

**Propuesta para la Aplicación de PMO en una Bomba Centrífuga MCM series
178 de 15 hp 4x3 para la Empresa PSC Energy**

Julián David Rodríguez Cuervo y Nelson Farid Cruz Álvarez

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Seminario de Investigación II

Mg. Miguel Ángel Urián Tinoco

Octubre del 2020

Dedicatoria

Este proyecto lo dedicamos a nuestros padres, quienes nos han apoyado para poder llegar a estas instancias de nuestras vidas como profesionales, ya que siempre han estado presentes para apoyarnos moralmente y ser mejores personas ante la sociedad, dando siempre un mejor ejemplo.

Agradecimientos

Primeramente agradecemos a Dios por cumplir un objetivo más en nuestras vidas, a la Universidad ECCI por habernos aceptado ser parte de ella junto con los docentes que son formadores de conocimiento y principios humanos y adicionalmente a nuestros familiares que son pilares fundamentales de amor, compañía, apoyo y unión en nuestro día a día.

Contenido

1. Título de la investigación	10
2. Problema de Investigación.....	10
2.1 Descripción del Problema	10
2.2 Formulación del Problema.....	11
2.3 Sistematización del Problema.....	12
3. Objetivos.....	13
3.1 Objetivo General.....	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. Justificación y Delimitación	14
4.1 Justificación	14
4.2 Delimitación.....	15
4.2.1 Tiempo	15
4.2.2 Espacio	15
4.3 Limitación.....	15
5. Marco Conceptual.....	17
5.1 Estado del Arte.....	17
5.1.1 Estado del Arte Nacional.....	17
5.1.2 Estado del Arte Internacional.....	21

5.2 Marco Teórico.....	28
5.2.1 Que es una bomba centrífuga.....	28
5.2.2 Que es mantenimiento.....	31
5.2.3 Administración y herramientas del mantenimiento	33
5.3 Marco Normativo/Legal	43
6. Marco Metodológico	46
6.1 Tipo de Investigación.....	46
6.1.2 Fuentes de Obtención de la Información.....	46
6.1.3 Instrumentos de Recolección de Información	46
6.1.4 Metodología de la Investigación	47
6.1.5 Recopilación de la Información	48
6.2 Análisis de la Información	54
6.2.1 Resultados de Encuesta Mantenimiento Bomba Centrífuga	60
6.2.7 Desarrollo del PMO	62
6.3 Propuesta de Solución.....	66
7. Impactos Esperados	68
8. Análisis Financiero	69
8.1 Ciclo de Vida	69
8.1.1 Ingresos	69
8.1.2 Egresos	70

8.2 ROI.....	77
9. Conclusiones y Recomendaciones.....	79
9.1 Conclusiones.....	79
9.2 Recomendaciones.....	79
10. Bibliografía.....	81

Contenido de Tablas

Tabla 1	11
Tabla 2	44
Tabla 3	50
Tabla 4	53
Tabla 5	57
Tabla 6	64
Tabla 7	70
Tabla 8	71
Tabla 9	74
Tabla 10	76

Tabla de Figuras

Figura 1	14
Figura 2	29
Figura 3	29
Figura 4	30
Figura 5	30
Figura 6	40
Figura 7	47
Figura 8	49
Figura 9	50
Figura 10	51
Figura 11	52
Figura 12	54
Figura 13	55
Figura 14	60
Figura 15	62
Figura 16	63
Figura 17	65
Figura 18	67
Figura 19	72

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de optimización de un plan de mantenimiento (PMO) para una bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 para la empresa PSC Energy, la cual ha presentado fallas en los componentes internos, teniendo como consecuencia retrasos en cargue de fluido en tanques y vehículos ubicados en los diferentes frentes de trabajo en campo que fueron operados durante el año 2019. Se diagnosticó y se estableció toda la información técnica e histórica de gestión del equipo, como son hoja de vida, indicadores, formatos, reportes de falla e inspecciones de pruebas de pozo de superficie. Con la información anterior y ejecución de los métodos correctos de análisis se logró identificar los componentes de mayor riesgo de criticidad del equipo, se desglosó en forma de cascada los componentes de la bomba, se identificaron y analizaron los modos de efecto de falla de los componentes más críticos, mediante el diagrama de Pareto y adicionalmente se pronosticó el beneficio del ciclo de vida junto con el costo de indisponibilidad y cálculo de retorno de la inversión ROI. Estas actividades se realizaron en un periodo de 10 meses en las instalaciones de la empresa PSC Energy ubicada en Chía Cundinamarca. Durante el desarrollo de la metodología del PMO, se cumplieron con las actividades descritas en la metodología de la investigación, los cuales fueron de mucha importancia en el desarrollo e implementación adecuada de las acciones efectivas de mantenimiento y frecuencias adecuadas del activo.

Palabras clave

Propuesta, PMO, Bomba Centrífuga MCM, Aplicación.

Abstract

The objective of this research was to develop a proposal for the optimization of a maintenance plan (PMO) for a 15 hp 4x3 MCM series 178 centrifugal pump for PSC Energy, which has presented failures in its internal components, resulting in delays in the loading of fluid in tanks and vehicles located in the different fronts of field work that were operated during 2019. All technical and historical equipment management information was diagnosed and established, such as resumes, indicators, formats, failure reports and surface well test inspections. With the above information and the execution of the correct analysis methods, we were able to identify the components with the highest risk of equipment criticality, the pump components were cascaded, the failure effect modes of the most critical components were identified and analyzed through the Pareto diagram, and additionally the life cycle benefit was predicted along with the unavailability cost and ROI calculation. These activities were carried out over a period of 10 months in the facilities of the company PSC energy located in Chia Cundinamarca. During the development of the PMO methodology, the activities described in the research methodology were fulfilled, which were of great importance in the development and adequate implementation of effective maintenance actions and adequate frequencies of the asset.

Keywords

Proposal, PMO, Centrifugal Pump MCM, Application.

1. Título de la investigación

Propuesta para la Aplicación de PMO en una Bomba Centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 para la Empresa PSC Energy.

2. Problema de Investigación

2.1 Descripción del Problema

Por más de 10 años la empresa PSC Energy tiene como propósito suministrar información y recursos que facilitan la toma de decisiones operacionales y financieras asociadas con la exploración y producción de hidrocarburos, en la actualidad cuenta con 300 equipos de funcionalidad estática y rotativa de los cuales el 20% son bombas centrífugas (Equipos rotativos). Muchos de los equipos de bombeo en facilidades de hidrocarburos como las bombas centrífugas son utilizadas para transportar agua, crudo pesado y liviano usando como energía elemental la fuerza centrífuga, los componentes internos y externos del equipo son sometidos a una serie de esfuerzos y desgaste, los cuales no han sido analizados y clasificados adecuadamente para poder intervenir prioritariamente a partir de un plan de mantenimiento preventivo, generando fallas y averías de máquina que perjudican la operación en campo y traen como consecuencia retrasos en abastecimiento de crudo y agua en los tanques de almacenamiento, retrasos en cargue del fluido en vehículos que llegan a la facilidad y aumento del 10% de los costos habituales causados por la ejecución de mantenimientos correctivos.

De acuerdo a la información suministrada por operaciones, se evidencia la calificación del servicio de los frentes pertenecientes al cliente principal (Ver Tabla 1).

Tabla 1*Cuadro de evaluación servicio al cliente*

CUADRO EVALUACIÓN DE SERVICIO CLIENTE						
Frentes de Trabajo	Retrasos de Cargue y Abastecimiento	Estructura Documental al día	Capacitación de Personal	Cumplimiento del SGSST	Cambios de Turno	Mejora Continua
Frente 1	1	4	4	3	4	3
Frente 2	2	4	4	3	4	3
Frente 3	1	3	4	4	4	3

Criterios de Evaluación: 1 = No cumple 2 = Deficiente 3 = Bien 4 = Muy Bien

Nota. En esta tabla se observa el cuadro de calificación por parte del cliente para evaluar el servicio en los frentes de operación. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

De acuerdo a los criterios de evaluación de cada frente de trabajo vistos en la tabla 1, se observa que los retrasos de cargue y abastecimiento tienen calificación de 1 y 2, demostrando que las causas que afectan este parámetro se deben a las fallas presentadas en los equipos de bombeo.

2.2 Formulación del Problema

Evidenciando las novedades presentadas en el equipo rotativo y que sin duda afectan de manera sustancial la operación y satisfacción del cliente en la facilidad en campo, se debe aplicar una técnica de mantenimiento eficiente y eficaz que permita contrarrestar este tipo de afectaciones. La pregunta presentada a continuación ayudará a orientar este proyecto de implementación a dar solución a las novedades de mantenimiento para la empresa PSC Energy.

¿Cómo solucionar las fallas presentadas en los componentes internos y externos de una bomba centrífuga de la empresa PSC Energy para contrarrestar los costos y tiempos de producción de crudo en cada facilidad?

2.3 Sistematización del Problema

¿Como diagnosticar el estado actual de las bombas centrífugas MCM series 178 de 15 hp 4x3 para definir los recursos y establecer cronogramas de ejecución del mantenimiento en la empresa PSC Energy?

¿Qué metodologías, normatividad y técnica de mantenimiento son las que se requieren para aplicar el plan de mantenimiento adecuado que se propondrá a la empresa PSC Energy?

¿Cuál es la propuesta de mantenimiento indicada para el equipo de bombeo MCM series 178 de 15 hp 4x3 que contribuya a complementar el programa de mantenimiento de la empresa, mediante el análisis de los datos recopilados del año 2019?

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Proponer la aplicación de PMO en una bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 mediante la investigación de técnicas y metodologías para aplicar a la empresa PSC Energy, en la cual se evidencien oportunidades de mejora y de reducción de costos por fallos prematuros.

3.2 Objetivos Específicos

-Diagnosticar el estado actual de las bombas centrífugas MCM series 178 de 15 hp 4x3 por medio de una caracterización completa, con el propósito de definir los recursos y establecer cronogramas para la ejecución del mantenimiento.

-Establecer metodologías, normatividad y técnicas de mantenimiento aplicadas en la industria, para aplicar el plan de mantenimiento adecuado que se propondrá a la empresa PSC Energy.

-Realizar una propuesta de mantenimiento que se adapte al equipo de bombeo MCM series 178 de 15 hp 4x3 y al programa de mantenimiento de la empresa, mediante el análisis de los datos recopilados del año 2019.

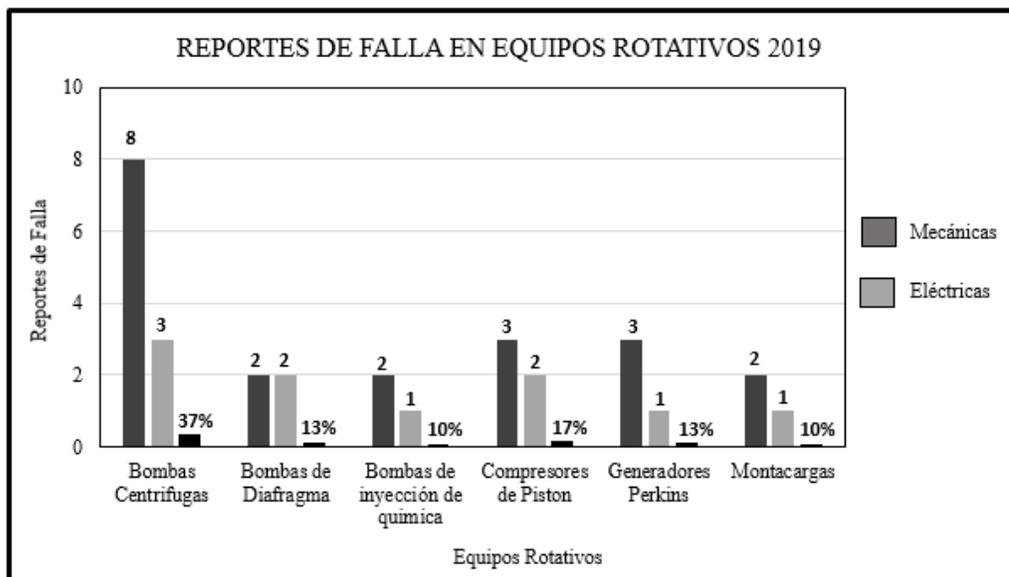
4. Justificación y Delimitación

4.1 Justificación

Es importante aplicar una técnica o metodología en el programa de mantenimiento de la empresa PSC Energy, ya que permite transformar y contribuir de forma significativa el mejoramiento de actividades en la ejecución de mantenimiento preventivo realizado por los técnicos que se encuentren en campo y en base principal de la compañía. De acuerdo a las novedades y paradas de fallo de tipo mecánico y eléctrico que se presentaron en equipos rotativos en el año 2019 especialmente en bombas centrífugas (Ver Figura 1), se presentaron retrasos en transportar caudal a los tanques de almacenamiento de la facilidad y abastecer los vehículos de carga.

Figura 1

Reportes de Falla en Equipos Rotativos 2019 Empresa Psc Energy



Nota. En esta figura se puede apreciar las fallas que tuvieron los equipos rotativos que fueron reportadas durante el año 2019. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

De acuerdo a los datos cuantitativos mostrados en la figura 1, es indispensable reducir las fallas presentadas en las bombas centrífugas mediante la optimización de la técnica o metodología relacionada en el plan de mantenimiento programado, ya que compone el 37% de las fallas presentadas en el año 2019.

Una vez ejecutada la técnica reducirá significativamente los costos del activo en la gestión de consumibles, repuestos y componentes. Aumentará la vida útil, rentabilidad y disponibilidad inmediata cuando este sea rentado.

4.2 Delimitación

4.2.1 Tiempo

La implementación de la técnica de mantenimiento escogida se desarrollará en un periodo de 10 meses.

4.2.2 Espacio

El análisis y ejecución de la técnica se desarrollará en las instalaciones principales de la empresa PSC Energy que se encuentra ubicada en el sector vía ofichia centro de negocios en el municipio de Chía Cundinamarca.

4.3 Limitación

En la empresa PSC Energy no se cuenta con un presupuesto independiente para cada área, ya que se cuenta con un presupuesto global, el cual limita contratar personal externo para apoyo de las actividades de mantenimiento, falta de información de años anteriores a 2019, acceso a información técnica en la adquisición de algunos equipos de bombeo, no se cuenta con personal disponible al momento de ejecución del proyecto debido a que se encuentran laborando en campo y también se encuentran en stand by o

modo de espera hasta que reanuden labores en la empresa por motivos de la pandemia COVID-19.

5. Marco Conceptual

5.1 Estado del Arte

5.1.1 Estado del Arte Nacional

5.1.1.1 Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 h -7.5 Tw.

En el año 2016 Pedro Luis Abril Bolívar, Cristian Alexander Ardila Mateus, Juan Sebastián Cubillos Guzmán, Escriben para la Universidad ECCI la tesis titulada *“Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 h -7.5 Tw”*. En el presente proyecto se pretende establecer las actividades de mantenimiento a desarrollar sobre la bomba centrífuga de referencia 15 H – 7.5 TW en la compañía Ignacio Gómez IHM SAS, se enfoca en un estudio de caso donde se analiza los modos y efectos de falla, lo cual permite reaccionar anticipadamente a los errores y posibles inconvenientes que alguna falla pueda ocasionar la falta del agua potable en una edificación. (Abril Bolívar, Ardila Mateus, & Cubillos Guzmán, 2016). Se comprueba la planificación, ejecución y control de un RCM, técnica importante que permite extender la vida útil del activo dentro de parámetros adecuados de funcionamiento y fortalecer las previsiones de fallas que afecten la funcionalidad del componente dentro del servicio de suministro de agua.

5.1.1.2 Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en RCM para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar masa stork.

En el año 2017 Diego Ernesto Cepeda Pérez. Escriben para la UPTC Seccional Duitama la tesis titulada “*Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en RCM para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar masa stork*”. El presente trabajo despliega el diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en RCM, el cual permite generar una confiabilidad enfocada al equipo más crítico del proceso de inyección de agua de la empresa Masa – Stork. (Cepeda Perez, 2017). Esta información permite especificar de manera organizada y recomendada los planes de acción que se deben hacer frente a las fallas funcionales, estados, efectos y modos de falla ocultos que presenta la bomba horizontal de inyección de agua, ya que de no hacerlo pueden presentar paradas críticas en campo, trayendo altos costes de operación y de mantenibilidad.

5.1.1.3 Control predictivo-cooperativo para operar una red de bombas centrífugas en un sistema serial de poliductos.

En el año 2014 José Noguera Polonia. Carlos Robles Algarín. Jordan Guillot Fula. Escriben para la Universidad Cooperativa de Colombia el artículo titulado “*Control predictivo-cooperativo para operar una red de bombas centrífugas en un sistema serial de poliductos*”. El artículo hace referencia a implementar un modelo y simulación de poliducto que considera el comportamiento dinámico de las presiones y velocidades dentro de una tubería aplicando un MPC (Control predictivo por modelo) frente a las variables que se presentan en el transporte de hidrocarburos como son mezclas y contaminación de los

fluidos, los cuales son transportados a través de bombas centrífugas. (Noguera Polania, Robles Algarín, & Guillot Fula, 2014). Es importante conocer al detalle las variables que se presentan al transportar fluidos, ya que determinan un factor vital para analizar y aplicar planes de acción preventivos antes de que se visualicen las fallas que son originadas por las bombas centrífugas para las cuales son diseñadas, de igual manera no se debe perder de vista las condiciones en las que se encuentre los tramos de tubería que conducen el caudal a cada subsistema de toda la operación porque son elementos de conexión que permiten llevar el fluido al final del proceso.

5.1.1.4 Elaboración de un plan de mantenimiento para puesta a punto de equipos de generación y bombeo dentro de la empresa GEP S.A.S.

En el año 2019 Oscar Julián Otálora Guerra. Escribe para la Fundación Universidad América la tesis titulada *“Elaboración de un plan de mantenimiento para puesta a punto de equipos de generación y bombeo dentro de la empresa GEP S.A.S”*. La tesis muestra claramente que para realizar el plan de mantenimiento en los dos activos rotativos se debe hacer un análisis de la documentación estructural de la empresa referente al programa de mantenimiento que aplique a mantener y suministrar equipos disponibles y confiables cuando estos sean destinados al cliente final. (Otálora Guerra, 2019). El documento evidencia claramente el análisis de la información, ejecución y trazabilidad de cada actividad intervenida en los activos rotativos en los ámbitos técnicos, ambientales y financieros, la cual permite desarrollar y analizar principalmente la criticidad, fallas y riesgos que pueden ocasionar improductividad en la puesta a punto de cada equipo, por tanto al estudiar toda la información documental se complementa de manera correcta las actividades correspondientes a los trabajos de mantenimiento preventivo, también se

determinan los indicadores que se utilizarán y alimentarán para llevar control, seguimiento y cumplimiento para el departamento de mantenimiento.

5.1.1.5 Optimización de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos rotativos en la planta “Aromáticos” de la GRB de Ecopetrol.

En el año 2014 José Ricardo Roa López. José John Gómez Morales. Escriben para la Universidad Industrial de Santander el trabajo de grado titulado “*Optimización de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos rotativos en la planta “Aromáticos” de la GRB de Ecopetrol*”. El presente trabajo de grado hace referencia a aplicar un RCM para investigar y estudiar las fallas más frecuentes en los equipos rotativos en la planta de “Aromáticos” y los componentes más relevantes de estos equipos ubicados en planta. (Roa López & Gomez Morales, 2014). Para desarrollar el RCM en los equipos rotativos, los estudiantes aplicaron un análisis de criticidad donde se estableció obtener una metodología funcional para estudiar los modos y efectos de falla; Información vital e indispensable que debe ser desarrollada mediante un RCA (Árbol lógico de decisión), la cual permite plasmar las medidas preventivas para que no ocurran los fallos y efectos que impidan dar cumplimiento a la funcionalidad y disponibilidad de los equipos.

