

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN LA FILOSOFÍA  
RCM PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA DEL  
OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL S.A.**

**MIGUEL ABDEL GONZALEZ RODRIGUEZ**

**OSCAR IVÁN HERRERA ANDRADES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN LA FILOSOFÍA  
RCM PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA DEL  
OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL S.A.**

**MIGUEL ABDEL GONZALEZ RODRIGUEZ**

**OSCAR IVÁN HERRERA ANDRADES**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Especialista en gerencia de mantenimiento

Director:

**LUIS FERNANDO CASTAÑO M.**

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## DEDICATORIA

*Con el mas grande Sentimiento mi cariño y amor para mis seres queridos esas personas importantes que hicieron todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños y siempre estuvieron dispuestos para brindarme toda su ayuda, por motivarme, por su bondad. Es para ustedes esta tesis en agradecimiento por todo su amor:*

*Papá Miguel  
Mamá Amparo  
Tía Carmen (R.I.P)  
Hermanos.*

Miguel

## DEDICATORIA

*A Dios por todas sus bendiciones.*

*A Cata por todo su amor y apoyo.*

*A mis padres y hermanos por todo su esfuerzo, confianza, comprensión y cariño incondicional.*

*A mis amigos y compañeros por ayudarme en todos los momentos.*

Oscar

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

DIOS y a la Santísima virgen por permitirnos la oportunidad tan maravillosa de realizar este proyecto con la mayor satisfacción posible obteniendo los resultados esperados.

La empresa Oleoducto de los llanos Orientales S.A. ODL, Gerencia de operaciones en cabeza del ingeniero Gilberto Nieto por su gran apoyo incondicional y permitir que dicho proyecto fuese posible.

Los ingenieros Luis Fernando Castaño director del proyecto, Bernardo Gomez colaborador y José Luis Villalba Coordinador estación Corocora por su empeño, dedicación Y darle las pautas necesarias a este proyecto para que se obtuviera tan maravilloso resultado.

A todo el personal de la Estación Corocora por demostrarnos su interés, su apoyo y sus deseos de aceptación para el desarrollo del proyecto y así emprender un nuevo cambio con posibles mejoras continuas.

La UIS por formarnos de forma excelente.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>1. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES (ODL) SA.</b> ...	<b>19</b>
<b>1.1 HISTORIA Y UBICACIÓN GEOGRAFICA</b> .....	<b>19</b>
1.1.1 HISTORIA .....	19
1.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA ODL.....	20
<b>1.2 MISIÓN, VISIÓN Y NEGOCIO</b> .....	<b>21</b>
1.2.1 MISIÓN .....	21
1.2.2 VISIÓN.....	21
1.2.3 NEGOCIO .....	21
<b>1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4 ESTACIONES DE ODL</b> .....	<b>23</b>
1.4.1 ESTACIÓN RUBIALES .....	23
1.4.2 ESTACIÓN COROCORA .....	26
1.4.3 ESTACIÓN JAGÜEY.....	28
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
1.5.1 JUSTIFICACIÓN .....	29
1.5.2 OBJETIVOS .....	30
<b>2. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO Y RCM</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1 EL MANTENIMIENTO</b> .....	<b>31</b>
2.1.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO .....	31
2.1.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.....	31
2.1.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	32
2.1.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	33
2.1.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	33
<b>2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)</b> .....	<b>33</b>
2.2.1 CONCEPTO DE RCM .....	33
2.2.2 HISTORIA DEL RCM .....	34
2.2.3 RCM EN ODL.....	37
2.2.4 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM.....	41
2.2.5 BENEFICIOS QUE LOGRA EL RCM .....	41
<b>3. OPERACIÓN DEL OLEODUCTO</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN COROCORA</b> .....	<b>43</b>
3.1.1 <i>Organización de la estación</i> .....	43
3.1.2 <i>Equipos y sistemas de la estación</i> .....	44
<b>4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD SOBRE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN COROCORA</b> .....	<b>49</b>
4.1 DEFINICIÓN DE CRITICIDAD.....	49
4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE LA CRITICIDAD .....	49
4.3 ECUACION Y PARAMETROS PARA LA CRITICIDAD .....	50
4.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN COROCORA.....	54
<b>5. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO DE FALLA SOBRE LOS EQUIPOS MAS CRITICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA</b> .....	<b>65</b>
5.1 FUNCIONES.....	65

<b>5.2 FALLAS FUNCIONALES .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 MODOS DE FALLAS .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4 EFECTOS DE FALLA .....</b>	<b>66</b>
<b>5.5 CONSECUENCIAS DE FALLAS .....</b>	<b>66</b>
<b>5.6 ETAPA DE PLANEACION RCM .....</b>	<b>67</b>
<b>6. PLAN DE MANTENIMIENTO RESULTANTE.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1 TAREAS RESULTANTES .....</b>	<b>72</b>
<b>6.2 FUTURA IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
TABLA 1. SESIONES DE TRABAJO MARZO 2012.....	38
TABLA 2. RELACIÓN DE DOCUMENTOS DE REFERENCIA PARA LOS TALLERES RCM MARZO 2013 .....	38
TABLA 3. EQUIPO DE TRABAJO RCM MARZO 2013.....	39
TABLA 4. EQUIPOS DE ER1 SISTEMA CONTRA INCENDIO Y DE BOMBEO.....	44
TABLA 5. EFECTOS EN LAS PERSONAS.....	50
TABLA 6. EFECTOS EN EL AMBIENTE. ....	51
TABLA 7. EFECTOS EN LA OPERACIÓN.....	51
TABLA 8. FRECUENCIA DE FALLAS .....	51
TABLA 9. EFECTOS EN EL COSTO DE REPARACIÓN .....	52
TABLA 10. EFECTOS EN EL TIEMPO MEDIO PARA REPARAR .....	52
TABLA 11. EFECTOS EN LOS CLIENTES .....	53
TABLA 12. EFECTOS EN LA IMAGEN.....	53
TABLA 13. RESULTADOS DE CRITICIDAD Y CONVENCION .....	54
TABLA 14. EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA SEGÚN EL ESTUDIO DE CRITICIDAD .....	62
TABLA 15. RESULTADO DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN.....	64
TABLA 16. EQUIPO RCM .....	67
TABLA 17 SUBDIVISIÓN DE EQUIPO.....	69
TABLA 18. DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO.....	70
TABLA 19 MODOS DE FALLA.....	70
TABLA 20. CONSECUENCIAS Y DECISIONES DE MANTENIMIENTO .....	71
TABLA 21. TAREAS DE MANTENIMIENTO 1 .....	72
TABLA 22. TAREAS DE MANTENIMIENTO 2.....	72
TABLA 23. TAREAS DE MANTENIMIENTO 3.....	73
TABLA 24. TAREAS DE MANTENIMIENTO 4.....	73
TABLA 25. TAREAS DE MANTENIMIENTO 5.....	73
TABLA 26. TAREAS DE MANTENIMIENTO 6.....	74
TABLA 27. TAREAS DE MANTENIMIENTO 7.....	74
TABLA 28. TAREAS DE MANTENIMIENTO 8.....	74
TABLA 29. TAREAS DE MANTENIMIENTO 9.....	75
TABLA 30. TAREAS DE MANTENIMIENTO 10.....	75

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 1. REORGANIZACIÓN EMPRESARIAL .....	19
FIGURA 2. MAPA GEOGRÁFICO DEL OLEODUCTO. ....	20
FIGURA 3. INDICADORES ECONÓMICOS Y FINANCIEROS. ....	22
FIGURA 4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	22
FIGURA 5. ESTACIÓN DE BOMBEO RUBIALES.....	23
FIGURA 6. ÁREA DE TANQUES ESTACIÓN DE BOMBEO RUBIALES.....	24
FIGURA 7. MAPA GEOGRÁFICO ESTACIÓN DE BOMBEO RUBIALES.....	25
FIGURA 8. MAPA GEOGRÁFICO ESTACIÓN COROCORA .....	26
FIGURA 9. CASETA DE BOMBAS DE LA ESTACIÓN COROCORA .....	27
FIGURA 10. UNIDAD PRINCIPAL DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN COROCORA.....	27
FIGURA 11. MAPA GEOGRÁFICO DE LA ESTACIÓN JAGÜEY.....	28
FIGURA 12. EVOLUCIÓN LAS EXPECTATIVAS DEL MANTENIMIENTO .....	32
FIGURA 13. MATRIZ RAM ODL ANTERIOR .....	40
FIGURA 14. ORGANIGRAMA DE LA ESTACIÓN COROCORA.....	43
FIGURA 15. RESULTADOS DE LA CRITICIDAD.....	61
FIGURA 16. CAPAS INDEPENDIENTES DE PROTECCIÓN.....	63
FIGURA 17. JERARQUÍA DE SISTEMAS DE LA ESTACIÓN COROCORA .....	68
FIGURA 18 MOTOR ELÉCTRICO UNIDAD PRINCIPAL.....	69
FIGURA 19. MATRIZ ACTUAL DE RIESGOS DE ODL .....	71

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. ANÁLISIS RCM.....	80

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA DEL OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL S.A.<sup>1</sup>

**AUTORES:** MIGUEL ABDEL GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
OSCAR IVÁN HERRERA ANDRADES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** ODL, CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO, RCM, CRITICIDAD.

### DESCRIPCIÓN:

El mantenimiento en la historia ha venido evolucionando con el objetivo de satisfacer cada día necesidades en diferentes ramas de la industria con diversidad bienes que cumplen un fin específico. El desarrollo a pasos agigantados de las industrias se ve reflejado en que la humanidad busque dependencia de empresas solidas con alto grado de prosperidad esto crea la necesidad de realizar buenas prácticas de mantenimiento para mantener los activos de estas empresas en un buen nivel o en el nivel requerido.

Hoy en día la ideología del mantenimiento no es solo reparar daños en los activos, es una visión mas globalizada tiende a buscar en los activos un alto desempeño con calidad al menor costo posible, basa sus resultados en análisis de datos estadísticos Y desempeño de los equipos. Este proceso dio pie para la creación de filosofías de mantenimiento como lo es el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). El RCM es un proceso usado para saber que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus Usuarios lo desean según el contexto operativo.

El Oleoducto de los Llanos Orientales S.A. ODL proyectándose a ser una empresa vanguardista en el transporte de hidrocarburos acoge al RCM como su filosofía de mantenimiento, basándose en la experiencia y buenos resultados que le dio a Ecopetrol. Igualmente ODL para la aplicación del RCM Tiene en cuenta estándares y normas que ayudan al desarrollo de dicho proceso Como lo es la norma ISO 12224 que pasa a ser una guía completa en cuanto se refiere a los trabajos de manejo y recolección de información para el mantenimiento.

---

<sup>1</sup> Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas; Escuela de Ingeniería Mecánica. Director de proyecto: Luis Fernando Castaño M.

## SUMARY

**TITLE:** DESIGN OF A PILOT MAINTENANCE PLAN BASED ON RCM PHILOSOPHY FOR CRITICAL EQUIPMENT OF COROCORA STATION OF THE OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL SA\*

**AUTHORS:** MIGUEL ABDEL GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
OSCAR IVÁN HERRERA ANDRADES\*\*

**KEY WORDS:** ODL, RELIABILITY, MAINTENANCE, RCM, CRITICALITY.

### DESCRIPTION:

Maintenance, in history, has been evolving with the objective of satisfying every day needs in different branches of industry by means of a range of goods that fulfil specific purposes. The leapfrog development of industries can be clearly seen in the fact that humanity looks security in solid companies with a high degree of prosperity; this brings about the need of having good maintenance practices to keep the assets of these companies in a good or required level.

Nowadays the ideology of maintenance is not just to repair the damages in assets. It is a more globalised vision that tends to look for a high performance of assets, with quality and the lowest possible cost; it bases its results in the analysis of statistic figures and the performance of the equipment. This changing allowed the creation of philosophies of maintenance, such as the Reliability Centred Maintenance (RCM), which is a process used to know what has to be done to guarantee the correct functioning of the of physical goods, as expected by the users, according to the operative context.

The Oleoducto de los Llanos Orientales S.A., aiming at becoming an avant-garde company in the hydrocarbons transport, embraces the RCM as its maintenance philosophy, based on the experience and good results obtained by Ecopetrol. The company also takes into account the norms and standards that help the development of processes, such as ISO 12224, that becomes a complete guide when it comes to the management and compilation of information for maintenance.

---

\* Grade Work

\*\* Faculty of Physical – Mechanics Engineering, Mechanical Engineering School, Director: Luis Fernando Castaño M.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día un estudio se basa en el ejercicio de adquisición, asimilación, comprensión y también es el resultado de una investigación donde se han aplicado métodos y conocimientos; que requiere atención concentrada, para resolver y progresar en la ejecución de un proyecto de determinada materia.

Un estudio propone una indagación continua y el desarrollo de la teoría adquirida, sobrepasando incluso la información obtenida.

La actitud más característica del verdadero estudio consiste en la búsqueda del conocimiento por curiosidad e interés propio, más que porque sea una obligación al respecto.

Este material surge como una respuesta a la necesidad de mejora del plan de mantenimiento de la Estación Corocora del OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES S.A. ODL. Cuyo propósito es el de lograr un estudio a nivel de excelencia, que será más adelante la posible base para la ejecución de un determinado proyecto.

Por ello, este trabajo tiene como objetivo ofrecer un “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA DEL OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL S.A. Específicamente y a su vez pueda ser aplicada posteriormente como una solución futura a las necesidades de mantenimiento y logre mantener su consagración la cual le brindará la capacidad de proyectar una mejor imagen al cliente basada en la confianza de que se hacen las cosas bien.

Esta metodología presenta un enfoque basado en procesos que permite identificar y gestionar el trabajo a realizar para obtener resultados de desempeño, eficacia del proceso, así como promover la mejora continua.

# 1. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES (ODL) SA.

## 1.1 HISTORIA Y UBICACIÓN GEOGRAFICA

### 1.1.1 Historia

La empresa Oleoducto de los Llanos Orientales S.A. nació a partir de un acuerdo entre Ecopetrol S.A. y Petro Rubiales Corp, los cuales constituyeron en 2007 la compañía ODL Finance en la ciudad de Panamá, la cual a su vez estableció la empresa Oleoducto de los Llanos Orientales S.A. con una participación accionaria del 65% y 35% respectivamente

En enero de 2008, esta empresa conformó, a su vez, a Oleoducto de los Llanos Orientales S.A. Sucursal Colombia, con el fin de diseñar, construir y operar un oleoducto para el transporte de crudo pesado producido en virtud de los contratos de asociación y participación de riesgo en los campos Rubiales, Pirirí y Quifa, así como de otros crudos extraídos en áreas vecinas.

El 24 de octubre de 2012, Ecopetrol S.A. cedió a CENIT S.A.S. toda su participación accionaria en ODL Finance S.A., convirtiéndose así en el nuevo socio.

