



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“DESARROLLO DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE FALLAS, JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS CRÍTICOS Y RIESGOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO AMAZONAS DE OCP ECUADOR”

Ing. Carlos Homero Adriano Condo

Proyecto de investigación, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en:

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero – 2016



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“DESARROLLO DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE FALLAS, JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS CRÍTICOS Y RIESGOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO AMAZONAS DE OCP ECUADOR”

Proyecto de investigación, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en:

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”

AUTOR: ING. CARLOS HOMERO ADRIANO CONDO
TUTOR: ING. JULIO NOLBERTO PÉREZ GUERRERO. (PhD)

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero – 2016



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “Desarrollo de un modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador”, de responsabilidad del Ingeniero Carlos Homero Adriano Condo, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

_____ Ing. Wilian Enrique Pilco Mosquera. (Msc) PRESIDENTE	_____ FIRMA
_____ Ing. Julio Nolberto Pérez Guerrero. (PhD) DIRECTOR	_____ FIRMA
_____ Ing. Juan Rafael Pérez Pupo. (PhD) MIEMBRO	_____ FIRMA
_____ Ing. Marcelo Nelson Navarro Ojeda. (PhD) MIEMBRO	_____ FIRMA
_____ COORDINADOR SISBIB ESPOCH	_____ FIRMA

Riobamba, Enero 2016

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Carlos Homero Adriano Condo, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FIRMA
No. 0602208076

LISTA DE CONTENIDOS

	Pág.
DERECHOS INTELECTUALES	IV
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE GRÁFICOS	XI
AGRADECIMIENTO	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPITULO I	- 15 -
1. Introducción	- 15 -
1.1. Problema de investigación	- 16 -
1.2. Planteamiento del problema	- 17 -
1.3. Formulación del problema	- 18 -
1.3.1. Sistematización del problema	- 18 -
1.4. Justificación de la investigación	- 19 -
1.4.1. Justificación Práctica	- 20 -
1.4.2. Justificación metodológica	- 21 -
1.5. Objetivos	- 21 -
1.6. Hipótesis	- 22 -
1.7. Variables	- 22 -
CAPITULO II	- 23 -
2. Marco de referencia teórico conceptual	- 23 -
2.1. Conceptos de mantenimiento análisis de falla y riesgo.	- 23 -
2.2. Tipos de mantenimiento	- 26 -
2.2.1. Mantenimiento Preventivo	- 27 -
2.2.2. Mantenimiento Predictivo	- 28 -
2.2.3. Mantenimiento basado en condición	- 29 -
2.2.4. Mantenimiento centrado en confiabilidad.	- 32 -
2.3. Herramientas para la optimización de la confiabilidad	- 34 -
2.3.1. Análisis de los modos y efectos de falla	- 36 -

2.3.2.	Propósito del análisis de modos de fallas	- 37 -
2.3.3.	Categorías de las consecuencias de los modos de fallas según el mantenimiento centrado en confiabilidad	- 38 -
2.3.4.	Clasificación de la severidad de la falla	- 39 -
2.3.5.	Frecuencia o probabilidad de falla	- 40 -
2.3.6.	Análisis de los modos de fallo, de sus efectos y criticidad (AMFEC)	- 41 -
2.3.7.	Evaluación de las consecuencias de las fallas	- 41 -
2.3.8.	Consecuencias en la seguridad y el ambiente	- 41 -
2.3.9.	Fallas Ocultas con consecuencias en la seguridad y el ambiente	- 42 -
2.3.10.	Fallas múltiples y búsqueda de fallas	- 43 -
2.4.	Administración del riesgo	- 43 -
2.4.1.	Principios para evaluación de riesgos aplicados a mantenimiento	- 45 -
2.4.2.	Inspección basada en riesgos	- 46 -
2.4.3.	Beneficios de realizar inspección basada en riesgo	- 47 -
2.4.4.	Medición del riesgo	- 48 -
2.5.	Conclusiones del capítulo II	- 49 -
 CAPITULO III		- 50 -
3.1.	Métodos y materiales	- 50 -
3.2.	Fundamentación de la solución	- 50 -
3.3.	Análisis del proceso en la gestión de mantenimiento	- 52 -
3.4.	Metodología de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador	- 54 -
3.5.	Estructura de la metodología	- 54 -
3.6.	Fases de la metodología	- 55 -
3.7.	Diagnóstico de la situación actual.	- 59 -
3.7.1.	Diagnostico basado en histórico de fallas y reparaciones.	- 59 -
3.7.2.	Diagnostico basado en la condición	- 60 -
3.8.	Análisis de modos de falla	- 60 -
3.8.1.	Taxonomía de los activos.	- 61 -
3.8.2.	Estandarización de los modos de fallo.	- 62 -
3.8.3.	Análisis de costos de modos de fallas	- 64 -
3.9.	Jerarquización de activos críticos	- 65 -

3.9.1. Clasificación de los activos críticos	- 65 -
3.10. Análisis de riesgos	- 66 -
3.10.1. Cálculo de la probabilidad de falla	- 67 -
3.10.2. Determinar las consecuencias funcionales.	- 68 -
3.11. Evaluación de la eficiencia de la metodología.	- 69 -
3.12. Conclusiones del capítulo III.	- 70 -
CAPITULO IV	- 71 -
4.1. Resultados y discusión	- 71 -
4.2. Diagnóstico inicial de la estación de bombeo Amazonas.	- 71 -
4.2.1. Diagnostico basado en histórico de fallas y reparaciones	- 71 -
4.3. Resultados del análisis de modos de falla	- 72 -
4.3.1. Taxonomía de los activos	- 73 -
4.3.2. Estandarización de los modos de falla	- 75 -
4.3.3. Análisis de costos	- 78 -
4.4. Jerarquización de activos críticos	- 80 -
4.4.1. Clasificación de equipos críticos	- 82 -
4.4.2. Redundancia de los equipos de la estación de bombeo Amazonas.	- 83 -
4.4.3. Matriz de criticidad	- 84 -
4.5. Análisis de riesgos	- 85 -
4.5.1. Cálculo de la probabilidad de falla	- 85 -
4.5.1.1. Tiempo medio entre fallos	- 86 -
4.5.2. Determinar las consecuencias funcionales	- 87 -
4.6. Interpretación del riesgo	- 88 -
4.7. Resultados de la aplicación de la metodología	- 90 -
4.8. Validación de la hipótesis.	- 91 -
4.8.1. Variables operacionales	- 91 -
4.8.2. Planteamiento de la hipótesis.	- 92 -
4.8.3. Nivel de significancia.	- 92 -
4.8.4. Análisis de datos.	- 92 -
4.8.5. Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis.	- 92 -
4.8.6. Prueba de hipótesis.	- 94 -
4.8.7. Toma de decisión.	- 95 -

CONCLUSIONES	- 96 -
RECOMENDACIONES	- 98 -
BIBLIOGRAFÍA	- 99 -
ANEXOS	- 103 -
Anexo A. Códigos de modos de falla de equipos rotatorios	- 103 -
Anexo B. Códigos de modos de falla de equipos mecánicos	- 104 -
Anexo C. Códigos de modos de falla de equipos eléctricos	- 105 -
Anexo D. Códigos de modos de falla de equipos de seguridad y control	- 106 -
Anexo E Código De Identificación De Equipos	- 107 -

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1.Evolución del mantenimiento	- 26 -
Tabla 2.2. Ejemplo Plan Mantenimiento preventivo de motor de combustión interna	- 27 -
Tabla 2.3. Ejemplo ilustrativo clasificación de severidad	- 40 -
Tabla 3.1. Agrupación, categorización y clases de equipos	- 64 -
Tabla 4.1. Órdenes de trabajo correctivas tabuladas por años	- 72 -
Tabla 4.2.Taxonomía de equipos de la estación Amazonas.	- 75 -
Tabla 4.3. Codificación de modos de falla de activos rotativos de OCP Ecuador	- 76 -
Tabla 4. 4. Probabilidad de falla cuantitativa para equipos de OCP Ecuador.	- 83 -
Tabla 4.5. Cálculos de la probabilidad de falla aplicando la redundancia.	- 84 -
Tabla 4.6. Matriz de criticidad	- 84 -
Tabla 4.7. Tasa de fallas por año de la estación de bombeo Amazonas	- 86 -
Tabla 4.8. Ejemplo de TMEF de equipos de la estación de bombeo Amazonas	- 87 -
Tabla 4.9. Impactos y consecuencias	- 88 -
Tabla 4.10. Clasificación de los riesgos para OCP Ecuador	- 89 -
Tabla 4.11. Riesgos del proceso de fiabilidad mediante los modos de falla	- 89 -
Gráfico 4.6. Resumen de costos en dos periodos iguales del 2014 y 2015	- 91 -
Tabla 4.12. Modos de falla y costos 2014 y 2015	- 93 -
Tabla 4.13. Correlación de los datos	- 93 -
Tabla 4.14. Prueba de hipótesis t-student	- 94 -

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura.1 1. Perfil geográfico de Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador	- 16 -
Figura 2.1. Ejemplo de una curva de falla potencial de un rodamiento	- 32 -
Figura 2.2. Cuadro de categoría de modos de fallas.	- 39 -
Figura 2.3. Datos de corrosión de tanque de almacenamiento de crudo de la estación Amazonas	- 47 -
Figura 3.1. Proceso de sistema de análisis de fallas	- 52 -
Figura 3.2. Modelo para análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos	- 58 -
Figura 3.3. Clasificación de la taxonomía para equipos de la estación Amazonas	- 62 -
Figura 3.4. Criterios de importancia de las consecuencias funcionales.	- 69 -
Figura 4.1. Taxonomía de una bomba centrífuga de la estación de bombeo Amazonas.	- 74 -
Figura 4.2. Descripción de las funciones principales de la estación Amazonas.	- 82 -

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 2.1. Matriz de riesgos probabilidad y consecuencias	- 48 -
Gráfico 4.1. Tabulación de órdenes correctivas de la estación Amazonas	- 72 -
Gráfico 4.2. Modos de falla por categoría de equipos de la estación Amazonas.	- 77 -
Gráfico 4.3. Modos de falla por clase de equipos en la estación Amazonas	- 78 -
Gráfico 4.4. Diagrama de Pareto de costos modos de falla de la estación de bombeo Amazonas.	- 79 -
Gráfico 4.5. Diagrama de Pareto de los costos por clase de equipos	- 80 -
Gráfico 4.7. Resumen de eventos, modos de falla y costos del 2014 y 2015	- 94 -
Gráfico 4.8. Punto de aceptación de la hipótesis.	- 95 -

AGRADECIMIENTO

El adquirir nuevos conocimientos científicos, técnicos y humanísticos ha sido uno de los objetivos de mi vida, en cada uno de los retos planteados siempre están presente los esfuerzos de otros actores, por lo cual mi especial agradecimientos primero a Dios, a mi esposa Raquel, a mis hijos Andrés, Mateo y a mis padres quienes con su amor, paciencia y sacrificio han permitido alcanzar con éxito la meta final.

Un agradecimiento especial al Instituto de Postgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH y sus profesores; a la Empresa Oleoductos de Crudos Pesados y sus directivos por facilitar el tiempo e información para el desarrollo del trabajo presentado.

Mi gratitud especial al Dr. Julio Pérez G., Dr. Rafael Pérez y Dr. Marcelo Navarro. Quienes han compartido sus conocimientos y amistad durante el tiempo que ha durado la investigación.

Carlos Homero Adriano Condo

RESUMEN

Las dificultades que atraviesa actualmente el sector petrolero a nivel mundial y nacional por los bajos precios del crudo, han afectado también a Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) Ecuador, con recortes presupuestarios, con el propósito de dar respuesta a la problemática, se planteó el objetivo de desarrollar un modelo de análisis de modos de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador. La metodología desarrollada está compuesta por cuatro fases, iniciando con el diagnóstico de la situación actual, identificando y estandarizando los modos de falla, jerarquizando los activos críticos para las operaciones y que estos interactúen con la administración basada en riesgos y de esta forma la gestión se orienta a los activos que realmente necesitan ser intervenidos conociendo su impacto y sus consecuencias. Con la aplicación del modelo se mostró un ahorro del 20% en los costos de mantenimiento correctivo en el año 2015 con relación al 2014, con lo que se concluye que el trabajo de investigación si mejoro la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, por lo tanto se recomienda extender la aplicación del modelo a otras estaciones de bombeo de otros Oleoductos.

Palabras claves: <MODOS DE FALLA>, <RIESGOS>, <PETRÓLEO>, <CONSECUENCIAS>, <CONFIABILIDAD>, <ESTACIÓN AMAZONAS>, <OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS [OCP]> <GESTIÓN DE MANTENIMIENTO>

ABSTRACT

The difficulties currently facing the oil sector to global and national levels by low oil prices have also impacted Heavy Crude Pipeline Ecuador (OCP) with budget cuts. In order to respond to the problems, it is raised the objective to develop a model of analysis of failure modes, critical assets classification and risks to improve efficiency in the Amazon pumping station OCP Ecuador. The developed methodology consists of four phases, starting with the diagnosis of the current situation, identifying and standardizing the failure modes, prioritizing critical assets for operations and these interact with the risk based management in this way the management is guided to the assets really need to be intervened knowing their impact and consequences. The application of the model showed a saving of 20% in the costs of corrective maintenance in the year 2015 year compared to 2014. The current work concludes that the research improved the efficiency in management of maintenance of the Amazon pumping station; therefore it recommends extending the application of the model to other pumping stations from other pipelines.

Keywords: <FAILURE MODES>, <RISKS>, <OIL>, <CONSEQUENCES>, <RELIABILITY>, <AMAZON STATION>, <HEAVY CRUDE PIPELINE [OCP]> <MAINTENANCE MANAGEMENT>.

CAPITULO I

1. Introducción

Dentro de la situación actual del sector petrolero nacional y mundial por los bajos costos del barril de petróleo, Oleoducto de Crudos Pesados (OCP Ecuador), también sufre la afectación de estas condiciones económicas, la dirección para solventar estos nuevos desafíos ha implementado nuevas estrategias para afrontar estas dificultades, una de las estrategias es la implementación de la gestión de procesos, dentro de los cuales un proceso clave para Oleoducto de crudos pesados OCP Ecuador es el proceso de fiabilidad.

La fiabilidad y la mantenibilidad han sido estudiadas y aplicadas por años dentro de todo tipo de industrias, realizando planes de mantenimiento preventivos, correctivos, predictivos, reingeniería de procesos, etc. Sin embargo de la misma manera así como el desarrollo de la tecnología ha tenido avances acelerados en los últimos años, también la gestión de la fiabilidad ha tenido que realizar avances importantes en consonancia con la modernización de los activos.

Algunos avances tecnológicos y conceptuales de la fiabilidad se ha enfocado en conocer las causas que originan las fallas de los equipos con el propósito de establecer planes de control y mitigación de las mismas, una filosofía que ha contribuido a una administración moderna y rentable es el mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), el cual parte en conocer el contexto operacional del activo.

Uno de los principios del MCC es estudiar los modos de fallas de los equipos, para los cuales se han creado métodos de análisis tanto cualitativos como cuantitativos, se han creado normativas nacionales como son las API, SAE, AENOR a nivel internacional como son las normas ISO, se han creado organizaciones de profesionales que se dedican a su estudio.

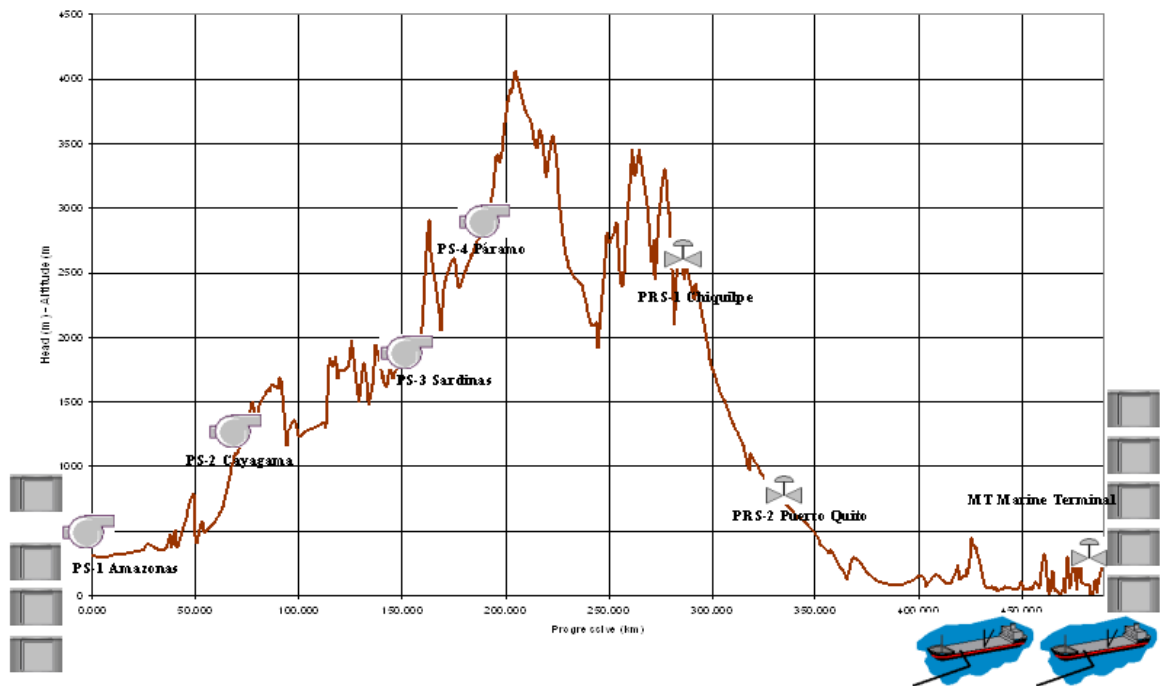
Sin embargo las fallas siguen ocurriendo, por lo tanto continúan las paradas de equipos, pérdidas de producción, accidentes, en fin pérdidas económicas.

Con el presente estudio esperamos contribuir a la ciencia y a Oleoducto de Crudos Pesados, a disminuir los costos en la gestión de la estación de bombeo Amazonas.

1.1. Problema de investigación

Una de las empresas en la transportación de petróleo que opera en el Ecuador es OCP ECUADOR S.A (Oleoducto de Crudos Pesados), constituida con capital privado, quien se encarga de la operación y mantenimiento del Oleoducto hasta el 2023, fecha en la cual se revierte al Estado Ecuatoriano con todas las instalaciones. El oleoducto esta compuesto por, un terminal de recepción de crudo con capacidad de 1.500.000 barriles, cuatro estaciones de bombeo, dos estaciones reductoras, una estación de bloqueo automático y un terminal de despacho en Balao Esmeraldas, con capacidad de almacenamiento de 2.500.000 barriles y dos boyas de despacho. El perfil de la trayectoria del Oleoducto de crudos pesados se puede observar en la figura 1.1

Figura.1 1. Perfil geográfico de Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador



Fuente: Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador

OCP Ecuador actualmente se encuentra en la fase de implementación de procesos como su modelo de gestión a largo plazo.

OCP Ecuador al ser un Oleoducto nuevo y con equipos modernos, su modelo de gestión se basó en el mantenimiento preventivo estableciendo las rutinas recomendadas por los fabricantes de los equipos, dentro de las cuales la ejecución se realiza por horas de servicio y se remplazan los elementos sin importar la condición en las que se encuentren, un proceso de apoyo y soporte es el proceso de Fiabilidad, el cual se encuentra compuesto por cuatro sub procesos los cuales son Planificación, Ejecución, Monitoreo y Análisis. Un estudio inicial realizado a las actividades de mantenimiento de la empresa OCP Ecuador, basado en los informes de fiabilidad de los años 2011, 2012, 2013 y 2014, arrojó los siguientes resultados:

- Costos de mantenimiento correctivo por encima de lo aceptado para la organización.
- Paradas de bombeo que ocasionan la interrupción del normal funcionamiento del oleoducto, cuyo costo por parada tiene un costo de 2.000 dólares.

En unión a lo anterior la baja del precio del barril de petróleo ha hecho que la empresa haya adoptado nuevas políticas financieras como es la reducción de costos en las operaciones, lo cual repercute en el presupuesto de mantenimiento, esto incorpora una nueva dificultad y es resolver los problemas con menos cantidad de dinero.

1.2. Planteamiento del problema

Según investigaciones de la fiabilidad de los sistemas de transporte de petróleo un indicador de gestión del mantenimiento es la disponibilidad de los equipos, según la agencia de riesgos y transporte de materiales peligrosos de los Estados Unidos, se establece como una meta de la fiabilidad las alternativas siguientes: disminución de los incidentes y ordenes correctivas, número de incidentes del oleoducto y otros riesgos, numero de eventos de incidentes de alto riesgo. (PHMSA , 2012).

Ecuador es productor de petróleo con una producción diaria de 550000 barriles, (ARCH, Abril, 2015). Un análisis de la historia de esta industria en nuestro país muestra los acontecimientos que han marcado al transporte del petróleo (Petroecuador EP, 2013).

El Sistema de Oleoducto Transecuatoriano SOTE, inicio sus operaciones en el año 1972, durante sus 43 años de funcionamiento ha sufrido más de 20 roturas en su estructura (Albán, 2009).

Por otra parte OCP Ecuador, que es el otro oleoducto que opera en el Ecuador, durante sus 12 años de operación, se han producido dos derrames de petróleo, el 25 de febrero del 2009 y 8 de Abril del 2013, (OCP Ecuador. S.A, 2009) y (OCP Ecuador. S.A, 2013).

OCP Ecuador se ha planteado el mejoramiento de sus procesos, dentro de los cuales el proceso de fiabilidad, con el sub proceso de análisis está empeñado en eliminar las causas de las fallas que mayores recursos requieren, en especial las que aquejan a los equipos rotativos, como son equipos de bombeo, motores de combustión, compresores y generadores de energía eléctrica.

Una evaluación a priori de la elevación de los costos y perdidas arroja que entre ellas se encuentran el incremento de fallos por carencias de estudios para eliminar las causas de las fallas asociadas a los riesgos y la falta de jerarquización de activos críticos que permita gestionar la optimización y eficiencia del mantenimiento en la estación de bombeo Amazonas perteneciente a OCP Ecuador.

1.3. Formulación del problema

En función de la problemática antes relacionada podemos plantear la siguiente pregunta:
¿De qué manera la falta de un modelo de análisis de fallas, jerarquización de equipos críticos afecta a la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas perteneciente a la empresa OCP Ecuador?

1.3.1. Sistematización del problema

¿Cuáles son los factores que constituyen elementos esenciales para disminuir los costos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas?

¿Cómo influyen las fallas de los equipos rotativos en los costos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas?

¿Cómo influye la falta de estandarización de los modos de fallas de los equipos en los costos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas?

¿Qué relación guardan los equipos críticos y los riesgos en la eficiencia del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas?

¿De qué forma se evaluará la efectividad del modelo de análisis de fallas, equipos críticos y riesgos para que tengan efectividad en la eficiencia de la gestión del mantenimiento en la estación de bombeo Amazonas?

1.4. Justificación de la investigación

En este mundo globalizado la economía, es un factor muy importante lo que requiere nuevos enfoques, métodos y herramientas que permitan aumentar la competitividad y eficiencia en los procesos productivos.

El petróleo como una fuente de energía no renovable ha requerido para su exploración, producción, exportación y refinamiento la inversión de grandes cantidades de dinero, para la compra de equipos, sistemas de transportación, plantas de refinación y comercialización.

Uno de los procesos principales del proceso de producción del petróleo es el transporte del crudo mediante oleoductos, los cuales constan de estaciones de bombeo, estos son los encargados de transportar 92.5 millones de barriles diarios (OPEC, 2015) de petróleo desde los pozos de producción hasta los puertos de exportación. Estos sistemas de bombeo tienen alta responsabilidad en el funcionamiento de la industria del petróleo dado que una falla en ellos puede originar tanto grandes pérdidas económicas como desastres ambientales.

Actualmente Oleoducto de Crudos pesados OCP Ecuador, ha cambiado su modelo de administración adoptando la gestión por procesos, adoptando la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para todos los equipos rotativos, con lo cual apunta a mejorar la fiabilidad de sus activos.

Para la aplicación de este nuevo modelo de gestión se requiere disponer de bases de datos con registros de problemas muy bien identificados, por lo cual se plantea realizar el análisis de fallas ocurridas en la estación de bombeo Amazonas, crear un modelo de jerarquización de activos críticos, análisis de fallas interrelacionando con la gestión de riesgos.