5.1.1.6 Actualización del plan de mantenimiento preventivo para los equipos utilizados en el procesamiento de leche y sus derivados de la empresa Freskaleche S.A.S en la planta de la ciudad de Bucaramanga.

En el año 2016 Yesid Arévalo Quintero. Escribe para la Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña la tesis “*Actualización del plan de mantenimiento preventivo para los equipos utilizados en el procesamiento de leche y sus derivados de la empresa Freskaleche S.A.S en la planta de la ciudad de Bucaramanga* “. La tesis tiene como fin la

actualización del plan de mantenimiento preventivo para los equipos utilizados en el procesamiento de leche y sus derivados de la empresa Freskaleche S.A.S en la planta de la ciudad de Bucaramanga. Para esto se plantearon los siguientes objetivos: identificar el plan de mantenimiento actual, especificar la programación de mantenimiento del sector de servicios industriales, así como la caracterización del plan de mantenimiento. (Arevalo Quintero, 2016). Brinda un aporte vital, ya que determina analizar una programación de mantenimiento a nivel industrial y caracterización de componentes, la realización del cronograma de mantenimiento preventivo para el sector de servicios industriales permitió adaptarlo a las necesidades de la empresa, se realizó el análisis de criticidad y las fichas técnicas de los equipos de este sector comparándolos con los datos actuales, permitió complementar la información y estructura del plan de mantenimiento de la empresa como plan de mejora.

5.1.2 Estado del Arte Internacional

5.1.2.1 Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para bombas centrífugas horizontales warman 450 mcr en minera cerró corona.

En el año 2017 Christian Paul Santillán Armas. Escriben para la Universidad Nacional de Trujillo la tesis titulada “*Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para bombas centrífugas horizontales warman 450 mcr en minera cerro corona.*”. El presente trabajo despliega el diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en RCM, el cual permite generar una confiabilidad enfocada al equipo más crítico del proceso de inyección de agua de la empresa Masa – Stork. (Cepeda Perez, 2017). Esta información comprueba especificar de manera organizada y recomendada los planes de acción que se deben hacer frente a las fallas funcionales,

estados, efectos y modos de falla ocultos que presenta la bomba horizontal de inyección de agua, ya que de no hacerlo pueden presentar paradas críticas en campo, trayendo altos costes de operación y de mantenibilidad.

5.1.2.2 Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrífugas ubicadas en Anglo American sur planta las tórtolas estación de rebombeo.

En el año 2018 Sebastián Eduardo Retamal Arriaza. Escriben para la Universidad Técnica Federico Santa María - Chile la tesis titulada *“Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrífugas ubicadas en Anglo American sur planta las tórtolas estación de rebombeo”*. La presente tesis se basa en realizar un estudio sobre la implementación de una propuesta de un plan de mantenimiento sobre bombas centrífugas pertenecientes a la empresa Anglo American Sur (AAS) las cuales son reparadas por la empresa Proseal Ltda. AAS manifiesta que el servicio que presta Proseal Ltda es irregular, ya que se han presentado retrasos en las fechas de entrega, fallas y paradas durante el funcionamiento de los equipos, sobrecosto por intervenciones de mantenimiento de tipo correctivo y multas por parte del cliente al no tener funcionalidad de producción en la operación. Para consolidar y desarrollar la propuesta de mantenimiento aplican 2 técnicas RCA como son diagrama de Pareto e Ishikawa, los cuales describen de manera cuantitativa las causas y efectos de cada una de las variables que intervienen en la generación de la falla de los componentes internos y externos del activo, también se hace un comparativo con los mantenimientos ejecutados de la empresa Proseal Ltda para aclarar y referenciar las actividades correctas de mantenimiento al ser ejecutadas de forma adecuada, segura y productiva. (Retamal Arriaza, 2018). El aporte que brinda la información anterior es ubicar inicialmente varios proveedores de servicio de mantenimiento que permitan entregar

equipos confiables en los tiempos establecidos e implementar planes de mantenimiento con técnicas de RCA las cuales determinan analizar la causa raíz de forma detallada para saber el origen de las fallas y poder reaccionar a tiempo para dar servicio continuo a la estación de rebombeo.

5.1.2.3 Estudio del mantenimiento preventivo de bombas centrífugas para distribución de agua potable, que pueda ser realizado en bancos de pruebas confiables.

En el año 2019 Emir Dante Suarez Huarcaya. Escriben para la Universidad Autónoma San Francisco la tesis titulada “*Estudio del mantenimiento preventivo de bombas centrífugas para distribución de agua potable, que pueda ser realizado en bancos de pruebas confiables*”. El objetivo de la investigación es realizar un estudio del mantenimiento preventivo mediante la técnica de observación en bombas centrífugas que distribuyen agua potable en sectores urbanos, agrícolas, industriales y mineras de la ciudad de Arequipa, los cuales son realizados en bancos de pruebas en serie o paralelo de acuerdo al sistema de conexionado que tenga cada uno de ellos, esto permite identificar si son confiables, funcionales y manipulables para analizar la eficiencia correcta, ya que tienen como propósito fundamental transportar el caudal en tiempo, velocidad y constancia de funcionamiento adecuado. (Suarez Huarcaya, 2019). Al aplicar la técnica de observación y analizar los resultados de la matriz de sistematización de datos en los sectores mencionados en la ciudad de Arequipa, se evidencia que regularmente conocen y aplican la normatividad, riesgos y técnicas de mantenimiento preventivo correctas para asegurar 100% la confiabilidad de funcionamiento de las bombas centrífugas, pronosticando a futuro

fallas y riesgos latentes de gran magnitud, escasa vida útil y funcionamiento deficiente en la operación al suministrar agua para los sectores de la ciudad.

5.1.2.4 Análisis de fallas recurrentes y propuesta de soluciones para el sistema de bombeo de agua.

En el año 2019 Francisco Martínez Pérez. Sandra Álvarez García. Escriben para la Universidad Tecnológica de la Habana – Cuba. Presenta el artículo titulado “*Análisis de fallas recurrentes y propuesta de soluciones para el sistema de bombeo de agua*”. En la presente investigación pretende determinar las causas de falla eléctrica y mecánica que generan deficiencias en el mantenimiento de las bombas axiales, pertenecientes a las empresas de cultivo de camarón. Se plantea un análisis de criticidad para establecer el nivel de jerarquía en 5 empresas productoras camaroneras y saber específicamente la capacidad de potencia, voltaje y corriente al conectar 2 o más bombas axiales. (Martínez Pérez & Álvarez García, 2018). Proponen solución de planes de mantenimiento predictivo a los sistemas de bombeo para la industria camaronera, ya que presentan novedades en corrosión salina, mal diseño de capacidad en el suministro de energía al no superar la capacidad instalada, lecturas de nivel de vibraciones en los motores y deformación permanente por flexión de ejes por mala alineación.

5.1.2.5 Estudio del mantenimiento de las estaciones de bombeo en Emapa para incrementar la disponibilidad de las maquinarias.

En el año 2011 Santiago Rodrigo Bonilla Parra. Escriben para la Universidad Técnica de Ambato. Presenta la tesis titulada “*Estudio del mantenimiento de las estaciones de bombeo en Emapa para incrementar la disponibilidad de las maquinarias*”. La tesis hace referencia a la aplicación de herramientas que contiene el software visual estudio, lo

cual permite planificar de manera organizada las intervenciones de mantenimiento preventivo a las maquinarias y reducir de forma significativa las paradas en los equipos para evitar pérdidas en sobrecostos en cada estación. (Bonilla Parra, 2011). Para la empresa Emapa es importante implementar y organizar de forma planificada el mantenimiento preventivo mediante un software, ya que sirve como apoyo en el seguimiento de actividades y utilizar de forma segura un conjunto de acciones necesarias para mantener las máquinas en funcionamiento, lo cual permite evitar averías y paradas imprevistas.

5.1.2.6 Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas.

En el año 2011 Hugo Armando Cadena Velázquez. Escribe para la Universidad Veracruzana la tesis titulada “*Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas*”. La tesis permite conocer las fallas asociadas a la instalación y selección de sellos mecánicos los cuales cada año deja numerosas y costosas sumas asociadas al mantenimiento. Se presentan las causas básicas de las fallas de los sellos y los métodos principales para evitarlas. Las fallas suelen ser por errores en la instalación, problemas por el diseño básico del sello mecánico o contaminación anormal del líquido. (Cadena Velázquez, 2011). Este análisis es importante porque permitió determinar los diferentes tipos de fallas que se presentan en sellos mecánicos de acuerdo a la instalación y funcionamiento de los mismos, con este tipo de información facilita analizar y estudiar una estrategia de mantenimiento que evite contrarrestar estas novedades de afecten la productividad de estos productos.

5.1.2.7 Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en bombas centrífugas horizontales.

En el año 2010 Jesús Cabrera Gómez. Franklin Guainipa Atacho. Escriben para la revista Ingeniería Mecánica el artículo “*Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en bombas centrífugas horizontales*”. La necesidad de ejecutar la investigación está dada por los fallos recurrentes que están presentando las bombas centrífugas horizontales que interrumpen el proceso de la planta de alquiler y al impacto económico asociado a los fallos que han tenido un elevado costo por acciones de mantenimiento preventivas y reactivas, en adición a los costos asociados por pérdida de oportunidad. (Gomez Cabrera & Guanipa Atacho, 2010). Se llevó a cabo un estudio para establecer las causas que originan los reiterados fallos ocurridos en el sistema de bombeo. Como resultado del trabajo realizado, se identificaron oportunidades de mejora de la disponibilidad de los activos estudiados para aumentar la vida útil y dar seguimiento y control a las actividades de intervención de mantenimiento para evitar fallas futuras en bombas centrífugas horizontales.

5.1.2.8 Implementación de un sistema de gestión del mantenimiento de bombas centrífugas a través del monitoreo subjetivo.

En el año 2019 Ernesto Sandro Choque Apaza escribe para la Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa la tesis “*Implementación de un sistema de gestión del mantenimiento de bombas centrífugas a través del monitoreo subjetivo*”. La tesis hace referencia a utilizar moderna tecnología para dar seguimiento y control a la gestión de mantenimiento, los cuales permiten disminuir considerablemente los costos y aumentar la máxima productividad en el proceso de producción. Las certezas confortables sobre los

cuidados con el activo físico, que giraban en torno al mantenimiento preventivo, en muchos casos un desperdicio de tiempo, costaban fortunas y aún cuestan, en términos de gastos con material y mano de obra en paradas de equipos, contribuyendo en poco o nada, en la mejora de la confiabilidad del equipo. (Choque Apaza, 2019). Conocer la condición real de funcionamiento de los equipos de producción puede hacer toda la diferencia entre el éxito y el fracaso del mantenimiento, evitando roturas de equipos inesperadamente. Un área de grandes cambios ha sido la aplicación efectiva y confiable de la tecnología de mantenimiento.

5.1.2.9 Propuesta de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis vibracional caso: sistema de bombeo, unidad de espesadores del proyecto toromocho.

En el año 2015 Esteban Alejandro Orcón García escribe para la Universidad Nacional Agraria La Molina el trabajo monográfico *“Propuesta de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis vibracional caso: sistema de bombeo, unidad de espesadores del proyecto toromocho”*. La presente investigación tiene como objetivo proponer un plan de mantenimiento predictivo basado en un análisis de vibración aplicada al área de espesadores del Proyecto Toromocho, cuya finalidad es optimizar los tiempos de parada por efectos de falla de los equipos en base a las Normas ISO 10816. Para el análisis se determinaron los puntos de medición, se establecieron los niveles de alarma y analizó los niveles de banda espectrales, dando como resultado problemas de desalineación, desbalance, holguras mecánicas, así como también fallas de los acoples. (Orcón Garcia, 2015). Estas dificultades es una de las tantas fallas que presentan en las bombas centrífugas que son producidas por un mal montaje de los equipos, vibración excesiva, fallas en los sellos mecánicos, fallas en rodamientos, o por el desempeño disfuncional en los equipos de

bombeo y entre otros. Con la identificación y tratamiento de estos problemas permite anticiparse a las fallas y averías mencionadas, aplicando un plan de mantenimiento predictivo, el cual no generen paradas innecesarias que afectan el proceso y permitan mejorar la confiabilidad y disponibilidad en los activos que hacen parte de un sistema de bombeo.

5.2 Marco Teórico

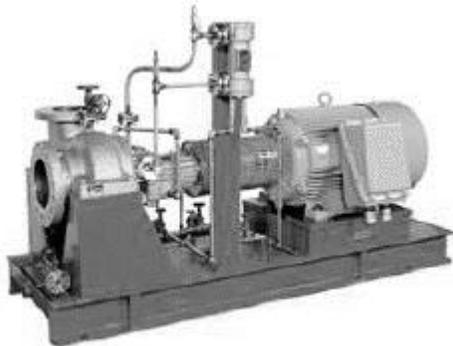
A continuación se sustentan los temas teóricos que sirven de apoyo para desarrollar la propuesta del plan de mantenimiento en la bomba centrífuga. Los temas son: Definición, partes, tipos, ventajas e inconvenientes de una bomba centrífuga, definición de mantenimiento, mantenibilidad, tipos de mantenimiento, herramientas de mantenimiento que permiten ser aplicadas para la administración y control del departamento de mantenimiento para una empresa.

5.2.1 Que es una bomba centrífuga

Estas son máquinas que funcionan bajo el principio de la centrifugación, dando como resultados giros a gran velocidad, acopladas directamente a un motor consiguiendo que las pérdidas por transmisión sean mínimas. Están compuestas por un elemento rotativo el que abarca principalmente un impulsor (una etapa) o varios impulsores (multi-etapas), un eje y un elemento estacionario que sería la carcasa o voluta en el caso de una bomba horizontal y tazones en el caso de una bomba vertical. Además, estas pueden diferenciarse por su disposición, ya sea vertical (ver Figura 2) u horizontal (ver Figura 3). La primera está compuesta por un o una serie de impulsores dispuestos de forma vertical e instalada al eje de bomba y la segunda está compuesta por un impulsor o varios los cuales están dispuesto de forma horizontal e instalada al eje de bomba. (GLOUD PUMPS , 2018).

Figura 2*Bomba Centrífuga Vertical*

Nota. Imagen de una bomba centrífuga de tipo vertical. Fuente: Catálogo, Bombas de turbina vertical Goulds, 2020

Figura 3*Bomba Centrífuga Horizontal*

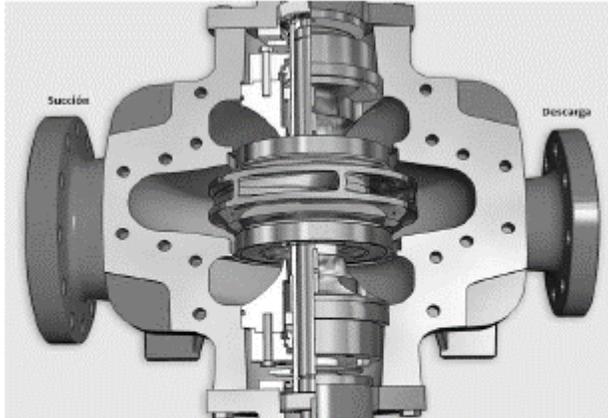
Nota. Imagen de una bomba centrífuga de tipo horizontal. Fuente: Tecsup, Bombas Hidráulicas y aplicaciones 2020

Por otro lado, las bombas centrífugas pueden ser clasificadas según la succión, estas pueden ser de succión simple (aplica para bombas verticales u horizontales), donde el líquido entra por un solo lado del impulsor de forma axial al eje o también pueden ser de succión doble

(aplica solo para bombas horizontales), en este caso el fluido también entra de forma axial al eje, pero direccionado a los dos centros que posee el impulsor para finalmente ser descargado por su periferia, ver Figura 4. (Neptuno Pumps, 2020).

Figura 4

Bomba Centrífuga Horizontal de flujo Axial



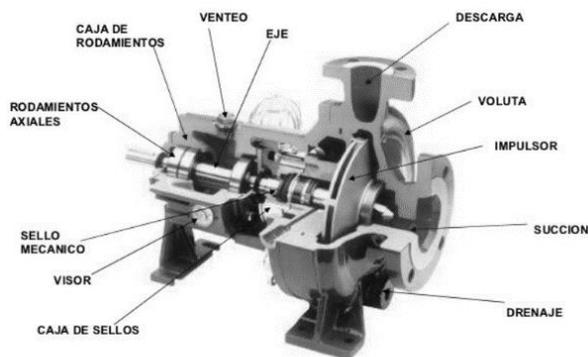
Nota. Corte transversal de una bomba de flujo axial. Fuente: <http://www.neptunopumps.com>

5.2.1.1 Partes Constructivas de una Bomba Centrífuga.

En la figura 5 se observan las partes internas y externas del equipo rotativo. (Portal Electromecánico, 2020).

Figura 5

Partes Constructivas de una Bomba Centrífuga



Nota. Principales partes de la parte rotativo de una bomba centrífuga. Fuente: [CITATION Con09 \l 12298]

5.2.1.2 Ventajas de las bombas centrífugas.

- Diseño sencillo, pocas piezas móviles, larga vida útil.
- Fácil ajuste del caudal mediante la válvula a la entrada de la bomba o mediante el número de revoluciones.
- Posibilidad de alto número de revoluciones, accionamiento directo mediante electromotor o turbina.
- Limitación de presión integrada, no se requiere válvula de seguridad.
- Alta estabilidad de marcha a través de un buen equilibrio de masas y falta de masas oscilantes.
- Transporte continuo libre de pulsaciones, los sólidos pueden transportarse también.
- Apto para potencias mayores.
- Alta concentración de potencia y poco espacio. (Gunt Hamburg, 2020).

5.2.1.3 Inconvenientes de la bomba centrífuga.

- No auto aspirante (las formas especiales, como la bomba periférica también pueden ser auto aspirante).
- Peligro de cavitación en agua caliente o presiones de aspiración bajas.
- El caudal volumétrico depende de la presión de elevación.
- Con altas presiones de elevación se requieren varias etapas. (Gunt Hamburg, 2020).

5.2.2 *Que es mantenimiento*

Se define como la disciplina cuya finalidad consiste en mantener las máquinas y el equipo en un estado de operación, lo que incluye servicio, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción. Principalmente se basa en el desarrollo de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento,

proporcionando una guía de políticas o criterios para toma de decisiones en la administración y aplicación de programas de mantenimiento. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.1 Que es mantenibilidad.

Esta característica se refiere principalmente a las propiedades de diseño, análisis, predicción y demostración, que ayudan a determinar la efectividad con la que un equipo puede ser mantenido o restaurado para estar en condiciones de uso u operación. La mantenibilidad es conocida también conocida como la capacidad para restaurar efectivamente un producto. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2 Tipos de mantenimiento.

De los diferentes tipos o variaciones del mantenimiento se nombrarán y definirán las más importantes para posteriormente analizar específicamente el Mantenimiento Preventivo únicamente. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo.

Mantenimiento realizado sin un plan de actividades, ni actividades de reparación. Es resultado de la falla o deficiencias. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.2 Mantenimiento No Programado.

Mantenimiento de emergencia con actividad correctiva, para restaurar un sistema o elemento dejándolo en condiciones de operación. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.3 Mantenimiento en Condiciones.

Inspecciones de las características que cuentan con un alto riesgo de falla, además de aplicación del mantenimiento preventivo después de la alerta de riesgo pero antes de la falla total. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.4 Mantenimiento Preventivo.

Realizar actividades con la finalidad de mantener un elemento en una condición específica de operación, por medio de una inspección sistemática, detección y prevención de la falla inminente. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.5 Mantenimiento Programado.

Acciones previamente planeadas para mantener un elemento en una condición específica de operación. (EcuRed, s.f.).