Figura 1. Reorganización empresarial



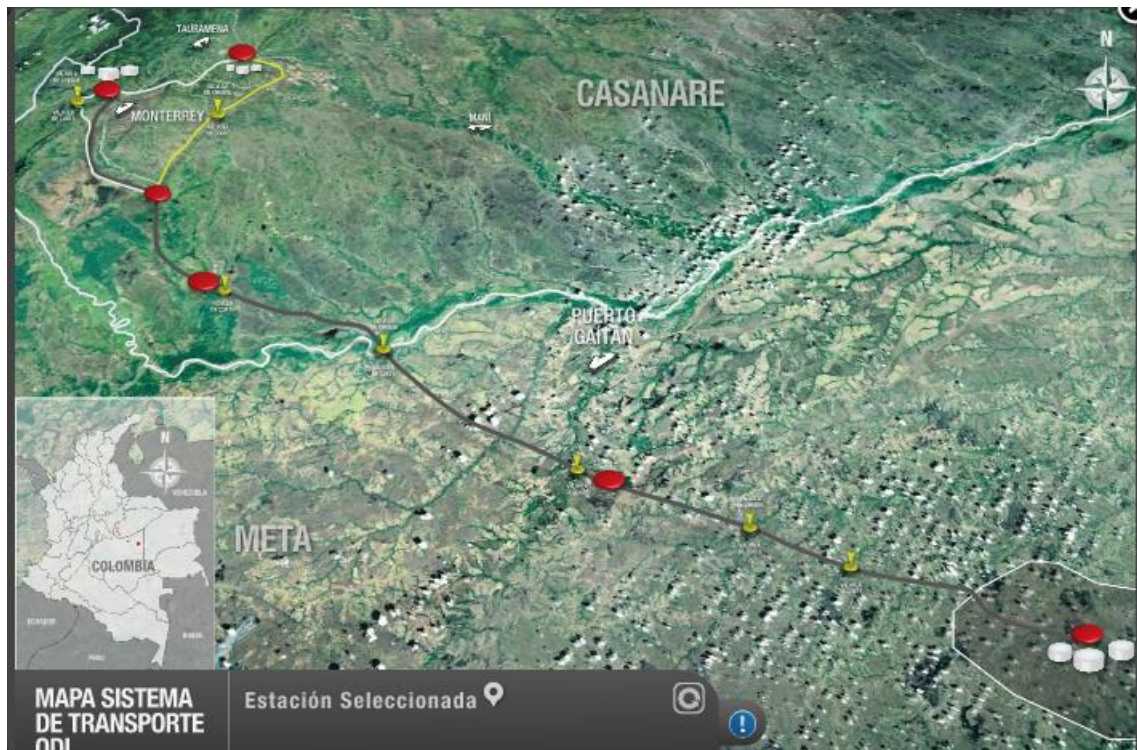
\* El pasado 24 de octubre de 2012, Ecopetrol S.A. aportó a Cenit S.A.S. todas las acciones de las que es titular en ODL Finance S.A., en el marco del proceso de reorganización empresarial de la línea de negocios de transporte y logística de hidrocarburos.

Fuente: [https://horizonte.odl.com.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=80](https://horizonte.odl.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=80)

El oleoducto parte de la Estación de Bombeo Rubiales en el departamento del Meta, y cuenta con dos puntos de entrega, uno en la Estación de Recibo Monterrey, con una longitud de 235 kilómetros y un diámetro de 24 pulgadas, y otro en la Estación de Recibo Cusiana en el departamento del Casanare, que se extiende 25 kilómetros desde la válvula El Viento y cuenta con un diámetro de 24 pulgadas. En la Estación de Bombeo Rubiales se lleva a cabo el proceso de dilución para llevar el crudo pesado a condiciones adecuadas para su transporte por el oleoducto. Esta estación dispone de facilidades de recibo, descargue, dilución, almacenamiento y bombeo de crudo, que permiten el óptimo funcionamiento del sistema de transporte. El oleoducto es operado por Ecopetrol bajo un contrato de Operación y Mantenimiento firmado entre las partes.

#### 1.1.2 Ubicación geográfica ODL

Figura 2. Mapa geográfico del oleoducto.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/>

El sistema de transporte de petróleo Crudo, está integrado principalmente: línea de tubería cuyo punto de partida es la Estación de Bombeo Rubiales ubicada en el Campo Rubiales y cuyos puntos de llegada son la Estación de Recibo Monterrey (longitud aproximada de doscientos treinta y cinco kilómetros (235 kms.) y/o la Estación de Recibo Cusiana (longitud aproximada de veinticinco kilómetros (25 kms) desde el punto denominado el Viento, KM 200), en un diámetro de veinticuatro pulgadas (24”), “rating” ANSI 900; válvulas de seccionamiento y válvulas de cheque.

## **1.2 MISIÓN, VISIÓN Y NEGOCIO**

### **1.2.1 Misión**

Somos una empresa que construye, opera y mantiene sistemas de transporte de hidrocarburos, contribuyendo a satisfacer la demanda energética del país con responsabilidad social y generación de valor a sus grupos de interés.

### **1.2.2 Visión**

En 2015 seremos líderes en el transporte de crudos pesados en Colombia con el uso de tecnologías apropiadas, reconocidos como promotores del desarrollo de los Llanos Orientales y de las demás regiones donde trabajamos.

### **1.2.3 Negocio**

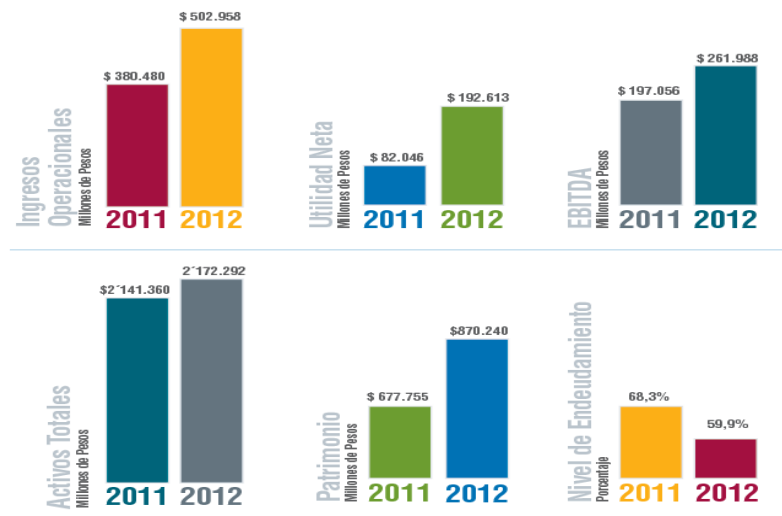
Las estaciones de re-bombeo del proyecto de expansión ejecutado en 2012 permitieron llevar la capacidad nominal del sistema de transporte a 340.000 barriles por día (bpd), de crudo pesado diluido de 18° API, lo cual supera la promesa de valor inicial del proyecto de expansión de la capacidad del sistema del ODL.

El volumen promedio diario de crudo transportado por el oleoducto pasó de 208.098 barriles en 2011 a 217.325 barriles en 2012, superando también la meta de entregas perfectas establecidas por la Compañía. La meta de entrega de crudo a los remitentes en los tiempos y calidades establecidas, era de 97% pero este indicador llegó a 99,4%,

permitiendo a su vez, una importante mejora en el índice de satisfacción de los clientes del oleoducto, La mayor confiabilidad operativa del sistema, índice que también superó la meta del año anterior, se explica por la constancia y compromiso del personal a cargo, las paradas de mantenimiento en los plazos establecidos y las buenas relaciones con la comunidad.

Contamos con los siguientes indicadores:

Figura 3. Indicadores económicos y financieros.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/odl-en-datos-quienes-somos/indicadores-economicos-y-financieros>

### 1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 4. Estructura organizacional



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/quienes-somos/estructura/organigrama>

## 1.4 ESTACIONES DE ODL

### 1.4.1 Estación Rubiales

La Estación de Bombeo Rubiales en su infraestructura dispone de las siguientes áreas:

Figura 5. Estación de Bombeo Rubiales.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/bto-zona-publica>

- Área de recibo de Crudo
- Área descargadero de carro tanques
- Área de laboratorios de medición
- Área de mezcla del diluyente y el crudo
- Área de almacenamiento
- Área de bombas, despacho de hidrocarburos

En la Estación de Bombeo Rubiales (EBR) se recibe crudo pesado proveniente de las instalaciones del CPF1, CPF2 y Bateria 4; este crudo se mezcla con diluyentes como nafta y crudo candelilla a fin de obtener una mezcla que cumpla con las especificaciones de calidad para el transporte por el sistema Ocesa (gravedad específica mínimo de 18°API y máxima viscosidad de 300 centistokes a 86 F).

Figura 6. Área de Tanques Estación de Bombeo Rubiales



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/bto-zona-publica>

El Área de almacenamiento cuenta con áreas de tanques independientes, cuenta con cuatro (4) tanques para almacenamiento de Crudo diluido con capacidad total de 600.000 Barriles y cuatro (4) tanques para el almacenamiento de Diluyente con capacidad total de 200.000 Barriles. Adicionalmente se cuenta con dos (2) tanques para recibo y despacho de crudo Liviano con una capacidad total de 100.000 Barriles.

El sistema de bombeo principal en la EBR está compuesto por 6 bombas conectadas en paralelo, y cuyo esquema de operación se establece de acuerdo a la capacidad de bombeo requerida. Las características principales de las bombas son:

- 4 bombas centrifugas multietapa (fase II) marca Sulzer, capacidad 2450 gpm (84 kbpd), cabeza 3920 pies (1560 psi), motor Siemens de 3500 HP, 4160 V y 3580 rpm.
- 2 bombas centrifugas multietapa (fase I) marca Sulzer, capacidad 1750 gpm (60 kbpd), cabeza 4800 pies (1910 psi), motor Siemens de 3500 HP, 4160 V y 3580 rpm.

Estas áreas permiten el óptimo funcionamiento de su sistema de transporte, igualmente cuenta con un sistema contra incendio que permite el completo respaldo a la protección de los equipos en dado caso de un Incendio.

Figura 7. Mapa geográfico Estación de Bombeo Rubiales



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/>

La Estación de Recibo Monterrey está compuesta por trampas de recibo de raspadores, sistema dinámico de medición de hidrocarburos, sistema de control y de comunicación.

La Estación de Recibo Cusiana está compuesta por trampas de recibo de raspadores, válvulas de control de presión, sistema dinámico de medición de petróleo Crudo, sistema de control y de comunicación.

#### 1.4.2 Estación Corocora

Figura 8. Mapa geográfico Estación Corocora



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/>

La estación Corocora está encargada de Re-bombear el crudo proveniente de la estación de rubiales, con destino a Monterrey y Cusiana, teniendo 4 Bombas principales Centrifugas, sistema de filtración, un tanque de relevo, una bomba de re-inyección y sistemas auxiliares como el sistema de crudo recuperado y aguas aceitosas, tanque sumidero, laguna de estabilización, plantas de tratamiento de agua PTAR y PTAP, compresores de Aire y como sistemas indispensables para operar esta el sistema de contraincendio y espuma y por parte de suministro eléctrico de cuenta con sistemas de distribución a niveles de tensión de 13.8 KV, 4.16KV y 480V, los cuales se encargan de energizar todos los sistemas operativos de la estación.

Figura 9. Caseta de bombas de la Estación Corocora



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/>

El sistema de bombeo de la Estación Corocora está conformado por 4 bombas (BPC-3410/20/30/40) con las siguientes características:

Figura 10. Unidad Principal de Bombeo de la Estación Corocora



Fuente: Manual de Operaciones Corocora.

- Bombas centrifugas multietapa marca Sulzer
- Capacidad 3500 gpm (5000 bph – 120.000 bpd)
- NPSHR: 70 pies (30 psig)
- Cabeza: 4700 pies (1890 psi)
- Motor Toshiba de 6000 HP, 4160 V y 3750 rpm

#### 1.4.3 Estación Jagüey

Figura 11. Mapa Geográfico de la Estación Jagüey.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/>

En el segundo semestre de 2012 se completó la automatización de las estación de bombeo de Rubiales Jagüey, aunque entró en funcionamiento a finales de ese año, quedará completamente terminada en el segundo semestre de 2013.

Las estaciones de re-bombeo del proyecto de expansión ejecutado en 2012 permitieron llevar la capacidad nominal del sistema de transporte a 340.000 barriles por día (bpd),

de crudo pesado diluido de 18° API, lo cual supera la promesa de valor inicial del proyecto de expansión de la capacidad del sistema del ODL.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **1.5.1 Justificación**

ODL S.A. es una empresa joven y quiere estar en la vanguardia en todos los aspectos para el transporte de hidrocarburos, en este instante es una de las empresa en Colombia que maneja el mayor transporte de crudo diluido, y para mantener este estándar tiene que mantener una confiabilidad muy alta en sus equipos.

Reducir costos y un balance de recursos es el principal motivo para crear otro tipo de estrategia que aumenten la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos de la estación, a través de la optimización de los planes de mantenimiento.

Teniendo en cuenta que desde la creación de la estación se realizó un plan de mantenimiento basado en catálogos, referencias del constructor y experiencia del personal y el uso de la norma ISO 14224 como guía, se quiere aprovechar información importante de las estadísticas que se han llevado en el tiempo de operación de los activos, con el fin de calcular indicadores que necesitamos para mejorar la gestión del mantenimiento.

Este trabajo pretende obtener una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de los equipos más críticos de la estación para mantener alta la disponibilidad de los activos y obtener métodos de prevención que nos ayuden a evitar fallas potenciales de estos.

## 1.5.2 Objetivos

### OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un plan de mantenimiento piloto basado en la filosofía RCM para los equipos críticos de la estación Corocora del Oleoducto De Los Llanos Orientales ODL S.A.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar los equipos críticos de los sistemas de bombeo principal y sistema de contraincendios de la estación Corocora a los cuales se les va a aplicar el plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM.
- Aplicar la metodología RCM a los equipos más críticos de los sistemas seleccionados de la estación Corocora.
- Obtener un plan de mantenimiento de los equipos más críticos de la estación Corocora.

## 2. CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO Y RCM

### 2.1 EL MANTENIMIENTO

#### 2.1.1 Concepto de mantenimiento

Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.

Lo que los usuarios quieren dependerá exactamente dónde y cómo el bien está siendo usado. (El contexto operativo)<sup>2</sup>.

#### 2.1.2 Historia del mantenimiento

En la década de los 50's, se conocía solo la práctica de mantenimiento correctivo donde el estándar consistía en reparar los equipos una vez que faltaban.

A finales de los 50's los fabricantes introducen recomendaciones de mantenimiento para alargar la vida útil de los equipos, introduciendo con ello el concepto de mantenimiento preventivo.

En los años 60's, los refuerzos se orientan a obtener la máxima eficiencia de las máquinas y el mantenimiento se focaliza en extender la vida útil de los equipos y el óptimo de utilización de la capacidad nominal.

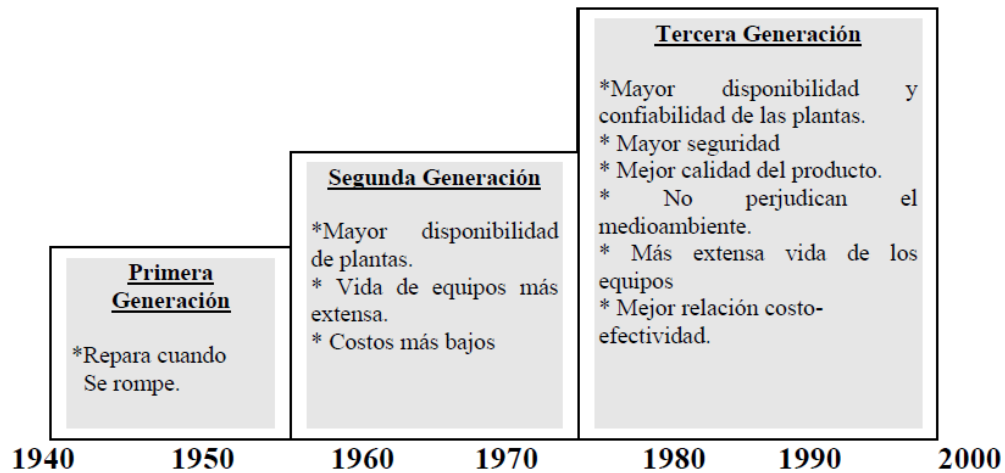
En las décadas de los 70's y 80's, nace en Japón, orientado a las nuevas filosofías de calidad total (círculos de calidad, gerencia de la calidad total).<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Industrial Press Inc. Segunda Edición. P. 6.

