

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DEL CENTRO
LOGÍSTICO DE LA EMPRESA SOLMICO OIL S.A.S.

ROBERTO AUGUSTO MONTOYA CAICEDO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
EZPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DEL CENTRO
LOGÍSTICO DE LA EMPRESA SOLMICO OIL S.A.S.

ROBERTO AUGUSTO MONTOYA CAICEDO

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de especialista
en gerencia de mantenimiento

Director: PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO
MECHANICAL ENG., M Sc

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
EZPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Fecha

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia por haberme apoyado y
permitido realizar estos estudios

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que son mi principal motivación de salir adelante, a todas las personas que me han apoyado para que mis objetivos de vida se puedan cumplir, sin olvidar a mis compañeros de estudios Israel, Jose y Muriel.
Mi tutor, Pedro Jose Diaz Guerrero y SOLMICO OIL S.A.S. por haber permitido realizar este estudio en sus instalaciones

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 DESCRIPCION	16
2 OBJETIVO	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	18
<input type="checkbox"/> Determinar los elementos más críticos del sistema de bombeo.	18
<input type="checkbox"/> Realizar un análisis de modos y efectos de fallo de los sistemas más críticos.	18
<input type="checkbox"/> Realizar una propuesta de plan de mantenimiento con base en el árbol decisiones y el análisis de modos y efectos de fallos.	18
<input type="checkbox"/> Realizar una actualización en la hipótesis de tiempos de inspección y de intervención para preventivos de los sistemas más críticos.	18
3 MARCO TEORICO	19
3.1 DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO	19
3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM	23
3.3 ENFOQUE DEL RCM.....	24
3.3.1 Enfoque en riesgo	24
3.3.2 Enfoque en producción.	24
3.3.3 Enfoque en contabilidad.....	24
3.3.4 Enfoque en optimización.....	24
3.3.5 Beneficios	24
4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	26
5 METODOLOGIA	28
5.1 LAS SIETES PREGUNTAS DEL RCM.....	28
5.2 PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN RCM.....	28
5.3 DEFINICIÓN DEL SISTEMA	28
5.4 DEFINICIONES DE EQUIPOS CRITICOS.....	30
5.5 RESULTADO DE CRITICIDAD POR SISTEMAS	36

5.6 MODO DE FALLA DE EQUIPO, CAUSA DE FALLA. FMEA	40
5.7 TAREA DE MANTENIMIENTO	43
6 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	47
6.1 LISTA DE CHEQUEO PRE, MEDIANTE Y POST OPERACIONAL.....	47
6.2 PLAN DE MANTENIMIENTO	47
6.2.1 Inspección mecánica Bomba -Motor-Reductor	47
6.2.2 Cronograma de mantenimiento.....	48
7 CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

Lista de figuras

	Pag.
Figura 1. RCM y evolución del mantenimiento.....	19
Figura 2. Patrones de falla primeras generaciones del mantenimiento.	21
Figura 3. Patrón de falla de equipos en línea de tiempo.....	22
Figura 4. Aspectos de incidencia de la confiabilidad	23
Figura 5. Sistemas del centro logístico SOLMICO OIL S.A.S.....	29
Figura 6. Plot plan y delimitaciones de fronteras	29
Figura 7. Proceso de evaluación de criticidad.	31
Figura 8. Distribución de equipos críticos y semi crítico SOLMICO OIL S.A.S.	36
Figura 9. Algoritmo de decisión.....	42
Figura 10. Sistema de bombeo	43
Figura 11. Sistema de agua industrial.....	44
Figura 12. Sistema de aire industrial.....	45
Figura 13. Sistema Contra incendios	46
Figura 14 Inspección mecánica Bomba-Motor-Reductor	47
Figura 15 Cronograma de mantenimiento	48

Lista de tablas

	Pag.
Tabla 1. Matriz frecuencia de falla	31
Tabla 2. Matriz de Criticidad	32
Tabla 3. Matriz de consecuencia	32
Tabla 4. Equipos críticos del sistema de bombeo	36
Tabla 5. Equipos críticos del sistema de agua industrial	39
Tabla 6. Equipos críticos del sistema de aire industrial	39
Tabla 7. Equipos críticos del sistema contra incendio SCI	40
Tabla 8. Causa de falla y efecto en sistema de bombeo	41
Tabla 9. Causa de falla y efecto en sistema de agua industrial	41
Tabla 10. Causa de falla y efecto en sistema de aire industrial	41
Tabla 11. Causa de falla y efecto en sistema Contra incendio	41
Tabla 12. Niveles de personal de mantenimiento	46

Lista de anexos

(Ver anexos adjuntos y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)

- Anexo a. Causa de falla y efecto en sistema de bombeo
- Anexo b. Causa de falla y efecto en sistema de agua industrial
- Anexo c. Causa de falla y efecto en sistema de aire industrial
- Anexo d. Causa de falla y efecto en sistema Contra incendio
- Anexo e. Lista de chequeo pre, mediante y post operacional
- Anexo f. Inspeccion mecanica Bomba-Motor-Reductor
- Anexo g. Cronograma de mantenimiento

GLOSARIO

- **CONFIABILIDAD:** capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
- **MANTENIBILIDAD:** capacidad, bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados.
- **DISPONIBILIDAD:** capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.
- **ACTIVO:** plantas, maquinaria, inmuebles, edificios, vehículos y otros artículos que tengan un valor distinto para la organización.
- **ÍTEM MANTENIBLE:** elemento que constituye una pieza o un conjunto de piezas que normalmente es el nivel más bajo en la jerarquía de los equipos durante el mantenimiento.
- **FALLA:** un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.
- **MODO DE FALLA:** un evento único, que causa una falla funcional.
- **MECANISMO DE FALLA:** proceso físico, químico u otro que conduce a una falla.
- **CAUSA DE FALLA:** circunstancias que durante el diseño, fabricación o uso conducen a la falla.
- **EFICIENCIA:** relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo.
- **EFICACIA:** nivel de consecución de metas y objetivos. La eficacia hace referencia a nuestra capacidad para lograr lo que nos proponemos.
- **EFFECTIVIDAD:** el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia (Stephen Covey).
- **PROACTIVO:** mantenimiento emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla (restauración programada, desincorporación programada y mantenimiento basado en condición).

- **REACTIVO:** mantenimiento emprendido después de que ocurra una falla no esperada (deducción del opuesto al Proactivo).
- **TAXONOMÍA DE EQUIPOS:** clasificación sistemática de artículos en grupos genéricos basada en factores posiblemente comunes a varios de los artículos.
- **RCM:** Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga 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 originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.
- **EQUIPO CRÍTICO:** es aquel cuya falla produce detenciones e interferencias generales en la línea de proceso, se convierten en cuellos de botella, daños a otros equipos o instalaciones y retrasos o paradas en las actividades de los demás centros de actividad de una empresa u organización.
- **ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO:** es el medio para obtener el compromiso de todos los trabajadores de todos los niveles de la organización a los métodos y objetivos de mantenimiento, suministrando el marco para la toma de decisiones y asegurando consistencia hacia los logros del negocio.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DEL CENTRO LOGÍSTICO DE LA EMPRESA SOLMICO OIL S.A.S.

AUTOR: MONTOYA CAICEDO ROBERTO AUGUSTO

FALCULTA DE INGENIERIAS, ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO, MECHANICAL ENG., M.Sc

PALABRAS CLAVE: SISTEMA DE BOMBEO, MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO, RCM

Al ser las bombas el activo crucial del sistema de bombeo para SOLMICO OIL S.A.S. y no obstante las buenas prácticas de mantenimiento y el seguimiento continuo al comportamiento de las bombas y su vida útil residual, se han presentado fallas, las cuales son objeto de análisis y han motivado profundizar en los métodos de evaluación del agotamiento de la vida útil y vida residual estimada de las bombas. Mediante el desarrollo de la presente monografía se pretende establecer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Aplicado a las bombas de tipo paleta marca BlackMer, que puede ser implementado por SOLMICO OIL S.A.S. lo cual ayudara a mitigar las posibles fallas que se presenten en estos equipos.

Para ejecutar esta monografía se tuvieron presente los historiales de falla y los planes de mantenimiento establecidos hasta el momento a estos equipos y de esta manera poder aplicar los conceptos RCM, logrando establecer actividades de mantenimiento más efectivas, las cuales nos ayudan a disminuir eventos o modos de falla.

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM se propone a SOLMICO OIL S.A.S. unas recomendaciones tales como: complementar y variar la frecuencia de algunas actividades de mantenimiento, mejorar el alcance de estos planes, realizar check list antes y después de las operaciones, capacitación del personal tanto operativo como de mantenimiento y catalogar los repuestos adecuado para garantizar la operación de las bombas.

Finalmente, con esta propuesta se pretender mitigar las fallas en estos equipos y de esta manera garantizar las operaciones, ya que cualquier tipo de retraso en recepción o despacho de buque compromete la estabilidad financiera de la empresa SOLMICO OIL S.A.S.

Monografía.

“ Escuela de ingenierías Físico-mecánica, Facultad de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones Director: Pedro Jose Diaz Guerrero, MECHANICAL ENG., M Sc

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN BASED ON RELIABILITY FOR THE PUMPING SYSTEM OF THE LOGISTICS CENTER OF THE SOLMICO OIL S.A.S.