5.2.2.2.6 Mantenimiento Predictivo.

Este mantenimiento nació basado en la automatización y avances tecnológicos en la actualidad, la base de este tipo de mantenimiento se encuentra en el monitoreo de una máquina, además de la experiencia empírica, se obtienen gráficas de comportamiento para poder realizar la planeación de mantenimiento. Este mantenimiento como su nombre lo dice, realiza una predicción del comportamiento en base al monitoreo del comportamiento y características de un sistema y realiza cambios o plantea actividades antes de llegar a un punto crítico. (EcuRed, s.f.).

5.2.3 Administración y herramientas del mantenimiento

Para hacer una debida administración es necesario realizar un plan de mantenimiento, el cual es un documento que puede servir de diferentes propósitos de acuerdo a la función del mantenimiento. Este trabajo requiere una gran cantidad de trabajo documental y al momento iniciar la actividad es necesario estar enterado de todas las actividades realizadas. Hay que tener en cuenta datos típicos que van contenidos en un plan de mantenimiento como son: Instalación, Ambiente, Frecuencia de mantenimiento, Entrenamiento, Herramientas y equipos, estructura documental referente

a las intervenciones de mantenimiento, componentes, repuestos y configuración de control de funcionamiento. (EcuRed, s.f.).

5.2.3.1 Que es RCM.

El mantenimiento RCM se centra en lograr la máxima confiabilidad en los equipos, pero no podrá aportar mayor confiabilidad que la brindada por los diseñadores. Cada componente se comportara de una forma diferente, cada uno tendrá su combinación de modos de falla, ya que los entornos de trabajo también son diferentes (temperatura, presión, velocidad...). De manera que la base para realizar o revisar el plan de mantenimiento debería empezar por ver cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento de cada elemento. El RCM es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional. Es decir, es un proceso mediante el cual se determina que se debe hacer para que los elementos físicos continúen desempeñando las funciones para las que han sido diseñados. Para implementar el RCM se han de identificar los equipos de la planta, y ver en cuales de estos se ha de aplicar el proceso de revisión RCM en los equipos a analizar se ha de incluir la planta al completo, desde todas las máquinas hasta los edificios. A partir de este listado se analiza qué equipos son los que suponen un riesgo para la planta, es decir cuales producirían una situación crítica en caso de avería. (Barreda Beltran, 2015).

5.2.3.1.1 Las Siete Preguntas del RCM.

Una vez seleccionados los elementos a revisar, el RCM responde a una serie de preguntas de cada equipo que son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo?
- ¿De qué forma puede fallar?

-¿Cuál es la causa de la falla?

-¿Qué sucede al fallar el equipo?

-¿Qué ocurre al fallar?

-¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?

-¿Qué sucede si no se puede prevenir el fallo?

Los encargados de responder estas preguntas serán los componentes de un “Grupo de revisión”, creados expresamente para esto. Este grupo estará integrado por representantes de las diferentes secciones donde se aplicará el RCM, como son por ejemplo personal de producción o personal de mantenimiento.

- Funciones del equipo

Cada equipo es adquirido para satisfacer una necesidad con unos estándares determinados, y en el momento que no la cumplan estará provocando la falla en el equipo. En cada equipo se establece un contexto operacional, en el que deben constar estos cuatro factores:

-Régimen de operación del equipo

-Disponibilidad de la mano de obra y repuestos

-Consecuencias de la indisponibilidad del equipos (pérdida de producción, reducción de la producción...)

-Objetivos de seguridad y medio ambiente

Debemos diferenciar el enfoque del mantenimiento según las funciones del equipo, ya que este puede ser totalmente diferente si por ejemplo en dos equipos iguales uno es el principal y otro es el de reserva.

- Función funcional

La falla funcional es la incapacidad que tiene un equipo en llevar a cabo sus funciones por las cuales ha sido adquirido. Las fallas funcionales únicamente describen la incapacidad de lograr la función deseada, pero no se extiende más allá de esto, ya que ni explica ni detalla las causas de la falla.

- Modo de Avería

Una vez identificada la falla, el siguiente paso es intentar identificar los hechos que la han podido causar. Estos hechos son los denominados modos de falla, y son los encargados de definir la razón por la cual ha fallado.

- Efectos de Falla

Los efectos de falla describen los que ocurriría si no se lleva a cabo ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar una falla.

- Consecuencias de la Falla

Una vez ya determinadas las funciones, fallas funcionales, modos de fallo y los efectos, se procede a evaluar la importancia de cada falla. Estas consecuencias serán las que marcarán la decisión de si se ha de tratar de prevenir la falla o no. Las tareas preventivas se realizan siempre y cuando se comprueba que realizándolas se pueden evitar las consecuencias de la falla.

- Prevención de la Falla

El mejor método para mejorar la disponibilidad de la planta es tener implantado algún tipo de mantenimiento rutinario. El mantenimiento a aplicar puede variar bastante según la política de la empresa o los equipos a mantener. En algunos equipos las fallas son repetitivas, en otros las consecuencias que puede causar la falla no es significativa, pero cuando las consecuencias de pueden ser significativas se ha de actuar para evitar daños mayores. Será

en estos casos cuando el mantenimiento ha de actuar para prevenir estas fallas o al menos reducir las consecuencias.

- Sin Opciones de prevenir la Falla

Aparte de comprobar si la realización de las tareas preventivas es factible o no, el RCM se ocupa también de si merece la pena o no hacerlas. Si se comprueba que no vale la pena realizar este tipo de tareas, se efectúan otro tipo tareas de mantenimiento llamadas “a falta de”, que tratan ya con el estado de falla.

5.2.3.1.2 Ventajas y logros de la Aplicación del RCM.

La aplicación del RCM en la industria aporta una serie de ventajas y logros como:

- Mejora de las comunicacionales entre el diferente personal de la empresa.
- Aprovechamiento de la habilidad y el conocimiento de cada componente del grupo.
- Realización de un mejor análisis de cada uno de los componentes del equipo.
- Detección de fallas antes de que ocurran.
- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Mejores rendimientos operativos.
- Mayor contención de los costes de mantenimiento.
- Una amplia base de datos de mantenimiento.
- Mayor motivación de las personas.
- Mejor trabajo de grupo (análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones).

5.2.3.2 Que es RCA.

La práctica de la RCA se basa en el supuesto de que los problemas se resuelven mejor al tratar de corregir o eliminar las causas raíz, en vez de simplemente tratar los síntomas evidentes de inmediato.

Sin embargo, la mayoría de estos se pueden clasificar en cinco "escuelas" que se nombran según su origen:

-RCA basado en la seguridad: del análisis de accidentes y la seguridad ocupacional y la salud.

-RCA basada en la producción: su origen es el ámbito del control de calidad de manufactura industrial.

-RCA basado en el proceso: es básicamente una continuación de la RCA basado en la producción, pero con un alcance que se ha ampliado para incluir los procesos de negocio.

-RCA basado en la falla: tiene sus raíces en la práctica de análisis de fallas como los usados en ingeniería y mantenimiento.

-RCA basado en los sistemas: ha surgido como una mezcla de las escuelas anteriores, con ideas tomadas de ámbitos como la gestión de cambios, gestión de riesgos y análisis de sistemas. (Espinoza Fuentes).

5.2.3.2.1 Técnicas o métodos para RCA.

-Análisis de Criticidad.

-Inferencia Bayesiana.

-Análisis árbol factor causal.

-Análisis de cambios.

-Árbol de la realidad actual (teoría de las restricciones).

-Análisis de los modos de falla y efectos (FMECA).

- Análisis del árbol de fallas.
- Los 5 porqués.
- Diagrama de Ishikawa.
- Análisis de Pareto.
- Diagnóstico de problemas RPR (Rapid Problema Resolution, en IT)

5.2.3.2.2 Beneficios de RCA.

-Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evita la repetición de las mismas.

Aumenta significativamente la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, ciclo de vida y seguridad en los equipos.

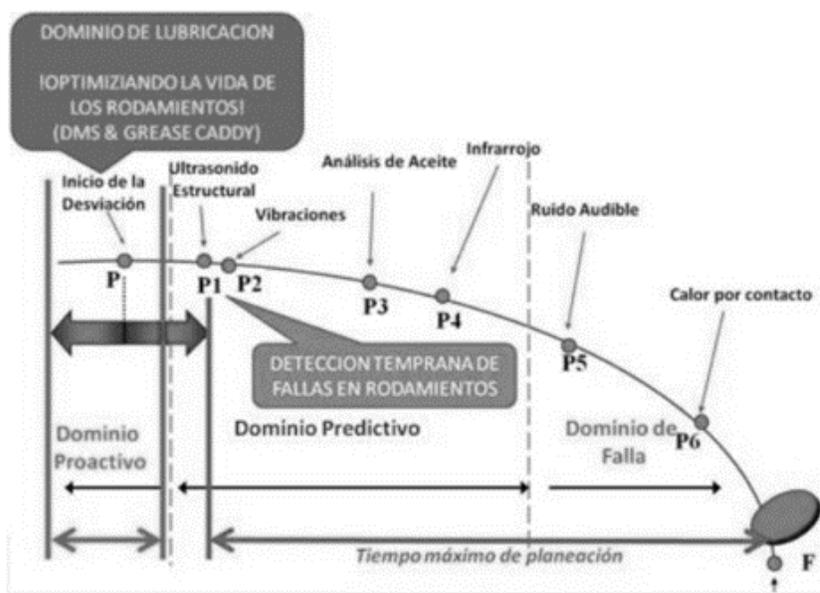
5.2.3.3 Que es CBM.

A diferencia del mantenimiento periódico o preventivo, en el que los servicios se basan en intervalos programados, el CBM se basa en el estado de la máquina para determinar cuándo y que tipo de mantenimiento se necesita.

Busca evitar paradas no programadas, extender la vida útil de las máquinas, aumentar la productividad, asegurar la disponibilidad y confiabilidad y reducir los costos de mantenimiento. En la figura 6 se muestra el análisis para detección de fallas, a través de técnicas predictivas como son análisis de termografía, aceite, ultrasonido, rayos X, partículas magnéticas, vibraciones, entre otros. (transequipos, 2019)

Figura 6

Implementación de Técnicas Predictivas para Anticiparse a Fallas



Nota. Tipos de mantenimientos predictivos que se utilizan para optimizar la vida útil de rodamientos - aplicación de un CBM.

Fuente: <https://www.slideshare.net/ernestogallo581/tcnicas-cbm-y-su-aplicación>.

5.2.3.4 Que es PMO.

Es una metodología para mejorar la eficacia de los programas de mantenimiento y estrategias planeadas ya que identifica qué programas de mantenimiento son útiles y cuáles son inadecuados, de ser así, se dedica a encontrar dónde se establecen los fallos críticos en un equipo que esté fuera del programa de mantenimiento.

La implementación del PMO como táctica de mantenimiento requiere de pasos, bases y fundamentos, los cuales serán de mucha importancia al implementarse en el ámbito industrial ya que permite determinar las acciones efectivas de mantenimiento y sus frecuencias adecuadas para cualquier activo físico en operación, además busca tareas de

mantenimiento por condición y no de reparación y considera modificaciones cuando el mantenimiento preventivo no es apropiado. (Ponce Mostacero, 2018).

5.2.3.4.1 Ventajas del PMO.

-La metodología PMO genera mucha evidencia documentada sobre las bases utilizadas para construir el plan de mantenimiento. Con esta táctica de mantenimiento se obtiene al final un registro documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos. Esta metodología nos sirve para realizar un listado de modos de falla de los activos analizados a través de la evaluación del historial de los equipos. Sin embargo, PMO no lista todos los modos de falla, se enfoca en los de mayor probabilidad de ocurrencia. Por lo tanto, esta metodología tiene un medio registro de auditoría.

-PMO al igual que RCM registra una gran cantidad de información en su base de datos así que tiene una reducción de efectos de rotación de personal.

-La implementación de PMO no requiere de la aplicación de complejos modelos matemáticos en su metodología, lo único que requiere es el análisis racional y minucioso de las tareas de mantenimiento efectuadas de un determinado activo. Esto facilita la formación del equipo de trabajo al no requerir de altas destrezas en herramientas matemáticas.

-No se requiere el cumplimiento de ninguna normativa, por lo cual no es necesaria la presencia de un facilitador lo que se traduce en un bajo costo de inversión.

-PMO, como herramienta de análisis, no consume una gran cantidad de recursos. Se requiere un equipo de trabajo conformador por un mecánico, eléctrico, instrumentista, operador, etc. Sin embargo, no es estrictamente necesario que los integrantes sean especialistas en cada una de sus áreas así que esta metodología tiene medio uso de talento humano.

-PMO es seis veces más rápido que RCM en generar rendimientos, por lo tanto, tiene un bajo tiempo requerido para generar resultados.

-PMO utiliza como base de su metodología las tareas que realizan los técnicos de planta, así como el conocimiento que tiene el personal con respecto a los activos analizados. PMO usa como sus pilares las fortalezas de las tareas realizadas y la experiencia del personal de planta, motivando al técnico de planta a su participación activa al ser él una de las bases de la metodología.

-Una de las principales ventajas de PMO es la alta compatibilidad de la técnica en plantas en operación. PMO utiliza tanto las tareas de mantenimiento ejecutadas en los activos como los históricos de los equipos, ya que está diseñado para equipos y sistemas que ya han iniciado su operación comercial.

5.2.3.4.2 Desventajas del PMO.

-La metodología PMO necesita la mayor cantidad de información disponible de fallas de los activos desde su fase de operación, para generar el listado de modos de falla, por lo tanto, tiene un medio requerimiento de información histórica.

-La normativa de gestión documental diseñada para ser compatible con RCM es compatible con PMO, pero no se cuenta con normativa que haya contemplado emplear PMO, así que es una metodología que presenta un medio cumplimiento de estándares internacionales.

5.2.3.4.3 Proceso de implementación de PMO.

El proceso de implementación de PMO, se basa en la criticidad de los activos físicos y sistemas que se encuentran en la industria. La criticidad se puede obtener revisando la jerarquización de equipos o su priorización en la programación de trabajos.

Una vez que se identifica y se mide la criticidad de los activos físicos y sistemas, el proyecto se enfoca en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Los sistemas críticos son los que impactan la organización presentando riesgos altos para la seguridad y el medio ambiente, lo que implica un impacto significativo en costos y producción de la planta y el consumo de mano de obra en exceso para ser operados y mantenidos. Luego de realizar el estudio de criticidad ya se tiene la base para determinar la prioridad en la que se analizarán los sistemas y la importancia de cada uno de los análisis.

Según Steve Turner el PMO cuenta con nueve pasos que se deben comenzar a implementar una vez ya esté definida la criticidad de activos.

- Recopilación de tareas.
- Análisis de modos de falla.
- Racionalización y revisión del análisis de modos de falla.
- Análisis funcional.
- Evaluación de competencias.
- Definición de la política de mantenimiento.
- Agrupación y revisión.
- Aprobación e implementación.
- Programa dinámico.

5.3 Marco Normativo/Legal

Para el desarrollo normal de esta propuesta se debe tener conocimiento de la normatividad más importante que se debe aplicar donde exista cualquier tipo de tecnología bien sea mecánica, electrónica, eléctrica, entre otras, para un entendimiento a nivel de

servicio, producción, seguridad y salud en el trabajo y regulación de las actividades de mantenimiento. Ver Tabla 2.

Tabla 2

Cuadro Normativo Legal

Nombre y Número de la norma	Numeral que aplica	Observaciones
API-610 Referente a servicios de bomba centrífuga en el área hidrocarburos	1 al 6	Esta norma describe los requerimientos mínimos para bombas centrífugas para uso en servicio de la refinería de petróleo. Temas relacionados con el alcance, Diseño básico, Accesorios, Inspección y pruebas, Garantía y Datos técnicos del fabricante.
ASME B73 Intercambiabilidad y Diseño de bomba centrífuga horizontal	4 al 5	Establece los requisitos para las bombas centrífugas de diseño horizontal, incluidos los requerimientos dimensionales de intercambiabilidad y determinadas características del diseño, a fin de facilitar la instalación y el mantenimiento.
ISO 2858 - 2011 Facilidad de cambio de componentes y mantenibilidad en bombas centrífugas	1 al 4	Especifican las denominaciones, puntos de servicio nominales y dimensiones principales de las bombas centrífugas de aspiración final (Bridas).
ISO 5199 - 2002 Especificaciones técnicas para bombas centrífugas.	4 al 7	Establece los componentes, materiales, inspección de ensayos y accesorios de conexión para bombas centrífugas de etapa o multietapa, horizontal o vertical que son utilizadas para la industria de proceso químico.
ISO 14224 - 2016 Industria de petróleo y gas natural	5 al 9	Hace referencia al estudio de calidad de datos, límites del equipo, taxonomía, definiciones de equipo, datos recomendados para equipos, fallas y mantenimiento.
ISO 55001 Gestión de Activos	3 Mapas lógicos	Es la norma internacional que permite certificar la gestión de activos realizada por una organización bajo patrones internacionales. Esta norma es compatible con el resto de normas de sistemas de gestión integrados, como Calidad, Medio ambiente, Seguridad, Eficiencia Energética, etc.
ISO 50000 Sistema de gestión de la energía	2 al 4	Esto facilita a las organizaciones integrar su sistema de gerenciamiento de la energía dentro de sus esfuerzos por mejorar su calidad y la gestión ambiental.

ISO 9001 - 2015 Sistemas de gestión de calidad	8.1 al 8.7	Hace referencia al cumplimiento y seguimiento del sistema de operación donde se relacionan temas referentes al ofrecimiento del servicio que se encuentren conformes a los requisitos solicitados por el cliente.
ISO 14001 - 2015 Sistemas de gestión ambiental	6.1.1 al 6.1.4	Hace referencia al cumplimiento y seguimiento del sistema de planificación para tomar planes de acción referentes a los aspectos e impactos ambientales.
OSHAS 18000 - 2017 Sistema de seguridad y salud en el trabajo	4.3.1, 4.4.7 y 4.5.3.1	Hace referencia a la identificación y control de identificación de peligros, valoración de riesgos, preparación y respuesta ante emergencias e investigación de incidentes, No conformidades, acciones correctivas y preventivas.
ISO 31000 - 2009 Valor de la gestión de riesgos en las organizaciones.	Capitulo 6	Establece una serie de principios para la implementación de un Sistema de Gestión de Riesgos en los procesos.

Nota. En esta tabla se describe la normatividad más relevante para aplicar a una bomba, según lo establece la empresa PSC Energy. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

6. Marco Metodológico

6.1 Tipo de Investigación

Para el desarrollo de información de la propuesta del plan de mantenimiento para la bomba centrífuga se tendrá en cuenta el tipo y paradigma de investigación mixto, el cual permite recoger, procesar y analizar los datos porcentuales y numéricos que identifiquen los resultados del alcance esperado del proyecto.

6.1.2 Fuentes de Obtención de la Información

6.1.2.1 Fuente de Obtención de la Información Primaria.

Las fuentes primarias de obtención de la información para el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento aplicado al equipo rotativo son: Ficha técnica, Hoja de vida, Indicadores de confiabilidad y disponibilidad, Consolidados de órdenes de trabajo y reportes de falla, Estándar de rutina del mantenimiento preventivo y autónomo, Inspecciones de Well Testing y Consolidación de encuestas diligenciadas por personal técnico.

6.1.2.2 Fuente de Obtención de la Información Secundaria.

Las fuentes secundarias de obtención de la información para el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento para el equipo rotativo son: Artículos científicos, Tesis de grado, Libros de texto y Libros electrónicos usados como referencia para dar soporte a cada uno de los elementos dentro de la investigación.

6.1.3 Instrumentos de Recolección de Información

Inicialmente la herramienta que se aplicó para recolectar la información fue mediante una encuesta aplicada al personal técnico de mantenimiento de la empresa PSC

Energy, el cual tiene como objetivo identificar de manera porcentual y conceptual la condición, estructuración documental y conocimiento técnico de la bomba Centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 cuando esté sea intervenido.

En la figura 7 se observa el modelo de encuesta aplicado a 5 técnicos electromecánicos que hacen parte del departamento de mantenimiento.

