

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS
BOMBAS HIDRAULICAS QUE TRASIEGAN COMBUSTIBLE DIESEL
MARINO DEL BOTE URABA DE LA EMPRESA PETROCOMERCIAL S.A**

**ARLENSON AMED BOLAÑO RIVERA
JORGE ARMANDO CHAVEZ VILLAMIL**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA**

2012

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS
BOMBAS HIDRAULICAS QUE TRASIEGAN COMBUSTIBLE DIESEL
MARINO DEL BOTE URABA DE LA EMPRESA PETROCOMERCIAL S.A**

ARLENSON AMED BOLAÑO RIVERA

JORGE ARMANDO CHAVEZ VILLAMIL

**Monografía presentada como cumplimiento de requisito para optar el título
de ingeniero mecánico.**

Asesor disciplinar

M. Sc. ANTONIO SALTARIN

Ing. mecánico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BARRANQUILLA

2012

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, 20 de enero de 2013

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento de ante mano a Dios por darnos la salud y la vida y estar siempre presente para alcanzar los objetivos deseados, así también agradecen:

A M. Sc. Antonio Saltarín, Docente del programa de ingeniería mecánica, por su apoyo y asesoría durante el desarrollo de este proyecto.

A M. Sc. Katty Cantero, Docente del programa de ingeniería mecánica, por sus recomendaciones para mejoraría de este archivo.

A la **Universidad Autónoma del Caribe**, Por darnos la oportunidad de formarnos como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN.....	16
2. JUSTIFICACION.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. DISEÑO METODOLOGICO.....	19
4.1. FASE DE CARACTERIZACION Y DIAGNOSTCO DEL ESTADO DE LAS BOMBAS HIDRAULICAS.....	19
4.2. FASE DE DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES CRITICOS DE LAS BOMBAS HIDRAULICA.....	19
4.3. FASE DE ANALISIS DE LOS MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS.....	20
4.4. FASE DEL DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	20

5. MARCO DE REFERENCIA.....	22
5.1. MARCO TEORICO.....	22
5.1.1. Tipos de mantenimiento.....	23
5.1.2. Mantenimiento preventivo.....	24
5.1.2.1. Tipos de mantenimiento preventivo.....	25
5.1.3. Mantenimiento correctivo.....	25
5.1.4. Programación del mantenimiento.....	26
5.1.5. Objetivos del mantenimiento.....	27
5.1.6. La gestión del riesgo.....	28
5.1.7. Nivel de exposición.....	29
5.1.8. Nivel de deficiencia.....	29
5.1.9. Nivel de probabilidad.....	30
5.1.10. Nivel de consecuencias.....	31
5.1.11. Nivel de riesgo.....	32
5.2. MARCO CONCEPTUAL.....	33
5.2.1. Sistema.....	33
5.2.2. Efectividad operacional.....	33
5.2.3. Disponibilidad.....	33
5.2.4. Confiabilidad.....	34
5.2.5. Mantenibilidad.....	34

5.2.6. Mantenimiento centrado en el riesgo (RBI).....	34
5.2.7. El riesgo.....	34
5.2.8. Mantenimiento correctivo.....	35
5.2.9. Cuantificación del riesgo.....	35
5.2.10. Metodología del análisis del costo del ciclo de vida (ACCV).....	36
5.2.11. Fiabilidad.....	37
5.2.12. Consecuencia.....	37
5.2.13. Valoración del riesgo.....	37
5.2.14. Identificación de los peligros y la valoración del riesgo.....	37
5.2.15. Análisis de criticidad.....	39
5.2.16. Capacidad de inspección basada en el riesgo.....	39
5.2.17. Inspección.....	40
6. CARACTERIZACION DEL ESTADO ACTUAL DE LAS BOMBAS.....	42
6.1. NOMENCLATURA DE LAS BOMBAS.....	43
6.2. JERARQUIZACION DE LOS COMPONENTES DE LAS BOMBAS MEDIANTE EL ANALISIS DE CRITICIDAD.....	46
6.3. FUNCION DE LOS SELLOS MECANICOS.....	50
6.3.1. Causa de las fallas en los sellos mecánicos.....	50
6.3.2. Falla de corrosión por fricción.....	51

6.4. CAUSAS DE FALLAS DE RODAMIENTOS.....	52
6.5. ACTIVIDADES RECOMENDADAS PARA MINIMIZAR LAS FALLAS.....	53
7. MATRIZ DE PANORAMA DE RIESGO.....	57
8. ACTIVIDADES DE INSPECCION DE MANTENIMIENTO.....	64
9. ANALISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA DE LAS BOMBA BC-T-01.....	66
10. CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFIA.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de mantenimiento y dependencia de su costo.....	26
Tabla 2. Determinación del nivel de exposición.....	29
Tabla 3. Determinación del nivel de diferencia.....	30
Tabla 4. Determinación del nivel de probabilidad.....	31
Tabla 5. Determinación del nivel de consecuencia.....	31
Tabla 6. Significado del nivel de riesgo.....	32
Tabla 7. Criterios de ponderación para definir la criticidad.....	40
Tabla 8. Valores para la clasificación de la criticidad de los componentes de las bombas.....	41
Tabla 9. Estado técnico de la bomba bc-t-01.....	44
Tabla 10. Estado técnico de la bomba bc-a-02.....	45
Tabla 11. Cantidad de fallo de los componentes de la bomba bc-t-01.....	47
Tabla 12. Cantidad de fallo de los componentes de la bomba bc-a-02.....	48
Tabla 13. Hoja de información de análisis de fallos y sus efectos.....	55
Tabla 14. Formato de registro de fallas.....	56
Tabla 15. Matriz de panorama de riesgo, identificación del proceso.....	58
Tabla 16. Matriz de panorama de riesgo, identificación de los peligros.....	59
Tabla 17. Evaluación del riesgo.....	61
Tabla 18. Controles recomendados.....	63
Tabla 19. Calendario de inspección de mantenimiento.....	65
Tabla 20. Tiempo entre fallos (meses) y tiempo fuera de servicio (horas) de la bomba bc-t-01.....	66

Tabla 21. Diferencia absolutas de mayor valor.....71

Tabla 22. Prueba de hipótesis.....72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de mantenimiento.....	24
Figura 2. Evolución de los tipos de mantenimiento.....	27
Figura 3. Esquema de la cuantificación del riesgo.....	36
Figura 4. Bomba bornemann bc-t-01.....	42
Figura 5. Matriz de cálculo de análisis de criticidad para la bomba bc-t-01.....	49
Figura 6. Matriz de cálculo de análisis de criticidad para la bomba bc-a-02.....	49
Figura 7. Probabilidad de fallo observada $Q_0(i)$	67
Figura 8. Probabilidad de fallo acumulada.....	68
Figura 9. Gráfico de la probabilidad de fallo acumulada.....	69
Figura 10. Probabilidad de reparación.....	69
Figura 11. Gráfico de la probabilidad de reparación.....	70
Figura 12. Diferencia absoluta de probabilidad de fallo.....	71

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es definido como la acción técnica encargada de mantener o restaurar un equipo para garantizar su función ante una acción determinada, una eficaz gestión de mantenimiento ayuda a la empresa a reducir costos y tiempo de producción perdido en reparación, pero en la mayoría de las empresas ven el mantenimiento como un departamento que va encaminado detrás de la productividad comprometiendo las metas financieras de la organización. Diseñar un proceso de gestión de mantenimiento eficiente con las nuevas técnicas de nivel mundial para planes de mantenimientos preventivos, se ha constituido en una de las principales herramientas para optimizar el mantenimiento de las organizaciones.

Con el compromiso de mejorar la seguridad y calidad de la prestación de sus servicios la empresa Petrocomercial S.A, está en búsqueda de implementar una estrategia de mantenimiento integral con las últimas tendencias a nivel mundial, basado en el riesgo, en sus equipos críticos con el fin de fortalecer la competitividad de la organización.

El bote Urabá propiedad de la empresa Petrocomercial S.A, es un bote dedicado al abastecimiento de diesel marino de barcos cargueros en altamar ubicado en la ciudad de Cartagena, que actualmente requiere de una asesorías técnica que permitan evaluar y diseñar un plan de mantenimiento preventivo, para descubrir las posibles deficiencias que presentan las bombas hidráulicas de abastecimiento, ayudando a optimizar e incrementar la productividad y elevar el nivel de calidad de su servicio.

En la presente investigación se determinara la situación actual de los equipos de bombeo del bote Urabá, por medio de un diseño que se adecue al mantenimiento preventivo bajo una metodología basada en el riesgo (RBI por sus siglas en ingles), el cual nos permitirá definir unas estrategias responsables y eficientes para operar las bombas hidráulicas con seguridad, confiabilidad y rentabilidad. Beneficiando por ende a todo el sistema de operación del bote, mejoramiento de la disponibilidad de los equipos para que la empresa obtenga mejores beneficios económicos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En Colombia la modalidad de venta del combustible diesel marino se le realiza a distribuidores mayoristas mediante botes o buque tanques, el proceso para el manejo de este producto debe tener una alta precaución ya que dicho combustible se clasifica como un líquido inflamable de clase II de acuerdo con la norma 321 de la NFPA (National Fire Protection Association)¹, conjuntamente el bote Urabá de la propiedad de la empresa petrocomercial al no presentar un plan de mantenimiento preventivo no garantiza la precaución mencionada ni tampoco la disponibilidad de la empresa, generándole así pérdidas económicas debido a los costosos mantenimientos correctivos que se le realizan a las bombas hidráulicas, la ineficiencia del equipo y por el tiempo perdido al detener el proceso de abastecimiento.

Debido al nuevo tratado de libre comercio con los estados unidos que comenzó a regir en país la demanda de diesel marino va en aumento generándole nuevas necesidades a la empresa petrocomercial de optimizar sus procesos y poder convertirse en una empresa competitiva. Pero en la actualidad el bote uraba presentan problemas en la disponibilidad de sus equipos, ocasionadas por las continuas fallas que se presentan en las bombas hidráulicas antiexplosivas marcas Bornemann del año 1998, a causas de la falta de una política de mantenimiento actualizada de la empresa y a los años de uso, lo que obliga a diseñar un plan de mantenimiento preventivo para mantener en buenas condiciones la maquinaria dándole optimización al proceso y previniendo

¹ Artículo Sobre el Diesel Marino, publicado por Ecopetrol, <www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37375>

accidentes. Empleando los conocimientos y capacidades adquiridas durante la formación profesional, se diseñara un plan de mantenimiento preventivo centrado en la seguridad (RBI), debido a que es el más recomendable para equipos con alto riesgo en su funcionamiento, permitiendo definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que pueden generar sobre los empleados, el proceso y el entorno.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar un plan de mantenimiento de los equipos de bombeo del bote Urabá para garantizar la seguridad y la disponibilidad?

