurrido en la industria      | Ha ocurrido en la industria | Ha ocurrido en la Empresa | Sucede varias veces al año en la Empresa | Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento |
| Una o mas fatalidades   | Catastrófica > \$10M      | Contaminación Irreparable             | Voto como proveedor                       | Internacional        | 5            | M                                   | M                           | H                         | H  | VH   |
| Incapacidad permanente (parcial o total)  | Grave \$1M a \$10M        | Contaminación Mayor                   | Pérdida de participación en el mercado    | Nacional             | 4            | L                                   | M                           | M                         | H  | H  |
| Incapacidad temporal (>1 día)   | Severo \$100k a \$1M      | Contaminación Localizada              | Pérdida de clientes y/o desabastecimiento | Regional             | 3            | N                                   | L                           | M                         | M  | H  |
| Lesión menor (sin incapacidad)  | Importante \$10k a \$100k | Efecto Menor                          | Cuotas y/o reclamos                       | Local                | 2            | N                                   | N                           | L                         | L  | M  |
| Lesión leve (primeros auxilios)   | Marginal <\$10k           | Efecto Leve                           | Incumplir especificaciones                | Interna              | 1            | N                                   | N                           | N                         | L  | L  |
| Ninguna lesión  | Ninguna                   | Ningún efecto                         | Ningún impacto                            | Ningún impacto       | 0            | N                                   | N                           | N                         | N  | N  |

Fuente: Instructivo ECP-DRI-I-007. USO DE LA MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM

Tabla 10. Criterios de Aceptabilidad Valoración de Consecuencias y Criticidad de Fallas

| COLOR | RIESGO   | CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD | TOMANDO DECISIONES |
|-------|----------|----------------------------|--------------------|
| VH    | Muy alto | Inadmisible                | SI                 |
| H     | Alto     | Inaceptable                |                    |
| M     | Medio    | Tolerable                  | NO                 |
| L     | Bajo     | Aceptable                  |                    |
| N     | Ninguno  |                            |                    |

Fuente: ECOPETROL S.A.

Tabla 11. Hoja de Decisión RCM II

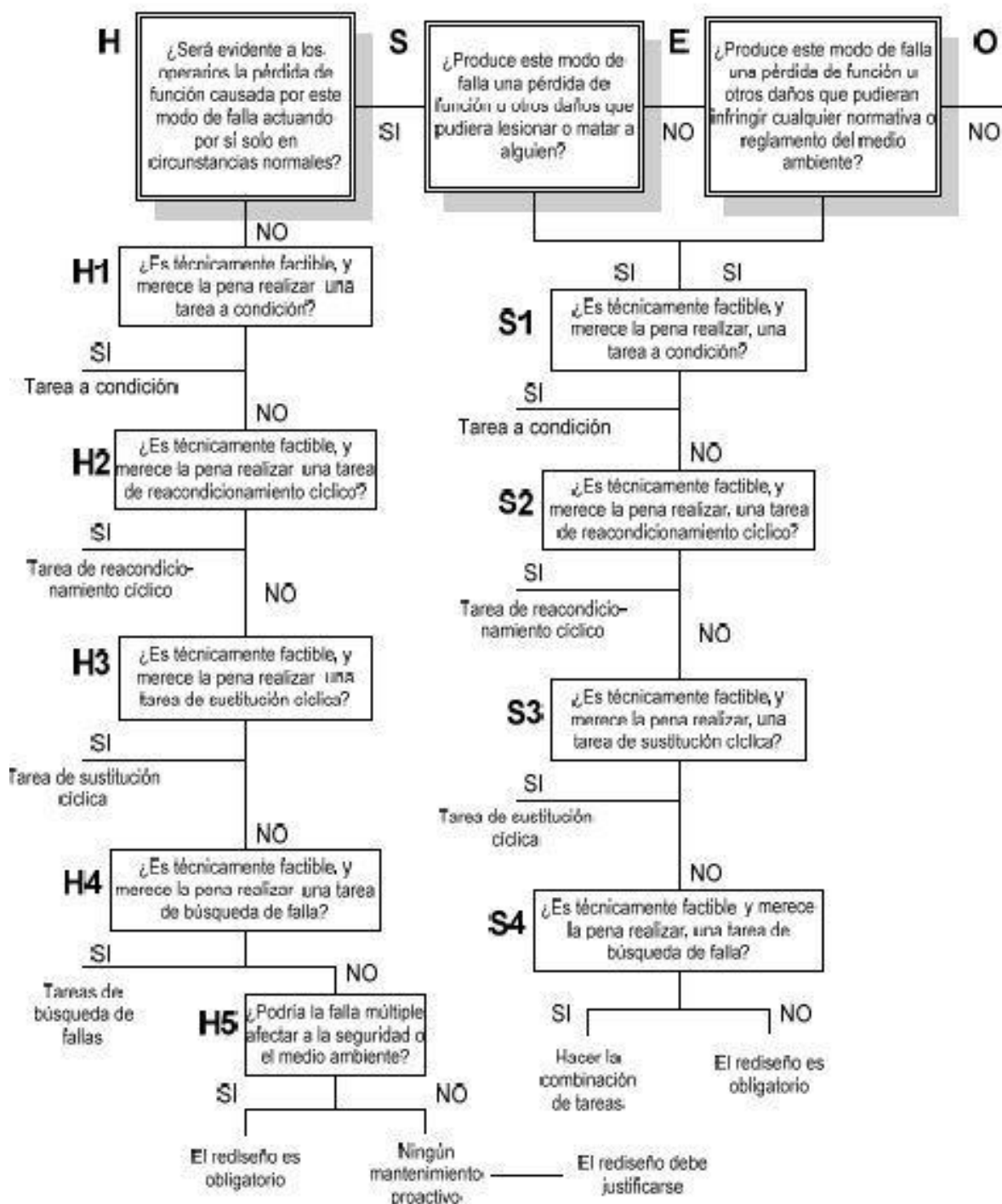
| HOJA DE TRABAJO RCM |    |    |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
|---------------------|----|----|--------------------------|---|---|---|----------|----------|----------|---------------------|----|----|----------------------|--|--|---------------|----------|
| Equipo              |    |    |                          |   |   |   |          |          |          | Equipo de trabajo:  |    |    | Fecha de realización |  |  |               |          |
| Componente          |    |    |                          |   |   |   |          |          |          | Abrobado por        |    |    | Fecha de aprobación  |  |  |               |          |
| Ref. Información    |    |    | Evaluación Consecuencias |   |   |   | Decisión |          |          | Tareas "a falta de" |    |    | Tareas Propuestas    |  |  | Frec. Inicial | Recursos |
| F                   | FF | MF | H                        | S | E | O | O1<br>N1 | O2<br>N2 | O3<br>N3 | H4                  | H5 | S4 |                      |  |  |               |          |
| 1                   | A  | 1  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 1                   | A  | 2  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 1                   | B  | 1  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 1                   | B  | 2  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 2                   | A  | 1  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 2                   | A  | 2  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 3                   | A  | 1  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 3                   | A  | 2  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 4                   | A  | 1  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |
| 4                   | A  | 2  |                          |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                      |  |  |               |          |