<sup>3</sup> CÁCERES, María Beatriz. Como Incrementar la Competitividad del Negocio Mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento. Soluciones integrales Corporativas ICS GROUP S.A; Citado por ROMERO, Claudia; ARIAS, Álvaro; SARMIENTO, Leonardo. Estrategia de Mantenimiento Basada en RCM para un Gasoducto de Transporte Tramo Otero Santana, UIS, Trabajo de grado, 2012.

Figura 12. Evolución las expectativas del mantenimiento



Fuente: <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/14417610294.pdf>

### 2.1.3 Mantenimiento correctivo

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla. Este tipo de mantenimiento requiere de un alto conocimiento del equipo.

Esta forma de mantenimiento ocasiona grandes pérdidas por no tomar en cuenta los costos de producción generados por el paro imprevisto del equipo. El mantenimiento correctivo se justifica cuando el equipo no se halla en la línea de producción o punto crítico del proceso, no ocasiona serios trastornos a la producción o al mantenimiento.

Mantenimiento que se lleva a cabo después de haber reconocido la existencia de una avería, a fin de devolver a la pieza de equipo aquel estado que le permita realizar una función requerida.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> ISO 14224. Industrias de Petróleo y Gas Natural – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. P. 5.

#### 2.1.4 Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que se ejecuta a los equipos de una planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas imprevistas de los equipos o daños que afecten la vida útil de las maquinas.<sup>5</sup>

Un buen análisis y planificación deben ser la mejor estrategia para el programa de mantenimiento preventivo y esta a su vez debe estar soportada por la documentación operativa funcional.

#### 2.1.5 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar\*. La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o prever, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por ese el motivo se denominan técnicas predictivas.

### **2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

#### 2.2.1 Concepto de RCM

La definición del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad desde diferentes puntos de vista pero que conllevan a una misma interpretación

---

<sup>5</sup> GONZALEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento, p. 39.

La Norma SAE JA1011 lo define como:

“Proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo.”<sup>6</sup>

John Moubray en su libro lo define:

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que puedes causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional.”<sup>7</sup>

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una técnica que permite la realización de un proceso para determinar las tareas de mantenimiento – Plan de Mantenimiento – necesarias para que los activos cumplan con la función requerida por los usuarios según el contexto operacional.

### 2.2.2 Historia del RCM

El RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana. Y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento eran no sólo costosas sino también altamente peligrosas. Ello inspiró a la industria a aunar una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (Maintenance Steering Groups - MSG) para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener sus aeronaves operando. Estos grupos estaban formados por representantes de los fabricantes de aeronaves, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Área Americana).

El nacimiento del “RCM”: 1960 hasta 1980

---

<sup>6</sup>SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.

<sup>7</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Industrial Press Inc. Segunda Edición. P. 11.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. De éstos procesos, el RCM es el más efectivo.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves. Y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “**RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE**” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos. Está disponible en el Servicio de Información Técnica Nacional del Gobierno de los Estados Unidos de América, en Springfield, Virginia.

Este reporte fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos de América, un proceso que produjo inicialmente el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1, Manual: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970: MSG-2 Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los EEUU).

El reporte de Nowlan y Heap representó un considerable avance en la filosofía MSG 2 y fue usado como base para el MSG 3, el cual fue promulgado en 1980: Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), el MSG – 3 ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001. Una próxima revisión será promulgada en el presente año. Hasta el presente es usada para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves (incluyendo recientemente el Boeing 777 y el Airbus 330/340)

Copias de MSG 3.2001 se encuentran en Air Transport Association, Washington, DC.

El reporte de Nowlan y Heap ha sido desde entonces usado como base para varios modelos de RCM de tipo militar, y para aquellas actividades no relacionadas con la aviación.

El Departamento de Defensa aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y buscó beneficiarse de ésta experiencia. Nowlan y Heap fueron comisionados para escribir su versión del libro para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, el cual estaba mirando en la aviación comercial formas para hacer menos costosos sus planes de mantenimiento. Una vez que el Departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, uno para la fuerza aérea, y otro para la armada.

La armada desarrolló dos procesos porque sus comunidades de buques y de aviación insistieron en que procesos RCM que funcionaran en uno no servirían para el otro. Los contratistas y los vendedores de equipos aprendieron a usar éstos procesos cuando le vendieron equipos nuevos al ejército.

En un esfuerzo separado al principio de 1980, El Instituto para (EPRI por sus siglas en Inglés) la Investigación de la Energía Eléctrica, un grupo de investigación industrial para las compañías generadoras de energía en los Estados Unidos de América realizó dos aplicaciones piloto del RCM en la industria de la energía nuclear americana.

Su interés surgió de la creencia de que ésta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacía sobremantenimiento masivo a sus equipos. Esto significaba que su principal propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente. (Ellos modificaron tanto el proceso RCM, que su parecido es poco con el original descrito por Nowlan y Heap, y debería ser descrito más correctamente como la Optimización del Mantenimiento Planificado o PMO – por sus siglas en Inglés – más que como RCM). Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la industria de la energía nuclear Americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías nucleares, algunas otras ramas de la generación eléctrica, distribución industrial y repuesta de la industria petrolera.

Al mismo tiempo, otros especialistas en la formulación de estrategias se interesaron en la aplicación del RCM en industrias diferentes a la aviación. Dentro de éstos, el principal fue John Moubray y sus asociados. Este grupo trabajó inicialmente con el RCM en industrias mineras y de manufactura en Sudáfrica bajo la asesoría de Stan Nowlan, y luego se ubicaron en el Reino Unido. Desde allí, sus actividades se han expandido para cubrir la aplicación del RCM en casi todos los campos del esfuerzo humano organizado, abarcando más de 42 países.

Moubray y sus asociados se han fundamentado en el trabajo de Nowlan mientras mantienen su enfoque original en la seguridad y confiabilidad del equipo. Por ejemplo, incorporaron temas ambientales al proceso de toma de decisiones en materia de RCM, clasificaron las formas en las cuales las funciones del equipo deberían ser definidas, desarrollaron reglas más precisas para seleccionar labores de mantenimiento e intervalos para las labores y también incorporaron directamente criterios de riesgo cuantitativo a un grupo de intervalos para labores en busca de fallas. Su versión mejorada del RCM se conoce actualmente como el RCM2.

### 2.2.3 RCM en ODL

ODL inicio la fase de construcción del proyecto oleoducto de los llanos en el año 2009 e inmediatamente comprendió la necesidad de la implementación de unas buenas prácticas de mantenimiento para la conservación de sus activos que entrarían a operar una vez culminado dicho proyecto. ODL siendo una empresa filial de Ecopetrol se basa en su experiencia, una trayectoria que le ha dado a Ecopetrol buenos resultados, esto lleva a ODL a elegir el RCM como su filosofía de mantenimiento.

Los primeros inicios de la aplicación del RCM en ODL se dieron con un grupo de trabajo mixto de las dos empresas mencionadas, el grupo de trabajo se basó en los manuales operativos, recomendaciones de los proveedores ya que eran equipos con tecnología de punta y no se tenía conocimiento del comportamiento de estos equipos.

En segunda instancia ODL crea su propio grupo de trabajo en Marzo del año 2012. Talleres RCM para la generación de los planes de mantenimiento de la infraestructura

operativa en los proyectos de ampliación del oleoducto de los llanos orientales S.A – ODL, liderando dicho proyecto el Ingeniero Mecánico Luis Fernando Castaño.

Tabla 1. Sesiones de trabajo marzo 2012

Fecha	Duración (hrs.)	Descripción	Líder	Documentador	Comentario
Marzo. 14/2012	8	Introducción. Estudio RCM para el Sistema de Filtración - Estación Corocora. Inicio de hoja de ruta de mantenimiento para el Sistema de Filtración	L. F. Castaño	John Alexander Ardila	De 8 a 12 a.m y de 1 a 5 p.m
Marzo. 15/2012	8	Terminación de hoja de ruta de mantenimiento para el Sistema de Filtración. Inicio de estudio de RCM para Unidad Principal de Bombeo No 1.	L. F. Castaño	John Alexander Ardila	De 8 a 12 a.m y de 1 a 5 p.m
Marzo. 16/2012	8,5	Terminación de estudio de RCM para Unidad Principal de Bombeo No 1. Elaboración de hoja de ruta de mantenimiento para Unidad principal de bombeo No 1. Equipo motor, variador e instrumentación.	L. F. Castaño	John Alexander Ardila	De 8 a 12 a.m y de 1 a 5:30 p.m

Fuente: Libro de RCM ODL

Tabla 2. Relación de documentos de referencia para los talleres RCM Marzo 2013

Documento	Carpeta donde se encuentra u originador	Anexos del archivo	Comentario
Diagrama de flujo de proceso, Sistema de filtración - Estación Corocora.	Sr. Bernardo Gómez – ODL		
Diagrama de flujo de proceso, Unidades principales de bombeo - Estación Corocora.	Sr. Bernardo Gómez – ODL		
Dossier de mantenimiento de operación de la bomba Sulzer horizontal multi-etapa	Sr. Bernardo Gómez – ODL		
Matriz de valoración de riesgos - RAM ODL	Sr. Bernardo Gómez – ODL		

Fuente: Libro de RCM ODL

Tabla 3. Equipo de trabajo RCM Marzo 2013

NOMBRE Y APELLIDO	ROL	EMPRESA	EXPERTICIA	TELÉFONO	E-MAIL
Fernando Martínez	Operador Técnico	ODL	Supervisor Electricista	3182744647	<a href="mailto:fmartinez.odl@gmail.com">fmartinez.odl@gmail.com</a>
Rodrigo Aparicio	Técnico Mecánico Operaciones	ODL	Técnico Mecánico	3153280037	<a href="mailto:raparicio1108@hotmail.com">raparicio1108@hotmail.com</a>
Luis Carlos Figueroa	Técnico Instrumentista	ODL	Instrumentación y Control	3185008214	<a href="mailto:luis.figueroa@odl.com.co">luis.figueroa@odl.com.co</a>
Dairo Jiménez	Técnico En Operaciones	ODL	Operaciones Industriales	3132827507	<a href="mailto:jimenezdjic@hotmail.com">jimenezdjic@hotmail.com</a>
Euclides Ardila	Consultor Senior	DATABANK MKS	Instrumentista Industrial	3008037426	<a href="mailto:euclides.ardila@hotmail.com">euclides.ardila@hotmail.com</a>
Henry Cerón Gaviria	Consultor Senior	DATABANK MKS	Tecnólogo Mecánico	3014293062	<a href="mailto:hcerong@yahoo.com">hcerong@yahoo.com</a>
Derisnel Mejía	Consultor Senior	DATABANK MKS	Tecnólogo Eléctrico	3127723251	<a href="mailto:derisnel@hotmail.com">derisnel@hotmail.com</a>
John Ardila Evan	Documentador	DATABANK MKS	Ingeniero Industrial	3008056589	<a href="mailto:john.ardila@datbankmsk.com">john.ardila@datbankmsk.com</a>
Luis Fernando Castaño	Facilitador	DATABANK MKS	Ingeniero Mecánico	3005705568	<a href="mailto:lcastanomor@hotmail.com">lcastanomor@hotmail.com</a>

Fuente: Libro de RCM ODL

Figura 13. Matriz RAM ODL anterior

OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES										
MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM						Version 1:		1/1		
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ODL - -										
CONSECUENCIAS						FRECUENCIA/PROBABILIDAD OCURRENCIA				
						A	B	C	D	E
Personas	Económica	Ambiental	Cientes	Imagen		Ha ocurrido en el Sector del Transporte	Ha ocurrido en los últimos 10 años en el Sector Poco probable que ocurra el próximo año	Ha ocurrido en los últimos 5 años en el Sector . Es Probable la ocurrencia el próximo año	Ha ocurrido una vez en el último año en Cía Muy probable que ocurra el prox año	Sucedió varias veces al año en Cía o Ocurrencia con nivel certeza el prox año
Una o mas fatalidades	Catastrofica > \$1M	Contamina-Irreparable	Veto como Transp	Internacional	5	M ○	M ○	H ○	H ○	H ○
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$0.5M a \$1M	Contamina-Mayor	Pérdida de participacion en el mercado	Nacional	4	L ○	M ○	M ○	H ○	H ○
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$10k a \$0.5M	Contamina-Localizada	Pérdida de clientes	Regional	3	L ○	L ○	M ○	M ○	H ○
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$5k a \$10k	Efecto Menor	Reclamo por incumplimiento de requerimientos	Local	2	L ○	L ○	L ○	M ○	M ○
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$5k	Efecto Leve	Queja	Interna	1	L ○	L ○	L ○	L ○	L ○
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N ●	N ●	N ●	N ●	N ●
Poco probable que ocurra el próximo año					Verificar que no hayan ocurrido incidentes similares en la Cía en los dos (2) últimos años, sin las consecuencias reales de la situación evaluada					
Es probable que ocurra el próximo año					Cuando han ocurrido entre 1-5 incidentes similares en la Cía esa en los dos (2) últimos años, sin las consecuencias reales de la situación evaluada					
Muy probable que ocurra el próximo año					Cuando han ocurrido entre 6-10 incidentes similares en la Cía en los dos (2) últimos años, sin las consecuencias reales de la situación evaluada					
Ocurrencia esperada con certeza en el próximo año					Cuando han ocurrido más de 10 incidentes similares en la Empresa en los dos(2) últimos años, sin las consecuencias reales de la situación evaluada					

Fuente: Libro de RCM ODL

En Marzo del 2013 se presenta a Gerencia de Operaciones del Oleoducto de los Llanos Orientales S.A – ODL a cargo del Ingeniero Gilberto Nieto el proyecto titulado “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM

**PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA DEL OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES ODL S.A.”** con una aprobación inmediata de dicho proyecto, los autores de este proyecto vimos la necesidad de mejora del plan de mantenimiento para realizar unas buenas prácticas basándonos en la experiencia adquirida en campo y en el acertado análisis de la información recopilada.

