

IMPACTO EN LOS INDICADORES CMD DE LAS BOMBAS PRINCIPALES DE LA  
ESTACIÓN EBR, POR CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS  
DEL CRUDO TRANSPORTADO POR EL OLEODUCTO

ÓSCAR FERNANDO MOTATO TORO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2016

IMPACTO EN LOS INDICADORES CMD DE LAS BOMBAS PRINCIPALES DE LA  
ESTACIÓN EBR, POR CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS  
DEL CRUDO TRANSPORTADO POR EL OLEODUCTO

ÓSCAR FERNANDO MOTATO TORO

Trabajo de Grado Presentado para Optar por el Título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

CARLOS IGNACIO ACERO CABALLERO

M.Sc. Computer Vision and Robotics

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2016

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado y el consecuente título de Especialista, está especialmente dedicado a mi núcleo familiar básico, quienes con gran esfuerzo hicieron posible mi pregrado, y quienes hoy comprenden y me perdonan mis ausencias.

*“Anoche soñé que podía, hoy puedo”. F. Cabral.*

**Óscar**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Carlos Ignacio Acero Caballero por dirigir el presente trabajo de grado, y poner a mi disposición su amistad y experiencia, de una forma desinteresada.

Al Oleoducto de los Llanos Orientales, a la gerencia de operaciones y el departamento de mantenimiento, por permitirme llevar a cabo esta propuesta de trabajo de grado.

A todo el personal de la Estación de Bombeo Rubiales, por poner a mi disposición toda la información requerida y facilitar el desarrollo de este trabajo.

A los ingenieros Édgar Espinosa Marca y Jairo Villamizar Rodríguez, por su amistad sincera, apoyo incondicional y por sus aportes a este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	18
1 MARCO REFERENCIAL .....	20
1.1 OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES S.A. ....	20
1.2 SISTEMA DE TRANSPORTE ODL .....	21
1.2.1 Estación de Bombeo Rubiales – EBR.....	23
1.2.2 Subsistema de Despacho de Estación de Bombeo Rubiales – EBR .....	25
1.3 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN ODL .....	26
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	28
1.5 OBJETIVOS .....	29
1.5.1 Objetivo General .....	29
1.5.2 Objetivos Específicos.....	29
2 MARCO CONCEPTUAL.....	30
2.1 CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO.....	30
2.2 INDICADOR DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD .	32
2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	35
2.4 TAXONOMÍA Y FRONTERAS .....	37
2.4.1 Taxonomía.....	37
2.4.2 Determinación de Fronteras.....	37
3 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS .....	40
3.1 UNIDAD PRINCIPAL EBR .....	40
3.2 TAXONOMÍA UNIDAD PRINCIPAL EBR .....	40

3.3 CÁLCULO DE CRITICIDAD .....	46
3.3.1 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3410 .....	47
3.3.2 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3420 .....	48
3.3.3 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3430 .....	49
3.3.4 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3440 .....	52
3.3.5 Análisis de Resultados.....	54
4 CÁLCULO INDICADORES CMD .....	57
4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS AÑOS 2013 Y 2014 .	57
4.1.1 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2013 .....	59
4.1.2 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2013 .....	59
4.1.3 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2013 .....	59
4.1.4 Recopilación de Información Correctivos BPC-3440 – Año 2014 .....	63
4.1.5 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2014 .....	63
4.1.6 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2014 .....	63
4.1.7 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2014 .....	63
4.1.8 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2014 .....	63
4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS AÑO 2015 .....	70
4.2.1 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2015 .....	70
4.2.2 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2015 .....	70
4.2.3 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2015 .....	73
4.2.4 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2015 .....	73
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS.....	76
4.4 CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD.....	77
4.4.1 Disponibilidad Inherente años 2013 y 2014 .....	78
4.4.2 Disponibilidad Inherente año 2015.....	78
4.4.3 Análisis Resultados de Disponibilidad Años 2013 a 2015 .....	80
5 CONCLUSIONES.....	82

BIBLIOGRAFÍA.....84

ANEXOS.....86

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1: Composición accionaria de ODL S.A.....	21
Figura 2: Sistema de Transporte ODL .....	22
Figura 3: Diagrama de Descripción del Proceso en EBR .....	24
Figura 4: Categorías de Mantenimiento según ISO-14224.....	31
Figura 5: Factores para determinar la criticidad de equipos .....	36
Figura 6: Matriz de Criticidad .....	36
Figura 7: Taxonomía para la clasificación de equipos .....	38
Figura 8: Definición de fronteras en equipo bomba .....	39
Figura 9: Disposición equipos de la unidad principal .....	41
Figura 10: Taxonomía de unidades principales en SAP .....	42
Figura 11: Definición de frontera bomba principal fase II.....	42
Figura 12: Tabla modelo de disponibilidad ODL años 2013-2014 .....	57
Figura 13: Comportamiento indicadores disponibilidad años 2013 a 2015.....	81

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1: Clasificación de unidad principal fase II en sistema SAP .....	44
Tabla 2: Clasificación de componentes unidad principal fase II en sistema SAP ..	44
Tabla 3: Pareto de criticidad de componentes BPC-3410 .....	47
Tabla 4: Pareto de criticidad de componentes BPC-3420 .....	49
Tabla 5: Pareto de criticidad de componentes BPC-3430 .....	50
Tabla 6: Pareto de criticidad de componentes BPC-3440 .....	52
Tabla 7: Componentes críticos de las unidades de bombeo .....	54
Tabla 8: Avisos SAP correctivos componentes críticos .....	55
Tabla 9: Errores de asignación de órdenes correctivas .....	56
Tabla 10: Opciones para cargue de tiempos de operación y mantenimiento .....	58
Tabla 11: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3410 en año 2013 .....	60
Tabla 12: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3420 en año 2013 .....	61
Tabla 13: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3430 en año 2013 .....	62
Tabla 14: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3440 en año 2013 .....	64
Tabla 15: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3410 en año 2014 .....	66
Tabla 16: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3420 en año 2014 .....	67
Tabla 17: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3430 en año 2014 .....	68
Tabla 18: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3440 en año 2014 .....	69
Tabla 19: Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3410 en año 2015 .....	71
Tabla 20: Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3420 en año 2015 .....	72
Tabla 21: Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3430 en año 2015 .....	74

Tabla 22: Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3440 en año 2015 .....75

Tabla 23: Ejemplo de error de asignación en modelo de disponibilidad .....76

Tabla 24: Cálculo disponibilidad inherente años 2013 y 2014 .....79

Tabla 25: Cálculo disponibilidad inherente año 2015 elementos independientes..79

Tabla 26: Cálculo disponibilidad inherente años 2015 un solo equipo.....79

Tabla 27: Resultados disponibilidad inherente años 2013 a 2015 .....80

## LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1: Propiedades químicas crudos EBR.....	23
Cuadro 2: Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3410.....	48
Cuadro 3: Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3420.....	50
Cuadro 4: Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3430.....	51
Cuadro 5: Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3440.....	53

## LISTADO DE ANEXOS

	pág.
<b>ANEXO A.</b> Plano P&ID de bomba principal BPC-3440. ....	86
<b>ANEXO B.</b> Matriz de criticidad corporativa de ODL.....	86

## GLOSARIO

**API:** American Petroleum Institute. Unidad de Medida Calidad de Crudo.

**BPCS:** Basic Process Control System. Sistema de Control de Procesos.

**CMD:** Indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

**EBR:** Estación de Bombeo Rubiales del Oleoducto de los Llanos Orientales.

**FCV:** Flow Control Valve. Válvula de Control de Flujo.

**FIT:** Flow Indicator Transmitter. Transmisor Indicador de Flujo.

**MOV:** Válvula Motorizada.

**ODL:** Oleoducto de los Llanos Orientales.

**P&ID:** Pipe and Instrumentation Diagram. Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

**PCV:** Pressure Control Valve. Válvula de Control de Presión.

**PI:** Pressure Indicator. Indicador de Presión. Manómetro.

**PIT:** Pressure Indicator Transmitter. Transmisor Indicador de Presión.

**PSI:** Pound per Square Inch. Libras por Pulgada Cuadrada.

**RAM:** Indicadores de Realiability, Avaiiability and Mainteniability.

**RCA:** Root Cause Analisys (Análisis de Causa Raíz).

**SIS:** Safety Instrumented System. Sistema Instrumentado de Seguridad.

**TIT:** Temperature Indicator Transmitter. Transmisor Indicador de Temperatura.

## RESUMEN

**TÍTULO:** IMPACTO EN LOS INDICADORES CMD DE LAS BOMBAS PRINCIPALES DE LA ESTACIÓN EBR, POR CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL CRUDO TRANSPORTADO POR EL OLEODUCTO.\*

**AUTOR:** ÓSCAR FERNANDO MOTATO TORO†.

**PALABRAS CLAVES:** INDICADORES CMD, CONTEXTO OPERACIONAL, TASAS DE FALLAS, CRITICIDAD, COMPONENTES, DISPONIBILIDAD INHERENTE.

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** El dinamismo del precio del crudo a nivel internacional y su impacto en las finanzas de productores, transportadores y transformadores del producto ha inspirado variedad de soluciones en la industria para la reducción de costos. Estrategias como sinergias entre empresas, fusiones, reducción de costos operativos, optimización de materias primas, entre otros, han hecho parte de la caja de herramientas utilizadas por las distintas organizaciones con el propósito de mantenerse vigentes en un escenario de bajos precios. En Colombia este efecto no ha sido ajeno y una de las soluciones implementadas por productores de crudo pesado que hacen uso de la red de transporte del Oleoducto de los Llanos Orientales S.A, ha sido el cambio del valor API de 18°API a 15°API en la mezcla transportada por Oleoducto, logrando disminuir el uso de diluyentes y por lo tanto disminuir el costo por barril transportado.

Con el fin de determinar el impacto del cambio de este contexto operacional en la gestión de mantenimiento de los equipos críticos de la Estación de Bombeo Rubiales, se presenta en este trabajo un estudio que permite identificar el comportamiento de los indicadores CMD de las bombas principales, tomando como referencia los datos históricos de operación, mantenimiento, tasas de fallas, de los equipos críticos de la estación, operando a 18°API y a 15.1°API.

Para lograr el resultado esperado, se realiza una descripción general del sistema de despacho, se muestra la taxonomía de las bombas principales como está definida en el sistema de gestión SAP, y a partir de datos históricos de operación, mantenimiento del año 2015 se realiza una clasificación de componentes por grado de criticidad. Finalmente, se verifica el comportamiento de los indicadores CMD de las bombas principales durante los años 2013 y 2014 frente al 2015, tomando como directriz el cálculo de la disponibilidad inherente.

---

\* Monografía.

† Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director: Carlos Ignacio Acero Caballero, M.Sc. Computer Vision and Robotics.

## SUMMARY

**TITLE:** IMPACT ON RAM INDICATORS OF MAIN PUMPS FROM RUBIALES PUMP STATION, BY CHANGES IN PROPERTIES PHYSICALS CHEMICALS OF OIL CARRIED ACROSS OF PIPELINE.‡

**AUTHOR:** ÓSCAR FERNANDO MOTATO TORO§.

**KEYWORDS:** RAM INDICATORS, OPERATIONAL CONTEXT, FAILURE RATES, CRITICALITY, COMPONENTS, INHERENT AVAILABILITY.

**DESCRIPTION OR CONTENTS:** The dynamism in oil prices at the international environment and its impact on the finances of producers, transporters and processors of the product has inspired variety of solutions in the industry for cost reduction. Strategies such as synergies between companies, mergers, reducing operating costs, optimization of materials, among others, have become part of the toolbox used by organizations in order to remain relevant in a scenario of low prices. In Colombia this effect has not been alien and one of the solutions implemented by producers of heavy crude that make use of the transport network of Oleoducto Llanos Orientales S.A, has been changing the API value of 18°API to 15°API in the blend oil transported by pipeline, reducing the use of diluents and thus the barrel transported costs.

In order to determine the impact of change of the operational context in managing maintenance of critical equipment of the Rubiales Pumping Station, it is presented in this paper a study that identifies the behavior of RAM indicators of the main pumps, reference to the historical data operation, maintenance and failure rates, critical equipment of the station, operating at 18°API and 15.1°API.

To achieve the expected result, an overview of the dispatch system is done, the taxonomy of the main pumps is shown as defined in the management system SAP, and from historical data operation and maintenance of 2015 a classification is made of components by degree of criticality. Finally, the behavior of indicators RAM the main pumps is checked during the years 2013, 2014 and 2015, using as guideline calculating the inherent availability.

---

‡ Monograph.

§ School of Engineering Physics and Mechanics. Specialization in Maintenance Management. Director: Carlos Ignacio Acero Caballero, M.Sc. Computer Vision and Robotics.

## INTRODUCCIÓN

Los principales remitentes del Oleoducto de los Llanos Orientales son las empresas Ecopetrol S.A y Pacific Exploration and Production, los cuales producen crudos pesados de 13°API en campo Rubiales. Para su transporte por el Oleoducto este crudo se debe diluir, por lo que los remitentes transportan nafta desde puerto o refinería hasta Campo Rubiales. De esta manera, entre mayor sea el grado API a transportar, mayor diluyente será requerido.

Por el dinamismo del precio del crudo a nivel internacional y su impacto en las finanzas de productores, transportadores y transformadores del producto, los remitentes del Oleoducto de los Llanos Orientales han bajado progresivamente el valor API de la mezcla transportada por el de 18°API hasta llegar a la condición actual de 15.1°API, lo que ha redundado en una disminución del consumo de diluyente y sus gastos de transporte hasta campo, y por lo tanto disminución en el costo de barril transportado, contribuyendo de esta manera a la sostenibilidad del negocio.

Muchos de los cambios en esquemas operativos se definen sin la realización previa de talleres de riesgo operativo y de mantenimiento, por lo que es posible que en un nuevo contexto operacional aparezcan fallas que no estaban contempladas en estudios previos de modos de fallas o análisis de causa raíz, y cuyas apariciones pueden llegar a comprometer las obligaciones de producción, incrementar los costos de mantenimiento, y degradar la vida útil de los equipos, entre otras implicaciones.