Fuente: Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004.

La Hoja de Decisión permite registrar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión:

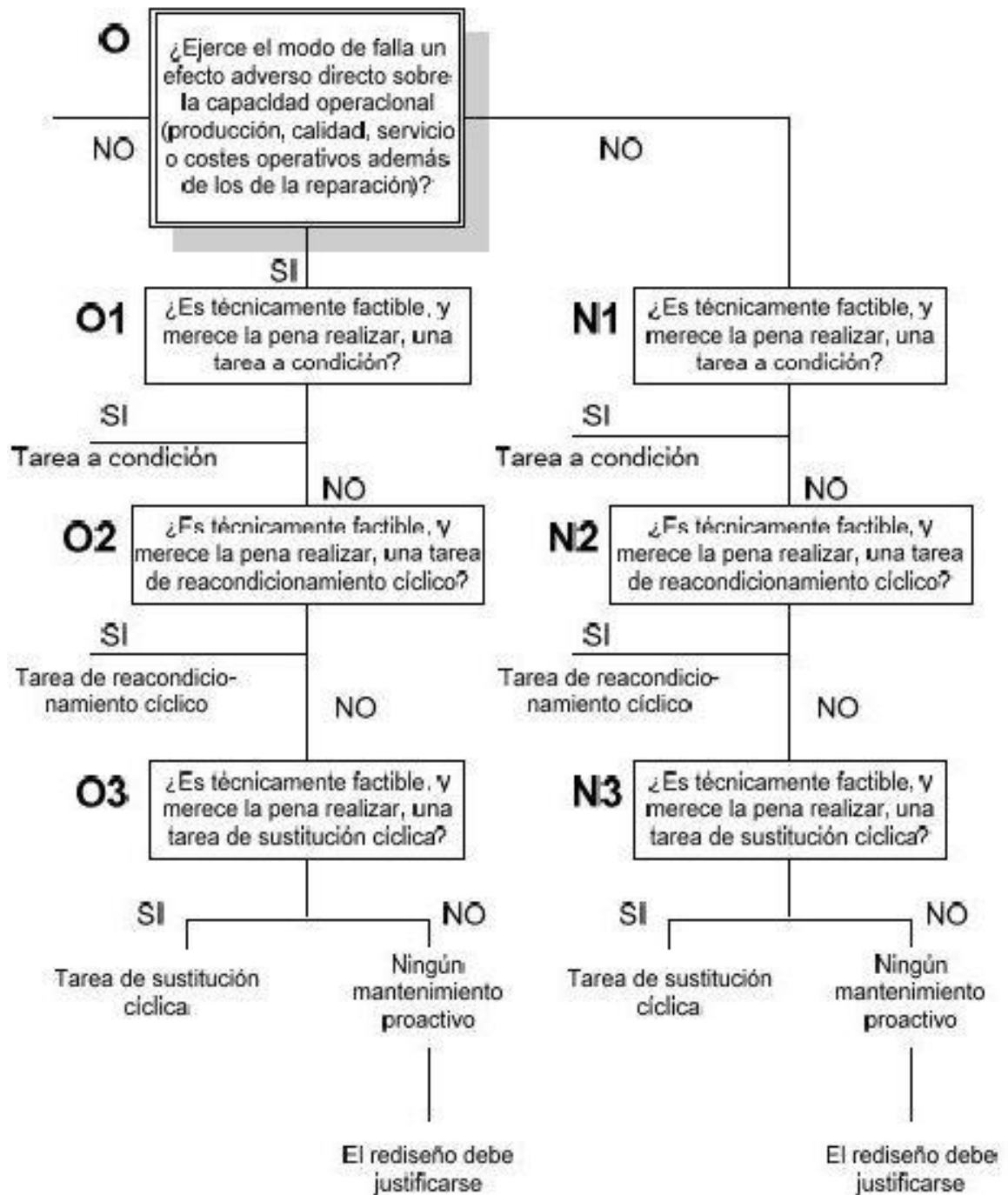
- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas.