2. JUSTIFICACION

En la actualidad, el objetivo de las empresas a nivel mundial es la búsqueda del dominio absoluto del mercado, el cual se obtiene ofreciendo productos o servicios con la más alta calidad que garanticen y satisfagan las necesidades de sus clientes; para ello es ineludible la implementación de un proceso de plan de mantenimiento en donde se identifiquen los inconvenientes que presenten actualmente la empresa, ya que es una herramienta fundamental que permite un mejoramiento visible en las normas de calidad, para la seguridad, productividad, confiabilidad y mantenibilidad de sus equipos de operación.

El Bote Urabá propiedad de la compañía Petrocomercial S.A se ha visto en la necesidad de optimizar sus plantas y procesos de producción para ampliar sus posibilidades de trabajo hacia otras regiones del país, en donde sus políticas de calidad se encuentran enfocadas en el fortalecimiento y evolución de sus procesos de abastecimiento para obtener resultados satisfactorios frente a la competencia que se le presenten en el mercado.

Basados en lo anteriormente mencionado se presentara como propuesta un plan de mantenimiento preventivo (RBI)² centrado en la seguridad debido a que en la bote trabajan con productos altamente riesgosos, siendo este el método más eficaz para disminuir costos por mantenimiento correctivo y por producción diferida, incrementa la seguridad, confiabilidad y disponibilidad operativa de los equipos, proporcionando una mayor vida útil de la maquinaria y por ende incrementa el bienestar y salud de sus operarios.

² Lourival Tavares. Administración moderna de mantenimiento,2001.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo bajo la metodología del mantenimiento centrado en el riesgo (RBI por sus siglas en inglés), en el sistema de bombas hidráulicas de diesel marino del bote Urabá para mejorar la seguridad y disponibilidad operativa.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el estado actual de los equipos para determinar sus condiciones técnicas, especialmente en lo referente a la seguridad.
- Realizar un análisis de riesgo del sistema de bombeo basado en la norma técnica colombiana GTC 45 para el desarrollo de la matriz de panorama de riesgo.
- Diseñar los calendarios de inspección del mantenimiento preventivo fijando la frecuencia y efectividad de la inspección.
- Estimar el análisis del costo del ciclo de vida de la bomba.

4. DISEÑO METODOLOGICO

El propósito de este proyecto es diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología (RBI), que satisfaga las nuevas necesidades de disponibilidad que requieren las bombas hidráulicas del bote Urabá, dicho plan se efectuara bajo una serie de pasos que permitan cumplir los objetivos establecidos.

4.1 FASE DE CARACTERIZACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE LAS BOMBAS HIDRÁULICAS.

En esta primera fase se realizo una visita al bote Urabá para identificar y evaluar el estado actual de los equipos, utilizando técnicas de alta calidad, se recolectaron datos e información de los mantenimientos correctivos efectuados a las bombas hidráulicas y se investigo sobre datos técnicos mediante los manuales de puesta en marcha, manual de servicio de los fabricantes.

En esta fase también se identifico el sitio donde operan las bombas hidráulicas, se determino el estado exterior de los equipos, la circunstancia operacional mediante la observación directa y entrevistas con el personal encargado de la operación.

4.2 FASE DE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE LAS BOMBAS HIDRÁULICAS.

En esta fase se describio de forma jerárquica los componentes críticos de las bombas mediante un análisis de criticidad, permitiendo seleccionar las partes más relevantes en el funcionamiento de las bombas, y clasificarlas en críticas, semi críticas y no críticas, utilizando la técnica de ponderar los factores del área de

operación la del mantenimiento. Esta clasificación se lograra utilizando Microsoft Excel como una herramienta estadística para la evaluación de la criticidad.

4.3 FASE DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS

Después de haber clasificado los componentes de las bombas de acuerdo a su criticidad, se analizo sus modos de fallas y sus efectos, lo cual permitió obtener información de suma importancia para diseñar el plan de mantenimiento preventivo, ya que permitió identificar las fallas que puede presentar el equipo, sus causas y como afecta la seguridad y disponibilidad del bote.

Este análisis se lograra utilizando la información recolectada en la visita programada al bote y con base en los manuales de operación y de servicio proporcionados por el fabricante de las bombas, la bibliografía consultada y datos proporcionados por los operarios encargados del mantenimiento. También se hará un análisis de riesgo del sistema de bombeos mediante una matriz de seguridad e higiene industrial.

4.4 FASE DEL DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Esta es la fase final del proyecto y consistió en definir las actividades necesarias dentro de un plan de mantenimiento eficaz y efectivo, que garanticen el buen funcionamiento de las bombas hidráulicas aumentando la seguridad y disponibilidad operativa del bote Urabá. En este diseño se definieron parámetros como el tiempo de frecuencia de monitoreo de las bombas, que actividades se deben realizar durante la inspección del equipo, desarrollar un cronograma ordenado de los cambios y lubricación de las piezas.

También se diseño unas hojas de trabajos para un número determinado de horas, donde el personal de mantenimiento describa las actividades realizadas, si se hicieron cambios, a qué hora lo realizo, todo esto para llevar un completo control sobre el equipo y obtener nuevos datos que sirven para medir la eficiencia de las bombas.

5 MARCOS DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEORICO

El mantenimiento es un método cuyo propósito consiste en mantener los equipos de operación en las mejores condiciones de trabajo, entonces el mantenimiento preventivo es una serie de actividades realizadas previamente con la finalidad de contrarrestar las fallas inminentes y mantener los elementos de la maquinaria en las condiciones específicas de operación. Lo que es completamente distinto a un mantenimiento correctivo, en el cual se realiza sin un plan de actividades, ni actividades de reparación previas disminuyendo así la seguridad, disponibilidad y confiabilidad de sus equipos debido a que los operarios actúan en el momento que ocurre la falla aumentando la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las ocurrentes alarmas y paradas en los equipos.

La confiabilidad es la capacidad de que un equipo desempeñe una función requerida en las condiciones establecidas y la finalidad del mantenimiento preventivo es mantener en el nivel más alto la confiabilidad y la disponibilidad del equipo de operación realizado mediante un mantenimiento previo que prevenga las fallas inminentes del sistema.

El mantenimiento preventivo tiene una programación establecida dependiendo de las horas de uso del equipo. Sus actividades básicas son: limpieza, lubricación y ajustes.

El mantenimiento preventivo³ es el método más conveniente frente al mantenimiento correctivo debido a las siguientes razones:

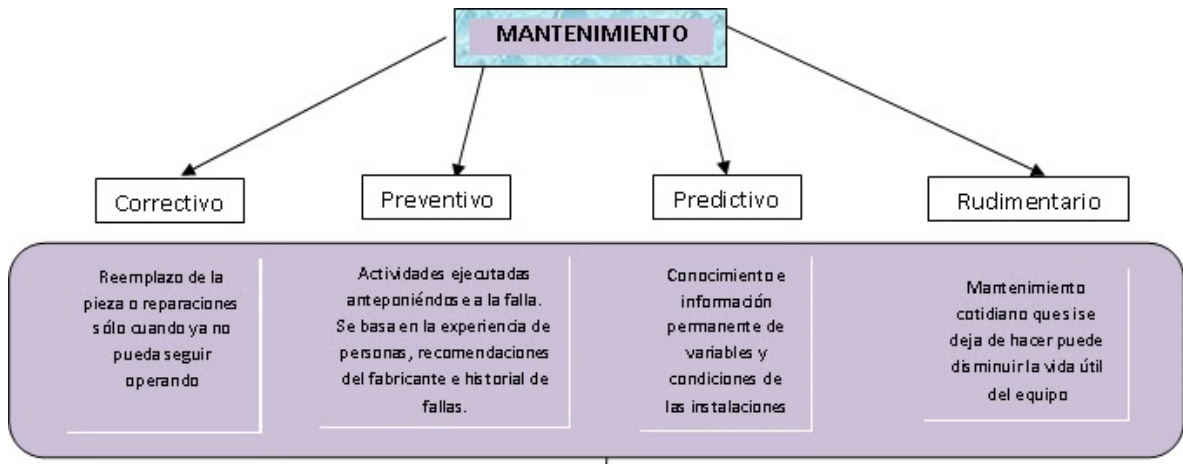
- La diferencia de costos directos e indirectos por causa de las interrupciones no planeadas, provoca disminución y daños en producción debido a los costos de emergencia.
- Disminución de tiempo muerto, tiempo de parada de los equipos ya que se conoce el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo.
- Mayor duración de los equipos e instalaciones debido al aumento de vida útil generado por la prevención de fallas.
- Si la falla no puede prevenirse, el control e inspección periódicos ayudan a reducir la severidad de la falla

5.1.1 Tipos de mantenimientos

Existen diferentes tipos de mantenimientos, sin embargo los más utilizados en la industria son el mantenimiento preventivo y correctivo en la figura se muestran los tipos de mantenimientos.

³ Jezdimir Knezevic, Mantenimiento, 2000.

Figura. 1 Tipos de mantenimientos



Fuente: Esther Heredia tipos de mantenimientos, 25 de abril 2011⁴

5.1.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una actividad programada en cuanto a análisis, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo en condiciones óptimas de operación. Se ejecuta bajo recomendaciones del fabricante, las fallas que han presentado el equipo y condiciones de trabajo dadas. Este tipo de manteniendo nos ofrece muchas ventajas como las siguientes:

- Proporcionar una mayor seguridad en los equipos y para el personal.
- Aumenta la probabilidad de disminuir los paros imprevistos de la maquinaria, disminuye las reparaciones frecuentes que ocasionan que se pierda la disponibilidad.
- Mayor calidad en el producto o el servicio.

⁴ Jezdimir Knezevic, Mantenimiento, 2000.

- Proporciona mayor control del personal de mantenimiento y de los equipos de la empresa.
- Disminución en los costos de las reparaciones.