AUTHOR: MONTOYA CAICEDO ROBERTO AUGUSTO

FACULTA DE ENGENIERIAS, SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO, MECHANICAL ENG., M.Sc

KEY WORDS: PUMPING SYSTEM, PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE, RCM

As pumps are the crucial asset of the pumping system for SOLMICO OIL S.A.S. However, good maintenance practices and continuous monitoring of the behavior of the pumps and their residual useful life, there have been failures, which are the object of analysis and have motivated to deepen the methods of evaluation of the exhaustion of the useful life and estimated residual life of the pumps.

Through the development of this monograph it is intended to establish a maintenance plan focused on RCM reliability. Applied to BlackMer brand vane type pumps, which can be implemented by SOLMICO OIL S.A.S. which will help mitigate possible failures that may arise in these equipment.

To execute this monograph, the failure histories and maintenance plans established so far for these equipment were taken into account and in this way to be able to apply the RCM concepts, managing to establish more effective maintenance activities, which help us to reduce events or modes. of failure.

As a result of the application of the RCM methodology, SOLMICO OIL S.A.S. Some recommendations such as: complement and vary the frequency of some maintenance activities, improve the scope of these plans, carry out a check list before and after operations, training of both operational and maintenance personnel and catalog the appropriate spare parts to guarantee operation of the pumps.

Finally, this proposal is intended to mitigate the failures in this equipment and in this way guarantee operations, since any type of delay in reception or dispatch of the ship compromises the financial stability of the company SOLMICO OIL S.A.S.

Monografía.

“ Escuela de ingenierías Físico-mecánica, Facultad de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones Director: Pedro Jose Diaz Guerrero, MECHANICAL ENG., M Sc

INTRODUCCION

SOLMICO OIL S.A.S. nace con la ideología de presentar un servicio para manejo de crudo, recepción, almacenamiento y despacho de crudo, pero debido a la gran inestabilidad y cambio que hubo en los últimos años la infraestructura de la empresa le toco acoplarse a lo el mercado actual demanda, lo que implica trabajado con productos actuales como aceite de palma, aceite de soya, algunos productos livianos derivados del petróleo como nafta, benceno y variedades de alcoholes.

Por ende, el mantenimiento se ha ido ajustado a estos grandes cambios, buscando nuevas maneras de realizar el mantenimiento, por supuesto creciendo de la mano de mejores prácticas operacionales para cuidar la integridad del equipo, garantizando la operabilidad del sistema de planta. es acá donde aparece el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, el cual se ajusta a diversas actividades de la industria, y fue el escogido como metodología para el desarrollo de la presente monografía.

Para el desarrollo de esta monografía se tuvieron presente los planes de mantenimiento que actualmente se están implementando en SOLMICO OIL S.A.S. en sus procesos, para así poder identificar cuáles son los puntos débiles y los equipos que presenta mayor frecuencia de falla, de esta manera podre proponer actividades de mantenimiento que ayuden a mejorar.

SOLMICO OIL S.A.S. en sus operaciones de recepción y despacho de producto, ya sea por buque o cisterna, ha presentado en varias ocasiones fallas que ha comprometido la operación generando retrasos para nuestros clientes, estas han sido generadas directamente en las bombas P-302A/B.

Por esto la presente monografía tiene como objetivo elaborar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicados al sistema de bombeo que pueda ser implementado por SOLMICO OIL S.A.S. el cual ayude a mitigar la falla en estos equipos

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION

La empresa SOLMICO S.A.S. tiene como domicilio principal de su actividad ZONA FRANCA MZ 8 CL 1 C 5 101 en la ciudad de Barranquilla. Esta empresa fue constituida como SOCIEDAD POR ACCIONES SIMPLIFICADA y se dedica a fabricación de productos de la refinación del petróleo y a su vez presta servicios como centro logístico para el sector de hidrocarburos y energía, contando con altos estándares de seguridad y calidad. Lo que con lleva una logística de negociación, adquisición e importación, exportación, nacionalización, almacenamiento y despacho.

El centro logístico cuenta con diferentes áreas como lo son: sistema contra incendio, aire industrial, agua industrial, tratamiento de aguas residuales, tanques de almacenamiento, red de tuberías, estación eléctrica, recepción de cisternas, recepción de buques y bombas.

El área de bombas está clasificada en dos, un área de llenadero la cual cuanta con 13 bombas de 590 GPM y segunda de bombas de muelle de 1970 GPM las cuales están conectadas por medio de una red de tubería de 10", SCH 40, de aproximadamente de 30 km, así como con tanques con capacidad de almacenar de 226576 Barriles.

El sistema de bombeo a buque está compuesto por bomba, tubería, accesorios de tubería y tanques, cabe resaltar, que es la fase principal del servicio que presta la planta y es de alta importancia que dicho sistema se mantenga en buen estado y siempre disponible para realizar operaciones sin contratiempos.

Actualmente el personal de mantenimiento que realiza las labores de mantenimiento al centro logístico está conformado por diferentes áreas, las cuales son Mecánica, Eléctrica y Civil y están distribuidas de la siguiente manera

- El área mecánica está conformada por:
 - o Un coordinador mecánico,
 - o Un supervisor mecánico
 - o Dos mecánicos con su respectivo auxiliar
 - o Un soldador
 - o Un armador
 - o Un auxiliar metalista
- El área eléctrica está conformada por:
 - o Un coordinador eléctrico,
 - o Un supervisor eléctrico
 - o Dos electricistas con su respectivo auxiliar

- El área civil está conformada por:
 - o Un coordinador civil,
 - o Un supervisor civil
 - o Un maestro
 - o Dos ayudantes de construcción

Basado a lo anterior se requiere propone y establecer un modelo de gestión de mantenimiento por confiabilidad para los equipos que hacen parte de este sistema de bombeo teniendo en cuenta la criticidad de la operación.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad que permita elaborar una estrategia de gestión en los equipos más críticos del sistema de bombeo en la planta.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

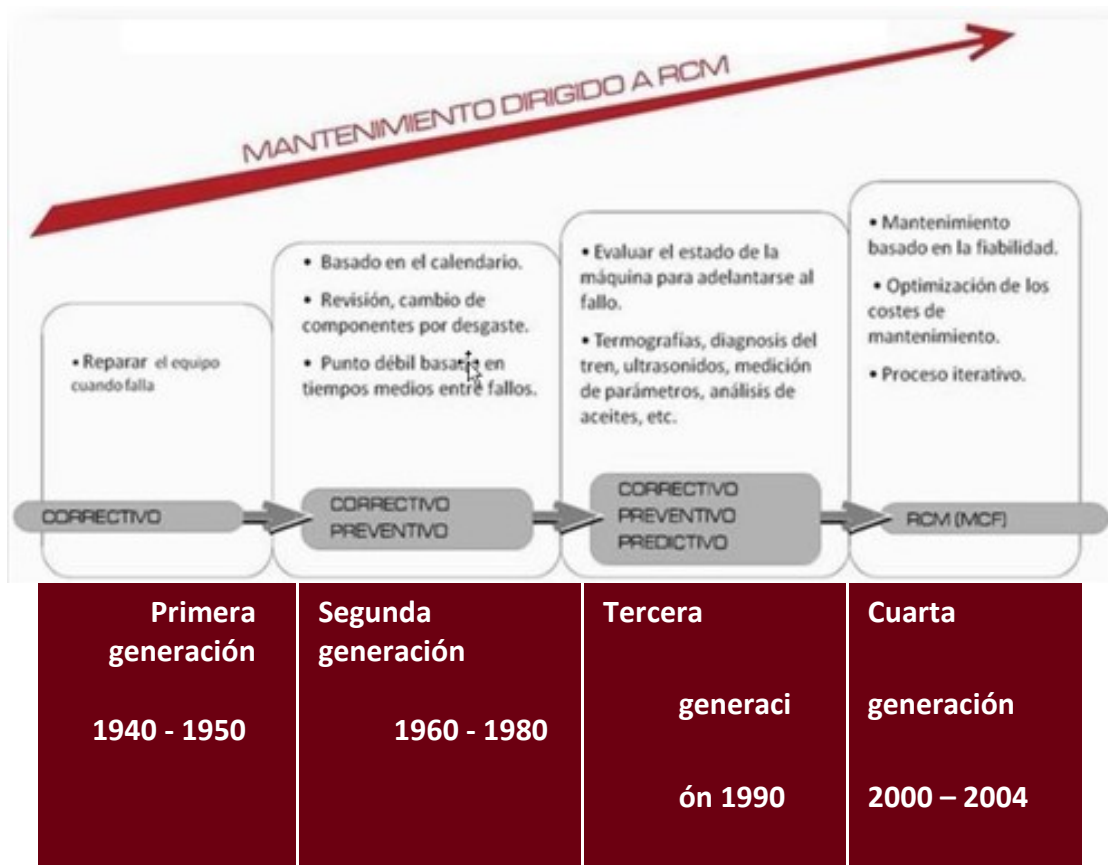
- Determinar los elementos más críticos del sistema de bombeo.
- Realizar un análisis de modos y efectos de fallo de los sistemas más críticos.
- Realizar una propuesta de plan de mantenimiento con base en el árbol de decisiones y el análisis de modos y efectos de fallos.
- Realizar una actualización en la hipótesis de tiempos de inspección y de intervención para preventivos de los sistemas más críticos.

3 MARCO TEORICO

3.1 DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO

El RCM fue desarrollado en la industria aérea de la aviación civil en USA, (1978) por F: S: Nowlan y H: F: Heap, previo a esto la industria paso por cuatro etapas de mantenimiento definidas a continuación, ver figura 01 evolución del mantenimiento.