Tabla 12. Diagrama de Decisión RCM II, Parte 1



Fuente: Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004.

Tabla 13. Diagrama de Decisión RCM II, Parte 2



Fuente: Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004.

Los encabezamientos de las primeras diez columnas de la Hoja de Decisión se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM:

- Las columnas tituladas H, S, E, O, (y N) son utilizadas para registrar las respuestas a preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, qué tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas "a falta de" las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4, permiten registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y el recurso necesario para realizarla. La columna de "Tarea Propuesta" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

La columna titulada H1/ S1/ O1/ N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.

La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.

La columna titulada H3/ S3/ O3/ N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

Las columnas tituladas H4, H5 y S4 en la Hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas "a falta de".

Tabla 14. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional – Parte 1

| Cód. Func. | Cód. FF | Cód. MF | Cód. MF II | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 S1 O1 | H2 S2 O2 | H3 S3 O3 | Acciones a Falta de |    |    |            | TIPO DE DECISIÓN            | DESCRIPCIÓN TAREA   | FRECUENCIA (Días)  | RECURSOS HORAS HOMBRE  |      |
|------------|---------|---------|------------|-----------------------------|---|---|---|----------|----------|----------|---------------------|----|----|------------|-----------------------------|---|--|------------------------|------|
|            |         |         |            | H                           | S | E | O |          |          |          | N1                  | N2 | N3 | H4         |                             |   |  |                        | H5   |
| A1         | A1A     | A1A1    | A1A101     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            | A condición                 | Medir aislamiento de la acometida eléctrica y revisar de posibles filtraciones de humedad.  | 180  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A1A102     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | A1A103     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | A1A104     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | A1A105     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |            |                             | Reacondicionamiento cíclico   | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones de la acometida.                                     | 180                    | 0,25 |
|            |         | A1A2    | A1A201     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Realizar limpieza y verificar desgaste y erosión en los contactos.   | 120                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A202     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |            |                             | Reacondicionamiento cíclico   | Verificar voltajes de entrada en bornes de la bobina. Realizar inspección de la bobina, limpieza y ajuste de conexiones.                         | 120                    | 0,25 |
|            |         |         | A1A203     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar núcleo del contactor cuando falle la espira de sombra.   | Operar hasta que falle | 0,5  |
|            |         |         | A1A204     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |            |                             | Reacondicionamiento cíclico   | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del contactor.                                       | 120                    | 0,25 |
|            |         | A1A3    | A1A301     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Por oportunidad   | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | A1A302     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Por oportunidad   | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | A1A303     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Por oportunidad   | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | A1A304     | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Verificar desgaste en rodamientos del motor aplicando el Método de Impulsos de Choque - SPM.   | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A305     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A306     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A307     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A308     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |            |                             | A condición   | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | A1A309     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |            |                             | Reacondicionamiento cíclico   | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones en las borneras del motor.                           | 180                    | 0,25 |
|            |         | A1A4    | A1A401     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |            | Reacondicionamiento cíclico | Verificar voltajes de entrada y salida en bornes del transformador. Realizar inspección del transformador, limpieza y ajuste de conexiones. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | A1A5    | A1A501     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar temporizador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A502     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar temporizador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A503     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar temporizador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A504     | S                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar temporizador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A505     | S                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar temporizador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         | A1A6    | A1A601     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar retardador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A602     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar retardador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A603     | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar retardador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A604     | S                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar retardador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | A1A605     | S                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |            |                             | Correctiva  | Cambiar retardador cuando falle.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         | A1A7    | A1A701     | S                           | S | N | N |          |          |          |                     |    | S  |            |                             | Detectivas  | Búsqueda de fallos.  | 120                    | 0,25 |
| A1A702     | S       |         | S          | N                           | N |   |   |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas | Búsqueda de fallos.         | 120   | 0,25   |                        |      |
| A1A703     | S       |         | S          | N                           | N |   |   |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas | Búsqueda de fallos.         | 120   | 0,25   |                        |      |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 15. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico 480V Pozos de Producción con Control Convencional – Parte 2

| Cód. Func. | Cód. FF | Cód. MF | Cód. MF II | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 S1 O1 N1 | H2 S2 O2 N2 | H3 S3 O3 N3 | Acciones a Falta de |    |    | TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA                     | FRECUENCIA (Días)  | RECURSOS HORAS HOMBRE  |      |
|------------|---------|---------|------------|-----------------------------|---|---|---|-------------|-------------|-------------|---------------------|----|----|------------------|---------------------------------------|--|------------------------|------|
|            |         |         |            | H                           | S | E | O |             |             |             | H4                  | H5 | S4 |                  |                                       |  |                        |      |
|            |         |         |            |                             |   |   |   |             |             |             |                     |    |    |                  |                                       |  |                        |      |
| A2         | A2A     | A2A1    | A2A101     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A102     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A103     | S                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A104     | N                           | N | N | N |             |             |             |                     |    |    |                  | Correctiva                            | Cambiar interruptor de circuito cuando la palanca del mecanismo del breaker se parta.                                    | Operar hasta que falle | 0,5  |
|            |         |         | A2A105     | N                           | N | N | S |             | S           |             |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico           | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del interruptor de circuito. | 120                    | 0,25 |
|            |         | A2A2    | A2A201     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A202     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A203     | S                           | N | N | N |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | A2A3    | A2A301     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A302     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A303     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A304     | S                           | N | N | N |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | A2A4    | A2A401     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A402     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A403     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A404     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A405     | S                           | N | N | N |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | A2A5    | A2A501     | S                           | N | N | S |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A502     | N                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | A2A6    | A2A601     | S                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra. | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A602     | S                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra. | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A603     | S                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra. | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A604     | S                           | S | N | N |             |             |             | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra. | 180  | 0,5                    |      |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

A continuación se presenta la Hoja de Información y la Hoja de Decisión para el sistema eléctrico con variador de velocidad.