Con el fin de determinar el impacto del cambio de contexto operacional en la gestión de mantenimiento de los equipos críticos de la estación, se desarrollan en este trabajo metodologías para la clasificación por análisis de criticidad de los ítems

mantenibles de las bombas principales, de acuerdo a la taxonomía definida en el sistema de gestión SAP, y se realizan los cálculos de indicadores CMD definiendo como parámetro de medida la disponibilidad inherente a partir de los datos históricos de operación, mantenimiento y tasas de fallas de los equipos críticos, operando a 18°API y a 15.1°API.

Con los resultados finales se pretende tener una base fundamentada en datos reales, acerca de las condiciones actuales de los equipos. También se espera que este resultado sirva como insumo para una posible fase posterior de estudio de optimización del plan actual de mantenimiento de equipos.

## 1 MARCO REFERENCIAL

### 1.1 OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES S.A.

Oleoducto de los Llanos Orientales S. A. (ODL S.A.) fue constituida en el año 2007 entre Ecopetrol S. A. y Petro Rubiales Corp. a través de la compañía ODL Finance S.A. radicada en Panamá. Un año después, esta nueva compañía creó la empresa Oleoducto de los Llanos Orientales S. A. (sucursal Colombia).

Ecopetrol, por su parte, constituyó en 2012 a la empresa CENIT S. A. Transporte y Logística de Hidrocarburos, encargada de la ampliación y fortalecimiento de la red de transporte de hidrocarburos del país, y en consecuencia cedió sus intereses en ODL Finance. En 2013 Petro Rubiales Corp. cambió su razón social a Pacific Midstream Holding Corp., y en 2014 ODL S. A. se fusionó por absorción con ODL Finance quedando únicamente ODL S. A. como sociedad.<sup>1</sup>

Como se muestra en la figura 1, la composición accionaria de ODL S.A., está dividida en 65% de participación de Cenit y un 35% de participación de Pacific Midstream.

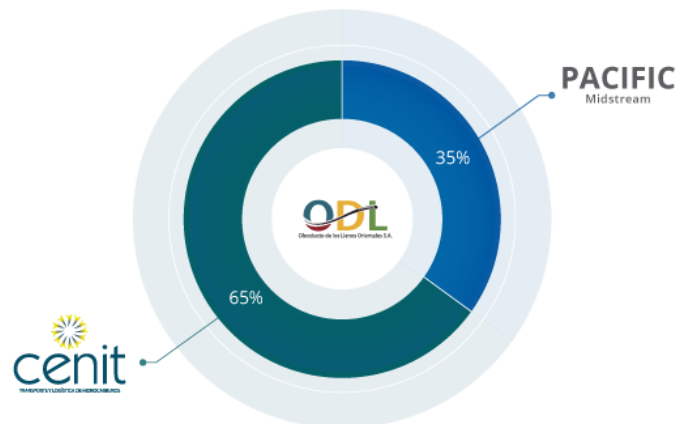
En cumplimiento de su objeto social, ODL es una empresa que identifica y desarrolla soluciones integrales en logística; opera y mantiene sistemas de transporte de hidrocarburos, con el uso de tecnologías apropiadas y con responsabilidad socio ambiental, para generar valor a sus grupos de interés, y se proyecta en 2020 a ser la solución integradora para la evacuación de hidrocarburos desde los Llanos Orientales, sostenible en el tiempo, producto de la aplicación de las prácticas líderes

---

<sup>1</sup> ODL. Quiénes Somos. [Consultada en octubre de 2016]. Disponible en: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/quienes-somos-2.html>

operacionales, la incorporación de tecnología, el conocimiento del entorno y el reconocimiento de sus grupos de interés.<sup>2</sup>

Figura 1. Composición accionaria de ODL S.A.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/quienes-somos-2.html>

## 1.2 SISTEMA DE TRANSPORTE ODL

El sistema de transporte del ODL que se describe a continuación, se muestra en la figura 2.

El Oleoducto de los Llanos Orientales S.A., (ODL) es un sistema de transporte de crudo pesado diluido, constituido por una línea de 24 pulgadas de diámetro y 234 kilómetros de longitud que inicia en la Estación de Bombeo Rubiales, en el departamento del Meta, y finaliza en la estación de recibo Monterrey, en el departamento del Casanare. Este tramo se conoce como el Oleoducto Rubiales Monterrey (ORM).

---

<sup>2</sup> ODL. Quiénes Somos. [Consultada en octubre de 2016]. Disponible en: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/quienes-somos-2.html>

Figura 2. Sistema de Transporte ODL.



Fuente: <https://www.odl.com.co/odl/index.php/quienes-somos-2.html>

En el kilómetro 198 del ORM se cuenta con una derivación de 24 pulgadas de diámetro y 25 kilómetros de longitud, que inicia en la válvula de seccionamiento del sector conocido como El Viento y finaliza en la Estación de Recibo Cusiana (ERC), ubicada dentro del área operativa de OCENSA en el CPF de Cusiana, ambas en el departamento de Casanare. Este tramo se conoce como el Oleoducto el Viento Cusiana (OVC).

En los kilómetros 79 y 174 del ORM se cuenta con dos estaciones de refuerzo conocidas como ER1 – Corocora y ER2 – Jagüey, respectivamente, que permiten alcanzar la capacidad máxima probada del Oleoducto de 340.000 bpd para un crudo mezcla de 18°API.

**1.2.1 Estación de Bombeo Rubiales – EBR.** La Estación de Bombeo Rubiales (EBR) sirve como una estación de recibo de crudo pesado de las facilidades de producción del campo Rubiales, el cual se mezcla con producto diluyente para facilitar su despacho a las estaciones de recibo en Monterrey y en Cusiana.

En EBR se recibe crudo de 12°API a 14°API proveniente de las instalaciones de CPF1 - CPF2 y QUIFA - BATERIA 4, y se cuenta con un descargadero de 15 bahías para el recibo por carrotanques de diluyentes de 42 API a 85 API. El crudo pesado se mezcla en línea con el diluyente para obtener un crudo diluido que pueda ser transportado por el Oleoducto, y cumpla con las especificaciones de calidad definidas en el manual del transportador del ODL. Las propiedades químicas de los crudos pesados y diluyentes recibidos en la EBR, y el crudo mezcla obtenido, se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1: Propiedades químicas crudos EBR

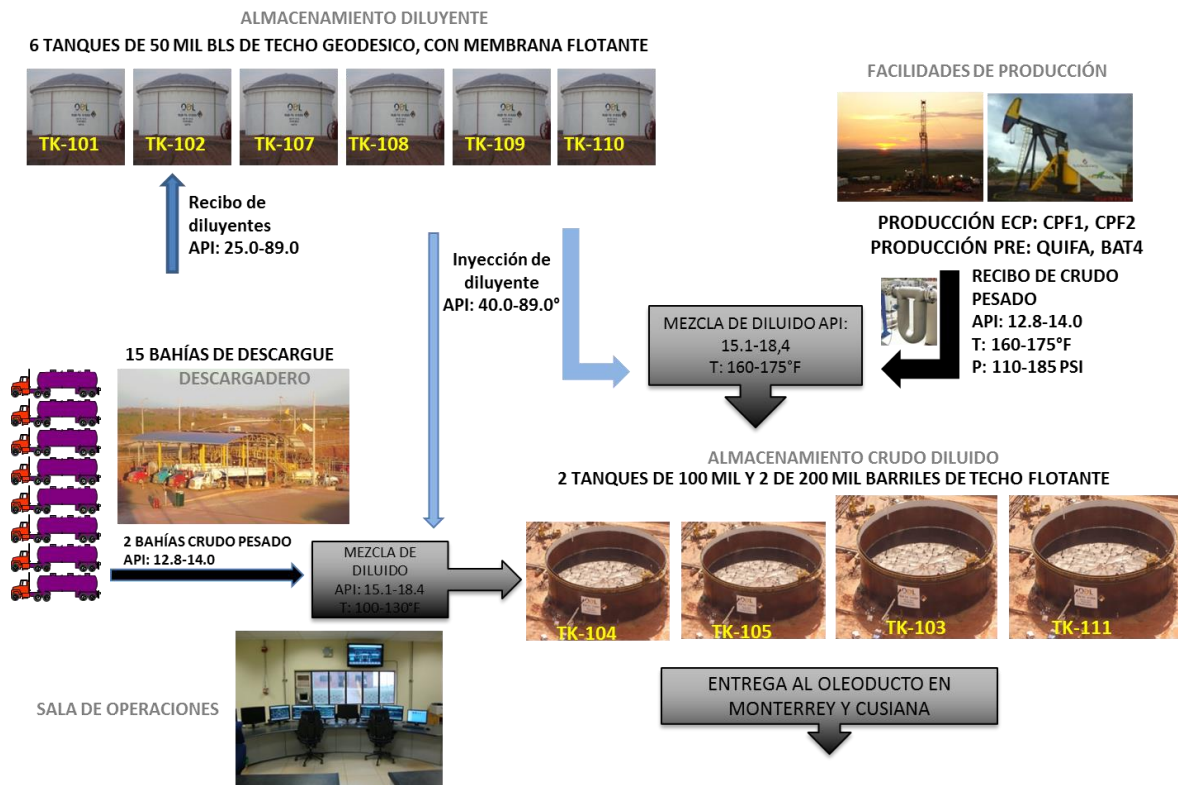
<b>Propiedad</b>	<b>Crudo Pesado</b>		<b>Diluyente</b>	<b>Diluido</b>
	<b>CPF1- CPF2</b>	<b>Quifa- Batería 4</b>		
Gravedad API @ 60° F	13,1	13,9	78,0	15,1
S.G @ 60°F	0,9786	0,9732	0,6754	0,9652
Azufre, wt%	1,19	1,18	--	1,16
Viscosidad Cinemática @ 86°F, cSt	4250	2103	0,49	1190
Contenido de Sales, lb/1000 BBL	5,2	4,9	--	3,8

Fuente: ODL. Manual de Operación Estación de Bombeo Rubiales. TPO-M-001

Para el almacenamiento del diluyente se cuenta con una capacidad de 300.000 barriles, distribuidos en 6 tanques de techo geodésico de 50.000 barriles cada uno. El crudo diluido se almacena en tanques de techo flotante con capacidad de inventario de 600.000 barriles, distribuidos en 2 tanques de 100.000 barriles cada uno y 2 tanques de 200.000 barriles cada uno.

El proceso el proceso descrito anteriormente, se presenta de forma gráfica en la figura 3.

Figura 3. Diagrama de Descripción del Proceso en EBR.



El crudo dentro de especificaciones que es despachado por el ODL se entrega en custodia a las estaciones ERM y ERC, para su posterior transferencia al sistema de transporte de OCENSA hasta la terminal Coveñas.

Inicialmente en la estación EBR se transportaba un crudo mezcla con una calidad de 18°API y viscosidad de 300 cSt a 30°C. Sin embargo, por las condiciones actuales del mercado, se está transportado un crudo mezcla con calidad de 15.1°API y una viscosidad de 1190 cSt a 30°C, tal como se detalló en el cuadro 1.

El control y monitoreo de la estación EBR y el Oleoducto, se realiza en el cuarto de control de la estación EBR, desde el cual se coordinan las condiciones operativas de bombeo y atención de emergencias.

**1.2.2 Subsistema de Despacho de Estación de Bombeo Rubiales – EBR.** El sistema de bombeo inicia desde los tanques del almacenamiento de crudo diluido los cuales se encuentran conectados a 6 bombas booster, 2 de ellas con capacidad de 60 KBPD cada una, y las 4 restantes con capacidad de 84 KBPD cada una. Estas bombas son de tipo centrífuga vertical configuradas en paralelo, que entregan una presión de descarga de 220 psi. En el cabezal de descarga de las bombas booster se encuentra la válvula de control de presión que opera con el fin de mantener una presión menor a 240 psi en dichos cabezales, recirculando crudo hacia el tanque que en el momento se encuentre despachando.

Luego se envía el crudo a 6 bombas principales, 2 de ellas con capacidad de 1750gpm (2386BPH) cada una, y las 4 restantes con capacidad de 2334gpm (3183 BPH) cada una. Estas bombas, de tipo centrífuga multietapas, están configuradas en paralelo y entregan una presión nominal de descarga de 1900 psi. Las dos bombas de menor capacidad se instalaron en una fase temprana de operación de

la estación y actualmente se encuentran en Stand By, ya que la operación normal se realiza con las 4 bombas de mayor capacidad.

En la descarga de cada una de las bombas principales se cuenta con válvulas de control de flujo que operan con el fin garantizar el flujo mínimo necesario para evitar que las bombas caviten, recirculando crudo hacia el tanque que en el momento se encuentren despachando.

Por último, si se requiere limpiar el oleoducto, la EBR cuenta con trampa de lanzamiento de raspadores en los tramos EBR –ERM. El tramo El Viento Cusiana, también cuenta con esta facilidad.

### **1.3 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN ODL**

Dentro del Sistema Integrado de Gestión del Oleoducto de los Llanos Orientales, la planeación y ejecución de los servicios de mantenimiento está clasificado como uno de los procesos de la cadena de valor de la compañía.

El propósito y proyección de este proceso está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar la confiabilidad operativa y ambiental de los equipos e infraestructura de Oleoducto de los Llanos Orientales, mediante la estandarización de criterios y parámetros técnicos, la planeación de mantenimiento de origen proactivo, el análisis estadístico predictivo del desempeño de equipos, el mejoramiento continuo y el soporte técnico especializado.

El proceso de Planeación y Ejecución de los Servicios de Mantenimiento, cuenta con los siguientes objetivos:

- Disminuir el costo de mantenimiento para cada uno de los sistemas operacionales.
- Garantizar en cada uno de los equipos la disponibilidad para cumplir con la confiabilidad requerido en los compromisos de transporte de la organización.
- Garantizar que cada uno de los procedimientos técnicos de mantenimiento contenga las normas de seguridad de ODL.
- Generar planes de mantenimiento proactivo adecuadamente estructurados y presupuestados.
- Realizar análisis de falla para evaluar desviaciones negativas del comportamiento de los equipos y sistemas operacionales, y clasificar de acuerdo con su comportamiento para generar recomendaciones.
- Inicia con el análisis de la condición y de los eventos de falla de la orden de trabajo y el manejo estadístico de resultados, y termina con la entrega de recomendaciones para ajustar pronósticos de mantenimiento proactivo, predictivo y órdenes de trabajo para realizar actividades mejorativas. Adicionalmente debe generar recomendaciones para actualizar y ajustar planes de mantenimiento, así como informe de análisis y la condición de falla.
- El estudio técnico sugiere de acuerdo a la condición de confiabilidad, la asignación de la fecha requerida para la ejecución del trabajo, determina y actualiza la información de confiabilidad y mantenibilidad, y calcula la relación costo / beneficio de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo, estableciendo la necesidad de ajustar las diferentes actividades de mantenimiento.