Figura 1. RCM y evolución del mantenimiento.



Fuente: adecuación <https://es.slideshare.net/lorepcruz7/tecnicas-de-mantenimiento-industrial>

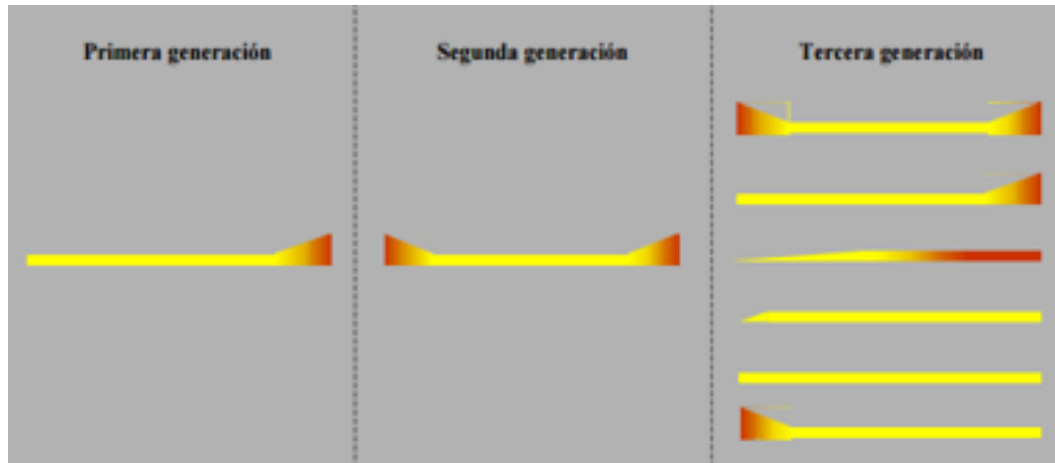
La evolución del mantenimiento tiene 4 etapas bien definidas cada una, con una filosofía propia de acuerdo al entorno, los medios tecnológicos y la evolución de la industria; La primera generación del mantenimiento (1950) se centraba únicamente en la corrección de la falla, el personal que ejecutaba el mismo era poco calificado, se caracterizaba por tener máquinas de gran robustez y en muchas ocasiones sobre

dimensionada, no se contaba con histórico de fallas ni se tipificaban las mismas, las paradas por indisponibilidad eran comunes, así como las pérdidas de producción. La segunda generación (1960, 70,80) apareció dado a los drásticos cambios provocados por la segunda guerra mundial; se empieza a relacionar la edad de los equipos y la probabilidad de falla de los mismos, gracias a la exigencia de las industrias de una mayor producción en masa, pero a su vez de una disminución abrupta de capital humano; Los equipos debían durar el mayor tiempo posible con muy poca inversión y se caracterizaba por paradas complejas de planta para intervenciones mayores en tiempos regulares previamente determinados.

La tercera generación (1990) asociaba el concepto de causa – efecto con el ánimo de llegar a la raíz de las fallas, no solo en su consecuencia y de esta manera poder actuar de una forma más oportuna para el control de consecuencias, se visualiza el mantenimiento no como un generador de gasto en las industrias, adicionalmente se realizan acuerdos de gestión entre los departamentos de producción y de mantenimiento identificando varias lecciones aprendidas las cuales sirvieron de base para la adopción de una forma más eficaz de pensar el mantenimiento:

- a) La mayoría de los equipos no se comportan de acuerdo a la “curva de la bañera” tradicional, ver figura 02
- b) La mayoría de los equipos en operación normal no alcanzan la zona de desgaste.
- c) No siempre existe relación entre la edad operativa del equipo y su confiabilidad.
- d) Más del 50% de los equipos fallan en forma aleatoria.
- e) No existe mantenimiento que pueda aumentar la confiabilidad inherente en el diseño (MOUBRAY, 1997).
- f) No es costo-efectivo desarrollar planes de mantenimiento sin considerar el contexto operativo del equipo.
- g) Los fabricantes tienen un papel limitado en la identificación de los requerimientos óptimos de mantenimiento.
- h) Se efectúa mantenimiento para mitigar fallas prematuras y los efectos de la falla, no para prevenir la falla.

Figura 2. Patrones de falla primeras generaciones del mantenimiento.



Fuente:

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_294.pdf

Integrando el departamento de mantenimiento e identificando la transversalidad de éste, en las demás dependencias de la industria, nace el mantenimiento de cuarta generación (2000/04) el concepto de calidad total es el pilar de esta filosofía y la gestión del mantenimiento impactaría directamente en la producción, viéndose como una fuente de beneficios y no de gastos. Esta nueva forma de pensar involucra un entrenamiento continuo de personal y la adopción de las herramientas estadísticas las cuales permiten procesar datos para realizar las primeras (UDEP, 2020).

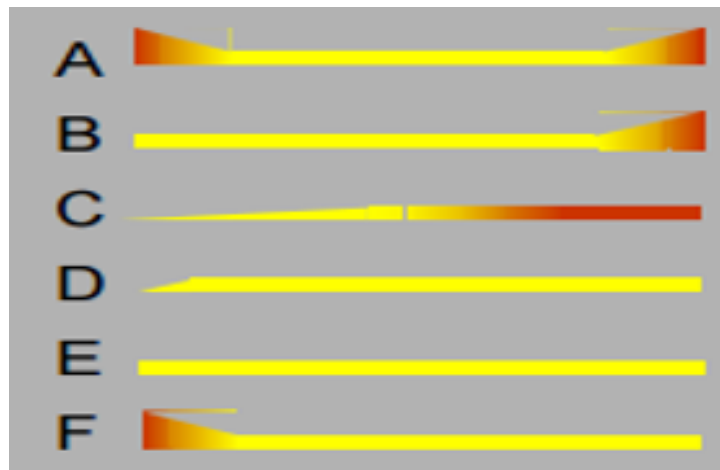
predicciones a través de modelos matemáticos, que permita determinar tendencias y la formulación de respuestas tempranas en las tareas de mantenimiento, se utilizan software especializados para el control de todas las variables inherentes a la gestión del mantenimiento.

Se empieza a comparar los avances tecnológicos en los departamentos de mantenimiento de las demás industrias y el concepto de anticipación a la falla y mitigación de impactos potenciales de acuerdo al contexto operacional hacen más eficaz la relación costo beneficio, mediante cálculos de confiabilidad basado en deterioro, se desarrollan técnicas de monitoreo de equipos por condición con técnicas no intrusivas.

los gráficos de la figura 03, muestran la probabilidad condicional de falla en relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos. "El patrón A es la ya conocida curva de la "bañera", comienza con una gran incidencia

de fallas (llamada mortalidad infantil), seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla y por último una zona de desgaste. El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla que es constante o de lento incremento y que termina en una zona de desgaste. El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de la fábrica y luego un veloz incremento hasta un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar). El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente. Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que un 4% de los elementos correspondían al patrón A, un 2% al B, un 5% al C, un 7% al D, un 14% al E, y no menos de un 68% al patrón F. El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en el área industrial, pero no cabe duda de que a medida que los elementos se hacen más complicados, encontramos más patrones E y F. Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay conexión entre la confiabilidad y la edad operacional”.

Figura 3. Patrón de falla de equipos en línea de tiempo.



Fuente:

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_294.pdf

Del mantenimiento de cuarta generación se puede concluir lo siguiente

- a) Orientación del departamento de mantenimiento hacia el negocio
- b) Optimización de los recursos económicos, operativos, humano y de equipos aumentando la productividad a un menos costo.

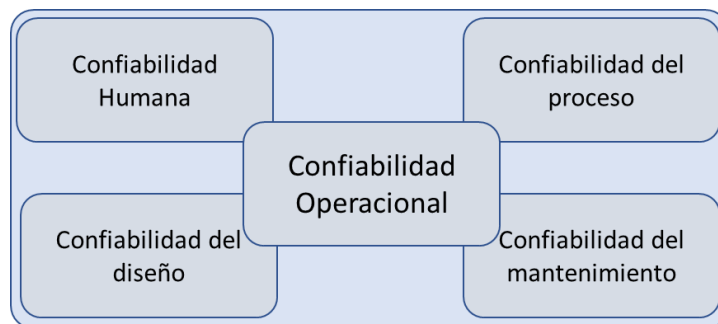
- c) Aumento de la confiabilidad global de la planta permitiendo una proyección más segura de producción en el tiempo.
- d) Optimizar la mantenibilidad aumentando el desempeño con seguridad integral (humana, ambiental, industrial)
- e) Se cuenta con personal más calificado y con una filosofía alineada a las políticas empresariales, aplicando acciones de mejora continua y retroalimentación desde cada puesto de trabajo

3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM

RCM, mantenimiento basado en confiabilidad es una estrategia de mantenimiento cuya metodología se basa en un análisis racional, sistemático y estructurado, enfocado en la capacidad de una instalación y/o sistema para cumplir su función dentro de límites de diseño establecidos, por un tiempo determinado y bajo unas condiciones de operación previamente establecidas, ésta filosofía da como resultado las tareas de mantenimiento adecuadas para evitar o controlar las consecuencias provenientes de la materialización de las fallas en los equipos de acuerdo a su contexto operacional.