Tabla 16. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 1

| Cod. Func. | Función  | Cod. FF | Descripción Falla Funcional  | Cod. MF  | Modo de Falla NIVEL I  | Cod. MF II | Modo de Falla NIVEL II   | Descripción Efectos  |
|------------|--|---------|--|--|--|------------|--|--|
| B1         | Transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | B1A     | No se puede transformar potencia eléctrica tomada de la red de distribución de energía a 480V y 60Hz en potencia mecánica para accionar un equipo de bombeo de crudo, según requerimientos del Departamento de Producción. | B1A01  | Falla en Acometida   | B1A101     | Falla de aislamiento por entrada de humedad al ducto y al conductor.   | Falla a tierra, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |  |  | B1A102     | Perdida de aislamiento por sobretemperatura del conductor por sobrecarga.  | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |  |  | B1A103     | Perdida de aislamiento del conductor por sobrecorriente.   | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |  |  | B1A104     | Perdida de aislamiento del conductor por pérdida de material aislante.   | Falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  |  |  | B1A105     | Presencia de puntos calientes por defectos en los terminales de conexión, por terminales instalados de forma inadecuada.           | Rotura del conductor, falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.                    |
|            |  |         |  | B1A02  | Falla de componentes electrónicos del variador de velocidad (Circuito para carga suave, Módulo SCRs/Diodos, Circuito intermedio, Módulo inversor (IGBTs), Freno, Tarjeta de interfaz, Tarjeta de potencia, Tarjeta de puerta conductora, panel de control, Tarjeta de Control. | B1A0201    | Falla de componentes electrónicos por entrada de humedad.  | Bloqueo del variador de velocidad y salida del sistema   |
|            |  |         |  |  |  | B1A0202    | Falla de componentes electrónicos por contaminación (polvo, suciedad).   | Bloqueo del variador de velocidad y salida del sistema   |
|            |  |         |  |  |  | B1A0203    | Falla de componentes electrónicos por sobretemperatura.  | Bloqueo del variador de velocidad y salida del sistema   |
|            |  |         |  |  |  | B1A0204    | Falla de componentes electrónicos por sobretensión.  | Bloqueo del variador de velocidad y salida del sistema   |
|            |  |         |  | B1A03  | Falla del Motor  | B1A301     | Vibraciones mecánicas por desbalanceo del rotor.   | Fatiga y falla de rodamientos, bloqueo del motor, sobrecarga, daño del equipo, salida del sistema.                   |
|            |  |         |  |  |  | B1A302     | Vibraciones mecánicas por excentricidad.   | Inducción de frecuencias no deseadas a la corriente de alimentación del equipo, daños al equipo, Salida del sistema. |
|            |  |         |  |  |  | B1A303     | Vibraciones mecánicas por fisura o rotura de barras del rotor.   | Reducción de par, baja eficiencia del motor. El operador para el equipo.   |
|            |  |         |  |  |  | B1A304     | Bloqueo del rotor por falla en rodamientos.  | Sobrecarga del sistema, daño del equipo, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |  |  | B1A305     | Perdida de aislamiento por sobrecarga.   | Cortocircuito entre bobinados de diferentes fases o entre bobinados y tierras, salida del sistema.                   |
|            |  |         |  |  |  | B1A306     | Pérdida de aislamiento por pérdida de una fase o desbalanceo.  |  |
|            |  |         |  |  |  | B1A307     | Pérdida de aislamiento por presencia de contaminantes o abrasivos en los bobinados.  |  |
|            |  |         |  |  |  | B1A308     | Pérdida de aislamiento por picos de voltaje.   | Rotura de conductores, falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.                   |
|            |  |         |  |  |  | B1A309     | Presencia puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas.                          |  |
|            |  |         |  | B1A04  | Falla de configuración del sistema de control del variador de velocidad  | B1A0401    | Desconfiguración de los parámetros del sistema de control del variador de velocidad por sobretensiones transitorias o permanentes. | Mal funcionamiento del sistema, bloqueo del variador, salida del sistema.  |
| B1A05      | Falla en Transformador de Control  | B1A0501 | Falla del transformador por fluctuaciones de voltaje.  | Apertura del circuito de control, se desenergiza la bobina del contactor y el contactor se abre. Salida del sistema eléctrico. |  |            |  |  |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 17. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 2