#### 2.2.4 Las Siete Preguntas básicas del RCM

El comienzo o primera fase del proceso del RCM se fundamenta en responder las siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

#### 2.2.5 Beneficios que logra el RCM

El análisis del RCM no presenta como resultado la creación del plan de mantenimiento enfocándonos en un buen contexto operativo y de seguridad que a su vez presenta a la empresa los siguientes beneficios:

- Mayor seguridad e integridad medio ambiental.
- Desempeño operativo optimizado.
- Mejor relación costo – efectividad.
- Mayor vida útil en equipos de costos elevados.
- Un banco de datos comprensible

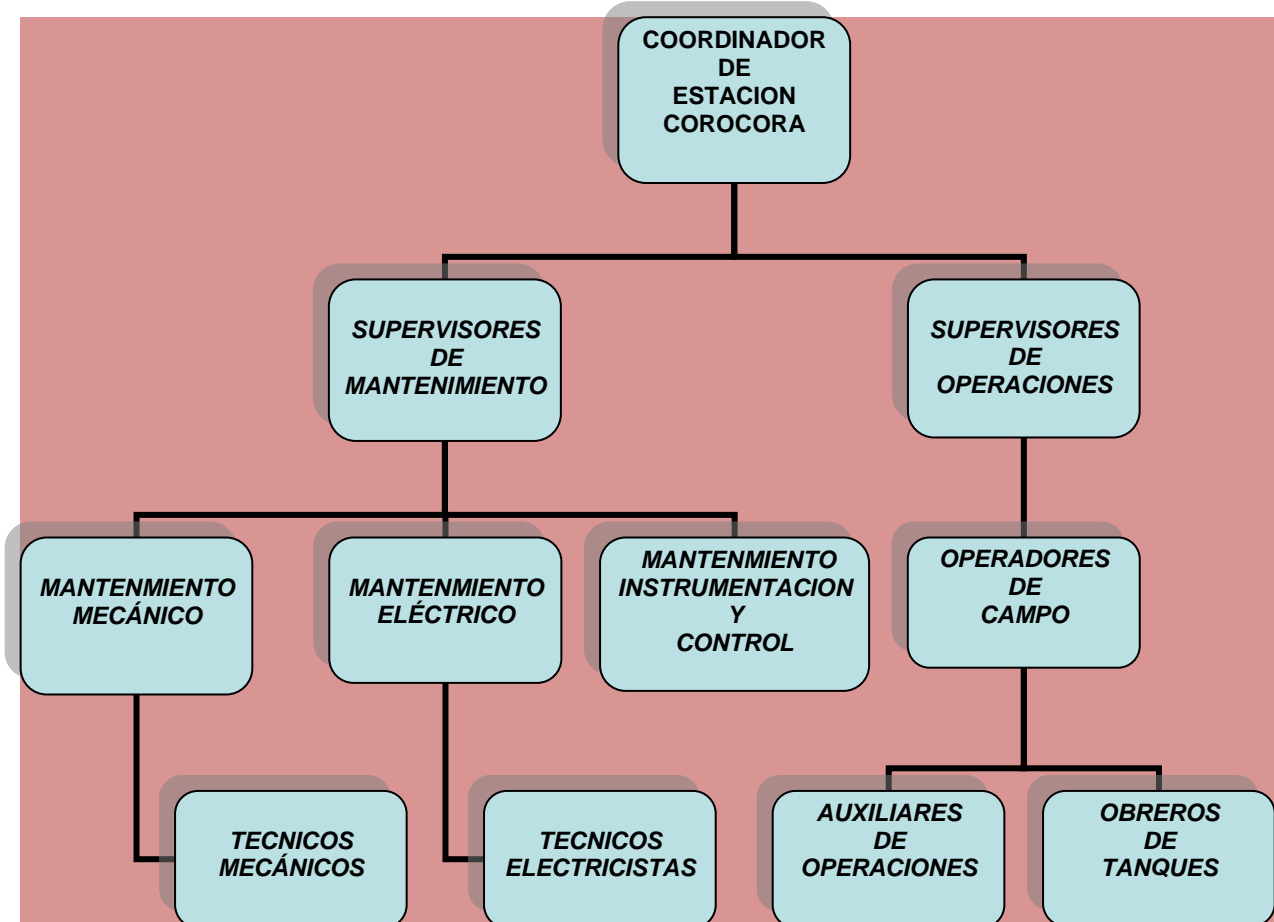
- Mejora en la motivación Individual.
- Mejora en el trabajo en equipo.

### 3. OPERACIÓN DEL OLEODUCTO

#### 3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN COROCORA

##### 3.1.1 Organización de la estación

Figura 14. Organigrama de la estación Corocora



Fuente: Los autores

### 3.1.2 Equipos y sistemas de la estación

Tabla 4. Equipos de ER1 sistema contra incendio y de bombeo

EQUIPO SUPERIOR	EQUIPO	EQUIPO	DESCRIPCION EQUIPO
<b>SISTEMA CONTRA INCENDIO AGUA COROCORA</b>			
SCIPCOR51001			UND#1 ELECTRICA SIST CONTRA INCENDIO AGUA
	PEMEL0124		BPC-0701 MOT ELECT 5.0HP BOM JOCKEY#1
	PEMEL0125		BPC-0703 MOT ELE 250HP 4160V U#1 SCI H?O
	PEPAN0061		BCE-0701 TABL CONTROL BOM JOCKEY#1
	PEPAN0062		BCE-0703 TABL 4160V CONTROLADOR U#1 ELEC
	PIPME0146		PI-0515 INDICADOR PRESION SUCC BOMBA#1
	PIPME0147		PI-0516 INDICADOR PRESION DESC BOMBA#1
	PMBCE0039		BCE-0701 BOM CENTRIF VERTICAL JOCKEY#1
	PMBCE0040		BCE-0703 BOM CENTRIF UN#1 ELECTRICA
	PMCHE0204		V CHEQUE 10X150 DESCARGA BOM BCE-0703
	PMCHE0205		V CHEQUE 10X150 DESCARGA BOM BCE-0703
	PMCHE0206		V CHEQUE 10X150 DESC BOM JOKEY BCE-0701
	PMCHE0207		V CHEQUE 10X125 DESCARGA BOM BCE-0703
	PMCHE0208		V CHEQUE 10X125 DESC BOM BCE-0703
	PMCHE0209		V CHEQUE 2x175 DESC BOM JOKEY BCE-0701
	PMVCO0746		V COMP 10X150 DESCARGA BOMB BCE-0703
	PMVCO0747		V COMP 10X150 SUCCION BOMBA BCE-0703
	PMVCO0748		V COMP 10X150 DESC B.JOKEY BCE-0701
	PMVCO0749		V COMP 10X150 SUCC B. JOKEY BCE-0701
	PMVCO0750		V COMP 2x175 DESC B.JOKEY BCE-0701 SCI
	PMVCO0751		V COMP 2X175 SUCC B.JOKEY BCE-0701 SCI
SCIPCOR51002			UND#2 DIESEL SIST CONTRA INCENDIO AGUA
	PEBBA0019		BANCO BATERIAS 24V ARRANQUE U#2 DIESEL
	PEMAR0009		MOT ARRANQUE 24V MOT DIESEL U#2 SCI AGUA
	PEMEL0126		BPC-0702 M.ELECT B.JOCKEY #2 SCI
	PEPAN0063		BCE-0702 PANEL CONTROL B.JOCKEY #2 SCI
	PIPCO0021		PANEL CONTROLADOR MOT DIESEL U#2 SCI H2O
	PIPME0148		PI-0520 IND PRES SALID V CONTROL U#2 SCI
	PIPME0149		PI-0519 IND PRES DESC BOMBA#2 AGUA SCI
	PMAC0025		BCE-0704 ACOPLA MOTOR-BOMBA U#2 SCI AGUA
	PMBCE0041		BCE-0704 BOM CENTRIF U#2 DIESEL SCI H2O
	PMBCE0042		BCE-0702 BOM CENTRIF VERTICAL JOCKEY#2
	PMCHE0210		V CHEQU 10X175 DESC B.JOKEY BCE-0702 SCI
	PMCHE0211		V CHEQUE 10X125 DESC BOMBA BCE-0704 SCI
	PMCHE0212		V CHEQUE 2X175 DESC B.JOKEY BCE-0702 SCI
	PMINT0009		BCE-0704 INTERCAMBIADOR DE CALOR U#2 SCI
	PMMCD0013		BCE-0704 MOTOR DIESEL U#2 SCI AGUA

	PMVCO0752		V COMP 10X150 SUCC B.JOKEY BCE-0702 SCI
	PMVCO0753		V COMP 2X175 DESC B.JOKEY BCE-0702 SCI
	PMVCO0754		V COMP 10X150 SUCCION BOMBA BCE-0704 SCI
	PMVCO0755		V COMP 10X150 DESC BOMBA BCE-0704 SCI
	PMVCO0756		V COMP 2X175 SUCC B.JOKEY BCE-0702 SCI
<b>SISTEMA BALANCEADO PROPORC ESPUMA</b>			
SCIPCOR51003			EFM-0701 PROPOR ESPUMA AREA DE BOMBEO
	PEBBA0020		BATERIAS 12V MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA
	PEMAR0010		MOT ARRANQUE MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA
	PEMEL0127		MOT ELECTRICO 15HP U#1 SCI ESPUMA
	PEPAN0064		TABL CONTROL MOT ELECT U#1 SCI ESPUMA
	PIPCO0022		PANEL CONTROL MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA
	PMMCD0014		MOTOR DIESEL DE U#2 SCI ESPUMA
	PMPDT0028		BOMBA DESPLAZ POSITIVO U#1 SCI ESPUMA
	PMPDT0029		BOMBA DESPLAZ POSITIVO U#2 SCI ESPUMA
	PMSEG0114		V SEG 3/4 BOMBA U#2 SCI ESPUMA 220 PSI
	PMSEG0115		V SEG 3/4 BOMBA U#1 SCI ESPUMA 220 PSI
	PMVAL0036		DV-001 V DILUVIO ESPUMA TK-2 RELEVO
	PMVAL0037		DV-011 V DILUVIO AREA BOMBAS PRINCIPALES
	PMVCO0757		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-001
	PMVCO0758		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-011
	PMVCO0759		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-012
	PMVCO0760		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-013
	PMVCO0761		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-014
	PMVCO0762		V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-015
	PMVCO0763		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0764		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0765		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0766		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0767		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0768		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0769		V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO
	PMVCO0770		V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API
	PMVCO0771		V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API
	PMVCO0772		V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API
	PMVCO0773		V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API
	PMVCO0774		V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API
	PTTKA0020		TK ESPUMA ANILLO SCI ESPUMA 2800 GLS
SCIPCOR51004			RED HIDRANTES MONITORES AGUA -ESPUMA
	PTHID0041		HME-01 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO
	PTHID0042		HME-02 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO
	PTHID0043		HME-03 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO
	PTHID0044		HME-04 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO
	PTHID0045		HME-05 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
	PTHID0046		HME-06 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
	PTHID0047		HME-07 HIDRANTE AREA SEPARADORES API

	PTHID0048		HME-08 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
	PTHID0049		HME-28 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
	PTHID0050		HME-29 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
	PTHID0051		HME-30 HIDRANTE AREA SEPARADORES API
<b>AREA UNIDADES DE REBOMBEO Y DESPACHO</b>			
UPRPCOR81010			UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No1 BPC-3410
	BPPPCOR81010		BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL DE UN#1
		PEEVA0095	MOV-3412 ACT V DESCARGA BOMBA BPC-3410
		PEEVA0096	MOV-3411 ACT V SUCCION BOMBA BPC-3410
		PIFCV0021	FCV-3401V CONTROL FLUJO ARRANQ BPC-3410
		PIFTR0043	FIT-3411 TR FLUJO L-LL-H DESC BPC-3410
		PIPDT0049	PDIT-3411 TR DIF PRESION FILTRO BPC-3410
		PIPLC0020	TAC-3611 PANEL LOCAL BOMBA BPC-3410
		PIPME0119	PI-3412 IND PRESION DESCARGA BPC-3410
		PIPME0120	PI-3411 IND PRESION SUCCION BPC-3410
		PIPTR0204	PIT-0608 TR PRES CABEZAL SUCC UN PALES
		PIPTR0205	PIT-3411 TR PRES LL-HH SUCC BPC-3410
		PIPTR0206	PIT-3412 TR PRESION L-H SUCCION BPC-3410
		PIPTR0207	PIT-3413 TR PRES HH-HH DESC BPC-3410
		PIPTR0208	PIT-3414 TR PRES HH-HH DESC BPC-3410
		PIPTR0209	PIT-3415 TR PRES L-H DESC BPC-3410
		PISWT0060	PSH-3411 SW ALTA PRES DESC BPC-3410
		PISWT0061	PSL-3411 SW BAJA PRESION SUCC BPC-3410
		PITTR0074	TIT-3411 TR TEMPERATURA HH DESC BPC-3410
		PIVTR0007	MODULO VIBRACIONES-TEMP BENTLY BPC-3410
		PMAC0021	ACOPLE MEC METASTREAM BOMBA-MOTOR U#1
		PMBCE0034	BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND#1
		PMCHE0188	V CHEQUE 12"X900 DESCARGA BPC-3410
		PMCHE0189	V CHEQUE 12"X900 DESCARGA BPC-3410
		PMCHE0190	V CHEQUE 8"X900 V REC/LACION FCV-3401
		PMSEG0101	PSV-3608 V ALIVIO 3/4X1 SUCC UDS 1350 PS
		PMSEG0102	PSV-3411 V SEG 4X6 DESC BPC-3410 2000PSI
		PMVBO0201	MOV-3412 V BOLA 12x900 DESC BPC-3410
		PMVBO0202	MOV-3411 V BOLA 16X600 SUCCION BPC-3410
		PMVCO0615	V COMP 2X1500 DRENAJ REC/LACION BPC-3410
		PMVCO0616	V COMP 2X1500 DRENAJE LINEA MOV-3412
		PMVCO0617	V COMP 2X600 DRENAJE A SUM SUCC BPC-3410
		PMVCO0618	V COMP 8X900 REC/LACION DE FCV-3401
		PMVCO0619	V COMP 10X900 DE BOOSTERS A MULT SUCC
		PMVCO0620	V COMP 10X900 ENTRADA PSV-3411
		PMVCO0621	V COMP 10X900 SALIDA PSV-3411
		PMVCO0622	V COMP 1X1500 CONEXION PIT-3413
		PMVCO0623	V COMP 1X1500 CONEXIN PIT-3414
		PMVCO0624	V COMP 1X1500 CONEXIN PIT-3415
		PMVCO0625	V COMP 1X800 AGUAS ABAJO FILTRO SUCCION
		PMVCO0626	V COMP 1X800 AGUAS ARRIBA FILTRO SUCCION

		PMVCO0627	V COMP 1X800 CONEXION A PI-3411
		PMVCO0628	V COMP 1X800 CONEXION A PIT-3411
		PMVCO0629	V COMP 1X800 CONEXION A PIT-3412
		PMVCO0630	V.COMP 2X1500 SALIDA PSV-3608
		PMVCO0631	V.COMP 2X1500 VENTEO DESCARGA BPC-3410
		PMVCO0632	V.COMP 2X600 VENTEO SUCCION BPC-3410
		PMVCO0903	AGRUPADOR V COMP AUXILIARES BOM BPC-3410
		PMVTP0029	V GLOBO 2X1500 DRENAJE REC/LAC BPC-3410
		PMVTP0030	V GLOBO 2X1500 DRENAJE LINEA MOV-3412
		PMVTP0031	V GLOBO 2X600 DRENAJE SUCCION BPC-3410
		PTFIL0056	TFL-3601 FILT GORRO BRUJA SUCC BPC-3410
		PTTAN0025	RESERVORIOS PLAN52 SELLOS BOM BPC-3410
	ICAPCOR81010		BPC-3410 SIST LUBRICACION BOMBA PAL UN#1
		PEAME0034	LB1-P1A ARRANC ELE 5.0HP LUBRIC BPC-3410
		PEAME0076	CF3-P1A ARRANC ELE 0.5HP RADIADOR UN#1
		PEMEL0077	810-CF3-P1A MOT 1/2HP RADIADOR BPC-3410
		PEMEL0107	LB1-P1A MOT ELE 5.0HP B. LUBRIC BPC-3410
		PIPCV0046	P1-PCV-1 V CONT PRESION LUB SYS BPC-3410
		PIPME0132	P1-PI-1 IND PRESION LUBE SYST BPC-3410
		PIPME0133	P1-PI-2 IND PRESION LUBE SYST BPC-3410
		PISWT0068	PS-1-2-3 SWTs PRESION LUBE SYST BPC-3410
		PISWT0100	810-LS-1 SWT DE NIVEL LUBE SYST BPC-3410
		PITME0041	810-P1-TI-1 MEDIDOR TEMP LUB SYS BPC3410
		PITME0042	810-P1-TI-2 MEDIDOR TEMP LUB SYS BPC3410
		PMINT0005	810-CBF1-PM1A HEAT EXCHAN BOMBA BPC-3410
		PMPDT0024	810-LPM1-PM1A BOMBA LUBE SYS BPC-3410
		PMSEG0118	RV-1 VAL ALIVIO PRESION 1"X1" SET:125PSI
		PMSEG0144	RV-2 VAL ALIVIO PRESION 1"X1" SET:125PSI
		PMSEG0145	TCV-1 V.ALIVIO TERMICO BYPASS 1.5"X1.5"
		PTTAN0029	LPI TK RESERVORIO LUBE OIL SYST BPC-3410
	INTPCOR81010		BPC-3410 INT 4160V CONEX VFD MOT PAL U#1
		PEIMT0054	(+L03) 52-5 INT 4160V CONEX VFD BPC-3410
	MPPPCOR81010		BPC-3410 MOT ELECTRICO PPAL DE UN#1
		PEAME0038	CF1-P1A ARRANCADOR ENFRIADOR#1 DE UN#1
		PEAME0039	CF2-P1A ARRANCADOR ENFRIADOR#2 DE UN#1
		PEMEL0111	BPC-3410 MOT ELE PPAL 6000HP DE UN#1
		PEMEL0112	CBF1 MOT ELE 20HP ENFRIADOR#1 MPP-3410
		PEMEL0113	CBF2 MOT ELE 20HP ENFRIADOR#2 MPP-3410
		PITTR0075	AGRUPA RTDS CHUMACER MOTOR-BOMBA UN#1
	VVEPCOR81010		BPC-3410 VARIADOR VELOC X FREC VFD UN#1
		PECTL0003	SHELTER DEL VARIAD VELOCID VFD BPC-3410
		PEIMT0102	CONTACTOR 4160V ENTRADA VFD DE BPC-3410
		PEIMT0103	CONTACTOR 4160V SALIDA VFD DE BPC-3410
		PEIMT0104	CONTACTOR 4160V BYPASS VFD DE BPC-3410
		PEMEL0129	BLOWERS#1 TRANSFORMADOR VFD VVE-3410
		PEMEL0130	BLOWERS#2 TRANSFORMADOR VFD VVE-3410

		PEMEL0131	BLOWERS#3 TRANSFORMADOR VFD VVE-3410
		PEMEL0148	BLOWERS#4 CELDAS INVERSOR VFD VVE-3410
		PEMEL0149	BLOWERS#5 CELDAS INVERSOR VFD VVE-3410
		PEMEL0150	BLOWERS#6 CELDAS INVERSOR VFD VVE-3410
		PESEC0007	BPC-3410 SECCIONADOR VFD DE U#1 VVE-3410
		PETRA0029	TRANSF MULTIETAPAS SECO DV/DF DE U#1
		PIVVF0008	BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA VFD

Fuente: Los Autores

## **4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD SOBRE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN COROCORA**

### **4.1 DEFINICIÓN DE CRITICIDAD**

Es una metodología que permite ordenar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad permite identificar la áreas sobre las cuales se pondrá una mayor atención en función del proceso que se realiza.