El proceso comprende la parametrización y caracterización de equipos y subequipos, la planeación del mantenimiento preventivo, el análisis estadístico y la condición de falla de los equipos de la infraestructura operativa y los estudios técnicos requeridos por la función de mantenimiento.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> ODL. Manual de Gestión SAP.

## 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El dinamismo del precio del crudo a nivel internacional y su impacto en las finanzas de productores, transportadores y transformadores del producto ha inspirado variedad de soluciones en la industria para la reducción de costos. Estrategias como sinergias entre empresas, fusiones, reducción de costos operativos, optimización de materias primas, entre otros, han hecho parte de la caja de herramientas utilizadas por las distintas organizaciones con el propósito de mantenerse vigentes en un escenario de bajos precios.

En Colombia este efecto no ha sido ajeno y una de las soluciones implementadas por productores de crudo pesado que hacen uso de la red de transporte del Oleoducto de los Llanos Orientales S.A, ha sido el cambio desde el año 2015 del valor API de 18°API a 15.1°API en la mezcla transportada por Oleoducto, logrando disminuir el uso de diluyentes y por lo tanto disminuir el costo por barril transportado, contribuyendo de esta manera a la sostenibilidad del negocio. Sin embargo, este cambio en el esquema operativo se definió sin la realización previa de talleres de riesgo operativo y de mantenimiento.

Por esta razón es preciso determinar, a partir de los indicadores CMD, el impacto del cambio de contexto operacional en la gestión de mantenimiento de los equipos críticos de la estación, desarrollando metodologías para la clasificación por análisis de criticidad de los ítems mantenibles de las bombas principales, de acuerdo a la taxonomía definida en el sistema de gestión SAP, y realizando los cálculos de la disponibilidad inherente a partir de los datos históricos de operación, mantenimiento y tasas de fallas de los equipos críticos, operando a 18°API y a 15.1°API.

Con los resultados finales se pretende tener una base fundamentada en datos reales, acerca de las condiciones actuales de los equipos. También se espera que

este resultado sirva como insumo para una posible fase posterior de estudio de optimización del plan actual de mantenimiento de equipos.

## **1.5 OBJETIVOS**

**1.5.1 Objetivo General.** Determinar el impacto en los indicadores CMD de las bombas principales de la estación EBR, por cambio de las propiedades físico-químicas del crudo transportado por el Oleoducto.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Implementar una metodología de captura y análisis de datos históricos de las principales variables de proceso y protección de las bombas principales de EBR, que permitan realizar cálculos de sus indicadores CMD por métodos puntuales o de distribución.
- Realizar una clasificación basado en tasa de fallas para los ítems mantenibles definidos en la taxonomía de las bombas principales, para el contexto operacional de 18 API y el contexto operacional de 15.1 API.
- Calcular los indicadores CMD de las bombas principales para el contexto operacional de 18 API y el contexto operacional de 15.1 API.

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO

La confiabilidad de los equipos es el resultado de las estrategias que se implementen para la realización de las actividades de mantenimiento. Ella busca evitar el deterioro, evitar los modos de falla y extender el tiempo medio entre fallas, lo que se traduce en beneficio para la organización. Para implementar las estrategias, es posible hacer uso de múltiples herramientas, filosofías y hasta normas vigentes, para seleccionar la que mejor se ajuste a la cultura de la organización.<sup>4</sup>

En la literatura se habla de muchos tipos de mantenimiento, pero para efectos de este trabajo se usará la definición formulada en la norma ISO-14224, en la que las categorías del mantenimiento son básicamente de dos tipos, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo<sup>5</sup>. En la figura 4 se muestra la categorización del mantenimiento según ISO-14224.

**Mantenimiento Correctivo:** Son todos los servicios de reparación ejecutados en los equipos con falla o defecto y que requieren una intervención generada por el mal funcionamiento, detención, daño visible o falla detectada por alguna tecnología.

**Mantenimiento Preventivo:** Son todos los servicios de inspecciones sistemáticas preestablecidas, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, a través de una programación definida en unidades calendario, horario, o en función de la condición operativa buscando evitar

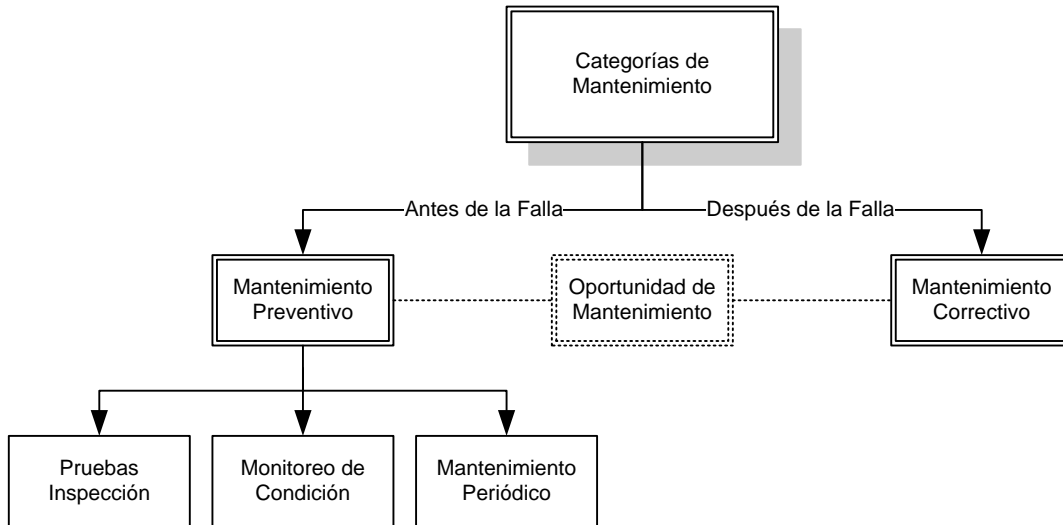
---

<sup>4</sup> SILVA ARDILA, Pedro Eliseo y ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Medellín, 2014. p. 51, 52

<sup>5</sup> ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. www.acp.com.co. p. 44

o predecir fallas. En este tipo de mantenimiento, cobra importancia los registros tanto históricos como presentes y aquellos obtenidos de los fabricantes o vendedores de los equipos.

Figura 4. Categorías de Mantenimiento según ISO-14224.



Fuente: ISO-14224 pag. 44

De acuerdo a la categorización del mantenimiento presentado en la figura 4, se pueden diferenciar tres tipos de mantenimiento preventivo:

**Pruebas de Inspección:** Es un mantenimiento no intrusivo basado en inspecciones usando los sentidos para detectar anomalías de forma visual, sonora, por cambios de temperaturas, por altas vibraciones, etc.

**Monitoreo de Condición:** Es un mantenimiento que tiene como objetivo predecir comportamientos y determinar el punto “exacto” de cambio o reparación antes de que se presente la falla. Los análisis más usados para monitoreo de condición son

monitoreo de vibración, ultrasonido, termografías, tribologías, o estimaciones hechas por evaluación estadística.

**Mantenimiento Periódico:** Es un mantenimiento basado en una frecuencia establecida de horas, ciclos o eventos. Generalmente es intrusivo, es decir, requiere detener o intervenir el equipo para hacerle el mantenimiento. En este mantenimiento generalmente se cambian o reparan componentes antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.<sup>6</sup>

## 2.2 INDICADORES DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad (CMD) son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y evaluación.<sup>7</sup>

Antes de definir formalmente los conceptos CMD y las expresiones matemáticas que las rigen, se presenta la formulación para el cálculo de las tasas medias entre fallas (MTBF) y tasas medias para reparar (MTTR). Dado que en este trabajo se toma como directriz el cálculo y análisis de la disponibilidad basada en tiempos correctivos, el MTTR es el tiempo activo neto de reparación sin ninguna demora y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación.

El MTBF para un solo elemento, se expresa como:

---

<sup>6</sup> SILVA ARDILA, Pedro Eliseo y ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Medellín, 2014. p. 54

<sup>7</sup> MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega Colombiana S.A, Bogotá D.C, 2009. p. 58

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{C_f}, \text{ donde}$$

To: Tiempo establecido para operar

Tnp: Tiempo de paradas no programadas

Cf: Cantidad de fallas detectadas

Si el análisis se realiza para un conjunto de elementos independientes, tales como los sub-equipos de un equipo principal, como es el caso de estudio de este trabajo, la expresión matemática del MTBF se convierte en:

$$MTBF = \frac{(T_o * n) - \sum T_{np}}{\sum C_f}$$

Siendo n, la cantidad de componentes analizados.

El MTTR, se expresa como:

$$MTTR = \frac{T_r}{C_r}, \text{ donde}$$

Tr: Tiempo utilizado para reparar

Cr: Cantidad de reparaciones realizadas

**Confiabilidad:** Uno de los medidores por excelencia para las actividades referentes a los activos, es la confiabilidad. La confiabilidad es definida como la probabilidad de que un activo opere sin falla durante su tiempo de misión y bajo condiciones previamente establecidas. Matemáticamente, la confiabilidad para tiempos de falla que sigan distribución exponencial, se expresa en su forma más simple, como:

$$R(t) = e^{-\lambda.t} = e^{-\frac{1}{MTTF}.t}, \text{ donde:}$$

T: Tiempo de la misión (horas, días, semanas, etc.)

$\lambda$ : Tasa de Falla

MTTF:  $1/\lambda$  = Tiempo promedio para fallar.

**Mantenibilidad:** Hace referencia a la probabilidad para devolver un equipo que ha entrado en falla, a una condición operativa en un periodo de tiempo. El tratamiento matemático se realiza con la ecuación:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu.t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}.t}, \text{ donde:}$$

T: Tiempo para de la falla (horas, días, semanas, etc.)

$\mu$ : Tasa de Reparación

MTTR: Tiempo promedio para reparar

**Disponibilidad:** Es el indicador que permite estimar el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. En su forma más simple, la disponibilidad puede definirse matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100\%, \text{ donde}$$

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio de reparaciones

Como se ha mencionado anteriormente, en este trabajo se realiza el análisis de la disponibilidad tomando como referencia las actividades de reparaciones inherentes al sistema, no exógenas. Por lo tanto, el tratamiento que se dará a este indicador será el de Disponibilidad Inherente<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega Colombiana S.A, Bogotá D.C, 2009. p. 80

### 2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad permite establecer la jerarquía o prioridades de proceso, activos en general, sistemas, equipos y componentes, creando una estructura que facilita la toma de decisiones con mayor asertividad y efectividad, haciendo que el esfuerzo y los recursos sean direccionados a las áreas donde sea más importante y/o necesario, basado en la realidad actual o futura, consiguiendo una mayor probabilidad de éxito.

Los criterios para realizar el análisis que se usarán para este trabajo están asociados con: Integridad, impacto en el medio ambiente, frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, y costos del mantenimiento. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera una calificación para cada elemento evaluado.

Desde el punto de vista matemático, la criticidad se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \text{Criticidad} &= \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \\ \text{Consecuencia} &= (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) \\ &+ \text{Mantenimiento} + \text{Impacto Seguridad y Medio Ambiente} \end{aligned}$$

Los factores para determinar la criticidad de equipos, se presentan en la figura 5.

Partiendo de las cifras que se obtengan, se puede pasar a evaluar los resultados o introducirlos en una matriz como la que se muestra en la figura 6 y las convenciones que se utilizan en la matriz, son:

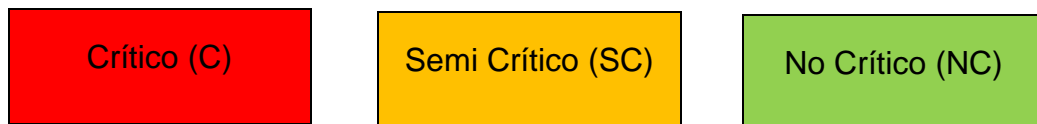


Figura 5. Factores para determinar la criticidad de equipos.

VALOR	Frecuencia de Fallas	Costo de Mantenimiento	VALOR
4	ALTA: Mas de 5 fallas por año	US\$ 0 a US\$ 1.000	1
3	PROMEDIO: 2 a 4 fallas por año	US\$ 1.000 a US\$ 5.000	5
2	BAJA: 1 a 2 fallas por año	US\$ 5.000 a US\$ 10.000	10
1	EXCELENTE: Menos de una falla por año	Más de US\$ 10.000	20
VALOR	Impacto operacional	Impacto en Seguridad y Medio Ambiente	VALOR
10	Parada inmediata de toda la planta o corte de la tira	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	40
6	Parada inmediata de un sector de la línea productiva	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos	32
4	Impacta los niveles de producción o calidad	Afecta las instalaciones causando daños severos	24
2	Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo	Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio	16
1	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	8
VALOR	Flexibilidad Operacional	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente	0
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo (backup)		
2	Existe opción de respaldo compartido		
1	Existe opción de respaldo disponible		

Fuente: SILVA ARDILA, Pedro Eliseo y ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Medellín, 2014. p. 73.

Figura 6. Matriz de Criticidad.

<b>Frecuencia</b>	4					
	3					
	2					
	1					
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
	<b>Consecuencia</b>					

Al finalizar el análisis se deben identificar los activos críticos en un plano comprensible y al alcance de todo el personal de la organización, por lo que la clasificación y estandarización de las fronteras de los equipos es un proceso determinante. Debido a los cambios de proceso, mercado, diseños y demás, la

criticidad es dinámica y debe ser revisada periódicamente, ya que un equipo crítico hoy, puede no serlo mañana, o lo contrario.