| Cod. Func. | Función  | Cod. FF | Descripción Falla Funcional  | Cod. MF | Modo de Falla NIVEL I                                       | Cod. MF II | Modo de Falla NIVEL II  | Descripción Efectos  |
|------------|--|---------|--|---------|---|------------|---|--|
| B2         | Brindar protección y seguridad a las personas y los equipos minimizando los efectos, derivados de los diferentes tipos de falla que puedan producirse en el sistema eléctrico (cortocircuitos, fallas a tierra, sobrecargas, sobrevoltajes). | B2A     | El sistema de protecciones no brinda protección y seguridad a las personas y a los equipos del sistema eléctrico de los pozos. | B2A01   | Falla en Interruptor de circuito                            | B2A0101    | El interruptor no dispara en el evento de una falla por cortocircuito en el sistema.                      | No es interrumpida la corriente de cortocircuito, daños catastróficos en equipos del sistema, posibles lesiones a las personas.  |
|            |  |         |  |         |   | B2A0102    | Falla del dial para calibración de la corriente de disparo.   | No se puede realizar el ajuste adecuado de la corriente de disparo y el interruptor no cumple su función de protección del sistema por o cortocircuitos, daños en equipos, salida del sistema.               |
|            |  |         |  |         |   | B2A0103    | Daño del mecanismo de accionamiento.  | No se puede manipular el interruptor para reinicio, apertura o cierre del sistema. Salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |   | B2A0104    | Rotura de la palanca del mecanismo de accionamiento   | No se puede manipular el interruptor para apertura o cierre del sistema.   |
|            |  |         |  |         |   | B2A0105    | Presencia puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas. | Rotura de cables de conexión, pérdida de fases, falla a tierra o cortocircuito, salida del sistema eléctrico.  |
|            |  |         |  | B2A02   | Falla en Monitor de tensión de fases                        | B2A0201    | Falla de componentes del monitor de fase por sobrevoltaje.  | El monitor de fase no actúa ante la pérdida de una fase o inversión de la secuencia de fases de la red de distribución, bajo voltaje o alto voltaje, no desconecta el sistema de potencia, se pueden generar |
|            |  |         |  |         |   | B2A0202    | Falla de componentes del monitor de fase por entrada de humedad.  |  |
|            |  |         |  |         |   | B2A0203    | Falla de componentes del monitor de fase por sobretemperatura.  |  |
|            |  |         |  | B2A03   | Falla en Protección térmica integrada variador              | B2A0301    | Falla de componentes de la protección térmica integrada variador por sobrevoltaje.                        | No actúa protección por sobretemperatura, daño en componentes del variador de velocidad, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |   | B2A0302    | Falla de componentes de la protección térmica integrada variador por entrada de humedad.                  |  |
|            |  |         |  |         |   | B2A0303    | Falla de componentes de la protección térmica integrada variador por sobretemperatura.                    |  |
|            |  |         |  | B2A04   | Falla en sistema de refrigeración del variador de velocidad | B2A0401    | Falla por corte en suministro de energía a los extractores y/o ventiladores.                              | Bloqueo del variador de velocidad por sobretemperatura y salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |   | B2A0402    | Falla de componentes del sistema de refrigeración por sobretensión.                                       |  |
|            |  |         |  |         |   | B2A0403    | Bloque de extractores y/o ventiladores por mugre, suciedad.   |  |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 18. Hoja de Información: Análisis de Modos de falla y sus Efectos del Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 3

| Cod. Func. | Función  | Cod. FF | Descripción Falla Funcional  | Cod. MF | Modo de Falla NIVEL I                                    | Cod. MF II | Modo de Falla NIVEL II  | Descripción Efectos   |
|------------|--|---------|--|---------|--|------------|---|---|
| B2         | Brindar protección y seguridad a las personas y los equipos minimizando los efectos, derivados de los diferentes tipos de falla que puedan producirse en el sistema eléctrico (cortocircuitos, fallas a tierra, sobrecargas, sobrevoltajes). | B2A     | El sistema de protecciones no brinda protección y seguridad a las personas y a los equipos del sistema eléctrico de los pozos. | B2A05   | Falla en Protección térmica electrónica integrada motor  | B2A0501    | Falla de componentes de la protección térmica electrónica integrada motor por sobrevoltaje.   | No cumple su función de protección del motor por sobrecarga, daño en el motor, salida del sistema.  |
|            |  |         |  |         |  | B2A0502    | Falla de componentes de la protección térmica electrónica integrada motor por entrada de humedad.   |   |
|            |  |         |  |         |  | B2A0503    | Falla de componentes de la protección térmica integrada variador por sobretemperatura.  |   |
|            |  |         |  | B2A06   | Falla en Termistores                                     | B2A0601    | Falla de componentes termistor por entrada de humedad.  | Los termistores no sensan la temperatura del motor correctamente, no actúan, no desconecta el sistema de potencia.  |
|            |  |         |  |         |  | B2A0602    | Falla de componentes termistor por contaminación, suciedad.   |   |
|            |  |         |  | B2A07   | Falla en dispositivo de protección contra sobretensiones | A2A701     | Falla en componentes del dispositivo.   | La sobretensión no es drenada por el dispositivo a tierra sino que es absorbida por los elementos del sistema. Avería de equipos, salida del sistema.   |
|            |  |         |  |         |  | A2A702     | Conexiones, flojas o sueltas por vibración.   | El dispositivo puede actuar de manera incorrecta, energizar el gabinete, explotar, salida del sistema, posibles lesiones a las personas.  |
|            |  |         |  | B2A08   | Falla en Sistema de puesta a tierra                      | A2A801     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por corrosión en los elementos, conductores, electrodos, conectores. | El sistema de puesta a tierra no cumple su función de proteger a los equipos y las personas drenando las corrientes de falla a tierra y estableciendo conexiones equipotenciales, se producen daños en equipos, posibles lesiones a las personas. |
|            |  |         |  |         |  | A2A802     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por daño en conectores rotos.  |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A803     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por daño en conectores o conexiones flojas.                          |   |
|            |  |         |  |         |  | A2A804     | Disminución de la capacidad de descarga del sistema de puesta a tierra por cambios en las condiciones del terreno.                          |   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 19. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 1