Figura 7

Encuesta de Mantenimiento para Bomba Centrífuga

ENCUESTA MANTENIMIENTO PARA BOMBA CENTRIFUGA

Nombre Completo _____
 Cargo _____ Fecha _____

El área de mantenimiento está interesada en mejorar continuamente la calidad de los servicios de conservación de los equipos de bombeo. Para esto se requiere que usted conteste la presente encuesta en forma objetiva, con el fin de conocer su accionar en el servicio que está bajo su cargo.

Indicaciones: Por favor marque con una "X" en la casilla según corresponda. Recuerde que en la parte final del presente documento están los espacios para diligenciar sus respuestas y/o sugerencias a cada pregunta.

- Usted conoce y aplica correctamente el estándar de rutina de mantenimiento preventivo y autónomo, el cual muestra paso a paso las actividades de mantenimiento que se requieren para ejecutar en bombas centrífugas.
 Sí No
- Usted considera que los Data Sheet, formatos físicos de Hoja de vida, Orden de trabajo y Reporte de falla son los adecuados para estudiar y diligenciar las intervenciones de mantenimiento que se hagan en el equipo rotativo.
 Sí No
- Usted cuenta con los equipos y herramientas adecuados para realizar el mantenimiento preventivo y autónomo a la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3.
 Sí No
- Usted considera que el estándar de rutina de mantenimiento preventivo que se le hace a la bomba centrífuga es suficiente y correcto para garantizar la disponibilidad y confiabilidad del equipo cuando este sea reusado al cliente.
 Sí No
- Usted conoce todos los componentes que conforman la bomba Centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 para realizar el mantenimiento respectivo en cada uso de ellos.
 Sí No
- Usted considera que existe criticidad y nivel de jerarquía en los componentes más importantes de la bomba Centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3.
 Sí No

7. Esta de acuerdo en que sea implantado un plan de mantenimiento que permita mejorar y complementar la información del programa de mantenimiento y facilite el trabajo de intervención cuando se realice a la bomba Centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3.
 Sí No

Explique su respuesta y/o sugerencia a cada pregunta. Recuerde que su aporte es de vital importancia, ya que permitirá mejorar y cumplir de forma significativa los objetivos del departamento de Mantenimiento de la empresa.

Pregunta 1 _____
 Pregunta 2 _____
 Pregunta 3 _____
 Pregunta 4 _____
 Pregunta 5 _____
 Pregunta 6 _____
 Pregunta 7 _____

GRACIAS POR SU APORTE

Nota. En esta encuesta se establecen preguntas relacionadas con la gestión, control y conocimiento que tienen los técnicos frente al mantenimiento, documentación y trabajo que debe hacerse a la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 HP 4x3. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

6.1.4 Metodología de la Investigación

Para el desarrollo del objetivo específico número 1 “Diagnosticar el estado actual de las bombas centrífugas MCM series 178 de 15 hp 4x3 por medio de una caracterización completa, con el propósito de definir los recursos y establecer cronogramas para la ejecución del mantenimiento”. Se debe revisar las condiciones de funcionalidad del equipo frente a la información descrita en la hoja de vida corroborando las especificaciones

técnicas de la ficha archivada en base principal de la empresa. Verificar resultados de cumplimiento de indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos de la empresa, se debe recolectar la información o historial de mantenimientos correctivos y preventivos para detallar los componentes del equipo evidenciados en órdenes de trabajo y reportes de falla, explicar el estándar de rutina de mantenimiento aplicado a la bomba centrífuga y Consolidar los resultados de inspecciones de well testing realizada por el auxiliar de operaciones, de tal manera que se analicen y sustraigan los posibles modos de falla que presenta el activo rotativo.

Para el desarrollo del objetivo específico número 2 “Establecer metodologías, normatividad y técnicas de mantenimiento aplicadas en la industria, para aplicar el plan de mantenimiento adecuado que se propondrá a la empresa PSC Energy”. Se estructurará un marco conceptual donde muestre la metodología PMO (Optimización de mantenimiento planeado), aplicación taxonómica según numerales del 5 al 9 de la norma ISO 14224.

Para el desarrollo del objetivo específico número 3 “Realizar una propuesta de mantenimiento que se adapte al equipo de bombeo MCM series 178 de 15 hp 4x3 y al programa de mantenimiento de la empresa, mediante el análisis de los datos recopilados del año 2019”. Desarrollar y analizar la información aplicando la metodología PMO en la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 y establecer parámetros preventivos de acuerdo a los resultados de datos cualitativos y cuantitativos obtenidos del estudio de análisis de criticidad y RCA.

6.1.5 Recopilación de la Información

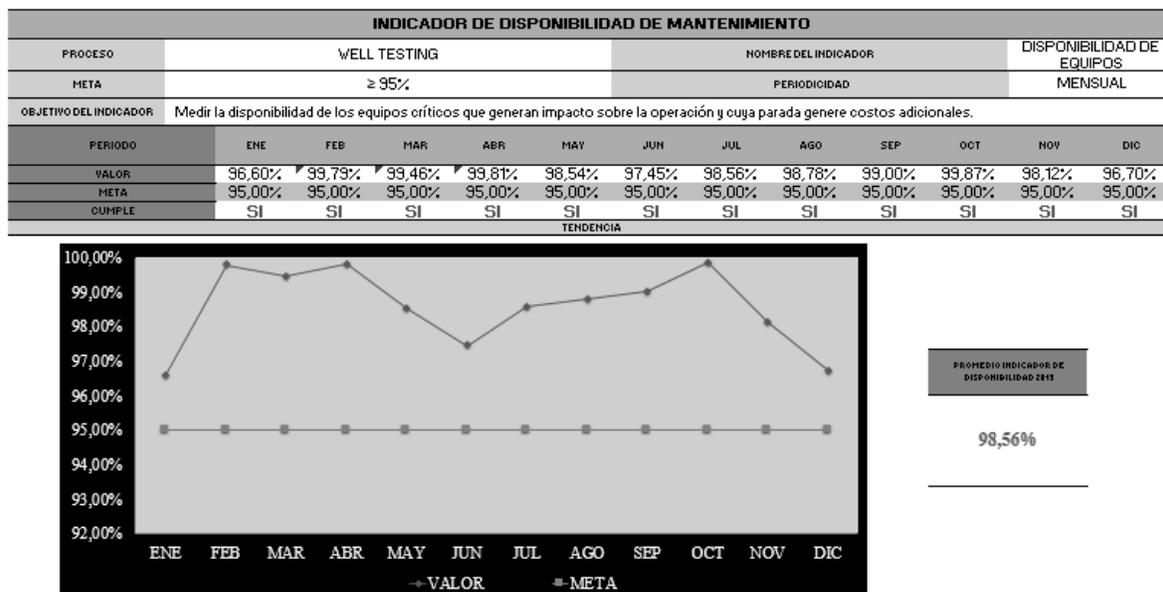
La información requerida que se necesita para desarrollar el plan de mantenimiento está contenida en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad donde se reflejan de

manera porcentual el cumplimiento del objetivo en el departamento de mantenimiento, consolidados de reportes de falla reportados en campo, Ordenes de trabajo ejecutados de mantenimiento preventivo y correctivo donde se plasman los diferentes consumibles y repuestos que fueron reemplazados en el equipo rotativo, Congruencia de ficha técnica Vs hoja de vida del activo, Revisar y explicar el estándar de rutina de mantenimiento preventivo y autónomo, el cual evidencia una serie de pasos que el técnico electromecánico debe cumplir al momento de intervenir la máquina y por ultimo extraer la información diligenciada en campo referente a la inspección o check list de well testing. Cabe aclarar que esta información es referente al año 2019.

6.1.5.1 Indicador de Disponibilidad.

Figura 8

Indicador de Disponibilidad

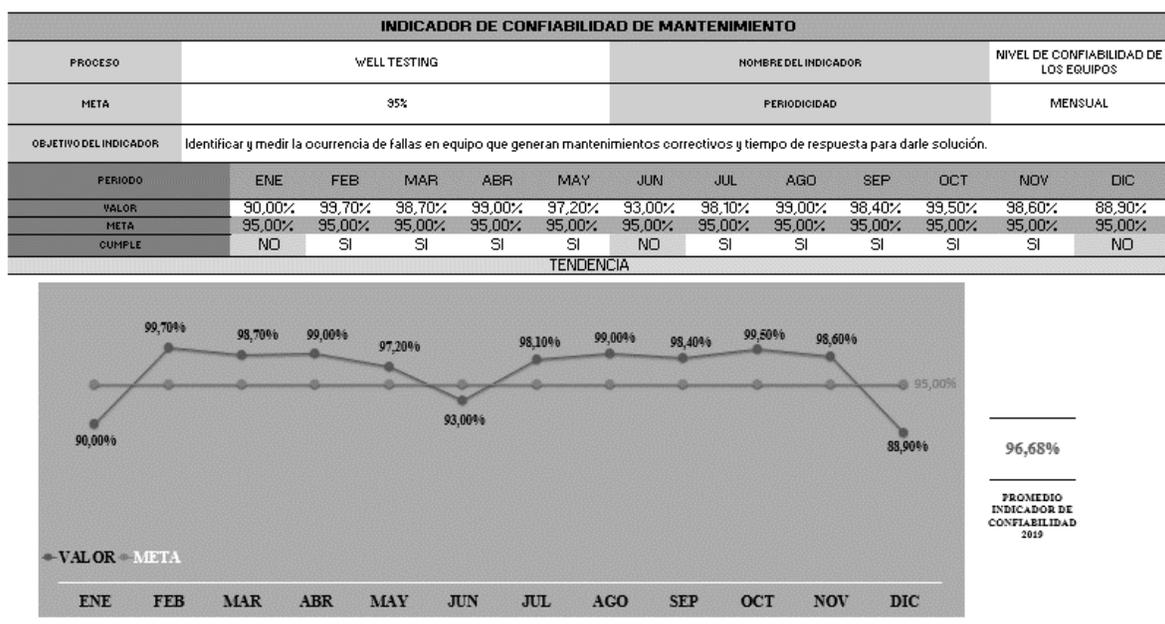


Nota. En esta figura se observa el comportamiento mensual del indicador de disponibilidad relacionado durante el año 2019. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.2 Indicador de Confiabilidad.

Figura 9

Indicador de Confiabilidad



Nota. En esta figura se observa el comportamiento mensual del indicador de confiabilidad relacionado durante el año 2019. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.3 Reportes de Falla Equipos Rotativos.

Tabla 3

Consolidado Total de Fallas 2019 Empresa Psc Energy

CONSOLIDADO DE FALLAS			
Equipos rotativos	Reportes de falla mecánico	Reportes de falla eléctrico	Porcentaje de fallas
Bombas Centrifugas	8	3	37%
Bombas de Diafragma	2	2	13%
Bombas de inyección de química	2	1	10%
Compresores de Piston	3	2	17%
Generadores Perkins	3	1	13%
Montacargas	2	1	10%
Total	20	10	100%

Nota. En esta tabla se relacionan las fallas de los equipos rotativos que se presentaron en el año 2019 con el respectivo porcentaje. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.4 Formato Orden de Trabajo.

Figura 10

Orden de Trabajo Diligenciada

ORDEN DE TRABAJO		Vigente: Oct /17
		Página 1 de 2
Fecha Estimada	<u>29/12/2019</u>	No. OT <u>EB50002-242</u>
OT Descripción Corta		
<u>CAMBIO, ALINEACION OMEGA E4 BOMBA BC-014</u>		
Datos del Equipo		
Nombre del Equipo	<u>BC-014.</u>	Ubicación <u>RCE 1</u>
Actividad y/o Procedimiento		
<p>CAMBIO OMEGA E4 de la BOMBA SE FAVORICER EN FUNCIONAMIENTO Y SE DESGASTE POR QUE EN EL TENENO QUE ESTA MONTADA ESTA CALIENDO AERIA CONSTANTEMENTE QUIZOS EL PISO CUCHO Y LOS SOPORTES DE LA SUCCION NO ESTABAN PRESTANDO APOYO AL 100%</p> <p>PRIMERO SE REALIZO ADECUACION DEL TENENO Y LOS PUNTOS DE APOYO DONDE ESTABA MONTADA LA BOMBA.</p> <p>SE INSTALAN SOPORTES MAS GROSOS, ADEMOS EN LA T° DE LA DESCARGA SE INSTALO UN SOPORTE PARA ANULAR EL ESPERZO EN ESE PUNTO DE LA BOMBA.</p> <p>SE PROCTIO A BUEN EL ACOPIE A DESMONTAR LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA DE LA BOMBA Y TAMBIEN LOS PEROS DE ANCIOTE AL SRHC</p> <p>SE ALINEA LA BOMBA CON EL MOLIN. SE INSTALO EL ACOPIE OMEGA/E4</p> <p>SE INSTALO LA GUARDA DE SEGURIDAD Y SE REALIZAN PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.</p> <p>LA BOMBA QUEDA EN PERFECTAS CONDICIONES Y OPERATIVA.</p>		

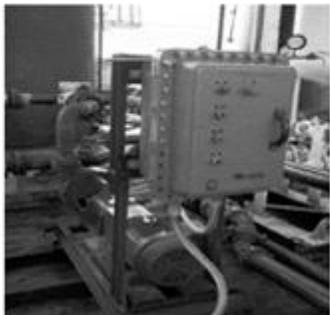
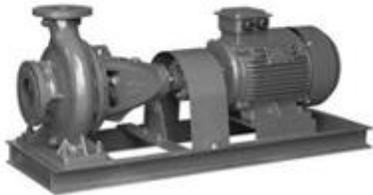
ORDEN DE TRABAJO		Vigente: Oct /17	
		Página 2 de 2	
		No. OT <u>EB50002-242</u>	
Item	Materiales y/o herramientas a utilizar	Cantidad	Fecha
1	<u>ACOPIE OMEGA E4.</u>	<u>1 UNIDAD</u>	<u>29/12/19</u>
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Fecha Inicio Actividad		Fecha Fin de Actividad	Duración de la Actividad en Minutos Continuos
<u>29/12/19</u>		<u>29/12/19</u>	<u>180 MIN.</u>
Observaciones			
<u>LA BOMBA BC-014 ESTA INSTALADA EN UN TENENO IRREGULAR ESTA MUY CERCA DEL CATCH-KINK#1 POR ENDE EL TENENO TAMBIEN ES HUMEDO. / SERIA BUENO GESTIONAR UNA PLACA DE CONCRETO.</u>			
Responsables			
Ejecutantes Nombres		Revisó y/o Aprobó Nombre	
<u>Marlon Jara</u>		<u>William A. Rojas Aldana</u>	

Nota. En esta figura se observa un reporte de orden de trabajo ejecutado a una bomba centrífuga diligenciada en su totalidad. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.5 Hoja de Vida.

Figura 11

Hoja de Vida de la Bomba Centrífuga MCM Series 178 de 15 Hp 4x3

HOJA DE VIDA BOMBA CENTRÍFUGA MCM 178		
IMAGEN DEL SISTEMA	CONTROL	
	Marca del Tablero: ALBRON Dimensiones: 70 Cm x 50 Cm x 45Cm. Nivel de Protección: IP 66 Capacidad del Braker: 60 Amps Tipo de arranque: SUAVE Modo de encendido: LOCAL Marca/Referencia del arrancador: WEG SSW 07 Marca/Referencia del contactor: WEG DWB 160B Transformador: N/A Frecuencia de Mantenimiento: BIMENSUAL/ ANUAL / POR CONDICION	
MOTOR		
Fabricante: WEG	Modelo No: 10791423	
No. De serie: 1010259754	HP: 15	
Fases: 3 Tipo de Voltaje: AC	Frecuencia: 60 HZ	
Voltaje de Alimentacion de Fabrica: 220-440-380	KW: 11	
Amperaje de Fabrica: 18 / 22,5 Amps	Voltaje de alimentación actual: 440	
RPM: 1760 Frame: 254T	Amperaje Actual: 18 Amps	
Nivel de aislamiento:	Nivel de Proteccion: IP-55	
Aislamiento: F	Temperatura Max. Ambiente: 40 °C	
Rodamiento lado acople: 6308-ZZ	Rodamiento opuesto acople: 6207-ZZ	
Tipo de Acople: POLIREX MOBIL	Frecuencia de Mantenimiento:	
Peso: 310 Lb	BIMENSUAL/ ANUAL / POR CONDICION	
EQUIPO ROTATIVO	EQUIPO COMPLETO	
Fabricante: MCM		
Modelo No.: 178 SERIES		
No. De serie: 10263		
Capacidad: N/R		
RPM: 1760		
Presión Max: 120 PSI		
Ø Succion: 4" ANSI 150		
Ø Descarga: 3" ANSI 150		
Mecanismo: CENTRIFUGA		
Tipo de Acople: REX OHMEGA N° 10.		
Tipo de Sello: SELLO MECANICO.		
		

Nota. Información técnica de la bomba centrífuga de acuerdo a la ficha técnica. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.6 Estándar de Rutina de Mantenimiento.

Tabla 4

Estándar - Rutina de Mantenimiento para Bomba Centrífuga

ESTANDAR DE RUTINA PARA INTERVENCIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA			
Frecuencia	Responsable	Descripción	Registro
Bimestral	Técnico Electromecánico	<p>A) Inspección de estado físico, pernos de fijación, presencia de fugas, Presencia de fisuras en el equipo, inspección de temperatura de operación, verificación de ausencia de vibración, Ruidos extraños, desbalanceo del equipo, estado de acoples, equipo no enciende, equipo no apaga, limpieza del equipo, Succión o descarga obstruidas, filtro en la succión sucio, eficiencia del equipo, Cambio de sello tipo cordón o sello mecánico si aplica, estado físico de cajas de pulsadores y caja de control de potencia.</p> <p>B) Lubricación de rodamientos con grasa recomendada por el fabricante o la establecida por PSC ENERGY, Limpieza de filtro en la succión.</p> <p>C) Ajuste de pernos de fijación, limpieza general del equipo, ajuste de prensa estopas, ajuste de conexiones a proceso, eliminar posibles fugas en las conexiones.</p> <p>D) Lubricación de rodamientos con grasa recomendada por el fabricante o la establecida por PSC ENERGY, Limpieza de filtro en la succión.</p> <p>E) Inspección de Juntión box del motor para evitar contaminación del embobinado.</p> <p>F) Inspección de estado físico y ajuste de borneras de variador de velocidad o arrancador suave.</p> <p>G) Ajuste de conexiones Eléctricas, limpieza con desplazador de humedad y limpia contactos eléctricos para evitar contaminación de conexionado producto de la humedad.</p> <p>H) Inspección consumo de potencia a capacidad Nominal.</p> <p>I) Inspección de conexión de puno a tierra.</p>	Orden de Trabajo
Por condición			
<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se realiza un traslado del equipo de un proyecto a otro proyecto. • Cuando se realiza un traslado del equipo de un proyecto a base 	Técnico Electromecánico	<p>J) Inspección de estado físico, pernos de fijación, presencia de fugas, Presencia de fisuras en el equipo, verificación de ausencia de vibración, Ruidos extraños, desbalanceo del equipo, estado de acoples, verificación de pulsadores Start/Stop limpieza del equipo, Succión o descarga obstruidas, filtro en la succión sucio, eficiencia del equipo, Cambio de sello tipo cordón si aplica.</p>	Remisión / Orden de Trabajo
Correctivo	Técnico Electromecánico	Cuando es requerido el cambio de piezas o reparación del equipo por fallas o defectos.	Reporte de falla / Orden de Trabajo

Nota. En esta tabla se estipula el manteneimeinto que debe hacerse a la bomba centrifuga con frecuencia bimestral, por condición y de manera correctiva. Adicionalmente indica el responsable de la actividad con la descripción y también el formato que debe diligenciar dicha actividad. Fuente: Autores del proyecto (2020)

6.1.5.6 Formato de Inspección de Well Testing para Bombas.

Figura 12

Formato de Inspección de Well Testing

INSPECCION DE EQUIPOS DE WELL TESTING				
Fecha: _____		Entrega: _____		
Campo- Proyecto: _____		Recibe: _____		
Equipo	Características	Si	No	Observaciones
Bomba Centrífuga	Obstrucción de succión y descarga por guantes, trapos o elementos extraños.			
	Presencia de fugas de fluido.			
	Presencia de vibración o de ruidos extraños en el motor, reductor o bomba.			
	Presencia de fisuras o de golpes.			
	Tornillos, espárragos o partes sueltas.			
	Equipo con todos sus componentes completos.			
	Elementos corroídos, fracturados, oxidados.			
	Pulsadores, selectores, paros de emergencia, indicadores de Start/Stop funcionando correctamente. (Eléctrica)			
	Nivel de aceite o valvulina lubricante por encima del 50% del indicador de nivel.			
	Válvulas en succión y descarga, cheque y filtro tipo Y en óptimas condiciones.			
El equipo se encuentra limpio externamente.				
Cables de alimentación eléctrica sin alambres expuestos y libres de inundación de agua.				