5.1.2.1. Tipos de mantenimiento preventivo.

- Mantenimiento condicional.
Este se basa en actividades de seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.
- Mantenimiento sistemático.
Este tipo de mantenimiento se basa en función del uso del equipo (horas de trabajo, distancias, etc.).

5.1.3. Mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento no es programado y es aquel que se ocupa de la reparación del equipo después de haberse producido la falla o el paro súbito de la máquina, es el más costoso de todos, pues genera pérdidas de la producción debido al mal funcionamiento de los equipos. Su objetivo es dejar en condiciones óptimas el equipo, por medio del reemplazo del componente que fallo debido al desgaste corrosión o rotura. Este tipo de mantenimiento tiene dos enfoques:

- Mantenimiento curativo.
Este se encarga de eliminar la causa que ocasiono la avería.
- Mantenimiento paliativo.

Este se enfoca en poner a funcionar el equipo, pero sin eliminar la fuente que causo la avería.

Tabla.1 Tipos de mantenimiento y dependencia de su costo

Tipo de mantenimiento	Se efectúa en él:	El costo depende de:
Preventivo	Momento planificado	Lo que se detecte
Correctivo	No se sabe	Del o de los fallo(s) y tiempo consumido por el mismo
Predictivo	Continuamente	Costo de las herramientas usadas

Fuente: Ing. Andrey Vinajera Zamora e Ing. Ráynel Domínguez Martínez
Producción, procesos y operaciones julio 10 de 2010

5.1.4. Programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento es un diseño de actividades distribuidas en el tiempo de operación de la máquina, donde se asignan recursos dependiendo de la situación del equipo que permiten mantenerlo en condiciones operacionales aceptable, para cumplir con las metas de producción establecida por la empresa. Existen tres tipos de planes de mantenimiento y son los siguientes:

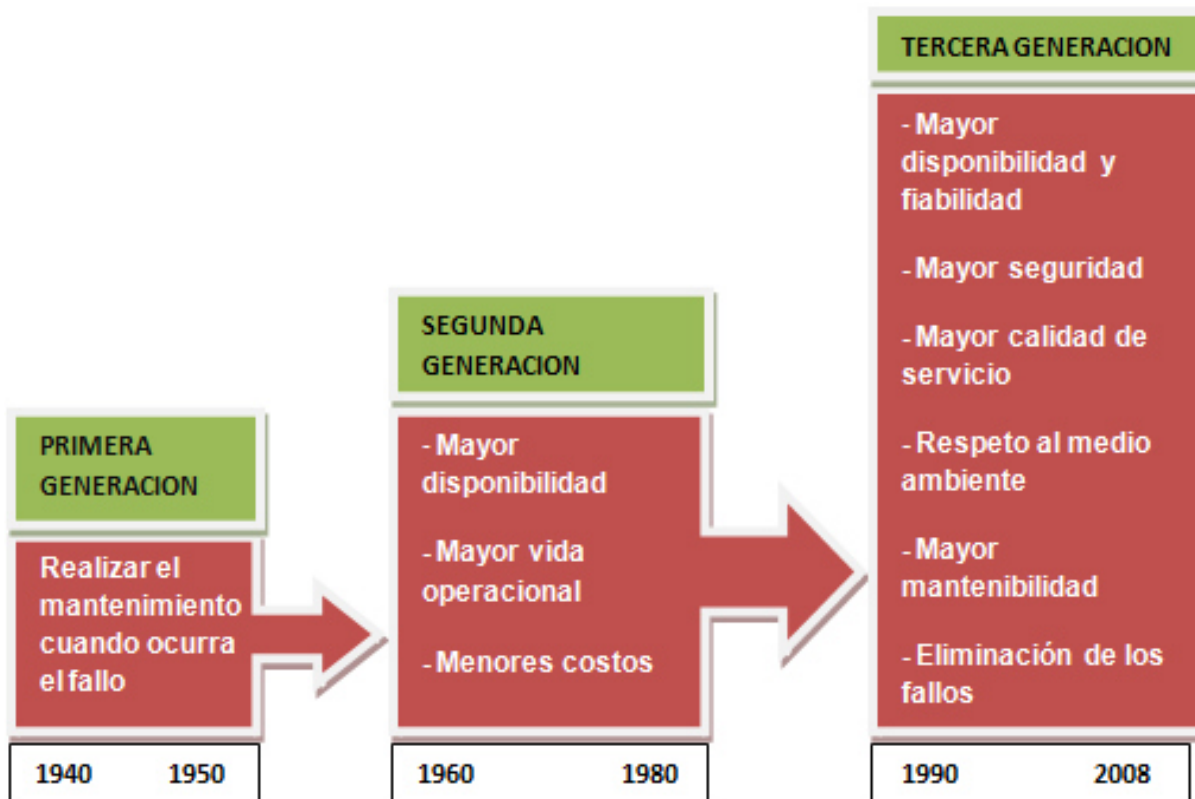
- Planes a largo plazo (cubre un periodo de 5 años).
- Planes a mediano plazo (cubre un periodo de un año).

- Planes a corto plazo (son los planes programados para cada semana del año).

5.1.5. Objetivos del mantenimiento

Los objetivos del mantenimiento han ido evolucionando con el tiempo, ya que en cada época surgieron nuevas necesidades en la industria, en la siguiente figura se puede observar la evolución de los objetivos del mantenimiento.

Figura. 2 Evolución de los objetivos del mantenimiento



Fuente: Autores

5.1.6. La gestión del riesgo

La gestión del riesgo cada día que pasa se está volviendo más importante, principalmente en empresas que poseen procesos con alto riesgo, y el mantenimiento hace parte de este proceso. Anteriormente este tipo de eventos era controlado por los sistemas de gestión de seguridad y medio ambiente implementados por la organización. Sin embargo, existe una creciente percepción de que la aplicación de estos sistemas de gestión a los sucesos de baja probabilidad pero con consecuencias graves no es efectiva.

Para conseguir un control efectivo de los sucesos de baja probabilidad y graves consecuencias desde el punto de vista del mantenimiento se necesita establecer una extensa capa de defensa contra el riesgo de manera efectiva. Para ello, no basta simplemente con la utilización de una herramienta como el mantenimiento basado en la confiabilidad RCM⁵, sino que hay que completarlas con estudios específicos para cada caso.

⁵ John Moubray. Reliability-centered Maintenance II, 1997

5.1.7. Nivel de exposición (NE)

El nivel de exposición es la situación de exposición a un riesgo que se presenta en un tiempo determinado durante la jornada laboral.

Tabla 2. Determinación del nivel de exposición

Nivel de exposición	NE	Significado
Continua(EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente(EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.
Ocasional(EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica(EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.

Fuente: Guía técnica colombiana GTC 45

5.1.8. Nivel de deficiencia (ND)

El nivel de deficiencia es la magnitud de la relación esperable entre el conjunto de peligros detectado y su relación causal directa con posibles incidentes, con la eficacia de las medidas preventivas existentes en lugar de trabajo.

Tabla 3. Determinación del nivel de deficiencia

NIVEL DE DEFICIENCIA	ND	Significado
Muy alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como muy posible la generación de incidentes, o no existen medidas de prevención respecto al riesgo.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia de las medidas preventivas es baja.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de de menor importancia, la eficacia de las medidas preventivas es moderada.
Bajo (B)	No se asigna valor	No se ha detectado anomalía destacable alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambas. El riesgo está controlado.

Fuente: Guía técnica colombiana GTC

5.1.9. Nivel de probabilidad (NP)

El nivel de probabilidad es el producto del nivel de deficiencia por el nivel de exposición, $NP = ND \times NE$.

Tabla 4. Determinación del nivel de probabilidad

Niveles de Probabilidad		Nivel de Exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel de deficiencia (ND)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Fuente: Guía técnica colombiana GTC 45

5.1.10. Nivel de consecuencia (NC)

Es un indicador de la medida de la severidad de las consecuencias, observar la tabla 5.

Tabla 5. Determinación del nivel de consecuencia

Nivel de consecuencias	NC	Significado
		Daños personales
Mortal o catastrófico (M)	100	Muerte(S)
Muy grave (MG)	60	Lesiones graves irreparables (incapacidad permanente)
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral temporal (ILT)
leve (L)	10	Lesiones que no requieren hospitalización

Fuente: Guía técnica colombiana GTC 45

5.1.11. Nivel de riesgo (NR)

El nivel de riesgo es una magnitud resultante del producto del nivel de probabilidad por el nivel de consecuencia.

Tabla 6. Significado del nivel de riesgo

Nivel de riesgo y de intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo suspenda actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 60.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras.

Fuente: Guía técnica colombiana GTC 45

5.2. MARCO CONCEPTUAL

5.2.1. Sistema

Es un nivel de detalle establecido por un grupo de equipos que cumplen una función en específico. La gran parte de dichos están configurados en función a los procesos. (Ej. Sistema de Bombeo, Sistema de del combustible, Sistema de Generación Eléctrica, etc.)

5.2.2. Efectividad Operacional

Es la capacidad que posee un equipo o sistema de realizar las funciones para las cuales fueron diseñados y cumplir con lo requerido, este término está relacionado con las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo.

5.2.3. Disponibilidad

Este es un índice del mantenimiento de nivel mundial, y es el primer parámetro asociado al mantenimiento, por que va de la mano con la capacidad de producción de las empresas. Se define como la probabilidad de que una maquina esté preparada para producción en un periodo de tiempo determinado⁶.

⁶ RODRÍGUEZ, “gestión de mantenimiento”, pag.6

5.2.4. Confiabilidad

La fiabilidad es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para la cual fue diseñado, durante el periodo de tiempo específico y bajo las condiciones de operación dadas⁷.

5.2.5. Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo en estado de falla, pueda ser reparado a una condición específica en un tiempo específico, con unos recursos determinados⁸.

5.2.6. Mantenimiento centrado en el riesgo (RBI)

El mantenimiento centrado en el riesgo es una metodología, que tiene como propósito definir las actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes que se produzcan las fallas. Esta metodología presenta un sistema predictivo que sirve para determinar las futuras fallas que se puedan presentar en el equipo y a su vez determinar las acciones para atenuar dichos modos de falla.