| Cod. Func. | Cod. FF | Cod. MF | Cod. MF II | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 S1 O1 | H2 S2 O2 | H3 S3 O3 | Acciones a Falta de |    |    | TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días)  | RECURSOS HORAS HOMBRE  |      |
|------------|---------|---------|------------|-----------------------------|---|---|---|----------|----------|----------|---------------------|----|----|------------------|--|--|------------------------|------|
|            |         |         |            | H                           | S | E | O |          |          |          | H4                  | H5 | S4 |                  |  |  |                        |      |
|            |         |         |            |                             |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                  |  |  |                        |      |
| B1         | B1A     | B1A01   | B1A101     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    | A condición      | Medir aislamiento de la acometida eléctrica y revisar de posibles filtraciones de humedad. | 180  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B1A102     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | B1A103     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | B1A104     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Medir aislamiento de la acometida eléctrica.   | 180                    | 0,25 |
|            |         |         | B1A105     | N                           | N | N | S |          | S        |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico  | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones de la acometida.                                     | 180                    | 0,25 |
|            |         | B1A02   | B1A0201    | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico  | Inspección y limpieza de componentes.  | 120                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A0202    | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico  | Inspección y limpieza de componentes.  | 120                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A0203    | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |                  | Correctiva   | Cambio de componente averiado.   | Operar hasta que falle | 0,5  |
|            |         |         | B1A0204    | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |                  | Correctiva   | Cambio de componente averiado.   | Operar hasta que falle | 0,5  |
|            |         | B1A03   | B1A301     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |                  | Por oportunidad  | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | B1A302     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |                  | Por oportunidad  | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | B1A303     | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |                  | Por oportunidad  | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.  |                        | 0,5  |
|            |         |         | B1A304     | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Verificar desgaste en rodamientos del motor aplicando el Método de Impulsos de Choque - SPM.   | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A305     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A306     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A307     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A308     | S                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | A condición  | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180                    | 0,5  |
|            |         |         | B1A309     | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico  | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones en las borneras del motor.                           | 180                    | 0,25 |
|            |         | B1A04   | B1A0401    | S                           | N | S |   |          |          |          |                     | S  |    |                  | Detectivas   | Búsqueda de fallos.  | 120                    | 0,25 |
|            |         | B1A05   | B1A0501    | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico  | Verificar voltajes de entrada y salida en bornes del transformador. Realizar inspección del transformador, limpieza y ajuste de conexiones.      | 120                    | 0,25 |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 20. Hoja de Decisión Sistema Eléctrico con Variador de Velocidad – Parte 2

| Cod. Func. | Cod. FF | Cod. MF | Cod. MF II | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 S1 O1 | H2 S2 O2 | H3 S3 O3 | Acciones a Falta de |    |    | TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA                     | FRECUENCIA (Días)  | RECURSOS HORAS HOMBRE  |      |
|------------|---------|---------|------------|-----------------------------|---|---|---|----------|----------|----------|---------------------|----|----|------------------|---------------------------------------|--|------------------------|------|
|            |         |         |            | H                           | S | E | O |          |          |          | H4                  | H5 | S4 |                  |                                       |  |                        |      |
|            |         |         |            |                             |   |   |   |          |          |          |                     |    |    |                  |                                       |  |                        |      |
| B2         | B2A     | B2A01   | B2A0101    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | B2A0102    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos. | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | B2A0103    | S                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,5                    |      |
|            |         |         | B2A0104    | N                           | N | N | N |          |          |          |                     |    |    |                  | Correctiva                            | Cambiar interruptor de circuito cuando la palanca del mecanismo del breaker se parta.                                    | Operar hasta que falle | 0,5  |
|            |         |         | B2A0105    | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico           | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del interruptor de circuito. | 120                    | 0,25 |
|            |         | B2A02   | B2A0201    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0202    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0203    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | B2A03   | B2A0301    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0302    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0303    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | B2A04   | B2A0401    | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico           | Verificar voltajes de alimentación del sistema de refrigeración, realizar limpieza y ajuste de conexiones.               | 120                    | 0,25 |
|            |         |         | B2A0402    | N                           | N | N | S |          |          |          |                     |    |    |                  | Correctiva                            | Cambio de componente averiado.   | Operar hasta que falle | 0,25 |
|            |         |         | B2A0403    | N                           | N | N | S | S        |          |          |                     |    |    |                  | Reacondicionamiento cíclico           | Inspección y limpieza de los extractores.  | 120                    | 0,5  |
|            |         | B2A05   | B2A0501    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0502    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0503    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | B2A06   | B2A0601    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | B2A0602    | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | B2A07   | A2A701     | S                           | N | N | S |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         |         | A2A702     | N                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | Detectivas       | Búsqueda de fallos.                   | 120  | 0,25                   |      |
|            |         | B2A08   | A2A801     | S                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra  | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A802     | S                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra  | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A803     | S                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra  | 180  | 0,5                    |      |
|            |         |         | A2A804     | S                           | S | N | N |          |          |          | S                   |    |    | A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra  | 180  | 0,5                    |      |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

**5. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO 480V DE LOS POZOS DE PRODUCCIÓN DE  
LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES**

Para definir una estrategia clara de mantenimiento centrada en confiabilidad para el sistema eléctrico de baja tensión de los pozos productores de la superintendencia de operaciones de Mares se establecerán tres tipos de tareas específicas, el primer grupo lo conforman las tareas correctivas y por oportunidad, el segundo las tareas a condición y por último tenemos tareas detectivas con frecuencias de 120 y 180 días.