En función del problema de investigación la búsqueda de bibliografía especializada arroja que existen varias metodologías y modelos para este trabajo, tales como son el mantenimiento centrado en confiabilidad, Análisis de causa raíz, análisis de modos de fallas y criticidad, análisis de riesgos, análisis de árbol de fallas, lo cual contribuye el sustento teórico y metodológico para este trabajo, sin embargo estos modelos teóricos y metodológicos no es conveniente aplicarlos de forma directa, por lo cual requiere de adaptación de forma concreta a la estación de bombeo Amazonas y obtener un modelo específico al contexto productivo de la empresa.

En función de ello consideramos que el trabajo tiene tanto valor metodológico como práctico que justifican su realización según se describe más adelante.

La investigación de esta tesis está orientada a la creación de un modelo para la jerarquización de activos críticos, el análisis de fallas y riesgos, lo cual orientará los esfuerzos de mano de obra y económicos hacia los equipos que realmente pueden detener la producción y afectar los objetivos de la organización.

1.4.1. Justificación Práctica

En la estación de bombeo Amazonas se tienen costos elevados por mantenimientos correctivos lo que constituye un problema práctico y concreto de la organización que demanda una rápida solución que garantice la eficiencia de este sistema productivo.

Partiendo de tal problema la investigación va orientada a proponer un modelo que garantice disminuir los costos a partir del análisis, lo cual da un valor concreto y práctico a la tesis. El estudio se basa en establecer un modelo y un procedimiento mediante el cual, los supervisores y técnicos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, realizarán la gestión, planificación y ejecución del mantenimiento enfocados en buscar la

eficacia y eficiencia de todas las actividades que se ejecuten en los equipos rotativos y críticos de la estación.

1.4.2. Justificación metodológica

El trabajo se justifica dado que se propone un modelo de gestión basado en análisis de fallas, jerarquización de activos y criticidad, sintetizando a partir de las metodologías existentes y precedentes en la literatura, el diagnóstico de la organización y otras fuentes teóricas que garantizan una vez aplicado a la gestión de mantenimiento de forma efectiva dado que es una herramienta creada de forma específica para resolver la problemática planteada. Se propone un modelo que ayudará a tomar decisiones y servirá como guía para las otras estaciones de bombeo de la organización, como también servirá de referencia para otros oleoductos, que deseen implementar un sistema de gestión de mantenimiento basado en análisis de fallas y riesgos lo que da un gran valor metodológico.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Desarrollar un modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador.

1.5.2. Objetivos Específicos

Determinar los factores que constituyen elementos esenciales para disminuir los costos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.

Identificar los modos de fallas de los equipos que influyen en los costos de mantenimiento de la estación Amazonas de acuerdo a la norma (ISO 14224, 2006).

Determinar la relación entre los equipos críticos, los riesgos y la eficiencia de la gestión del mantenimiento en la estación de bombeo Amazonas.

Evaluar que el modelo de análisis de fallas, equipos críticos y riesgos tenga efectividad en la eficiencia de la gestión del mantenimiento en la estación de bombeo Amazonas.

1.6. Hipótesis

El modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos mejora los costos integrales de mantenimiento en más de un 10%, y con ello la eficiencia de la gestión de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas perteneciente a OCP Ecuador.

1.7. Variables

Variable Independiente. “El número de fallas presentadas anualmente, para las cuales se realizara la jerarquización de activos críticos y riesgos en los equipos de la estación de bombeo Amazonas”.

Variable dependiente. “Costos de mantenimiento”

CAPITULO II

2. Marco de referencia teórico conceptual

En el presente capítulo, en correspondencia con el problema de investigación, se realiza el análisis de los conceptos de mantenimiento, fallas y riesgos de los sistemas mecánicos rotativos y de las principales teorías, metodologías, métodos, vinculados a la temática de estudio.

Actualmente una técnica fundamental que ayuda en la conservación de las instalaciones es el análisis de fallas, tanto las que han ocurrido como las que tienen una probabilidad de ocurrir en el futuro, el análisis de modos de fallos se ejecuta mediante la aplicación de técnicas estadísticas, por lo cual también es necesario implementar un sistema informático con la finalidad de registrar todos los eventos ocurridos y se pueda crear una base de datos que facilite los análisis de las fallas, esto permitirá que toda la información de las instalaciones e equipos aporten con las estadísticas y valores cuantitativos de horas de servicio y también de los costos que implican para mantener a los activos.

2.1. Conceptos de mantenimiento análisis de falla y riesgo.

El mantenimiento ha sido desde el inicio de la industria, parte fundamental de su desarrollo, durante el tiempo esta ciencia ha evolucionado desde su forma de ejecutar hasta la administración del mismo, en la actualidad el mantenimiento es considerado dentro de la visión y misión de las empresas, por lo tanto es parte de la estrategia organizacional a largo plazo.

A medida que se incrementa la complejidad de los equipos, los operadores necesitan ayuda de especialistas para poder ejecutar las reparaciones o restaurarlos a las condiciones operativas. Este hecho ha dado lugar al inicio de servicios de talleres especializados con personal con conocimiento y herramientas adecuadas para los diagnósticos y reparaciones.

La gestión del mantenimiento ha evolucionado en forma dinámica y permanente, hacer mantenimiento implica estar acorde con los nuevos desarrollos tecnológicos, nuevos retos para los sectores industriales, comerciales, servicios y agrario. Los nuevos retos están

asociados a la necesidad de optimizar la eficiencia y eficacia en la producción de bienes o en la prestación de servicios, el mejoramiento de la calidad y la integridad de las personas y su ambiente de trabajo.

(Moubray, 1997) Planteó el siguiente postulado y definió mantenimiento como *“asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.”*

(Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002) En su libro analiza como la misión del mantenimiento es asegurar que el activo continúe cumpliendo su función de forma eficiente dentro de su contexto operacional, la definición de este concepto se refiere cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual o se encuentre dentro de sus límites del estándar de ejecución asociado a capacidad inherente de diseño.

Para sintetizar (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002) postula que mantenimiento *“es asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas”*

(Torres, 2005) escribe que hoy a las industrias, bajo una creciente presión de competencia, estas se encuentran obligadas a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo con los plazos de entrega, donde la importancia del mantenimiento es clave para que los equipos mantengan su fiabilidad (confiabilidad) y disponibilidad al máximo, y lo define al mantenimiento *“La finalidad del mantenimiento entonces es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible.”*

El libro ingeniería del mantenimiento (García S. , 2012) define al mantenimiento *“como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento”*.

➤ **El mantenimiento centrado en confiabilidad**

En el libro RCM II (Moubray, 1997) describe dentro de los principios del mantenimiento centrado en confiabilidad con la siguiente pregunta cuando nos referimos a mantener algo, *¿qué es lo que pretendemos que continúe y que es lo que queremos preservar?*

La respuesta a este planteamiento puede encontrarse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla y realice una tarea, en otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones. Entonces cuando nosotros mantenemos unos equipos es porque requerimos preservar en un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario.

➤ **Análisis de modos de falla**

Los estudios realizados sobre el análisis de modos de falla AMEF, (Aguilar, Torres, & Magaña, 2010) aplican en la planeación del mantenimiento de una planta de gas en México, el modelo de gestión aplicado se basa en la normativa (SAE JA1011, 1999) y (SAE JA1012, 2002), las tareas de evaluación del riesgo se establecen se mencionan a continuación.

➤ **Riesgos**

Durante toda la evolución del mantenimiento las metodologías y técnicas se han incorporado nuevos conceptos sobre diferentes aspectos dentro de los cuales se encuentran la definición de riesgos, a continuación se citan algunos conceptos tomados de las normativas que han tenido influencia en la gestión del mantenimiento.

(Norsok Standard Z-013, 2001, Rev. 2) Define como *“La combinación de la probabilidad de que ocurra un daño y la gravedad de dicho daño”*

(INEN-ISO 73, 2009) *“El riesgo se caracteriza a menudo por referencia a los eventos potenciales y consecuencias o a una combinación de estos”*.

(American Petroleum Institute, 2002) Define *“la combinación de la probabilidad de un evento y sus consecuencias. En algunas situaciones riesgo es una desviación de lo esperado. Expresado numéricamente es el producto de la probabilidad por la ocurrencia”*.

2.2. Tipos de mantenimiento

Como lo resume (Moubray, 1997) en su libro mantenimiento centrado en confiabilidad, el incremento en el número y variedad de bienes físicos como son plantas, equipos, edificios que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento y cambiar la ideología con respecto a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

Estos cambios están poniendo a prueba al máximo actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, como ingenieros y gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo evidentes, no importa cuán automatizados estén.

Dentro de la evolución del mantenimiento existen variedad de autores en los cuales se denomina generaciones del mantenimiento, sin embargo existe discrepancias en los años de inicio y fin de cada generación, para este documento se apoya en el libro de (Moubray, 1997) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Tabla 2.1.Evolución del mantenimiento

Primera Generación		Segunda Generación		Tercera Generación			Cuarta Generación
Se interviene si algo se rompe. Mantenimiento correctivo		Planificación y Control del Trabajo. Revisión Programada. Computadoras grandes y lentas		Monitoreo de la condición Análisis de modos de falla Diseño de la fiabilidad y mantenibilidad Computadoras pequeñas y rápidas Sistemas expertos Trabajo de equipo Certificación de calidad			Gestión integrada del mantenimiento basada en nuevos conceptos. Análisis de riesgos Gestión orientada a resultados y a clientes Reingeniería de procesos, mejora de la disponibilidad, Fiabilidad y costos
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Actual

Fuente: libro RCM II (Moubray, 1997)

2.2.1. Mantenimiento Preventivo

La definición de acuerdo a la norma (INEN - EN 13306, 2010), “Mantenimiento realizado a intervalos predeterminado o según criterios establecidos, y cuyo fin es reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento”

Analizando el concepto podemos describir al mantenimiento preventivo como al mantenimiento que se basa en ejecutar acciones de prevención de fallos incipientes detectados por inspección, actividades de rutina, como atenciones de lubricación, ajustes, etc., de las partes que lo requieran y reposición de dispositivos susceptibles al desgaste a intervalos preestablecidos.

Esta técnica aplica la experiencia que se acumulado por parte de los fabricante de los equipos, está basado en los datos estadísticos de fallas que se han registrados a lo largo del tiempo en diferentes industrias, la identificación de un modelo de degradación con el fin de aplicar acciones específicas de mantenimiento y que los elementos o partes intervenidas vuelvan a un nivel deseable de servicio.

En este tipo de mantenimiento, la frecuencia (tiempo) se ha establecido para efectuar la intervención incluso antes de que se presente o inicie una falla dentro del equipo, conviene subrayar que estas tareas se realizan a intervalos preestablecidos y en su mayoría son recomendaciones por los fabricantes.

Un ejemplo de una programación de mantenimiento preventivo podemos observarla en la tabla 2.2, en la cual se muestra una planificación de mantenimiento de un motor de combustión interna perteneciente a OCP Ecuador.

Tabla 2.2. Ejemplo Plan Mantenimiento preventivo de motor de combustión interna

Tipo de Actividad	Frecuencia en horas	Duración de tarea en horas
Mantenimiento mayor	24000	5 personas (60 horas)
Cambio de lubricante	1000	1 persona (8 horas)
Inspección turbo	2000	1 Persona (2 horas)

Fuente: Carlos Adriano en colaboración de OCP Ecuador

Una de las desventajas principales de la aplicación de esta técnica es que puede ser poco rentable, ya que la mayoría de los elementos se reemplazan prematuramente, independientemente de su estado o condición. Tradicionalmente esta técnica se ha basado en tasas de fallo y su recíproco es el tiempo medio entre fallos (TMEF). Se asume que estas variables pueden determinarse estadísticamente y por ello un elemento puede ser reemplazado antes que falle.

Otra desventaja es que las actividades y tareas del mantenimiento preventivo son de tipo intrusivas sobre los equipos, lo que genera un aumento del gasto de recursos, pérdidas de producción, no solo por la parada de la planta, además por el tiempo que se requiere para restablecer el funcionamiento normal y la probabilidad de la falla del equipo aumenta.

2.2.2. Mantenimiento Predictivo

Esta es una técnica de mantenimiento que evalúa la condición mecánica de la máquina o equipo y su evolución en el tiempo, mientras está funcionando, a través de diversos síntomas que la máquina emite al exterior. En base a esto se programan las necesidades de mantenimiento cuando se detecta un problema dentro del equipo.

Es indudable que el aumento de la vida operativa de los equipos a través de una estrategia de mantenimiento predictiva disminuye los costos de mantenimiento e incrementa la productividad de las industrias. Sin embargo, se ha podido notar a través de experiencias de varias empresas, que no han logrado los resultados esperados principalmente por falta de personas bien capacitadas en el tema. La ingeniería avanza en todos los ámbitos incluyendo los instrumentos y técnicas que se han desarrollado y que de alguna manera sustentan la credibilidad de los programas de mantenimiento predictivos, implementados en diferentes industrias. Para que estos programas sean efectivos, es necesario poder determinar en cualquier instante la condición mecánica real de los equipos bajo estudio, lo cual se logra analizando las diferentes señales físicas que ellas emiten como son (ruido, vibraciones, temperatura, etc.).

Modernos sistemas de computación se ha desarrollado para monitorear continuamente, registrar y procesar la información proveniente tanto de los síntomas, como de los análisis de los datos.

Según la norma (ISO 13372: First Edition, 2004), se define al mantenimiento predictivo *“como el mantenimiento enfocado en la predicción de la falla y en la toma de decisiones basadas en la condición del equipo para prevenir su degradación o falla”*.

De estos conceptos podemos deducir que el mantenimiento predictivo es un proceso, el cual debe estar debidamente documentado, mediante un sistema informático, procedimientos y personal capacitado, con actividades bien definidas para su aplicación. En resumen se trata de la aplicación de técnicas que buscan definir la tendencia operacional de un equipo, a través del análisis de datos y por medio del monitoreo de diferentes variables del equipo.

2.2.3. Mantenimiento basado en condición

Una definición del mantenimiento basado en la condición que se cita a continuación es de la norma (INEN - EN 13306, 2010) *“Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las siguientes acciones de mantenimiento”*.

Si analizamos el concepto es un tipo de mantenimiento preventivo que utiliza tareas que monitorean la condición de un elemento en el tiempo, a medida que avanza en el tiempo la variable monitoreada se decide ejecutar el mantenimiento en base al rendimiento o la condición dinámica de los equipos.

El mantenimiento basado en condición está basado en dos propósitos:

- Determinar si un problema existe en el elemento o parte monitoreada, cuan serio es, y cómo se comporta en el tiempo antes de fallar.
- Detectar e identificar componentes específicos dentro de un elemento o parte que se está degradando y diagnosticar el problema.

El análisis de este concepto nos da a entender que un buen mantenimiento se basa en una buena planificación del mantenimiento, en el cual existen muy pocas tareas correctivas y los intervalos del mantenimiento preventivo sean lo más precisos posibles. Actualmente con los métodos y técnicas de monitoreo, se pueden hacer funcionar los equipos justo

hasta antes de la falla, con lo cual se incrementa la producción de forma segura y se bajan los costos de mantenimiento.

El mantenimiento basado en la condición fue implementado a partir del año 1960, durante los estudios de rendimiento y desempeño de la aviación, con el propósito de mejorar el programa de mantenimiento preventivo, el estudio realizado en los aviones Boeing 747, determinó las características de las fallas de los componentes. El estudio fue auspiciado por el departamento de defensa de los estados Unidos, y fue documentado y publicado por (Nowland & Heap, 1978).

El estudio de (Nowland & Heap, 1978) también da a conocer que solamente una parte relativamente pequeña de todos los componentes tenían características de envejecimiento (11%), el resto de componentes (89%) no mostró las características de envejecimiento, consecuentemente no son aplicables las reparaciones planificadas de todo el equipo.

Evidentemente la característica del envejecimiento de un componente no es el mejor enfoque y en algunas aplicaciones no es posible programar una planificación apropiada. Este factor introduce el mantenimiento basado en condición y el monitoreo de la condición como una solución al problema.

El propósito del monitoreo de la condición de un elemento o parte es recolectar los datos de la condición en que se encuentra y en lo posible detectar una falla en su estado de inicio y poder planear tareas de mantenimiento dentro del tiempo apropiado. Otro propósito del monitoreo de la condición es el incremento del conocimiento de la causa de la falla y los efectos que produce el deterioro.

Existen diferentes técnicas de medición de la condición de un elemento, dependiendo del tipo de falla potencial, una serie de mediciones pueden llevarse a cabo con una o más técnicas, (Moubray, 1997), clasifica las técnicas de monitoreo acorde a los síntomas de los elementos.

- Efectos dinámicos, tales como vibración y ruido.
- Partículas liberadas en el ambiente.

- Químicos liberados en el ambiente.
- Efectos físicos, tales como grietas, fracturas, desgaste y deformaciones.
- Incrementos de temperatura en el equipo y
- Efectos eléctricos, tales como resistencia, conductividad, aislamiento eléctrico, etc.

Estos síntomas mencionados son algunos de todos los parámetros de la condición de monitoreo, la técnica de monitoreo de mayor desarrollo y utilización es el análisis de vibraciones, el análisis de aceites es otra técnica que monitorea la condición del equipo.

El mantenimiento basado en condición aprovecha y utiliza los resultados de estas actividades de monitoreo, y los guarda para futuros análisis, realiza un diagnóstico de una falla potencial y pronostica la vida útil de los componentes, esto es usado para realizar un plan más efectivo y disponer de posibles tareas de mantenimiento.

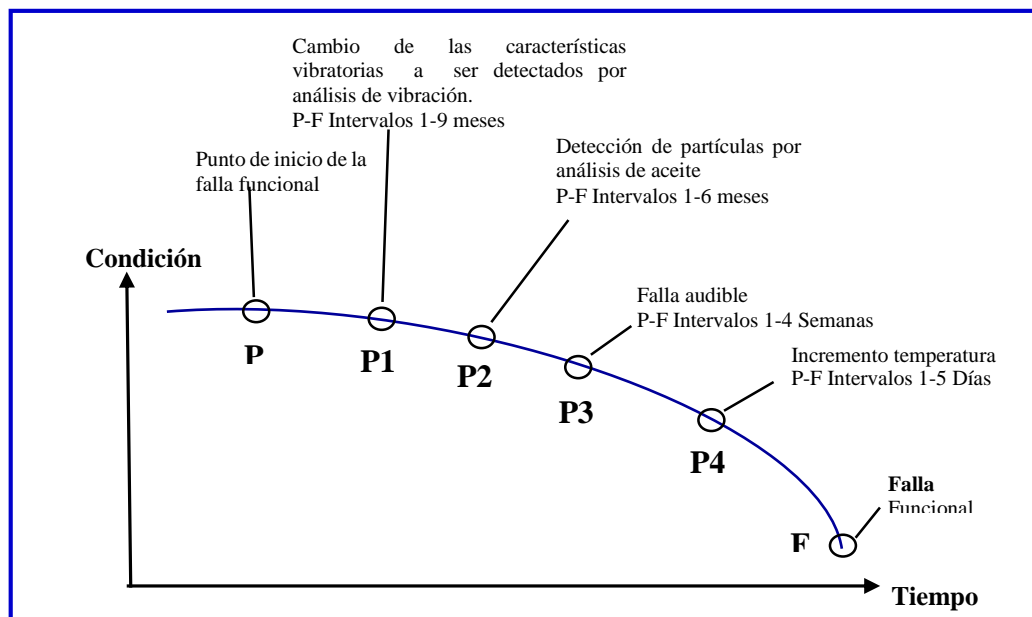
El mantenimiento basado en la condición contribuye en los siguientes aspectos:

- Reduce los costos de mantenimiento y reemplazos innecesarias, ahorrando partes y mejorando la confiabilidad de los equipos, limitando los daños, detectando los fallos en su estado inicial, haciendo posible las reparaciones y disminuyendo las paradas y disminuyendo también daños secundarios.
- Otra discusión que a lo largo del tiempo se ha desarrollado entre varios autores y estudios del mantenimiento son los intervalos de la planificación del mantenimiento que están basados en la edad de los equipos, pero esto no es siempre la mejor propuesta, otras alternativas pueden ser consultadas y aplicadas, en muchos de los casos dependerá de la estrategia que la compañía quiera dar a sus activos.
- Muchas de las fallas no están relacionadas con la edad, más la mayoría de las fallas son incipientes y dan alertas antes de fallar (Moubray, 1997), esto se denomina falla potencial, esto se materializa a través de una curva del comportamiento de la falla y las técnicas que podemos utilizar a medida que la falla avanza en el tiempo, esta curva es conocida en la literatura como P-F. En la figura 2.1 podemos observar el

comportamiento de una falla de un rodamiento que es un elemento que ha sido muy estudiado por muchos años y por diferentes investigadores.

En la curva P-F del ejemplo vemos la aplicación de diferentes técnicas de monitoreo basado en la condición y los intervalos de tiempo en las que son aplicadas.

Figura 2.1. Ejemplo de una curva de falla potencial de un rodamiento



Fuente RCM (Moubray, 1997)

El intervalo P-F de algunas condiciones potenciales de falla pueden variar mucho entre un equipo y otro, la elección de la condición más apropiada depende del análisis de la información y la recopilación de datos realizadas con anterioridad, la técnica que se utilice para el monitoreo de la falla potencial también influye en determinar un buen diagnóstico.

2.2.4. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad se puede considerar como una filosofía de gestión del mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta

los posibles efectos que originaran los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

La confiabilidad es un término cuya definición esta intrínsecamente asociada a la fase operativa de los activos industriales o sistemas operativos.

Citaremos algunos conceptos establecido a lo largo del tiempo por diverso autores, sin embargo citaremos a los que consideramos de mayor trascendencia.

Uno de los autores de mayor aporte al MCC (Moubray, 1997) define *“Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.”*

Analizando este concepto es que si alguien adquiere un activo físico es para poner en servicio para que cumpla y realice una tarea determinada, en otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones, lo que los usuarios quieren dependerá en exactamente dónde y cómo el activo está siendo usado, que corresponde al contexto operacional.

Otro autor que consideramos ha aportado conceptos es (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002), define al MCC *“Un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente.”*

Un aspecto favorable a esta filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad, es que la misma promueve el uso de nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del mantenimiento centrado en confiabilidad, esto permite de forma eficiente optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en su contexto operacional específico.

Un nuevo concepto introduce (Parra & Primera, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), 2006) que define al MCC como una *“Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encargá de optimar*

la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades, más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaron los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”.

Analizando los conceptos antes citados podemos concluir que el mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología que permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento que permite garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción.

La filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad, propone una metodología lógica de pasos que se deben aplicar durante su implementación, que permite identificar las necesidades reales del mantenimiento de los activos, tomando en cuenta siempre su contexto operacional.

El proceso del MCC está enfocado en identificar lo que se debe hacer para garantizar las funciones del activo, en forma segura, rentable y confiable. Por lo tanto el primer paso en el proceso es identificar claramente las funciones del activo desde el punto de vista del usuario del equipo.

En complemento a lo descrito el MCC requiere también de los otros tipos de mantenimiento como son el mantenimiento preventivo, predictivo, basado en la condición y también considera al mantenimiento correctivo, todo dependerá de las condiciones operativas del proceso.

2.3. Herramientas para la optimización de la confiabilidad

Las principales herramientas que se utiliza para la gestión de activos las cuales contribuyen de manera sustancial al mejoramiento de la confiabilidad son las siguientes.

- El análisis de criticidad, es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto y consecuencia que representa para las instalaciones industriales, esto ayuda y facilita la toma de decisiones.

- El Análisis de modos y efectos de falla (AMEF), es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que ocurren los eventos.
- La inspección basada en riesgos (RBI), es la técnica que permite definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar a las personas, a los procesos y al ambiente.
- El análisis Costo Riesgo Beneficio (ACRB), es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización, o no, de tal acción.
- El análisis del costo de vida (LCC), es una técnica que permite elegir entre otras opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.
- Análisis cuantitativo de Pareto, es una herramienta avanzada de mantenimiento utilizada para la identificación y jerarquización de datos, con el fin de mostrar de una forma gráfica los problemas que tienen mayor relevancia, es conocido también como la regla del 80/20, que hay muchos problemas de poca relevancia frente al 20 que representan problemas de mayor importancia.
- El Análisis causa raíz (ACR), es un procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigar o eliminar.