## **2.4 TAXONOMÍA Y FRONTERAS**

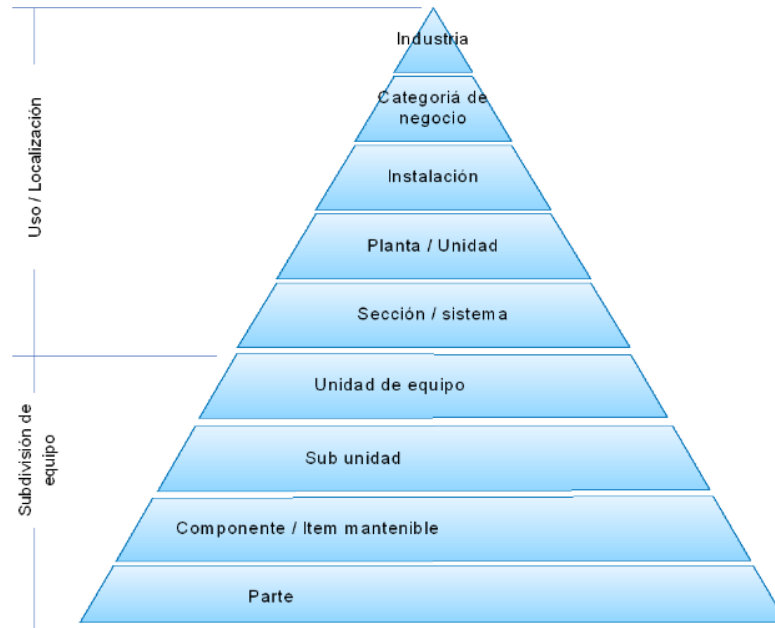
Para priorizar los trabajos a realizar se debe contar con la información confiable que permita identificar claramente equipos, partes y repuestos, tareas, y en general todo aquello requerido para la actividad. Todo parte de la identificación de estos elementos y el inventario total de activos físicos con que se cuenta, para ello existen técnicas y normas que ayudan a estructurar ordenadamente dicha información. Para efectos de este trabajo, se usará como referencia las recomendaciones de la norma ISO-14224.

**2.4.1 Taxonomía.** La taxonomía es una clasificación sistemática de componentes en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios de los componentes, tales como ubicación, uso, subdivisión del equipo, etc. En la figura 7 se representa de forma jerárquica la clasificación de datos relevantes que han sido recogidos por la norma.

En la figura 7, los primeros 5 niveles se refieren a la localización física del equipo y el uso asignado, y los 4 niveles finales están relacionados con el equipo y sus componentes (inventario).

**2.4.2 Determinación de Fronteras.** El propósito de la definición de frontera es asegurar una concepción común de los sub-equipos y de sus componentes o ítems mantenibles incluidos dentro de la frontera de un equipo particular, y por tanto conocer sobre qué componente se registran las fallas y eventos de mantenimiento.

Figura 7. Taxonomía para la clasificación de equipos.



Fuente: ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co). p. 32.

Por definición de las fronteras, las siguientes reglas son recomendadas en la norma:

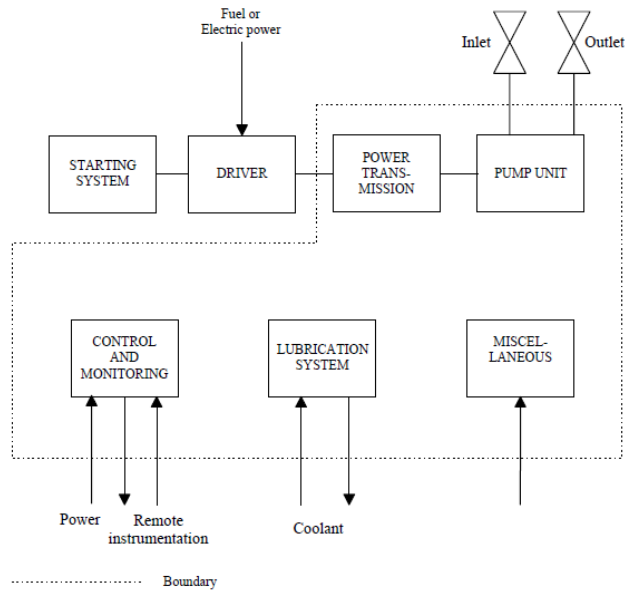
- No incluir ítems de diseño único. Incluir solamente ítems que son considerados como genéricos para la clase de equipos que se está considerando, con fin de tener el mismo criterio de comparación entre equipos.
- Excluir ítems conectados en la frontera de los equipos, salvo que específicamente se encuentren incluidos por la especificación de la frontera.
- Cuando un driver y la unidad que es manejada por el driver usan un sub-equipo común, relacionar las fallas y eventos de mantenimiento sobre el sub-equipo.
- Incluir instrumentación solamente cuando tenga un control específico y/o función de monitoreo para el equipo en cuestión y/o está localmente montado

sobre el equipo. Control e instrumentación de uso más general como el de sistemas SCADA, como regla, no debe ser incluido en la frontera.

En general, la taxonomía de un equipo se hace de acuerdo al riesgo generado por una falla y al grado de seguimiento que se quiere hacer. Es necesario realizar un balance costo efectivo de esta categorización, ya que un mayor detalle en el proceso implica un mayor volumen de órdenes de trabajo.

Para efectos de este trabajo se toma como referencia la jerarquía de la bomba<sup>9</sup> como es sugerido en la norma ISO-14224. Si se desea profundizar en jerarquías sugeridas para diferentes equipos, se puede consultar en el anexo de la norma en mención.

Figura 8. Definición de fronteras en equipo bomba.



Fuente: ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co). p. 73.

<sup>9</sup> ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co). p. 73

### **3 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS**

#### **3.1 UNIDAD PRINCIPAL EBR**

Como se describió en el numeral 1.2.2, en la Estación de Bombeo Rubiales se cuenta con 2 unidades principales de Fase I y 4 unidades principales de Fase II. Las unidades de Fase I fueron instaladas para la operación temprana del Oleoducto y hoy se encuentran en Stand By. Por esta razón, este trabajo se limita al análisis de las unidades principales de la Fase II.

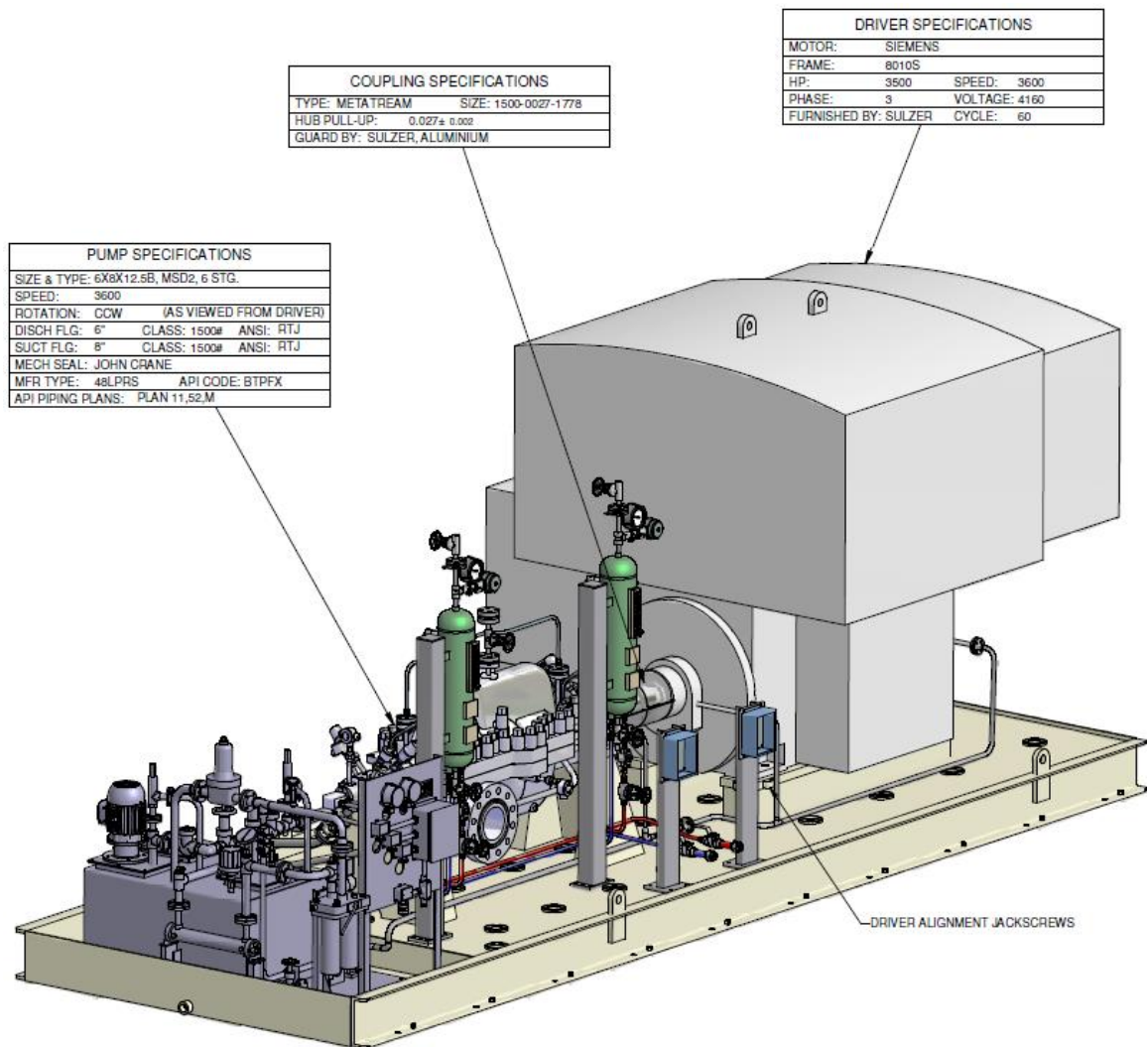
En la figura 9, se muestra la disposición general de la unidad principal y las especificaciones básicas del motor, el acople y la bomba.

Cada bomba principal cuenta adicionalmente con equipos de proceso como se muestra en sus P&ID, los cuales se pueden consultar en el anexo I de este documento.

#### **3.2 TAXONOMÍA UNIDAD PRINCIPAL EBR**

La organización de las unidades principales de fase II definida en el sistema de gestión SAP, mandante ODL, permite ver una clasificación jerárquica como se muestra en la figura 10. La clasificación inicia desde la instalación o facilidad y termina con el componente o ítem mantenible de cada sub-equipo.

Figura 9. Disposición equipos de la unidad principal.



Fuente: Sulzer Pumps. The Engineering Dossier. p. 92.

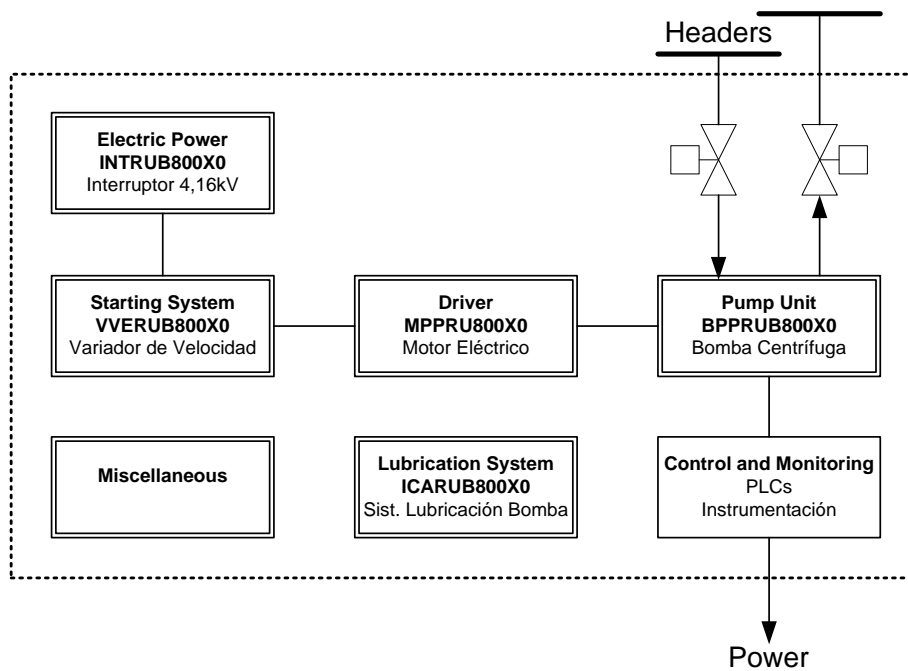
En la figura 10, la línea marcada con el símbolo asterisco (\*) indica que la letra X se debe reemplazar por el número de la bomba de interés: 1, 2, 3 o 4.

Con esta clasificación se pueden esbozar los límites del equipo, tal como están concebidos por ODL. La delimitación de la frontera del equipo se muestra en la figura 11.

Figura 10. Taxonomía de unidades principales en SAP.



Figura 11. Definición de frontera bomba principal fase II.



Si se compara los límites de frontera tal como están concebidos por ODL, frente a los límites de frontera sugerida por la norma ISO-14224 para bombas<sup>14</sup>, y que se muestra en la figura 8, se encuentra que en la clasificación de ODL los siguientes sub-equipos se incluyeron dentro de la frontera del equipo principal.

- Sub-equipos de potencia, variador y motor.
- Válvulas de entrada y salida.
- Equipos de monitoreo y control e instrumentación remota.

En términos generales, la frontera del equipo de bombeo de fase II abarca desde la línea de succión hasta la línea de descarga y contiene todos los componentes que se encuentran instalados a lo largo de este sub-sistema. Con base en esta clasificación, se realizará más adelante la clasificación de criticidad por sub-equipos.

Continuando con la clasificación de los equipos, sub-equipos y componentes de las unidades de bombeo de fase II, se presenta en la tabla 1 la clasificación detallada.

El detalle de cada componente o ítem mantenible de cada sub-equipo, se presenta en la tabla 2.

Al revisar con detenimiento cada uno de los componentes de los sub-equipos de las unidades principales de fase II, se pueden apreciar algunas diferencias. Las unidades son paquetes idénticos, por lo que no deberían existir diferencias en sus componentes.

---

<sup>14</sup> ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co). p. 73.

Tabla 1. Clasificación de unidad principal fase II en sistema SAP.