El compendio de tareas se resume a continuación agrupado de esta forma, primero para el control convencional y luego para los variadores de velocidad.

Tabla 21. Tareas a condición cada 120 días sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA<br>(Días) | HORAS HOMBRE<br>TAREA |
|------------------|--|----------------------|-----------------------|
| A condición      | Realizar limpieza y verificar desgaste y erosión en los contactos del contactor. | 120                  | 0,5                   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 22. Tareas a condición cada 180 días sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE TAREA |
|------------------|--|-------------------|--------------------|
| A condición      | Medir aislamiento de la acometida eléctrica y revisar de posibles filtraciones de humedad.   | 180               | 0,25               |
| A condición      | Verificar desgaste en rodamientos del motor aplicando el Método de Impulsos de Choque - SPM.   | 180               | 0,5                |
| A condición      | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180               | 0,5                |
| A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra   | 180               | 0,5                |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 23. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 120 días sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN            | DESCRIPCIÓN TAREA   | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE TAREA |
|-----------------------------|---|-------------------|--------------------|
| Reacondicionamiento cíclico | Verificar voltajes de entrada en bornes de la bobina. Realizar inspección de la bobina, limpieza y ajuste de conexiones.                    | 120               | 0,25               |
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del contactor.                                  | 120               | 0,25               |
| Reacondicionamiento cíclico | Verificar voltajes de entrada y salida en bornes del transformador. Realizar inspección del transformador, limpieza y ajuste de conexiones. | 120               | 0,25               |
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del interruptor de circuito.                    | 120               | 0,25               |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 24. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 180 días sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN            | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE TAREA |
|-----------------------------|--|-------------------|--------------------|
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones de la acometida.           | 180               | 0,25               |
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones en las borneras del motor. | 180               | 0,25               |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 25. Tareas detectivas cada 120 días sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA   | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE TAREA |
|------------------|---|-------------------|--------------------|
| Detectivas       | Búsqueda de fallos Selector Manual-Off- Auto                              | 120               | 0,25               |
| Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos Interruptor de circuito              | 120               | 0,5                |
| Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos Relé de sobrecarga                   | 120               | 0,25               |
| Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos Monitor de fase                      | 120               | 0,25               |
| Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos Monitor de termistores - termistores | 120               | 0,25               |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos Dispositivo de protección contra sobretensiones        | 120               | 0,25               |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 26. Tareas correctivas y por oportunidad sistema eléctrico con control convencional

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA   | FRECUENCIA (Días)      | HORAS HOMBRE TAREA |
|------------------|---|------------------------|--------------------|
| Correctiva       | Cambiar núcleo del contactor cuando falle la espira de sombra.                        | Operar hasta que falle | 0,5                |
| Correctiva       | Cambiar temporizador cuando falle.  | Operar hasta que falle | 0,25               |
| Correctiva       | Cambiar retardador cuando falle.  | Operar hasta que falle | 0,25               |
| Correctiva       | Cambiar interruptor de circuito cuando la palanca del mecanismo del breaker se parta. | Operar hasta que falle | 0,5                |
| Por oportunidad  | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.                               | Por oportunidad        | 0,5                |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 27. Tareas a condición cada 180 días sistema eléctrico con variador de velocidad

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE |
|------------------|--|-------------------|--------------|
| A condición      | Medir aislamiento de la acometida eléctrica y revisar de posibles filtraciones de humedad.   | 180               | 0,25         |
| A condición      | Verificar desgaste en rodamientos del motor aplicando el Método de Impulsos de Choque - SPM.   | 180               | 0,5          |
| A condición      | Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización al motor. | 180               | 0,5          |
| A condición      | Medir resistencia de puesta a tierra.  | 180               | 0,5          |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 28. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 120 días sistema eléctrico con variador de velocidad

| TIPO DE DECISIÓN            | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE |
|-----------------------------|--|-------------------|--------------|
| Reacondicionamiento cíclico | Inspección y limpieza de componentes electrónicos del variador de velocidad (Circuito para carga suave, Módulo SCRs/Diodos, Circuito intermedio, Módulo inversor (IGBTs), Freno, Tarjeta de interfaz, Tarjeta de potencia, Tarjeta de puerta conductora, panel de control, Tarjeta de Control. | 120               | 0,5          |
| Reacondicionamiento cíclico | Verificar voltajes de entrada y salida en bornes del transformador. Realizar inspección del transformador, limpieza y ajuste de conexiones.  | 120               | 0,25         |
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones del interruptor de circuito.   | 120               | 0,25         |
| Reacondicionamiento cíclico | Verificar voltajes de alimentación del sistema de refrigeración del variador, realizar limpieza y ajuste de conexiones.  | 120               | 0,25         |
| Reacondicionamiento cíclico | Inspección y limpieza de los extractores.  | 120               | 0,5          |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 29. Tareas de reacondicionamiento cíclico cada 180 días sistema eléctrico con variador de velocidad

| TIPO DE DECISIÓN            | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE |
|-----------------------------|--|-------------------|--------------|
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones de la acometida.           | 180               | 0,25         |
| Reacondicionamiento cíclico | Tomar datos de temperaturas en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones en las borneras del motor. | 180               | 0,25         |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 30. Tareas detectivas cada 120 días sistema eléctrico con variador de velocidad