La información obtenida en un estudio de criticidad puede ser utilizada para:

- Priorizar ordenes de trabajo.
- Prevaler proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia sistemas más críticos.

### **4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE LA CRITICIDAD**

1. Identificación del proceso productivo para su análisis.
2. Organización del listado de equipos y sus códigos de identificación.
3. Depuración y clasificación de la información de paros y fallas.
4. Recolección de la información de las órdenes de trabajo cerradas.
5. Verificación de la información de tiempos de producción y mantenimientos programados del proceso en estudio.
6. Chequeo de la información del plan de mantenimiento sistemático.
7. Verificación del listado de repuestos asociados a los equipos.
8. Cuantificación de la criticidad y el riesgo.

### 4.3 ECUACION Y PARAMETROS PARA LA CRITICIDAD

La criticidad es medida por la siguiente ecuación:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA DE FALLA} * \text{CONSECUENCIAS}$$

Frecuencia de falla: Es la cantidad de paradas en un periodo de tiempo.

Consecuencias: Son los impactos producidos por la operación, el tiempo promedio de reparación, costos de reparación, las personas, el ambiente, los clientes y la imagen.

Los parámetros que se utilizan para elaborar las tablas de ponderación son variables entre empresas y cada una evalúa las necesidades de cada impacto sobre sus activos.

Los tratados en este proyecto son los utilizados por ODL.

- Impacto en la seguridad de las personas: Representa el riesgo que puede tener una persona de salir lesionada por el daño o falla producida en un equipo.

Tabla 5. Efectos en las personas

PERSONAS	Una o más fatalidades	8
PE	Incapacidad permanente (parcial o total)	6
	Incapacidad temporal > 1 día	4
	Lesión menor (sin incapacidad)	2
	Lesión leve (primeros auxilios)	1

Fuente: Los Autores

- Impacto ambiental: Indica el nivel de afectación del entorno causado por una falla en los equipos.

Tabla 6. Efectos en el ambiente.

<b>AMBIENTAL</b>	Contaminación Irreparable	5
AM	Contaminación mayor	4
	Contaminación localizada	3
	Efecto menor	2
	Efecto leve	1
	Ningún efecto	0

Fuente: Los Autores

Impacto en la operación: Este parámetro evalúa de que forma una avería en el equipo afecta a la operación.

Tabla 7. Efectos en la operación

<b>OPERACIONAL</b>	Parada total de bombeo	10
OP	Reducción en la capacidad de bombeo	8
	Afectación a la calidad o medición del producto	5
	Parada del equipo sin afectar la producción (Standby)	3
	Ningún efecto	1

Fuente: Los Autores

- Frecuencia de fallas: Establece las veces que falla un componente del sistema, por pérdida de su función en un periodo determinado.

Tabla 8. Frecuencia de fallas

<b>FRECUENCIA DE FALLAS</b>	FF $\leq$ 1 Mes	5
FF (TODO TIPO DE FALLA)	1 Mes < FF $\leq$ 6 Meses	4
	6 Meses < FF $\leq$ 1 Año	3
	1 Año < FF $\leq$ 5 Años	2
	5 años < FF	1

Fuente: Los Autores

- Costo de reparación: Se refiere al costo medio por falla, que equivale a restablecer el equipo a condiciones operativas, incluyendo la labor manual, materiales y transporte.

Tabla 9. Efectos en el costo de reparación

<b>COSTO DE REPARACIÓN</b>	USD 200 K < \$	7
CR	USD 150 K < \$ < USD 200 K	5
	USD 100 K < \$ < USD 150 K	3
	USD 50 < \$ < USD 100 K	2
	\$ < USD 50 K	1

Fuente: Los Autores

- Tiempo medio para reparar: Es el tiempo promedio utilizado para reparar las fallas, se calcula desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para operar.

Tabla 10. Efectos en el tiempo medio para reparar

<b>TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR</b>		
MTTR	Mas de 60 días	7
	Entre 45 y 60 días	5
	Entre 30 y 45 días	3
	Entre 15 y 30 días	2
	Inferior a 15 días	1

Fuente: Los Autores

- Impacto en el cliente: Es la forma en que una falla de un equipo puede afectar directamente al cliente al que se le presta el servicio.

Tabla 11. Efectos en los clientes

<b>CLIENTES</b>	Veto como transporte	5
CL	Pérdida de participación en el mercado	4
	Pérdida de clientes	3
	Reclamo por incumplimiento de requerimientos	2
	Queja	1
	Ningún impacto	0

Fuente: Los Autores

- Impacto en la imagen: Es la forma en que se ve afectada la imagen empresarial frente a ciertas instancias competitivas.

Tabla 12. Efectos en la imagen

<b>IMAGEN</b>	Internacional	5
IM	Nacional	4
	Regional	3
	Local	2
	Interna	1
	Ningún impacto	0

Fuente: Los Autores

Al evaluar la criticidad por los métodos establecidos en ODL se obtienen tres niveles de importancia:

- Criticidad alta (CA): Es el resultado de obtener el promedio, mas  $2/3$  de la desviación estándar de los resultados finales:  $CA = MEDIA + 2/3 \sigma$ .
- Criticidad media (CM): Es el valor intermedio entre la alta criticidad y la baja criticidad y está evaluada de esta forma:  $MEDIA - 2/3 \sigma \leq CM \leq MEDIA + 2/3 \sigma$ .

- Criticidad baja (CB): Es el valor de obtenido al restarle al promedio,  $2/3$  de la desviación estándar y está evaluada de la siguiente manera:  $CB = MEDIA - 2/3 \sigma$ .

Donde la MEDIA es el promedio de los resultados de evaluar criticidad, sumarlos y dividirlos sobre la cantidad de equipos. La desviación estándar ( $\sigma$ ), es el desvío que presentan los datos en su distribución respecto de la media de esta distribución de datos de criticidad.

#### 4.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN COROCORA.

Tabla 13. Resultados de criticidad y convención

CONVENCIÓN	
UBICACIÓN TÉCNICA	UT
SISTEMA	SI
UNIDAD PRODUCTIVA	UP
EQUIPO PRINCIPAL	EP

DESCRIPCION EQUIPO	CONV	FF	OP	MTTR	CR	PE	AM	CL	IM	Resul	Critic
ER1 PLANTA DE REBOMBEO COROCORA	UT										
SISTEMA CONTRA INCENDIO AGUA COROCORA	SI										
UND#1 ELECTRICA SIST CONTRA INCENDIO AGUA	UP										
BPC-0701 MOT ELECT 5.0HP BOM JOCKEY#1	EP	2	3	3	1	2	0	2	1	28	CM
BPC-0703 MOT ELE 250HP 4160V U#1 SCI H?O	EP	2	3	5	1	6	0	0	1	44	CM
BCE-0701 TABL CONTROL BOM JOCKEY#1	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
BCE-0703 TABL 4160V CONTROLADOR U#1 ELEC	EP	2	3	2	1	8	0	0	1	30	CM
PI-0515 INDICADOR PRESION SUCC BOMBA#1	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
PI-0516 INDICADOR PRESION DESC BOMBA#1	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB

BCE-0701 BOM CENTRIF VERTICAL JOCKEY#1	EP	2	3	2	1	4	0	2	1	26	CM
BCE-0703 BOM CENTRIF UN#1 ELECTRICA	EP	2	3	2	1	8	0	2	2	36	CM
V CHEQUE 10X150 DESCARGA BOM BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 10X150 DESCARGA BOM BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 10X150 DESC BOM JOKEY BCE-0701	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 10X125 DESCARGA BOM BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 10X125 DESC BOM BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 2x175 DESC BOM JOKEY BCE-0701	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 DESCARGA BOMB BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 SUCCION BOMBA BCE-0703	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 DESC B.JOKEY BCE-0701	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 SUCC B. JOKEY BCE-0701	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 2x175 DESC B.JOKEY BCE-0701 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 2X175 SUCC B.JOKEY BCE-0701 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
UND#2 DIESEL SIST CONTRAINCENDIO AGUA	UP										
BANCO BATERIAS 24V ARRANQUE U#2 DIESEL	EP	2	3	2	1	2	1	0	1	20	CM
MOT ARRANQUE 24V MOT DIESEL U#2 SCI AGUA	EP	2	3	2	1	1	0	0	1	16	CB
BPC-0702 M.ELECT B.JOCKEY #2 SCI	EP	2	3	3	1	2	0	2	1	28	CM
BCE-0702 PANEL CONTROL B.JOCKEY #2 SCI	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
PANEL CONTROLADOR MOT DIESEL U#2 SCI H2O	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
PI-0520 IND PRES SALID V CONTROL U#2 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
PI-0519 IND PRES DESC BOMBA#2 AGUA SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
BCE-0704 ACOPLE MOTOR-BOMBA U#2 SCI AGUA	EP	2	1	2	1	8	0	0	1	22	CM
BCE-0704 BOM CENTRIF U#2 DIESEL SCI H2O	EP	2	3	2	1	8	0	2	2	36	CM
BCE-0702 BOM CENTRIF VERTICAL JOCKEY#2	EP	2	3	2	1	4	0	2	1	26	CM
V CHEQU 10X175 DESC B.JOKEY BCE-0702 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 10X125 DESC BOMBA BCE-0704 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V CHEQUE 2X175 DESC B.JOKEY	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB

BCE-0702 SCI												
BCE-0704 INTERCAMBIADOR DE CALOR U#2 SCI	EP	3	1	5	1	1	0	0	1	21	CM	
BCE-0704 MOTOR DIESEL U#2 SCI AGUA	EP	2	3	2	2	4	2	1	1	40	CM	
V COMP 10X150 SUCC B.JOKEY BCE-0702 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 2X175 DESC B.JOKEY BCE-0702 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 10X150 SUCCION BOMBA BCE-0704 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 10X150 DESC BOMBA BCE-0704 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 2X175 SUCC B.JOKEY BCE-0702 SCI	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
<b>SISTEMA BALANCEADO PROPORC ESPUMA</b>	<b>SI</b>											
<b>EFM-0701 PROPOR ESPUMA AREA DE BOMBEO</b>	<b>UP</b>											
BATERIAS 12V MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA	EP	2	3	1	1	2	1	0	1	14	CB	
MOT ARRANQUE MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA	EP	2	3	2	1	1	0	0	1	16	CB	
MOT ELECTRICO 15HP U#1 SCI ESPUMA	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM	
TABL CONTROL MOT ELECT U#1 SCI ESPUMA	EP	2	3	2	1	4	0	0	1	22	CM	
PANEL CONTROL MOT DIESEL U#2 SCI ESPUMA	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM	
MOTOR DIESEL DE U#2 SCI ESPUMA	EP	2	3	2	2	4	2	1	1	40	CM	
BOMBA DESPLAZ POSITIVO U#1 SCI ESPUMA	EP	3	3	1	1	1	0	0	1	15	CB	
BOMBA DESPLAZ POSITIVO U#2 SCI ESPUMA	EP	3	3	1	1	1	0	0	1	15	CB	
V SEG 3/4 BOMBA U#2 SCI ESPUMA 220 PSI	EP	2	1	2	1	1	0	0	1	8	CB	
V SEG 3/4 BOMBA U#1 SCI ESPUMA 220 PSI	EP	2	1	2	1	1	0	0	1	8	CB	
DV-001 V DILUVIO ESPUMA TK-2 RELEVO	EP	2	3	3	1	1	0	0	1	22	CM	
DV-011 V DILUVIO AREA BOMBAS PRINCIPALES	EP	2	3	3	1	1	0	0	1	22	CM	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-001	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-011	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-012	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-013	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-014	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	
V COMP 4X125 ENTRADA V DILUV DV-015	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB	

V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA TQ-0501 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
V COMP 10X150 AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
TK ESPUMA ANILLO SCI ESPUMA 2800 GLS	EP	2	3	3	1	1	0	0	1	22	CM
<b>RED HIDRANTES MONITORES AGUA –ESPUMA</b>	<b>SI</b>										
HME-01 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-02 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-03 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-04 HIDRANTE AREA TK 410-TK-2 RELEVO	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-05 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-06 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-07 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-08 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-28 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-29 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
HME-30 HIDRANTE AREA SEPARADORES API	EP	2	1	3	1	1	0	0	1	10	CB
<b>AREA UNIDADES DE REBOMBEO Y DESPACHO</b>	<b>SI</b>										
<b>UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No1 BPC-3410</b>	<b>UP</b>										
<b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	<b>EP</b>										

PPAL DE UN#1												
MOV-3412 ACT V DESCARGA BOMBA BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	3	0	1	42	CM	
MOV-3411 ACT V SUCCION BOMBA BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	3	0	1	42	CM	
FCV-3401V CONTROL FLUJO ARRANQ BPC-3410	EP	2	3	7	1	2	3	0	1	54	CA	
FIT-3411 TR FLUJO L-LL-H DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM	
PDIT-3411 TR DIF PRESION FILTRO BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM	
TAC-3611 PANEL LOCAL BOMBA BPC-3410	EP	3	3	3	1	1	0	0	1	33	CM	
PI-3412 IND PRESION DESCARGA BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PI-3411 IND PRESION SUCCION BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-0608 TR PRES CABEZAL SUCC UN PALES	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-3411 TR PRES LL-HH SUCC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-3412 TR PRESION L-H SUCCION BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-3413 TR PRES HH-HH DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-3414 TR PRES HH-HH DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PIT-3415 TR PRES L-H DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PSH-3411 SW ALTA PRES DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
PSL-3411 SW BAJA PRESION SUCC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
TIT-3411 TR TEMPERATURA HH DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM	
MODULO VIBRACIONES-TEMP BENTLY BPC-3410	EP	3	3	3	1	1	0	0	1	33	CM	
ACOPLE MEC METASTREAM BOMBA-MOTOR U#1	EP	2	3	5	2	8	0	0	1	78	CA	
BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND#1	EP	3	3	5	3	8	4	0	1	174	CA	
V CHEQUE 12"X900 DESCARGA BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB	
V CHEQUE 12"X900 DESCARGA BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB	
V CHEQUE 8"X900 V REC/LACION FCV-3401	EP	2	1	2	1	1	3	0	1	14	CB	
PSV-3608 V ALIVIO 3/4X1 SUCC UDS 1350 PS	EP	2	3	5	1	1	3	0	1	40	CM	
PSV-3411 V SEG 4X6 DESC BPC-3410 2000PSI	EP	3	3	3	1	1	3	0	1	42	CM	
MOV-3412 V BOLA 12x900 DESC BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	3	0	1	42	CM	
MOV-3411 V BOLA 16X600 SUCCION BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	3	0	1	42	CM	