La confiabilidad operacional relaciona cuatro aspectos principales, ver figura 04, confiabilidad humana, confiabilidad de diseño, confiabilidad del proceso, la confiabilidad de mantenimiento

Figura 4. Aspectos de incidencia de la confiabilidad



Fuente: El autor

De la filosofía de mantenimiento se evidencia la integralidad y transversalidad de la filosofía a toda la empresa, esto implica un compromiso real por parte de la gerencia general para su desarrollo, implementación y seguimiento, con el objetivo principal de analizar todas las fallas potenciales de los activos objeto de mantenimiento de una compañía y la elaboración de un plan óptimo de mantenimiento integral que abarque cinco enfoques principales descritos a continuación:

3.3 ENFOQUE DEL RCM

3.3.1 Enfoque en riesgo

De la filosofía de mantenimiento se evidencia la integralidad y transversalidad de la filosofía a toda la empresa, esto implica un compromiso real por parte de la gerencia general para su desarrollo, implementación y seguimiento, con el objetivo principal de analizar todas las fallas potenciales de los activos objeto de mantenimiento de una compañía y la elaboración de un plan óptimo de mantenimiento integral que abarque cinco enfoques principales descritos a continuación:

3.3.2 Enfoque en producción.

La filosofía RCM procura centralizar los esfuerzos dirigidos a mantener la función principal del sistema objeto de mantenimiento de acuerdo a su contexto operacional y los parámetros de función de cada máquina, o lo que el cliente espera que realice el equipo.

3.3.3 Enfoque en contabilidad.

La filosofía RCM debe garantizar los estándares de confiabilidad inherentes a cada equipo o función, de acuerdo a lo que se espera de ese activo o conjunto de activos en pro de mantener la función o funciones establecidas.

3.3.4 Enfoque en optimización.

Con la filosofía RCM se espera la optimización de los costos derivados del mantenimiento, evitando acciones innecesarias, así como la prevención de lucro cesante del proceso por indisponibilidad.

3.3.5 Beneficios

- a) Minimiza los efectos sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente.
- b) Mejora el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- c) Revisión sistemática de las consecuencias de cada falla, relacionándolas con el contexto operacional.
- d) Definición de estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.

- e) Reducción de fallas causadas por un mantenimiento innecesario.
- f) Aumento de la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- g) Control del riesgo inherente a la planta.
- h) Identificación de los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- i) Permite un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- j) Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- k) Analiza los fallos según las posibilidades, de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos externos.
- l) Mejora en la Confiabilidad; menos paradas no planeadas.
- m) Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta. Optimiza las acciones de operación y de mantenimiento.
- n) Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- o) Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos para el monitoreo de la condición
- p) Optimizar el proceso de almacenamiento y administración de repuestos y consumos.
- q) Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva (stand by).
- r) Mayor vida útil de los componentes costosos”.

4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

SOLMICO OIL S.A.S. es una empresa nueva en la industrial Oil Gas, que le está apuntando al desarrollo del río Magdalena en la ciudad de Barranquilla, desarrollando un centro logístico con la capacidad de almacenamiento de 550.000 barriles en tanques de techos fijos.

Teniendo en cuenta la crisis mundial de la caída de los precios del petróleo la empresa se vio obligada a la reestructuración de su planta para poder laborar también con otra variedad de productos, como aceites, alcoholes y solventes.

Geográficamente SOLMICO OIL S.A.S. se encuentra dentro de las instalaciones de zona franca Barranquilla y entre la planta y el muelle al río Magdalena se interponen aproximadamente 2 kilómetros de distancia, para ello se quiere un sistema de bombeo el cual está integrado por tuberías, bombas, motor, reductor y accesorios de tubería.

- Tubería: tiene un diámetro de 10" sin costura, la cual se define de la siguiente manera en nuestro libro de materiales como (Pipe, CS, SMLS, BE, SCH 40, ASTM A53 Gr B) la cual mantiene un recorrido aproximadamente 30 km y está compuesta de codos, tee y reducciones bajo la misma especificación de la tubería

- Bomba: modelo de bomba HLX10E marca Blackmer de 1970 GPM la cual es accionada por un motor de 150HP marca Baldor en compañía de un reductor Marca SEW EURODRIVER Modelo R147AD8 de 1800 RPM de entrada y 218 RPM de salida y acoples entre equipos STEELFLEX REF. 1090T10 Y 1120T10

- Accesorios: dentro de los accesorios de este sistema podemos encontrar, tornillería, tuercas, espárragos, empaques espiro metálicos, anillos, válvulas de compuerta, válvulas antirretornos, válvula de caza marrano, filtro imán, trampas de condensado, bridas, bridas ciegas, figuras ocho etc.

Basado en lo anterior, esta monografía determina la confiabilidad de este sistema de bombeo el cual es la principal fuente de operaciones para el centro logístico SOLMICO OIL S.A.S.

SOLMICO OIL S.A.S. ha tenido que sortear contingencias al momento de operaciones de recepción de buques debido a fugas inesperadas que se han presentado en sus líneas de conexión basadas en las especificaciones de la tubería y sus recubrimientos, estas líneas no deben presentar fugas aproximadamente en 10 años según fabricantes, pero basadas en las condiciones climáticas a las cuales están expuestas las líneas y al nivel freático de la zona

En los últimos dos años se han presentado 3 fallas por fugas en la tubería, fugas que se presentan en tramos de tubería bajo tierra, tal situación no se debería presentar en al menos los 10 primeros años.

La realidad descrita anteriormente motiva la realización del proyecto que pretende establecer una mejor hipótesis acerca del tiempo de inspección e intervención de los sistemas en relación con los periodos de mantenibilidad de tal manera que se optimicen los recursos y mejore la confiabilidad del sistema de bombeo.

5 METODOLOGIA

5.1 LAS SIETES PREGUNTAS DEL RCM

La norma SAE JA1011 determina los pasos a desarrollar en la metodología que asegura el correcto desarrollo de un estudio de mantenimiento basado en confiabilidad, estos pasos se establecen las 7 preguntas básicas que se desarrollan en esta monografía

- a) ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados del desempeño del equipo en su contexto operativo? (Función)
- b) ¿En qué forma puede fallar para cumplir con sus funciones? (Falla funcional)
- c) ¿Qué causa cada falla funcional? (Causa de la falla)
- d) ¿Qué pasa cuando cada falla ocurre? (Efecto de la falla)
- e) ¿Cuál es el impacto de la falla? (Consecuencia de la falla)
- f) ¿Qué debería hacerse para prevenir o impedir cada falla?
- g) ¿Qué debería hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada? (Acciones por omisión).

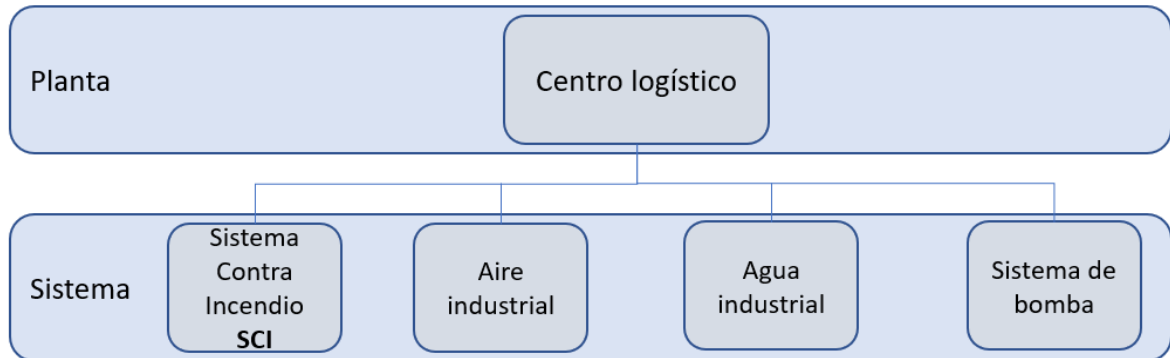
5.2 PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN RCM

- a) Identificar la estación del estudio definiendo los sistemas principales con sus respectivas funciones
- b) Identificar las fallas funcionales en los equipos asociados de cada sistema
- c) Identificar de los modos de falla que producen una falla funcional
- d) Determinar las fallas funcionales de los equipos
- e) Determinar la criticidad de los efectos de la falla
- f) Establecer las tareas y necesidades de la misma selección de actividades preventivas y otras que mantengan la función principal.

5.3 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

De acuerdo al desarrollo de la metodología estipulada por la SAE JA1011 se definen varios sistemas en el centro logístico SOLMICO OIL S.A.S., ver figura 05.

Figura 5. Sistemas del centro logístico SOLMICO OIL S.A.S.



Fuente: Autor

Sistema contra incendio SCI: está compuesta de elementos mecánico como bombas centrífugas, válvulas de compuerta, válvulas de globo, check, motores eléctricos y motores Diesel.