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA  | FRECUENCIA (Días) | HORAS HOMBRE |
|------------------|--|-------------------|--------------|
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Sistema de control del variador de velocidad.    | 120               | 0,25         |
| Detectivas       | Ensayo funcional, búsqueda de fallos en Interruptor de circuito.       | 120               | 0,5          |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Monitor de tensión de fases.                     | 120               | 0,25         |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Protección térmica integrada variador.           | 120               | 0,25         |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Protección térmica electrónica integrada motor.  | 120               | 0,25         |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Termistores.                                     | 120               | 0,25         |
| Detectivas       | Búsqueda de fallos en Dispositivo de protección contra sobretensiones. | 120               | 0,25         |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

Tabla 31. Tareas correctivas y por oportunidad sistema eléctrico con variador de velocidad

| TIPO DE DECISIÓN | DESCRIPCIÓN TAREA   | FRECUENCIA (Días)      | RECURSOS HORAS HOMBRE |
|------------------|---|------------------------|-----------------------|
| Correctiva       | Cambio de componente electrónico del variador de velocidad averiado (Circuito para carga suave, Módulo SCRs/Diodos, Circuito intermedio, Módulo inversor (IGBTs), Freno, Tarjeta de interfaz, Tarjeta de potencia, Tarjeta de puerta conductora, panel de control o Tarjeta de Control) | Operar hasta que falle | 0,5                   |
| Correctiva       | Cambiar interruptor de circuito cuando la palanca del mecanismo del breaker se parta.   | Operar hasta que falle | 0,5                   |
| Correctiva       | Cambio de componente del sistema de refrigeración del variador de velocidad averiado.   | Operar hasta que falle | 0,5                   |
| Por oportunidad  | Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.   | Por oportunidad        | 0,5                   |

Fuente: Hoja de trabajo RCM Sistema Eléctrico Pozos

## CONCLUSIONES

- El Proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM realizado conjuntamente con personal de mantenimiento constituye una herramienta fundamental para definir una estrategia eficaz de mantenimiento y así poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad del Sistema Eléctrico de Baja Tensión de los Pozos Productores de la Superintendencia de Operaciones de Mares garantizando que cuando el equipo se pare se le realicen solamente las tareas de mantenimiento necesarias, optimizando los recursos del Departamento de Mantenimiento.
- El Análisis de Modos de Fallas y sus efectos de RCM permite tener una información precisa de las causas de las fallas y su importancia, en el caso del sistema eléctrico de baja tensión de los pozos, analizando cuáles son las causas de estas fallas permite que con el diagrama lógico de decisiones de RCM se definan las tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlos. Bajo esta metodología, se definió la Estrategia de Mantenimiento para el sistema eléctrico de 480V de los pozos de producción de la Superintendencia de Operaciones de Mares conformada por tareas a condición, de reacondicionamiento cíclico, detectivas (búsqueda de fallos), correctivas y por oportunidad.
- El proceso de RCM por sí solo no asegura el logro de las metas de mantenimiento, se hace necesario involucrar a todas las personas del grupo de mantenimiento, Líderes, Planeadores, Supervisores y Técnicos para que con una visión clara de los objetivos y unas auditorias constantes a cada una de las estrategias implementadas se puedan alcanzar los objetivos propuestos.

- Por lo expuesto puede concluirse que las tareas de mantenimiento deben ser orientadas a eliminar o reducir hasta hacer manejables las consecuencias de una falla más que la falla en sí misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ecopetrol S.A. Departamento de Mantenimiento GRMM. El Centro, Barrancabermeja.
- Ecopetrol S.A. Gerencia Regional del Magdalena Medio. El Centro, Barrancabermeja.
- Ecopetrol S.A. Vicepresidencia de Producción. Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM).
- Gestión de proyectos de activos industriales. Luis José Améndola - 2006
- Instructivo ECP-DRI-I-007. USO DE LA MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS – RAM Ecopetrol S.A.
- Mantenimiento centrado en confiabilidad. John Moubray – 1997.
- Mantenimiento en la práctica. Pedro Silva Ardila – 2009.
- Mantenimiento *RCM* de instalaciones eléctricas – Fernando Fernández Álvarez – 2005.
- Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Daniel Ortiz Plata-2009
- Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004.
- NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.
- Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray 3 MOUBRAY. JHON.
- Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 318
- SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA. Manual Técnico elaborado para ProCobre – Chile por Adaptación y traducción de la publicación N° 119 de Copper Development Association, Inglaterra "Earthing Practice", efectuada por el Ingeniero Civil Electricista, Nelson Morales Osorio, Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Asesor del Programa de Investigaciones

en Energía (PRIEN), Universidad de Chile, Santiago de Chile. Primera edición 1999.

Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. González Fernández, Francisco Javier - 2005

VLT 5000 SERVICE MANUAL DANFOSS, 2005.

## Webgrafía

[http://prof.usb.ve/jaller/Guia\\_Maq\\_pdf/cat\\_motores\\_ind.pdf](http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/cat_motores_ind.pdf)

<http://www.danfoss.com/Products/Literature/Technical+Documentation.htm>

<http://www.sae.org>

[www.Ecopetrol.com.co](http://www.Ecopetrol.com.co)

[www.geelectrical.com](http://www.geelectrical.com)

[www.minminas.gov.co](http://www.minminas.gov.co)

[www.procobre.org](http://www.procobre.org)

[www.rcm2-soporte.com](http://www.rcm2-soporte.com)

[www.rcm-confiabilidad.com.ar](http://www.rcm-confiabilidad.com.ar)