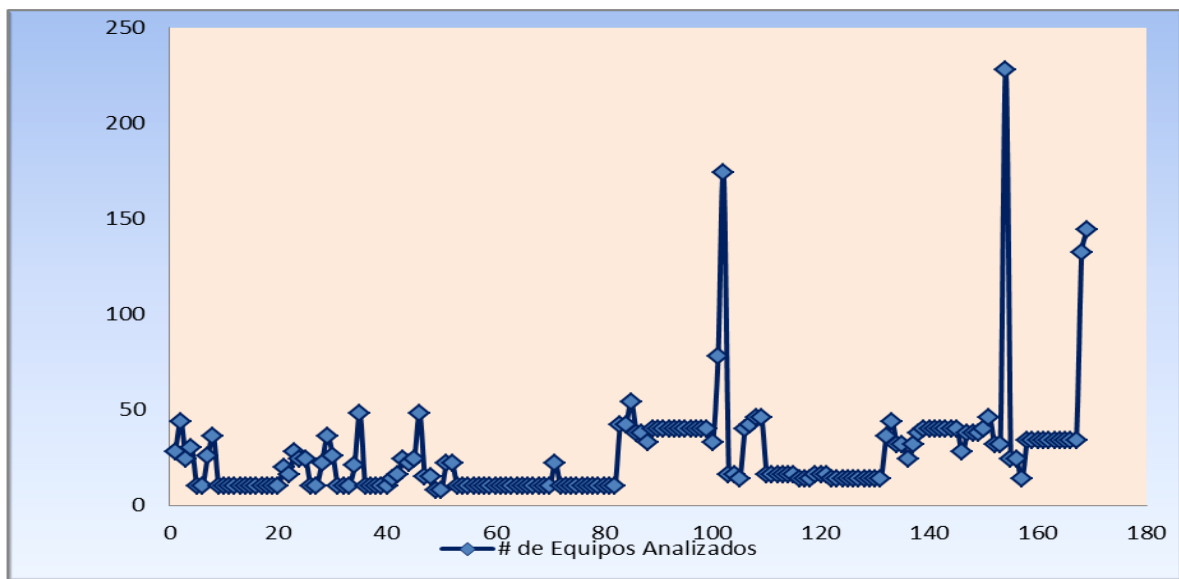
V COMP 2X1500 DRENAJ REC/LACION BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 2X1500 DRENAJE LINEA MOV-3412	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 2X600 DRENAJE A SUM SUCC BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 8X900 REC/LACION DE FCV-3401	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 10X900 DE BOOSTERS A MULT SUCC	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 10X900 ENTRADA PSV-3411	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 10X900 SALIDA PSV-3411	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V COMP 1X1500 CONEXION PIT-3413	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V COMP 1X1500 CONEXIN PIT-3414	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V COMP 1X1500 CONEXIN PIT-3415	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 1X800 AGUAS ABAJO FILTRO SUCCION	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 1X800 AGUAS ARRIBA FILTRO SUCCION	EP	2	1	3	1	1	3	0	1	16	CB
V COMP 1X800 CONEXION A PI-3411	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V COMP 1X800 CONEXION A PIT-3411	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V COMP 1X800 CONEXION A PIT-3412	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V.COMP 2X1500 SALIDA PSV-3608	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V.COMP 2X1500 VENDEO DESCARGA BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V.COMP 2X600 VENDEO SUCCION BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
AGRUPADOR V COMP AUXILIARES BOM BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V GLOBO 2X1500 DRENAJE REC/LAC BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V GLOBO 2X1500 DRENAJE LINEA MOV-3412	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
V GLOBO 2X600 DRENAJE SUCCION BPC-3410	EP	2	1	3	1	1	2	0	1	14	CB
TFL-3601 FILT GORRO BRUJA SUCC BPC-3410	EP	4	3	1	1	1	4	0	1	36	CM
RESERVORIOS PLAN52 SELLOS BOM BPC-3410	EP	2	3	5	1	4	2	0	1	44	CM
<b>BPC-3410 SIST LUBRICACION BOMBA PAL UN#1</b>	<b>SI</b>										
LB1-P1A ARRANC ELE 5.0HP LUBRIC BPC-3410	EP	2	3	3	1	6	0	0	1	32	CM
CF3-P1A ARRANC ELE 0.5HP RADIADOR UN#1	EP	2	3	3	1	6	0	0	1	32	CM
810-CF3-P1A MOT 1/2HP RADIADOR BPC-3410	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
LB1-P1A MOT ELE 5.0HP B. LUBRIC BPC-3410	EP	2	3	3	1	6	0	0	1	32	CM

P1-PCV-1 V CONT PRESION LUB SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM
P1-PI-1 IND PRESION LUBE SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
P1-PI-2 IND PRESION LUBE SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
PS-1-2-3 SWTs PRESION LUBE SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
810-LS-1 SWT DE NIVEL LUBE SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
810-P1-TI-1 MEDIDOR TEMP LUB SYST BPC3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
810-P1-TI-2 MEDIDOR TEMP LUB SYST BPC3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
810-CBF1-PM1A HEAT EXCHAN BOMBA BPC-3410	EP	2	3	5	1	2	2	0	1	40	CM
810-LPM1-PM1A BOMBA LUBE SYST BPC-3410	EP	4	3	1	1	1	2	0	1	28	CM
RV-1 VAL ALIVIO PRESION 1"X1" SET:125PSI	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM
RV-2 VAL ALIVIO PRESION 1"X1" SET:125PSI	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM
TCV-1 V.ALIVIO TERMICO BYPASS 1.5"X1.5"	EP	2	3	5	1	1	2	0	1	38	CM
LPI TK RESERVORIO LUBE OIL SYST BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	3	0	1	40	CM
<b>BPC-3410 INT 4160V CONEX VFD MOT PAL U#1</b>	<b>SI</b>										
(+L03) 52-5 INT 4160V CONEX VFD BPC-3410	EP	2	3	3	1	4	0	0	1	28	CM
<b>BPC-3410 MOT ELECTRICO PPAL DE UN#1</b>	<b>SI</b>										
CF1-P1A ARRANCADOR ENFRIADOR#1 DE UN#1	EP	2	3	3	1	6	0	0	1	32	CM
CF2-P1A ARRANCADOR ENFRIADOR#2 DE UN#1	EP	2	3	3	1	6	0	0	1	32	CM
BPC-3410 MOT ELE PPAL 6000HP DE UN#1	EP	2	3	5	7	8	0	0	1	228	CA
CBF1 MOT ELE 20HP ENFRIADOR#1 MPP-3410	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
CBF2 MOT ELE 20HP ENFRIADOR#2 MPP-3410	EP	2	3	3	1	2	0	0	1	24	CM
AGRUPA RTDS CHUMACER MOTOR-BOMBA UN#1	EP	2	1	5	1	1	0	0	1	14	CB
<b>BPC-3410 VARIADOR VELOC X FREC VFD UN#1</b>	<b>SI</b>										
CONTACTOR 4160V ENTRADA VFD DE BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM
CONTACTOR 4160V SALIDA VFD DE BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM
CONTACTOR 4160V BYPASS VFD DE BPC-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM
BLOWERS#1 TRANSFORMADOR VFD VVE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM
BLOWERS#2 TRANSFORMADOR	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM

VFD VVE-3410												
BLOWERS#3 TRANSFORMADOR VFD VVE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM	
BLOWERS#4 CELDAS INVERSOR VFD VVE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM	
BLOWERS#5 CELDAS INVERSOR VFD VVE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM	
BLOWERS#6 CELDAS INVERSOR VFD V 63VE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM	
BPC-3410 SECCIONADOR VFD DE U#1 VVE-3410	EP	2	3	5	1	1	0	0	1	34	CM	
TRANSF MULTIETAPAS SECO DV/DF DE U#1	EP	2	3	7	3	2	0	0	1	132	CA	
BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA VFD	EP	3	3	5	3	2	0	0	1	144	CA	

Fuente: Los Autores

Figura 15. Resultados de la criticidad



Fuente: Los autores

Según el estudio de criticidad utilizado, el resultado de los equipos más críticos de la estación son:

Tabla 14. Equipos Críticos De La Estación Corocora Según El Estudio De Criticidad

DESCRIPCION EQUIPO	CONV	FF	OP	MTTR	CR	PE	AM	CL	IM	RESULTADO	CRITICIDAD
BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND#1	EP	3	3	5	3	8	4	0	1	174	CA
BPC-3410 MOT ELE PPAL 6000HP DE UN#1	EP	2	3	5	5	8	0	0	1	168	CA
BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA VFD	EP	3	3	5	3	2	0	0	1	144	CA
TRANSF MULTITAPAS SECO DV/DF DE U#1	EP	2	3	7	3	2	0	0	1	132	CA
ACOPLE MEC METASTREAM BOMBA-MOTOR U#1	EP	2	3	5	2	8	0	0	1	78	CA
FCV-3401V CONTROL FLUJO ARRANQ BPC-3410	EP	2	3	7	1	2	3	0	1	54	CA

Fuente: Los autores

La seguridad en las plantas o estaciones fue uno de los temas de mayor interés y preocupación en el Oleoducto De Los Llanos Orientales, ya que una inadecuada valoración de los riesgos puede llegar a presentar un alto costo o el costo total de la producción.

Se analizó y se tuvo en cuenta que los riesgos no solamente pueden llegar a generar costos directos de reparación sino que igualmente generaría costos indirectos como pérdidas de producción, indemnizaciones al personal interno y/o hasta el público afectado por un Accidente Industrial Mayor (AIM)

El motivo más grande de preocupación del Oleoducto de los Llanos Orientales es la responsabilidad de proteger a los trabajadores, a la población y al medio ambiente.

Se ha llegado a la conclusión mundial, que el costo total que debería pagar una empresa en caso de ocurrir un AIM, será muchísimo más alto que el costo de prevenirlo por medio de la implementación y mantenimiento de Sistemas Instrumentados De

Seguridad (SIS). Estos Sistemas Instrumentados De Seguridad (SIS) proveen el más alto Factor De Reducción De Riesgo (FRR).<sup>8</sup>

Bajo este contexto ODL se basó en las siguientes normas:

**IEC 61508:** Seguridad funcional de sistemas electrónicos programables relacionados con la seguridad

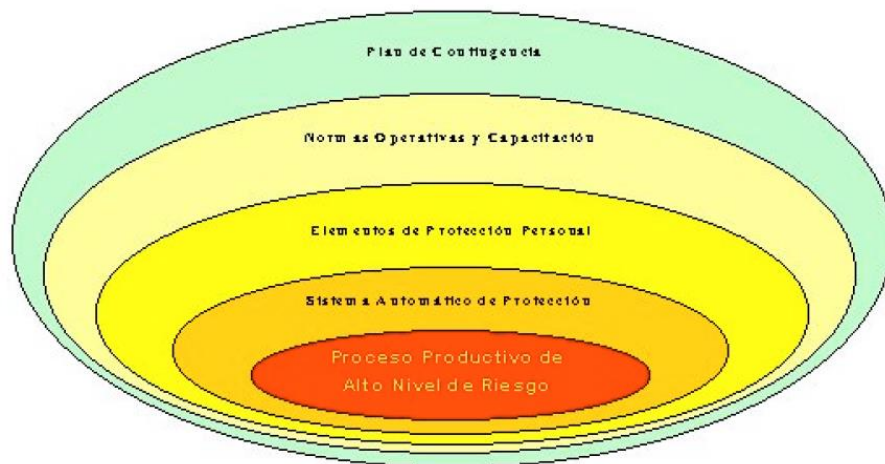
**IEC 61511:** Seguridad funcional: Sistemas instrumentados de seguridad para el sector de las industrias de procesos.

Estos estándares o normas llevaron a ODL al siguiente al siguiente nivel de reducción del riesgo, capas independientes de protección.

El concepto de “capa” proviene del llamado “modelo de la cebolla”. En una cebolla, la gran cantidad de capas muy delgadas constituye una efectiva y gruesa “coraza” que protege al núcleo de la cebolla de la acción de agentes externos.

En la cebolla, cada “capa” proveerá un determinado Factor de Reducción de Riesgo (FRR).<sup>9</sup>

Figura 16. Capas Independientes de Protección



Fuente: Implementación De La Norma Internacional IEC 61511

<sup>8</sup> VITTONI, Ricardo A; Varela, Roberto E. Prevención de accidentes industriales mayores. Implementación de la norma internacional IEC 61511, Buenos Aires, p. 1.

<sup>9</sup> VITTONI, Ricardo A; Varela, Roberto E. Prevención de accidentes industriales mayores. Implementación de la norma internacional IEC 61511, Buenos Aires, p. 8.

Bueno dando una clara interpretación a la figura 15 hay que mitigar los riesgos del núcleo (procesos), para que este a su vez no afecte al exterior (personas y medio ambiente).

Este análisis nos da un nuevo contexto que para que exista un verdadero Factor de Reducción de riesgo (FRR), el último nivel en las capas independientes de protección no debe fallar y en este caso sería el sistema de contingencia. Los equipos que hacen parte del sistema de contingencia de la estación son todas las unidades del sistema contra incendios (SCI), unidades principales de agua, las bombas Jockey y el proporcionador de espuma. Basándonos en la premisa anterior. Los equipos que dan el último respaldo al proceso productivo son los equipos de Stand-by que hacen parte del sistema contra incendios, por esta razón su condición de criticidad será CRITICIDAD ALTA (CA).

Tabla 15. Resultado de equipos críticos de la Estación

DESCRIPCION EQUIPO	CONV	FF	OP	MTTR	CR	PE	AM	CL	IM	RESULTADO	CRITICIDAD
BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND#1	EP	3	3	5	3	8	4	0	1	174	CA
BPC-3410 MOT ELE PPAL 6000HP DE UN#1	EP	2	3	5	5	8	0	0	1	168	CA
BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA VFD	EP	3	3	5	3	2	0	0	1	144	CA
TRANSF MULTITAPAS SECO DV/DF DE U#1	EP	2	3	7	3	2	0	0	1	132	CA
ACOPLE MEC METASTREAM BOMBA-MOTOR U#1	EP	2	3	5	2	8	0	0	1	78	CA
FCV-3401V CONTROL FLUJO ARRANQ BPC-3410	EP	2	3	7	1	2	3	0	1	54	CA
BCE-0704 MOTOR DIESEL U#2 SCI AGUA	EP	2	3	2	2	4	2	1	1	40	CA
BPC-0702 M.ELECT B.JOCKEY #2 SCI	EP	2	3	3	1	2	0	2	1	28	CA
BCE-0704 BOM CENTRIF U#2 DIESEL SCI H2O	EP	2	3	2	1	8	0	2	2	36	CA
BCE-0702 BOM CENTRIF VERTICAL JOCKEY#2	EP	2	3	2	1	4	0	2	1	26	CA
MOTOR DIESEL DE U#2 SCI ESPUMA	EP	2	3	2	2	4	2	1	1	40	CA
BOMBA DESPLAZ POSITIVO U#2 SCI ESPUMA	EP	3	3	1	1	1	0	0	1	15	CA

Fuente: Los autores

## **5. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO DE FALLA SOBRE LOS EQUIPOS MAS CRITICOS DE LA ESTACIÓN COROCORA**

### **5.1 FUNCIONES**

Las funciones son los aspectos de como los usuarios desean que operan un activo físico. Por eso el primer paso es definir las funciones en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento. Las funciones están divididas en dos categorías:

- Funciones primarias: Resumen el porqué de la adquisición del activo.
- Funciones secundarias: Las que el usuario espera que el activo debería hacer además de cumplir con las funciones primarias.