Facilidad	Planta	Sistema	Equipo	Sub-Equipo
C01 Conducto de las Llanas Orientales	RUB Estación Bombas Rubiales	RUB00050M Áreas Unidades Productivas Bombas	Unidad Productiva Bombas	BFC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1 BPMUB800010
				ICARUB800010
				BFC-3410 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNDA1 IMTRUB800010
				BFC-3450 INT 4.16KV ARSANC MOT SUPPAL U1 MPPUB800010
				BFC-3450 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UNDA1 VVENUB800010
				BFC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA UR1 BPMUB800010
				BFC-3420 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #2 ICARUB800020
				BFC-3420 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNDA2 IMTRUB800020
				BFC-3420 INT 4.16KV ARSANC MOT SUPPAL U1 MPPUB800020
				BFC-3420 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UNDA2 VVENUB800020
				BFC-3420 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA UR2 BPMUB800020
				BFC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #3 ICARUB800030
BFC-3430 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNDA3 IMTRUB800030				
BFC-3430 INT 4.16KV ARSANC MOT SUPPAL U1 MPPUB800030				
BFC-3430 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UNDA3 VVENUB800030				
BFC-3430 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA UR3 BPMUB800030				
BFC-3440 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #4 ICARUB800040				
BFC-3440 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNDA4 IMTRUB800040				
BFC-3440 INT 4.16KV ARSANC MOT SUPPAL U1 MPPUB800040				
BFC-3440 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UNDA4 VVENUB800040				
BFC-3440 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA UR4 BPMUB800040				



### 3.3 CÁLCULO DE CRITICIDAD

Teniendo la clasificación al nivel del componente o ítem mantenible, y siguiendo la metodología propuesta para el desarrollo de este trabajo, se presenta en esta sección el cálculo de criticidad por sub-equipo, de acuerdo a frecuencia de falla por su consecuencia en cada componente. Para realizar esta clasificación, se utiliza metodología propuesta en el numeral 2.3.

*Criticidad = Frecuencia x Consecuencia*

*Consecuencia*

*= (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional)*

*+ Mantenimiento + Impacto Seguridad y Medio Ambiente*

Los factores para determinar la criticidad de equipos se basan en la propuesta presentada anteriormente en la figura 5.

Los datos utilizados para la ponderación de la frecuencia y consecuencia se toman de los registros del sistema SAP para las intervenciones de tipo correctivo que se han desarrollado durante el año 2015. El motivo para esta selección, es que el sistema SAP entrega una mayor información a nivel del componente intervenido, tiempo de ejecución y costos de mantenimiento asociados. Como se verá más adelante, antes de 2015 los registros de mantenimiento se llevaban a nivel de equipo y no se incluían los costos de cada intervención.

La criticidad obtenida para el componente se asocia con el sub-equipo al que pertenece. Es posible que, a partir de esta clasificación, un sub-equipo tenga más de un factor de criticidad, en cuyo caso se tomará el peor caso.

**3.3.1 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3410.** En la tabla número 3 se presenta la valoración de criticidad por cada componente de la unidad de bombeo BPC-3410, de acuerdo a los registros de intervención correctiva tomados del sistema SAP.

Tabla 3. Pareto de criticidad de componentes BPC-3410.

Sub-Equipo	Componentes	Consecuencia	Frecuencia	Nivel de Criticidad
BPPRUB80010 <b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0008 RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO ACOPLE	42	4	<b>Crítico</b>
BPPRUB80010 <b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PMBCE0023 BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1	37	3	<b>Semi Crítico</b>
ICARUB80010 <b>BPC-3410 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA</b>	PTTAN0013 RESERVORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3410	37	3	
BPPRUB80010 <b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0042 RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO LIBRE	37	2	<b>No Crítico</b>
MPPRUB80010 <b>BPC-3410 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL</b>	PEMEL0047 BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#1	37	2	
	PTFIL0015 TFL-3411 FILT GORRO BRUJA SUCC BPC-3410	33	2	
	PIPTR0094 PIT-3412 TR PRESION LL/HH SUCC BPC-3410	3	2	
BPPRUB80010 <b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PMVCO0298 MOV- 3412 V COMP 12"X900 DESC BPC-3410	3	2	
	PIFCV0012 FCV-3411 V CONTR FLUJ CABEZAL REC/LACION	2	2	
	PIVTR0001 MODULO TR VIBR TEMP VEL UND BPC-3410	2	2	

Los componentes de los sub-equipos interruptor “INTRUB80010 BPC-3410 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR” y variador “VVERUB80010 BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA” no registraron fallas, razón por la cual se clasifican como no críticos.

A partir del Pareto presentado en la tabla 3, se construye la matriz de criticidad de sub-equipos de la unidad productiva Bomba Principal 3410, tal como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3410.

Frecuencia	4			<b>BPPRUB80010</b> BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA		
	3		<b>ICARUB80010</b> BPC-3410 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA			
	2		<b>MPPRUB80010</b> BPC-3410 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL			
	1	<b>INTRUB80010</b> BPC-3410 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR				
		<b>VVERUB80010</b> BPC-3410 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Consecuencia				

**3.3.2 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3420.** En la tabla número 4 se presenta la valoración de criticidad por cada componente de la unidad de bombeo BPC-3420, de acuerdo a los registros de intervención correctiva tomados del sistema SAP.

Los componentes del sub-equipo interruptor “INTRUB80020 BPC-3420 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR” y variador “VVERUB80020 BPC-3420 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA” no registraron fallas, razón por la cual se clasifican como no críticos.

Tabla 4. Pareto de criticidad de componentes BPC-3420.

Sub-Equipo	Componentes	Consecuencia	Frecuencia	Nivel de Criticidad
BPPRUB80020 <b>BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0009 RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO ACOPLE	52	4	<b>Crítico</b>
BPPRUB80020 <b>BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PMBCE0024 BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #2	37	3	<b>Semi Crítico</b>
BPPRUB80020 <b>BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0043 RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO LIBRE	37	2	<b>No Crítico</b>
ICARUB80020 <b>BPC-3420 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA</b>	PEMEL0047 BPC-3410 MOT ELECTR 3500HP 3581RPM UN#1	37	2	
BPPRUB80020 <b>BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTFIL0016 TFL-3421 FILT GORRO BRUJA SUCC BPC-3420	33	2	
MPPRUB80020 <b>BPC-34X0 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL</b>	PEMEL0056 800-CBF1- PM2B MOT BLOW#2 ICA M.PPAL U#2	25	2	
BPPRUB80020 <b>BPC-34X0 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PIPLC0011 MS-1 CONTROLADOR LOCAL BOMBA BPC-3420	22	2	
	PIPDT0018 PDIT-3421 TR DIF PRESION FILTRO BPC-3420	9	2	
	PMVCO0301 MOV- 3422 V COMP 12"X150 DESC BPC-3420	5	2	
	PIVTR0002 MODULO TR VIBR TEMP VEL UND BPC-3420	2	2	

A partir del Pareto presentado en la tabla 4, se construye la matriz de criticidad de sub-equipos de la unidad productiva Bomba Principal 3420, tal como se muestra en el cuadro 3.

**3.3.3 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3430.** En la tabla número 5 se presenta la valoración de criticidad por cada componente de la unidad de bombeo BPC-3430, de acuerdo a los registros de intervención correctiva tomados del sistema SAP.

Cuadro 3. Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3420.

Frecuencia	4			BPPRUB80020 BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA		
	3					
	2		ICARUB80020 BPC-3420 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA MPPRUB80020 BPC-3420 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL			
	1	INTRUB80020 BPC-3420 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR VVERUB80020 BPC-3420 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Consecuencia				

Tabla 5. Pareto de criticidad de componentes BPC-3430.

Sub-Equipo	Componentes	Consecuencia	Frecuencia	Nivel de Criticidad
VVERUB80030 <b>BPC-3430 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA</b>	PIVVF0003 VFD-C VARIADOR VEL DV/DF M PPAL BPC-3430	44	3	Semi Crítico
BPPRUB80030 <b>BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0010 RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO ACOPLE	37	3	
BPPRUB80030 <b>BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0044 RESERVORIO SELLOS BPC-3430 LADO LIBRE	33	2	No Crítico
	PIPLC0012 CONTROLADOR LOCAL DE BOMBA BPC-3430	25	2	
	PMBCE0025 BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #3	25	2	
	PTFIL0017 TFL-3431 FILT GORRO BRUJA SUCC BPC-3430	9	2	
ICARUB80030 <b>BPC-3430 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA</b>	PTTAN0015 RESERVORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BPC-3430	9	2	
BPPRUB80030 <b>BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PMCHE0099 V CHEQUE 12"X900 DESCARGA BPC-3430	9	2	

Los componentes de los sub-equipos interruptor “INTRUB80030 BPC-3430 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR” y motor “MPPRUB80030 BPC-3430 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL” no registraron fallas, razón por la cual se clasifican como no críticos.

De los resultados obtenidos, en la unidad principal BPC-3430 no se registró ningún componente con nivel de criticidad crítico.

A partir del Pareto presentado en la tabla 5, se construye la matriz de criticidad de sub-equipos de la unidad productiva Bomba Principal 3430, tal como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3430.

Frecuencia	4					
	3			<b>VVERUB80030</b> BPC-3430 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA  <b>BPPRUB80030</b> BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA		
	2		<b>ICARUB80030</b> BPC-3420 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA			
	1	<b>MPPRUB80030</b> BPC-3430 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL  <b>INTRUB80030</b> BPC-3430 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Consecuencia				

**3.3.4 Cálculo de Criticidad Unidad de Bombeo BPC-3440.** En la tabla número 6 se presenta la valoración de criticidad por cada componente de la unidad de bombeo BPC-3440, de acuerdo a los registros de intervención correctiva tomados del sistema SAP.

Del resultado obtenido, los componentes de los sub-equipos motor “MPPRUB80040 BPC-3440 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL”, interruptor “INTRUB80040 BPC-3440 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR” y variador “VVERUB80040 BPC-3440 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA” no registraron fallas, razón por la cual se clasifican como no críticos.

Tabla 6. Pareto de criticidad de componentes BPC-3440.

Sub-Equipo	Componentes	Consecuencia	Frecuencia	Nivel de Criticidad
BPPRUB80040 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA	PTTAN0019 RESERVORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLE	42	4	Crítico
	PMBCE0029 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #4	42	4	
BPPRUB80040 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA	PIFTR0047 FIT-3442 TR FLUJO DESCARGA BOM BPC-3440	17	4	Semi Crítico
	PIPLC0019 CONTROLADOR LOCAL DE BOMBA PPAL BPC- 3440	22	3	
BPPRUB80040 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA	PTTAN0047 RESERVORIO SELLOS BPC-3440 LADO LIBRE	33	2	No Crítico
ICARUB80040 BPC-3440 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA	PTTAN0020 RESERVORIO DEL LUBE OIL SYSTEM BCE-3440	33	2	
	PEMEL0085 800-LPM1 MOT ELE 5HP LUBE SYST BCE-3440	33	2	
BPPRUB80040 BPC-34X0 BOMBA CENTRIFUGA	PIVTR0006 MODULO TR VIBRAC-TEMP-VEL UND BPC-3440	14	2	
	PIPTR0154 PIT-3433 TR PRESION LL-HH DESC BPC-3440	13	2	
	PTTAN0019 RESERVORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLE	9	2	

PIPTR0153 PIT-3441 TR PRESION LL-HH SUCC BPC-3440	9	2
PTFIL0034 TFL-3441 FILTRO GORRO BRUJA SUC BPC-3440	7	2

A partir del Pareto presentado en la tabla 6, se construye la matriz de criticidad de sub-equipos de la unidad productiva Bomba Principal 3440, tal como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Matriz de criticidad sub-equipos unidad BPC-3440.

Frecuencia	4			<b>BPPRUB80040</b> BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA		
	3					
	2		<b>ICARUB80040</b> BPC-3440 SISTEMA LUBRICACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA			
	1	<b>MPPRUB80040</b> BPC-3440 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL  <b>INTRUB80040</b> BPC-3440 INT 4,16KV ARRANCADOR MOTOR  <b>VVERUB80040</b> BPC-3440 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Consecuencia				

**3.3.5 Análisis de Resultados.** De los datos obtenidos en los paretos de cada unidad principal de bombeo, se construye una tabla únicamente con los componentes y sub-equipos clasificados como críticos. El resultado se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Componentes críticos de las unidades de bombeo.

Sub-Equipo	Componentes	Nivel de Criticidad
BPPRUB80010 <b>BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0008 RESERVORIO SELLOS BPC-3410 LADO ACOPLE	<b>Crítico</b>
BPPRUB80020 <b>BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0009 RESERVORIO SELLOS BPC-3420 LADO ACOPLE	
BPPRUB80040 <b>BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA</b>	PTTAN0019 RESERVORIO SELLOS BPC-3440 LADO ACOPLE PMBCE0029 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #4	

De la tabla anterior se observa que el sub-equipo crítico de la unidad productiva es la bomba centrífuga. Adicionalmente, en todos los casos, al menos el componente “RESERVORIO SELLOS BPC-34X0 LADO ACOPLA”, condicionó la criticidad del sub-equipo.

Al revisar en SAP el detalle de las órdenes de trabajo creadas para la atención de los correctivos asociados a este componente, se encuentra una similitud en el reporte. Como se observa en la tabla 8, la descripción de la atención hace referencia mayoritariamente a cambios de líquido de barrera, originado por problemas con los sellos mecánicos.

Tabla 8. Avisos SAP correctivos componentes críticos.

