

**Plan de Lubricación para Mejorar la Confiabilidad de los Equipos Rotativos del Sistema de Inyección de Agua del Campo CPE-6 bajo la Metodología del TPM (Mantenimiento Total Productivo).**

Diego A. Tello, Jhonattan D. Mora y Raúl A. Duque

Dirección de posgrados, Universidad ECCI.

Especialización Gerencia de Mantenimiento

**Asesor**

**Luis Humberto Mendieta Serna**

**Agosto de 2022**

## Tabla de Contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	2
DEDICATORIA .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL.....	15
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	17
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	18
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN .....	20
4.1 JUSTIFICACIÓN .....	20
4.2 DELIMITACIÓN.....	21
4.3 LIMITACIÓN .....	21
5. MARCOS REFERENCIALES.....	22
5.1 ESTADO DEL ARTE.....	22
5.1.1 <i>Estado del arte nacional</i> .....	22
5.1.1.1 Diseño del plan estratégico de mantenimiento para el campo Toroyaco..	22

5.1.1.2 Implementación de un programa de lubricación en una empresa de refrigeración en el proceso de metales.....	22
5.1.1.3 Implementación de una rutina de lubricación para las máquinas de tejer de textiles Omnes23	
5.1.1.4 Manual de Lubricación por Equipos para la Industria Licorera de Caldas23	
5.1.1.5 Implementación sistema de lubricación por niebla en casa bomba .....	24
5.1.1.6 Implementación de los pilares de TPM (Mantenimiento Total Productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción Ofixpres S.A.S	24
5.1.2 <i>Estado del arte Internacional</i> .....	25
5.1.2.1 Diseño de un plan de lubricación basado en la filosofía TPM (Mantenimiento Total Productivo) para una planta hormigonera de Guayaquil. ....	25
5.1.2.2 Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A.....	25
5.1.2.3 Diseño e implantación de un plan de lubricación para máquinas y equipos	26
5.1.2.4 Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32´ x 32´ de 621 DMTPH	26
5.1.2.5 Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa Cosmos Agencia Maritima S.A.C .....	27
5.2 MARCO CONCEPTUAL .....	27
5.2.1 <i>Lubricación</i> .....	27

5.2.2	<i>Clase de lubricantes</i> .....	28
5.2.2.1	Gases .....	28
5.2.2.2	Líquidos .....	28
5.2.2.3	Semisólidos.....	28
5.2.2.4	Sólidos.....	28
5.2.3	<i>Propiedades Físicas</i> .....	29
5.2.3.1	Gravedad específica:.....	29
5.2.3.2	Color o fluorescencia:.....	29
5.2.3.3	Viscosidad:.....	29
5.2.3.4	Índice de viscosidad:.....	29
5.2.3.5	Rigidez dieléctrica: .....	30
5.2.4	<i>Propiedades Térmicas</i> .....	30
5.2.4.1	Punto de inflamación o chispa:.....	30
5.2.4.2	Punto de combustión:.....	30
5.2.4.3	Punto de fluidez: .....	30
5.2.4.4	Punto de floculación: .....	30
5.2.5	<i>Propiedades Químicas</i> .....	31
5.2.5.1	Residuos de carbón: .....	31
5.2.5.2	Contenido de cenizas sulfatadas: .....	31
5.2.5.3	Numero de neutralización (NN) o número ácido total (TAN):.....	31
5.2.5.4	Numero básico total (TBN): .....	31
5.2.5.5	Punto de anilina: .....	31
5.2.5.6	Corrosión al cobre:.....	32

5.2.5.7 Herrumbre: .....	32
5.2.6 <i>Propiedades Superficiales.</i> .....	32
5.2.6.1 Demulsibilidad: .....	32
5.2.6.2 Aero emulsión o atrapamiento de aire: .....	32
5.2.6.3 Formación de espuma: .....	32
5.2.6.4 Tensión Interfacial: .....	32
5.2.7 <i>Características Fisicoquímicas de las Grasas</i> .....	33
5.2.7.1 Consistencia: .....	33
5.2.7.2 Viscosidad aparente: .....	33
5.2.7.3 Estabilidad mecánica: .....	33
5.2.7.3.1 Color .....	33
5.2.7.3.2 Aspecto: .....	33
5.2.7.4 Protección contra corrosión: .....	33
5.2.7.5 Estabilidad a la oxidación: .....	34
5.2.8 <i>Resistencia al lavado por agua</i> .....	34
5.2.9 <i>Perdida de evaporación</i> .....	34
5.2.10 <i>Métodos de lubricación</i> .....	34
5.2.10.1 Lubricación Manual .....	34
5.2.10.2 Lubricación por goteo .....	35
5.2.10.3 Lubricación por salpicadura .....	35
5.2.10.4 Lubricación por cadena .....	36
5.2.10.5 Lubricación por estopa o mecha.....	36
5.2.10.6 Lubricación Forzada.....	37

5.2.11	<i>Selección de lubricante</i> .....	37
5.2.11.1	Parámetros que se deben tener en cuenta .....	38
5.2.12	<i>Catálogo del fabricante del equipo</i> .....	38
5.2.13	<i>Equipos Rotativos</i> .....	39
5.2.13.1	Bomba .....	39
5.2.13.2	Motor Eléctrico.....	40
5.2.13.3	Rodamiento .....	41
5.2.14	<i>Fichas de lubricación</i> .....	43
5.2.15	<i>Cartas de lubricación</i> .....	43
5.2.16	<i>Plan de lubricación</i> .....	44
5.2.17	<i>Manipulación y Almacenamiento de Lubricante</i> .....	45
5.2.18	<i>Mantenimiento Productivo Total</i> .....	45
5.2.19	<i>Matriz de Criticidad</i> .....	47
5.2.20	<i>Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad (AMFEC)</i> .....	49
5.3	MARCO NORMATIVO LEGAL.....	50
6.	MARCO METODOLÓGICO.....	51
6.1	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	51
6.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	51
6.3	FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	52
6.4	HERRAMIENTAS .....	53
6.5	METODOLOGÍA .....	53
6.6	INFORMACIÓN RECOPIADA.....	54
6.6.1	<i>Listado de Equipos</i> .....	54