5.2.7. El riesgo

El riesgo se define como la posibilidad de ocurrencia de un evento que genera consecuencias que afectan el entorno (ambiente, persona, activos). El riesgo se

⁷ RODRÍGUEZ, gestión de mantenimiento, 2008,7, Espinoza, optimización del mantenimiento, epoch, pag.54

⁸ RODRÍGUEZ, "gestión de mantenimiento", pag.7

puede describir como la percepción de un peligro (causa inminente de pérdida), la percepción que tienen las personas de los peligros influye en la percepción que tienen del riesgo asociado.

5.2.8. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es una actividad no programada que tiene como objetivo la reparación de un equipo cuando ocurre la falla, esto se logra con actividades como reemplazo de piezas, restauración de componentes⁹, etc.

5.2.9. Cuantificación del riesgo

La cuantificación del riesgo se define, como la esperanza matemática de la pérdida. Es decir considerando una frecuencia de ocurrencia F y una consecuencia C , el riesgo será el producto de esta frecuencia por la consecuencia. Siendo F la esperanza matemática de la pérdida en un determinado periodo de tiempo.

⁹ SUAREZ D, "Guía teórico – práctico de manteniendo mecánico", Universidad de oriente. (2001)

Figura. 3 Esquema de la cuantificación del riesgo



Fuente: Crespo, A., Sánchez, A. (2002). Models for maintenance optimization

5.2.10. Metodología del análisis de costo de ciclo de vida (ACCV)

Esta metodología puede definirse como un proceso sistemático donde se evalúan diferentes activos, que considera de forma simultánea aspectos económicos y de fiabilidad, con el propósito de cuantificar el impacto de los costos a lo largo del ciclo de vida de los activos, y de esta forma poder seleccionar el activo que aporte los mayores beneficios al proceso de producción, esta metodología permita calcular el costo de ciclo de vida de los activos y comparar las diferentes opciones con el fin de identificar cuál de todos tiene el mejor costo de ciclo de vida.

5.2.11. Fiabilidad

La fiabilidad es la probabilidad de que un equipo cumpla con una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un periodo de tiempo específico. La fiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallos y con el tiempo medio de operación TPO. Mientras el número de fallos de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el TPO de un equipo disminuya, la fiabilidad del mismo será menor.

5.2.12. Consecuencia

La consecuencia es el resultado, en términos de lesión o enfermedad, de la materialización de un riesgo, expresado cualitativa o cuantitativamente.

5.2.13. Valoración del riesgo

La valoración del riesgo es el proceso de evaluar el(los) riesgo(s) que surge(n) de un(os) peligro(s), teniendo en cuenta la suficiencia de los controles existentes, y de decidir si el(los) riesgo(s) es (son) aceptable(s) o no.

5.2.14. Pasos básicos a seguir en la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos

Los criterios necesarios para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos son:

- a) Clasificar las actividades del lugar de trabajo: preparar una lista de los procesos de trabajo y de cada una de las actividades que lo componen; esta lista debería incluir instalaciones, planta, personas y procedimientos.
- b) Identificar los peligros: incluir todos aquellos relacionados con cada actividad laboral. Considerar quien y como puede resultar afectado.
- c) Identificar los controles de los riesgos: relacionar los controles existentes que la organización ha implementado para reducir el riesgo asociado a cada peligro.
- d) Evaluar el riesgo: calificar el riesgo asociado a cada peligro, incluyendo los controles existentes que están implementados. Se deberían considerar la eficacia de dichos controles y la probabilidad y las consecuencias si estos fallan.
- e) Definir los criterios para determinar la aceptabilidad del riesgo.
- f) Decidir si el riesgo es aceptable: determinar la aceptabilidad de los riesgos y decidir si los controles existentes o planificados son suficientes para mantener los riesgos bajo control y cumplir los requisitos.
- g) Elaborar el plan de acción para el control de los riesgos a fin de mejorar los controles existentes si es necesario, o atender cualquier otro asunto que lo requiera.
- h) Revisar el plan de acción propuesto: re-valorar los riesgos con base en los controles propuestos y verificar que los riesgos serán aceptable.
- i) Asegurar que los controles implementados son efectivos y que la valoración de los riesgos está actualizada.

5.2.15. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una técnica que se utiliza para establecer la jerarquía o prioridades de los sistemas que conforman un equipo, esto facilita la toma de decisiones. El análisis de criticidad nos permitirá observar cuales son los elementos más críticos del equipo, ósea los elementos más propensos a fallar. En el análisis de criticidad los elementos se pueden clasificar en: no crítico, semi-crítico y crítico. A continuación se mostrara una tabla con los criterios para definir la criticidad.

5.2.16. Capacidades de la Inspección Basa en el Riesgo

La Inspección Basa en el Riesgo (RBI) tiene la capacidad de ofrecer lo siguiente:

- Evaluar los planes actuales de inspección para determinar las prioridades para las inspecciones
- Evaluar los planes de futuro para la toma de decisiones
- Identificar crítica contribuyentes al riesgo que de otro modo no se le da la importancia necesaria y puede ser pasado por alto
- Evaluar los cambios a las operaciones básicas que afectan a la integridad del equipo
- Establecer niveles óptimos económicos de la inspección pesada contra la reducción del riesgo
- Incorporar los niveles de "riesgo aceptable"

5.2.17. Inspección

La inspección es el método de exploración física el cual es efectuado mediante la vista. El objetivo de la inspección es detectar características físicas significativas de su entorno discriminando de forma precisa los hallazgos anormales en relación con los normales.

Tabla 7. Criterios de ponderación para definir la criticidad

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Coste Mmto.} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de fallas:		Coste de Mmto.	
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4	Mayor o igual a 20.000\$	2
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	Inferior a 20.000 \$	1
Buena 1 - 2 fallas/año	2		
Excelente menores de 1 falla/año	1		
Impacto operacional		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene	
Parada inmediata de toda la refinería	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Repercute en costes operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes) personal propio	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Flexibilidad Operacional		No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4		0
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: Crespo, A., Sánchez, A. (2002). Models for maintenance optimization

Tabla 8. Valores para la clasificación de la criticidad de los componentes de las bombas

FRECUENCIA	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIAS				

Fuente: Crespo, A., Sánchez, A. (2002). Models for maintenance optimization

Para la valoración de la criticidad se presenta la tabla anterior donde el significado de las iniciales se presentan a continuación:

NC: no critico

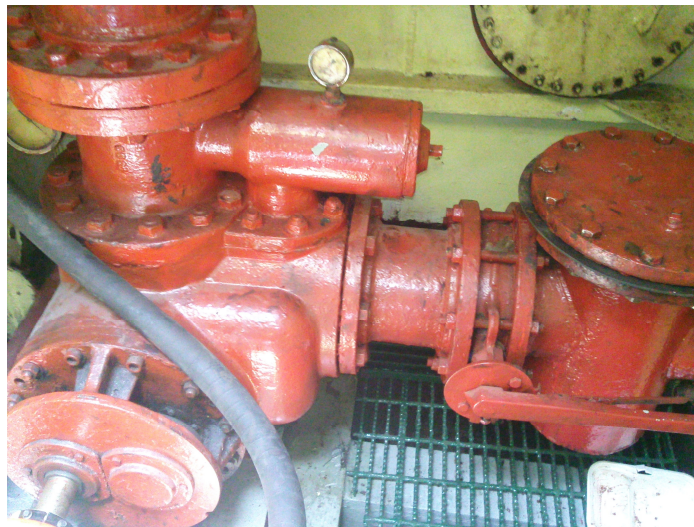
SC: semi - critico

C: critico

6. CARACTERIZACION DEL ESTADO ACTUAL DE LAS BOMBAS

Las bombas utilizadas por el bote Urabá para trasegar el Diesel marino son bombas centrifugas del fabricante bornemann con una presión de 5 bar, gira a una velocidad de 1750 rpm y tiene una capacidad que oscila de 80 – 215 m³/h, esta bomba hidráulica transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética y potencial requeridas para transportar el Diesel. Son dos bombas con las mismas características con las que cuenta el bote pero cuando se trasiega el combustible solo se utiliza una, la otra bomba solo entra a trabajar en caso de que la bomba que esté trabajando presente una falla, cabe resaltar que las bombas solo trabajan cuando ahí pedido de combustible por lo que su tiempo de funcionamiento es variable y depende de la cantidad de combustible que tenga que trasegar.

Figura 4. Bomba bornemann BC-T-01



Fuente: Autores

6.1. NOMENCLATURA DE LAS BOMBAS

Debido a que el bote utiliza dos bombas, una para trasegar el combustible Diesel marino y la otra de reserva por si la primera falla, se definió una nomenclatura para diferenciar ambas bombas.

BC= indica que es una bomba centrifuga

T= indica que es la bomba principal para trasegar el combustible

A= indica que es la bomba auxiliar

01= indica el número de clasificación

02= indica el número de clasificación

Para la caracterización del estado de las bombas se utilizó un método directo, ósea se hicieron visitas al bote y se hizo una inspección visual del área donde se encuentran localizadas las bombas, se observó su estado externo y se pudo analizar su desempeño al momento de ponerlas en marcha, se observó que los medidores de los niveles de presión no se encontraban funcionando debido a que se encontraban averiados e iban hacer cambiados.