Unidad Principal	Orden	Pto.tbjo.resp.	Aviso	Texto breve	Equipo
BPC-3410	20000184	MECANI01	60000158	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0008
	20000323	MECANI01	60000537	CAMBIO LIQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3410	
	20000687	MECANI01	60003872	CAMBIO LIQUIDO AMORTIGUADOR BPC 3410	
	20000762	MECANI01	60006091	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	
BPC-3420	20000837	MECANI01	60007049	CAMBIO SELLO MECANICO L.A BPC 3410	PTTAN0009
	20000146	MECANI01	60000106	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA BPC 3420	
	20000180	MECANI01	60000142	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	
	20000209	MECANI01	60000231	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA BPC 3420	
	20000271	MECANI01	60000421	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3420	
	20000324	MECANI01	60000538	CAMBIO LIQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3420	
	20000335	MECANI01	60000553	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA BPC-3420	
	20000344	CONTRO01	60000565	REVISION SWTICHES NIVEL RESERV BPC-3420	
	20000516	MECANI01	60002204	ALTO NIVEL LIQUIDO BARRERA BPC 3420	
	20000582	MECANI01	60003149	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	
BPC-3430	20000083	MECANI01	60000006	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3430	PTTAN0010
	20000105	MECANI01	60000037	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA BOM BPC-3430	
	20000124	MECANI01	60000069	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA BPC 3430	
BPC-3440	20000555	MECANI01	60002916	CAMBIO SELLOS MECANICOS BPC 3430	PTTAN0019
	20000185	MECANI01	60000161	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	
	20000365	MECANI01	60000794	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC-3440	
	20000753	MECANI01	60005709	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	
	20000853	MECANI01	60007514	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	
	20000874	MECANI01	60007848	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA L/A BPC 3440	
	20000900	MECANI01	60008249	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	
20000917	MECANI01	60008389	CAMBIO DE SELLOS MECANICOS BPC-3440		

Un resultado secundario que vale la pena resaltar a pesar de que no hace parte de los objetivos de este trabajo, son los errores en la asignación algunas órdenes de trabajo a los componentes que debe corresponder, a pesar de que se tiene un procedimiento de doble revisión para esta asignación. Si bien este error se presenta en diferentes componentes y sub-equipos, en la tabla 9 se registran los errores encontrados para los componentes clasificados como críticos.

En uno de los casos más llamativos, se le hace cambio de líquido de barrera a un filtro gorro de bruja (PTFIL0015/16).

Tabla 9. Errores de asignación de órdenes correctivas.

Orden	Pto.tbjo.resp.	Aviso	Texto breve	Equipo Asignado	Equipo a Re-asignar
20000097	MECANI01	60000002	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTFIL0015	
20000329	MECANI01	1001313	CAMBIO DE LÍQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	PTTAN0008
20000406	MECANI01	60000871	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	
20000539	MECANI01	60002744	CAMBIO LÍQUIDO DE BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	
20000098	MECANI01	60000003	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTFIL0016	PTTAN0009
20000538	MECANI01	60002743	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3420	PTTAN0014	
20000347	MECANI01	60000568	CAMBIO DE LIQUIDO DE BARRERA BPC 3430	PTTAN0015	PTTAN0010
20000537	MECANI01	60002742	CAMBIO LÍQUIDO DE BARRERA BPC 3430	PTTAN0015	

## 4 CÁLCULO INDICADORES CMD

Tal como se especificó en el numeral 2.2 de este documento, el cálculo de los indicadores CMD se realizará a partir de los datos de mantenimiento correctivo, con el propósito de obtener la disponibilidad inherente.

Para efectos de este trabajo, se toma como referencia que todas las unidades principales deben tener un factor de servicio del 100%, es decir, que el cálculo de la disponibilidad inherente se condiciona a un tiempo de operación deseado de 8640 horas.

### 4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS AÑOS 2013 Y 2014

Los datos de intervenciones correctivas en las unidades principales para los años 2013 y 2014 se toman de la tabla de modelo de disponibilidad de ODL, como la que se muestra en la figura 12. Se toma de esta fuente ya que el mandante SAP ODL entró en servicio desde el año 2015, y este Excel era el medio de control de los indicadores de mantenimiento.

Figura 12. Tabla modelo de disponibilidad ODL años 2013-2014





TABLA MODELO DE DISPONIBILIDAD  
INFORME DISPONIBILIDAD ODL



FECHA	CODIGO TIEMPO OPERACION	DESCRIPCION	HORA INICI	HORA FIN	TIEMPO TOTAL (H)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
02/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00			
03/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	15:10:00	15,17			
29/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:20:00	23:59:00	14,65			
30/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	16:45:00	16,75			
27/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:26:00	17:20:00	9,90			
<b>TOTAL TMCO</b>					<b>80,47</b>			

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL.

La tabla era diligenciada por el operador con opciones predefinidas para registros de tiempos de operación y mantenimiento, tal como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Opciones para cargue de tiempos de operación y mantenimiento.

Total	Estado	Causa	Tipo	Descripción
TIEMPO TOTAL TEORICO DIARIO (24 HRS)	EN OPERACIÓN		TOPP	Tiempo en operación a plena velocidad
			TOVR	Tiempo en operación a velocidad reducida
	DISPONIBLE	PARADA POR OTRAS CAUSAS	TPFP	Tiempo de parada por falta de producto (bajos inventarios)
			TPFC	Tiempo de parada por falta de cupo (altos inventarios)
			TPPC	Tiempo de parada por programa cumplido
			TPPI	Tiempo de parada por perforación ilícita
			TPAT	Tiempo de parada por atentado
			TPDN	Tiempo de parada por desastre natural
			TPRI	Tiempo de parada por riesgo inminente
			TPCO	Tiempo de parada por falla comunicaciones
			TPEN	Tiempo de parada por falla energía
			TPOE	Tiempo de parada por problemas en otro equipo
		ASIGNADA COMO STAND BY	TPSB	Tiempo de parada por asignación como stand by
		DECLARADA FUERA DE SERVICIO	TFS1	Tiempo de parada declarada fuera de servicio
	NO DISPONIBLE	EN MANTENIMIENTO	TMPV	Tiempo en mantenimiento de tipo preventivo
			TMPD	Tiempo en mantenimiento de tipo predictivo
			TMME	Tiempo en mantenimiento de tipo mejorativo
			TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo
			TMCI	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo originado por ilícito ó atentado
			TEPM	Tiempo en espera para mantenimiento
TEPO			Tiempo en espera para operación	

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL.

Para efectos de este trabajo, se usa como metodología el filtrado por mantenimientos correctivos TMCO únicamente, se verifican los tiempos y descripciones de la intervención, y se cuantifican el número de eventos de este tipo registrados en el año.

Como se verá en las siguientes tablas, el registro de la falla se asocia a toda la unidad principal de bombeo, por tanto, el cálculo de la disponibilidad inherente se realizará con el modelo matemático de MTBF y MTTR de un solo elemento, tal como fue descrito en la sección 2.2.

En la primera parte de esta sección se realiza el levantamiento de la información y en la parte final se presenta el resumen y resultado de los cálculos.

**4.1.1 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2013.** En la tabla número 11 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2013 en la unidad principal BPC-3410.

**4.1.2 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2013.** En la tabla número 12 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2013 en la unidad principal BPC-3420.

**4.1.3 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2013.** En la tabla número 13 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2013 en la unidad principal BPC-3430.



Tabla 12. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3420 en año 2013.

REFERENCIA DEL EQUIPO	UFR/PL/GR/020									
DESCRIPCION	UNO PRODUCTIVA DE BOMBEO No.2 BPC-3420									
TAG	BPC-3420									
FECHA	ORDEN	TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	HORA FIN	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORIGEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
05/04/2013		TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:48:00		10:00:00	1,20			CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA
11/04/2013		TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59	24,00			
12/04/2013		TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		09:58:00	9,97			
17/08/2013		TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	01:50:00		03:20:00	1,50			Recuperación de líquido de barrera del reservorio lado libre
02/09/2013		TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	20:30:00		22:30:00	2,00			

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2013 de BPC-3420

Tabla 13: Tiempos TMCO unidad principal BPC-3430 en año 2013

REFERENCIA DEL EQUIPO	UBICACION	DESCRIPCION	FECHA	TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
BPC-3430											
19/04/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:00:00	23:59:59	16,00						PERDIDA DE DISPONIBILIDAD - INSTRUMENTOS
20/04/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	05:00:00	15,00						
01/05/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	01:46:00	23:59:59	22,23						
02/05/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00						
26/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:00:00	17:02:00	7,03						
15/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:00:00	23:59:59	14,00						
16/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	06:30:00	16,50						Se recibe de mantenimiento a control, queda en línea con seguimiento de operaciones.
20/08/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	15:12:00	08:32:00	3,33						Moto Preventivo Mecánico
30/08/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	13:55:00	14:30:00	0,58						Cambio líquido de barnas
02/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:30:00	23:59:59	13,50						Cambio de sellos
08/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00						
04/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00						
05/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	09:00:00	19,00						
19/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:12:00	08:00:00	8,80						
28/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:00:00	14:20:00	6,33						LIMPIEZA DE FILTRO SUCCION
31/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:32:00	11:30:00	3,97						
01/11/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:05:00	05:20:00	6,25						

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2013 de BPC-3430

- 4.1.4 Recopilación de Información Correctivos BPC-3440 – Año 2014.** En la tabla número 14 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2013 en la unidad principal BPC-3440.
- 4.1.5 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2014.** En la tabla número 15 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2014 en la unidad principal BPC-3410.
- 4.1.6 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2014.** En la tabla número 16 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2014 en la unidad principal BPC-3420.
- 4.1.7 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2014.** En la tabla número 17 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2014 en la unidad principal BPC-3430.
- 4.1.8 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2014.** En la tabla número 18 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2014 en la unidad principal BPC-3440.

Tabla 14. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3440 en año 2013.

REFERENCIA DEL EQUIPO	UPRIMUB80040								
DESCRIPCION	UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.4 BPC-3440								
TAG	BPC-3440								
FECHA	COBRIZO	TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
20/04/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		13:00:00		18:15:00			5,25
31/04/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		08:40:00		17:00:00			8,33
13/05/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
14/05/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		14:00:00			14,00
26/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		14:55:00		16:15:00			1,33
16/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		06:35:00		23:59:59			17,42
17/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		02:55:00			2,92
19/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		05:26:00		23:59:59			18,53
20/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
21/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
22/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
23/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
24/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
25/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
26/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
27/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
28/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
29/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
30/06/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
01/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
02/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
03/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00
04/07/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo		00:00:00		23:59:59			24,00

REFERENCIA DEL EQUIPO		LUPRILB0040	
DESCRIPCION		LIND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.4 BPC-3440	
TAG	BPC-3440		
FECHA	CODIGO TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO : TIEMPO TOTAL (HRS) EQUIPO COMENTARIO
05/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
06/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
07/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
08/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
09/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
10/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
11/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
12/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
13/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
14/10/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 15:00:00 15,00
12/11/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	13:30:00 14:15:00 0,75
30/11/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	11:30:00 16:10:00 4,67
01/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:54:00 18:30:00 9,60
02/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:10:00 23:59:59 15,83
03/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
04/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
05/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
06/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 23:59:59 24,00
07/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00 11:17:00 11,28
15/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	19:40:00 23:59:59 4,33
26/12/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:00:00 18:53:00 11,88

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2013 de BPC-3440

Tabla 15. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3410 en año 2014.

REFERENCIA DEL EQUIPO	LUPRILUB00210							
DESCRIPCION	UNID PRODUCTIVA DE BOMBEO No.1 BPC-3410							
TAG	BPC-3410							
FECHA	CODIGO	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
	TIEMPO OPERACIONAL							
17/03/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	15:06:00		18:00:00			2,90
23/03/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	04:53:00		30:00:00			5,12
27/03/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:53:00		14:20:00			6,45
12/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:30:00		09:49:00			2,32
21/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:32:00		23:59:59			14,47
22/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		30:14:00			30,23
06/06/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:00:00		15:20:00			7,33
09/07/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:00:00		14:20:00			5,33
21/07/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	14:50:00		23:50:00			9,00
31/08/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:00:00		23:59:59			15,00
01/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59			24,00
09/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59			24,00
09/09/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		11:22:00			11,37
12/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:25:00		17:00:00			8,58
24/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:10:00		16:06:00			6,93
								reservadas

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2014 de BPC-3410

Tabla 16. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3420 en año 2014.

REFERENCIA DEL EQUIPO	UPRRUB80020							
DESCRIPCIÓN	UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.2 BPC-3420							
TAG	BPC-3420							
FECHA	CODIGO TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
11/04/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	13:01:00	17:17:00	4.27			parada por alta presión en el oleoducto salida de <u>Corcorosa</u> .
20/04/2015	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:00:00	10:00:00	3.00			
18/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:00:00	17:00:00	8.00			Corrección de fuga menor en accesorio de carcasa bomba
31/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	18:00:00	23:59:59	6.00			
09/07/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	14:11:00	17:00:00	2.82			
03/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	17:35:00	23:59:59	6.42			
04/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	18:00:00	18.00			
05/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	17:15:00	23:59:59	6.75			Perdida de disponibilidad por TE-3421 HH
06/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	09:36:00	9.60			
06/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:36:00	23:59:59	14.40			
07/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	17:00:00	17.00			
15/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	13:20:00	23:59:59	10.67			
16/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	12:00:00	12.00			
25/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:37:00	18:00:00	10.38			
20/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:45:00	16:20:00	5.58			

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2014 de BPC-3420

Tabla 17. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3430 en año 2014.

REFERENCIA DEL EQUIPO	UPRPRUB80030						
DESCRIPCIÓN	UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.3 BPC-3430						
TAG	BPC-3430						
FECHA	CODIGO TIEMPO OPERACIONAL	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	TIEMPO TOTAL (HRS)	EQUIPO	COMENTARIO
14/03/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:00:00	16:40:00	7,67		
17/03/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	15:11:00	22:02:00	6,85		
12/05/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:49:00	11:20:00	1,52		
09/07/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	16:37:00	19:00:00	2,38		
31/07/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	13:45:00	16:10:00	2,42		Mantenimiento Mecánico y controles
25/10/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:37:00	18:00:00	10,38		
06/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	09:30:00	23:59:59	14,50		
07/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	17:42:00	17,70		
08/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00		
09/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00		
10/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00		
11/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00		
12/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	17:00:00	17,00		
20/12/2014	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	06:01:00	10:45:00	4,73		

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2014 de BPC-3430

Tabla 18. Tiempos TMCO unidad principal BPC-3440 en año 2014.

REFERENCIA DEL EQUIPO	UPRPRUB80040								
DESCRIPCIÓN	UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.4 BPC-3440								
TAG	BPC-3440								
FECHA	CODIGO	TIEMPO	DESCRIPCION	HORA INICIO	:	TIEMPO TOTAL (HRS)	ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO	COMENTARIO
	OPERACIONAL								
15/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	12:50:00		17:15:00			4,42
19/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:00:00		16:00:00			6,00
22/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	10:30:00		23:59:59			13,50
23/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59			24,00
24/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59			24,00
25/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		23:59:59			24,00
26/02/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		09:00:00			9,00
25/05/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	08:08:00		23:59:59			15,87
26/05/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00		15:18:00			15,30
27/10/2014	TMCO		Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	07:26:00		17:20:00			9,90

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2014 de BPC-3440

## **4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS AÑO 2015**

Con la entrada del mandante SAP de ODL en el año 2015, se obtiene especificidad de los trabajos de mantenimiento al nivel del componente, de sus tiempos de ejecución y los costos asociados.