Nota. Formato de inspección diaria que se realiza al equipo rotativo, evaluando los criterios y modos de falla según condición. Fuente: Autores del proyecto (2020)

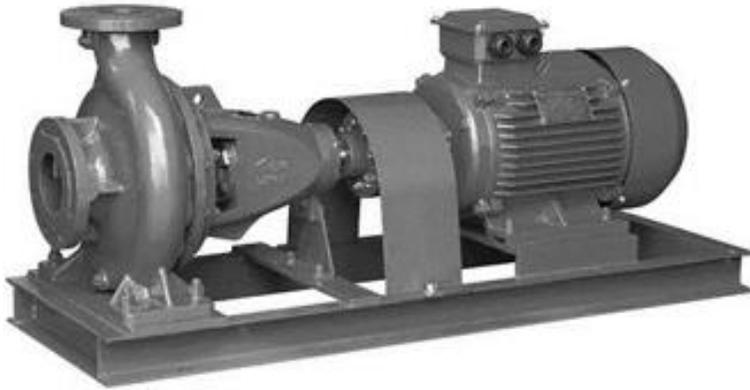
6.2 Análisis de la Información

A continuación se procede a estudiar y analizar la información contenida en la estructura documental referente al equipo rotativo perteneciente a la empresa PSC Energy.

-Hoja de vida: Para corroborar la ficha técnica y hoja de vida de la bomba centrífuga, inicialmente debe estar identificado e incluido en el inventario de activos fijos de la empresa (Ver figura 13).

Figura 13

Identificación de la Bomba Centrífuga MCM Series 178 de 15 Hp 4x3



Numero de Articulo SAP	Descripción del Articulo
101201014	BCM Bomba MCM 178 15HP 4X3

Nota. Código de identificación SAP del equipo rotativo. Fuente: Autores del proyecto (2020)

En la figura 11 se especifica la hoja de vida del activo rotativo, donde se observa la información técnica del motor, parte rotativa y sistema de control. De acuerdo a la revisión de la hoja de vida se concluye que concuerda con la ficha técnica, permitiendo asegurar que los parámetros de funcionamiento son seguros para la operación en campo.

-Indicadores de gestión de mantenimiento: Los indicadores que se diligencian y controlan el comportamiento y desempeño en el área de mantenimiento son disponibilidad y confiabilidad:

-Disponibilidad: Porcentaje de tiempo durante el cual un equipo se encuentra apto para su uso y operatividad, pero tomando en cuenta solo la sumatoria del tiempo por paradas imprevistas, fallas e incidencias de los activos de toda la empresa.

-Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado.

De acuerdo a la revisión de los indicadores de disponibilidad desarrollados en el año 2019 (Ver figura 8), se evidencia que se cumple con la meta en todos los meses del año. Sin embargo en los meses de enero, junio y diciembre resultaron los porcentajes más bajos, los cuales oscilan entre 96 y 97 %, resultados referentes a los tiempos de disponibilidad del equipo rotativo, donde se acumula los tiempos de intervención diligenciadas en las ordenes de trabajo a causa de las fallas imprevistas en cada facilidad.

Observando la figura 9 de indicadores de confiabilidad, se evidencia que en los meses de enero, junio y diciembre no se cumple con la meta del indicador. Los motivos de incumplimiento se deben a las fallas presentadas en los equipos rotativos de operación montados en campo y aumento de tiempo al enviar los repuestos que fueron solicitados por el técnico de mantenimiento en campo.

Es de resaltar que los indicadores del año 2019 se lograron con satisfacción, sin embargo es de suma importancia aplicar un plan de mantenimiento como acción correctiva para los meses que no fueron cumplidos y adicionalmente tener este método para previsiones seguras y confiables en futuras pruebas de pozo de superficie.

-Reportes de falla: Se relacionan los reportes de falla eléctrico y mecánico de la bomba centrífuga que fueron presentados en los frentes de trabajo durante el año 2019. Se debe tener en cuenta que el consolidado de fallas plasmado en la tabla 5, sirve para desarrollar el análisis de criticidad de cada componente del activo rotativo, categorizándolo de mayor y menor riesgo.

Tabla 5**Reportes de Falla de Bomba Centrífuga MCM Series 178 15 Hp 4x3**

CONSOLIDADO REPORTES DE FALLA 2019									
FRENTE DE TRABAJO:		CONFIDENCIAL		CLIENTES:		CONFIDENCIAL			
Nº REPORTE DE FALLA	EQUIPO / TAG	DESCRIPCION FALLA	TIPO DE FALLA	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO O ACCION CORRECTIVA	FECHA DE FALLA	FECHA DE MANTENIMIENTO	EJECUTOR REPORTE	ESTADO	TIPO
E50004-001	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se presenta fuga considerable de fluido por la prensa estopa de la bomba.	Mecánica	Se desama la parte rotativa de la bomba, se retiran cordones gastados, se instala pisador nuevo y cordón plumajinado.	02/01/2019	09/01/2019	Gerardo Mendez Ochoa	CERRADA	B
E50004-002	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se rompe acople omega por atascamiento en el interior de la voluta	Mecánica	Se extrae partículas del interior de la bomba y se reemplaza acople omega con el de la bomba de back-up.	05/01/2019	16/01/2020	Luis Miguel Suarez	CERRADA	A
E50004-003	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Presenta goteo en la línea de succión de la bomba y falta anclar la misma	Mecánica	Se procede a desmontar y a montar nuevamente accesorios y demás consumibles para ajustar dicha fuga, se instala manómetro y se ancla al piso. Equipo funcionando sin novedad.	09/01/2019	09/01/2019	Carlos Julio Sanabria	CERRADA	C
E50004-004	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Vibración en la línea de succión y descarga afecta el acople rev, rompiendo los tornillos que lo aseguran	Mecánica	Se nivela la superficie y se ancla el patín al suelo para evitar vibración, de igual manera se reemplaza el acople, ya que el anterior mostraba pequeñas grietas.	22/06/2019	23/06/2019	Alejandro Peña	CERRADA	A
E50004-005	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se observa que el motor se apaga a los 10 s de haber iniciado el arranque, determinando que se trata de que el motor se encuentra aterizado	Eléctrica	Se procede a desmontar la bomba centrífuga y enviar el motor para reparación con personal externo. La operación continua reemplazandola por la bomba centrífuga de back up de recirculación de agua.	10/07/2019	11/07/2019	Marlon Perez	CERRADA	C
E50004-006	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se observa que el impeller esta bastante desgastado y poroso en los alabes.	Mecánica	Se desacopla bomba del caracol para cambiar el impeller nuevo, se ajusta con el coupling, bomba queda operativa.	14/08/2019	16/08/2019	Alejandro Peña	CERRADA	C
E50004-007	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se detecto daño en los rodamientos de la caja de lubricación de acople en la bomba. Presenta viruta producto de roce entre metales. Adicional presenta posible daño de sus retenedores.	Mecánica	Se procede a cambiar los rodamientos de la caja de lubricación, se hace limpieza y adicionalmente se lubrica con aceite 15wL	01/11/2019	08/11/2019	Gerardo Mendez Ochoa	CERRADA	C
E50004-008	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Daño en arrancador suave referencia ABB PS 142-600-700, No enciende	Eléctrica	Se procede a solicitar arrancador suave en base Guafilla Yopal Casanare, es instalado sin novedad.	15/11/2019	17/11/2019	Marlon Perez	CERRADA	C
E50004-009	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Daño en Push Button del tablero de control de la bomba, este no acciona porque este NC.	Eléctrica	Se procede a desmontar el accionamiento averiado y se cambia por un Momentary HPES Series IP65.	02/12/2019	02/12/2019	Alejandro Peña	CERRADA	C
E50004-010	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se observa que el acople omega se encuentra fracturado, por desalineación en ejes de motor y parte rotativa de la bomba.	Mecánica	Se procede a verificar que los soportes estén anclados, se alinean los ejes con nivel manual para colocar nuevo elastomero.	28/12/2019	29/12/2019	Marlon Perez	CERRADA	A
E50004-011	BOMBA MCM-178 DE 15HP 4X3 - BCM	Se presenta fuga en el sello mecánico por exceso de corrosión en la empaquetadura y deformación mínima en el resorte interno	Mecánica	Se procede a cambiar el packing de assembly/Mechanical Seal (Sello mecánico) completo, se ajusta prensa estopeto sin novedad.	30/12/2019	31/12/2019	Carlos Julio Sanabria	CERRADA	B

Nota. En esta tabla se saca el consolidado de reportes de falla presentados en la bomba centrífuga durante el año 2019.

Fuente: Autores de proyecto (2020)

El consolidado de reportes de falla muestra que ocurrieron 11 fallas en el equipo rotativo durante la operación en campo, de los cuales 8 son de tipo mecánico y 3 de tipo eléctrico. Revisando los reportes de falla físicamente, se observa que 6 reportes superan más de 24 horas de intervención a las bombas mediante el mantenimiento correctivo. Este tiempo se debe a la gestión de desplazar los repuestos de un frente a otro y en algunas ocasiones a la compra de los mismos, también en dar la indicación al personal técnico disponible que se dirija al frente solicitado y por supuesto la carencia de información que permita complementar los planes de trabajo indicados por el cronograma de mantenimiento.

-Orden de trabajo: La empresa PSC Energy lleva un formato de orden de trabajo (Ver figura 10) donde se registran las actividades a realizar, contiene espacios para relacionar consumibles y repuestos que son utilizados para realizar el trabajo, también tiene campos de sugerencias, fecha y tiempo de duración. Tiempos que son fundamentales para llevar el control de horas que demora un técnico en hacer la actividad. Este formato de orden de trabajo se diligencia a mano y se archiva para el control en una base de datos de cada frente de trabajo.

En cuanto a la información escrita en las ordenes de trabajo para la bomba centrífuga, se extraen los tiempos de duración para alimentar el indicador de disponibilidad, visualizar los consumibles y repuestos para llevar trazabilidad en el control de inventario, corroborar que el estándar de rutina de mantenimiento preventivo y autónomo se cumpla totalmente, adicionalmente se tienen en cuenta las sugerencias para socializar y analizar a todo el equipo de mantenimiento.

-Inspección de well testing: Es un documento de verificación (Ver figura 12) que permite mejorar la comunicación entre equipos y el recurso humano garantizando la seguridad del operador y de las distintas partes implicadas dentro de la operación en campo,

también permite obtener un registro escrito en caso de problema, optimizar las prácticas de mantenimiento mediante un seguimiento continuo. Esta labor es emitida en campo para verificar anomalías que permitan ser solucionadas rápidamente y evitar fallas críticas que alteren la funcionalidad del sistema.

Extrayendo el historial de inspecciones de la bomba centrífuga, permite clarificar y analizar los modos de falla que originan las averías en los componentes del equipo. Sin embargo es importante aplicar un diagrama de Pareto para analizar e identificar las prioridades que se deben tomar frente a los problemas que se presentan en los componentes del equipo.

-Estándar de rutina: Es un procedimiento detallado donde se observa la descripción de pasos que deben cumplir los electromecánicos para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo a una bomba centrífuga. El estándar consta de una frecuencia de tiempo bimestral para hacer el mantenimiento cuando se encuentre en campo, adicionalmente contiene un procedimiento de mantenimiento cuando el equipo es trasladado de un proyecto a otro y cuando esté es devuelto a base principal. También hace referencia al mantenimiento correctivo cuando es requerido el cambio de piezas o reparación del equipo rotativo en su totalidad. Se debe registrar toda la información de la actividad en el formato orden de trabajo indicando el nombre del responsable.

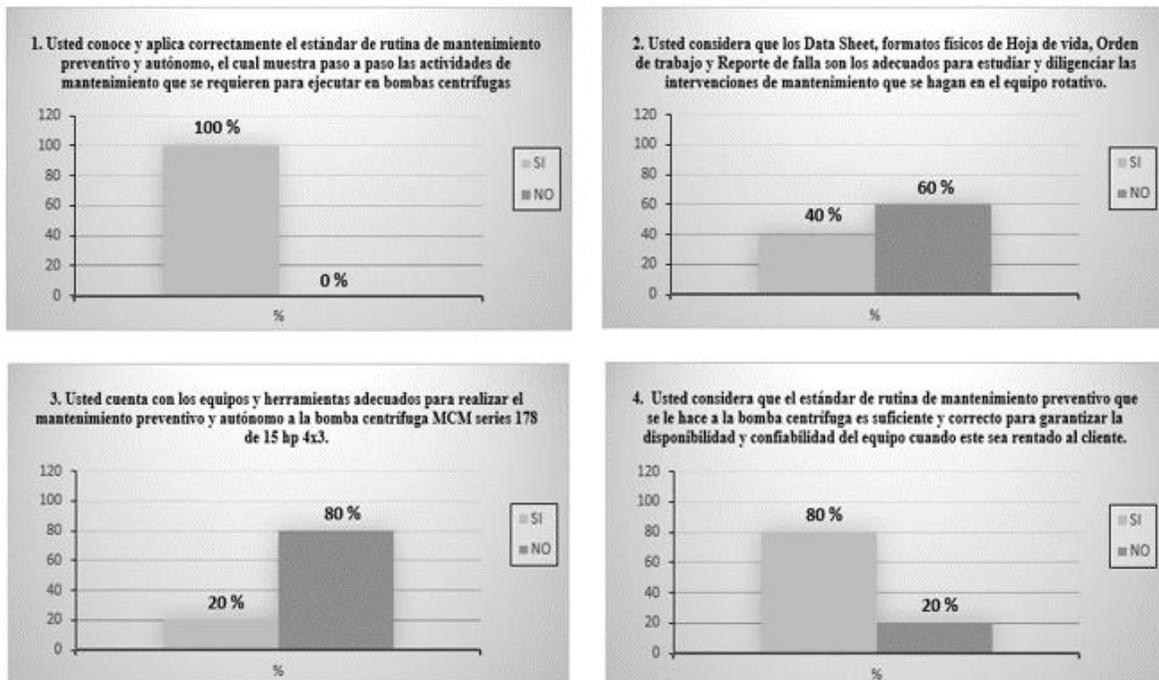
En la tabla 5 se observa el procedimiento de rutina para el mantenimiento preventivo y correctivo para la bomba centrífuga.

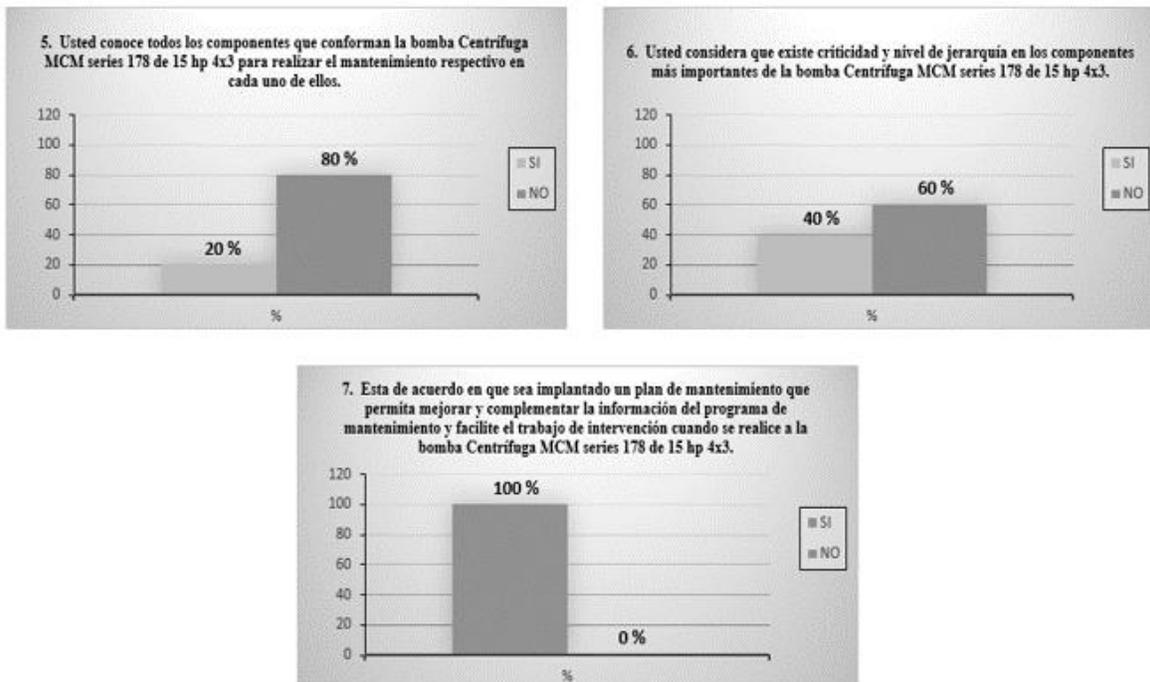
6.2.1 Resultados de Encuesta Mantenimiento Bomba Centrífuga

En la figura 14 se muestra los resultados porcentuales que fueron obtenidos por cada pregunta de la encuesta diligenciada por el personal técnico de mantenimiento de la empresa PSC Energy.

Figura 14

Resultado porcentual de encuesta de mantenimiento para bomba centrífuga





Nota. En esta figura se cuantifica el porcentaje de cada pregunta, las cuales fueron respondidas por los 5 técnicos electromecánicos pertenecientes a la empresa PSC Energy. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

El anterior resultado porcentual y consolidado de sugerencias mencionadas por cada técnico, determinan que existen novedades en las preguntas 2, 3, 5 y 6. Cada respuesta evidencia poca retroalimentación en la capacitación al personal, Insuficiencia de equipos y herramientas que permitan garantizar la alineación adecuada en ejes de la parte rotativa y motor de la bomba, carencia de información técnica en el desglose y/o taxonomía y criticidad de los componentes del activo. Las preguntas 1 y 2 establecen que los colaboradores conocen y ejecutan el estándar de mantenimiento preventivo y autónomo, sin embargo el personal sugiere complementarlo y reforzarlo una vez sean resueltas las novedades de las preguntas 2, 3, 5 y 6. El porcentaje de la respuesta a la pregunta 7 confirma que debe aplicarse una herramienta como mejora de mantenimiento que permita identificar el análisis de causa raíz de las fallas presentadas en la bomba centrífuga.