Estas técnicas se las pueden aplicar de forma sistemática y secuencial, sin embargo la aplicación de todo el conjunto en muchas instalaciones no siempre es posible, por esta razón la elección de la herramienta que mejor se ajuste a las necesidades y requerimiento de la organización es indispensable, en algunas ocasiones se pueden combinar entre varias técnicas de manera cíclica para la obtención de los mejores resultados.

La aplicación de las técnicas ayuda a mitigar y controlar la repetición de las averías, eliminar los defectos en la producción y por lo tanto aumentar la eficiencia en los procesos razones por las cuales usar estas metodologías de confiabilidad permitirá mejorar la confiabilidad operacional, dentro de la cual la participación activa del personal de empresa optimizando los recursos destinados al departamento de mantenimiento.

2.3.1. Análisis de los modos y efectos de falla

El análisis de modos de falla y efectos de falla (AMEF), constituye la herramienta principal del mantenimiento centrado en confiabilidad, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo del mantenimiento centrado en confiabilidad, a los distintos activos, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o los efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de las actividades del mantenimiento, las cuales actuaran sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El análisis de los modos de fallos y sus efectos ha sido estandarizado, y la norma que adoptado nuestro país es la (NTE INEN-IEC 60812, 2014), es un procedimiento sistemático de análisis de un sistema para identificar los modos de fallo potenciales, sus causas y sus efectos en el funcionamiento del sistema o proceso.

Para tener un mejor entendimiento citaremos a continuación algunas definiciones de los términos que se utilizan para la elaboración e identificación de las fallas y que deben ser escritas en un (AMEF).

Falla funcional. (Parra, Course of Realiability - Centered Maintenance, 1998)“Falla funcional es definida como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el estándar de ejecución esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña, trayendo como consecuencia que el activo no pueda cumplir con su función o la cumpla de forma ineficiente”.

En la publicación de (Torres, 2005) se da el concepto de falla como *“El deterioro o desperfecto en las instalaciones, maquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento”*.

La norma (ISO 14224, 2006) establece falla como “*La terminación de la capacidad de un elemento a desempeñar la función requerida*”.

De los conceptos citados se puede establecer que el estudio de las fallas es fundamental para poder desarrollar métodos que permitan implementar la prevención y predicción de fallas, por lo cual el análisis de fallas nos permitirá controlar y minimizar al máximo la ocurrencia de fallas con el fin de optimizar la gestión de mantenimiento.

2.3.2. Propósito del análisis de modos de fallas

Las razones para comprender un análisis de los modos de fallas y sus efectos (AMEF) o un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (AMEFC), las recomendaciones de la normativa (NTE INEN-IEC 60812, 2014) las citamos a continuación.

- Identificar aquellos fallos que tienen efectos no deseados en el funcionamiento del sistema, por ejemplo impedir o degradar significativamente el funcionamiento o afectar la seguridad del usuario.
- Satisfacer los requisitos contractuales de un cliente, cuando sea aplicable.
- Permitir mejoras de la fiabilidad del sistema o de la seguridad.
- Permitir mejoras de la mantenibilidad del sistema.

- Como se han citado las razones anteriores para emprender un (AMEF), los objetivos de este pueden incluir los siguientes puntos.

- Una identificación y evaluación completa de todos los efectos no deseados dentro de los límites definidos del sistema a analizar y la secuencia de sucesos ocasionados por cada uno de los modos de fallo del elemento en los distintos niveles de la jerarquía funcional del sistema, cualquier que sea la causa.

- La determinación de la criticidad o la prioridad para considerar o mitigar cada modo de fallo respecto al correcto funcionamiento del sistema y su impacto sobre el proceso afectado.

- Una clasificación de los modos de fallo identificados según las características pertinentes, incluyendo su facilidad de detección, su capacidad para el diagnóstico, la capacidad de prueba, medidas de compensación y operación.
- Identificación de fallos funcionales del sistema y la estimación de medidas de su severidad y de probabilidad de fallo.
- El desarrollo de un plan de mejora del diseño de los modos de fallo.
- Apoyo el desarrollo de un plan de mantenimiento eficaz para atenuar o reducir la probabilidad de fallo.

En el proceso de prevención de los modos de fallas, tiene mucho más que ver con la eliminación o reducción de las consecuencias de los modos de falla, que en la prevención misma de los modos de fallas como lo establece (Parra, Course of Realiability - Centered Maintenance, 1998), el legado citado anteriormente, permite considerar que el mantenimiento centrado en confiabilidad, las actividades de mantenimiento óptimas para prevenir los modos de fallas, serán solo aquellas que impidan o minimicen las consecuencias, en otras palabras, una actividad de prevención será eficiente, solo, si esta actividad de mantenimiento, elimina o disminuye la ocurrencia de los posibles consecuencias de los modos de fallas y prevenir dentro del contexto operacional.

2.3.3. Categorías de las consecuencias de los modos de fallas según el mantenimiento centrado en confiabilidad

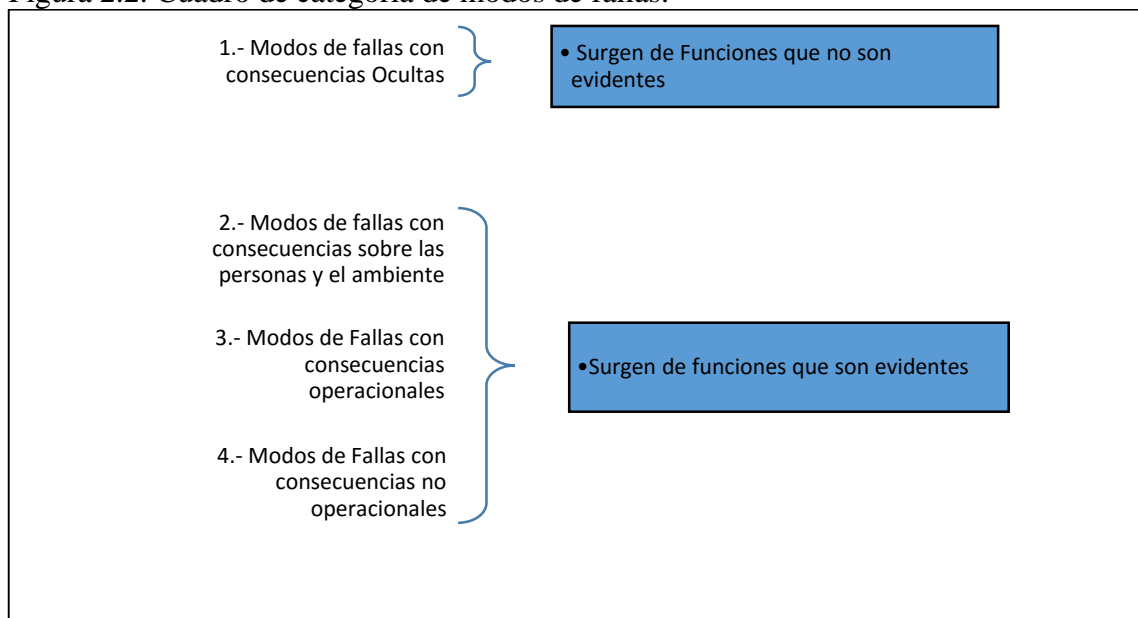
Con el propósito de poder decir cuál es la mejor actividad de mantenimiento a ejecutar, es necesario que el grupo de trabajo de mantenimiento centrado en confiabilidad, tenga claramente definido el aspecto relacionado a las consecuencias de los modos de fallas, el impacto que cualquier modo de falla puede tener sobre la organización dependerá básicamente de tres factores según lo describe (Parra & Primera, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), 2006).

- Del contexto operacional donde funciona el activo
- Del estándar de ejecución deseado, asociado a una determinada función.

- De los efectos o consecuencias físicas que puede provocar la ocurrencia de cada modo de falla.

La combinación de estos tres factores mencionados, hace que cada modo de falla tenga una forma característica de impactar a la seguridad, al ambiente o a las operaciones. Para poder entender esta parte, la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad ha clasificado las consecuencias de los modos de fallas en cuatro categorías, como lo podemos observar en la figura 2.2.

Figura 2.2. Cuadro de categoría de modos de fallas.



Fuente: (Parra & Primera, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), 2006)

2.3.4. Clasificación de la severidad de la falla

La severidad es una valoración de la importancia del efecto del modo de falla en el funcionamiento del elemento. La clasificación de los efectos de la severidad depende en gran medida de la aplicación del análisis del modo y efectos de las fallas y se desarrolla considerando diversos factores como los citados en (NTE INEN-IEC 60812, 2014).

- La naturaleza del sistema a los posibles efectos sobre los usuarios el ambiente como resultado del fallo.
- La función del sistema o proceso.
- Cualquier requisito de la legislación nacional.

- Requisitos de seguridad gubernamental o industrial.
- Requisitos involucrados en una garantía.

A continuación podemos observar en la tabla 2.3, un ejemplo de clasificación de fallas en la cual se establece la clase, nivel de severidad con la categorización de catastrófico, crítico, marginal o insignificante y cada una con sus respectivas consecuencias considerando siempre las personas y/o ambiente.

Tabla 2.3. Ejemplo ilustrativo clasificación de severidad

Clase	Nivel de severidad	Consecuencias a personas o ambiente
IV	Catastrófico	Modo de fallo que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al mismo y su ambiente o dañar al personal
III	Critico	Modos de fallos que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo y su ambiente, pero que no constituye una amenaza seria de daño para la vida del personal
II	Marginal	Modo de fallo que potencialmente podría degradar la funcionalidades sistema sin dañarlo en forma apreciable o sin amenazar la integridad y la vida del personal
I	Insignificante	Modo de fallo que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para la integridad y la vida del personal

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (NTE INEN-IEC 60812, 2014)

2.3.5. Frecuencia o probabilidad de falla

Para determinar la frecuencia de las fallas o la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los modos de fallo, para la evaluación adecuada el efecto y la criticidad del mismo.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo, además de la información publicada relativa a la tasa de fallos, es muy importante considerar el perfil operativo de cada componente que contribuye a su probabilidad de ocurrencia, esto se debe a que, en la mayoría de los casos, la tasa de fallos del componente y la consiguiente tasa de fallo del modo de fallo considerado, aumenta proporcionalmente a la medida que aumenta el esfuerzo aplicado, según la ley exponencial.

La probabilidad de ocurrencia de los modos de fallo en el diseño se puede estimar a partir de:

- Datos de ensayo de la vida del componente

- Base datos de tasas de fallo disponibles
- Datos de fallo del campo, datos de falla para los elementos similares cuando se estima la probabilidad de ocurrencia en AMEF debe considerar el periodo de tiempo real.

2.3.6. *Análisis de los modos de fallo, de sus efectos y criticidad (AMFEC)*

De acuerdo a la normativa (NTE INEN-IEC 60812, 2014), la determinación de la criticidad implica realizar una medición cualitativa de la magnitud de un efecto del modo de fallo.

Uno de los métodos para determinar de forma cuantitativa la criticidad, es mediante la cuantificación del riesgo, en este método se evalúa de manera subjetiva en lo que corresponde a la severidad del efecto y una estimación de la probabilidad de su ocurrencia durante un periodo determinado de tiempo propuesto para el análisis.

2.3.7. *Evaluación de las consecuencias de las fallas*

La valoración de las consecuencias de la falla se debe realizar como si ninguna tarea específica se esté ejecutando sobre el activo, para prevenir o detectar la falla.

Para la normativa (SAE JA1012, 2002), sección 10.1.2, las consecuencias de las fallas se deben evaluar tomando en cuenta la seguridad, el ambiente, las operaciones y las no operacionales, en este proceso de categorización de consecuencias deben distinguir claramente los eventos de modos de falla y fallas múltiples que tengan consecuencias en la seguridad, ambiente y que tengan consecuencias económicas.

Adicional a las citadas anteriormente siempre se deben tomar en cuenta la legislación, regulaciones, reglamentos, Nacional, local y los acuerdos internacionales que se encuentren en vigencia.

2.3.8. *Consecuencias en la seguridad y el ambiente*

Si un modo de falla puede afectar la seguridad o el ambiente, (SAE JA1012, 2002) y no se puede encontrar una tarea programada o una combinación de tareas que reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerable, se debe cambiar algo, simplemente porque ahora estamos tratando con una amenaza a la seguridad o al ambiente que no puede ser

prevenida adecuadamente. En estos casos, normalmente se emprende el rediseño con los siguientes objetivos establecidos en la normativa (SAE JA1012, 2002).

- Para reducir la probabilidad de ocurrencia de un modo de falla no anticipado a un nivel que sea tolerable, esto se hace normalmente tanto por el remplazo del componente afectado por uno más fuerte o uno más confiable.
- Para cambiar el elemento o el proceso de manera que el modo de falla no tenga consecuencias en la seguridad y el ambiente, esto se hace en la mayoría de los casos por la instalación de un dispositivo protector adecuado.

Recuerde que si se añade tal dispositivo, sus requerimientos de mantenimientos también se deben analizar.

Las consecuencias en la seguridad o en el ambiente también se pueden reducir eliminando las amenazas materiales de un proceso, o incluso por el abandono total de un proceso peligroso.

2.3.9. Fallas Ocultas con consecuencias en la seguridad y el ambiente

La búsqueda de las fallas ocultas o no reveladas afectan en su gran mayoría a los dispositivos de protección como lo escribe (Moubray, 1997), en su libro de mantenimiento centrado en confiabilidad, describe que en los sistemas industriales modernos y complejos, se puede considerar que hasta el 40% de los modos de falla estén considerados en la categoría de fallas ocultas, por lo cual es muy importante que en las estrategias de mantenimiento, dentro de sus tareas exista las búsquedas de fallas.

El aporte de la normativa (SAE JA1012, 2002) es que las fallas ocultas pueden asociarse y producir una falla múltiple y tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente, las tareas de la gestión del mantenimiento deben orientarse a reducir la probabilidad del modo de falla oculta, y de esta forma también disminuya la probabilidad de la falla múltiple, a un nivel tolerable por parte del dueño del activo.

2.3.10. *Fallas múltiples y búsqueda de fallas*

Una falla múltiple (Moubray, 1997) ocurre si una función protegida falla mientras un dispositivo de protección está también en estado de falla, de modo que la probabilidad de una falla múltiple en cualquier periodo, debe ser determinada por la probabilidad de que la función protegida falle.

Para calcular la probabilidad se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$\text{Probabilidad de falla múltiple} = \text{Probabilidad de falla de una función protegida} \times \text{Indisponibilidad promedio de un dispositivo de protección}$$

La probabilidad tolerable de una falla múltiple es determinada siempre por el usuario del sistema o activo. La probabilidad de la falla de la función protegida es generalmente dada. De modo que si estas dos variables son conocidas, la indisponibilidad permitida de un dispositivo de protección puede ser expresada en la siguiente ecuación.

$$\text{Indisponibilidad permitida del dispositivo de protección} = \frac{\text{Probabilidad de una falla múltiple}}{\text{Probabilidad de falla de la función protegida}}$$

De modo que el elemento crucial del desempeño requerido de cualquier función es la disponibilidad requerida para reducir la probabilidad de las fallas múltiples asociadas a un nivel tolerable.

La disponibilidad es determinada por las siguientes tres etapas.

- Establecer que probabilidad puede tolerar la organización para la falla múltiple.
- Determinar la probabilidad de que la función protegida pueda fallar en el periodo bajo consideración (esto también se conoce como grado de demanda).
- Determinar que disponibilidad debe alcanzar la función oculta para reducir la probabilidad de la falla múltiple al nivel requerido.

2.4. Administración del riesgo

La evolución y la complejidad de las instalaciones en la industria, exige cada vez más la utilización de técnicas de evaluación de riesgos que permitan realizar análisis rigurosos

de las instalaciones, aportando algo más que la simple identificación de deficiencias o la detección de desviaciones sobre los estándares reglamentarios establecidos por las organizaciones.

(Price water house Coopers LLP; (COSO) Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, 2004) Establece un concepto de administración de riesgos y lo define como “una filosofía de gestión de riesgos de la entidad es el conjunto de creencias y actitudes compartidas que caracterizan y consideran al riesgo en todo lo que hace, desde el desarrollo de la estrategia y la ejecución de sus actividades del día a día”, se refleja en prácticamente todo lo que hace la gestión de la organización.

El riesgo debe estar en las estrategias de la compañía como en sus políticas, las comunicaciones orales, escritas y la toma de decisiones. Si la gestión enfatiza políticas escritas, normas de conducta, indicadores de resultados en gran medida a través del contacto cara a cara con los gerentes, establece la importancia de la gestión de riesgos y refuerza la filosofía no sólo con palabras sino también las acciones cotidianas diarias de la organización.

El propósito de la estandarización (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2) es establecer las bases para la preparación y optimización de los programas de mantenimiento de plantas de gas y petróleo tanto en servicio como nuevas.

La estandarización describe como un proceso eficiente y racional de trabajo resultando en una optimización de los programas de mantenimiento basado en análisis de riesgo y principalmente el costo beneficio de su aplicación.

Como una base para la evaluación de riesgos y establecimiento de actividades de mantenimiento, este estándar soporta el uso de prácticas operacionales y experiencias de mantenimiento, estas experiencias son documentadas en los equipos de mayor relevancia de las instalaciones, la aplicación de estas prácticas de mantenimiento actualmente son conocidas y estudiadas como “conceptos de mantenimiento genérico”.

La aplicación de los conceptos de mantenimiento genérico buscan la eficiencia tanto en las nuevas facilidades así como en las que tienen programas de mantenimiento ya establecidas que se encuentran en operación, las mejoras vienen dadas de las experiencias específicas operacionales del sitio en base a criterios de seguridad y costo beneficio.

El análisis de modos de falla basado en riesgos, se aplica para los equipos estáticos siguiendo las recomendaciones de (API 581, Second Edition, September, 2008), esta metodología remplaza inspecciones definidas por tiempo y lo ejecuta por medio de un programa de inspección flexible basado en riesgo, esto se logra mediante evaluación de las condiciones operacionales, los datos de diseño de tanque, los materiales usados y condiciones medio ambientales.

2.4.1. Principios para evaluación de riesgos aplicados a mantenimiento

El mantenimiento basado en riesgos y siguiendo las recomendaciones de (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2), las consecuencias y probabilidad de fallas se evalúan tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las consecuencias de los fallos del sistema, pérdida de las funciones principales y sub funciones, son independientes del proceso que deja fuera a las funciones al equipo.
- El actual equipamiento y las condiciones operacionales afectan la probabilidad de falla.

Las consecuencias de los modos de falla son evaluadas acorde a los efectos de la planta y a nivel del sistema con respecto a las pérdidas de producción, los costos directos en términos monetarios, el tiempo perdido, las consecuencias de lesiones personales y daños al medio ambiente que están clasificados y pre definidos con clases de consecuencias y criterios de aceptación.

En caso de que el concepto de mantenimiento genérico no se aplique para el propósito del estudio y se requieran más evaluaciones, es recomendado que sea analizado con el mantenimiento centrado en confiabilidad, donde se identifiquen los modos de falla que

sean revelados, las probabilidades de fallo sean estimadas, todo esto en base a la experiencia operacional del actual equipamiento.

Para la optimización de los intervalos de las actividades de mantenimiento preventivo, (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2) recomienda algunas consideraciones que se citan a continuación.

- Definir las consecuencias de fallas funcionales.
- Estimar las probabilidades de las fallas funcionales.
- Redundancia de las funciones.
- Detección de las fallas y mecanismos de fallas, incluyendo el tiempo disponible para realizar acciones de mitigación necesarias para evitar la función de los fallos críticos.
- Costos de actividades alternativas preventivas.
- Disponibilidad requerida de las funciones críticas de seguridad.

2.4.2. Inspección basada en riesgos

La inspección basada en riesgos es un proceso que sirve para identificar, evaluar y definir los riesgos industriales, generalmente están dedicados a equipos estáticos como son los tanques de almacenamiento de petróleo, gas, oleoductos, poliductos, y las fuentes de daño que provienen de la corrosión y las fracturas por exceso de tensión, que pudieran poner en peligro la integridad de los equipos, tanto presurizados como estructurales.

Esta metodología de mantenimiento (American Petroleum Institute, 2002) debido a lo acelerado y complejo que resulta actualmente la toma de decisiones en los procesos productivos, muchas veces las empresas se ven obligados a ejecutar acciones de inversión basadas en información incompleta, incierta, difusa, debiendo a su vez producir con más bajo costo, mejor calidad y mayor nivel de confiabilidad, es por ello que muchas de las más importantes empresas del mundo utilizan cada vez más interesante las disciplinas y metodologías de ingeniería de confiabilidad, análisis de riesgos y gerencia de incertidumbre.

Un ejemplo del mantenimiento basado en riesgo lo podemos observar en la figura 2.3, en la cual se muestra un análisis de un tanque de almacenamiento de crudo de la estación Amazonas perteneciente a la compañía Oleoductos de crudos pesados, OCP Ecuador.

Figura 2.3. Datos de corrosión de un tanque de almacenamiento de crudo de la estación Amazonas

General			Remaining Life Assessment						Risk			Inspection Interval			LID	NID
Component	FM	Code	CR _{mod}	CR _{Meas}	RWT	WT _{Allow}	CA	RL	ROF	COF	Risk	ISF	SF	MII	[Month Year]	[Month Year]
[-]	[-]	[-]	[mm/y]	[mm/y]	[mm]	[mm]	[mm]	[years]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Month Year]	[Month Year]
Roof Corrosion	INT	Standard	0.05	0.00	5.00	2.00	3.00	60.0	N	L	N	0.9	0.8	20.0	January-12	January-32
Shell Corrosion	INT	VPD	0.05	0.00	20.60	19.22	1.38	27.5	N	H	M	0.7	0.5	13.8	January-12	October-25
Bottom Plate Corrosion	INT	Standard	0.15	0.00	8.00	1.27	6.73	44.9	H	L	H	0.6	0.3	13.5	January-02	June-15
Critical Zone Corrosion	INT	Standard	0.15	0.00	10.50	6.60	3.90	26.0	H	L	H	0.6	0.3	7.8	January-02	October-09
Bottom Plate Corrosion	EXT	Standard	0.09	0.00	8.00	1.27	6.73	74.8	H	L	H	0.6	0.3	20.0	January-02	January-22
Critical Zone Corrosion	EXT	Standard	0.09	0.00	10.50	6.60	3.90	43.3	H	L	H	0.6	0.3	13.0	January-02	December-14

Foundation	Bottom Condition	Settlement		Risk
		Crit.	Meas.	
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]
Edge Settlement				
Differential Settlement	Poor or unknown	43	8	M
Out of verticality	Poor or unknown	127	32	M

Next ISI: October-25
 Next OOS: October-09

Fuente: Carlos Adriano y Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador

El propósito de la clasificación de riesgo del equipo, (American Petroleum Institute, 2002) (API 581, Second Edition, September, 2008) es proveer las bases para la inspección directa de riesgo donde los recursos de mantenimiento, como son el tiempo y dinero, se puede optimizar en el programa de inspección.

2.4.3. Beneficios de realizar inspección basada en riesgo

Los benéficos citados por la normativa (API 581, Second Edition, September, 2008), se describen a continuación.

- La inspección basada en riesgos puede reducir el riesgo de fallas de altas consecuencias.
- Mejora la rentabilidad de los recursos mediante un mantenimiento basado en inspección.
- Proporcionar una base para la transferencia de recursos de equipos de menor riesgo a equipos de mayor riesgo.
- Medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección que se estén ejecutando mediante el RBI.
- Medir la reducción del riesgo como consecuencias de las prácticas de inspección ejecutadas y analizadas.

2.4.4. Medición del riesgo

El riesgo es una combinación de la probabilidad y la consecuencia.

Se puede expresar matemáticamente el riesgo con la siguiente ecuación: (API 581, Second Edition, September, 2008)

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencias}$$

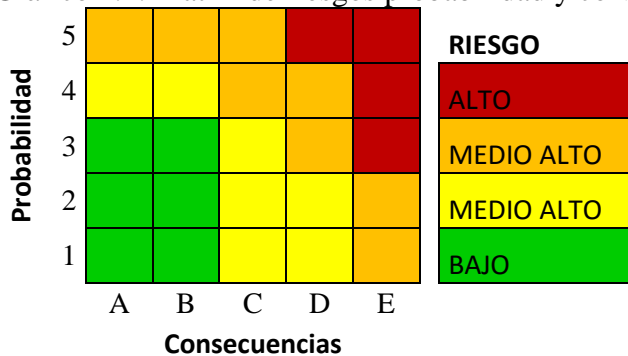
Al momento de cuantificar el riesgo de un evento en particular es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y sus consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento que se estudie.