**4.2.1 Recopilación de Información Correctivos BPC-3410 – Año 2015.** En la tabla número 19 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2015 en los componentes de unidad principal BPC-3410.

Durante el año 2015 no se registraron mantenimientos correctivos en el sub-equipos interruptor y variador de la bomba principal BPC-3410.

**4.2.2 Recopilación de Información Correctivos BPC-3420 – Año 2015.** En la tabla número 20 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2015 en los componentes de unidad principal BPC-3420.

Durante el año 2015 no se registraron mantenimientos correctivos en el sub-equipos interruptor y variador de la bomba principal BPC-3420.

Tabla 19. Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3410 en año 2015.

Orden	Pto.tbjo.resp.	Aviso	Texto breve	Equipo	Horas
<b>BPPRUB80010 BPC-3410 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #1</b>					
20000097	MECANI01	60000002	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTFILO015	
20000143	MECANI01	60000107	VERIFICA RUN/OUT Y ALINEA BOMBA BPC 3410	PMBCE0023	
20000184	MECANI01	60000158	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0008	
20000323	MECANI01	60000537	CAMBIO LIQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3410	PTTAN0008	
20000583	MECANI01	60003150	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0042	
20000687	MECANI01	60003872	CAMBIO LIQUIDO AMORTIGUADOR BPC 3410	PTTAN0008	
20000689	CONTRO01	60003960	REVISION FCV-3411 BPC-3410 PRESENTA PASE	PIFCV0012	
20000690	CONTRO01	60003870	VALVULA RECIRCULACION CON PASE BPC3410	PIFCV0012	
20000762	MECANI01	60006091	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0008	360,3
20000785	MECANI01	60006545	CAMBIO SELLOS MECANICO L L BPC 3410	PMBCE0023	
20000814	MECANI01	60006882	CAMBIO SELLO MECANICO L L BPC 3410	PTTAN0042	
20000837	MECANI01	60007049	CAMBIO SELLO MECANICO L A BPC 3410	PTTAN0008	
20000908	ELECTR01	60008244	REVISION MOV 3412 DESCARGA BPC 3410	PMVCO0298	
20000927	CONTRO01	60008929	REVISION SENAL ERRONEA RPM BPC-3410	PMBCE0023	
20001061	CONTRO01	60011806	BPC-3410. REVISION ALARMAS VZE-3411/12	PIVTR0001	
30000207	MECANI01	1003861	RB-PDVO MITTO ACTUADOR VAL DESC BPC-3410	PMCHE0094	
40000145	MECANI01	1003407	CAMBIO MESH FILTRO G B BPC 3410	PTFILO015	
<b>ICARUB80010 BPC-3410 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UND#1</b>					
20000198	MECANI01	60000223	ADICION DE ACEITE BPC 3410	PTTAN0013	
20000329	MECANI01	1001313	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	65,3
20000406	MECANI01	60000871	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	
20000539	MECANI01	60002744	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3410	PTTAN0013	
<b>MPPRUB80010 BPC-3410 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UND#1</b>					
20000882	ELECTR01	60007458	Cambio rodamientos motores sistemas auxi	PEMELO047	69,4
30000261	ELECTR01	60009861	CORRECCION FUGADE ACEITE MOTOR BPC 3410	PEMELO047	

Fuente: Transacción órdenes correctivas SAP BPC-3410

Tabla 20. Tiempos TMO componentes unidad principal BPC-3420 en año 2015.

Orden	Pto. Obj. resp.	Aviso	Texto breve	Equipo	Horas
<b>BPPRUB0020 BPC-3420 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UNID #2</b>					
20000210	MECANI01	60000232	LIMPIEZA FILTRO LÍNEA SUCCIÓN BPC 3420	PIPDT0018	
10003934	CONTRO01	1004395	CAMBIO PANEL VIEW/PANTALLA BN BPC-3420	PIPLC0011	
20000369	CONTRO01	60000764	CAMBIO PANEL VIEW/PANTALLA BN BPC-3420	PIPLC0011	
20001042	CONTRO01	60011280	BPC-3420 REVISIÓN SEÑAL ERRADA RPM	PIVTR0002	
10004139	MECANI01	1004637	FUGA ACEITE SELLO LADO LIBRE BPC-3420	PIMBCE0024	
20000144	MECANI01	60000108	VERIFICA RUN/OUT Y ALINEA BOMBA BPC 3420	PIMBCE0024	
20000813	MECANI01	60006880	CAMBIO SELLO MECANICO L.A BPC 3420	PIMBCE0024	
20001028	MECANI01	60011066	FUGA POR SELLO LADO LIBRE BPC 3420	PIMBCE0024	
30000208	MECANI01	1003862	RB-PDVO MITO ACTUADOR VAL DESC BPC-3420	PIWVCO0301	
20000098	MECANI01	60000003	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTFIL0016	
20000792	MECANI01	60006588	LIMPIEZA FILTRO LÍNEA SUCCIÓN BPC 3420	PTFIL0016	656,2
20000146	MECANI01	60000106	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0009	
20000180	MECANI01	60000142	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0009	
20000209	MECANI01	60000231	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0009	
20000271	MECANI01	60000421	CAMBIO LÍQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3420	PTTAN0009	
20000324	MECANI01	60000538	CAMBIO LIQUIDO BARRERA UNIDAD BPC 3420	PTTAN0009	
20000335	MECANI01	60000553	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA BPC-3420	PTTAN0009	
20000344	CONTRO01	60000565	REVISION SWITCHES NIVEL RESERV BPC-3420	PTTAN0009	
20000516	MECANI01	60002204	ALTO NIVEL LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0009	
20000582	MECANI01	60003149	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0009	
20000876	MECANI01	60007850	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3420	PTTAN0043	
30000222	MECANI01	60009421	CAMBIO SELLO POR SELLO BACK-UP	PTTAN0043	
<b>ICARUB0010 BPC-3420 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNID#2</b>					
20000302	MECANI01	60000474	CORREC FUGA SALIDA TANQUE LUBRIC BPC 342	PTTAN0014	33,4
20000538	MECANI01	60002743	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3420	PTTAN0014	
<b>MPPRUB0020 BPC-3420 MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL UNID#2</b>					
20000088	ELECTR01	60000000	REVISION SEÑAL STATUS VENTIL #2 BPC-3420	PEMEL0056	61,0
30000260	ELECTR01	60009862	CORRECCION FUGADE ACEITE MOTOR BPC 3420	PEMEL0054	

Fuente: Transacción órdenes correctivas SAP BPC-3420

**4.2.3 Recopilación de Información Correctivos BPC-3430 – Año 2015.** En la tabla número 21 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2015 en los componentes de unidad principal BPC-3430.

Durante el año 2015 no se registraron mantenimientos correctivos en el sub-equipos interruptor de la bomba principal BPC-3430.

**4.2.4 Recopilación de Información Correctivos BPC-3440 – Año 2015.** En la tabla número 22 se presentan los tiempos de mantenimiento correctivo para todos los eventos registrados en el año 2015 en los componentes de unidad principal BPC-3440.

Durante el año 2015 no se registraron mantenimientos correctivos en el sub-equipos interruptor, motor y variador de la bomba principal BPC-3440.

Tabla 21. Tiempos TMOO componentes unidad principal BPC-3430 en año 2015.

Orden	Pto. de trabajo, resp.	Aviso	Texto breve	Equipo	Horas
<b>BPPRUB0030 BPC-3430 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UNID #3</b>					
20000858	CONTRO01	60007513	BPC 3430 FALLA PSL 1 Y 2 LUBE SYSTEM	PIPL00012	
20000145	MECANI01	60000109	ALINEACION CONJUNTO IMOT/ BOMB BPC 3430	PMBCE0025	
30000209	MECANI01	1003863	RS-PDVO MTTO ACTUADOR VAL DESC BPC-3430	PMCHE0099	
20000793	MECANI01	60006589	LIMPIEZA FILTRO LINEA SUCCION BPC 3430	PTFIL0017	
20000083	MECANI01	60000006	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3430	PTTAN0010	
20000105	MECANI01	60000037	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA BOM BPC-3430	PTTAN0010	272,6
20000124	MECANI01	60000089	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3430	PTTAN0010	
20000555	MECANI01	60002916	CAMBIO SELLOS MECANICOS BPC 3430	PTTAN0010	
20000405	MECANI01	60000866	CAMBIO DE LIQUIDO DE BARRERA BPC 3430	PTTAN0044	
20000608	CONTRO01	60003142	REVISION LSH RESERV BPC-3430	PTTAN0044	
<b>ICARUB0030 BPC-3430 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UNID#3</b>					
20000167	MECANI01	60000144	LIMPIEZA DE FILTRO LINEA SUCC BPC-3430	PIPDT0024	
20000347	MECANI01	60000568	CAMBIO DE LIQUIDO DE BARRERA BPC 3430	PTTAN0015	
20000537	MECANI01	60002742	CAMBIO LIQUIDO DE BARRERA BPC 3430	PTTAN0015	72,0
20000921	MECANI01	60008082	REVISION ALTA DIFER LUB-SYSTEM BPC-3430	PTTAN0015	
<b>VVERUB0030 BPC-3430 VARIADOR VELOC X FRECUENCIA UR#3</b>					
20000142	CONTRO01	60000128	REVISION CONTROL VELOCIDAD BPC-3430	PIVVF0003	
20000214	CONTRO01	60000237	REVISION FALLA ACOPL Y RPM BPC-3430	PIVVF0003	
20000764	ELECTR01	60005708	REPLAZO TARJETA DE POTENCIA VDF 3430	PIVVF0003	407,8
20000940	CONTRO01	60009098	BPC-3430. REVISION SEÑAL ERRADA RPM	PIVVF0003	

Fuente: Transacción órdenes correctivas SAP BPC-3430

Tabla 22. Tiempos TMCO componentes unidad principal BPC-3440 en año 2015.

<b>BPPRUB80040 BPC-3440 BOMBA CENTRIFUGA PPAL UND #4</b>					
<b>Orden</b>	<b>Pto.tbjo.resp.</b>	<b>Aviso</b>	<b>Texto breve</b>	<b>Equipo</b>	<b>Horas</b>
20000063	CONTRO01	2000076	REVISIÓN FIT-3441 EN BPC-3440	PIFTR0047	
20000342	CONTRO01	60000514	REVISION FIT-3448 EN BPC-3440	PIFTR0047	
20000550	CONTRO01	60002709	REVISION FIT-3441 EN BPC-3440	PIFTR0047	
20000660	CONTRO01	60003677	REVISION FUGA FLUJO FIT-3441 EN BPC 3440	PIFTR0047	
20000691	CONTRO01	60003941	REVISION FUGA TRANSMISOR FLUJO FIT-3441	PIFTR0047	
20000871	CONTRO01	60007851	REVISION BP-C3440 FALLA FIT-3441	PIFTR0047	
20000939	CONTRO01	60009097	BPC-3440. FIT-3442 TR FLUJO DESCARGA BOM	PIFTR0047	
20000136	CONTRO01	60000080	REVISION SEÑAL RPM BPC-3440	PIPLC0019	
20000346	CONTRO01	60000573	REVISION PERDIDA CALIDAD INSTOS BPC-3440	PIPLC0019	
20000403	CONTRO01	60000870	REVISION FALLA DE PANEL VIEW EN BPC-3440	PIPLC0019	
40000208	CONTRO01	1005002	ADECUACION LIN AIRE TABLERO PLC BPC-3440	PIPLC0019	
20001036	CONTRO01	60011231	BPC-3440. FALLA COM PLC CON DCS	PIPTR0153	
20000325	MECANI01	60000532	CORRECC FUGA V/V AGUAS ARRIBA PIT 3443	PIPTR0154	
20000095	CONTRO01	60000030	REVISION FALLA COMUNIC. VFD-DCS ABB BOMB	PIVTR0006	
20001071	CONTRO01	60012300	CAMBIO DE FUENTE B. NEVADA BPC-3440	PIVTR0006	
20000147	MECANI01	60000110	PRUEBAS BUMP/TESTING BPC 3440	PMBCE0029	613,2
20000409	MECANI01	60000779	REVISION FUGA ACEITE RODAM L.A BPC-3440	PMBCE0029	
20000664	CONTRO01	60003735	REVISION FALLA INSTRUMENTOS BPC-3440	PMBCE0029	
20000715	MECANI01	60003990	REVISION FUGA ACEITE RODA L.L BPC-3440	PMBCE0029	
20000879	CONTRO01	60007894	BPC-3440. FALLA IND VZE-3442. BOMBA CENT	PMBCE0029	
30000206	MECANI01	1003860	RB-PDVO MTTTO ACTUADOR VAL DESC BPC-3440	PMCHE0147	
20000249	MECANI01	60000292	LIMPIEZA FILTRO LINEA SUCCION BPC 3440	PTFIL0034	
20000185	MECANI01	60000161	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	PTTAN0019	
20000365	MECANI01	60000794	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC-3440	PTTAN0019	
20000753	MECANI01	60005709	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	PTTAN0019	
20000853	MECANI01	60007514	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	PTTAN0019	
20000874	MECANI01	60007848	CAMBIO DE LIQUIDO BARRERA L/A BPC 3440	PTTAN0019	
20000900	MECANI01	60008249	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	PTTAN0019	
20000917	MECANI01	60008389	CAMBIO DE SELLOS MECANICOS BPC-3440	PTTAN0019	
20000779	MECANI01	60006320	CAMBIO LIQUIDO BARRERA BPC 3440	PTTAN0047	
20000875	MECANI01	60007849	CAMBIO LIQUIDO BARRERA LADO LIB BPC 3440	PTTAN0047	
<b>ICARUB80040 BPC-3440 SISTEMA LUBRIC BOMBA PPAL UND#4</b>					
20000542	MECANI01	60002747	ARREGLO FUGA VALVULA 1/2 LUBRICA 3440	PTTAN0020	
20000717	ELECTR01	60003936	REVIS. CONTROL BOMBA LUBRICACION BPC3440	PEMEL0085	11,6

Fuente: Transacción órdenes correctivas SAP BPC-3440

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CORRECTIVOS

Los datos registrados para mantenimientos de tipo correctivo en los años 2013 a 2014 corresponden a un contexto operacional de transporte de crudo con gravedad de 18°API. La forma como se registraban los datos en las tablas Excel de modelo de disponibilidad no arrojan una información confiable, ya que no se cuenta con el detalle de las intervenciones a nivel de componente, las descripciones de las actividades ejecutadas son básicas o nulas, y se observan aparentes errores en la asignación del tipo de mantenimiento.