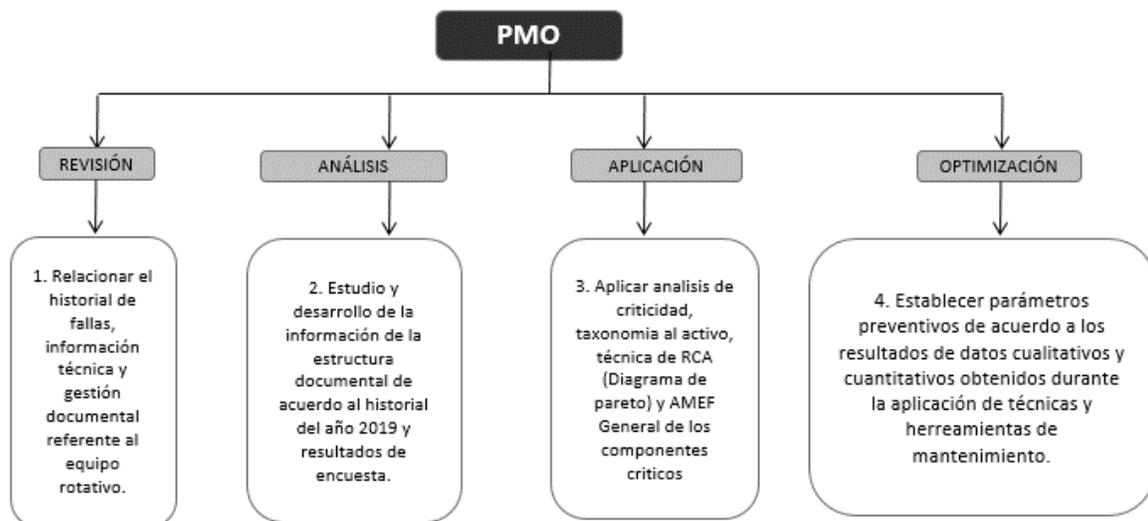
No es suficiente contar solamente con la estructura documental de la empresa, es fundamental y de vital importancia conocer los conceptos del personal técnico de mantenimiento, ya que son ellos los más importantes del proceso al estar vinculados con el equipo.

6.2.7 Desarrollo del PMO

Para complementar y mejorar los procesos del área de mantenimiento, se debe conservar los límites de diseño del equipo rotativo, disminuir y evitar al máximo fallas imprevistas, prolongar el ciclo de vida útil, complementar la información para llevar una mejor gestión y control al equipo y por supuesto aumentar la confiabilidad y disponibilidad del activo. A continuación se muestra un marco conceptual donde se explica brevemente el desarrollo de la metodología aplicada a la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 Hp 4x3 (Ver Figura 15).

Figura 15

Mapa Conceptual PMO



Nota. Procedimiento de PMO para desarrollo y análisis de información. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

Relacionando todo el historial y haciendo el adecuado estudio del análisis de información procedente de la empresa PSC Energy se procede aplicar el análisis de jerarquización y criticidad del activo.

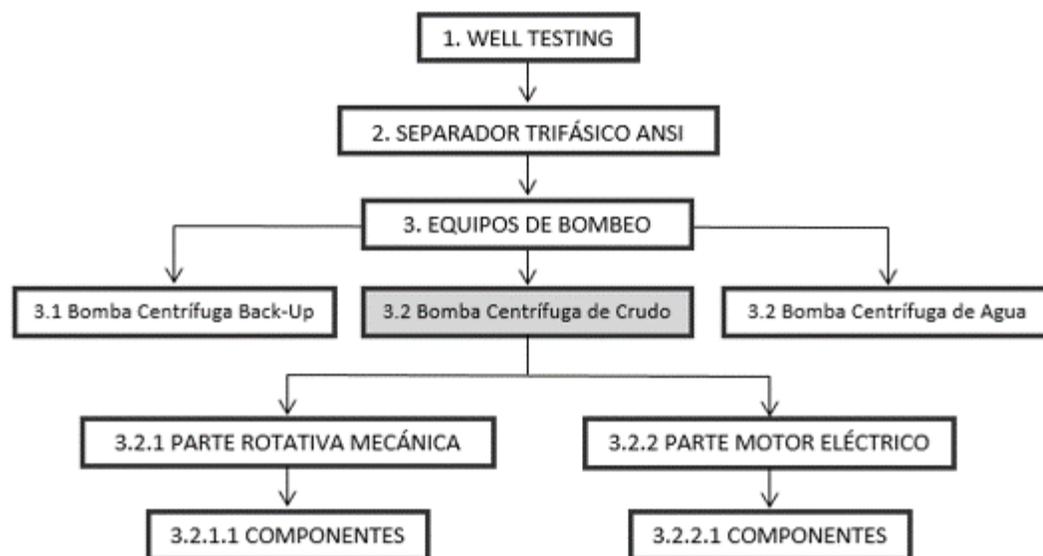
-Proceso: Succionar la separación de agua y crudo que realice el separador trifásico donde separa el fluido extraído de la bomba sumergible y a la vez es regulado por un Choke Manifold.

-Propósito: Las bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 es utilizada para transportar agua, crudo pesado y liviano usando como energía elemental la fuerza centrífuga en pruebas de pozo cortas y extensas en campo.

En la figura 16 se muestra el proceso de la operación del activo.

Figura 16

Proceso de Operación de la Bomba



Nota. Proceso del sistema operacional de la bomba centrífuga en well testing. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

El anexo 1 muestra el esquema taxonómico y la identificación con códigos en cada sistema, subsistema, equipo, componente, sub-componente y parte mantenible de la bomba

centrífuga. Adicionalmente se procede a sacar la matriz o análisis de criticidad de los componentes con el historial de fallas presentados durante el año 2019, catalogando el acople rex omega como el componente más crítico del equipo, también se obtuvieron resultados de 3 componentes con un nivel crítico medio que también deben darle una gran importancia en la mantenibilidad, los componentes son: Impeller, Sello mecánico y Estator de motor (Ver Anexo 2).

Para el desarrollo del diagrama de Pareto que ayudan a detectar las causas y efectos de falla en la bomba centrífuga, fue necesario contar con toda la información y consolidados de las inspecciones o listas de chequeo de well testing, esta información permite establecer los modos de falla que presenta un componente. En la tabla 6 se relacionan los modos de falla y en la figura 17 el resultado del diagrama de Pareto.

Tabla 6

Modos de Falla evidenciados en Bomba Centrífuga

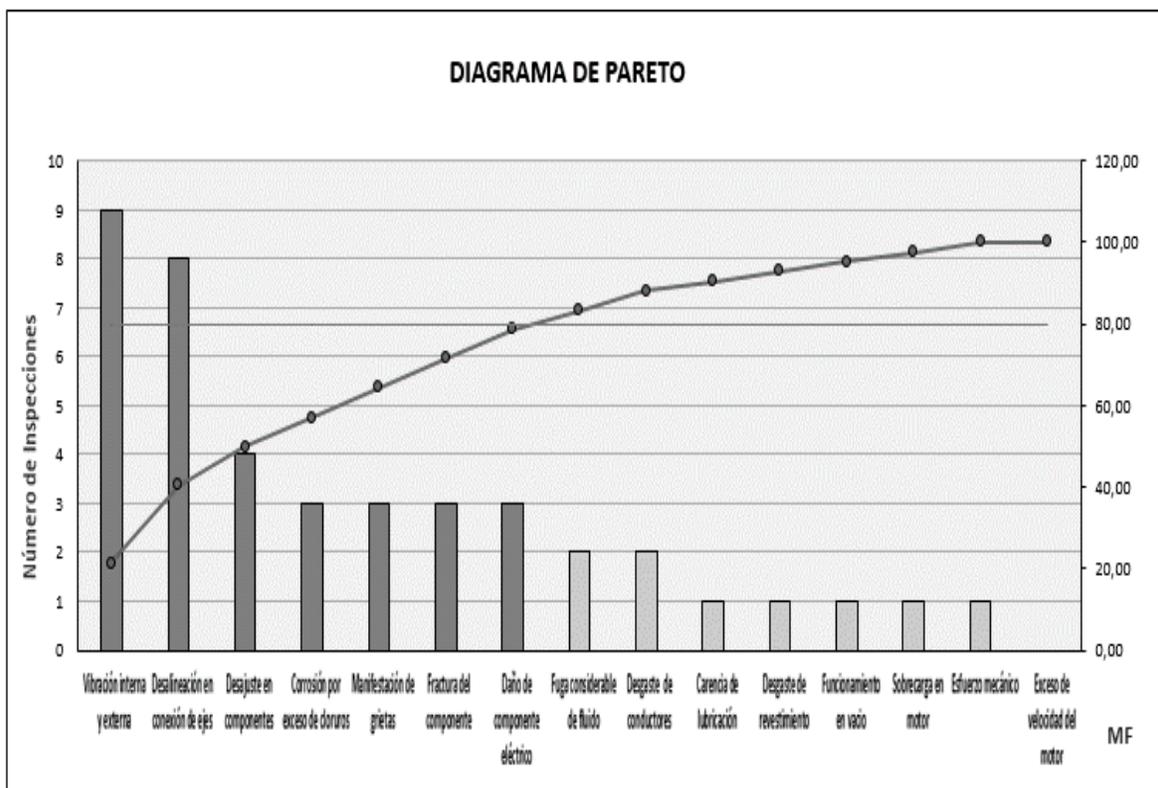
MODOS DE FALLA EN BOMBA CENTRÍFUGA MCM SERIES 178 15 HP 4x3						
Item	Modos de Falla	Número de Inspecciones	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	80-20
01	Vibración interna y externa	9	9	21,43	21,43	80
02	Desalineación en conexión de ejes	8	17	19,05	40,48	80
03	Desajuste en componentes	4	21	9,52	50,00	80
04	Corrosión por exceso de cloruros	3	24	7,14	57,14	80
05	Manifestación de grietas	3	27	7,14	64,29	80
06	Fractura del componente	3	30	7,14	71,43	80
07	Daño de componente eléctrico	3	33	7,14	78,57	80
08	Fuga considerable de fluido	2	35	4,76	83,33	80
09	Desgaste de conductores	2	37	4,76	88,10	80
10	Carencia de lubricación	1	38	2,38	90,48	80
11	Desgaste de revestimiento	1	39	2,38	92,86	80
12	Funcionamiento en vacío	1	40	2,38	95,24	80
13	Sobrecarga en motor	1	41	2,38	97,62	80
14	Esfuerzo mecánico	1	42	2,38	100,00	80
15	Exceso de velocidad del motor	0	42	0,00	100,00	80
Total Inspecciones		42				

Nota. En la tabla se observan el número de inspecciones de cada modo de falla junto con la frecuencia indicada. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

El resultado de 21,43% y 19,05% del análisis de pareto, determina que las causas principales de las fallas presentadas en la bomba centrífuga se debe a la vibración interna y externa de los componentes y a la desalineación en ejes de conexión. Los 5 modos de falla restantes (Desajuste en componentes, Corrosión por exceso de cloruros, Manifestación de grietas, Fractura del componente y Fuga considerable de fluido) son catalogados como peligrosos, ya que están dentro de la intersección de la línea de frecuencia acumulada y el 80 – 20.

Figura 17

Diagrama de Pareto



Nota. Diagrama de pareto 80 - 20 para bomba centrífuga MCM series 178 15 Hp 4x3. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

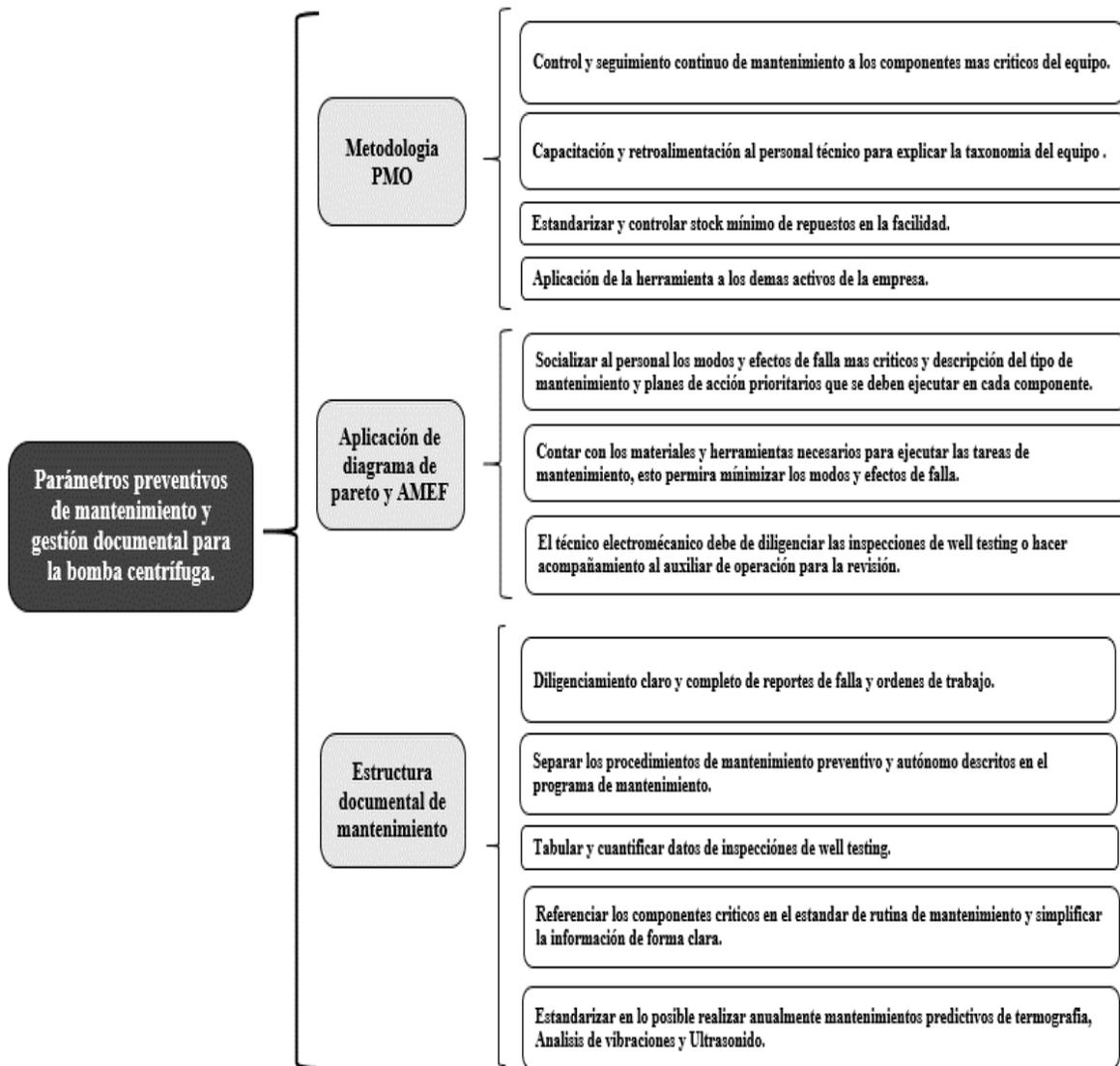
Una vez identificado los modos y efectos de falla más críticos que represento el diagrama de Pareto, se relaciona el anexo 3 donde se plasma el resumen de análisis, taxonomía, modos y efectos, riesgo y el tiempo de mantenimiento que se debe aplicar a la bomba centrífuga MCM Series 178 15 Hp 4x3. Ya que lo que se logra es identificar en un solo pliego los problemas potenciales y sus posibles efectos en el sistema de operación del equipo, con el fin de priorizarlos y concentrar todos los recursos en planes de prevención, seguimiento y respuesta.

Implementando el AMEF del activo rotativo se logra reducir los costos de garantías, incrementar la confiabilidad del activo en cada operación en campo, documenta y complementa la información y conocimiento de gestión de mantenimiento, incrementa la satisfacción del cliente y ante todo identificar fallas o defectos antes de que ocurran durante el sistema de bombeo en el pozo de superficie.

6.3 Propuesta de Solución

De acuerdo al análisis desarrollado en la metodología PMO, se propone las siguientes sugerencias que sin duda permitirá mejorar la gestión y control de los planes de trabajo de mantenimiento en la organización (Ver Figura 18).

El cuadro sinóptico está compuesto por metodología de PMO, Aplicación de diagrama de Pareto y la estructura documental de mantenimiento. En cada uno de ellos se establecen las propuestas más relevantes para aplicar la optimización de mantenimiento planeado.

Figura 18*Parámetros Preventivos sugeridos para el Activo Rotativo*

Nota. En el mapa conceptual se observan los parámetros preventivos adecuados que deben aplicar para el equipo rotativo, teniendo en cuenta la metodología aplicada, análisis de diagrama 80-20, AMEF y toda la gestión documental de mantenimiento de la empresa PSC Energy. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

7. Impactos Esperados

-Contención de costos asociados al mantenimiento correctivo, esto lleva a la disminución de esfuerzos asociados a enviar personal de mantenimiento a campo y por supuesto controlar y dar un buen manejo al control de repuestos y consumibles que se necesitan para la bomba centrífuga.

- Aumento de disponibilidad y confiabilidad del activo.

-Identificación de los componentes más críticas de la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 hp 4x3 a través del análisis de criticidad desarrollado.

-Aplicar esta metodología de optimización para planes de mantenimiento a los demás equipos rotativos y estáticos de la empresa PSC Energy.

-Aumento de conocimiento técnico por parte del personal de la empresa, mejorando tiempos de respuesta en la solución de problemas y mantenimientos programados.

- Aumento de la vida útil, seguridad y operación del activo con la aplicación del PMO.

-Identificación de modos de falla para ser controlados en el mínimo tiempo requerido.

8. Análisis Financiero

El objetivo del análisis financiero en la bomba centrífuga es determinar el costo de la indisponibilidad del activo, hallar el beneficio del costo de ciclo de vida y la rentabilidad o ROI (Retorno de la Inversión).

8.1 Ciclo de Vida

Inicialmente para hallar el ciclo de vida del activo se debe tener los costos relacionados con el VNP (Valor presente neto) que se obtiene verificando por factura la inversión del activo, la suma de los ingresos y egresos evidenciados del año 2019, de acuerdo al tiempo estimado de vida útil del activo. Para la compra del activo se invirtieron \$ 49.296.970,00 COP.

8.1.1 Ingresos

El ingreso visto en la tabla 7 determina el costo estimado de renta del activo que debe pagar el proveedor diariamente durante todo el año 2019. Se estima que para la bomba centrífuga su ciclo de vida es de 15 años según ficha técnica suministrada por el proveedor SIS.

Para determinar mensualmente el costo de renta del activo rotativo se multiplica los \$ 380.000,00 COP por 30,4 días que es el promedio que tiene un mes del año 2019, dando como resultado un valor de \$ 11.552.000,00 COP mensual.

Tabla 7*Tarifa de Renta*

NIVEL DE ACTIVIDAD			
Renta de Bomba con Arrancador Suave			
Equipo	Tiempo mínimo de alquiler en meses	Cantidad / Requerimiento	Renta Unitario \$Col/día
Especificación de la bomba centrífuga MCM series 178 de 15 HP 4x3 1760 rpm a 120 psi	1	1	\$ 380.000,00

Nota. Esta tabla muestra la tarifa de renta para alquiler del activo rotativo al cliente final. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

8.1.2 Egresos

Los egresos relacionados en la tabla 8 son los que se estandarizaron durante el año 2019, ya que el equipo estuvo en servicio de operación los 365 días del año. Los egresos fueron clasificados por costos de personal, mantenimiento y otros. Cada costo es suministrado de acuerdo al número de meses del año, por cada mes y por supuesto el costo total del año de cada rubro.