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisiones.

Entre las técnicas existentes para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades, cualitativas, semi cuantitativas y cuantitativas. (Gutiérrez, Agüero, & Calixto, 2007).

Con estos datos se debe elaborar una matriz de riesgos, la cual nos ayudará a visualizar de una forma gráfica, el resultado de los riesgos de cada equipo o evento, en el gráfico 2.1 podemos observar una matriz de riesgos de probabilidad vs consecuencias.

Gráfico 2.1. Matriz de riesgos probabilidad y consecuencias



Fuente: Carlos Adriano con datos (API 581, Second Edition, September, 2008)

2.5. Conclusiones del capítulo II

Del análisis conceptual realizado y citado en este estudio podemos decir que el mantenimiento centrado en la confiabilidad y el aporte brindado por (Moubray, 1997), han sido los de mayor relevancia, porque de ello se han creado normativas como la (SAE JA1012, 2002), los análisis de modos de falla (NTE INEN-IEC 60812, 2014), para el sector del petróleo las (ISO 14224, 2006), a ello los aportes realizados por (Parra & Primera, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), 2006) han fortalecido esta filosofía, de la misma manera podemos concluir que el MCC utiliza las técnicas de mantenimiento como son el mantenimiento preventivo, predictivo, basado en la condición y el mantenimiento correctivo, además inicia con los primeros pasos sobre el análisis de los riesgos asociados a la gestión del mantenimiento.

A pesar que existe mucha investigación sobre el análisis de fallas, activos críticos, mantenimiento basado en la condición, no existe un estudio específico que relacione estas metodologías entre si y tenga un enlace tomando en cuenta la administración de riesgos, por lo cual se concluye que el presente estudio contribuirá en la integración de estas técnicas con el propósito disponer de una visión global sobre la gestión del mantenimiento.

CAPITULO III

3.1. Métodos y materiales

En el presente capítulo que se desarrolla a continuación, se expone la respuesta metodológica al problema planteado en el estudio, con el objetivo de proponer un modelo para el análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador. Con ello se presenta el modelo teórico concebido para este efecto, y la aplicación de las metodologías de observación y estadísticas, en el cual se estudiara la relación entre las variables planteadas en la hipótesis.

3.2. Fundamentación de la solución

Con el propósito de establecer las herramientas teórico metodológicas necesarias para establecer los fundamentos técnicos y teóricos pertinentes, con un criterio de agregar valor en la gestión de mantenimiento que se lleva a cabo en la estación de bombeo Amazonas, de la empresa OCP Ecuador, creando las condiciones técnicas, materiales y metodológicas, para enfrentar los nuevos retos que se presentan en la actualidad, tanto a nivel nacional como internacional, como son los bajos precios del petróleo.

Para enfrentar esta problemática y dar solución es pertinente en estos momentos realizar un análisis teórico y metodológico mediante el análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos y con ello mejorar la eficiencia en los procesos del transporte del petróleo.

Para abordar la problemática se estudiarán y aplicarán los aportes que realizaron (Moubray, 1997), (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002), (Torres, 2005), (Parra, Course of Reliability - Centered Maintenance, 1998), (Nowland & Heap, 1978) en el desarrollo de técnicas y metodologías del mantenimiento en los últimos tiempos, los aportes de las normativas (SAE JA1012, 2002), (ISO 14224, 2006), (ISO IEC 60812, 2006, Second edition), en los análisis de modos de fallas y los estudios y normativas (Mercado & Sanchez, 2012), (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2) en la evaluación de riesgos, según se vio en el capítulo precedente.

Sin embargo los estudios y bibliografía revisada hace referencia, a métodos por separado y no se ha encontrado un modelo que integre el análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos que es la problemática planteada en este estudio. Para resolver tal problema, en base al estudio de los trabajos se considera pertinente desarrollar un modelo para efectuar el análisis teórico y metodológico.

Este modelo está conformado por el estudio del proceso que permite investigar todas sus perspectivas y sirve de base para elaborar una metodología de análisis de modos de falla, jerarquización de quipos críticos y riesgos, objeto de estudio, la cual constituye una herramienta práctica viable para conducir las acciones concretas para dar solución a la problemática abordada.

Dado el tipo de objeto de estudio es pertinente emplear un modelo sistémico estructural, el cual permite revelar la estructura y las relaciones funcionales entre las fases del proceso planteado. El modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos sintetiza un conjunto de métodos desarrollados para los estudios en particular y los integra en fases secuenciales que fundamentan la solución al problema planteado en este estudio, en función de ello la propuesta de solución se basa, además del método de análisis del sistema, estudio de procesos, en los siguientes conocimientos teóricos y metodológicos.

- Análisis estadísticos de los modos de fallas en equipos rotativos, que se ha estandarizado a través de la norma (ISO 14224, 2006).
- Planificación del mantenimiento mediante el uso de software especializado para la gestión del mantenimiento que en el caso de OCP Ecuador es (Ifor EAM, 2010).
- Calculo de las Probabilidades de fallas, aplicando técnicas de ingeniería de la Fiabilidad como son confiabilidad y disponibilidad.
- Modelo de jerarquización de activos críticos, lo cual permitirá priorizar las actividades de mantenimiento y gastar en lo que realmente se requiere.

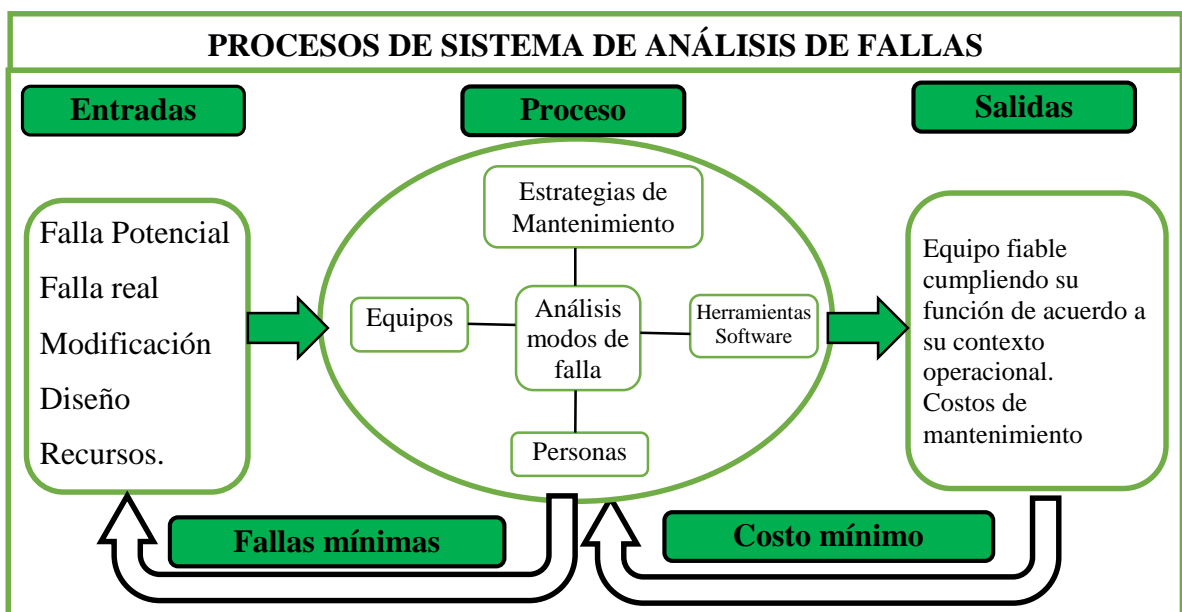
3.3. Análisis del proceso en la gestión de mantenimiento

Fundamentándonos en la mejora continua de la gestión de procesos (ISO 9000, 2000) y de los resultados de un importante número de investigadores del mantenimiento que han aportado para el mejoramiento en los procesos de mantenimiento (Moubray, 1997).

En correspondencia con los principios de la teoría de sistemas y enfoque de procesos y en particular, tomando como fundamento metodológico el trabajo de análisis de sistemas de procesos de gestión de mantenimiento (Torres, 2005), (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002) y los estudios realizados por (Silva, 2013), se puede considerar al procesos de análisis de fallas, jerarquización de equipos y riesgos como un sistema teórico metodológico. Tal sistema cuya representación gráfica simplificada se presenta en la figura 3.1, posee las siguientes particularidades.

El sistema de análisis de fallas en la gestión del mantenimiento está caracterizado por los siguientes elementos; el primer elemento del sistema son las fallas potenciales, las fallas reales y las modificaciones por diseño u operaciones, la gestión estratégica del mantenimiento es encargada de la transformación como proceso, mediante la planificación, ejecución, organización y control del proceso utilizando la tecnología, estos elementos se vinculan entre ellos, por una relación entre sí.

Figura 3.1. Proceso de sistema de análisis de fallas



Fuente: Carlos Adriano

El proceso que transforma, las fallas potenciales y fallas reales, son mediante la aplicación de la tecnología a través de las estrategias, como son mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en condición, y metodologías para solución de problemas, tales como, el análisis de causa raíz, análisis de modos de falla, el análisis de riesgos.

La salida del proceso esperado son equipos confiables y seguros que cumplan las funciones dentro de su contexto operacional, para el cual fue adquirido y corresponda a resolver la problemática planteada sobre el análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos, para que ello ocurra debe satisfacer las siguientes exigencias fundamentales:

- Satisfacer los criterios de la mejora continua, planificar, hacer, verificar y actuar.
- Reducir las fallas recurrentes y tomar todas las acciones correctivas para que los activos recuperen sus funciones de acuerdo a su contexto operacional.
- Ejecutar todo el proceso al menor costo posible, siendo eficientes en todas las actividades de la gestión del mantenimiento.
- Restituir todas las funciones de los activos, para que realicen su trabajo de forma segura y amigable con el ambiente.

El mayor aporte del análisis de fallas, es llegar a conocer el inicio de la falla de un elemento, porque esto nos permitirá realizar el monitoreo mediante técnicas predictivas y establecer la velocidad de propagación de la falla en el tiempo y poder predecir antes que se produzca la falla total del activo.

3.4. Metodología de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador

La metodología que se desarrolla está basada en un enfoque al proceso de fiabilidad de la estación de bombeo Amazonas, considerando la realidad actual de la compañía de Oleoducto de Crudos Pesados, OCP Ecuador, la metodología está estructurada por componentes que son mutuamente dependientes y que interactúan con los medios que lo circundan como son, equipos, personas, ambiente y materiales, todo esto con el propósito de alcanzar la eficacia y eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.

3.5. Estructura de la metodología

En función del fundamento teórico antes descrito y con el propósito de elaborar el modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, se partió del análisis del sistema, objeto del estudio realizado en el párrafo anterior, de la experiencia adquirida durante los procesos de transformación de la organización y de los avances metodológicos, tecnológicos y normativos existentes alrededor del tema, como son (Moubray, 1997), (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002), (SAE JA1012, 2002), (ISO 14224, 2006), (NTE INEN-IEC 60812, 2014), (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2) y los aportes realizados (Sexto, 2014).

Con esta información se estructuró la metodología, que se presenta en la figura 3.2, la cual consta de cuatro etapas de trabajo que se interrelacionan entre si y además su comportamiento es sinérgico y cíclico. La metodología propuesta es una solución adecuada porque permite ir desarrollando la problemática paso a paso, fundamentalmente creando los caminos adecuados para dar la solución.

La metodología en el cual se realiza el análisis de fallas, los datos de la condición, y con la finalidad de identificar las acciones correctivas y proactivas necesarias que puedan efectivamente optimizar los costos de mantenimiento a través de la sistemática reducción de la ocurrencia de los eventos no deseados y minimizar las consecuencias y sus impactos

en la organización, se emplearan las siguientes metodologías, técnicas y herramientas que se citan a continuación.

- Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM
- Mantenimiento Basado en la condición.
- Técnicas de mantenimiento predictivo.
- Técnicas de análisis de Fiabilidad de sistemas – procedimientos de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (ISO IEC 60812, 2006, Second edition)
- Técnicas de recopilación de datos de confiabilidad para industrias de gas y petróleo norma (ISO 14224, 2006)
- Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad
- Análisis probabilístico de fallas utilizando método de Pareto
- Base de datos genéricas de modos de fallas internacionales (OREDA, 2002)
- Análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos
- Opinión en base a experiencia propia y de expertos en la gestión del mantenimiento.

3.6. Fases de la metodología

La metodología de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, se estructura de cuatro fases, con el propósito de seguir una secuencia lógica, que permitirá alcanzar el propósito planteado, cada fase se subdividen en pasos, que se describen a continuación y se ilustran en la figura 3.2, de la metodología propuesta.

3.6.1. Fase uno. Se estructura el diagnóstico de la situación actual, en la que se encuentra la gestión de la estación de bombeo Amazonas, con el propósito de tener un punto de partida y la línea base de las fallas presentadas en los activos que pertenecen a esta facilidad. Esta fase está compuesta por dos pasos:

3.6.1.1. *Paso uno.* Se refiere a un diagnóstico basado en histórico de fallas, para lo cual se utilizará la base de datos existente en la estación de bombeo Amazonas, y se encuentra almacenada en el sistema informático EAM.

3.6.1.2. *Paso dos.* El diagnóstico basado en condición, en la estación Amazonas está aplicado a los activos estáticos, como son los tanques de almacenamiento, tanques de

presión, los datos utilizados son básicamente la medición de espesores, niveles de asentamiento y verticalidad, y potenciales de protección catódica.

3.6.2. *Fase dos.* En esta fase para la estructuración del análisis de modos de falla se ha establecido que se efectuará de acuerdo al sistema internacional de normalización y con la guía metodológica de (ISO 14224, 2006), para lo cual se ha subdividido en dos pasos. *Paso uno.* Se elabora la taxonomía de los sistemas a estudiar, es decir se limita hasta donde comprenden el alcance de cada activo, para lo cual se aplicara la recomendación de la norma (ISO 14224, 2006). *Paso dos.* Estandarización de los modos de falla de equipos rotativos, para efectuar este paso se ha establecido que en las ordenes de trabajo correctivas en lo adelante se codificará de acuerdo a la normativa citada anteriormente, y en el sistema informático EAM.

3.6.2.3. *Paso tres,* análisis de costos por modo falla, en este paso ya con la estandarización y codificación de los modos de falla facilitará realizar un análisis de los costos por modos de falla y que permita determinar cuál es el modo de falla que más veces se repite y poder tomar decisiones para que no vuelva a ocurrir.

3.6.3. *Fase tres.* Jerarquización de activos críticos, en esta fase es muy importante para continuar con la metodología por que la gestión del mantenimiento propuesto es llevar a establecer los activos críticos para la estación de bombeo Amazonas, para llevar a cabo esta propuesta se vale de dos pasos los cuales se describen a continuación.

3.6.3.1. *Primer paso.* Se establecerá una clasificación de activos críticos, el cual servirá para orientar hacia donde la gestión del mantenimiento debe apuntar a mejorar su gestión y costos, porque son los equipos que realmente deben preocuparnos.

3.6.4. *Cuarta fase.* En este punto se realizará un análisis de riesgos y sus consecuencias, tomando ya como base las fases anteriores de la metodología, para lo cual también se subdivide en dos pasos necesarios esta fase.

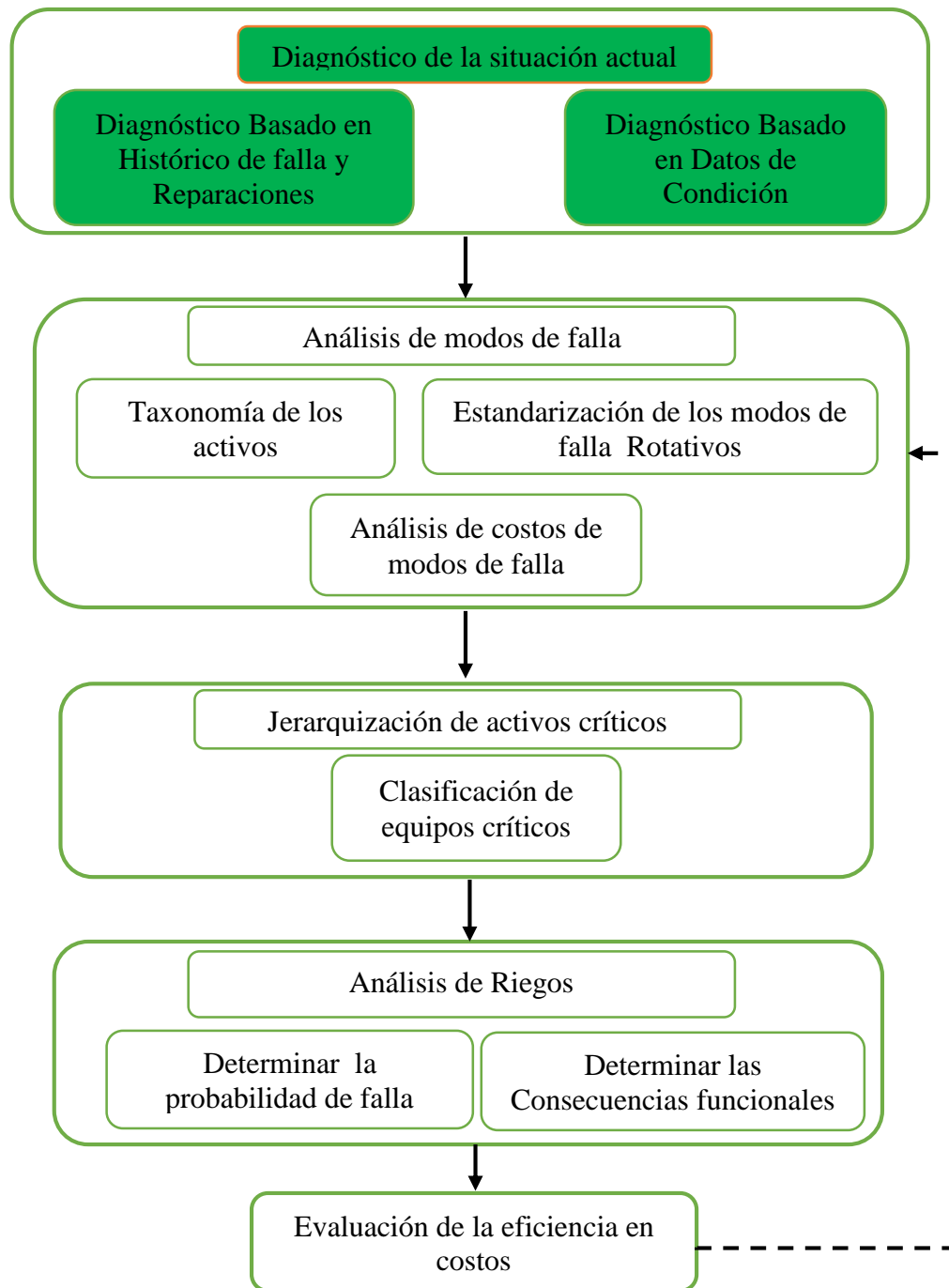
3.6.4.1. *Paso uno.* Cálculo de la probabilidad de falla, ya con los modos de falla establecidos en la fases anteriores, disponiendo de los activos críticos en este paso es

necesario establecer la fórmula de cálculo para determinar la probabilidad de falla de cada activo y considerando que es una variable indispensable para establecer el riesgo y paso previo para realizar el siguiente paso.

3.6.4.2. *Paso dos.* Es determinar las consecuencias funcionales de cada modo de falla y que llevará a determinar las consecuencias funcionales en cada activo, proceso y la estación de bombeo Amazonas, para la estimación de las consecuencias se utilizaran los criterios establecidos Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador.

Finalmente después de completar las fases se realiza una evaluación de la eficiencia del modelo mediante un análisis de costos que han generado los fallos y que se recolectan del sistema informático (Ifor EAM, 2010), en análisis de costos nos proporciona detalles si la metodología aplicada está generando mejora, si la evaluación no proporciona resultados satisfactorios, el modelo permite volver a realizar un ciclo de mejora regresando nuevamente a la primera fase y se convierte en un ciclo de mejora continua.

Figura 3.2. Modelo para análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos



Fuente: Carlos Adriano

A continuación se detallan de forma descriptiva todas las actividades a ejecutarse por cada fase y paso propuesto.

3.7. Diagnóstico de la situación actual.

En esta primera fase en la que se debe realizar el diagnóstico inicial de la situación actual, que será nuestro punto de partida, constará de dos etapas para lo cual se debe considerar las teorías de análisis estadístico, software especializados en estadística y la base de datos disponibles dentro de la organización (Ifor EAM, 2010).

3.7.1. Diagnostico basado en histórico de fallas y reparaciones.

Para realizar el diagnostico basado en fallas y reparaciones, se utilizaran las bases de datos, del sistema informático (Ifor EAM, 2010), que utiliza OCP Ecuador para la planificación y ejecución del mantenimiento de todos los activos instalados hasta la actualidad, en este paquete informático se registran también todas las fallas que han ocurrido en cada equipo existente, los trabajos correctivos realizados y las mejoras a los planes de mantenimiento realizados.

El software (Ifor EAM, 2010) registra datos desde el año 2011, por lo cual el análisis estadístico, se ejecutara solamente con los datos registrados desde entonces hasta el año 2014 y parte del 2015.

Para realizar el análisis estadístico de las fallas ocurridas, establecer la frecuencia de las mismas y los costos que ha implicado cada una de las reparaciones, se utilizará la metodología de Pareto, la cual nos permite mediante un análisis grafico representar los fallos en el cual nos da a conocer que el 80% de los costos se concentran en el 20% de los problemas.

El análisis de Pareto es un método grafico que permite identificar las causas más importantes de una determinada situación y por consiguiente, las prioridades de intervención. El objetivo consiste en comprender cuales son las fallas más importantes que están generando mayores inversiones o gastos y enfocar los esfuerzos hacia los problemas que están demandando mayores recursos, una guía metodológica para esta fase es la desarrollada (Garcia, Rojas, & Torrealba, 2008).

3.7.2. Diagnóstico basado en la condición

La estimación basada en la condición, se utiliza para, los equipos estáticos, comprenden todo lo que corresponde tanques de almacenamiento de petróleo, tanques atmosféricos de combustible, tanques presurizados y tuberías existentes, estos equipos normalmente tienen una baja frecuencia de falla y por ende no permite disponer de un historial de fallas que permita realizar un análisis estadístico.

La metodología de diagnóstico basado en la condición, es recolectar los datos a través de programas planificados de inspección con la finalidad de optimizar las frecuencias de mantenimiento de los equipos estáticos, y tomar acciones proactivas para evitar la ocurrencia de la falla.

Un mecanismo de falla de mucha utilidad para el monitoreo de la condición en equipos estáticos según las normativas (American Petroleum Institute, 2002) y (API 581, Second Edition, September, 2008), es el monitoreo de la corrosión, medición de espesores, análisis de lodos, y la geometría de los tanques, con lo cual se establecerá la velocidad la probabilidad de la falla y se pronosticará con gran exactitud la falla.

3.8. Análisis de modos de falla

En esta fase la metodología de análisis de modos de falla ha sido utilizada ampliamente, en todas las industrias a nivel mundial, en las búsqueda y evaluación de escenarios que puedan representar un evento adverso para los equipos, sistemas o procesos de las instalaciones, se utiliza para la identificación de las condiciones que puedan ocasionar daño, o fallas funcionales a los activos, por lo cual sean afectada las operaciones o la producción.

De igual manera con el propósito de estandarizar los análisis de modos de falla, el sistema internacional ha establecido (ISO 14224, 2006) y (ISO IEC 60812, 2006, Second edition), una guía en la identificación y análisis de modos de falla.

El desarrollo de la metodología propuesta considera las siguientes características integrales.

- Es un modelo que integra las técnicas y metodologías modernas de la gestión del mantenimiento, como análisis de modos de falla estandarizando de acuerdo a las normativas internacionales como es la (ISO 14224, 2006) , que permitirán establecer planes de mantenimiento, preventivos, predictivos y basados en la condición.
- Es un modelo dinámico porque permite, visualizar la eficiencia en todas sus fases de la implementación, con lo cual se conseguirá alcanzar todos los objetivos planteados en el estudio.

Se considera que la propuesta se ajusta a las necesidades actuales de Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador, en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, tanto por las condiciones del precio del petróleo como la economía a nivel nacional e internacional.