En la tabla 23 se muestra un ejemplo de una asignación incorrecta de actividades de mantenimiento. Los días 20 y 21 de septiembre de 2013 se presentó en la unidad BPC-3440 una de las siguientes dos situaciones: La unidad ingresó a mantenimiento preventivo de mecánica, electricidad y controles, y los tiempos fueron cargados a mantenimiento correctivo; o se realizaron mantenimientos correctivos en las especialidades anteriormente descritas, y la descripción quedó errada en el formato de modelo de disponibilidad.

Tabla 23. Ejemplo de error de asignación en modelo de disponibilidad.

REFERENCIA DEL EQUIPO UPRPRUB80040						
DESCRIPCIÓN UND PRODUCTIVA DE BOMBEO No.4 BPC-3440						
TAG BPC-3440						
20/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00	Se finalizó el Mtto preventivo Mecánico y Eléctrico. Queda por Mtto preventivo Controles
21/09/2013	TMCO	Tiempo en mantenimiento de tipo correctivo	00:00:00	23:59:59	24,00	Queda por Mtto preventivo Controles

Fuente: Tabla modelo de disponibilidad ODL año 2013 de BPC-3440.

Para los cálculos posteriores de disponibilidad inherente en el contexto operacional de 18°API, se parte de la premisa de que los tiempos correctivos registrados en estas tablas son verídicos. Por tener registros a nivel de equipo, los cálculos matemáticos de disponibilidad inherente para los años 2013 y 2014 se realizan con los modelos de un solo elemento, tal como fue descrito en la sección 2.2.

Los datos registrados para mantenimientos de tipo correctivo en el año 2015 tomados del sistema de gestión SAP, son más específicos y se detallan las intervenciones, tiempos de ejecución y costos, al nivel de componente o ítem mantenible según la taxonomía concebida por ODL, lo que hace la información más confiable.

Por contar con la especificidad de intervenciones a nivel de componente, los cálculos matemáticos de disponibilidad inherente para el año 2015, se realizan con los modelos de conjuntos de elementos independientes, tal como fue descrito en la sección 2.2.

#### **4.4 CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD**

Las expresiones matemáticas para los cálculos de disponibilidad inherente para los años 2013 y 2014 bajo el modelo de un solo elemento, y para el 2015 bajo el modelo de conjunto de elementos independientes, se relacionan a continuación:

Para un solo elemento:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{C_f}, \text{ donde}$$

To: Tiempo establecido para operar

Tnp: Tiempo de paradas no programadas

Cf: Cantidad de fallas detectadas

Para un conjunto de elementos independientes:

$$MTBF = \frac{(T_o * n) - \sum T_{np}}{\sum C_f}$$

Siendo n, la cantidad de componentes analizados.

Para ambos casos, la MTTR, se expresa como:

$$MTTR = \frac{T_r}{C_r}, \text{ donde}$$

Tr=Tnp: Tiempo utilizado para reparar

Cr=Cf: Cantidad de reparaciones realizadas

**4.4.1 Disponibilidad Inherente años 2013 y 2014.** De los datos obtenidos de las tablas de modelo de disponibilidad consignadas en secciones anteriores, se obtienen los resultados presentados en la tabla 24.

**4.4.2 Disponibilidad Inherente año 2015.** De los datos obtenidos del sistema de gestión SAP consignados en secciones anteriores, se obtienen los resultados presentados en la tabla 25 bajo el modelo de disponibilidad de conjunto de elementos independientes. Se toman cinco elementos según la taxonomía del equipo bomba principal (ver tabla 25).

Tabla 24. Cálculo disponibilidad inherente años 2013 y 2014.

Año	Equipo	To (h)	Tnp (h)	Cf	MTBF (h)	MTTR (h)	Disp. Inherente (%)
2013	BPC-3410	8640,00	279,55	19	440,02	14,71	97
	BPC-3420		48,67	5	1718,27	9,73	99
	BPC-3430		224,53	17	495,03	13,21	97
	BPC-3440		837,12	44	177,34	19,03	90
2014	BPC-3410	8640,00	153,03	15	565,80	10,20	98
	BPC-3420		134,88	15	567,01	9,00	98
	BPC-3430		181,15	14	604,20	12,94	98
	BPC-3440		145,98	10	849,40	14,60	98

Tabla 25. Cálculo disponibilidad inherente año 2015 elementos independientes.

Año	Equipo	To (h)	Tnp (h)	n	Cf	MTBF (h)	MTTR (h)	Disp. Inherente (%)
2015	BPC-3410	8640,00	495,0	5	23	1856,74	21,52	99
	BPC-3420		752,6		26	1632,59	28,9	98
	BPC-3430		752,4		18	1398,2	41,8	97
	BPC-3440		624,8		33	1290,16	18,93	99

Dado que los cálculos mostrados en la tabla 25 se realizan con el modelo de disponibilidad para conjunto de elementos independientes, se presenta en la tabla 26 el cálculo de disponibilidad inherente tomando el modelo de un solo equipo.

Se realiza este segundo cálculo con el fin de tener el mismo criterio de comparación entre los resultados de disponibilidad obtenidos entre los años 2013 a 2015, ya que se observa de los resultados de la tabla 25 que, a pesar de que los tiempos correctivos se incrementaron en el año 2015, la disponibilidad es superior a la de años anteriores.

Tabla 26. Cálculo disponibilidad inherente años 2015 un solo equipo.

Año	Equipo	To (h)	Tnp (h)	Cf	MTBF (h)	MTTR (h)	Disp. Inherente (%)
2015	BPC-3410	8640,00	495,0	23	354,13	21,52	94
	BPC-3420		752,6	26	303,36	28,9	91
	BPC-3430		752,4	18	438,2	41,8	91
	BPC-3440		624,8	33	242,89	18,93	93

**4.4.3 Análisis Resultados de Disponibilidad Años 2013 a 2015.** Con el fin de realizar la comparación del comportamiento de disponibilidad inherente de los últimos tres años, bajo contextos operacionales diferentes, se tabulan los resultados en la tabla 27.

Tabla 27. Resultados disponibilidad inherente años 2013 a 2015.

Equipo	18° API		15,1°API	
	Disp. Inherente (%) 2013	Disp. Inherente (%) 2014	Disp. Inherente (%) 2015 *	Disp. Inherente (%) 2015 **
BPC-3410	97	98	99	94
BPC-3420	99	98	98	91
BPC-3430	97	98	97	91
BPC-3440	90	98	99	93

\* Cálculo bajo el modelo de conjunto de elementos independientes.

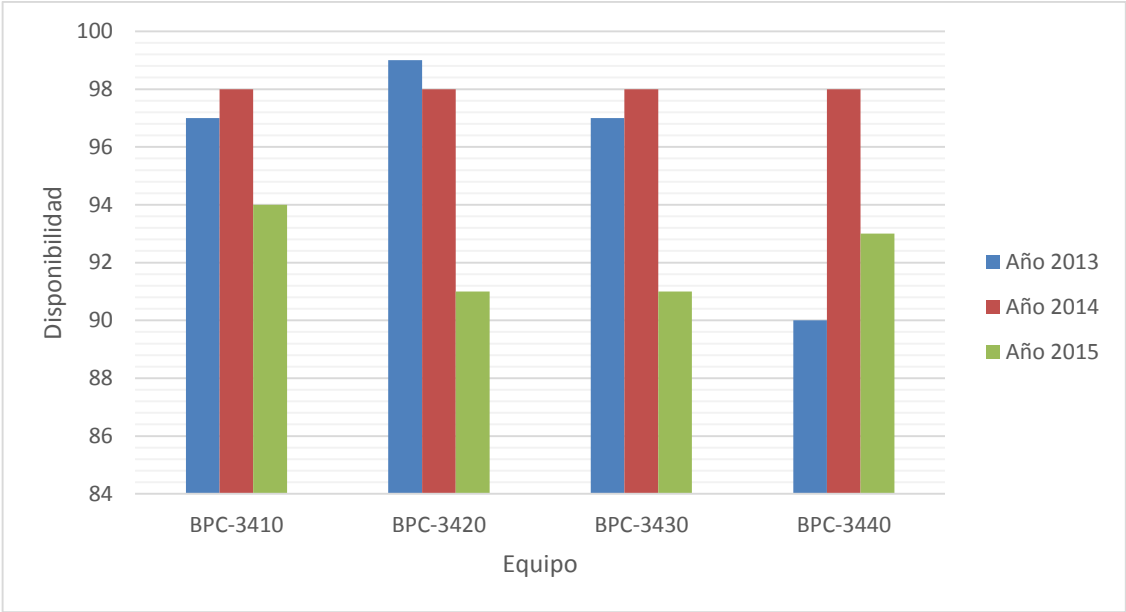
\*\* Cálculo bajo el modelo de un solo equipo.

De forma gráfica, el comportamiento de estos indicadores se presenta en la figura 13, tomando como referencia para el año 2015 el resultado de disponibilidad bajo el modelo de un solo equipo.

El comportamiento observado en la figura 13, muestra degradación del indicador de disponibilidad inherente en el año 2015 el cual coincide con el cambio de especificación del producto transportado de 18°API a 15.1°API.

Para corroborar o descartar que la degradación del indicador corresponde al cambio de la densidad API del crudo transportado, se recomienda realizar un análisis RCA sobre las fallas predominantes presentadas en la tabla 7. A partir de los resultados de este estudio, se pueden generar las recomendaciones de mantenimiento que permitan elevar el indicador y cumplir con la meta estratégica de la organización de alcanzar una disponibilidad inherente del 99% para el sistema de bombeo.

Figura 13. Comportamiento indicadores disponibilidad años 2013 a 2015.



## 5 CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos de los cálculos de los indicadores de disponibilidad inherente para el contexto operacional de bombeo a 18°API y a 15°API, se puede concluir que se presenta una degradación del indicador el cual coincide con el cambio de contexto operacional. Para conocer las causas principales que han impactado negativamente el indicador durante el cambio contexto operacional, se debe complementar el resultado de este trabajo con un análisis RCA.

El cambio de contexto operacional sin estudios previos de riesgos de operación y mantenimiento conducen a situaciones como las motivaron el desarrollo de este trabajo, en los que se presenta degradación de un indicador CMD en todos los equipos de bombeo, afectando las metas estratégicas de la organización.

La metodología propuesta para el desarrollo de este trabajo contempló como primera actividad realizar la clasificación de jerarquía, límites de frontera y clasificación de criticidad de sub-equipos para las unidades objeto de análisis. Por los resultados obtenidos, se puede concluir que la taxonomía concebida por ODL se ajusta al modelo propuesto en la norma ISO-14224, sin embargo, los límites de frontera abarcan sub-equipos que por recomendación de norma deberían estar por fuera de la frontera, tales como motores eléctricos, variadores, interruptores de celda de potencia, instrumentación remota y válvulas de entrada y salida.

El análisis de criticidad de sub-equipos de las unidades principales permitió determinar que los componentes críticos en un contexto operacional de 15.1°API son principalmente los reservorios lado acople, los cuales pertenecen al sub-equipo

bomba centrífuga principal. Los avisos registrados en este componente se relacionan con cambios de líquidos de barrera asociados a falla en sellos. Se recomienda como actividad complementaria al desarrollo de este trabajo, clasificar los componentes y sub-equipos con base en la matriz de criticidad corporativa de ODL, la cual se puede consultar en el anexo II de este documento.

En el levantamiento de información de mantenimiento de los años 2013 y 2014, bajo el contexto operacional de 18°API, se encontró información muy general que no contiene todos los comentarios que permitan identificar el componente intervenido, y por lo tanto no permitió realizar clasificación de criticidad según el modelo propuesto en este trabajo.

Un resultado secundario que vale la pena resaltar a pesar de no ser parte de los objetivos de este trabajo, fueron los hallazgos en los avisos SAP identificados durante el levantamiento de información de mantenimiento del año 2015. Se encontraron errores en la asignación algunas órdenes de trabajo a los componentes que debían corresponder, a pesar de tener un procedimiento de doble revisión para esta asignación. Se recomienda realizar un reentrenamiento a operadores y técnicos para fortalecer la comprensión de la taxonomía de los equipos con el fin de tener un mejor registro de las intervenciones de mantenimiento que permitan dar mayor fidelidad a estudios como los realizados en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

CASTAÑEDA MONTENEGRO, Lady Zamira. Monografía, Evaluación Conceptual de Alternativas para el Transporte por Oleoducto de Crudos Pesados Producidos en los Llanos Orientales. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2014.

CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación Industrial. Alfaomega Group Editor, Barcelona, Sexta Edición, 1997.

GONZÁLEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2007.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Miguel Abdul y HERRERA ANDRADE, Óscar Iván. Monografía, 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 S.A. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014.

ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 2008. <[www.acp.com.co](http://www.acp.com.co)>

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega Colombiana S.A, Bogotá D.C, 2009.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LCC, Asheville NC, Segunda Edición, 2004.

SILVA ARDILA, Pedro Eliseo y ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Medellín, 2014.

OLEODUCTO DE LOS LLANOS ORIENTALES. Manual de Operación Estación de Bombeo Rubiales, TPO-M-001. Bogotá, 2016.

SULZER PUMPS. The Engineering Dossier, Oleoducto de los Llanos, MSD2. 2009.

## **ANEXOS**

**ANEXO A.** Plano P&ID de bomba principal BPC-3440.

Revisar documento digital de plano P&ID de bomba principal BPC-3440. Nombre del archivo: ANEXO A ODL-EO-EBR-800-ID-PRO-PI-017-RV2. BPC 3440.pdf

**ANEXO B.** Matriz de criticidad corporativa de ODL.

Revisar documento digital de matriz de criticidad corporativa de ODL. Nombre del archivo: ANEXO B GR-F-001 - Formato Matriz Para Valorar riesgos V4.xls