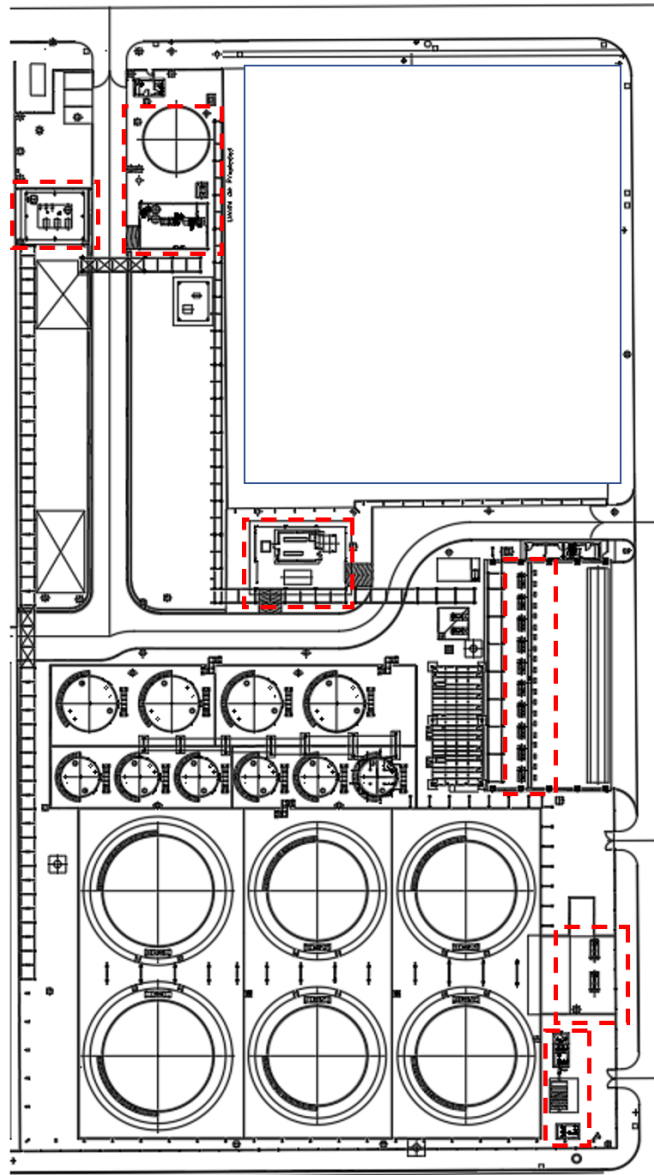
Aire industrial: está compuesta de elementos mecánico como compresores de aire, válvulas de compuerta, válvulas de globo, check y filtros.

Agua industrial: está compuesta de elementos mecánico como bombas centrífugas de presión constante, válvulas de compuerta, válvulas de globo, check, motores eléctricos y motores Diesel.

Sistema bombeo: está compuesta de elementos mecánico como bombas de paletas rotativas, válvulas de compuerta, válvulas de globo, check, motores eléctricos y filtro imanes.

En el plot plan están relacionados 31 equipos de la fase I que es la que hace parte del centro logístico, los cuales se reflejan en la siguiente figura 02 y en la figura 03 delimitaciones del sistema

Figura 6. Plot plan y delimitaciones de fronteras



Fuente: Autor

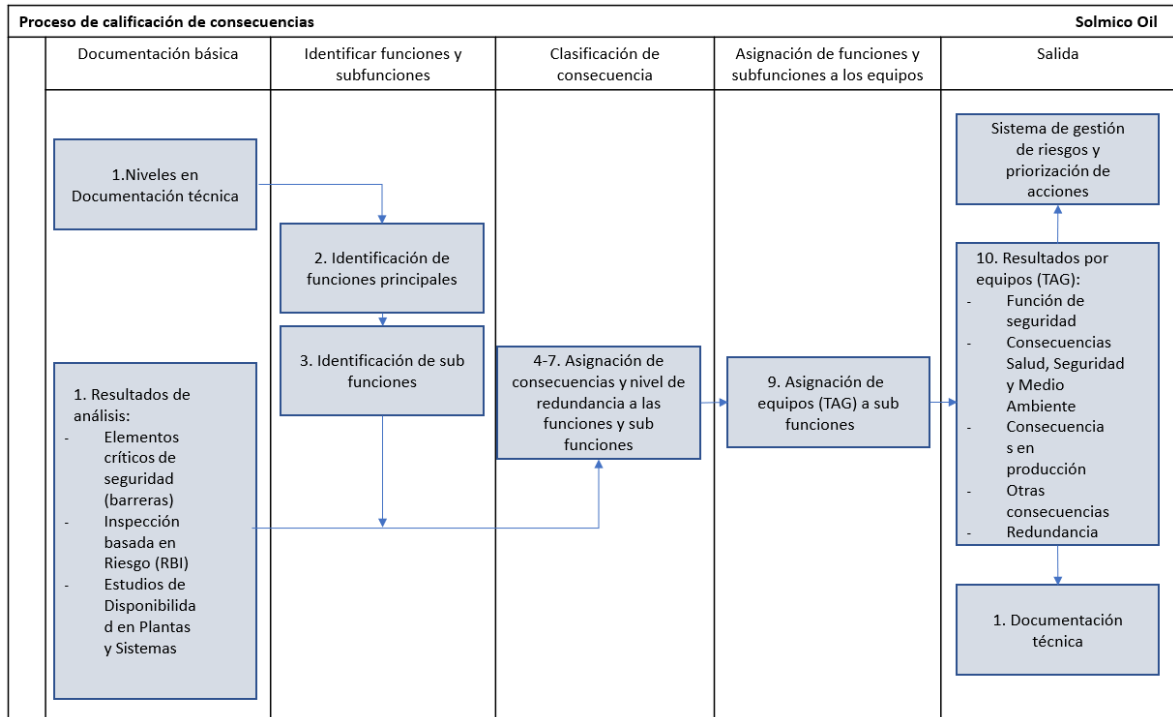
Una vez establecido los sistemas que componen el sistema de bombeo y los equipos asociados, se realiza el correspondiente análisis de criticidad, ver anexos 1, matriz de criticidad, SOLMICO OIL S.A.S.

5.4 DEFINICIONES DE EQUIPOS CRITICOS

El termino de criticidad esta defino como frecuencia x consecuencia, figura 03 SOLMICO OIL S.A.S. tiene definida estas matrices y mediante varios talleres en que participaron personal de operación, personal técnico, se calificaron cada uno

de los equipos asociados a las funciones definida para el cálculo de frecuencia de falla tabla 01, se tuvo en cuenta un histórico de falla de 5 años atrás.

Figura 7. Proceso de evaluación de criticidad.



Fuente: (NORSOK STANDARD Z-008, Nov 2001)

Tabla 1. Matriz frecuencia de falla

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF	Frecuencia: número de fallas por año λ	Interpretación
E 5	$0 > \text{TPFE} \leq 6$ meses	$\lambda \geq 2$	Es probable que ocurra varias fallas en 6 meses
D 4	$6 \text{ meses} < \text{TPFE} \leq 8$ meses	$1.5 \leq \lambda < 2$	Es probable que ocurra varias fallas en 8 meses, pero es poco probable que ocurra en 6 meses
C 3	$8 \text{ meses} < \text{TPFE} \leq 1$ año	$1 \leq \lambda < 1.5$	Es probable que ocurra varias fallas en 1 año, pero es poco probable que ocurra en 8 meses

B 2	1 año < TPFE ≤ 2 año	0.5 < λ < 1	Es probable que ocurra varias fallas en 2 año, pero es poco probable que ocurra en 1 año
A 1	TPFE > 2 año	λ ≤ 0.5	Es poco probable que ocurran fallas dentro de 2 años

Fuente: SOLMICO OIL S.A.S.

La calificación de las consecuencias de la falla se determina de acuerdo a los parámetros establecidos en la matriz y apoyados con la experiencia del personal técnico y operativo de planta

El departamento de mantenimiento la siguiente matriz de criticidad , tabla 02, en donde se define la frecuencia de la ocurrencia de falla en un periodo de tiempo determinado contra la consecuencia de la materialización de la misma (matriz de consecuencia tabla 03) esta matriz está definida con un código de colores, en la zona roja se encuentra los equipos que de acuerdo al análisis se consideran críticos, en la zona amarilla los equipos considerados medianamente críticos y en la zona verde los equipos considerados de baja criticidad.

Tabla 2. Matriz de Criticidad

FRECUENCIA	E	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	
	D	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	
	C	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	
	B	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	
	A	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		CONCECUENCIA																					

Tabla 3. Matriz de consecuencia

Categoría	Severidad	Daños Personales	Impacto a la población	Impacto al ambiente	Afectación al servicio (h)	Costos \$ Col (Daño de instalaciones y mantenimiento)
5	Catastrófico	Muerte o incapacidad total permanente, quemaduras de tercer grado, daños severos o enfermedades profesionales graves irreparables en el personal	Muerte o incapacidad total o permanente, quemaduras de tercer grado, daños severos o enfermedades en al menos un miembro de la población	Con impacto ambientales que se puede mitigar con recursos de la empresa, de autoridades locales y nacionales que trascienden por fuerzas de sus instalaciones, incumplimientos de leyes y regulaciones consignadas en la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales	Afectación al servicio > 24 horas	420 millones de pesos
4	Mayor	Personal con incapacidad parcial, invalidez, quemaduras de	Incapacidad parcial, invalidez, quemaduras de segundo	Con impacto ambientales que se puede mitigar con recursos de la empresa,	Afectación al servicio entre 12 y 24 horas	Entre 240 - 210 millones de pesos

		segundo grado, heridas severas, lesiones o enfermedades profesionales	grado, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	de autoridades locales y nacionales que trascienden por fuerzas de sus instalaciones, incumplimientos de leyes y regulaciones consignadas en la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales		
3	Serio	Personal con lecciones, quemaduras de primer grado o enfermedades severas requiere incapacidad laboral	Puede resultar en la hospitalización de al menos 1 persona	Con impactos ambientales que se puede mitigar con recursos de la empresa pero que trasciende por fuera de las instalaciones y con incumplimientos de leyes y regulaciones consignada	Afectación al servicio entre 6 y 12 horas	Entre 210 - 105 millones de pesos