El estudio de análisis de modos de falla tiene como soporte el marco teórico conceptual revisado y estudiado en el capítulo II, esta fase metodológica se apoya con dos pasos que se explican a continuación.

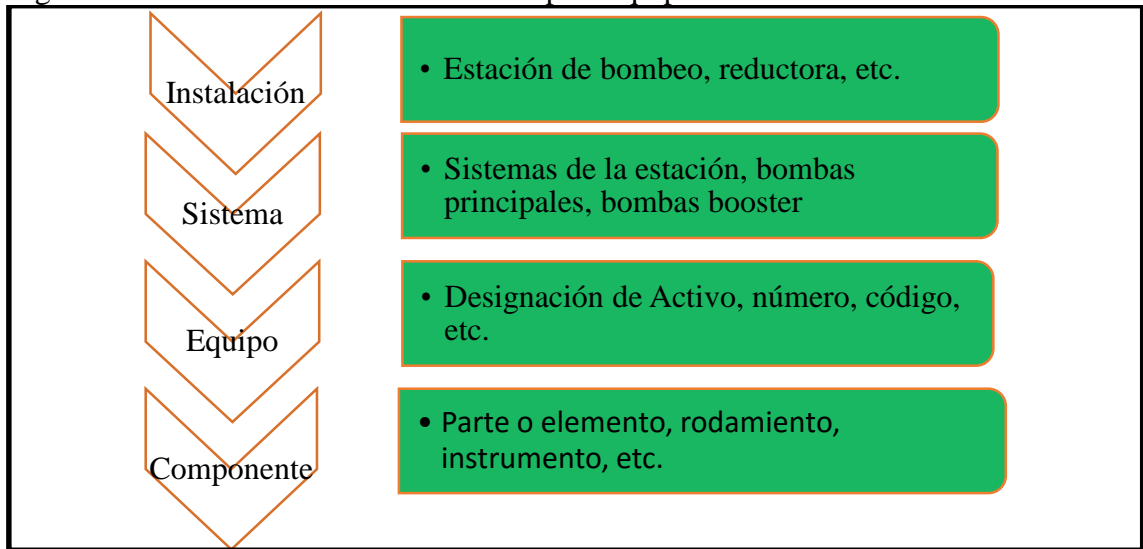
3.8.1. Taxonomía de los activos.

Este es el primero paso que se debe desarrollar, para disponer de una estructura sistemática donde se establecen los límites de cada instalación, sistema, equipo y componente en ese orden, para la elaboración se sigue la guía de la (ISO 14224, 2006), la cual recomienda los límites para los activos de las plantas de petróleo y gas.

Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador actualmente dispone ya de una estructura por facilidades, sistemas, equipos y elementos por lo cual este paso se encuentra desarrollado y no es necesario realizar ningún cambio.

En la figura 3.3, se encuentra la estructura con la taxonomía existente de la estación de bombeo Amazonas con los límites de acuerdo a la recomendación de la (ISO 14224, 2006).

Figura 3.3. Clasificación de la taxonomía para equipos de la estación Amazonas



Fuente: Carlos Adriano en concordancia con Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador.

3.8.2. Estandarización de los modos de fallo.

Para la estandarización de los modos de falla, se seguirán los lineamientos de la normativa (ISO 14224, 2006), esta norma presenta una guía básica, con la especificaciones, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos, con formatos estándar para todas las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos respectivamente.

La estación de bombeo Amazonas, pertenece al grupo de oleoducto, la cual dispone de equipos rotativos, como son motores de combustión, generadores eléctricos, bombas centrífugas, bombas de desplazamiento positivo, compresores, hornos, turbo compresores, motores eléctricos, al ser una instalación primaria de almacenamiento y bombeo, se puede considerar dentro de los grupos de producción y transporte de petróleo por medio de Oleoducto, con lo cual clasifica plenamente dentro de los lineamientos de esta normativa.

Con la estandarización de los modos de fallo se persigue los siguientes propósitos en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.

- Que la planificación y ejecución del mantenimiento se optimice atacando las causas de los modos de falla.
- Registrar y asegurar que los datos de modos de falla sean debidamente identificados, codificados en el sistema (Ifor EAM, 2010), que es el software de mantenimiento establecido por la compañía para la planificación, ejecución y análisis del mantenimiento.

Con estos pasos la metodología establecerá en concordancia con la normativa (ISO 14224, 2006), que todos los modos de fallos de los activos rotativos sean codificados de una manera uniforme por los operadores cuando se realice el análisis de fallas y queden registrados en el sistema a través de una orden correctiva, este será el camino para que exista un mismo criterio enfocado en procesos y se pueda determinar cuáles son los modos de fallos de mayor frecuencia de ocurrencia, con lo cual también se analizarán las causas que están provocando las fallas, y tomar los correctivos para eliminarlos o mitigar mediante un análisis causa raíz.

Para el estudio se utilizará la base de datos generada por el sistema (Ifor EAM, 2010), bajo licenciamiento de OCP Ecuador, desde el año 2011, los datos contemplarán todas las órdenes de trabajo ejecutadas de los mantenimientos correctivos, las cuales puedan aportar conocimiento científico que será aplicado por la metodología descrita.

En los casos que se no encuentren datos registrados de las tareas ejecutadas o que no hayan presentado anomalías, una guía muy importante es la base de datos externa, como lo es el (OREDA, 2002), esta base de datos proporciona modos de fallos sucedidas en diferentes plantas, sistema y empresas, que participan y aportan con la información respectiva, y que ha sido desarrollada con la guía específica de la normativa (ISO 14224, 2006), con lo cual está orientada esta metodología que se está desarrollando para la estación de bombeo Amazonas.

3.8.2.1. Modos de falla por grupos de equipos

Como parte de la estandarización de los modos de falla, se ha establecido en la metodología la codificación por grupos de equipos de similares características, en

concordancia con la (ISO 14224, 2006), en la tabla 3.1, se presentan los grupos de equipos que aplican para la estación de bombeo Amazonas.

Tabla 3.1. Agrupación, categorización y clases de equipos

Categoría de equipo	Clases de equipo	Categoría de equipo	Clases de equipo
Rotatorios	Máquinas de combustión	Mecánicos	Grúas, puentes grúas
	Centrifugas		Intercambiadores de calor
	Compresores		Hornos
	Generadores eléctricos		Tanques de presión
	Medidores		Tuberías
	Motores eléctricos		Tanques de almacenamiento
	Bombas		Filtros
	Turbo compresores		
	Mezcladores		
Eléctrico	Transformadores	Sistemas de seguridad y control	Detectores de gas e incendio
	Disyuntores		Dispositivo de entrada
	Variadores de frecuencia		Unidades de control
	Tableros de distribución		Válvulas
	Cables y terminales		Equipos sistema contra incendio
	UPS		Unidades lógico de control PLC

Fuente Carlos Adriano en concordancia con (ISO 14224, 2006)

Con la agrupación de equipos realizada con la tabla anterior el siguiente paso es la codificación de los modos de falla para cada grupo, lo cual permite y facilita al técnico sea mecánico, eléctrico o instrumentador la selección correcta del modo de falla que le afecta al activo por lo tanto la confiabilidad y seguridad en los registros de datos está asegurada.

En el anexo A se presentan los modos de falla por cada grupo de equipos, según la recomendación de la (ISO 14224, 2006) y ayuda del (OREDA, 2002).

3.8.3. *Análisis de costos de modos de fallas*

La metodología para determinar los costos de los modos de fallas utilizará la estadística de todas las ordenes de trabajo correctivas presentadas durante el periodo de los años 2012 hasta el 2014, la fuente de información es la base de datos del (Ifor EAM, 2010)

software de mantenimiento utilizado por OCP Ecuador, después de la recolección de datos, la aplicación de la técnica de Pareto, que es ampliamente usada para identificar las causas más importantes de una determinada situación y por consiguiente, las prioridades de intervención.

El objetivo consiste en comprender cuales son las fallas más importantes que están generando mayores inversiones o gastos y enfocar los esfuerzos hacia los problemas que están demandando mayores recursos, una guía metodológica para esta fase es la desarrollada (Garcia, Rojas, & Torrealba, 2008).

3.9. Jerarquización de activos críticos

En esta fase se establecerá la metodología y los parámetros básicos para la jerarquización de los sistemas, equipos y componentes críticos de la estación de bombeo Amazonas, la propuesta se fundamente en los pasos previos estudiados, y las normativas existentes de los estándares (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2), y los análisis de criticidad.

Con el análisis de criticidad se analizarán sus beneficios que facilitan la toma de decisiones y el direccionamiento de los esfuerzos y los recursos hacia los equipos críticos y que generan alto impacto en pérdidas y recursos.

Con la jerarquización de activos críticos se contribuirá a mejorar el plan de mantenimiento pasando al mantenimiento basado en condición y no basado en las recomendaciones de los fabricantes, porque el contexto operacional del equipo es diferente al cual fue diseñado.

3.9.1. Clasificación de los activos críticos

Para realizar la clasificación de equipos críticos la metodología explica que para este paso ya con las fases antes citadas en este estudio y los pasos ya establecidos, al ser cronológicamente secuencial, se parte de la definición del contexto operacional de los equipos de la estación de bombeo Amazonas, con los modos de falla establecidos y clasificados y codificados previamente y conociendo como estos fallan, con la estructura de la delimitación de los sistemas y activos podemos iniciar la clasificación o determinación de los activos críticos, es decir ya estructurar de forma metodológica

cuales equipos realmente necesitan que se les preste atención y que los esfuerzos de planificación, ejecución y recursos de la gestión de mantenimiento se orienten a los mismos.

Para determinar la criticidad cuantitativamente se aplicara métodos ya desarrollados y conocidos, sin embargo se tomara como guía la norma (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2), que es la que está desarrollada en el sector del petróleo y gas, la normativa referencia la ecuación matemática de la probabilidad o la frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma.

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia}$$

Para la clasificación de los equipos críticos un aspecto importante a tomar en cuenta es si los activos disponen de redundancia, este será un criterio de decisión muy importante, otro criterio que tiene gran influencia es las fallas funcionales en nuestro caso son los modos de fallas con sus respectivas consecuencias.

La redundancia de los equipos normalmente ya están definidos por el diseño de la planta en nuestro caso los equipos considerados principales para la estación de bombeo Amazonas, por lo cual para nuestro estudio ya podemos aplicar la ecuación desarrollada por la metodología, donde la valoración depende del número de equipos redundantes.

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n+1} P_i = P_1 * P_2 * P_3 \dots P_n$$

Donde $P(t)$ es la probabilidad de la falla en el tiempo

n Es el número de equipos en redundancia.

Con esta clasificación ya podemos pasar a la siguiente fase donde podemos determinar las fallas funcionales en términos monetarios como son los costos por las consecuencias que pudieran ocasionar por la materialización de las mismas.

3.10. Análisis de riesgos

Con las definiciones ya establecidas en el capítulo de marco conceptual, nuestro enfoque metodológico tiene el propósito de que los modos de fallas, identificados, codificados y

jerarquizados determinaran la probabilidad de falla y conocer los impactos que puede tener si se materializa el daño del activo.

La metodología en esta fase de análisis de riesgos busca minimizar los impactos negativos ya identificados previamente, creando planes de acción que lleven a que la planificación del mantenimiento establezca las frecuencias adecuadas para cada activo, el plan ya no depende de las recomendaciones o sugerencias de los fabricantes, puesto que la metodología calcula las frecuencias tomando en cuenta todos los factores que influyen directamente en las condiciones operativas de la planta.

La metodología propuesta utiliza como una herramienta probabilística, entendiendo como la probabilidad de tener una pérdida, comúnmente expresada en términos económicos y matemáticamente con la ecuación

$$\mathbf{Riesgo} = \mathbf{Frecuencia} \times \mathbf{Consecuencias}$$

El riesgo se determina multiplicando la probabilidad de una falla por las consecuencias de la misma.

Para alcanzar el propósito planteado en esta fase es necesario dividir en dos pasos los cuales se explican a continuación

3.10.1. Cálculo de la probabilidad de falla

Determinar la probabilidad de un modo de falla es un paso muy importante para la estimación del riesgo, como ya conocemos que para un activo pueden existir varios modos de fallo, por lo cual el conjunto de eventos sucedidos y registrados en el sistema informático (Ifor EAM, 2010), sirven para el análisis que debe incluir todos los fallos que hayan ocurrido por cualquier causa, y que ya están codificados con la metodología antes citada, estos nos guían a la obtención de la frecuencia de ocurrencia o conocido también como la frecuencia de fallo y que se obtiene en base a los eventos sucedidos y su tasa de medición es por el número de eventos por año.

Para la estimación de la frecuencia de fallas se parte de la siguiente pregunta.

Cuál es el tiempo de buen funcionamiento de un equipo?

Al responder esta pregunta de forma acertada, debemos aplicar la técnica estadística, específicamente las probabilidades, ya que esto se aplicará para poder calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF), por lo cual metodológicamente nos lleva calcular la probabilidad de fallas de un equipo o sistema y las variables indispensables son el tiempo medio entre fallas expresado en horas y la tasa de fallas expresado en número de fallos al año.

3.10.1.1. Tiempo medio entre fallos

Esta variable está dada por la calidad de funcionamiento de un cierto elemento generalmente por el tiempo que se espere que dicho elemento funcione de manera satisfactoria, es decir sin fallas. Estadísticamente se puede obtener una expectativa de este tiempo hasta que se produzca un fallo, que se llama tiempo medio entre fallo (TMEF).

Dado que la densidad de fallos es $F(t)$, el tiempo (t) que se espera que transcurra hasta un fallo viene dado por.

$$F(t) = TMEF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt$$

La tasa de fallos λ que es la otra variable necesaria para el cálculo de la probabilidad de fallos y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$\lambda = \frac{1}{TMEF}$$
$$TMEF = \frac{1}{\lambda}$$

Los equipos cuando disponen de redundancia el valor deben ser calculados con la ecuación citada en clasificación de equipos críticos.

3.10.2. Determinar las consecuencias funcionales.

Para la estimación de los impactos o consecuencias producto de la materialización de los fallos de los equipos, en este paso, los criterios que se deben considerar y tomar en cuenta en el momento de evaluar según su importancia son como se muestran en la figura 3.4, en la cual siempre está la seguridad de las personas, las consecuencias al ambiente son las que le sigue en importancia, los impactos económicos son el tercero y las consecuencias operacionales últimas que primaran cuando se analice las consecuencias funcionales.

Figura 3.4. Criterios de importancia de las consecuencias funcionales.



Fuente: Carlos Adriano en concordancia con Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador.

Estos criterios son parte de la política de OCP Ecuador, tomando en consideración siempre que las personas son las más importantes para la organización, por lo tanto para cada actividad, tarea o reparación se considera cero accidentes, seguido de la afectación que puede tener el medio ambiente, el otro factor a considerar es el económico que pueden causar las fallas y por ultimo las consecuencias que se analizan son las afectaciones que pueden tener a las operaciones.

Con los pasos establecidos y descritos, la metodología nos permite realizar la estimación del riesgo por cada activo de la estación de bombeo Amazonas, utilizando las variables conocidas y explicadas, podemos aplicar la ecuación del riesgo.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de la falla} \times \text{Consecuencias}$$

3.11. Evaluación de la eficiencia de la metodología.

En esta fase la metodología propone realizar una comparación de costos en dos periodos similares donde consten las fechas de inicio y fecha de finalización, la comparación se debe ejecutar con un periodo anterior a la aplicación de la metodología y el otro periodo corresponderá cuando se aplicó el estudio.

En la evaluación de la eficiencia la metodología tomará en consideración todos los modos de falla registrados en el sistema informático (Ifor EAM, 2010), y que pertenezcan a una

orden correctiva, no se contabilizará ningún gasto que se haya generado fuera de la propuesta metodológica.

Los resultados obtenidos se presentaran en términos financieros en el cual se muestre la mejora y el ahorro que ha generado en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.

3.12. Conclusiones del capítulo III.

- Del estudio bibliográfico y de los métodos teóricos existentes sobre el análisis de modos de fallas, se elaboró el modelo con una propuesta metodológica que permite realizar el análisis de fallas, jerarquización de equipos críticos que afectan la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas perteneciente a la empresa OCP Ecuador.
- La metodología desarrollada está conformada por cuatro fases y ocho pasos, estructurada de forma sistemática y cíclica, la cual propone alcanzar los objetivos planteados en la investigación y que ayuden al mejoramiento de la eficiencia en la gestión de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.
- Disponer de una clasificación de activos críticos en la estación de bombeo Amazonas, y conociendo las consecuencias e impactos de los riesgos que pueden ocasionar si se materializa el modo de falla, la metodología ayuda a tomar decisiones y enfocar los recursos a los equipos que realmente necesitan ser intervenidos.
- Finalmente podemos concluir que la propuesta metodológica busca mejorar la eficiencia en la gestión del mantenimiento en la estación de bombeo Amazonas, realizando evaluaciones financieras de todos los modos de fallas presentados.

CAPITULO IV

4.1. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del modelo y la metodología propuesta para el análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, con el objetivo de disminuir los costos de su gestión.

En los siguientes acápite se muestra la secuencia lógica del trabajo, establecida en la metodología la cual se llevó a cabo en el periodo del año 2011 hasta el año 2014 en la estación de bombeo Amazonas, la información de partida con la base de datos de la empresa Oleoductos de Crudos Pesados, OCP Ecuador.

4.2. Diagnóstico inicial de la estación de bombeo Amazonas.

Con el propósito de tener un punto de partida y la línea base, para el diagnóstico inicial se utilizó la base de datos existente en el sistema informático (Ifor EAM, 2010), desde el año 2011 hasta el año 2014, se analizaran todas las fallas presentadas en los activos que pertenecen a esta facilidad y que se encuentran registradas mediante una orden de trabajo correctiva, no se tomara en cuenta ninguna corrección que se haya ejecutado sin una orden de trabajo o que se encuentren en archivos fuera del (Ifor EAM, 2010), esta fase está compuesta por un solo paso.

4.2.1. Diagnostico basado en histórico de fallas y reparaciones

Como la metodología explicada en el capítulo anterior y aplicando el modelo propuesto para establecer el punto de partida en este paso se realizó el diagnóstico inicial basado en el histórico de fallas y reparaciones ocurridas en la estación de bombeo Amazonas, para ello tomamos la base datos del software (Ifor EAM, 2010) que utiliza OCP Ecuador para la planificación, ejecución y control de las ordenes de trabajo, para esta actividad la herramienta utilizada es la técnica estadística, en la cual se determinan las fallas ocurridas durante los años 2011 hasta el final del año 2015. En la tabla 4.1, se observa que se produjeron 794 órdenes correctivas, en diferentes equipos instalados en la estación. En estos datos no se discrimina a ningún equipo, el análisis se realiza a todos los activos incluyendo lo que se refiere a los edificios, equipos estáticos como son los tanques de almacenamiento, tanques presurizados, campamentos y cerramientos de la estación

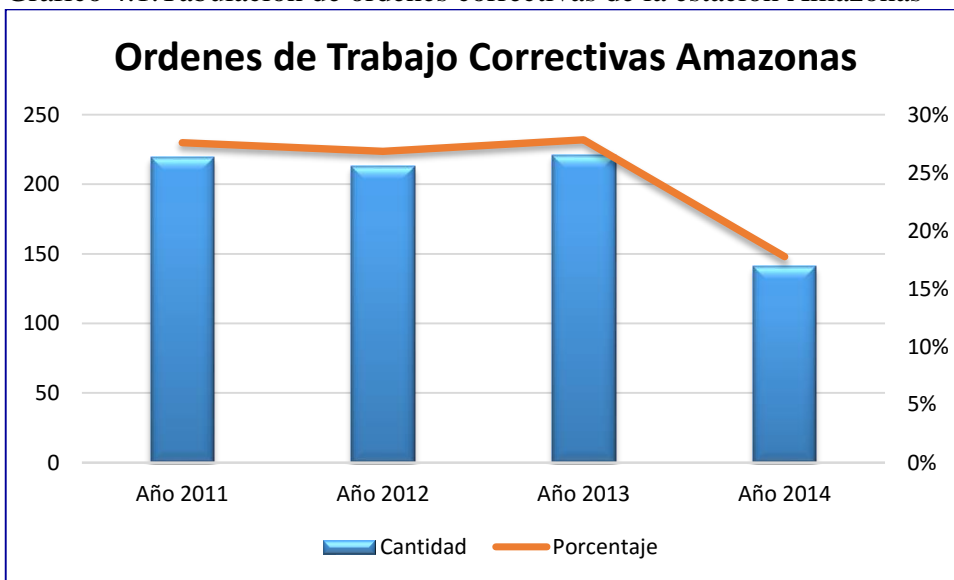
Tabla 4.1. Órdenes de trabajo correctivas tabuladas por años

Año	Cantidad
Año 2011	219
Año 2012	213
Año 2013	221
Año 2014	141
Total	794

Fuente: Carlos Adriano en colaboración con Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador.

En el análisis de órdenes de trabajo correctivos de la estación Amazonas se observa que en los años entre 2011 al 2013 estudiados y tabulados se mantienen de forma sostenida en el tiempo el número de fallas superior a 200 por año, sin embargo en el año 2014 solo se registraron 141 novedades, esto se debe a que en este periodo, específicamente a partir del mes de agosto, se inicia la aplicación de la metodología, ya se observa una disminución importante en la generación de ordenes correctivas, como se puede observar en el gráfico 4.1, donde las fallas bajaron a un 18% del total de fallas presentadas.

Gráfico 4.1. Tabulación de órdenes correctivas de la estación Amazonas



Fuente: Carlos Adriano en colaboración con OCP Ecuador.

4.3. Resultados del análisis de modos de falla

Dando continuidad y conociendo el punto de partida del diagnóstico inicial, la siguiente fase de la metodología es realizar el análisis de modos de falla, en este estudio se considera que es aplicable solamente para equipos rotativos o sus componentes, en este

caso la metodología no incluye a los equipos estáticos como son los tanques de almacenamiento, tanques de presión, debido a que la organización para estos activos se aplicara el mantenimiento basado en riesgo según normativa (API 581, Second Edition, September, 2008).

Para alcanzar este propósito se ha establecido ejecutar en tres pasos que se detallan a continuación.

4.3.1. Taxonomía de los activos

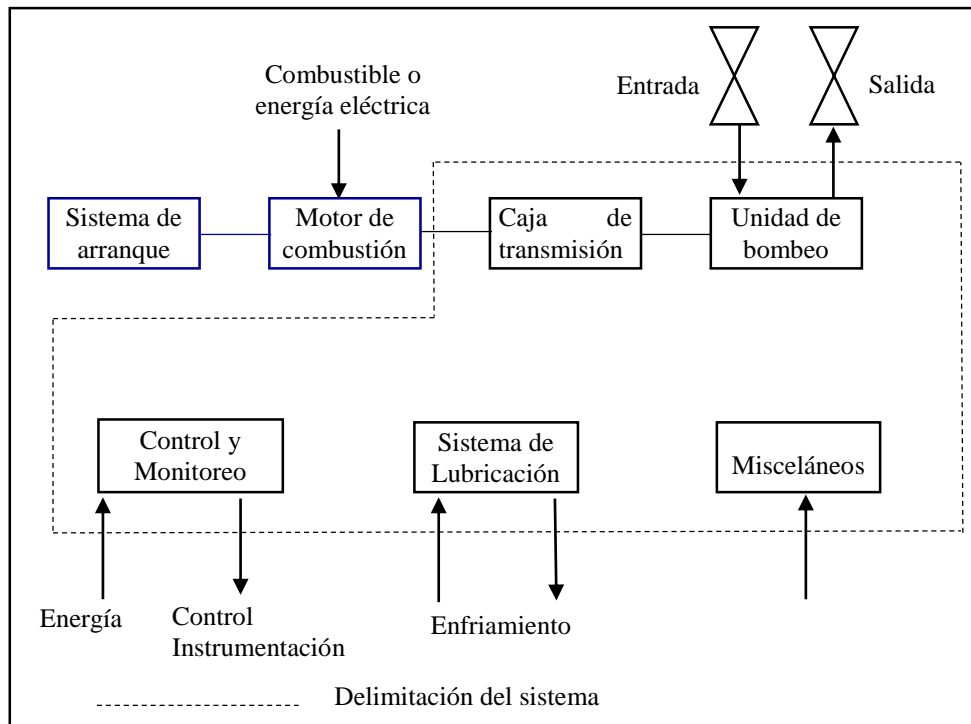
En este paso realizaremos la taxonomía de los activos de la estación de bombeo Amazonas, es decir definimos el alcance o límite de cada equipo, esto es necesario para llevar a cabo una buena codificación de los modos de fallos, y también llevar los costos por cada sistema y equipo.