Tabla 8*Costos Asociados de Opex y Capex de la Bomba Centrífuga*

DETALLE DEL OPEX DE LA BOMBA CENTRIFUGA MCM series 178 de 15 HP 4x3 AÑO 2019						
Item	Egresos	Descripción Egresos	Total costo (\$COL)	Numero de meses / Año	Costo (\$COL/Año) / 12 meses	Costo (\$COL/Año)
1	Salario	Nomina de personal mantenimiento (1 Tecnico)	\$ 2.200.000,00	12	\$ 2.200.000,00	\$ 26.400.000,00
2		Combustible para vehiculo (Envio de respuestos y consumibles a campo)	\$ 850.000,00	4	\$ 283.333,33	\$ 3.400.000,00
3		Consumo de agua para hacer prueba hidrodinamica en banco de prueba	\$ 38.000,00	12	\$ 38.000,00	\$ 456.000,00
4		Consumo de aceite para hacer prueba hidrodinamica en banco de prueba	\$ 45.000,00	12	\$ 45.000,00	\$ 540.000,00
5	Mantenimiento	Consumo de energia electrica (Pruebas de funcionamiento mensual)	\$ 120.000,00	12	\$ 120.000,00	\$ 1.440.000,00
6		Cosumibles para mantenimiento autónomo	\$ 1.500.000,00	6	\$ 750.000,00	\$ 9.000.000,00
7		Kits y herramientas manuales	\$ 2.600.000,00	2	\$ 433.333,33	\$ 5.200.000,00
8		Mantenimiento predictivo con personal externo	\$ 4.000.000,00	4	\$ 1.333.333,33	\$ 16.000.000,00
9		Repuestos para mantenimiento preventivo	\$ 3.200.000,00	6	\$ 1.600.000,00	\$ 19.200.000,00
10		Conductor de vehiculo	\$ 1.600.000,00	4	\$ 533.333,33	\$ 6.400.000,00
11		Capacitaciones con personal externo (hidraulica, Electricidad, Mecanica, Instrumentación)	\$ 1.100.000,00	3	\$ 275.000,00	\$ 3.300.000,00
12		EPP's personal tecnico	\$ 400.000,00	3	\$ 100.000,00	\$ 1.200.000,00
13	Otros	Servicio de montacarga externo (Movilización, cargue y descargue del activo)	\$ 600.000,00	4	\$ 200.000,00	\$ 2.400.000,00
14		Servicio de hospedaje y alimentación (Conductor)	\$ 1.500.000,00	4	\$ 500.000,00	\$ 6.000.000,00
15		Transporte logistico externo para cargue y envio del activo	\$ 2.800.000,00	4	\$ 933.333,33	\$ 11.200.000,00
16		Otros servicios de operación y administración	\$ 750.000,00	12	\$ 750.000,00	\$ 9.000.000,00
					TOTAL	\$ 121.136.000,00

Nota. Esta tabla contiene todo el opex que se requirio para mantener la bomba centrífuga durante el año 2019. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

Para el cálculo de ingresos y egresos del activo cada año, es importante tener una tasa promedio efectiva anual de inflación del 4%. Adicionalmente se debe contar con la tasa efectiva mensual, la cual es hallada con la siguiente formula.

$$TEM = (1+i)^{1/n} - 1$$

$$\text{Tasa Efectiva Mensual} = (1+0,04)^{1/12} - 1$$

$$\text{Tasa Efectiva Mensual} = 0,00327374$$

Una vez obtenidas las tasas efectivas anual y mensual, se procede hallar el gasto mensual de los costos relacionados con mantenimiento. Según lo indica la tabla 6, la suma del costo anual de opex de mantenimiento fue de \$ 55.236.000,00 COP, dato importante que debe calcularse con la función PAGO, donde se toman en cuenta los datos de tasa efectiva mensual, numero de periodos que en este caso son 12 meses y el valor futuro que

sería el costo anual de opex de mantenimiento, en la figura 19 se observa la solución del caso.

Figura 19

Función Pago en Software Excel

F24		=PAGO(D\$16;12;;-D\$18)						
A	B	C	D	E	F	G	H	I
15								
16	Tasa Efectiva Mensual		0,00327374					
17	Tasa Efectiva Anual		0,04					
18	Costo de Mto Anual	\$	55.236.000,00	Aumenta aprox 4% por año				
19								
20	CICLO DE VIDA EN TERMINOS MENSUALES							
21			INGRESOS	EGRESOS				
22	PERIODOS AÑOS	PERIODOS MESES	NIVEL DE ACTIVIDAD MENSUAL	SALARIO DE 1 TECNICO	MANTENIMIENTO (repuestos, consumibles, servicios)	OTROS	INVERSIÓN	FLUJO NETO
23	1	0	0	0	0	0	\$ 49.296.970,00	-\$ 49.296.970,00
24		1			\$ 4.520.707,27			

Nota. Calculo del pago referente al valor futuro para costo de mantenimiento en termino mensual. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

Hallando la ecuación de pago en la celda F24 el valor mensual de mantenimiento es de \$ 4.520.707,27 COP.

Existen otros dos egresos que van dentro del cálculo estimado del ciclo de activo en términos mensuales que influyen para anualizarlo a los 15 años estimados de vida del activo. Estos son el salario del técnico electromecánico que son los \$ 2.200.000,00 COP y otros egresos que están incluidos como son el pago del conductor de vehículo, Capacitaciones, EPP's a personal técnico, Servicio de montacargas externo, Servicio de hospedaje y alimentación, transporte logístico y demás servicios de operación y administración.

Todo suma \$ 3.291.666,66 COP. Sin embargo, se deben incluir los gastos asociados con la indisponibilidad del equipo. De acuerdo a datos históricos fallas evidenciados en el análisis de información de presente documento, se estableció un promedio de 0,916 fallas por mes, de los 11 reportes de falla que se presentaron durante el

año 2019, las cuales muestran un tiempo de parada aproximadamente de 6 horas por falla, siendo que el equipo trabaja 24 horas durante 30,4 días mensuales. Estos datos permiten calcular la Disponibilidad e Indisponibilidad de la bomba centrífuga que están a continuación.

Datos: Tiempo de operación programado = 729,6 horas mensuales y Tiempo muerto = 5,496 horas.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(\text{Tiempo de operación programado} - \text{Tiempo muerto})}{\text{Tiempo de operación programado}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(729,6 \text{ horas} - 5,496 \text{ horas})}{729,6 \text{ horas}}$$

$$\text{Disponibilidad} = 0,992 \text{ horas}$$

$$\text{Indisponibilidad} = 1 - \text{Disponibilidad}$$

$$\text{Indisponibilidad} = 1 - 0,992 \text{ horas}$$

$$\text{Indisponibilidad} = 0,008 \text{ horas}$$

La Indisponibilidad del activo de 0,008 horas es el tiempo en que el activo deja de operar, por tanto debe ser multiplicado por el ingreso que produce el equipo cuando es rentado mensualmente. En definitiva el egreso de otros quedaría de la siguiente manera:

Los \$ 3.291.666,66 COP + (\$ 11.552.000,00 COP * 0,008 (Indisponibilidad)) = \$ 3.384.082,66 COP. Este valor permite concluir que se gasta \$ 92.416 COP por mes en que el equipo deja de funcionar.

En la tabla 9 se observan el cálculo de ingresos y egresos en términos mensuales, datos que son requeridos para calcular los ingresos y egresos en términos anuales mediante la ecuación de valor futuro.

Tabla 9*Cálculo de Ingresos y Egresos en Término Mensual de Bomba Centrífuga*

CICLO DE VIDA EN TERMINO MENSUAL							
PERIODOS AÑOS	PERIODOS MESES	INGRESOS		EGRESOS			FLUJO NETO
		NIVEL DE ACTIVIDAD MENSUAL	SALARIO DE 1 TECNICO	MANTENIMIENTO (repuestos, consumibles, servicios)	OTROS	INVERSIÓN	
N/A	0	0	0	0	0	\$ 49.296.970,00	-\$ 49.296.970,00
N/A	1	\$ 11.552.000,00	\$ 2.200.000,00	\$ 4.520.707,27	\$ 3.384.082,66	0	\$ 1.447.210,07

Nota. En esta tabla se observa cada uno de los valores de ingresos que cuesta el equipo al ser rentado, ingresos de mantenimiento aplicando la ecuación de pago, para el egreso otros se tiene en cuenta suma del costo adicional de la indisponibilidad que presenta el equipo cuando deja de operar y el costo de personal normal. Adicionalmente se saca el flujo neto de la diferencia que existe de ingresos y egresos del mes. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

Para anualizar los ingresos del nivel de actividad del servicio del activo y adicionalmente los egresos del salario del técnico y en otros costos se procede a desarrollarlo con la ecuación de VF (Valor Futuro de una anualidad).

$$VF = VA * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right)$$

Para hallar el ingreso anual se tienen los siguientes datos:

VA = \$ 11.552.000,00 COP referentes al valor del ingreso en términos mensual

i = 0,00327374 Tasa efectiva mensual

n = 12 meses del año

$$VF = \$ 11.552.000 * \left(\frac{(1 + 0,00327374)^{12} - 1}{0,00327374} \right)$$

$$VF = \$ 11.552.000 * (12.21844212103)$$

$$VF = \$ 141.147.443,21 \text{ COP}$$

Para hallar el egreso del salario del técnico de mantenimiento anualmente se cuenta con los siguientes datos:

VA = \$ 2.200.000,00 COP referentes al salario del técnico en términos mensual

i = 0,00327374 Tasa efectiva mensual

n = 12 meses del año

$$VF = \$ 2.200.000 * \left(\frac{\left((1 + 0,00327374)^{12} \right) - 1}{0,00327374} \right)$$

$$VF = \$ 2.200.000 * (12.21844212103)$$

$$VF = \$ 26.880.572,63 \text{ COP}$$

Para hallar el egreso relacionados con los egresos otros se cuentan con los siguientes datos:

VA = \$ 3.384.082,66 COP referentes a la cifra de otros en termino mensual

i = 0,00327374 Tasa efectiva mensual

n = 12 meses del año

$$VF = \$ 3.384.082,66 * \left(\frac{\left((1 + 0,00327374)^{12} \right) - 1}{0,00327374} \right)$$

$$VF = \$ 3.384.082,66 * (12.21844212103)$$

$$VF = \$ 41.348.218,06 \text{ COP}$$

Consolidando los resultados obtenidos de ingresos y egresos anualmente, la tabla 10 queda de la siguiente manera.

Tabla 10*Cálculo de Ingresos y Egresos en Término Anual de Bomba Centrífuga*

CICLO DE VIDA EN TERMINOS ANUALES							
CICLO DE VIDA DEL ACTIVO - AÑOS	PERIODOS EN AÑOS	INGRESOS		EGRESOS			FLUJO NETO
		NIVEL DE ACTIVIDAD ANUAL	SALARIO DE 1 TECNICO	MANTENIMIENTO (repuestos, consumibles, servicios)	OTROS	INVERSIÓN	
	0	0	0	0	0	\$ 49.296.970,00	-\$ 49.296.970,00
	1	\$ 141.147.443,21	\$ 26.880.572,63	\$ 55.236.000,00	\$ 41.348.218,06	0	\$ 17.682.652,51
	2	\$ 143.970.392,08	\$ 27.955.795,54	\$ 57.445.440,00	\$ 41.370.801,66	0	\$ 17.198.354,88
	3	\$ 146.849.799,92	\$ 29.074.027,36	\$ 59.743.257,60	\$ 41.393.836,92	0	\$ 16.638.678,04
	4	\$ 149.786.795,92	\$ 30.236.988,46	\$ 62.132.987,90	\$ 41.417.332,89	0	\$ 15.999.486,67
	5	\$ 152.782.531,83	\$ 31.446.467,99	\$ 64.618.307,42	\$ 41.441.298,77	0	\$ 15.276.457,65
	6	\$ 155.838.182,47	\$ 32.704.326,71	\$ 67.203.039,72	\$ 41.465.743,98	0	\$ 14.465.072,06
15	7	\$ 158.954.946,12	\$ 34.012.499,78	\$ 69.891.161,31	\$ 41.490.678,09	0	\$ 13.560.606,95
	8	\$ 162.134.045,04	\$ 35.372.999,77	\$ 72.686.807,76	\$ 41.516.110,88	0	\$ 12.558.126,63
	9	\$ 165.376.725,94	\$ 36.787.919,76	\$ 75.594.280,07	\$ 41.542.052,33	0	\$ 11.452.473,79
	10	\$ 168.684.260,46	\$ 38.259.436,55	\$ 78.618.051,27	\$ 41.568.512,60	0	\$ 10.238.260,04
	11	\$ 172.057.945,67	\$ 39.789.814,02	\$ 81.762.773,32	\$ 41.595.502,08	0	\$ 8.909.856,25
	12	\$ 175.499.104,59	\$ 41.381.406,58	\$ 85.033.284,25	\$ 41.623.031,36	0	\$ 7.461.382,40
	13	\$ 179.009.086,68	\$ 43.036.662,84	\$ 88.434.615,62	\$ 41.651.111,21	0	\$ 5.886.697,00
	14	\$ 182.589.268,41	\$ 44.758.129,35	\$ 91.972.000,25	\$ 41.679.752,67	0	\$ 4.179.386,14
	15	\$ 186.241.053,78	\$ 46.548.454,53	\$ 95.650.880,26	\$ 41.708.966,95	0	\$ 2.332.752,04

Nota. En esta tabla se evidencia el calculo de ingresos y egresos anualizado , ya que se estima que el equipo tenga una vida util de 15 años. Adicionalmente se establecen los flujos netos por cada año. Fuente: Autores de Proyecto (2020)

En la tabla 10 también se evidencia que el costo de ingreso y egreso va aumentando de acuerdo al porcentaje de inflación promedio de cada año, el cuál fue establecido con el 4% y que están aplicados a los egresos del salario técnico y mantenimiento. Para los ingresos se aplicó un aumento de cada año del 2% los cuales van incluidos en el nivel de actividad anual del activo. Para el costo de otros se calcula con la ecuación de VF teniendo en cuenta el valor final mensual de cada año. También se obtiene el flujo neto de cada año, haciendo la operación de restar los ingresos frente a la suma de egresos.

Obtenidos todos los datos anuales se procede a sacar el VNP Anual mediante la ecuación

$$VNP = \sum_{n=0}^n \frac{In - En}{(1+i)^n}$$

In = Ingresos

En = Egresos

i = Tasa de interés anual

El valor de In – En indica los flujos de caja estimados de cada año, por tanto al aplicar la ecuación el Valor presente neto (VPN) es igual a \$ 88.198.888,30 COP llamado también el beneficio de ciclo de vida (BCV).

8.2 ROI

El retorno de la inversión representa una herramienta para analizar el rendimiento que tiene el activo en la empresa PSC Energy, el cual será calculado de la siguiente manera.

$$\text{ROI} = \frac{\text{BCV}}{\text{Inversión}}$$

BCV (Beneficio del Ciclo de Vida) = \$ 88.198.888,30 COP

Inversión de la bomba centrífuga = \$ 49.296.970,00 COP

$$\text{ROI} = \frac{\$ 88.198.888,30}{\$ 49.296.970,00}$$

ROI en \$ = 1,7891

ROI en % = 78,91 %

El retorno de inversión (ROI) cuando el ingreso es de \$ 88.198.888,30 COP y la inversión es de \$ 49.296.970,00 COP es igual a 79 %. Lo que determina que por cada peso invertido, se obtiene \$ 1,79 pesos de retorno.

Para aumentar más el retorno de la inversión del activo, la empresa PSC Energy debe enfocarse en disminuir los costos asociados con el área de mantenimiento y otros gastos, disminuir el tiempo de indisponibilidad referente al tiempo que dura el equipo inoperante para que no perjudique el servicio hacia el cliente del frente de trabajo o de operación en campo.

Trabajando, supervisando y estandarizando toda la gestión pertinente a los costos asociados a la bomba centrífuga, permitirá garantizar más tiempo y beneficio de vida útil del activo y por supuesto incrementar la disponibilidad del equipo cuando este es rentado al cliente final.

9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

-Implementando PMO en el departamento de mantenimiento, permitirá ajustar y complementar el cronograma, Control de costos, Planes de mantenimiento, Inspecciones de mantenimientos preventivos y correctivos que serán ejecutados dentro y fuera de la operación.

-Con el PMO se logró analizar, bautizar con tag y realizar la taxonomía indicada en cada sistema, subsistema, componente, subcomponente y parte mantenible del activo, permitiendo así identificar la criticidad de las partes más importantes de la bomba centrífuga.

-Mediante el análisis RCA se identificaron causas, modos de falla, averías de las partes del equipo rotativo, permitiendo identificar las partes críticas, el cual permite reajustar y complementar las tareas de mantenimiento.

-Con la gestión documental al 100 % se logró llevar un control total sobre las actividades, trazabilidad y costos de nuestro equipo de bombeo MCM series 178 de 15 hp 4x3 en el retorno de la inversión (ROI).

9.2 Recomendaciones

-Muy importante que el personal de mantenimiento y operación mantenga una muy buena comunicación y trabajo en equipo, esto permitirá informar de manera inmediata cualquier tipo de novedad que se presente en los componentes del equipo rotativo, el cual no genere afectación en costo y tiempos muertos en la operación.

-Sugerir y establecer planes de trabajo donde se plasmen las prioridades de inspección y mantenimiento en los componentes más críticos y así cumplir con las labores de seguimiento y control de la mantenibilidad, costos, presupuesto, inventario, cronograma de mantenimiento y operación de la bomba centrífuga.

-Después de implementado el PMO es importante aumentar con responsabilidad y seguir con disciplina el manejo de la información y control en la gestión documental y seguimiento de todo el proceso de mantenimiento.

-Capacitar y retroalimentar al personal técnico, en cuanto a la importancia que tienen los activos y el mantenimiento en campo.

-Adquirir más comparadores de caratula y niveles de burbuja de cuerda para alineación de ejes del motor y parte rotativa de la bomba.

-Revisar y estandarizar stock mínimos de repuestos y consumibles en cada frente de trabajo.

10. Bibliografía

- Abril Bolívar, P. L., Ardila Mateus, C. A., & Cubillos Guzmán, J. S. (2016). *Propuesta para la aplicación del rcm en una motobomba centrífuga IHM 15 h -7.5 Tw*. Bogotá.
- Arevalo Quintero, Y. (2016). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO*. Ocaña.
- Bonilla Parra, S. R. (2011). *Estudio del mantenimiento de las estaciones de bombeo en EMAPA para incrementar la disponibilidad de las maquinarias*. Ambato.
- Cadena Velázquez, H. A. (2011). *DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS PRESENTADAS EN SELLOS MECÁNICOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS*. Poza Rica .
- Cepeda Perez, D. E. (2017). *Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en rcm para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar masa stork*. Duitama.
- Choque Apaza, E. S. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS A TRAVÉS DEL MONITOREO SUBJETIVO*. Arequipa.
- GLOUD PUMPS . (2018). *Bombas de turbina verticales*. Seneca Falls.
- Gomez Cabrera , J., & Guanipa Atacho, F. (2010). Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en bombas centrífugas horizontales. *Ingenieria Mecanica Vol.13. No 2, mayo-agosto* , 32-38.
- Martínez Pérez, F., & Álvarez García, S. (2018). Análisis de fallas recurrentes y propuesta de soluciones para el sistema de bombeo de agua. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 1-7.
- Neptuno Pumps. (2020). *Neptuno Pumps*. Obtenido de Neptuno Pumps: <https://www.neptunopumps.com>
- Noguera Polania, J., Robles Algarín, C., & Guillot Fula, J. (2014). Control predictivo-cooperativo para operar una red de bombas centrífugas. *Revista Chilena de Ingenieria*, 1-11.
- Orcón García, E. A. (2015). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Lima.
- Otálora Guerra, O. J. (2019). *Elaboración de un plan de mantenimiento para puesta a punto de equipos de generación y bombeo dentro de la empresa GEP S.A.S*. Bogotá.
- Potral el Electromecanico. (2020). *Curso de Maquinas Mecanicas*. Obtenido de Potral el Electromecánico: http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/partes_de_una_bomba_centrifuga.html
- Retamal Arriaza, S. E. (2018). *Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrifugas ubicadas en anglo american sur planta las tórtolas estación de rebombeo*. Viña del Mar.
- Roa Lopéz, J. R., & Gomez Morales, J. J. (2014). *Optimización del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos rotativos en la planta aromáticos dela GRB de ecopetrol*. Barrancabermeja.