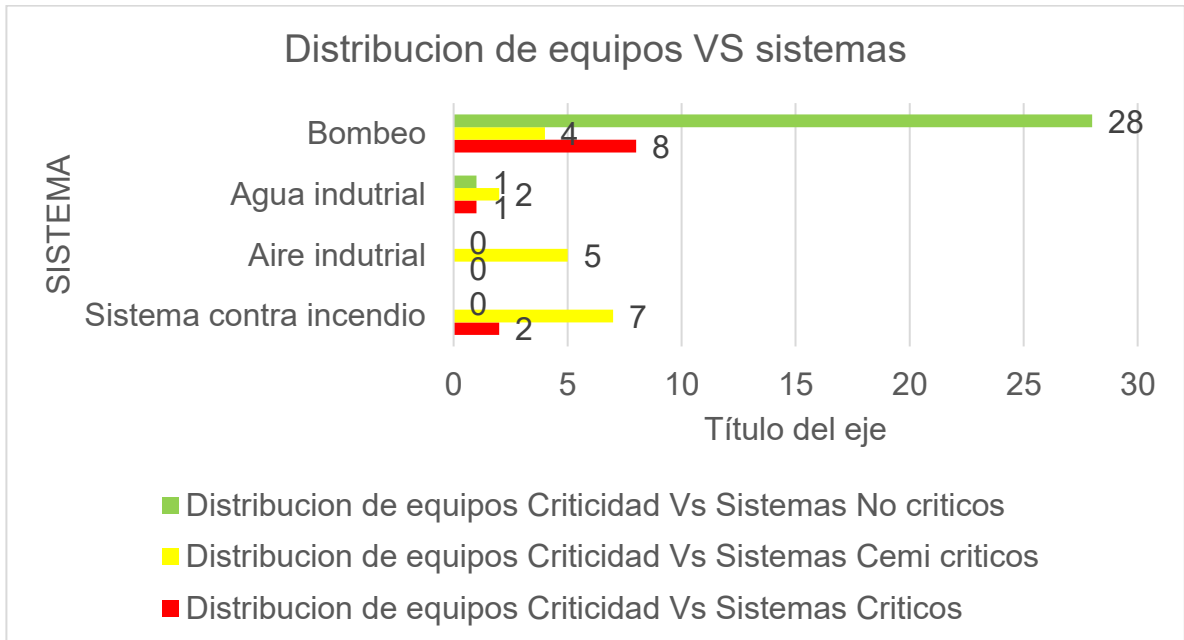
				s en la matriz de identificación de aspectos y evaluación de aspectos ambientales		
2	Menor	El personal de la empresa requiere de tratamiento médico. Lesiones menores que no requieren incapacidad	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	Con impactos ambientales que se puede controlar dentro de las instalaciones de la empresa sin violación de leyes y regulaciones consignadas en la matriz de identificación de aspectos y evaluación de aspectos ambientales	Afectación al servicio entre 3 y 6 horas	Entre 105 - 52.5 millones de pesos
1	Leve	Personal requiere primero auxiliares o sin impacto en el personal de la empresa	Sin efecto a la población	Sin impacto ambiental ni violación de leyes y regulaciones consignadas en la matriz de identificación de aspectos y	Afectación al servicio < 3	26.25 millones de pesos

				evaluación de aspectos ambientales		
--	--	--	--	------------------------------------	--	--

5.5 RESULTADO DE CRITICIDAD POR SISTEMAS

Después de aplicar la metodología, a continuación, se muestra la distribución de los equipos de baja, media y alta criticidad en la estación por sistema, ver Figura 09, los equipos críticos y semi críticos se listan por sistemas en las tablas 4, 5 y 6.

Figura 8. Distribución de equipos críticos y semi crítico SOLMICO OIL S.A.S.



Fuente: Autor

a) Sistema de bombeo

Tabla 4. Equipos críticos del sistema de bombeo

SISTEMA DE BOMBEO				
Ítem	SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACION	NIVEL DE CRITICIDAD

1	Almacenamiento	TK – 301	Tanque	Critico
2	Almacenamiento	TK – 302	Tanque	Medianamente critico
3	Almacenamiento	TK – 303	Tanque	No critico
4	Almacenamiento	TK – 304	Tanque	No critico
5	Almacenamiento	TK – 305	Tanque	No critico
6	Almacenamiento	TK – 306	Tanque	No critico
7	Almacenamiento	TK – 307	Tanque	Critico
8	Almacenamiento	TK - 308	Tanque	Medianamente critico
9	Almacenamiento	TK - 309	Tanque	No critico
10	Almacenamiento	TK - 310	Tanque	No critico
11	Almacenamiento	TK - 311	Tanque	No critico
12	Almacenamiento	TK - 312	Tanque	No critico
13	Almacenamiento	TK - 313	Tanque	No critico
14	Almacenamiento	TK - 314	Tanque	No critico
15	Almacenamiento	TK - 315	Tanque	No critico
16	Almacenamiento	TK - 316	Tanque	No critico
7	Bomba de descarga y carga a muelle	P - 302 A Alimento	Bombas rotativas de paletas	Critico
8	Bomba de descarga y carga a muelle	P - 302 B Hidrocarburo	Bombas rotativas de paletas	Critico
9	Bomba de descarga de cisternas	P -305 A	Bombas rotativas de paletas	Critico

10	Bomba de descarga de cisternas	P -305 B	Bombas rotativas de paletas	Medianamente critico
11	Bomba de descarga de cisternas	P -305 C	Bombas rotativas de paletas	No critico
12	Bomba de descarga de cisternas	P -305 D	Bombas rotativas de paletas	No critico
13	Bomba de descarga de cisternas	P -305 E	Bombas rotativas de paletas	No critico
14	Bomba de descarga de cisternas	P -305 F	Bombas rotativas de paletas	No critico
15	Bomba de descarga de cisternas	P -305 G	Bombas rotativas de paletas	No critico
16	Bomba de descarga de cisternas	P -305 H	Bombas rotativas de paletas	No critico
17	Bomba de descarga de cisternas	P -305 I	Bombas rotativas de paletas	No critico
18	Bomba de descarga de cisternas	P -305 J	Bombas rotativas de paletas	No critico
19	Motor Eléctrico	M-302 A	Motor eléctrico	Critico
20	Motor Eléctrico	M-302 B	Motor eléctrico	Critico
20	Motor Eléctrico	M-305 A	Motor eléctrico	Critico
21	Motor Eléctrico	M-305 B	Motor eléctrico	Medianamente critico
22	Motor Eléctrico	M-305 C	Motor eléctrico	No critico
23	Motor Eléctrico	M-305 D	Motor eléctrico	No critico
24	Motor Eléctrico	M-305 E	Motor eléctrico	No critico
25	Motor Eléctrico	M-305 F	Motor eléctrico	No critico

26	Motor Eléctrico	M-305 G	Motor eléctrico	No crítico
27	Motor Eléctrico	M-305 H	Motor eléctrico	No crítico
28	Motor Eléctrico	M-305 I	Motor eléctrico	No crítico
29	Motor Eléctrico	M-305 J	Motor eléctrico	No crítico

b) Sistema de agua industrial

Tabla 5. Equipos críticos del sistema de agua industrial

SISTEMA DE AGUA INDUSTRIAL				
Ítem	SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACION	NIVEL DE CRITICIDAD
1	Bomba	P - 501 A	Bomba centrífuga	crítico
2	Bomba	P - 501 B	Bomba centrífuga	Medianamente crítico
3	Bomba	P - 501 C	Bomba centrífuga	No crítico
4	Paquete	CPI	tratamiento de agua	Medianamente crítico

c) Sistema de aire industrial

Tabla 6. Equipos críticos del sistema de aire industrial

SISTEMA DE AIRE				
Ítem	SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACION	NIVEL DE CRITICIDAD
1	Compresor	C-101 A	Compresor	Medianamente crítico
2	Compresor	C-101 B	Compresor	Medianamente crítico

3	Secador	S-101 A	Secador	Medianamente critico
4	Secador	S-101 B	Secador	Medianamente critico
5	Almacenamiento	V - 101	Pulmones de aire comprimido	Medianamente critico

d) Sistema contra incendio

Tabla 7. Equipos críticos del sistema contra incendio SCI

SISTEMA CONTRA INCENDIO SCI				
ítem	SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACION	NIVEL DE CRITICIDAD
1	Bomba	P-601	Bomba centrífuga	Medianamente critico
2	Bomba	P-602	Bomba centrífuga	Critico
3	Bomba	P-603	Bomba centrífuga	Medianamente critico
4	Motor Diesel	M-601	motor eléctrico por combustión	Medianamente critico
5	Motor Eléctrico	M-602	Motor eléctrico	Critico
6	Motor Eléctrico	M-603	Motor eléctrico	Medianamente critico
7	Válvula de alivio	PSV- 600	Válvula de alivio	Medianamente critico
8	Almacenamiento	TK - 501	Tanque	Medianamente critico
9	paquete	PK - 601	Proporcionado de espuma	Medianamente critico

5.6 MODO DE FALLA DE EQUIPO, CAUSA DE FALLA. FMEA

Basado en el análisis realizado, a continuación, se listan las causas de falla (Criterio SAE JA 1011) en los equipos críticos y semi críticos, así como la consecuencia de sus fallas funcionales, esto con el ánimo de asignar la tarea más apropiada para

prevenir o mitigar el efecto de la falla. En las tablas, 08, 09 y 10 se alistan los modos de fallas y las consecuencias por cada sistema.