La metodología considera los lineamientos establecidos en la normativa (ISO 14224, 2006), en este estudio se adopta los elementos que son compatibles con los sistemas y activos instalados en la estación de bombeo Amazonas.

El límite de cada equipo debe contener todos los componentes como instrumentos y sub unidades como son los controladores lógicos de control, que son parte del activo.

A modo de ejemplo en la figura 4.1, podemos ver la delimitación de una bomba, sin tomar en cuenta sus características, puede ser centrífuga, desplazamiento positivo, etc., lo que le interesa al modelo es mostrar todos los componentes que pertenecen a la bomba, como son la caja de transmisión sea este reductor o multiplicador, la bomba misma, las unidades auxiliares como son sistemas de lubricación, enfriamiento, misceláneos, sistema de control y monitoreo, todos los componentes que puedan a llegar a tener un defecto o una falla y que pertenezcan a cualquiera de los componentes mencionados deben ser codificados como bomba.

Figura 4.1. Taxonomía de una bomba centrífuga de la estación de bombeo Amazonas.



Fuente: Norma (ISO 14224, 2006), adaptado a OCP Ecuador

Como resultado de la aplicación de la taxonomía de los activos de la estación de bombeo Amazonas se identificaron cuatro categorías de equipos los cuales son rotatorios, mecánicos, eléctricos y sistemas de seguridad y control, estos a su vez se subdividen en clases de equipos como lo podemos observar en la tabla 4.2, donde los rotatorios agrupan a las clases de equipos como son máquinas de combustión, centrifugadoras, compresores, generadores eléctricos, medidores de crudo, motores eléctricos, bombas, turbo compresores y mezcladores, en la categoría de equipos mecánicos se agrupan las siguientes clases, grúas, puentes grúas, intercambiadores de calor, hornos, tanques de presión, tuberías, tanques de almacenamiento y filtros, en la categoría de eléctricos se agrupan todas las siguientes clases de equipos, Transformadores, Disyuntores, tableros de distribución, cables y UPS, en la categoría de sistemas de seguridad y control agrupa a las siguientes clases de equipos, detectores de incendio y gas, dispositivos de entrada, unidades de control lógico (PLC's), válvulas y sistemas contra incendios.

Esta clasificación se ajusta a la realidad de la estación de bombeo Amazonas y tiene concordancia con la normativa (ISO 14224, 2006).

Tabla 4.2. Taxonomía de equipos de la estación Amazonas.

Categoría de equipo	Clases de equipo	Categoría de equipo	Clases de equipo
Rotatorios	Máquinas de combustión	Mecánicos	Grúas, puentes grúas
	Centrifugadoras		Intercambiadores de calor
	Compresores		Hornos
	Generadores eléctricos		Tanques de presión
	Medidores		Tuberías
	Motores eléctricos		Tanques de almacenamiento
	Bombas		Filtros
	Turbo compresores		
	Mezcladores		
Eléctrico	Transformadores	Sistemas de seguridad y control	Detectores de gas e incendio
	Disyuntores		Dispositivo de entrada
	Tableros de distribución		Unidades de control
	Cables y terminales		Válvulas
	UPS		Equipos sistema contra incendio
		Unidades lógico de control PLC	

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma ISO 14224

4.3.2. Estandarización de los modos de falla

Con la delimitación del sistema, equipos y componentes, se realiza la codificación y estandarización de los modos de falla, mediante la categorización de equipos y clases de equipos, siguiendo los lineamientos de la normativa (ISO 14224, 2006).

El siguiente paso es la estandarización de los modos de falla, que se ejecutó siguiendo los lineamientos de la norma (ISO 14224, 2006), donde para cada grupo y clase de equipo se otorga un código, que será registrado mediante una orden de trabajo correctiva en el sistema informático (Ifor EAM, 2010), que es la herramienta oficial de OCP Ecuador para la gestión del mantenimiento.

En la tabla 4.3 se muestra como ejemplo la codificación y estandarización de los modos de falla correspondientes a la categoría de equipos rotativos, en la cual constan las clases de equipos correspondientes a este grupo y los que se encuentran instalados en la estación de bombeo Amazonas.

La codificación de los modos de fallas por categoría y grupo de equipos, en adelante nos permitirá realizar análisis de por grupos o por separado de categoría, clase o también por

cada modos de falla, cuantas veces han ocurrido, el tiempo perdido para la reparación y el costo que se realizó para dar solución.

Tabla 4.3. Codificación de modos de falla de activos rotativos de OCP Ecuador

Clase de equipo								Modos de falla	
Máquina de combustión	Compresor	Generador eléctrico	Centrífuga	Motor eléctrico	Bomba	Mezcladores	Turbo cargador	Descripción	código
x	x	x	x	x	x	x	x	Falla al arranque o requerimiento	FTS
x	x	x	x	x		x		Falla al requerimiento de parada	STP
x	x	x	x	x	x	x	x	Parada en falso	UST
x	x	x	x	x	x	x	x	Rotura	BRD
x	x		x	x	x	x	x	Alta salida	HIO
x	x	x	x	x	x	x	x	Baja salida	LOO
x	x		x	x	x	x	x	Salida errática	ERO
x								Pérdidas externas de combustible	ELF
	x		x		x	x	x	Pérdidas externas del fluido del proceso	ELP
x	x	x	x	x	x	x	x	Pérdidas externas de fluidos de utilidades	ELU
x	x		x		x	x	x	Pérdidas internas	INL
x	x	x	x	x	x	x	x	Vibración	VIB
x	x	x	x	x	x	x	x	Ruido	NOI
x	x	x	x	x	x	x	x	Sobrecalentamiento	OHE
x	x		x		x	x	x	Taponamiento/restricción	PLU
x	x	x	x	x	x	x	x	Desviación de parámetros	PDE
x	x	x	x	x	x	x	x	Lectura anormal de los instrumentos	AIR
x	x	x	x	x	x	x	x	Deficiencia estructural	STD
x	x	x	x	x	x	x	x	Problemas menores en servicio	SER
x	x	x	x	x	x	x	x	Otros	OTH
x	x	x	x	x	x	x	x	Desconocida	UNK

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (ISO 14224, 2006).

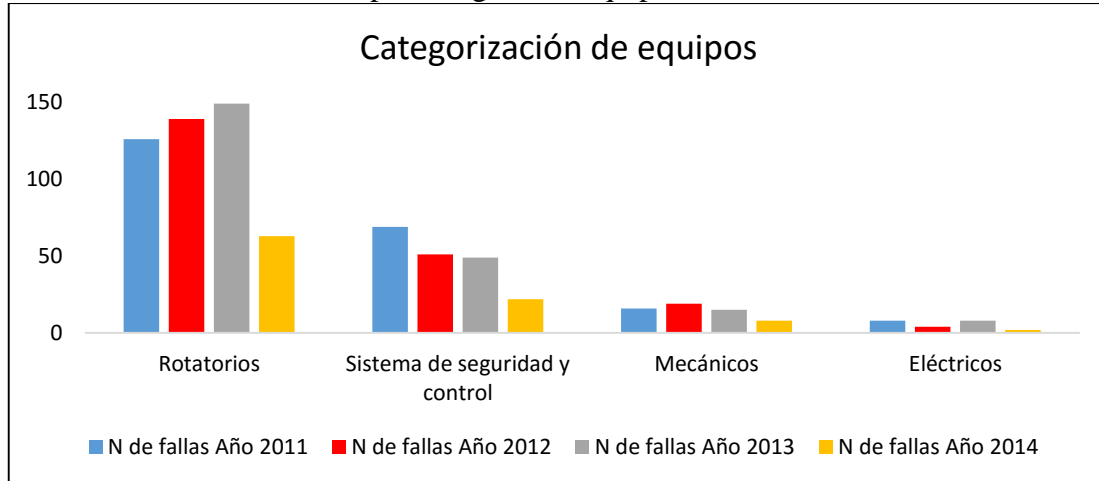
La categorización y codificación para los demás grupos se pueden observar en los anexos A, B, C y D de este trabajo.

Continuando con el análisis de la estandarización de modos de fallas, se muestran en el grafico 4.2, los resultados por grupos de categoría de equipos que mayores fallas presentan, durante todos los años analizados.

Los resultados nos permiten visualizar fácilmente que la categoría de equipos rotativos son los predominantes, en segundo lugar le corresponde la categoría de sistemas de

seguridad y control, seguido de los equipos mecánicos, también nos permite observar que los equipos eléctricos brindan una gran confiabilidad, porque sus fallas son muy pequeñas en relación al total de las órdenes correctivas.

Gráfico 4.2. Modos de falla por categoría de equipos de la estación Amazonas.



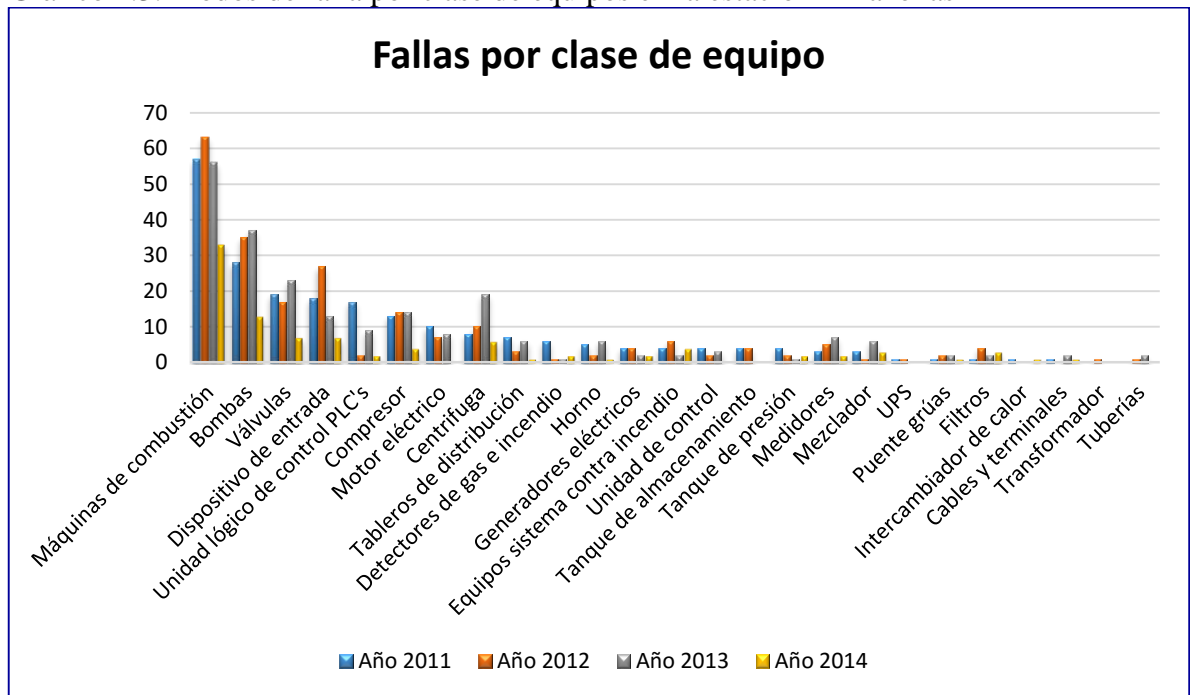
Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador.

La metodología también permite realizar un análisis de las fallas por clases de equipos, con el propósito de conocer qué clase de activos presentan pérdida de las funciones principales y secundarias.

Como resultado del análisis realizado a las órdenes correctivas de la estación de bombeo Amazonas podemos observar en el gráfico 4.3, que los equipos que más fallan son las máquinas de combustión con un 28%, y las bombas con el 15%, entre estas dos clases de equipos representan el 43% de todas las fallas ocurridas en los tres años analizados.

De lo expuesto y analizado se concluye que la gestión del mantenimiento debe enfocarse en mejorar la planificación de la fiabilidad, controlar o eliminar mediante acciones correctivas a los dos grupos de activos críticos: que son las máquinas de combustión y las bombas, y finalmente se debe implementar un plan de control de calidad sobre la ejecución del mantenimiento para los trabajos ejecutados sean confiables y seguros, es muy importante trabajar también en la capacitación del personal técnico para disminuir los errores en el mantenimiento.

Gráfico 4.3. Modos de falla por clase de equipos en la estación Amazonas



Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador.

4.3.3. Análisis de costos

Con la codificación y estandarización de los modos de fallas, podemos dar el siguiente paso que es el análisis de los costos por cada modo de falla ocurrido en la estación de bombeo Amazonas.

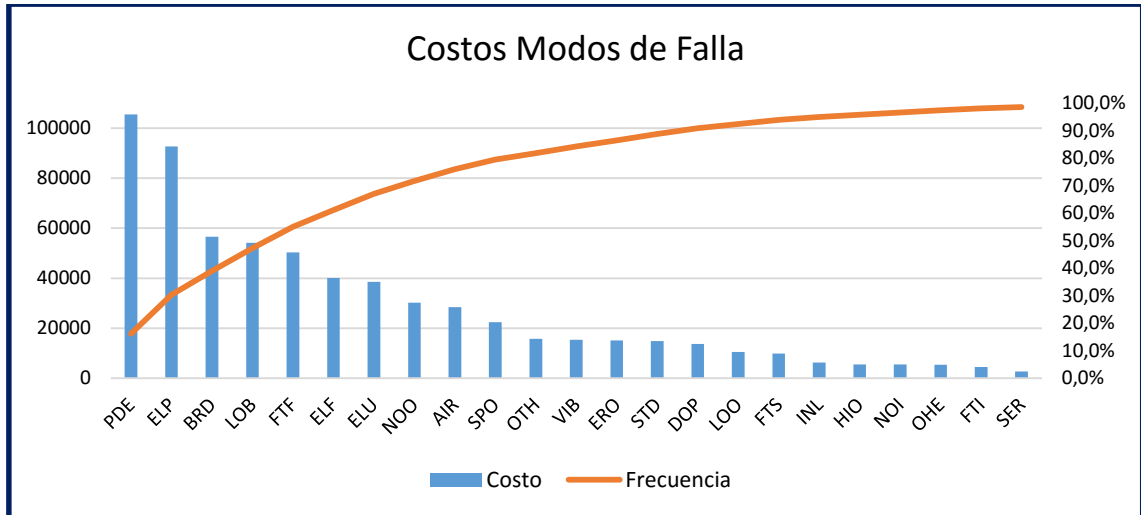
Para el análisis de los costos se utiliza la base de datos del sistema informático (Ifor EAM, 2010), y los registros de las órdenes correctivas en las cuales se incluye el modo de falla y los gastos que fueron necesarios para solucionar el problema.

La investigación se realizó mediante análisis estadístico, aplicando la técnica de Pareto, con el propósito de identificar de una forma rápida cual o cuales modos de falla están generando mayor consumo de recursos económicos.

El resultado del estudio que se muestra en el gráfico 4.4, la frecuencia de ocurrencia de las fallas y los costos de cada modo de falla, a continuación mediante la técnica estadística de Pareto se demostró que existen tres modos de falla predominantes, y que tienen incidencia directa en los costos y estos son: desviación de parámetros (PDE), pérdida externa de fluido de proceso (ELP) y las roturas (BRD). Estos representan el 40%

de las pérdidas, con lo cual la gestión del mantenimiento debe enfocarse en eliminar o minimizar estos eventos, con el propósito de mejorar la eficiencia en la gestión del mantenimiento y disminuir los costos por órdenes correctivas en la estación de bombeo Amazonas.

Gráfico 4.4. Diagrama de Pareto de costos modos de falla de la estación de bombeo Amazonas.



Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador.

Simbología de los modos de fallos aplicados en la tabla 4.4

Código	Significado	Código	Significado
PDE	Desvió de parámetros	ERO	Salida errática
ELP	Perdida externa fluido de proceso	STD	Deficiencia estructural
BRD	Rotura	DOP	operación retardada
LOB	Perdida de barrera	LOO	Salida a la baja
FTF	Falla de la función a la demanda	FTS	Falla al arranque o demanda
ELF	Pérdidas externas de combustible	INL	Fuga interna
ELU	Fuga externa de fluido de utilidades	HIO	Salida por alto
NOO	No hay salida	NOI	Ruido
AIR	Lectura anormal de instrumentos	OHE	Sobrecalentamiento
SPO	operación falsa	FTI	No funciona como está previsto
OTH	Otros	SER	Problemas menores de servicio
VIB	Vibración		

Fuente: Carlos Adriano en concordancia (ISO 14224, 2006)

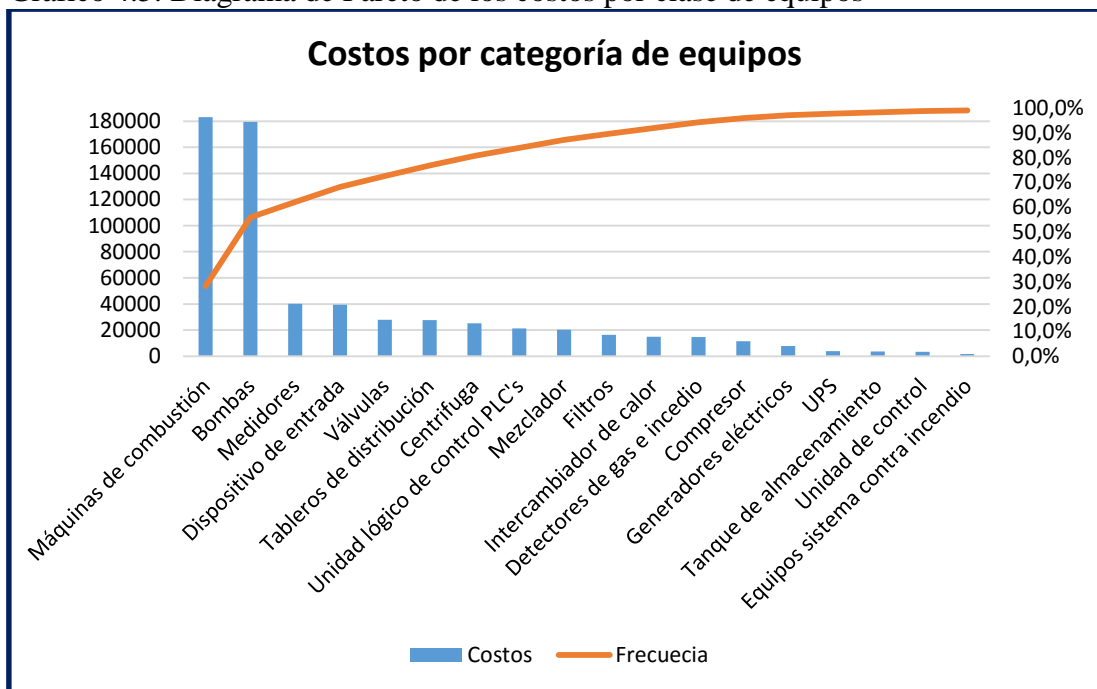
Otro análisis de costos aplicando la estandarización de los modos de falla, es por clase de equipos, como se observa en el gráfico 4.5, muestra que las máquinas de combustión y las bombas, suman el 56% de los costos totales en que se incurre para solucionar

problemas de la estación, por lo cual el esfuerzo de la gestión de mantenimiento debe enfocarse a resolver esta problemática o encontrar el patrón de las causas para eliminar o minimizar su ocurrencia.

Este análisis permite observar desde otro enfoque, buscando a los equipos que están teniendo problemas y generando demanda de recursos financieros para su funcionamiento, que son las máquinas de combustión interna las que más fallan y también las que están incrementando los costos por mantenimiento correctivo en la estación de bombeo Amazonas.

Esto se demuestra mediante el análisis estadístico del diagrama de Pareto como lo muestra el gráfico 4.5.

Gráfico 4.5. Diagrama de Pareto de los costos por clase de equipos



Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador.

4.4. Jerarquización de activos críticos

En correspondencia con la metodología propuesta para la jerarquización de los sistemas, equipos y componentes críticos de la estación de bombeo Amazonas, y con el aporte de

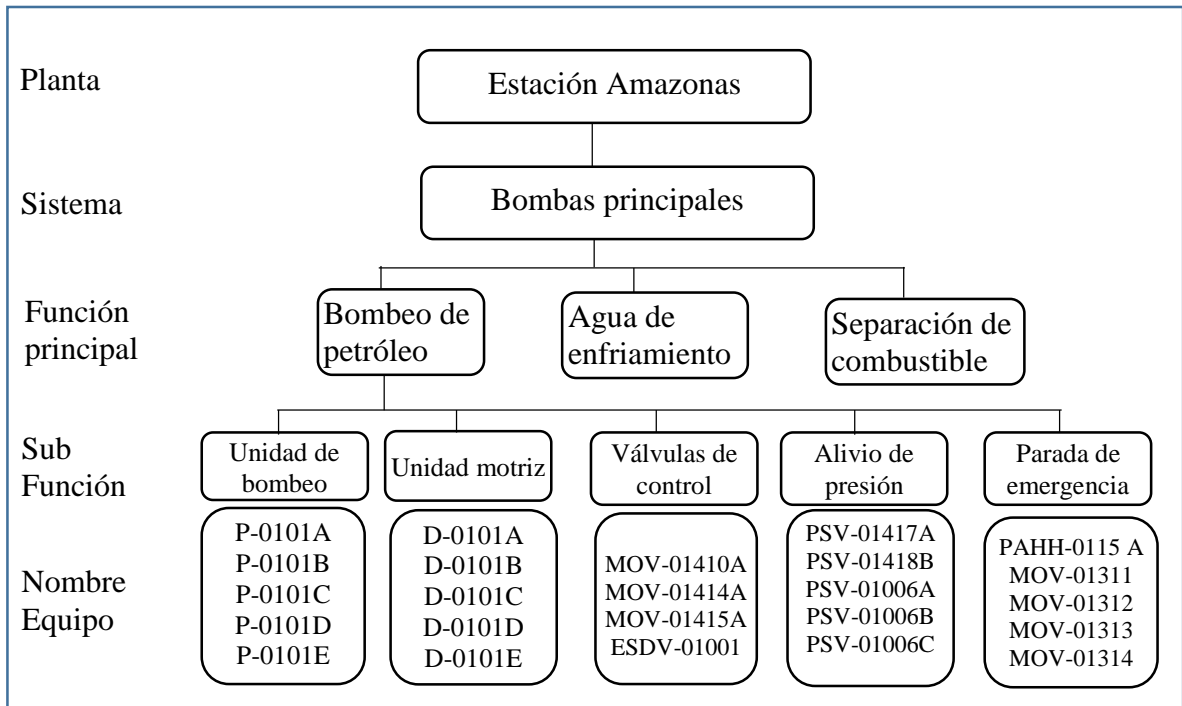
la normativa (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2), se realizó la jerarquización de activos que tiene el propósito general de mostrar una interrelación entre los activos críticos y la gestión de mantenimiento de la instalación, lo cual se consigue mediante la identificación de los equipos, partes, diagramas de flujo, documentos, historial de mantenimiento, ordenes de trabajo correctivas, extraído del sistema informático (Ifor EAM, 2010), por un lado y la priorización de la planificación de operaciones, los costos de mantenimiento, producción y por otra parte, tener una vinculación directa entre los activos críticos y la planificación estratégica de OCP Ecuador.

OCP Ecuador dentro de su estructura de mantenimiento tiene organizado la distribución de equipos por instalación, sistema, activo y componente, esta estructura concuerda con las propuestas de las normativas (ISO 14224, 2006) y (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2) que son utilizadas como guía para la elaboración de este estudio.

La figura 4.2, muestra la jerarquización, de las funciones principales de la estación, para el sistema de bombeo. En ella se observa que la función principal del sistema está el bombeo de petróleo, entre tanto como las sub funciones de esta se encuentran las unidades de bombeo, unidad motriz, válvulas de control, alivio de presión y paradas de emergencia, finalmente se procede a la identificación de cada equipo que pertenecen al sistema de bombeo de petróleo, con vista a su seguimiento y control en el sistema de mantenimiento.

La nomenclatura de identificación de los equipos de OCP Ecuador desde su diseño están concebidos en inglés como se observan en el ejemplo la bombas están precedidas con la letra “P” de Pump, de igual manera la máquina de combustión que está identificado con la letra “D”, Diesel engine, las válvulas de control están identificadas con la nomenclatura MOV, de Motor Operation Valve y las válvulas de alivio están identificadas con PSV que significa Pressure Safety Valve, y para instrumentación se utilizara la norma ISA-S5.1 Instrumentation Symbols and Identification.