El resultado de la inspección visual fue muy bueno, pues las bombas se encontraban en un buen estado, su funcionamiento era óptimo, no se hallaron fugas ni indicios de posibles fallas, solo presentaba un ruido extraño, pero el operario informo que era normal, a continuación se presentara una tabla con la información de las bombas

Tabla 9. Estado técnico de la bomba BC-T-01

ESTADO TECNICO ACTUAL DE LA BOMBA BC-T-01			
MARCA: BORNERMAN	MODELO: W727K75		
PRESION: 5 bar	CAPACIDAD: 80-215 m3/h		
REVOLUCIONES: 1750 RPM	POTENCIA EN EL EJE: 45-80 KW		
ESTADO ACTUAL DE LOS COMPONENTES	BUENO	REGULAR	MALO
Estado de la carcasa		x	
Estado de la tubería	x		
Estado de los acople	x		
Funcionamiento de la bomba	x		
Estado externo de los sellos	x		
Estado del anclaje		x	
Estado del motor hidráulico	x		
Estado de los medidores de presión			x

Fuente: Autores

Tabla 10. Estado Técnico de la bomba BC-A-02

ESTADO TECNICO ACTUAL DE LA BOMBA BC-A-02			
MARCA: BORNERMAN	MODELO: W727K75		
PRESION: 5 bar	CAPACIDAD: 80-215 m3/h		
REVOLUCIONES: 1750 RPM	POTENCIA EN EL EJE: 45-80 KW		
ESTADO ACTUAL DE LOS COMPONENTES	BUENO	REGULAR	MALO
Estado de la carcasa	x		
Estado de la tubería	x		
Estado de los acople		x	
Funcionamiento de la bomba	x		
Estado externo de los sellos	x		
Estado del anclaje	x		
Estado del motor hidráulico	x		
Estado de los medidores de presión	x		

Fuente: Autores

Revisada el área de operación de las bombas, no se encontraron los manuales de puesta en marcha, ni el manual de servicio de los fabricantes. Pero la inspección visual se pudo determinar que la bomba BC-T-01 se encuentra en un buen estado operacional, pues sus componentes principales se encuentran en buen estado, la bomba BC-A-02 es la bomba auxiliar está en mejor estado que la bomba principal, debido a que esta solo opera en caso de que se presente alguna falla con la bomba principal

6.2 JERARQUIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS BOMBAS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para la jerarquización de los componentes de las bombas se aplicó un estudio de criticidad, para determinar que componentes son los más críticos y así enfocar el estudio hacia los componentes que lo ameriten, para aplicar este análisis fue necesario obtener la información de la cantidad de fallas que han presentado cada componente de las bombas en el último año de funcionamiento, la cual fue proporcionada por la persona encargada del mantenimiento, datos no tabulados fueron reseñas dadas a través de entrevistas realizados a los operarios.

La primera etapa se basó en hacer una lista con los componentes a los cuales se les realizó el análisis de criticidad. Se contó con la colaboración del personal encargado del mantenimiento que proporcionaron de manera directa cuales eran los componentes que más fallas presentaban. En la segunda etapa debido a que no se tenían registros de los equipos, se realizó un encuentro con el personal de mantenimiento que de acuerdo a su experiencia y los años trabajando en el bote determinaron la información necesaria para el análisis de criticidad.

Para la tercera etapa ya con toda la información se realizó el análisis, utilizando el programa Microsoft Excel, se creó una matriz donde se determinó el grado de criticidad de cada uno de los componentes analizado.

Luego de haber obtenido la información de la cantidad de fallo de cada componente y de su ponderación según los criterios mostrados en la tabla xx, se procedió a evaluar los demás factores que hacen parte del análisis de criticidad tales como impacto operacional, fiabilidad operacional, coste de mantenimiento

que tiene una ponderación de 1 si el coste es inferior a cinco millones de pesos y de 2 si el coste es mayor de cinco millones de pesos y por ultimo está el factor de impacto en seguridad ambiente e higiene.

Tabla 11. Cantidad de fallo de los componentes de la bomba BC-T-01

BOMBA BC-T-01		
Componente	Frecuencia (fallos/años)	Ponderación
Sellos mecánico	4	3
Rodamientos	3	3
Ejes	2	2
Impulsor o rodete	2	2
Acoplamiento	2	2
Motor hidráulico	2	2
Carcasa	1	2

Fuente: Saturnino Gómez técnico de mantenimiento del Bote Urabá

Tabla 12. Cantidad de fallo de los componentes de la bomba BC-A-02

BOMBA BC-A-02		
Componente	Frecuencia (fallos/años)	Ponderación
Sellos mecánico	3	3
Rodamientos	2	2
Ejes	1	2
Impulsor o rodete	1	2
Acoplamiento	1	2
Motor hidráulico	1	2
Carcasa	1	2

Fuente: Saturnino Gómez técnico de mantenimiento del Bote Urabá

Se utilizó Microsoft Excel para el análisis de criticidad de cada componente, se creó una matriz en donde se relacionan cada aspecto necesario para hallar la criticidad y luego clasificarlos. En esta matriz se calcula el total de las ponderaciones, se relaciona la frecuencia y las consecuencias, después de haber obtenido el resultado cuantitativo se determina si el elemento es crítico, semi crítico y no crítico. Para identificar con mayor rapidez la criticidad de los elementos se rellenó cada celda con su color correspondiente. Si la celda es roja significa que el elemento es crítico, si es amarillo significa que el elemento es semi crítico y si es verde significa que no es crítico.

Figura 5. Matriz de cálculo de análisis de criticidad para la bomba BC-T-01

JERARQUIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA BOMBA BC-T-01								
COMPONENTE	FRECUENCIA (FALLAS/AÑOS)	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SHA	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACION
SELLOS MECANICOS	3	9	4	1	4	41	123	CRITICO
RODAMIENTOS	3	9	4	1	3	40	120	CRITICO
EJE	2	8	4	1	1	34	68	SEMI CRITICO
IMPULSOR O RODETE	2	4	2	1	1	10	20	NO CRITICO
ACOPLAMIENTO	2	4	1	1	1	6	12	NO CRITICO
MOTOR HIDRAULICO	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
CARCAZA	2	2	2	1	0	5	10	NO CRITICO

Fuente: Autores

El resultado de la matriz nos permitió jerarquizar los componentes de cada bomba del mas critico al menos crítico, en la bomba BC-T-01, los sellos mecánicos y los rodamientos son los componentes más críticos, seguido del eje y el motor hidráulico que se encuentran en el rango semi crítico.

Figura 6. Matriz de cálculo de análisis de criticidad para la bomba BC-A-02

JERARQUIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA BOMBA BC-A-02								
COMPONENTE	FRECUENCIA (FALLAS/AÑOS)	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SHA	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACION
SELLOS MECANICOS	3	9	4	1	4	41	123	CRITICO
RODAMIENTOS	2	9	4	1	3	40	80	SEMI CRITICO
EJE	2	8	4	1	1	34	68	SEMI CRITICO
IMPULSOR O RODETE	2	4	2	1	1	10	20	NO CRITICO
ACOPLAMIENTO	2	4	1	1	1	6	12	NO CRITICO
MOTOR HIDRAULICO	2	6	4	1	0	25	50	NO CRITICO
CARCAZA	2	2	2	1	0	5	10	NO CRITICO

Fuente: Autores

En la bomba BC-A-02 el componente más crítico son los sellos mecánicos, seguido por el eje y los rodamientos que en este caso están en el rango semi crítico, en el rango No crítico se encuentra el impulsor o rodete, acoplamiento, el motor hidráulico y la carcasa.

6.3 FUNCIÓN DE LOS SELLOS MECÁNICOS

La función de un sello mecánico es evitar el escape de líquidos por el espacio libre entre un eje en rotación y el conducto o abertura en la pared de una carcasa o un recipiente de presión. Todos los sellos tienen tres componentes básicos: 1) un grupo de elementos primarios; 2) un grupo de sellos secundarios, y 3) los componentes para instalar, sujetar y mantener el contacto entre las caras.

Todos los sellos mecánicos tienen cierta cantidad de fugas, aunque la mayor parte de ellas no se puede ver. Suelen ser pequeñas y se debe permitir que los líquidos que no son peligrosos ni tóxicos se evaporen en la atmósfera en un tiempo corto. Para los líquidos peligrosos y tóxicos, hay que tener algún medio de control.

Los sellos mecánicos tienen unos accesorios metálicos que son utilizados para adaptar los sellos en un equipo. Puede ser una camisa o una cubierta, para aplicar precarga mecánica en las caras del sello hasta que empiece la presión hidráulica, para transmitir el par o torsión a las caras fijas y rotatorias del sello, se obtienen con pasadores, rebajos, muescas o tornillos integrales con sello.

6.4.1 Causas de las fallas en sellos mecánicos

Todos los sellos mecánicos son básicamente iguales y sus principales fallas suelen ser por 1) problemas por el diseño básico del sello mecánico, 2) contaminación del líquido y 3) errores en la instalación.

Pero cuando las fugas son excesivas es que hay falla del sello y las causas más comunes son:

- a) Manejo incorrecto de los componentes. Permitir que se raspen o dañen antes o durante la instalación.
- b) Ensamblaje incorrecto del sello. Colocación incorrecta o no instalar un componente en la cavidad para el sello.
- c) Materiales o tipo de sellos inadecuados. Selección incorrecta del material o tipo de sello para las presiones, temperatura, velocidades y propiedades de los líquidos.
- d) Procedimientos incorrectos para arranque y funcionamiento.
- e) Contaminante en el líquido. Pueden ser partículas de sólidos en líquido para la cavidad del sello.
- f) Sellos gastados. Cuando ha terminado la duración útil del sello.
- g) Equipos en malas condiciones. El problema poder ser por desviación, flexión o vibración excesiva del eje.

6.4.2 Falla corrosión por fricción

Esta es quizás de los tipos más comunes de corrosión en los sellos mecánicos. Permite fugas por los sellos secundarios y corroe y daña el eje o camisa que están directamente debajo del sello secundario. En esa zona se pueden presentar picaduras.

La causa de este tipo de falla se debe al movimiento entre las dos superficies que están fijas entre si ocasiona la corrosión por fricción. En los sellos mecánicos, la fricción se debe a un movimiento constante hacia un lado y otro del sello secundario en la camisa o manguito del eje, que elimina su revestimiento protector. La vibración constante de la empaquetadura del eje en esta superficie desgata el revestimiento de superficie y permite que ocurra más corrosión.

6.5 CAUSA DE FALLA DE RODAMIENTOS

Las fallas más comunes en los rodamientos son causados por errores humanos a continuación se presentara las causas que permiten que ocurran fallas en los rodamientos:

- a) **Ajuste:** Esta es una causa de las fallas de rodamientos, se da por error de ajuste al instalar, revisar o hacer mantenimiento preventivo. Mucho de esto viene por la falta de un torquimetro, o por falta de conocimiento del manejo de esta herramienta y por mala calibración.

- b) **Deslizamiento entre la pista y los elementos rodantes:** Lo generan las altas velocidades con bajas cargas, aceleraciones y desaceleraciones repetitivas, lubricantes inadecuado o por entradas de agua. Se disminuiría este tipo de fallas aumentando la precarga, utilizando lubricantes con viscosidad adecuada, mejorando el mecanismo de sellado y el método de lubricación.

- c) **Lubricación:** Esto puede ser por grasa inadecuada, exceso de grasa o falta de grasa al momento de la realización del mantenimiento o cambio de los rodamientos.