### **5.2 FALLAS FUNCIONALES**

En el RCM, las fallas son denominadas fallas funcionales cuando ocurre que el activo no puede cumplir una función que fue otorgada como operación normal tal que el usuario considera aceptable.

RCM localiza qué fallas pueden ocurrir en el activo, identificando las circunstancias que llevaron a la falla y luego cuestiona que causa una falla en el activo.

### **5.3 MODOS DE FALLAS**

Los eventos razonables que puedan causar las fallas se conocen como modos de fallas. Para identificar los modos de falla se incluyen aquellos hechos posibles que han ocurrido en los equipos similares o en afinidad de contextos operacionales y todo tipo fallas que se controle en el mantenimiento o que aun no estén en el programa de mantenimiento, pero que se crea posible que ocurran.

## 5.4 EFECTOS DE FALLA

En la metodología se lista los efectos de las fallas, describiendo que ocurre cuando se presenta un modo de falla. En la descripción de los efectos de falla debe incluirse<sup>10</sup>:

- Qué evidencia existe (si la hay) que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
- De qué manera afecta la producción o las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

## 5.5 CONSECUENCIAS DE FALLAS

Los efectos de las fallas son diversos, pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, la seguridad o el medio ambiente etc. RCM reconoce que todos los tipos de falla no pueden ser reparados pues costaría mucho tiempo y dinero, por lo tanto, si la consecuencia de la falla es alta, se hará un esfuerzo mayor por prevenirla, pero si la consecuencia es leve, quizá se decida prescindir del mantenimiento.

El RCM reconoce que tipo de consecuencias tienen las fallas y sabe que son más importantes que las características de los activos.

Los cuatro tipos de consecuencias son:

- Consecuencias de fallas ocultas: Fallas que no tienen un impacto directo, pero expone a la organización a fallas con consecuencias serias.
- Consecuencias Ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause lesiones o la muerte a una persona y

---

<sup>10</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, pag 10. Mexico: Aladon, 2004.

tiene consecuencias para el medio ambiente si infringe alguna normativa ambiental, ya sea nacional o internacional.

- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción en cualquier aspecto.
- Consecuencias no-operacionales: No afectan la producción ni la seguridad y sólo implican un costo asociado a la reparación.

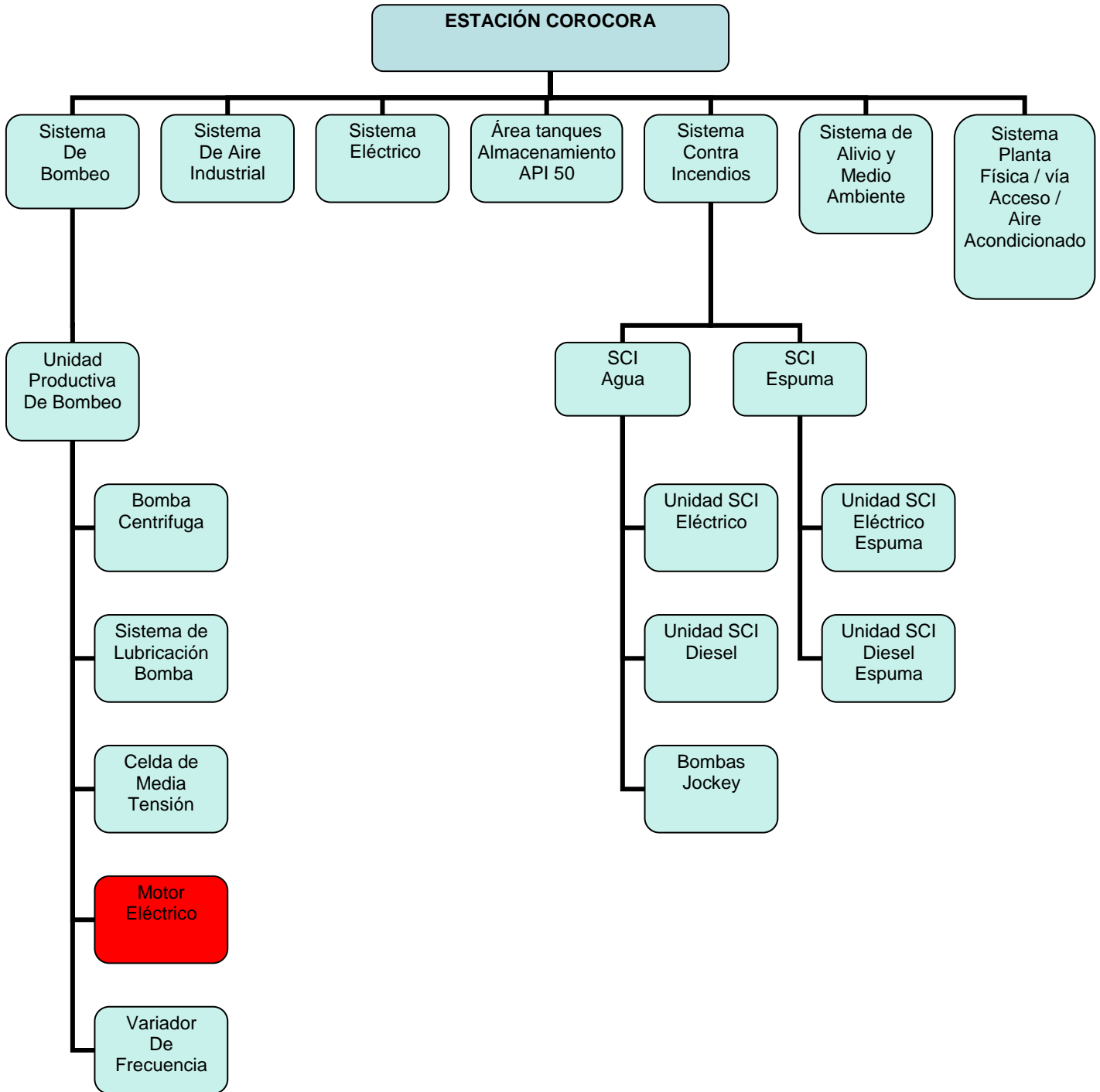
## 5.6 ETAPA DE PLANEACION RCM

Tabla 16. Equipo RCM

 <b>HOJA DE PRESENTACIÓN EQUIPO RCM</b>						
Nombre	Apellido	Rol	Empresa	Función	Teléfono	e-Mail
Luis	Castaño	Consultor	ODL	Asesor de Mantenimiento	3005705568	<a href="mailto:luis.castano@odl.com.co">luis.castano@odl.com.co</a>
Bernardo	Gómez	Consultor	ODL	Gestor de Mantenimiento		<a href="mailto:bernardo.gomez@odl.com.co">bernardo.gomez@odl.com.co</a>
Jose	Villalba	Consultor	ODL	Coordinador de estación	3172991895	<a href="mailto:jose.villalba@odl.com.co">jose.villalba@odl.com.co</a>
Miguel	González	Facilitador	ODL	Supervisor Mecánico	3173625148	<a href="mailto:miguel.gonzalez@odl.com.co">miguel.gonzalez@odl.com.co</a>
Oscar	Herrera	Facilitador	Ismocol	Técnico electricista	3163149689	<a href="mailto:oiha3216@gmail.com">oiha3216@gmail.com</a>
Dairo	Jiménez	Técnico en operaciones	ODL	Supervisor de operaciones	3132827507	<a href="mailto:jimenezdjc@hotmail.com">jimenezdjc@hotmail.com</a>
Rodrigo	Aparicio	Técnico mecánico	ODL	Supervisor Mecánico	3153280037	<a href="mailto:rodrigo.aparicio@odl.com.co">rodrigo.aparicio@odl.com.co</a>
Fernando	Martinez	Técnico electricista	ODL	Supervisor electricista	3182744647	<a href="mailto:hermes.martinez@odl.com.co">hermes.martinez@odl.com.co</a>
Andres	Parra	Técnico instrumentista	ODL	Supervisor de instrumentación y control	3185008214	<a href="mailto:andres.parra@odl.com.co">andres.parra@odl.com.co</a>

Fuente: Los Autores

Figura 17 Jerarquía de sistemas de la Estación Corocora



Fuente: Los Autores

Figura 18 Motor eléctrico unidad principal



Fuente: Los Autores

Tabla 17 Subdivisión de equipo

Subdivisión de la unidad de equipo				
Subunidad	Motor eléctrico	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Sistema de refrigeración
Partes mantenibles	Estator	RTD	Reservorio, bomba con motor	Ventilador con motor
	Rotor	Sensor de aire		
	Acople			
	Chumaceras			

Fuente: Los Autores

Tabla 18. Datos específicos del equipo

<b>Datos específicos de la unidad de equipo</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Lista de unidades o código</b>
Unidad accionada	identificación	Motor unidad principal
Aplicación del accionador	Tipo de unidad accionada	Bomba unidad principal
Potencia nominal	Máxima capacidad de salida	6000 HP
Potencia de operación	Consumo de potencia	Entre 4080 y 5640 HP
Velocidad	Velocidad nominal	3570 RPM
Voltaje	Voltaje nominal	4000 V
Tipo de motor	Tipo	Motor de inducción
Rodamientos	Tipo	Chumaceras DE EMZLB14-140, NDE EMZLB14-140
Clase de seguridad	Tipo	Clase F
Temperatura	Temperatura de trabajo	Entre 24° y 38° C
Velocidad variable	Variador de velocidad	Si

Fuente: Los Autores

Tabla 19 Modos de falla

<b>Modos de falla</b>		
<b>Unidad de equipo</b>	<b>Definición</b>	<b>Descripción</b>
Motor unidad principal	1. Rotor bloqueado	Rotor atascado
	2. Potencia baja o nula	No llega suficiente energía
	3. Excesivo consumo de corriente	Mucha consumo de corriente por parte del motor
	4. Vibración	Vibración excesiva
	5. Ruido	Ruido excesivo
	6. Sobrecalentamiento	temperatura excesiva
	7. No arranca en el momento de encender	Incapaz de arrancar
	8. No se detiene en el momento de apagar	Incapaz de detener
	9. Lectura anormal del instrumento	Falsas alarmas o lecturas erróneas
	10. Restringe lubricación	No permite el paso del lubricante sobre los rodamientos

Fuente: Los Autores

Figura 19. Matriz actual de riesgos de ODL

Severidad del Riesgo		FORMATO MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS EN ODL				
		Bajo	Moderado	Alto	Extremo	
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA / PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	E.1. Nos ocurre en ODL con cierta periodicidad (1 vez cada dos meses) E.2. Se espera la ocurrencia del evento en más del 20% de los casos	Con certeza	E			
	D.1. Se presenta con alguna frecuencia en ODL (1 vez cada cinco meses) D.2. El evento ocurriría entre el 15 y el 19,9% de los casos	Muy Probable	D			
	C.1. Se presenta por lo menos una vez cada siete meses en ODL ó en el Sector C.2. El evento puede ocurrir entre el 10 y el 14,9% de los casos	Probable	C			
	B.1. Se ha presentado alguna vez en ODL ó en el sector en los últimos diez meses B.2. El evento puede ocurrir entre el 3 y el 9,9% de los casos	Poco Probable	B			
	A.1. Se ha presentado una vez en ODL ó en el sector en los últimos 12 meses A.2. El evento puede ocurrir en menos del 3% de los casos	Raro	A			

Fuente: Matriz de ODL

Tabla 20. Consecuencias y decisiones de mantenimiento

Modo de falla	Consecuencias y probabilidad de ocurrencia					Riesgo seg. Matriz	Tipo de manto. Recomendado
	Person	Econo	Ambie	Clien	Oper		
1.	4B					Alto	PV
2.		2A				Baja	A falla
3.		2C				Moderado	PD por aislamiento, resto a falla
4.		2A				Baja	PV
5.		2C				Moderado	A falla
6.		1B				Baja	PV
7.					1B	Baja	PV
8.					1B	Baja	PV
9.		1C				Baja	PV
10.		1B				Baja	PV

Fuente: Los Autores

## 6. PLAN DE MANTENIMIENTO RESULTANTE

### 6.1 TAREAS RESULTANTES

Después de aplicar el RCM sobre los equipos críticos se obtienen el siguiente resumen de actividades:

Tabla 21. Tareas de mantenimiento 1

<b>Motor unidad principal</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Limpieza de filtros de aire	Electricidad	500 horas	Motor
Inspección	Electricidad	2000 horas	Motor
revisión de parámetros	Electricidad	4000 horas	Motor
revisión de parámetros y limpieza	Electricidad	4000 horas	Enfriadores
calibración de instrumentos	Instrumentación	4000 horas	RTDs
Revisión de aislamiento	Electricidad	8000 horas	Motor

Fuente: Los Autores

Tabla 22. Tareas de mantenimiento 2

<b>Bomba unidad principal</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Limpieza y cambio de liquido de barrera	Mecánica	500 horas	Reservorios
Verificación de funcionamiento	Mecánica	1000 horas	Bomba
Medición y calibración	Mecánica	2000 horas	Bomba
Verificar control	Instrumentación	2000 horas	Tablero
Inspección acople	Mecánica	2000 horas	Acople
Alineación	Mecánica	4000 horas	Bomba
Verificar centricidad	Mecánica	4000 horas	Bomba
Calibración de instrumentos y control	Instrumentación	4000 horas	Instrumentos

Fuente: Los Autores

Tabla 23. Tareas de mantenimiento 3

<b>Variador de frecuencia</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Inspección, limpieza y verificación de parámetros	Electricidad	2000 horas	Variador
Medición y torque de rectificador e inversor	Electricidad	4000 horas	Variador
Revisión, medición de extractores	Electricidad	4000 horas	Variador
Torque y limpieza de Transformador seco	Electricidad	4000 horas	Transformador
Limpieza y revisión de seccionadores	Electricidad	4000 horas	Variador
Torque y limpieza del control	Instrumentación	4000 horas	Variador
Medición de aislamiento de transformador seco	Electricidad	8000 horas	Transformador

Fuente: Los Autores

Tabla 24. Tareas de mantenimiento 4

<b>Motor diesel SCI</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Revisión y limpieza	Mecánica	30 días	Motor
Revisión y retorqueo de banco de baterías	Electricidad	60 días	Motor
Limpieza general y prueba funcional	Mecánica	90 días	Motor
Inspección acople	Mecánica	90 días	Motor
Revisión de motor de arranque	Electricidad	180 días	Motor de arranque
Revisión y cambio de lubricantes y filtros	Mecánica	180 días	Motor
Limpieza, ajuste y verificación del control	Instrumentación	180 días	Tablero de control motor

Fuente: Los Autores

Tabla 25. Tareas de mantenimiento 5

<b>Bomba SCI</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Inspección general bomba y acople y lubricación rodamientos	Mecánica	30 días	Bomba
Revisión de alineamiento y de sellos	Mecánica	90 días	Bomba
Revisión de juego axial y radial	Mecánica	180 días	Bomba

Fuente: Los Autores

Tabla 26. Tareas de mantenimiento 6

<b>Motor diesel espuma</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Revisión y limpieza	Mecánica	30 días	Motor
Revisión y retorqueo de banco de baterías	Electricidad	60 días	Motor
Limpieza general y prueba funcional	Mecánica	90 días	Motor
Inspección acople	Mecánica	90 días	Motor
Revisión de motor de arranque	Electricidad	180 días	Motor de arranque
Revisión y cambio de lubricantes y filtros	Mecánica	180 días	Motor
Limpieza, ajuste y verificación del control	Instrumentación	180 días	Tablero de control motor

Fuente: Los Autores

Tabla 27. Tareas de mantenimiento 7

<b>Bomba espuma</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Inspección general bomba y acople y lubricación rodamientos	Mecánica	30 días	Bomba
Revisión de alineamiento y de sellos	Mecánica	90 días	Bomba
Revisión de juego axial	Mecánica	180 días	Bomba

Fuente: Los Autores

Tabla 28. Tareas de mantenimiento 8

<b>Motor de jockey</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Limpieza, ajuste y verificación del control	Electricidad	180 días	Tablero de control
Engrasar rodamientos y verificar temperatura	Electricidad	180 días	Motor
Inspección general	Electricidad	180 días	Motor
Revisión de aislamiento	Electricidad	360 días	Motor

Fuente: Los Autores

Tabla 29. Tareas de mantenimiento 9

<b>Bomba de jockey</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Revisión de juego axial, radial y concentricidad	Mecánica	180 días	Bomba

Fuente: Los Autores

Tabla 30. Tareas de mantenimiento 10

<b>Válvula FCV</b>			
<b>Tarea</b>	<b>Encargado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Equipo</b>
Revisión y prueba funcional	Instrumentación	500 horas	FCV
Calibración	Instrumentación	2000 horas	FCV

Fuente: Los Autores

## 6.2 FUTURA IMPLEMENTACIÓN

El ejercicio realizado al resolver este proyecto, fue muy bien visto por el personal encargado del mantenimiento en la empresa y le han dado el visto bueno a aplicar y los resultados que puedan mejorar el actual plan de mantenimiento.