Figura 4.2. Descripción de las funciones principales de la estación Amazonas.



Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la normativa (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2)

Después de disponer de una estructura jerárquica de la instalación, sistema, función principal del sistema y los activos se procedió a cuantificar la criticidad que se ejecutó en el siguiente orden de pasos.

4.4.1. Clasificación de equipos críticos

La metodología para la clasificación de activos críticos establece los pasos a seguir para la obtención de la matriz de toma de decisiones, siempre considerando el contexto operacional del activo.

Para determinar la criticidad de los equipos se partió de los modos de falla de mayor influencia y de la clase de equipos, con lo cual se estableció mediante un análisis estadístico la frecuencia de fallas que afecta a cada activo, y con ello se pudo establecer las probabilidades de fallas. Conociendo la probabilidad de fallas de los activos de la estación de bombeo Amazonas, se determina los criterios y rangos de evaluación y valoración en una matriz.

Con estos criterios se elaboró la tabla 4.4, en la cual podemos observar los criterios de evaluación para la probabilidad de fallas y que OCP Ecuador ha cuantificado para sus equipos de la estación de bombeo Amazonas.

Tabla 4. 4. Probabilidad de falla cuantitativa para equipos de OCP Ecuador.

PROBABILIDAD	DEFINICIÓN GENERAL	PROBABILIDAD (CUANTITATIVA)		VALOR
<i>INMINENTE</i>	Su ocurrencia es inminente y en el muy corto plazo	de 5×10^{-1}	a 9.5×10^{-1}	5
<i>MUY PROBABLE</i>	Ha ocurrido más de 2 veces en la empresa	de 10^{-1}	a 5×10^{-1}	4
<i>PROBABLE</i>	Ha ocurrido en la empresa	a 10^{-2}	a 10^{-1}	3
<i>POCO PROBABLE</i>	Evento posible en la industria, pero raramente ocurre	de 10^{-3}	a 10^{-2}	2
<i>IMPROBABLE</i>	Su ocurrencia es teóricamente posible pero no se conoce que haya ocurrido en la industria	de 10^{-6}	a 10^{-3}	1

Fuente: Carlos Adriano bajo lineamientos de OCP Ecuador

4.4.2. Redundancia de los equipos de la estación de bombeo Amazonas.

El siguiente paso ejecutado, según propone la metodología fue cuantificar la redundancia de equipos que se tienen instalados mediante la probabilidad de falla que tiene cada activo con el propósito de determinar lo real necesario y con ello disminuir costos de equipos no son necesarios en correspondencia con los niveles de producción de la estación de bombeo Amazonas.

Para el cálculo de la redundancia, como entrada se tomaron los datos del historial de fallas que se han presentado hasta la aplicación de la metodología, y que han sido registradas en el sistema (Ifor EAM, 2010), mediante las ordenes de trabajo correctivas presentadas en la estación de bombeo Amazonas.

En la tabla 4.5, se muestra la aplicación de la metodología mediante la fórmula para el cálculo de la redundancia que utiliza la probabilidad de falla y el número de equipos que se encuentren disponibles para la producción.

Tabla 4.5. Cálculos de la probabilidad de falla aplicando la redundancia.

Valoración redundancia $P(t) = \prod_{i=1}^{n+1} P_i = P_1 * P_2 * P_3 \dots P_n$	Interpretación de la valoración de la redundancia.
$P(t) = P_1$	No tiene redundancia, cuando pierde la función el equipo.
$P(t) = P_1 * P_2$	Una unidad en paralelo, en caso que se pierda la función
$P(t) = P_1 * P_2 * P_3$	Dos o más unidades en paralelo cuando falle la función principal

Fuente: Carlos Adriano

Se debe tener presente que el cálculo de la redundancia debe actualizarse frecuentemente en función de las condiciones operativas, mayor producción y la redundancia disminuyó hasta llegar a no disponer de equipos redundantes cuando el oleoducto este a máxima capacidad de producción.

4.4.3. *Matriz de criticidad*

A partir de lo antes descrito para la elaboración de la matriz de equipos críticos considerando la redundancia de los equipos de la estación de bombeo Amazonas, obtuvimos de una forma valorada tres tipos de criticidad, como lo podemos observar en la tabla 4.6, equipos críticos, medios críticos y no críticos, con esta clasificación ya tenemos una herramienta que permite tomar acciones y decisiones sobre la gestión del mantenimiento.

Tabla 4.6. Matriz de criticidad

Nivel de criticidad	Grado de redundancia	Recomendación
Critico	Equipo que causa la pérdida inmediata de la función principal del sistema y no tiene redundancia.	Ejecutar actividades de mantenimiento preventivo y predictivo Un fallo crítico puede dar lugar a una reparación no programada y paro de Oleoducto
Medio critico	Equipo que causa la pérdida de la función principal del sistema, pero dispone de uno o más equipos redundantes	Actividades de mantenimiento basado en condición. Puede requerir una reparación inmediata.
No critico	Equipo que al fallar no afecta la función principal del sistema, pero puede comprometer funciones secundarias.	Actividades de mantenimiento correctivo, o remplazo, llevar hasta la falla

Fuente: Carlos Adriano.

Con la jerarquización de activos críticos la empresa consigue disponer de una metodología para evaluar la criticidad de los equipos de la estación de bombeo Amazonas, con lo cual la gestión del mantenimiento debe considerar nuevas estrategias de mantenimiento basado en las condiciones concretas locales de los equipos y no basado en las recomendaciones de los fabricantes, porque su contexto operacional del equipo es diferente a un equipo que a pesar de tener características similares de diseño, e incluso fabricados bajo los mismos estándares de calidad, en la misma fábrica, pero su comportamiento será diferente porque su contexto operacional es diferente.

4.5. Análisis de riesgos

La metodología en esta fase realizó el análisis de riesgos buscando eliminar o minimizar los impactos negativos ya identificados previamente en las fases anteriores de esta investigación, estos impactos negativos son los modos de falla, que se encuentran ya codificados, tabulados y jerarquizados por activos críticos de la estación de bombeo Amazonas, para la obtención de los resultados la metodología utilizó la tasa de fallas para la valoración de la probabilidad de ocurrencia del fallo.

4.5.1. Cálculo de la probabilidad de falla

Para determinar la probabilidad de falla y calcular la estimación del riesgo, como ya conocemos que para un activo pueden existir varios modos de fallo, por lo cual el conjunto de eventos sucedidos y registrados en el sistema informático (Ifor EAM, 2010), sirven para calcular la tasa de fallos λ mediante la ecuación citada en el capítulo III, el cual nos da una probabilidad de fallos por año como podemos observar en un resumen en la tabla 4.7, en la cual se demostró que la máquina de combustión interna D-0101B es el equipo con la tasa de falla más alta, con 37 eventos presentados y se requirió de 127827.13 dólares en sus reparaciones, seguido del equipo D-0101C, con 35 eventos y 105156.56 dólares, y en general, las máquinas de combustión son las que tienen la tasa de fallo elevada, a estos les sigue los compresores y bombas.

Tabla 4.7. Tasa de fallas por año de la estación de bombeo Amazonas

TAG	DESCRIPCION DEL EQUIPO	COSTO	N EVENTOS	TASA DE FALLO AÑO $\lambda = \frac{n \text{ fallos}}{n \text{ horas de operación}}$
D-0101B	Máquina de combustión	127827,13	37	0,004224
D-0101C	Máquina de combustión	105156,51	35	0,003995
D-0101A	Máquina de combustión	110147,64	32	0,003653
D-0101D	Máquina de combustión	99883,37	20	0,002283
D-0101E	Máquina de combustión	86055,01	20	0,002283
D-0101	Máquina de combustión	48539,92	17	0,001941
D-0102	Máquina de combustión	22758,22	12	0,001370
C-0101A	Compresor	21103,93	10	0,001142
P-0101A	Bomba principal	1430,34	6	0,000685
G-0102	Generador eléctrico	7436,24	5	0,000571
G-0101	Generador eléctrico	805,37	4	0,000457

Fuente. Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

El análisis incluye todos los fallos que ocurrieron sobre cada equipo por cualquier causa, con este valor podemos realizar un paso adicional que es calcular el tiempo medio entre fallas que nos ayudara a calcular la confiabilidad de cada equipo.

4.5.1.1. Tiempo medio entre fallos

El tiempo medio entre fallas para cada equipo del sistema de bombeo Amazonas, tal como se indicó en la página 57 de este estudio, se calcula a partir de conocer la tasa de fallas de cada equipo, los resultados lo presentamos en las tablas 4.8, empleando la siguiente expresión.

$$TMEF = \frac{1}{\lambda}$$

Dado a los numerosos cálculos efectuados, a modo de ejemplo en la tabla 4.8, se adjunta un pronóstico del TMEF de equipos de la estación de bombeo Amazonas.

La información obtenida nos ayuda a pronosticar una expectativa de vida del equipo en horas de funcionamiento, es decir se estima una probabilidad en el tiempo hasta que se produzca un fallo, del análisis de la información de la tabla 4.8, podemos concluir:

- La máquina de combustión D-0101B tiene un promedio de 237 horas lo cual nos indica que el motor fallara después del número de horas citadas.
- El Generador G-0101 trabajara sin fallar hasta las 2190 horas, con estos valores, el siguiente paso es estimar el riesgo para cada equipo o modo de falla todo depende el nivel del análisis que se quiera realizar.
- El equipo D-0101B es el menos confiable por horas de servicio y es el que más cuesta mantener en operación.
- Finalmente se puede obtener la información el grupo de máquinas de combustión en general las que fallaran antes de las 1000 horas de servicio y las que mayores recursos consumen por lo cual se debe realizar un análisis causa raíz para encontrar las causas y soluciones.

Tabla 4.8. Ejemplo de TMEF de equipos de la estación de bombeo Amazonas

TAG	DESCRIPCION DEL EQUIPO	COSTO	EVENTOS	TASA DE FALLO AÑO $\lambda = \frac{n \text{ fallos}}{n \text{ horas de operación}}$	TMEF horas
D-0101B	Máquina de combustión	127827,13	37	0,004224	237
D-0101C	Máquina de combustión	105156,51	35	0,003995	250
D-0101A	Máquina de combustión	110147,64	32	0,003653	274
D-0101D	Máquina de combustión	99883,37	20	0,002283	438
D-0101E	Máquina de combustión	86055,01	20	0,002283	438
D-0101	Máquina de combustión	48539,92	17	0,001941	515
D-0102	Máquina de combustión	22758,22	12	0,001370	730
C-0101A	Compresor	21103,93	10	0,001142	876
P-0101A	Bomba principal	1430,34	6	0,000685	1460
G-0102	Generador eléctrico	7436,24	5	0,000571	1752
G-0101	Generador eléctrico	805,37	4	0,000457	2190

Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

4.5.2. Determinar las consecuencias funcionales

Para la estimación de los impactos y las consecuencias producto de la materialización de los fallos de los equipos, en este paso, los criterios que se deben considerar y tomar en cuenta en el momento de evaluar según su importancia son como se establecieron en la metodología, y priman las personas, ambiente, económico y por ultimo las operaciones, OCP Ecuador también bajo esas mismas consideraciones ha establecido la valoración de las consecuencias y se muestran en la tabla 4.9, donde se observan que para cada aspecto

se ha valorado por la importancia, por ejemplo para las personas el valor muy alto que equivale en la máxima escala de cinco es cuando exista una fatalidad o incapacidad permanente o total, y el nivel más bajo con valoración de uno cuando los incidentes presentados y no han tenido lesiones para la persona, y de esta misma forma se evalúa cada uno de los aspectos citados en este paso.

Tabla 4.9. Impactos y consecuencias

Dimensión / Impacto	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
	5	4	3	2	1
Personas (empleados, contratistas, terceros)	Fatalidad, Incapacidad permanente total	Incapacidad permanente parcial	Incapacidad temporal	Lesión leve, solo primeros auxilios	Incidente sin lesiones
Ambiente	Impacto regional y remediación en más de 1 año.	Impacto regional y remediación hasta en 1 año.	Impacto local y remediación hasta en 6 meses.	Impacto local y remediación hasta en 3 meses.	Impacto puntual (no sale de las instalaciones) y remediación hasta en 1 mes.
Económico	Mayor a US\$ 6 millones	Mayor a US\$ 230 mil y hasta US\$ 6 millones	Mayor a US\$ 50 mil y hasta US\$ 230 mil	Mayor a US\$ 10 mil y hasta US\$ 50 mil	Menor a US\$ 10 mil
Operaciones	Suspensión del transporte por un periodo mayor a 3 meses.	Suspensión del transporte con afectación a la producción (mayor a 8 días y hasta 3 meses)	Suspensión del transporte con afectación a la recepción y sin afectación a la producción (hasta 8 días)	Suspensión del transporte sin afectación a la recepción (hasta 5 días)	Suspensión del transporte (hasta 2 días)

Fuente: Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador

4.6. Interpretación del riesgo

Conociendo las dos variables propuestas por la metodología para la evaluación del riesgo como son la probabilidad de las fallas y los impactos de las consecuencias si se materializa el riesgo se procede a evaluar los riesgos identificados.

Para la evaluación de los riesgos Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador dispone de una matriz que lo clasifica en cuatro categorías producto de la aplicación de la fórmula de cálculo descrita en el capítulo III, las categorías lo podemos observar en la tabla 4.10, siendo “mejorar” el riesgo máximo y tiene que ser atendido inmediatamente, la siguiente categoría es “Monitorear Riesgos”, en tercer lugar se encuentra “Monitorear Controles” y el riesgo bajo es “optimizar”.

Tabla 4.10. Clasificación de los riesgos para OCP Ecuador

TIPO DE RIESGO	IMPACTO X PROBABILIDAD
Mejorar	20-25
Monitorear Riesgos	15-19
Monitorear controles	5-14
Optimizar	1-4

Fuente: Carlos Adriano bajo lineamientos de OCP Ecuador.

Con la identificación, evaluación y la valoración de los riesgos en base a los modos de falla presentados en la estación de bombeo Amazonas, se ha procedido a generar una matriz de riesgos correspondientes al proceso de fiabilidad, en la tabla 4.11, se presentan un ejemplo del levantamiento efectuado tomando en consideración las consecuencias, los modos de falla el nivel de riesgo y la respuesta al mismo, Con los resultados encontrados y como se muestran en la tabla 4.11, existe un riesgo “Mejorar” que necesita atención inmediata, dos monitoreo de riesgos y tres optimizar

Tabla 4.11. Riesgos del proceso de fiabilidad mediante los modos de falla

			EVALUACION DEL RIESGO			
			RIESGO INHERENTE			
IMPACTO	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO NO DESEADO	Modo de Falla	Impacto	Probabilidad	NIVEL DE RIESGO	Respuesta al Riesgo
Económico	Daño de un equipo principal por errores en el mantenimiento.	Desvíos de parámetros por altas temperaturas	4	4	16	Mejorar
Personas	Incendio a consecuencia de fuga de crudo combustible	Rotura de pernos de ajuste	5	2	10	Monitorear riesgos
Ambiente	Derrame de crudo de líneas, válvulas y accesorios del sistema de estación	Roturas de empaques por sobre presión	5	1	5	Optimizar
Económico	Daño de turbo compresor de motor de combustión	Desviación de parámetros gases por mala combustión	3	3	9	Monitorear riesgos
Económico	Incumplimiento legal por emisiones a la atmósfera, por encima de lo tolerado por la norma	Desviación de parámetros gases de combustión	1	4	4	Optimizar
Operaciones	Cierre de válvula de emergencia ESDV	Rotura líneas de aire	2	2	4	Optimizar

Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

La administración de los riesgos al ser una metodología que se encuentra en implementación en Oleoducto de Crudos Pesados, no dispone de resultados financieros consolidados.

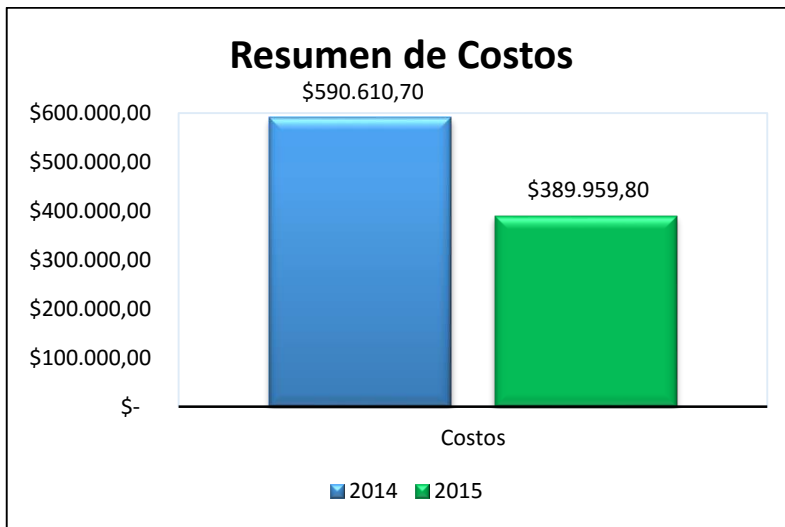
4.7. Resultados de la aplicación de la metodología

La eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas, los factores que la constituye son las de tipo financieros en especial los costos. Por ello para valorar la efectividad de la aplicación de la metodología se efectuó una comparación de los costos, que se han invertido en mantenimiento en el periodo del año 2014 que es antes de la aplicación del modelo y los resultados obtenidos después de la aplicación de la metodología que comprende al periodo del año 2015, con lo cual corresponde a dos periodos similares.

Es de destacar que la única variable nueva que se introdujo en el sistema de mantenimiento de OCP Ecuador fue la metodología integral del mantenimiento, siendo el resto de las variables las mismas como son el personal, equipos, tecnología con lo cual se puede determinar que la mejora en los costos de mantenimiento es atribuible a la nueva metodología integral de mantenimiento.

Los costos de ambos periodos contrastados los podemos observar en el grafico 4.6, donde muestra que se gastó cerca de 600.000 dólares en el 2014 para solucionar los problemas presentados, mientras que en el 2015 se gastaron cerca de 400.000 dólares, indudablemente se puede determinar que después de aplicar la metodología se ha tenido un ahorro del 20% en relación a lo gastado en el 2014.

Gráfico 4.6. Resumen de costos en dos periodos iguales del 2014 y 2015



Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

4.8. Validación de la hipótesis.

Dado que la comparación de los costos efectuados por mantenimiento correctivos entre los años 2014 y 2015, en la estación de bombeo Amazonas, nace la necesidad de realizar una comprobación estadística de la hipótesis planteada en el este estudio y que se describe a continuación, “El modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos mejorara los costos integrales de mantenimiento en más de un 10%, y con ello mejora la eficiencia de la gestión de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas perteneciente a OCP Ecuador.”

La hipótesis se aceptara o rechazara analizando la información proporcionada en este estudio.

4.8.1. Variables operacionales

Para la prueba de la hipótesis estadísticamente es necesario establecer y seleccionar el tipo de variables operativas como lo establece en su guía práctica de análisis de datos (Arriaza Balmón, 2006), para nuestro caso utilizaremos las variables métricas por disponer de valores cuantitativos para el estudio.

Variable cualitativa e independiente: en esta variable definimos a los modos de falla presentados en la estación de bombeo Amazonas en los años comprendidos del año 2014 y 2015

Variable cuantitativa y dependiente: para la dependencia se consideran los costos que generaron los modos de falla en los años 2014 y 2015.

4.8.2. Planteamiento de la hipótesis.

La prueba de hipótesis es utilizada ampliamente como soporte a la investigación científica sobre el planteamiento de un supuesto que necesitamos comprobar estadísticamente (Rodríguez L. , 2007), dentro de este procedimiento se inicia con el planteamiento de la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

Hipótesis nula: H_0 = Que el modelo desarrollado genera un ahorro mayor o igual al 10% en los costos del año 2015 en relación al año 2014.

$$H_0 \geq 10\%$$

Hipótesis alternativa: H_1 = Los costos generados en el año 2015 son menores al 10%

$$H_1 < 10\%$$

4.8.3. Nivel de significancia.

En este paso definimos la probabilidad del valor real que está dentro del intervalo de confianza, (Arriaza Balmón, 2006), es decir que estimamos el error absoluto en el intervalo estudiado, muchos investigadores y literatura revisa establecen que un buen nivel de confianza es del 95% por lo cual asumiremos para nuestro estudio este nivel de significancia que puesto en probabilidad sería del 0.05.

4.8.4. Análisis de datos.

En el análisis de datos se consideran las variables ya definidas como son los modos de fallas ocurridos en los años 2014 y 2015, los costos de mantenimiento generados en la estación de bombeo Amazonas de los dos periodos establecidos para la prueba.

4.8.5. Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis.

para este caso de estudio se toma el modelo estadístico del t-student, para la validación de la hipótesis, debido que las variables a utilizar son muestras pareadas de dos años, tomando en consideración también son cuantitativas y el número de muestras son menor a 30, con lo cual establecemos que es el modelo más adecuado para el análisis.

En la tabla 4.12 presentamos todos los modos de falla codificados de acuerdo a la metodología y sus respectivos costos por año 2014 y 2015

Tabla 4.12. Modos de falla y costos 2014 y 2015

Modo de falla	Costos 2014	Costos 2015	Modo de falla	Costos 2014	Costos 2015
AIR	40469,69	11182,39	LOO	44,56	4505,28
BRD	305814,62	20483,56	NOI	155,96	5391,05
DOP	34021,29	13645,05	NOO	15071,65	28437,61
ELF	34630,55	340,65	OTH	510,55	12585,66
ELP	10954,2	88253,25	PDE	13160,4	78874,71
ELU	11187,94	20167,9	PLU	10039,57	1179,52
ERO	6340,48	13568,42	PTF	3645,56	2080,44
FTF	9106,52	21078,5	SPO	43554,86	19028,3
FTI	23104,44	33,42	STD	9001,25	10182,41
FTO	527,26	295,48	UST	5665,19	286,68
FTS	472,76	9593,26	VIB	1476,59	15419,79
INL	6870,68	1512,57			

Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

Con los datos definidos se procede realizar una prueba de correlación con la finalidad de determinar si existe una relación fuerte o débil entre los datos de la muestra, considerando que cuando tiende a cero la relación es débil o no existe ninguna relación y si el resultado se acerca a uno la correlación de datos es muy buena, en la tabla 4.13 demostramos mediante el uso del software Excel que la correlación de los datos es muy buena para los dos años.

Tabla 4.13. Correlación de los datos

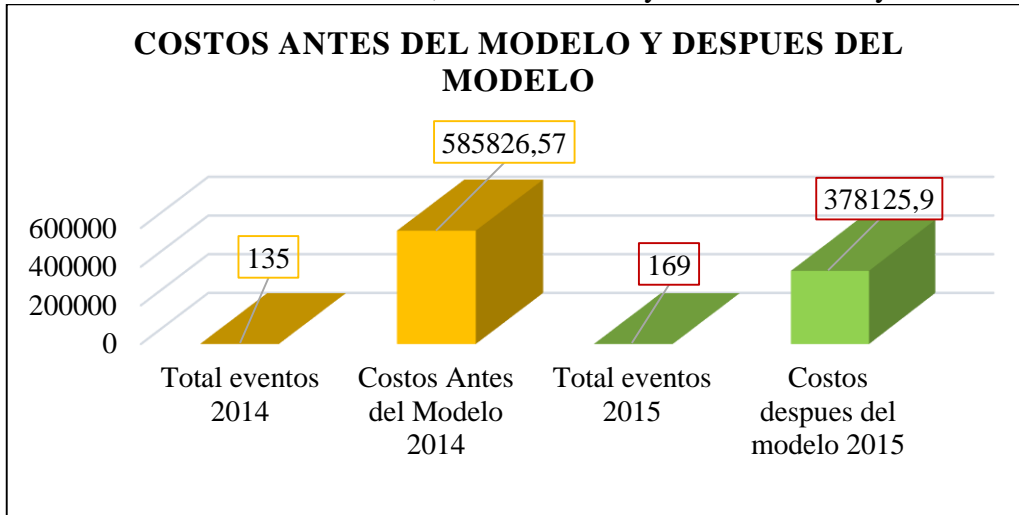
Año 2014	Año 2015
1	1

Fuente: Carlos Adriano

4.8.6. Prueba de hipótesis.

En gráfico 4.7 se presentan los modos de falla con los eventos sucedidos y los respectivos costos, dando como resultado que en el año 2015 se gastó menos en relación al periodo 2014, en un análisis a priori podríamos deducir que si hubo ahorro sin embargo esto lo vamos a demostrar estadísticamente si es correcta nuestra apreciación o no.