- d) Contaminación:** esta es la causa de menor porcentaje de fallos en los rodamientos, pero de suma importancia para controlar, las fallas por contaminación del medio ambiente o del trabajo. La falta o falla de retenes, la revisión luego de trabajar en el agua, la limpieza del área de trabajo y el exceso de polvo afectan la vida útil del equipo.
- e) Fatiga:** La fatiga es una de las causas más comunes en los fallos de los rodamientos. En términos generales se habla de sobrecarga en los rodamientos, mal aplicados (rodamientos diseñados para ser usados en posición vertical e instalada horizontalmente) o falta de protección por la grasa de escasa resistencia Timken, poca adherencia, alta consistencia o pobre resistencia a los contaminantes (agua, temperatura, gases, etc.).
- f) Daños, deformaciones y fracturas en las jaulas:** Se generan básicamente por Fallas en la instalación (des-alineamiento), Impactos o grandes vibraciones, Aumento de la temperatura, Rotación excesiva, aceleraciones o desaceleraciones repetitivas, Falla de lubricación o de manejo. Se previene este tipo de fallas verificando el método de la instalación, temperatura, velocidad y condiciones de carga, Reduciendo la vibración y la Selección del tipo de jaula y la Selección del método de lubricación y lubricante.

6.6 ACTIVIDADES RECOMENDADAS PARA MINIMIZAR LA CANTIDAD DE FALLAS

Cada vez que se repara y se reemplaza un componente de un equipo, las posibilidades de fallos prematuros son altas, debido a la falta de experiencia o conocimiento del personal encargado del mantenimiento por eso es recomendable

contar con personas calificadas para la realización de este trabajo y tener un monitoreo regular con cada uno de los componentes críticos que se determinaron en el análisis de criticidad, se recomienda las siguientes actividades.

- Realizar inspecciones visuales durante la operación de las bombas, ya que permite detectar problemas como fugas del diesel o de lubricante, se pueden detectar fallas por medio del sonido y también identificar condiciones inseguras para el operario.
- Asegurar que los equipos están operando dentro de las condiciones establecidas.
- Monitorear la temperatura de operación de la bomba, asegurarse que estén en los rangos normales de operación, debido que a condiciones normales esta variable es muy estable, si se presenta temperaturas fuera del rango establecido puede que se estén presentando problemas por fricción de elementos lo que indicara que hay un nivel bajo de lubricación.
- Se ah diseñado una hoja de información para llevar el control e historial de los fallos que se presenten, con el fin de facilitarle al personal de mantenimiento el proceso de aplicar métodos como el análisis de causa-raíz que proporcionara diagnósticos y correcciones de inapropiados funcionamiento que se le están aplicando a las bombas, con el fin de determinar las causas que ocasionan las fallas ocurridas y las que pueden ocurrir, y así poder fijar estrategias que ayuden a prevenir la ocurrencia de dichas fallas y por lo tanto sus efectos en la seguridad operacional de las bombas.

Tabla 13. Hoja de información de análisis de fallas y sus efectos

HOJA DE INFORMACION ANALISIS DE MODO DE FALLAS Y SUS EFECTOS BOTE URABA			HOJA
FECHA:	EFFECTUADO POR:	REF. DEL EQUIPO:	
SISTEMA:	EQUIPO:	COMPONENTE:	
FUNCION	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	

Fuente: Autores

Tabla 14. Formato de registro de fallas

HOJA DE INFORMACION REGISTRO DE FALLAS		HOJA
BOTE URABA		
FECHA INICIAL DE LA AVERIA:	FECHA FINAL DE LA AVERIA:	REF. DEL EQUIPO:
SISTEMA:	EQUIPO:	COMPONENTE:
ITEM	MODO DE FALLA	

Fuente: Autores

7. MATRIZ DE PANORAMA DE RIESGO

Con la ayuda de Microsoft Excel se realiza un análisis de panorama de riesgo guiado por la norma INCONTEC GTC 45, en el cual los resultados obtenidos son plasmados en la matriz de riesgo. El propósito de este análisis es el de identificar y entender los peligros que se pueden generar en el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento de las bombas, pues el fluido de trabajo es altamente inflamable y puede ocasionar daños a la persona al medio o a los activos, con el fin de que se puedan establecer los controles necesarios al punto de asegurar de que cualquier riesgo sea aceptable.

La primera fase se basó en identificar los peligros asociados a las actividades en el lugar de trabajo y valorar los riesgos derivados de estos peligros, se determinó que clase de peligros eran si biológicos, físicos, químicos, de seguridad. Se hicieron consultas a los operarios y todas las personas implicadas en la operación del bote, ya que todos los trabajadores son parte activa, se determinó si eran trabajos rutinarios o no, en que sitio se realizó el trabajo y persona encargada de realizar el trabajo.

La segunda fase consistió en clasificar las actividades del lugar de trabajo, se creó una lista de los procesos de trabajo y de cada una de las actividades que lo componían. Después se procedió a identificar los controles de los riesgos, en el medio, en la fuente y en la persona, relacionando los controles implantado por la empresa propietaria del bote y los sugeridos, y por último en esta fase se evaluó el riesgo asociado a cada peligro identificado, tales como nivel de deficiencia, nivel de exposición, el nivel de probabilidad, nivel de consecuencias y nivel del riesgo.

En la tercera fase se definieron los criterios para determinar la aceptabilidad del riesgo, de acuerdo a los parámetros recomendados por la norma, y con los datos obtenidos en la fase anterior se determinó la aceptabilidad de los riesgos y se proporcionó controles para mantener los riesgos bajo control. Obtenidos todos los datos relevantes se procedió a ingresar los datos a la hoja de Microsoft Excel y como resultado se dio la matriz de riesgo.

Tabla 15. Matriz de panorama de riesgo

PROCESO	ZONA / LUGAR	ACTIVIDAD	TAREAS	RUTINARIAS	NO RUTINARIAS
Mantenimiento	área de operación	instalación, sellos mecánicos,	mantenimiento de bombas centrífugas	si	se activa el sistema de alarmas y/ emergencias
Mantenimiento	área de operación	instalación, rodamientos	mantenimiento de bombas centrífugas	si	se activa el sistema de alarmas y/ emergencias
Proceso operacional	área de operación	bombeo de diesel marino	mantenimiento motor contraincendios	si	se activa el sistema de alarmas y/ emergencias

Fuente: Autores

Esta primera parte se realizó una inspección en el área donde se encuentran ubicadas las bombas hidráulicas, esto permitió identificar el proceso, la zona o lugar, la actividad que se realiza y se determinó si era rutinaria o no, al momento

de la inspección se percibió que el lugar de operación era confinado, con una visibilidad buena, pero con un fuerte ruido cuando la bomba está operando. Después se procedió a identificar los peligros que se pueden presentar al momento de realizar las actividades, algunos de estos son, lesiones por golpes con herramientas, derrame de diesel al mar, incendios, etc. Se estableció que tipo de riesgo representan esos peligros y sus posibles efectos, todos los datos fueron tabulados y pueden ser observados en la tabla 16.

Tabla 16. Matriz de panorama de riesgo

PELIGRO	RIESGO	FACTOR DE RIESGO	EFFECTOS POSIBLES
1. Lesiones por contacto con combustible. 2. Lesiones por golpes con objetos o herramientas 3. Derrame de combustible por apertura de líneas durante la realización del mantenimiento.	SEGURIDAD	MECANICO, LOCATIVO, TECNOLOGICO	YA MENCIONADO EN PELIGROS
1. Lesiones por contacto con combustible. 2. Lesiones por golpes con objetos o herramientas 3. Derrame de combustible por apertura de líneas durante la realización del mantenimiento.	SEGURIDAD	MECANICO, LOCATIVO, TECNOLOGICO	YA MENCIONADO EN PELIGROS
1. Derrame de combustible por fugas en la bomba al momento de la operación. 2. Derrame de combustible al medio ambiente por fugas en la tubería. 3. Peligro de incendios.	SEGURIDAD	MECANICO, LOCATIVO, TECNOLOGICO	YA MENCIONADO EN PELIGROS

Fuente: Autores

Una vez identificados los peligros, sus efectos y el riesgo que representan se procede a una evaluación cualitativa del riesgo, guiados por la norma INCONTEC GTC 45, quien proporciona el procedimiento que se debe seguir para dicha evaluación.

Se determina el nivel de deficiencia para cada actividad, según la valoración representada en la tabla 2. Se estableció que las actividades de mantenimiento presentaban un nivel de deficiencia medio (2), ya que se detectaron peligros que ocasionarían consecuencias pocos significativas, pero al momento de operación el nivel de deficiencia es alto (6), por que se detectaron peligros que pueden traer consecuencias significativas, como lo es un incendio por fuga del fluido de trabajo, un derrame de combustible al mar, además las medidas preventivas son bajas.

Después se procedió a determinar el nivel de exposición tabla 3, para las actividades de mantenimiento el nivel de exposición resultante fue ocasional (2), ya que estas actividades solo se dan cuando el equipo falla, y para la actividad de operación de las bombas el nivel de exposición es continua (4), pues la situación de exposición se presenta por tiempo prolongado. Se establece el nivel de probabilidad mediante la ecuación.

$$NP= ND \times NE$$

Donde ND es el nivel de deficiencia y NE el nivel de exposición, los resultados obtenidos son presentados en la tabla 17.

Tabla 17. Evaluación del riesgo

EVALUACION DEL RIESGO							VALORACION DEL RIESGO
Nivel de deficiencia	Nivel de exposición	Nivel de probabilidad (ndxne)	interpretación del nivel de probabilidad	nivel de consecuencia	nivel de riesgo	interpretación del NR	aceptabilidad del riesgo
2	2	4	BAJO	10	40	III	ACEPTABLE
2	2	4	BAJO	10	40	III	ACEPTABLE
6	4	24	MUY ALTO	60	1440	I	NO ACEPTABLE

Fuente: Autores

La matriz indicó que el nivel de probabilidad de que ocurra un evento que represente un peligro al momento de realizar la actividad de mantenimiento es bajo, y para la actividad de operación es muy alto lo que indica una situación de peligro potencial con exposición continua.

El nivel de consecuencia tabla 5, para la operación de mantenimiento es leve (10), ya que se pueden presentar lesiones que no requieren hospitalización, pero para la operación el nivel de consecuencia determinado es muy grave (60), pues el

peligro que representa esta actividad puede ocasionar lesiones grave irreparables a las personas y al medio ambiente.