Tabla 8. Causa de falla y efecto en sistema de bombeo

Nota: Debido a lo extenso de la tabla se adiciona como un anexo

Anexo a. Causa de falla y efecto en sistema de bombeo

Tabla 9. Causa de falla y efecto en sistema de agua industrial

Nota: Debido a lo extenso de la tabla se adiciona como un anexo

Anexo b. Causa de falla y efecto en sistema de agua industrial

Tabla 10. Causa de falla y efecto en sistema de aire industrial

Nota: Debido a lo extenso de la tabla se adiciona como un anexo

Anexo c. Causa de falla y efecto en sistema de aire industrial

Tabla 11. Causa de falla y efecto en sistema Contra incendio

Nota: Debido a lo extenso de la tabla se adiciona como un anexo

Anexo d. Causa de falla y efecto en sistema Contra incendio

5.7 TAREA DE MANTENIMIENTO

Una vez están definidos las causas y los efectos de falla; la norma SAE JA1011 propone un algoritmo lógico de decisión para definir cuál es la tarea o acción más apropiada para mitigar los efectos de materialización de una falla, ver Figura 04.

De acuerdo al desarrollo del algoritmo se definieron las siguientes tareas de mantenimiento a los siguientes equipos en objeto de análisis

a) Preventivas:

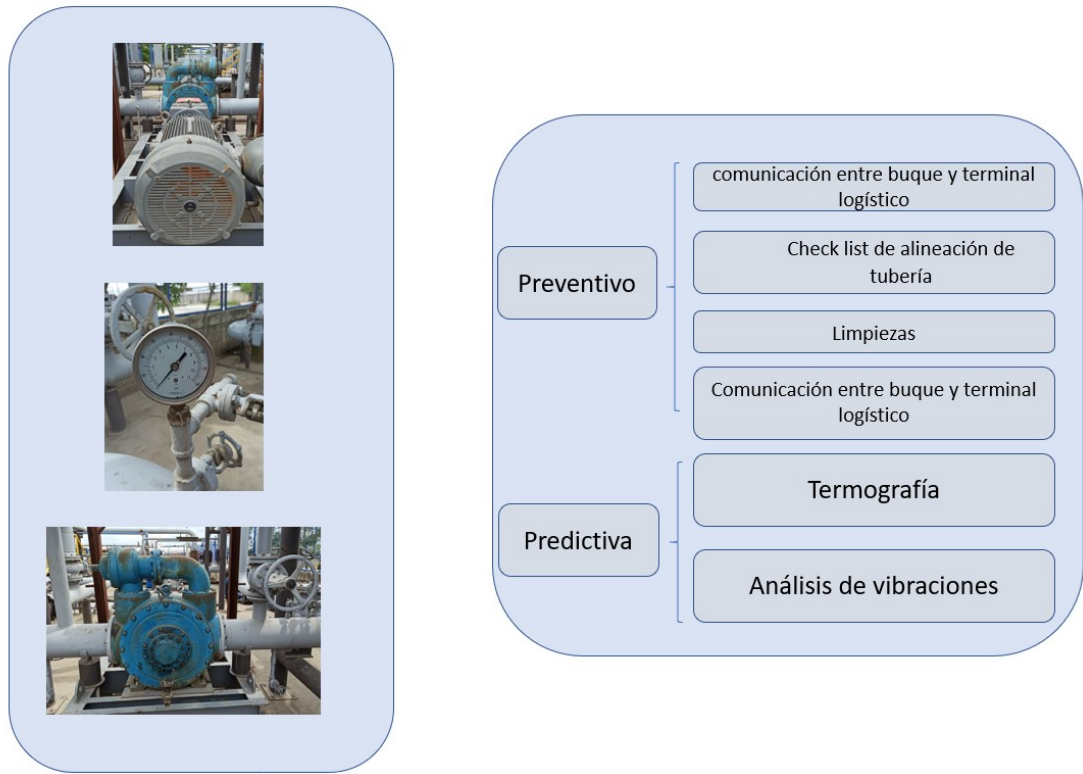
- Lubricación
- inspección
- Limpiezas
- Ajuste de conexión
- comunicación entre buque y terminal logístico
- Programación de cargue o descargue
- Check list de alineación de tubería
- Calibración

b) Basada en condición:

- Vibración
- aumento de presión en el sistema
- Ruido
- Análisis de aceite
- Análisis de aceite dieléctrico

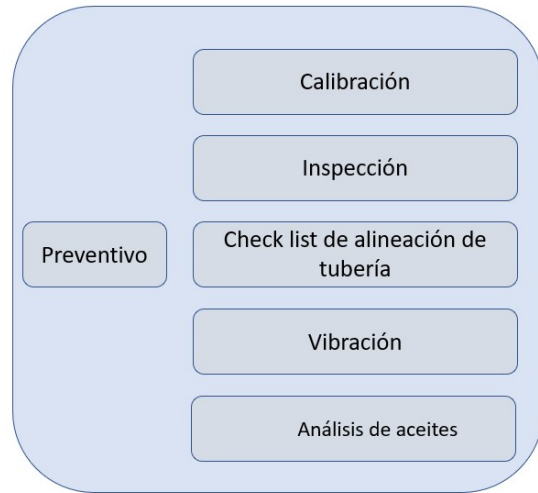
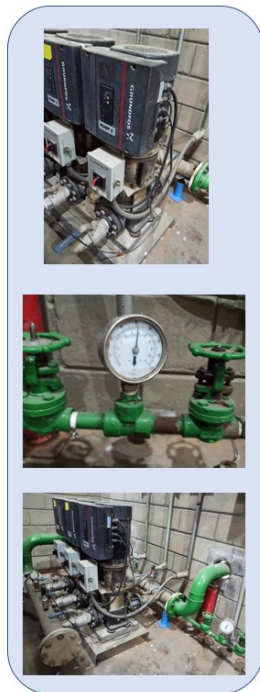
a continuación, en las figuras (11,12,13,14) se describen algunas tareas de mantenimiento de acuerdo a los sistemas planteados

Figura 10. Sistema de bombeo



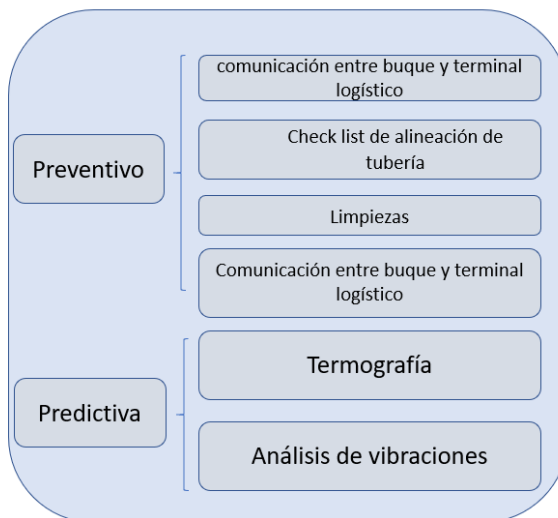
Fuente: El autor

Figura 11. Sistema de agua industrial



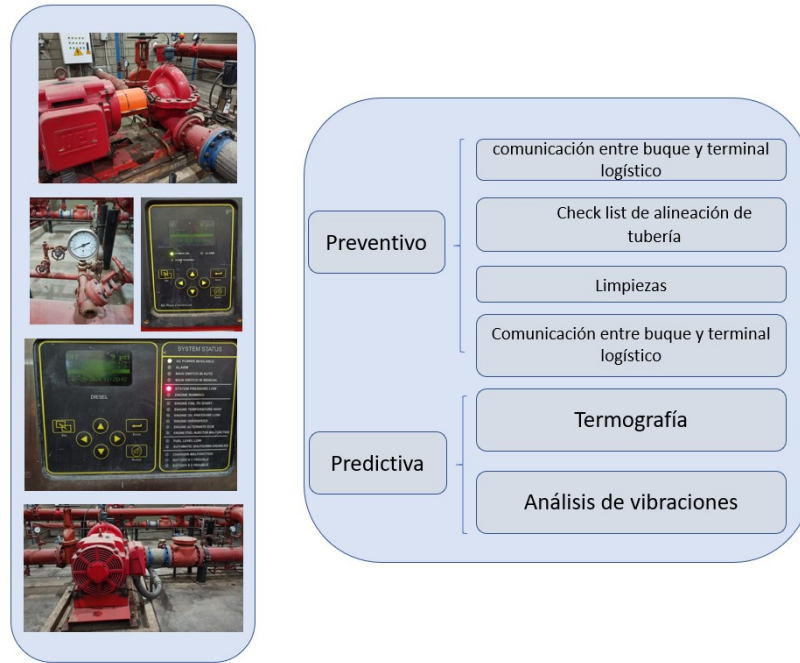
Fuente: El autor

Figura 12. Sistema de aire industrial



Fuente: El autor

Figura 13. Sistema Contraincendios



Fuente: El autor

Ya definidas las tareas de mantenimiento y de acuerdo a la naturaleza del activo y su nivel de criticidad, de debe asignar los recursos humanos y técnico, para la posterior ejecución.

La siguiente tabla (Tabla 12) se relación los niveles de los profesionales técnicos que hacen parte de la planta el parate de ejecución y parte técnica.