Además se va a continuar aplicando el RCM más de los límites de este proyecto y tocar el resto de sistemas de operación de la estación.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se obtuvieron los equipos críticos de los sistemas analizados usando el método aplicado por la empresa, dando importancia vital a los equipos de contingencia como criterio de criticidad.
- Se creó un desglose de las partes de los equipos críticos estudiados y todos los posibles eventos que pueden ocurrir para detener la producción, teniendo en cuenta la geografía, su tecnología, condiciones ambientales, experiencia y estadísticas aplicando RCM.
- Se identificaron los riesgos que pueden tener impacto sobre los posibles eventos que puedan ocurrir sobre los equipos y de que forma se pueden mitigar por medio de la metodología RCM.
- Inicialmente el primer estudio RCM se basó en la experiencia y buenos resultados que había presentado Ecopetrol, pero en muchas ocasiones no aplicaba a nuestros equipos, porque son equipos de última generación y no se tenía trazabilidad de los mismos, en el proyecto final de RCM, presentamos resultados basándonos en análisis estadísticos y la experiencia del personal en campo que conformaron el equipo de trabajo de RCM.
- Se obtuvieron las tareas de mantenimiento para los críticos equipos del sistema de bombeo principal y sistema contra incendios, en donde se fusionaron tareas de mantenimiento de varios equipos aumentando la disponibilidad de las unidades y se logró aumentar los tiempos entre mantenimientos.
- Se crea mayor aprovechamiento de los recursos, en algunos casos se aumenta el tiempo entre mantenimientos y se crean hojas de rutas más acertadas para los equipos.

- Nos dio la confianza de realizar trabajos interdisciplinarios y a la vez eliminamos paradigmas de trabajo creados entre mantenimiento y operaciones, presentando diferentes puntos de vista pero en busca de un objetivo común.
- Realizar este tipo de actividades constantemente en la empresa para obtener mejoras en las actividades de mantenimiento y una participación activa de personal.
- Aumentar las actividades de capacitación sobre el personal para obtener un nivel profundo de conocimiento sobre los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

CÁCERES, María Beatriz. Como Incrementar la Competitividad del Negocio Mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento. Soluciones integrales Corporativas ICS GROUP S.A; Citado por ROMERO, Claudia; ARIAS, Álvaro; SARMIENTO, Leonardo. Estrategia de Mantenimiento Basada en RCM para un Gasoducto de Transporte Tramo Otero Santana, UIS, Trabajo de grado, 2012.

CUELLAR, John; BELTRAN, Fabio; MORENO VALDERRAMA, Sonia; Modelo para el proceso de mejoramiento de planes de mantenimiento basado en la metodología RCM para equipos críticos de facilidades de superficie en campos petroleros en tierra firme, UIS, Trabajo de grado, 2009.

GONZALEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento.

IEC 61508, Seguridad funcional de sistemas electrónicos programables relacionados con la seguridad, 2004.

IEC 61511, Seguridad funcional: Sistemas instrumentados de seguridad para el sector de las industrias de procesos, 2004.

Toshiba, IF08CZ00 T300MVi Instruction Manual 2009-26-2007 español

ISO 14224. Industrias de Petróleo y Gas Natural – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Industrial Press Inc. Segunda Edición.

ODL, Libro de RCM ODL, 2012

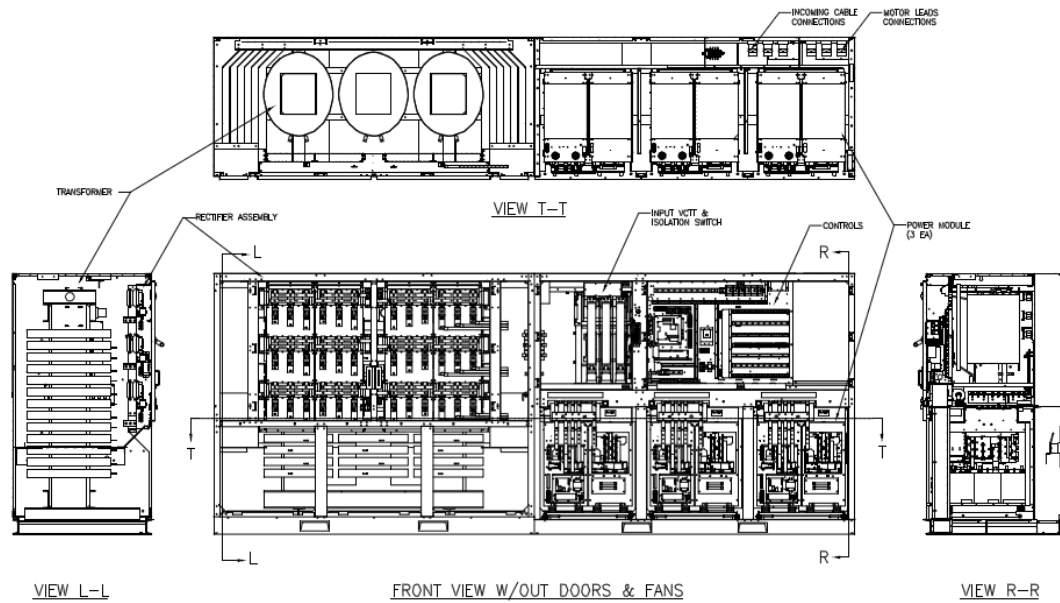
ODL, Manual de Operaciones Corocora, 2012.

ODL, Análisis de criticidad, 2012

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.

## ANEXO A. ANÁLISIS RCM

Figura A1. Variador de frecuencia



Fuente: IF08CZ00 T300MVi Instruction Manual 2009-26-2007 español

Tabla A1. Subdivisión de equipo variador

Subdivisión de la unidad de equipo			
Subunidad	Variador	Control y monitoreo	Sistema de refrigeración
Partes mantenibles	Rectificador	Sistema de control	Aire acondicionado
	Celdas inversoras	Sensor de temperatura	

Fuente: Los Autores

Tabla A2. Datos específicos del equipo Variador

<b>Datos específicos de la unidad de equipo</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Lista de unidades o código</b>
Unidad accionada	identificación	Variador de frecuencia
Aplicación del accionador	Tipo de unidad accionada	Motor unidad principal
Potencia nominal	Máxima capacidad de salida	6000 HP
Potencia de operación	Consumo de potencia	Entre 4080 y 5640 HP
Frecuencia nominal	Frecuencia de diseño	0 - 75 Hz
Frecuencia de operación	Frecuencia de operación	40 - 58 Hz
Voltaje	Voltaje nominal	0 - 4160 V
Temperatura	Temperatura de trabajo	Entre 73° y 90° F

Fuente: Los Autores

Tabla A3. Modos de falla Variador

<b>Modos de falla</b>		
<b>Unidad de equipo</b>	<b>Definición</b>	<b>Descripción</b>
Variador de frecuencia	1. No tiene salida	No da paso de corriente al motor
	2. Sobrecalentamiento	Alta temperatura en el equipo
	3. No regula frecuencia	No se puede controlar la frecuencia
	4. No sincroniza	No genera onda senoidal
	5. No energiza	No se energiza el equipo
	6. No rectifica	No transforma corriente alterna en directa
	7. Lectura anormal del instrumento	Falsas alarmas o lecturas erróneas

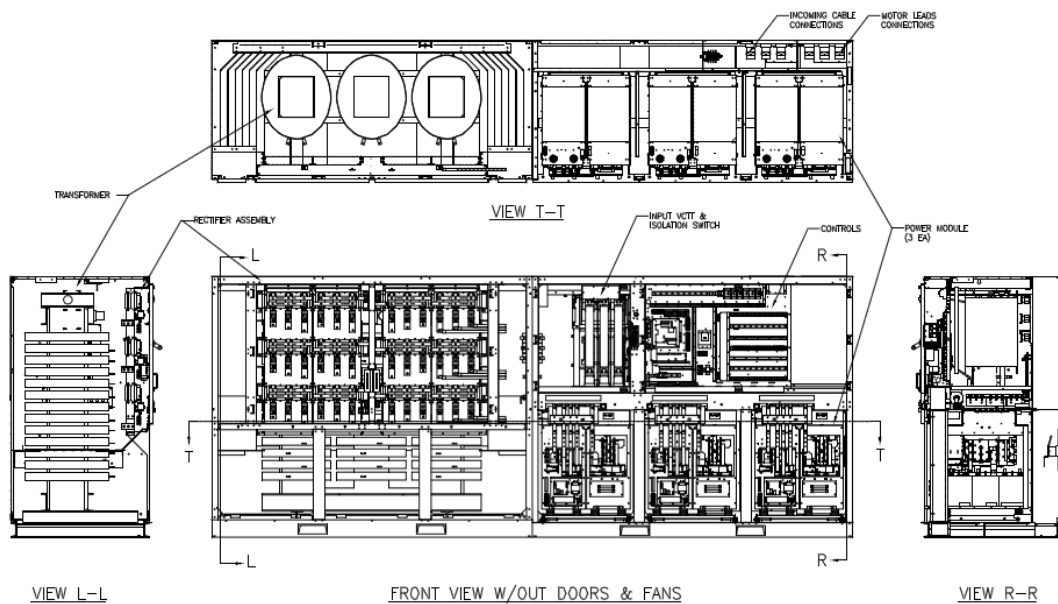
Fuente: Los Autores

Tabla A4. Consecuencias y decisiones de mantenimiento Variador

Modo de falla	Consecuencias y probabilidad de ocurrencia					Riesgo seg. Matriz	Tipo de manto. Recomendado
	Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Operación		
1.		2D				Moderado	A falla
2.		2C				Moderado	PV
3.		2C				Moderado	A falla
4.		2C				Moderado	A falla
5.		1E				Baja	A falla
6.		2D				Moderado	A falla
7.		1B				Baja	PV

Fuente: Los Autores

Figura A2. Transformador seco



Fuente: IF08CZ00 T300MVi Instruction Manual 2009-26-2007 español

Tabla A5. Subdivisión de equipo Transformador seco

Subdivisión de la unidad de equipo		
Subunidad	Transformador	Sistema de refrigeración
Partes mantenibles	Transformador seco	Aire acondicionado

Fuente: Los Autores

Tabla A6. Datos específicos del equipo Transformador seco

Datos específicos de la unidad de equipo		
Nombre	Descripción	Lista de unidades o código
Unidad accionada	identificación	Transformador variador
Aplicación del accionador	Tipo de unidad accionada	Rectificador
Potencia nominal	Máxima capacidad de salida	6000 HP
Potencia de operación	Consumo de potencia	Entre 4080 y 5640 HP
Frecuencia nominal	Frecuencia de diseño	60 Hz
Frecuencia de operación	Frecuencia de operación	60 Hz
Voltaje	Voltaje nominal	0 - 4160 V
Temperatura	Temperatura de trabajo	Entre 73° y 90° F

Fuente: Los Autores

Tabla A7. Modos de falla Transformador seco

Modos de falla		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
Transformador seco de variador de frecuencia	1. No tiene salida	No hay salida hacia el rectificador
	2. Sobrecalentamiento	Alta temperatura de equipo
	3. No energiza	No energiza el equipo

Fuente: Los Autores

Tabla A8. Consecuencias y decisiones de mantenimiento Transformador seco

Modo de falla	Consecuencias y probabilidad de ocurrencia					Riesgo seg. Matriz	Tipo de manto. Recomendado
	Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Operación		
1.		2D				Moderado	A falla
2.		2C				Moderado	PV
3.		1E				Baja	A falla

Fuente: Los Autores

Figura A3. Motor Jockey



Fuente: Los autores

Tabla A9. Subdivisión de equipo Motor Jockey

Subdivisión de la unidad de equipo		
Subunidad	Motor eléctrico	Sistema de refrigeración
Partes mantenibles	Estator	Ventilador extractor de aire
	Rotor	
	Acople	
	Rodamientos	

Fuente: Los Autores

Tabla A10. Datos específicos del equipo Motor Jockey

Datos específicos de la unidad de equipo		
Nombre	Descripción	Lista de unidades o código
Unidad accionada	identificación	Motor Jockey
Aplicación del accionador	Tipo de unidad accionada	Bomba Jockey
Potencia nominal	Máxima capacidad de salida	5//7.5 HP
Potencia de operación	Consumo de potencia	4.5 HP
Velocidad	Velocidad nominal	2850//3450 RPM
Voltaje	Voltaje nominal	190/380//230/460 V
Tipo de motor	Tipo	Motor de inducción
Rodamientos	Tipo	Antifricción DE 6307, ODE 6206
Clase de seguridad	Tipo	Clase F
Temperatura	Temperatura de trabajo	Entre 24° y 38° C

Fuente: Los Autores

Tabla A11. Modos de falla Motor Jockey

Modos de falla		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
Motor eléctrico Jockey	1. Rotor bloqueado	Rotor atascado
	2. Potencia baja o nula	No llega suficiente energía
	3. Excesivo consumo de corriente	Mucha consumo de corriente por parte del motor
	4. Vibración	Vibración excesiva
	5. Ruido	Ruido excesivo
	6. Sobrecalentamiento	temperatura excesiva
	7. No arranca en el momento de encender	Incapaz de arrancar
	8. No se detiene en el momento de apagar	Incapaz de detener

Fuente: Los Autores

Tabla A12. Consecuencias y decisiones de mantenimiento Motor Jockey

Modo de falla	Consecuencias y probabilidad de ocurrencia					Riesgo seg. Matriz	Tipo de manto. Recomendado
	Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Operación		
1.	1E					Bajo	PV
2.	1B					Bajo	A falla
3.	3A					Moderado	PD por aislamiento, resto a falla
4.	1A					Bajo	PV
5.					1A	Bajo	A falla
6.					1A	Bajo	PV
7.					1A	Bajo	PV
8.					1A	Bajo	PV

Fuente: Los Autores