Una vez obtenido todos los datos necesarios para la evaluación se procedió a determinar el nivel de riesgo para cada una de las actividades y establecer si eran aceptables o no, y si no lo eran determinar los controles necesarios para controlar el riesgo, para determinar el nivel de riesgo se utilizo la formula proporcionada por la norma INCONTEC GTC 45.

$$NR = NP \times NC$$

Donde NP es el nivel de probabilidad y NC es el nivel de consecuencia de cada una de las actividades, los resultados son mostrados en la tabla 17. la tabla indica que las actividades de mantenimiento son aceptables, que hay que mantener las medidas de control que existen, y hacer inspecciones periódicas para asegurar que el riesgo aun sea tolerable, para la actividad de operación el riesgo es no aceptable para lo cual se fijaron algunas actividades para controlar ese riesgo y hacerlo más tolerable dichas actividades son mostradas en la tabla 18.

Tabla 18. Controles recomendados

CONTROLES RECOMENDADOS		
FUENTE	MEDIO	TRABAJADOR
Inspección periódica a los controles existentes, cumplir con la orden de trabajo establecida por el jefe de mantenimiento		Se le exige que se utilice el equipo de seguridad (gafas, botas, casco, etc.)
Inspección periódica a los controles existentes, cumplir con la orden de trabajo establecida por el jefe de mantenimiento		Se le exige que se utilice el equipo de seguridad (gafas, botas, casco, etc.)
inspección continua de la presión de bombeo, inspección visual durante la operación en busca de posibles fugas		Se le exige que se utilice el equipo de seguridad (gafas, botas, casco, etc.)

Fuente: Autores

8. ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO

Estas actividades de inspección se determinaron para los elementos más críticos de las bombas, según el análisis de los tiempos operativos y tiempo de reparación, usando una distribución exponencial, el tiempo medio entre falla es de 5,66 meses/fallos, ver capítulo 9, por lo cual la frecuencia de inspección y para el mantenimiento preventivo se establecieron tomando en cuenta este análisis, recomendaciones de fabricantes, las consecuencias que puede generar el fallo de ese componente crítico y la experiencia del personal de mantenimiento. Estas frecuencias pueden estar sujetas a cambios.

Para la inspección de los rodamientos se determino una inspección semestral, según los fabricantes es recomendable remplazarlos cada seis meses y de acuerdo a la frecuencia de fallo. Para el cambio de sellos se determino una frecuencia de cada tres meses, este componente es el que más fallos presenta, por lo cual es necesario cumplir con la frecuencia determinada.

Las inspecciones diarias son necesaria para vigilar el comportamiento de la bomba y detectar anomalías que puedan representar riesgos a la seguridad de la operación y de las personas.

Tabla 19. Calendario de inspección de mantenimiento

ACTIVIDAD	CONDICIÓN DEL EQUIPO PARA REALIZAR LA ACTIVIDAD		DURACION ESTIMADA DE LA ACTIVIDAD (min)	FRECUENCIA	RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD
	ENCEN.	APAG.			
Inspección y medición de los rodamientos/ replazar si es necesario		X	20	Semestral	Operario
Limpieza externa de la bomba	X		15	Quincenal	Operario
Sustituir sellos por otros de mejor calidad		X	120	Trimestral	Operario
Inspección de sellos mecánicos		X	60	Bimensual	Operario
Lubricación de rodamientos		X	30	Mensual	Operario
Chequear nivel de aceite		X	10	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		10	Semanal	Operario
Detectar presecia de fugas del Diesel Marino	X		3	Diaria	Operario
Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación	X		3	Diaria	Operario

Fuente: Autores

9. Análisis del costo del ciclo de vida de la bomba BC-T-01

Se le realiza un análisis de costo de ciclo de vida de la bomba BC-T-01, para evaluar cómo ha sido la variación de los costos a lo largo del periodo de vida útil. Se estudiaron aspectos como el impacto de la fiabilidad en los costos totales del ciclo de vida, se evaluó el impacto de los fallos en los costos por fiabilidad a partir de la frecuencia de fallos, modelada con una distribución exponencial.

La primera parte del análisis del costo de ciclo de vida se procedió a realizar una tabla con los tiempos entre fallos (tiempo operativos t_{fi} meses) y los tiempo fuera de servicio t_{fsi} (horas), se ordenó de menor a mayor y a cada uno de los tiempos se le asignó una posición (i), como se muestra en la tabla 16, los datos fueron suministrado por el personal de mantenimiento.

Tabla 20. Tiempo entre fallos (meses) y tiempo fuera de servicio (horas) de la bomba BC-T-01

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
t_{fi}(meses)	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	8	8	9
t_{fsi}(horas)	13	13	14	16	16	18	21	23	24	25	25	25	25	26	26

Fuente: Saturnino Gómez técnico de mantenimiento del Bote Urabá

Los tiempos operativos representan el tiempo en que la bomba opero y luego se produjo la falla, estos tiempos están en meses, los tiempos fueras de servicios

representan el tiempo que permaneció la bomba sin operar, ósea el tiempo que se tardo hasta que fue reparada.

Una vez organizados los datos, se procede a calcular el número de datos obtenidos $N=15$ eventos, y a cada uno de estos la probabilidad de fallo $Qo(i)=i/N$, la probabilidad de fallo estadísticamente comprende un valor de 0 a 1, si el resultado da cerca de 0 es improbable que ocurra el evento y si da cerca de uno es casi seguro que ocurra el evento, los datos se introdujeron en una hoja de Excel en el cual los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura 9.

Figura 7. Probabilidad de fallo observada $Qo(i)$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Qo(i)=i/N$	0,06667	0,13333	0,2	0,26667	0,33333	0,4	0,46667	0,53333	0,6	0,66667	0,73333	0,8	0,86667	0,93333	1

Fuente: autores

Hallada la probabilidad de fallo observada, se procede a calcular la probabilidad de fallo acumulada F (t_{fi}) y la probabilidad de recuperación de la función F (t_{fsi}), aplicando el test de Kolmogorov – Smirnov, se utilizo la distribución exponencial como herramienta estadística.

La estimación de los parámetros de la distribución exponencial, se puede encontrar en el libro de fiabilidad / mantenibilidad, (Navas, 1997, Knezevic, 1993 y Ebeling, 1997).

Para la probabilidad de reparación F (tfsi)

$$F(tfsi) = 1 - e^{-\lambda(tfsi)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para la probabilidad de fallo acumulada F (tffi)

$$F(tffi) = 1 - e^{-\lambda(tffi)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para la tasa de fallos y tasa de reparación

$$\lambda(tfi, tfsi) = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^N t(fi, tfsi)}{N}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Con la ayuda de la herramienta Microsoft Excel se procedió a evaluar los datos con las ecuaciones proporcionada los resultados son presentados en la figura 10

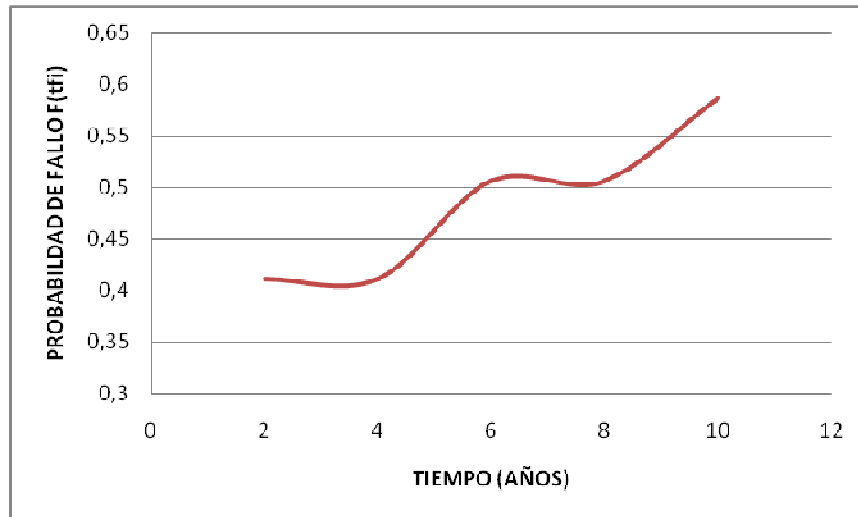
Figura 8. Probabilidad de fallo acumulada

tfi(meses)	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	8	8	9
F(tfi)	0,41105	0,41105	0,50633	0,50633	0,58619	0,58619	0,58619	0,65314	0,65314	0,65314	0,65314	0,70925	0,75629	0,75629	0,79571

Fuente: autores

Se procedió a realizar un grafico donde se ilustre el comportamiento de la probabilidad de fallo figura 11.

Figura 9. Gráfico de la probabilidad de fallo acumulada



Fuente: autores

La grafica presenta un comportamiento ascendente al transcurrir los años de vida del equipo, lo cual indica que su confiabilidad va decayendo, pues esta indica que la probabilidad de que el equipo falle va en aumento y la confiabilidad de un equipo es la relación entre el tiempo operativo y el numero de fallos, entre mayor sea el numero de fallos la confiabilidad será menor.

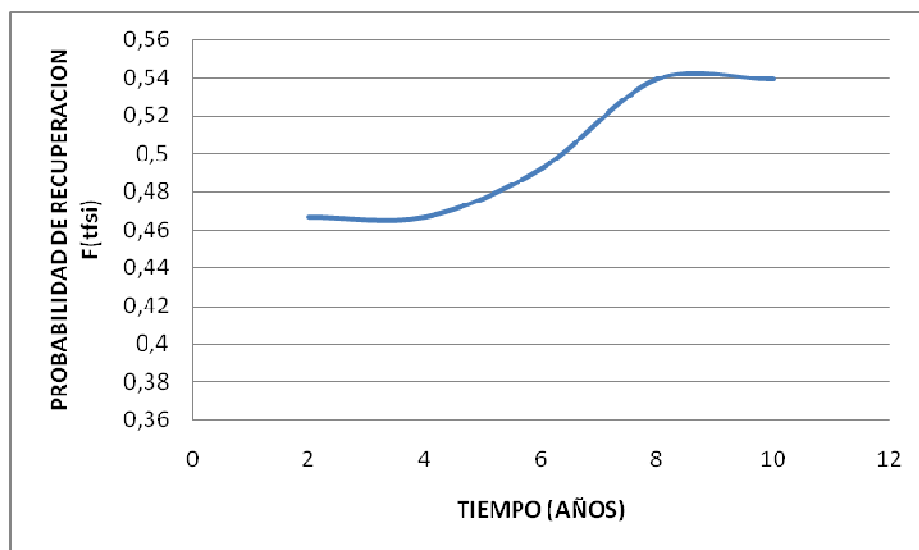
Figura 10. Probabilidad de reparación F (tfsi)

tfsi(horas)	13	13	14	16	16	18	21	23	24	25	25	25	25	26	26
F(tfsi)	0,46689	0,46689	0,49207	0,53892	0,53892	0,58145	0,63801	0,6714	0,68692	0,70171	0,70171	0,70171	0,70171	0,7158	0,7158

Fuente: autores

Para la probabilidad de reparación se utilizó el mismo procedimiento para hallar la probabilidad de fallo acumulada, utilizando los tiempos fuera de servicios con la ayuda de Microsoft Excel se evaluaron los datos con la ecuación 1 los resultados son mostrados en la figura 12, y la figura 13 muestra el comportamiento de los resultados obtenidos.