Gráfico 4.7. Resumen de eventos, modos de falla y costos del 2014 y 2015



Fuente: Carlos Adriano con datos de OCP Ecuador

Cálculo del valor estadístico.

Ya definido todos los elementos necesarios para la prueba de hipótesis, utilizando el software Excel y se procede a realizar el cálculo estadístico que presentamos a continuación.

Tabla 4.14. Prueba de hipótesis t-student

	Año 2014	Año 2015
Medias	25470,72	16440,26
Varianza	3912388073,40	517256262,83
Observaciones	23	23
Diferencia de hipótesis media	0	
Grados de libertad	28	
Estadístico t	0,6507	
P(T<=t) una cola	0,2603	
Valor crítico t (una Cola)	1,7011	
P(T<=t) dos colas	0,5205	
Valor crítico t (dos Colas)	2,0484	

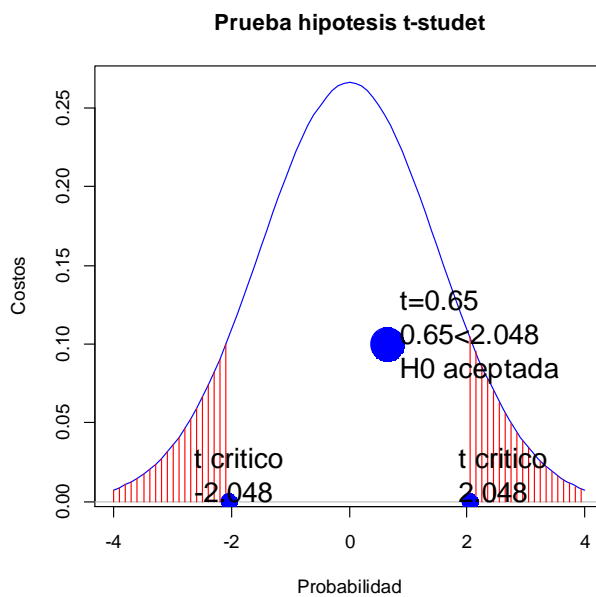
Fuente: Carlos Adriano.

4.8.7. Toma de decisión.

La evaluación de los resultados presentados en la tabla 4.14 nos demuestran que el punto estadístico $p(0.65) > 0.05$ cumpliendo el primer paso para afirmar que se acepta la hipótesis nula (H_0), de igual manera observamos que $p(t \leq t)$ de una cola y $p(t \leq t)$ de dos colas son menores al punto crítico del t-student.

En el gráfico 4.8 graficamos el punto estadístico $p(t) 0.6507 < 2.048$ con lo cual concluimos que con la aplicación de la metodología de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos en la estación de bombeo Amazonas va a generar ahorros sobre el 10% de los costos de mantenimiento.

Gráfico 4.8. Punto de aceptación de la hipótesis.



Elaborado por. Carlos Adriano

CONCLUSIONES

1. Del estudio bibliográfico realizado sobre mantenimiento centrado en confiabilidad, mantenimiento basado en condición, mantenimiento basado en riesgos, los métodos y metodologías sobre análisis de falla, jerarquización de activos, análisis de riesgos, método estadístico de Pareto y las normas tales como la (ISO 14224, 2006), (Norsok Standard Z-008, 2001, Rev 2), (NTE INEN-IEC 60812, 2014), constituyen el soporte teórico conceptual de este estudio. Por otro lado se constató que no existía un modelo integral específico para el de análisis de modos de falla, jerarquización de activos críticos y riesgos con el propósito de mejorar la eficiencia en la estación de bombeo Amazonas, lo cual muestra la necesidad de su desarrollo.

2. A partir de los conceptos y métodos se sintetizó el modelo integral de análisis de modos de falla, jerarquización de activos críticos y riesgos que está integrado por un proceso de análisis de modos de falla y su metodología, está estructurada por cuatro fases y ocho pasos, constituye una herramienta efectiva para dar solución a la problemática de no disponer un modelo para analizar las fallas, activos críticos y riesgos y a la vez disminuir los costos de mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas.

3. La aplicación del modelo en general y de la metodología de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos en la estación de bombeo Amazonas en el período comprendido entre 2014 y 2015 permitió obtener los siguientes resultados:

a) Que los factores de mayor influencia sobre los costos, son los equipos rotatorios con el modo de falla desviación de parámetros que se presentan en las máquinas de combustión, y que está en concordancia con la normativa (ISO 14224, 2006).

b) La estandarización de los modos de falla que se ha implementado y sistematizado por medio de las órdenes de trabajo y del sistema informático (Ifor EAM, 2010).

c) Se determinó un enlace entre los modos de falla, jerarquización de los activos críticos y la administración de riesgos.

4. Al cotejar los resultados económicos obtenidos en la estación de bombeo Amazonas en los períodos comprendidos entre año 2014, antes de aplicar el modelo de análisis de fallas y al año 2015, aplicando la metodología, se observó que hubo un ahorro superior al 10% en el año 2015 en relación con el año 2014. Con lo cual se comprueba que con la aplicación del modelo es posible mejorar la eficiencia de la gestión del mantenimiento tal como se plantea en la hipótesis de investigación.

RECOMENDACIONES

Se hacen referencia aquellos aspectos no concluidos, relacionados y no identificados en la investigación del proceso de la tesis que consideremos deben ser abordados, así como se dan ideas a la dirección de la organización de cómo aplicar de forma efectiva el aporte realizado en este estudio.

- Se recomienda extender la experiencia de la aplicación de la metodología a las otras instalaciones de Oleoducto de crudos pesados OCP Ecuador dado que tienen características similares y pueden mejorar la eficiencia.
- Se recomienda eliminar las tareas de planificación de mantenimiento que no estén aportando valor con el fin de mejorar la eficiencia en horas de trabajo destinadas a tareas que agregan valor.
- Para los equipos no críticos y que no representen una amenaza a las personas se recomienda optar por técnicas de mantenimiento genéricas, como son el mantenimiento basado en la condición o llevar al límite, dejando que falle, esto quiere decir se aplicará el mantenimiento correctivo, evaluando que el remplazo cuesta menos que realizar mantenimiento preventivo.
- Continuar los estudios para el mejoramiento de la metodología propuesta en lo relacionado con: a) los indicadores de gestión enfocadas en medir la eficiencia de costos b) el establecimiento de la interrelación con la metodología de inspección basada en riesgos (RBI) que se aplica a los equipos estáticos. c) establecer un estudio en el cual se establezca un punto de equilibrio entre los costos de mantenimiento preventivo vs mantenimiento correctivo analizando el riesgo de los modos de falla.

BIBLIOGRAFÍA

- **Aguilar, J., Torres, r., & Magaña, d.** (2010). análisis de modos de falla, efectos y criticidad (amfec) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. méxico: corporación mexicana de investigación en materiales, s.a de c.v.
- **Albán, G.** (2009). propuesta de Intervención en Derrames de Hidrocarburos en Base a Estudios de Caso SOTE desde Lago Agrio a Papallacta. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- **Amendola, L.** (2002). Modelos Mixtos de Confiabilidad. España: PMM Institute for Learning.
- **American Petroleum Institute.** (2002). API 580, Risk - Based Inspection. Washinton, USA: American Petroleum Institute.
- **American Petroleum Institute.,** Second Edition. (September, 2008). API 581 Risk Based Inspection Technology. Washington: API .
- **Agencia de Regulación y control Hidrocarburífero ARCH.** (Abril, 2015). Produccion Diaria de Petroleo neto. Quito: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.
- **Arriaza Balmón, M.** (2006). Guía Práctica de Análisis de Datos. Andaluza, España: IFAPA, JUNTA DE ANDALUCÍA, Consejería de Inovación, ciencia y Empresa.
- **Garcia Garrido, S.** (2015). Ingenieria del mantenimiento, Volumen 1 (1era ed., Vol. 1). Madrid, España: Renovatec Editorial.
- **Garcia Garrido, S.** (2015). Ingenieria del Mantenimiento, Volumen 2. Madrid, España: Renovatec Editorial.

- **Garcia, O., Rojas, D., & Torrealba, D.** (2008). Análisis de Pareto. (pág. 12). Sucre: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- **Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I.** (2007). Análisis de criticidad integral de activos. Maracaibo, Venezuela: R2M S.A.
- **Ifor EAM.** (2010). Enterprise Asset Management. Obtenido de EAM Enterprise Asset Management Software : <http://latinamerica.infor.com/solutions/eam>
- **Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN - EN 13306.** (2010). Terminología del mantenimiento. QUITO: INEN.
- **Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN-ISO 73.** (2009). Gestion de Riesgos- Vocabulario (ISO 73:2009,IDT). Quito: INEN.
- **ISO 13372: First Edition.** (2004). Condition Monitoring and Diagnostics of machines - Vocabulary. Switzerland: ISO.
- **ISO 14224.** (2006). Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries - Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for Equipment. Suiza: International Organization for Standardization.
- **ISO IEC 60812.** (2006, Second edition). Analysis Techniques for System Reliability Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Suiza: International Organization for Standardization.
- **ISO IEC 61882.** (2001, First edition). ISO IEC 61882, Hazard and Operability Studies (HAZOP) - Application Guide. Suiza: International Organization for Standardization.
- **Mercado, R. M., & Sanchez, E. P.** (2012). Evaluación Cuantitativa del Riesgo Operacional de una Planta de Proceso a partir de la Confiabilidad y Mantenibilidad de sus Equipos. Colombia: Ecopetrol S.A.

- **Moubray, J.** (1997). RCM II, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Edición en Español. North, Carolina: Segunda Edición.
- **Norsok Standard Z-008.** (2001, Rev 2). Criticality Analysis for Maintenance Purposes. Norway: Norwegian Technology Centre.
- **Nowland, S., & Heap, H.** (1978). Reliability - Centered Maintenance. San Francisco, CA 94128: United Airlines, San Fransisco International Airport.
- **Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-IEC 60812.** (2014). Tecnicas de Análisis de la Fiabilidad de sistemas - Procedimiento de Análisis de los modos de fallos y sus efectos. Quito: Segunda edición.
- **Oleoducto de Crudos Pesados, OCP Ecuador. S.A.** (2009). Revista Noticias. Noticias OCP Ecuador, 3-17.
- **Oleoducto de Crudos Pesados, OCP Ecuador. S.A.** (2013). Revista Noticias N. 23. Quito: OCP Ecuador.
- **Oleoducto de Crudos Pesados, OPEC.** (2015). Monthly Oil Market Report. Vienna, Austria: Organization of the petroleum Exporting Countries.
- **OPEC.** (1 de Abril de 2015). Organization of the Petroleum Exporting Countries. Obtenido de www.opec.org
- **OREDA.** (2002). Offshore Reliability Data. Norway: OREDA, 4th Edition, Distributed by DNV.
- **Parra, C.** (1998). Course of Realiability - Centered Maintenance. Merida-Venezuela: Universidad de los Andes.
- **Parra, C., & Primera, E.** (2006). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). ASME.

- **Petroecuador EP.** (2013). El Petróleo en el Ecuador. Quito: Petroecuador.
- **PHMSA .** (2012). Strategic Plan 2012-2016. Washinton, USA: Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- **Price water house Coopers LLP;** (COSO) Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. (2004). Enterprise Risk Management Integrated Frame Work, Application Techniques (COSO). New York: COSO Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission.
- **Rodriguez, L.** (2007). Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros. Guayaquil-Ecuador: ESPOL.
- **SAE JA1011.** (1999). Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers.
- **SAE JA1012.** (2002). Guia para la Norma Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers.
- **Sexto, L. F.** (2014). Inspección Basado en Analisis de fallos y Riesgos. Maestria en Gestión del Mantenimiento Industrial (pág. 16). Riobamba: ESPOCH.
- **Tavares, L.** (2000). Administracion Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novopolo.
- **Torres, D. L.** (2005). Mantenimiento su implementación y gestión. Argentina: Universitas, segunda Edición.
- **Zamudio, J.** (2014). Aplicación de un Modelo de Planeamiento Estrategico en la Gestión de Mantenimiento en Minsur S.A. Perú: Instituto Peruano de Mantenimiento.

ANEXOS

Anexo A. Códigos de modos de falla de equipos rotatorios

Tabla B6. Adaptada de la ISO 14224 a los activos de OCP.- Equipos rotativos - modos de falla

Clase de equipo								Modos de falla		
Máquina de combustión	Compresor	Generador eléctrico	Centrífuga	Motor eléctrico	Bomba	Mezcladores	Turbo cargador	Descripción	Ejemplos	código
x	x	x	x	x	x	x	x	Falla al arranque o requerimiento	No arranca ante un requerimiento	FTS
x	x	x	x	x		x		Falla al requerimiento de parada	No para ante un requerimiento	STP
x	x	x	x	x	x	x	x	Parada en falso	Parada inesperada	UST
x	x	x	x	x	x	x	x	Rotura	Daños serios (rotura)	BRD
x	x		x	x	x	x	x	Alta salida	Sobre velocidad, velocidad sobre lo aceptable	HIO
x	x	x	x	x	x	x	x	Baja salida	Salida por debajo de lo establecido	LOO
x	x		x	x	x	x	x	Salida errática	Oscilación, inestabilidad, fluctuación	ERO
x								Pérdidas externas de combustible	Fugas externas del combustible alimentado	ELF
	x		x		x	x	x	Pérdidas externas del fluido del proceso	Pérdidas de aceite, gas, agua	ELP
x	x	x	x	x	x	x	x	Pérdidas externas de fluidos de utilidades	Lubricante, agua de enfriamiento	ELU
x	x		x		x	x	x	Pérdidas internas	De fluidos del proceso o de utilidades	INL
x	x	x	x	x	x	x	x	Vibración	Vibración anormal	VIB
x	x	x	x	x	x	x	x	Ruido	Ruido anormal	NOI
x	x	x	x	x	x	x	x	Sobrecalentamiento	Partes de la máquina, escape, agua de enfriamiento	OHE
x	x		x		x	x	x	Taponamiento/restricción	Restricción de fluidos	PLU
x	x	x	x	x	x	x	x	Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados exceden los límites.	PDE
x	x	x	x	x	x	x	x	Lectura anormal de los instrumentos	Falsa alarma, indicación errónea del instrumento	AIR
x	x	x	x	x	x	x	x	Deficiencia estructural	Daños del material (fisuras, desgaste, fractura, corrosión)	STD
x	x	x	x	x	x	x	x	Problemas menores en servicio	Aflojamiento de partes, decoloración, suciedad	SER
x	x	x	x	x	x	x	x	Otros	Modos de falla no cubiertos arriba	OTH
x	x	x	x	x	x	x	x	Desconocida	Poca información para definir un modo de falla	UNK

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (ISO 14224, 2006), y OCP Ecuador

Anexo B. Códigos de modos de falla de equipos mecánicos

Tabla B7. Adaptada de la ISO 14224 a los activos de OCP- Equipos mecánicos - modos de falla

Clase de equipo							Modo de falla		
Grúas	Intercambiadores de calor	Hornos	Tuberías	Recipientes presurizados	Tanques de almacenamiento	Filtros	Descripción	Ejemplos	Código
x	x	x	x	x	x	x	Lectura anormal del instrumento	Falsa alarma, indicación errónea del instrumento	AIR
x			x			x	Rotura	Daños serios (rotura)	BRD
	x			x			Insuficiente entrega de calor	Enfriamiento / calentamiento bajo de lo aceptado	IHT
	x	x	x	x	x	x	Pérdida externa del fluido del proceso	Aceite, gas, agua	ELP
x	x	x		x	x		Pérdida externa de fluidos de utilidades	Lubricante, agua de enfriamiento,	ELU
							Falla de conexión	Falla al conectar	FCO
x						x	No funciona como está previsto	Falla general en operación	FTI
x							Falla al girar	No gira como está previsto	FRO
x							Falla ante un requerimiento de arranque	No arranca ante un requerimiento	FTS
							Falla ante un requerimiento de parada	No para ante un requerimiento	STP
							Falla al desconectarse	Falla al desconectarse cuando se requiere	FDC
		x					Insuficiente transferencia de calor	Perdida o muy baja transferencia de calor	IHT
x	x	x	x			x	Pérdidas internas	Pérdidas internas de fluido de proceso o utilidades	INL
							Baja presión en la alimentación de aceite	Baja presión en la alimentación de aceite	LBP
						x	Baja salida	Rendimiento por debajo de especificaciones	LOO
x							Pérdida de potencia (baja de carga)	Pérdida de potencia (baja de carga)	LOA
							Pérdida de sustentación hidráulica	Pérdida de sustentación hidráulica, en vacío	LOB
							Falla de anclaje	Falla de anclaje	MOF
x			x			x	Ruido	Ruido excesivo	NOI
x		x	x			x	Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento	OHE
	x	x	x	x	x	x	Taponamiento /restricción	Restricción de flujo debido a contaminación, objetos, etc.	PLU
			x				Fallas en la transmisión de poder / señal	Fallas en la transmisión de poder / señal	PTF
x							Deslizamiento	Deslizamiento de cables	SLP
x						x	Problemas en la operación (errónea)	Operación inesperada	SPO
x	x	x	x	x	x	x	Deficiencia estructural	Daños del material (fisuras, desgaste, fractura, corrosión)	STD
x	x	x	x	x	x	x	Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados exceden los límites.	PDE
x			x			x	Vibración	Excesiva vibración	VIB
x	x	x	x	x	x	x	Problemas menores, en servicio	Aflojamiento de partes, decoloración, suciedad	SER
x	x	x	x	x	x	x	Otros	Modos de falla no cubiertos arriba	OTH
x	x	x	x	x	x	x	Desconocidos	Poca información para definir un modo de falla	UNK

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (ISO 14224, 2006), y OCP Ecuador

Anexo C. Códigos de modos de falla de equipos eléctricos

Tabla B8. Adaptada de la ISO 14224 a los activos de OCP- Equipos eléctricos - modos de falla

Clase de equipos					Modo de falla		
UPS	Transformadores de potencia	Disyuntores, paneles de distribución	Convertidores de frecuencia	Cables y terminales	Descripción	Ejemplos	Código
x	x		x		Falla de la función cuando es requerida	No arranca cuando es requerido	FTF
x			x		Falla de frecuencia en la salida	Incorrecta/oscilación de frecuencia	FOF
x	x	x	x		Falla de voltaje en la salida	Incorrecto o voltaje inestable	FOV
x				x	Pérdida de redundancia	Una o más unidades redundantes no funcionan	LOR
x		x	x		Salida errática	Salida oscilante o inestable	ERO
x	x	x	x	x	Sobrecalentamiento	Partes de la máquina.	OHE
x	x	x	x		Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados exceden los límites	PDE
x		x	x	x	Operación errónea	Operación inesperada	SPO
	x	x			Lectura anormal del instrumento	Indicación errónea del nivel de aceite	AIR
	x				Taponamiento / obstrucción	Tuberías obstruidas	PLU
	x	x			Pérdidas externas de fluido de utilidades	Pérdida de aceite	ELU
	x	x	x	x	Deficiencia estructural	Rotura del reservorio	STD
	x	x	x	x	Pérdidas internas	Fugas de aceite	INL
x	x	x	x	x	Problemas menores en servicio	Aflojamiento, decoloración, suciedad	SER
x	x	x	x	x	Otros	Modos de falla no cubiertos arriba	OTH
x	x	x	x	x	Desconocido	Poca información para definir un modo de falla	UNK

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (ISO 14224, 2006), y OCP Ecuador

Anexo D. Códigos de modos de falla de equipos de seguridad y control

Tabla B9. Adaptada de la ISO 14224 a los activos de OCP- Equipos de seguridad y control - modos de falla

Clase de equipo						Modo de falla		
Detectores de llama (b)	Detectores de gas (b)	Dispositivos de entrada	Unidades de control lógico	Válvulas	Equipos del SCI	Descripción	Ejemplos	Código
x		x	x		x	Falla de la función al ser requerida	Falla en la respuesta a una señal de activación	FTF
				x	x	Falla al abrir al ser requerida	No abre al ser requerido	FTO
				x	x	Falla al cerrar al ser requerida	No cierra al ser requerido	FTC
				x	x	Operación retardada	Apertura y cerrado en tiempo menor al especificado	DOP
x	x	x	x	x	x	Operación errática	Falsa alarma	SPO
x	x (e)	x	x	x		Salida alta	Sobre velocidad, salida sobre lo aceptado	HIO
x	x (f)	x	x	x	x	Salida baja	Salida, entrega bajo lo aceptado	LOO
	x (g)					Salida muy baja		VLO
x		x	x			Salida errática	oscilación, inestabilidad	ERO
x	x (h)	x			x	No hay salida	sin salida	NOO
x	x				x	Alarma de alto nivel errónea	Ej. 60 % de LEL	SHH
x	x				x	Alarma de bajo nivel errónea	Ej. 20 % de LEL	SLL
		x		x	x	Taponamiento / obstrucción	parcial o completa restricción al flujo	PLU
		x		x	x	Pérdidas externas de fluido del proceso	aceite, gas, agua	ELP
				x	x	Pérdidas externas de fluido de utilidades	lubricante, agua de enfriamiento	ELU
				x	x	Pérdidas internas	pérdida interna de fluido del proceso o de utilidades	INL
				x	x	Pérdidas en posición cerrado	pérdidas a través de la válvula en posición cerrada	LCP
				x	x	Lectura anormal del instrumento	falsa alarma, falla en la indicación el instrumento	AIR
				x	x	Deficiencia estructural	daños del material (fisura, desgaste, fractura, corrosión)	STD
x		x	x	x	x	Problemas menores en servicio	modos de falla no cubiertos arriba	SER
x	x	x		x	x	Otros	muy poca información para definir un modo de falla	OTH
x	x	x	x	x	x	Desconocidos		UNK

Notas

b) código de falla para detectores de fuego y gas: para detectores de fuego y gas es importante que todas las fallas sean registradas, inclusive aquellas fallas detectadas durante una inspección planificada o en operación los modos de falla típicos son los siguientes: - falla de la función: el detector no responde frente a exposiciones relevantes (Ejemplo, gas o calor) Esta falla es normalmente observada durante pruebas funcionales; - operación falsa: el detector da señal de alarma sin tener estímulos relevantes. Este modo de falla es normalmente observado durante la operación y detectada por el cuarto de control; - otros modos de falla: adicionalmente algunas fallas son relacionadas a alta/baja salida, los ajustes y mantenimiento pueden encontrarse en el libro de vida.

e) Ejemplo, lecturas del 10% LEL al 20% LEL sin un gas de prueba; lectura sobre el 80% LEL con gas de prueba.

f) Ejemplo, lecturas entre el 31% LEL al 50% LEL con el gas de prueba (asumiendo una concentración nominal del gas del 65% LEL)

g) Ejemplo, lecturas entre el 11% LEL al 30 % LEL con el gas de prueba

h) Ejemplo, lecturas menores al 10% LEL con el gas de prueba

Fuente: Carlos Adriano en concordancia con la norma (ISO 14224, 2006), y OCP Ecuador

Anexo E Código De Identificación De Equipos

Tabla de Nomenclatura inglesa para designación de equipos

Tabla de códigos para cada tipo de equipo			
B	Boiler	G	Generator (electric)
BC	Barometric Condenser	GT	Gas Turbine
BL	Blower	H	Heater
BP	Burning Pit	J	Ejector
BR	Burner	L	Pig Launcher
C	Compressor	M	Motor (electric)
CC	Cyclone	MA	Mechanical Agitator, Mixer
CH	Chiller	MS	Miscellaneous Equipment
CN	Centrifuge	P	Pump
CR	Crystallizer	R	Pig Receiver
CT	Cooling Tower	RC	Reactor
CY	Conveyor	S	Sump
D	Diesel Engine	SC	Stack
DA	Deaerator	SF	Water Softener
DR	Dryer	SP	Separator (K.O. drum, settler, etc.)
DS	Desuperheater	SR	Steam Reciprocating Motor
E	Heat Exchanger	ST	Steam Turbine
EV	Evaporator	T	Tower
F	Filter/Strainer	TK	Tank
FL	Flare	TR	Transformer
FN	Fan	U	Package Unit
FR	Furnace	V	Vessel
FS	Filling Station	WS	Weigh Scale

Fuente: Procedimiento de ingeniería 2745-Q-GP-00004 OCP Ecuador.