- Suarez Huarcaya, E. D. (2019). *Estudio del mantenimiento preventivo de bombas centrifugas para distribución de agua potable, que pueda ser realizado en bancos de pruebas confiables*. Arequipa.
- GLOUD PUMPS . (2018). *Bombas de turbina verticales*. Seneca Falls.
- Gunt Hamburg. (2020). *Bombas Centrífugas*. Obtenido de Gunt:
https://www.gunt.de/images/download/centrifugal-pumps_spanish.pdf
- Barreda Beltran, S. (2015). *PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (R.C.M.) EN LA EDAR DE NULES-VILAVELLA*. NULES-VILAVELLA.
- Espinoza Fuentes, F. (s.f.). *Análisis Causa Raíz (RCA)*.
- Ponce Mostacero, A. A. (2018). *OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS CARBONATADAS*. Piura.
- transequipos. (2019). *Mantenimiento Predictivo Basado en Condición*.
- Potral el Electromecanico. (2020). *Curso de Maquinas Mecanicas*. Obtenido de Potral el Electromecanico:
http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/partes_de_una_bomba_centrifuga.html
- Neptuno Pumps. (2020). *Neptuno Pumps*. Obtenido de Neptuno Pumps:
<https://www.neptunopumps.com>
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de Mantenimiento:
<https://www.ecured.cu/Mantenimiento>

ANEXOS

Anexo 1

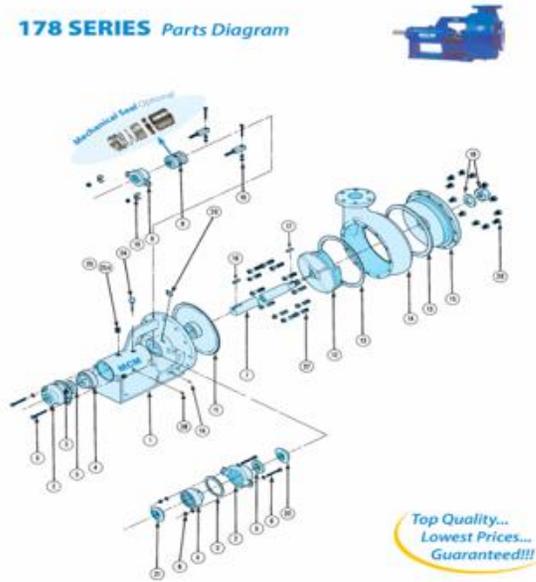
Taxonomía de la Bomba Centrífuga

TAGS Y TAXONOMIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA											
SISTEMA	COD	SUBSISTEMA	COD	EQUIPO	COD	COMPONENTE	COD	SUB COMPONENTE	COD	PARTE MANTENIBLE	COD
SISTEMA DE BOMBEO	M	SEPARADOR TRIFÁSICO ANSI	STA	BOMBE CENTRÍFUGA MCM SERIES 178 DE 15 HP 4x3	BCM	PARTE ROTATIVA MECÁNICA	MEC	ACOPLE REX OMEGA	A	Prisioneros de ajuste	1
								CUERPO DE BOMBA	B	Brida de descarga	2
										Brida de succión	3
										Drenaje carter	4
										Tapón de aceite	5
										Visor de aceite	6
								CAMISA DE EJE	C	Voluta	7
										Eje	8
										V ring	9
								IMPELLER	D	O ring	10
						PRENSA ESTOPA	F	Coupling del impulsor	11		
								Carcasa	12		
								Empaques	13		
								Estopas	14		
						SELLO MECÁNICO	G	Pernos	15		
								Tuercas	16		
						TAPA ANTERIOR	H	Empaquetadura	17		
						TAPA POSTERIOR	I	Glands	18		
						MOTOR ELÉCTRICO	ELE	CAJA DE CONEXIÓN	J	Rodamiento anterior	19
										Rodamiento posterior	20
								CAPERUZA	K	Tapa de caja de conexión	21
										Regleta de bornes	22
								ESTATOR	L	Ventilador	23
										Arandela de centrifugación	24
										Brida	25
										Estribo de fijación	26
										Junta de estanqueidad	27
										Paredes trasera y delante	28
						Tapa de cojinete trasero	29				
						Rodamientos	30				
						ROTOR	M	Chavetas	31		

Anexo 2

Análisis de Criticidad

178 SERIES Parts Diagram



178 PUMP PARTS LIST

Item No.	Part No.	Description	Qty. Req'd.	Approx. Wt.
1	P78PED	178 Pedestal	1	210.00
2	P78BC	178 Bearing Cap	2	5.00
3	P78BCG	178 Bearing Cap Gasket	2	.10
4	P78BA	178 Bearing Assembly	2	4.00
5	P78OGS	178 Oil & Grease Seal	2	.25
6	P78BCBA	178 Bearing Cap Bolt Assembly	4	.25
7	*	178 Shaft Assembly	1	25.00
8	*	178 Packing Assembly / Mechanical Seal	1	.50
9	P78PG	178 Packing Gland	1	1.75
10	P78GABA	178 Gland Adjustment Bolt Assembly	2	.75
11	*	178 Wear Plate	1	15.00
12	*	178 Impeller	1	*
13	P78HG	178 Housing Gasket	2	.10
14	*	178 Housing	1	*
15	*	178 Housing Face	1	*
16	P78DBDP	178 Drip Bowl Drain Plug	1	.25
17	P78IK-56	178 Impeller Key (2x3 thru 5x6)	1	.10
17A	P78IK-68	178 Impeller Key (6x8 only)	1	.10
18	P78CK	178 Coupling Key	1	.25
19	P78LNA	178 Lock Nut Assembly	1	.05
20	P78ZGF	178 Zert Grease Fitting	1	.10
21	P78SRO	178 Slinger Ring - Oil	1	.25
22	P78SRW	178 Slinger Ring - Water	1	.25
23	P78HDP	178 Housing Drain Plug	1	.25
24	P78DS	178 Dip Stick	1	.75
25	P78FBC	178 Filler Breather Cap	1	.50
25A	P78OVV	178 Oil Vent Valve	1	.05
26	P78HFCS	178 Housing Face Cap Screw	12	.25
27	P78HSN	178 Housing Stud W/ Nut	12	.50
28	P78ODP	178 Oil Drain Plug	1	.05

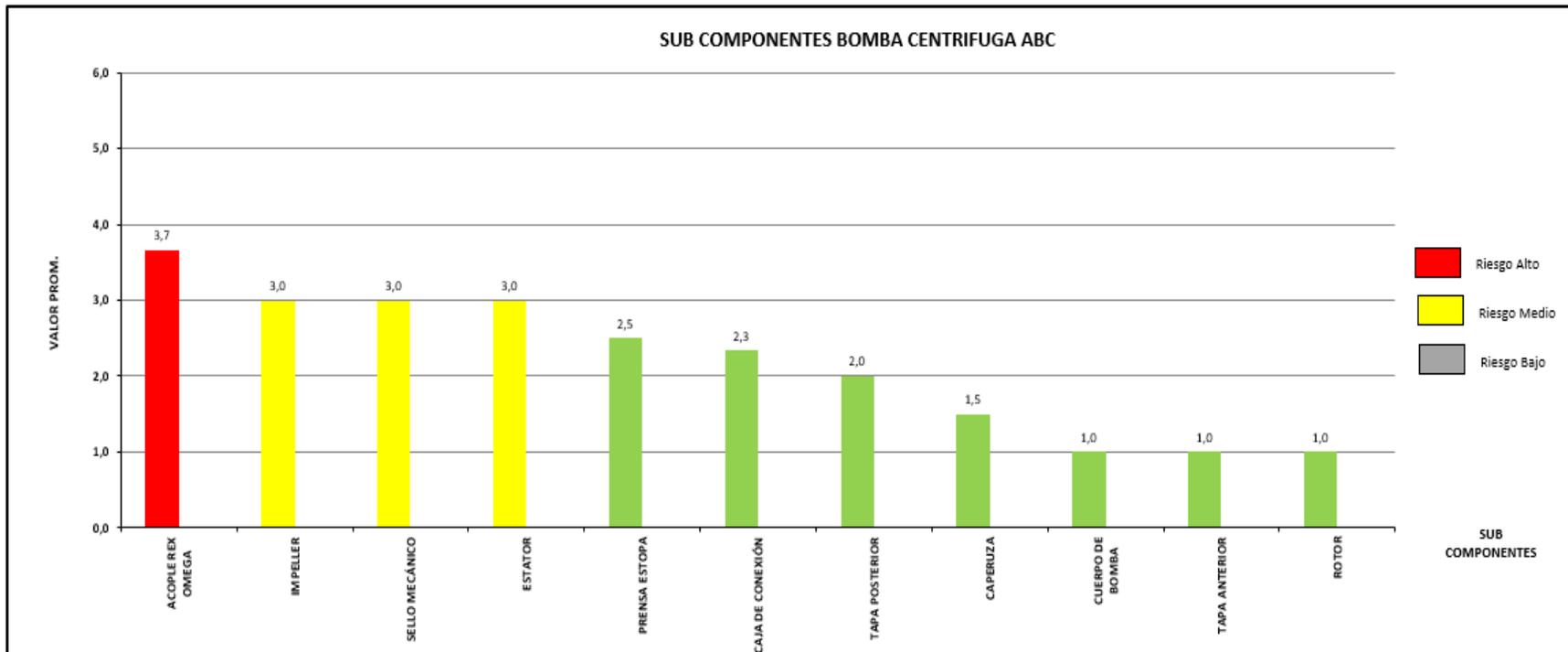
*See Options On Page 25

Clas.	ALTO	Val.	BAJO	Val.	DESPRECIABLE	Val.
S	Riesgo alto de accidente	4	Bajo riesgo de accidente	2	Despreciable riesgo de accidente	1
Q	Alto potencial de causa de perdidas o reclamaciones	4	Bajo potencial de causa de perdidas o reclamaciones	2	Despreciable potencial de causa de perdidas o reclamaciones	1
W	24/ dia Disponible para prod	4	8 - 24 / DIA disp para prod	2	8 hS/dia disp para prod	1
D	Linea parada por falla de una maquina	3	La maquina falla pero no interrumpe proceso	2	La maquina falla pero no interrumpe proceso o hay otra maq de repuesto	1
F	1 Falla/ 2Meses	3	Falla entre 2 / 6 Meses	2	F < 1 Falla/ 6 Meses	1
M	MTTR > 2 Hrs	3	0,5 < MTTR > 2 Hrs	2	MTTR < 0,5 Hrs	1

A	>	3
B	=	3
C	<	3

MAQUINA / SUB COMPONENTES	EVALUACION POTENCIAL						Prom.	CLASE
	S	Q	W	D	F	M		
Bomba centrífuga MCM series 178 de 15 HP 4x3	●	●	●	▲	●	▲		
ACOPLE REX OMEGA	4	4	4	4	3	3	3,7	A
IMPELLER	3	3	3	3	3	3	3,0	B
SELLO MECÁNICO	2	3	4	3	3	3	3,0	B
ESTATOR	3	4	2	3	3	3	3,0	B
PRENSA ESTOPA	3	1	3	3	2	3	2,5	C
CAJA DE CONEXIÓN	1	2	2	3	3	3	2,3	C
TAPA POSTERIOR	2	2	2	3	1	2	2,0	C
CAPERUZA	1	2	1	2	1	2	1,5	C
CUERPO DE BOMBA	1	1	1	1	1	1	1,0	C
TAPA ANTERIOR	1	1	1	1	1	1	1,0	C
ROTOR	1	1	1	1	1	1	1,0	C

ROLES DE CLASIFICACION DE LOS EQUIPOS				
CLASE				
	●	●	▲	
S	Desglose de riesgo potencial de accidentes debidos a un equipo	Alto riesgo de Accidente	Bajo riesgo de accidente	Despreciable riesgo de accidente
Q	Las perdidas potenciales, la calidad de las restauraciones	Alta probabilidad de ocurrencia de perdidas o reclamos	Baja probabilidad de ocurrencia de perdidas o reclamos	Despreciable probabilidad de ocurrencia de perdidas o reclamos
W	Tiempo en el que el equipo esta disponible para la producción	24 Hs/Dia	8 - 24 Hs/ Dia	8 Hs/ Dia
D	Impacto causado en la producción de una línea debido a la parada de un equipo	La maquina falla e interrumpe el siguiente proceso	La máquina para pero no interrumpe el siguiente proceso productivo a pesar de que genera perdidas	La maquina falla no interrumpe el siguiente proceso productivo
F	Frecuencia de Ocurrencia de Fallas en un Equipo	Falla > 1 Falla/2 Meses	1 Falla / 2 meses / 6 meses	F < 1 Falla / 6 meses
M	Media Hora de reparar el equipo	MTTR > = 2 Horas	0.5 < MTTR > 2 Horas	MTTR < 0.5 Horas



Anexo 3

AMEF Bomba Centrífuga

AMEF																			
Descripción																			
Este cuadro analiza y menciona la taxonomía, modos y efectos. Riesgo y el tiempo de mantenimiento que se debe aplicar a la bomba centrífuga MCM Series 178 15 Hp 4x3.																			
Diseñado por:	Grupo 4								Revisado por:	Ing María Gabriela Mago Ramos									
Fecha de creación:	8	10	2020	Integrantes	Ing Julian David Rodriguez - Ing Nelson Farid Cruz				Fecha últ. Revisión:	9	10	2020							
	Día	Mes	Año						Día	Mes	x								
Máquina o Equipo:	BOMBA CENTRÍFUGA MCM SERIES 178 15 HP 4x3								Código Equipo:	M-STA-BCM									
Marca:	MCM Centrifugal Pumps								Serie:	10791423									
Encargado del Equipo:	Departamento de Mantenimiento								Observaciones:	NINGUNA									
TAXONOMÍA					MODOS Y EFECTOS					RIESGO				DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO					
EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	SUB - COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	SEVERIDAD	NPR	Tipo de Mantenimiento	Descripción Actividad	Tiempo Horas	II # Empleados		
PARTE ROTATIVA MECÁNICA			ACOPLE REX OMEGA	Se utiliza principalmente para la unión de los ejes del motor con la parte mecánica rotativa de la bomba.	Falta de alineación en la conexión del eje del motor y parte rotativa de la bomba.	1. Anclaje inestable del equipo. 2. Desgaste en anillos metálicos del acople. 3. Falta de lubricación en ejes. 4. Cargar axial extremadamente grande.	Esfuerzo mecánico y manifestación de grietas en el componente.	Vibración excesiva en el elastómero	Observación	7	9	8	504	Preventivo y Predictivo	Alineación con comparador de carátula y Anclaje seguro.	3	1		
					Desajuste en elastómero y prisioneros	1. Falta en tornillos autotrabadores. 2. Calzas de metal internas desgastadas. 3. Corrosión excesiva en los prisioneros. 4. Empaque flexible cristalizado	Ruido y deformación de calzas metálicas	Desgaste superficial de componentes	Observación	7	9	8	504	Preventivo	Ajuste en elastómero y prisioneros	1	1		
					Carencia de lubricación en rodamientos en anillo interno.	1. Oxidación en superficies de los ejes. 2. Superficies ásperas y oxidadas en anillo interno. 3. Terminación de vida útil del cojinete. 4. Contaminación por exceso de cloruros.	Herrumbre e Inexactitud del eje y del alojamiento del acople.	Ruido en componentes metálicos	Ruido	7	9	8	504	Autónomo	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) y cambio de componente si aplica	4	1		
					CUERPO DE BOMBA	Portejar el activo y los componentes internos	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	8	1	5	40	Autónomo	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste)	0,5	1
					CAMISA DE EJE	Proteger el rodamiento	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	8	2	4	64	Autónomo	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste)	0,5	1
					IMPELLER	Es la de recoger el líquido por la boca de la bomba y lanzarlo con fuerza hacia la salida de la bomba.	Falla por alta velocidad de rotación del motor.	1. Incompatibilidad con el motor. 2. Distorsión armónica. 3. Desequilibrio de tensión. 4. Falta en el microprocesador de control	Desconfiguración en la tarjeta de alimentación y control	Amperaje y voltaje incorrecto	Calentamiento y capacidad de potencia del activo	6	6	5	180	Preventivo	Configuración y revisión de arrancador y conexionado eléctrico	1	1
			Falla por desgaste de revestimiento por interferencia	1. Cantidad de vacío debido a la presión del caudal. 2. Erosión en todo el rodete. 3. Deformidad. 4. Rayones en alabes			Fractura en rodete	Deficiencia en capacidad en la entrega de caudal	Mantenimiento Preventivo	6	6	5	180	Preventivo	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) + Barnizado	4	1		
			Manifestación de grietas	1. Flebaba en partes superficiales. 2. Ruido constante. 3. Impacto constante de partículas solidas en la superficie. 4. Presión variable			Destrucción de la placa de desgaste	Implosión en el rodete	Mantenimiento Preventivo	6	6	5	180	Preventivo	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) + Barnizado	4	1		

BOMBA CENTRÍFUGA MCM SERIES 178 DE 15 HP 4x3	SISTEMA DE BOMBEO	PRENSA ESTOPA	No permite la entrada de agua	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	8	4	4	128	Preventivo	Cambio de prensa estopero	4	1
		SELLO MECÁNICO	Permitir unir fijamente sistemas o mecanismos mecánicos para evitar fugas de fluidos.	Fuga de caudal por empaquetadura	1. Raspado en resorte. 2. Falta de identificación. 3. Vibración por mala instalación. 4. Recalentamiento en los anillos tóricos. 5. Desgaste excesivo de mellas de arrastre. 6. Exceso de extrusión (Compresión). 7. Cristalización por alta temperatura del fluido.	Escamación en todo el componente	Desgaste en la cara blanda	Observación en fuga de fluido	6	6	4	144	Preventivo	Inspección y reajuste del componente / Cambio de componente en su totalidad	4	1
				Herrumbre en prensa estopa	1. Exceso de cloruros. 2. Dimensiones debajo de las especificaciones. 3. Superficie arpera. 4. Acretamiento por calor.	Vesiculación (Ampollas) en superficies	Contaminación superficial del componente	Inspección Visual	6	6	4	144	Preventivo	Cambio de componente en su totalidad	4	1
		TAPA ANTERIOR	Proteger el rodamiento anterior	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	8	3	4	96	Condición	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) / Cambio de componente en su totalidad	4	1
		TAPA POSTERIOR	Proteger el rodamiento posterior	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	9	3	4	108	Condición	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) / Cambio de componente en su totalidad	4	1
	MOTOR ELÉCTRICO	CAJA DE CONEXIÓN	Protección de bornas y conductores	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	9	2	4	72	Condición	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) + Barnizado	1	1
		CAPERUZA	Protección de ventilador	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	9	2	4	72	Condición	Aplicación de LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste) + Barnizado	1	1
		ESTATOR	Sumistrar el flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar el movimiento giratorio.	Sobrecargas en el motor	1. Calentamiento se incrementa. 2. Atascamiento en la carga. 3. Deterioro mecánico. 4. Exceso de consumo de corriente	Carga excesiva	Sobre esfuerzo de maquinaria	Olor y Exceso de temperatura en partes superficiales	6	3	4	72	Preventivo	Megger de conductores y verificar tensión y corriente	5	1
				Sobretensiones a lo largo de la vida operativa del motor	1. Por Inducido / Descarga eléctrica. 2. Corrientes Sigma. 3. Conmutación por gran potencia. 4. Defectos en el suministro eléctrico.	Ruptura de aislamiento del bobinado	Aumentos de tensión	Inspección Visual	6	3	4	72	Preventivo	Megger de conductores y verificar tensión y corriente	5	1
				Excentricidad severa del motor	1. Fatiga de piezas. 2. Variaciones bruscas de temperatura. 3. Dilatación / Contracciones de conductores. 4. Desgaste de de conductores	Vibración del motor	Desgaste de laminación de rotor y estator	Fluido	6	3	4	72	Preventivo	Verificar desgaste metálica y verificar desalineación y potencia entregada	5	1
	ROTOR	Ocuparse de la transmisión de potencia del motor	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	Criticidad Baja	9	2	5	90	Condición	Verificar la transmisión de potencia en el eje	1	1	