Figura 11. Gráfico de la probabilidad de reparación



Fuente: autores

La gráfica de la probabilidad de reparación muestra que la bomba inició su ciclo de vida con una mantenibilidad baja, pues la probabilidad de reparación en los primeros dos años era de 0,46. Luego su mantenibilidad fue aumentada y en los últimos dos años se ha mantenido en un rango de 0,54.

Una vez obtenido la probabilidad de fallo acumulada y la de reparación, se calculó la diferencia en valor absoluto entre la probabilidad de fallo observada y la probabilidad de fallo acumulada, y se denotó como $D(tfi)$ y $D(tfsi)$. La diferencia

absoluta de probabilidad de fallo es el resultado de la resta de la probabilidad de fallo observada y la probabilidad de fallo acumulada de cada evento

$$D(tfi) = |Qo(i) - F(tfi)|$$

$$D(tfsi) = |Qo(i) - F(tfsi)|$$

Figura 12. Diferencia absoluta de probabilidad de fallo

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D(tfi)	0,34438	0,27772	0,30633	0,23966	0,25286	0,18619	0,11953	0,1198	0,05314	0,01353	0,0802	0,09075	0,11038	0,17705	0,20429
D(tfsi)	0,40023	0,33356	0,29207	0,27226	0,20559	0,18145	0,17134	0,13806	0,08692	0,03504	0,03163	0,09829	0,16496	0,21754	0,2842

Fuente: autores

Se identificaron las diferencias absolutas D(tfi), D(tfsi) de mayor valor la, para realizar la prueba de hipótesis y darle un valor de significancia según Kolmogorov, denotamos como Dmax(tfi) y Dmax(tfsi) los resultados en la tabla 17.

Tabla 21. Diferencias absolutas de mayor valor

Dmax(tfi)	0,34438
Dmax(tfsi)	0,40023

Fuente: autores

Se buscó los valores críticos para cada probabilidad Dcr(tfi) y Dcr(tfsi) en la tabla de valores críticos Dcr de kolmogorov para un nivel de significancia de 0,1 y N=15.

Dcr(tfi),Dcr(tfsi)= 0,404, se realizó la prueba de hipótesis, comparando los valores críticos con los valores obtenidos, si Dmax (tfi) y Dmax (tfsi), la distribución seleccionada es aceptada y representa el comportamiento estadístico de la data evaluada para el nivel de significancia seleccionado.

Tabla 22. Prueba de hipótesis

Dmax(tfi)	0,34438<0,404
Dmax(tfsi)	0,40023<0,404

Fuente: Autores

La hipótesis es aceptada para el nivel de significancia

Después se halla los costos por fallos Cf los datos de los costos fueron proporcionado por el personal de mantenimiento con la siguiente ecuación basada en el libro de fiabilidad / mantenibilidad, (Navas, 1997, Knezevic, 1993 y Ebeling, 1997).

$$cf = cdi + cpe$$

$$Cdi = \frac{cmo + cmt + crp}{fallo} = \frac{\$}{fallo}$$

$$Cpe = MTTR\left(\frac{horas}{fallo}\right) \times Cio(\$ / hora) = \$ / fallos$$

$$cdi = \$ 900.000,00 + \$ 1.260.000,00 + \$ 1.400.000,00 = \$ 3.560.000,00 \left(\frac{\$}{fallo}\right)$$

$$\lambda(tfi) = \frac{1}{TPO} = \frac{1}{5,666} = 0,17647$$

Para el cálculo de los costos de penalización es necesario estimar el tiempo promedio de reparación (MTTR), correspondiente a la distribución exponencial, este cálculo se realiza a partir de los tiempos fuera de servicio. La estimación de los parámetros se puede encontrar en el libro de mantenibilidad de (Navas, 1997, Kenezovic, 1993 y Ebeling, 1997)

$$\lambda(\text{tfsi}) = \frac{1}{\text{TPR}} = \frac{1}{20,6667} = 0,0483$$

$$\text{TPO} = 5,667$$

$$\text{TPR} = 20,667$$

$$\text{MTTR} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,048387} = 20,667 \left(\frac{\text{horas}}{\text{fallo}} \right)$$

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,1764} = 5,667 \left(\frac{\text{meses}}{\text{fallo}} \right)$$

$$\text{cpe} = \text{MTTR} \times \text{Cio} \left(\frac{\$}{\text{fallo}} \right) = 20,667 \left(\frac{\text{horas}}{\text{fallo}} \right) \times \$200.000,00 \left(\frac{\$}{\text{horas}} \right) = \$4.133.333,33 \left(\frac{\$}{\text{fallos}} \right)$$

$$\text{cf} = 3.560.000,00 \left(\frac{\$}{\text{fallos}} \right) + 4.133.333,33 \left(\frac{\$}{\text{fallos}} \right) = 7.693.333,33 \left(\frac{\$}{\text{fallos}} \right)$$

La frecuencia de fallo esperada es

$$\delta = \frac{1}{\text{MTBF}} = \frac{1}{5,667} \left(\frac{\text{fallo}}{\text{meses}} \right) * \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right) = 2,117 \left(\frac{\text{fallo}}{\text{años}} \right)$$

Por último el costo total por fiabilidad es valor anualizado

$$\text{TCPf} = \sum_f^F \delta \times \text{cf} = 2,117 \left(\frac{\text{fallo}}{\text{años}} \right) \times 7.693.333,33 \left(\frac{\$}{\text{fallos}} \right) = 16.291.764,71 \left(\frac{\$}{\text{años}} \right)$$

Lo pasamos a valor presente en el periodo de vida T=10 y una tasa de valorización del dinero i=10%

$$\begin{aligned} (P)TCPf &= TPCfx \frac{(1+i)^T - 1}{ix(1+i)^T} = 16.291.764,71 \left(\frac{\$}{\text{años}} \right) x \frac{(1+10\%)^{10} - 1}{10\%x(1+10\%)^{10}} \\ &= \mathbf{\$100.105.841,51} \end{aligned}$$

El valor presente representa la cantidad de dinero que ha generado los gastos por mantenimientos correctivos durante los últimos diez años de funcionamiento.

10. CONCLUSIONES

- Con el diagnóstico obtenido al realizar la caracterización del estado actual de los equipos de bombeo del bote Urabá, se pudo determinar las condiciones técnicas de operación de las bombas, permitiendo identificar los elementos más críticos que estas presentan, siendo en este caso los sellos mecánicos y rodamientos los más relevantes presentando mayor número de fallas en el proceso.
- Realizando el análisis de riesgo del sistema de bombeo del bote Urabá, concluimos que debido a que se está trabajando con un combustible altamente inflamable como lo es el diesel marino, se debe trabajar con un personal altamente calificado, utilizando altos estándares de seguridad, para reducir el riesgo que pueden causar los accidentes posibles presentes en el proceso.
- Teniendo en cuenta el resultado obtenido de la frecuencia de fallos de la bomba BC-T-01 de 5.66 meses/fallos calculado mediante la modelación de una distribución exponencial, se diseñó un calendario de inspección para el mantenimiento preventivo cada 4 meses con el fin de prevenir todos los riesgos que se pueden presentar en el proceso y los altos costos generados por los fallos, dándole a la bomba un mejor rendimiento, aumentando su disponibilidad y seguridad tanto del entorno de trabajo como de sus operarios y del medio ambiente.

- Con el análisis del costo del ciclo de vida (ACCV) se estimaron los costos de mantenimiento correctivo que presentó la bomba durante los últimos diez años de funcionamiento, reflejando los altos gastos debido a no presentar un plan de mantenimiento preventivo, demostrando la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento para disminuir los costos y aumentar la seguridad operacional.

11. BIBLIOGRAFIA

American Petroleum Institute (2008), API RP 581, Risk-Based Inspection Technology, Second Edition.

Asociación Argentina de Materiales (2009), Estudio De "Inspección Basada En Riesgo" De Una Unidad De Alquiler Con Hf.

ALECK SANTAMARÍA DE, Opinión - la gestión del mantenimiento en la industria colombiana; [source: Portafolio]. Noticias Financieras, pp. 1, L. C. (2007, Aug 29). Publicado en internet en la base de datos bibliográficos de proquest <<http://ezproxy.uac.edu.co:2055/docview/467200347/1370FD58A369DF6547/1?accountid=44025>>

AMENDOLA, L. "Modelos Mixtos de Confiabilidad", Valencia, España. (2002).

Blanchard, B.S. (2001). Maintenance and support: a critical element in the system life cycle. Proceedings of the International Conference of Maintenance Societies, May, Melbourne, Paper 003.

Crespo, A., Sanchez, A. (2002). Models for maintenance optimization. A study for repairable systems and finite time periods. Reliability Engineering and System Safety.

HUERTA, Rosendo. “el análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional” Artículo publicado en la revista Mantenimiento Mundial nº6. (2001)

MOUBRAY, Jhon mantenimiento centrado en la confiabilidad, aladon Ltda 2003

PARRA, Carlos, Course of Reability-centered Maintenance, universidad de los Andes, Mérida – Venezuela, 2000

RIDDELL, H., JENNINGS, A. ASSET Investment & Life Cycle Costing, The Woodhouse Partnership, Technical paper, London. (2001).

SMITH, A. M. Reliability Centred Maintenace, New Cork. Mack Graw-Hill.2010

SUÁREZ, Diógenes “Mantenimiento Mecánico Guía Teórico – Práctico” Puerto la Cruz, (2001)