Tabla 12. Niveles de personal de mantenimiento

Especialidad	Ejecución	
	Código	descripción
Mecánicos	MM1	Nivel 01
	MM2	Nivel 02
Eléctrico	EL1	Nivel 01
	EL2	Nivel 02
Profesionales	IM1	Nivel 01
	IE2	Nivel 01

6 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

6.1 LISTA DE CHEQUEO PRE, MEDIANTE Y POST OPERACIONAL

Anexo e. Lista de chequeo pre, mediante y post operacional

6.2 PLAN DE MANTENIMIENTO

Para el plan de mantenimiento se divide en dos partes. el cronograma de mantenimiento y una inspección preoperacional del equipo que se debe realizar antes y después de cada operación que se realice con dicha bomba


Parte 1

6.2.1 Inspección mecánica Bomba -Motor-Reductor

Nota: este formato lo comparto como imagen en la monografía, pero también lo agrego como anexo para mejor visualización del documento

Anexo f. Inspeccion mecanica Bomba-Motor-Reductor

Figura 14 Inspección mecánica Bomba-Motor-Reductor

		Solmico SAS				
Inspección mecánica a bomba/motor/reductor <i>Inspección & Maintenance Preoperational</i>						
Asignado a:		Departamento de Mantenimiento		Fecha: / /		
Información general						
Bomba : _____ Motor : _____ Reductor: _____ Fecha de Inspección : _____ Nombre del Inspector : _____		Tag: _____ _____ _____		NR = No Revisado NA = No Aplicable OK = Buen estado MAL = Mal estado		
Nº	PARTES A INSPECCIONAR	OK	MAL	NR	NA	OBSERVACIONES
1.1	Estado de la base y anclajes					
1.2	Tomillería completa en patas de motor y bomba					
1.3	Guarda instaladas con tornillos					
1.4	Brida de succión y descarga con tomillería completa y empaques					
1.5	Estado de válvula de succión y descarga					
1.6	Fugas visibles de producto					
1.7	Fugas visibles de aceites o grasas					
1.8	Venteo o respirador en la caja de aceite					
1.9	Nivel del aceite					
1.10	Visor del nivel del aceite					
1.11	Eje de la bomba y acople					
1.12	Eje del motor y acople					
1.13	Puesta a tierra conectada y apretada					
1.14	Estado de caja de bodega con tornillos instalados					
1.15	guarda y ventilados del motor instalados y en buen estado					
1.16	Acometida eléctrica de llegada al motor					
1.17	Placa de datos de fabrica en bomba, motor y reductor					
1.18	Identificación de tag en el campo					
1.19	Estado del aceite					
1.20	Caja reductora con tornillo completos en la basa y en la caja					
OBSERVACIONES GENERALES: _____ _____ _____						

 Supervisor de Mantenimiento

 Inspector

 Solmico Oil S.A.S.
 Compañía de Inspección

Parte II

6.2.2 Cronograma de mantenimiento

Nota: este formato lo comparto como imagen en la monografía, pero también lo agrego como anexo para mejor visualización del documento

Anexo g. Cronograma de mantenimiento

Figura 15 Cronograma de mantenimiento



Solmico SAS

Cronograma de mantenimiento Sistema de Bombeo

Inspection & Maintenance

Asignado por: Departamento de Mantenimiento	Generado por: Coordinador Mecánico	Fecha : / /
---	------------------------------------	---------------------

Información general

Tag: _____

Bomba : _____

Motor : _____

Reductor: _____

Tanque : _____

Fecha de Inspección : _____

Nombre del Inspector : _____

Nº	Equipo	Parte	Actividad	Frecuencia meses	Duración Hora	Prioridad	Tipo	Clasificación
1.1	Motor jaula de ardilla		Limpieza y evaluación General	3	36,00	alta	Preventivo	Electricidad
1.2			Mantenimiento Mayor	24	0,10	media	Preventivo	Electricidad
1.3			Medir resistencia de aislamiento	6	0,10	media	Predictivo	Electricidad
1.4	Bomba de llenadero	Cojinetes	Lubricar y evaluar	1	0,10	alta	Preventivo	Lubricación
1.5			Mantenimiento Mayor	24	36,00	media	Preventivo	Mecánico
1.6	Reductor		Revisión y limpieza	3	0,30	media	Preventivo	Mecánico
1.7		Cojinetes	Lubricar y evaluar	3	0,10	alta	Preventivo	Lubricación
1.8		Filtro de canasta	Limpiar	3	2,00	media	Preventivo	Mecánico
1.9	Válvulas		Limpieza y evaluación General	3	36,00	alta	Preventivo	Electricidad
1.10			Mantenimiento Mayor	24	0,10	media	Preventivo	Electricidad
1.11		Cojinetes	Lubricar y evaluar	6	0,10	media	Predictivo	Electricidad
1.12	Tubería	General	Revisar Fugas y funcionamiento	3	0,10	media	Preventivo	Mecánico
1.13		Filtros	Revisar , limpieza y Purga	0,25	0,10	alta	Preventivo	Mecánico
1.14		Trampa	Revisar , limpieza y Purga	0,25	0,10	alta	Preventivo	Mecánico
1.15		Coladores	Revisar , limpieza y Purga	0,25	0,10	alta	Preventivo	Mecánico
1.16		cuerpo de tubería	Evaluar estado de la pintura	6,00	2,00	media	Preventivo	Mecánico
1.17		Manómetros y Otros instrumentos	Revisar y ajustar si es necesario	1,00	0,20	Bajo	Preventivo	mecánico
1.18	Tanques	Soportaría	Revisar y ajustar si es necesario	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.19		Angulo vosel	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.20		boquillas	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.21		Escalera Plataforma y Pasamanos	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.22		Laminas de cuerpo y techo	Inspección visual	6,00	0,20	alto	Preventivo	Inspección
1.23		Manholes	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.24		Pernos de anclajes	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.25		Aterramiento	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.26		Pintura	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.27		Señalización	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.28		Soportaría de tubería	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección
1.29		Asentamiento	Alineación	6,00	0,20	alto	Preventivo	topografía
1.30		Verticalidad	Alineación	6,00	0,20	alto	Preventivo	topografía
1.31	Aspersores de agua	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección	
1.32	Cámara de espuma	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección	
1.33	Instrumentación	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección	
1.34	Estructura interna de techo	Inspección visual	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección	
1.35	Fondo interno	Inspección visual	6,00	0,20	alto	Preventivo	Inspección	
1.36	Válvulas de venteo vacío	Inspección visual y funcionamiento	6,00	0,20	medio	Preventivo	Inspección	

OBSERVACIONES GENERALES:

Supervisor de Mantenimiento

Solmico Oil S.A.S.
Compañía de Inspección

Inspector

7 CONCLUSIONES

Se propone un plan de mantenimiento producto de la aplicación de la metodología RCM para el equipo crítico del centro logístico de SOLMICO OIL S.A.S., con el fin de mejorar los índices de confiabilidad y disponibilidad de dichos equipos

Fue de suma importancia el apoyo del personal de mantenimiento y de operación en el desarrollo de la metodología RCM, para la definición de las tareas de mantenimiento y protocolos pre, durante y post operacionales derivadas de las causas de la falla.

La definición clara y precisa del contexto operacional es de suma importancia teniendo en cuenta que SOLMICO OIL S.A.S. cuenta con operadores en el centro logístico, por ende, es clave que se lleve el control y monitoreo de las variables operativas, las cuales ayudaran a una confiabilidad superior al 99%

Como resultado del análisis RCM, se propusieron tareas como análisis de vibraciones, análisis de aceites, termografías y documentos operacionales las cuales fortalecen el concepto de mantenimiento preventivo u con llevan a obtener una disponibilidad de equipo al momento que se requiera.

Podemos concluir que los elementos más críticos de los sistemas son aquellos que hacen para del sistema de bombeo, por supuesto sobresaliendo las bombas de llenadero (P302 A/B)

Edemas del plan de mantenimiento o cronograma de estos equipos es crucial agregar un instructivo de trabajo operacional para estas bombas de muelle P302 A/B

Ya que tanto el manejo del equipo como el mantenimiento del mismo, esta directamente relacionado con la disponibilidad y funcionalidad de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

- BUREAU Veritas. (2015). Memorias Capacitacion RCM, .
- Carlos, B. (2017). Mantenimiento Preventivo. En A. Bogota. Bucaramanga Santander: Memorias Universitarias Industrial de Santander. Facultad de ingenierias Físico Mecánicas.
- Carlos, B. (2017). Principios de mantenimiento. En Ausduis, *Principios de mantenimiento*. Bucaramanga, santander: Memorias Universitarias de Santander. Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas.
- JA1011, S. (1999). Evaluation Criteria for reability - Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automovie Enginners Inc .
- JA1012, S. (2002). Evaluation Criteria for reability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automovie Engineers Inc,.
- MOUBRAY, j. (1997). *Reliability centered Maintenance RCM II*. New york- E.E.U.U. Industrial Press Inc: Second Edition.
- NORSOK STANDARD Z-008. (Nov 2001). Critically analisis for maintenance purposes.
- NTC, I. C. (2016). ICONTEC. En *ICONTEC*. Bogota DC.
- UDEP, B. (16 de Junio de 2020). *Universidad de Piura*. Obtenido de <http://udep.edu.pe/biblioteca/>
- USECHE, C. (2018). Optimización del plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM para las unidades de bombeo de la estación de agua potable paraíso I de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Bogotá. En *Monografía especialista en gerencia de mantenimiento*, . Bogota, Cundinamarca.