6.7	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	62
6.7.1	<i>Propuesta de Solución</i> .....	63
6.7.1.1	Misión .....	63
6.7.1.2	Visión.....	64
6.7.2	<i>Fichas Técnicas</i> .....	64
6.7.3	<i>Características de los Lubricantes</i> .....	65
6.7.3.1	Selección del grado ISO.....	65
6.7.4	<i>Frecuencia de Relubricación Rodamientos</i> .....	67
6.7.5	<i>Fichas de Lubricación</i> .....	69
6.7.6	<i>Carta de Lubricación General</i> .....	71
6.7.7	<i>Rutina de Lubricación</i> .....	71
6.7.8	<i>Plan de lubricación para los equipos</i> .....	72
6.7.8.1	Divulgación rutinas de lubricación al personal.....	73
6.7.8.2	Capacitación del personal sobre rutinas de lubricación.....	75
6.7.8.3	La Excelencia en la Lubricación.....	75
6.7.9	<i>Estrategias y políticas</i> .....	76
6.8	INDICADORES DE GESTIÓN.....	77
6.8.1	<i>Estado de Equipos</i> .....	77
6.8.2	<i>Reporte de Falla</i> .....	78
6.8.3	<i>Tiempo Medio entre Fallas (TMEF)</i> .....	79
6.8.4	<i>Tiempo Medio para Reparar</i> .....	79
6.8.5	<i>Disponibilidad</i> .....	80
6.8.6	<i>Análisis de criticidad</i> .....	81

6.8.6.1 FMECA.....	82
6.9 SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO (SST) Y MEDIO AMBIENTE.....	82
6.9.1 Peligros y Riesgos Asociados a la Actividad.....	85
6.9.2 Medidas de seguridad.....	85
6.9.3 Responsables de la ejecución y control .....	86
6.9.4 Análisis y riesgos de la actividad.....	86
6.9.5 Medio ambiente.....	88
7. IMPACTOS ESPERADOS /GENERADOS .....	90
7.1 IMPACTOS ESPERADOS .....	90
7.2 IMPACTOS ALCANZADOS .....	90
8. ADMINISTRACIÓN DE PRESUPUESTO.....	91
8.1 CÁLCULO DEL ROI .....	92
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
9.1 CONCLUSIONES.....	93
9.2 RECOMENDACIONES .....	93
10. BIBLIOGRAFÍA .....	95

### Tabla de Tablas

Tabla 1 Listado de Equipos Sistema de Inyección de Agua.....	55
Tabla 2 Valores Indicador de Disponibilidad, MTBF y MTTR unidades mes de mayo.....	59
Tabla 3 Equivalencia Entre diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad.....	66
Tabla 4 Factor de reducción.....	67



Tabla 5 Carta General de Lubricación .....	71
Tabla 6 Plan de lubricación.....	72
Tabla 7 FMECA.....	82
Tabla 8 Peligros y riesgos asociados a la actividad .....	85
Tabla 9 Matriz RAM.....	87
Tabla 10 Criterio de control de riesgo de acuerdo con el nivel del riesgo.....	88
Tabla 11 Presupuesto .....	91
Tabla 12 Cálculo del ROI.....	92

### **Tabla de Figura**

Figura 1 Clasificación de Bombas .....	40
Figura 2 Motor Eléctrico.....	41
Figura 3 Partes del Rodamiento.....	42
Figura 4 Pilares del TPM .....	47
Figura 5 Matriz de criticidad.....	48
Figura 6 Manuales de los equipos del Sistema de Inyección de Agua. ....	56
Figura 7 Recomendaciones de lubricación según manuales.....	57
Figura 8 Histórico Malos Actores Sistema Inyección de Agua.....	58
Figura 9 Indicador de Disponibilidad unidades de Inyección mes de mayo. ....	59
Figura 10 Cumplimiento de la programación. ....	60
Figura 11 Formato para entrevista personal técnico. ....	61
Figura 12 Ficha de Lubricación .....	70
Figura 13 Los 8 Pilares del TPM .....	74
Figura 14 El Camino a la Excelencia en Lubricación.....	76

Figura 15 Estado de Equipos y Condiciones .....	78
Figura 16 Análisis de Criticidad Equipos Sistema de Inyección de Agua .....	81

### **Tabla de Ilustraciones**

Ilustración 1 Lubricación Manual.....	34
Ilustración 2 Lubricación por Goteo .....	35
Ilustración 3 Lubricación por Salpicadura.....	35
Ilustración 4 Lubricación por Cadena.....	36
Ilustración 5 Lubricación por Estopa.....	37
Ilustración 6 Lubricación Forzada .....	37
Ilustración 7 Diagrama de Ishikawa .....	62
Ilustración 8 Ficha técnica Conjunto bomba-motor.....	64
Ilustración 9 Frecuencia de Re-engrase para Rodamientos .....	68
Ilustración 10 Nivel de criticidad y resultados ABC .....	81

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a cada una de las personas que de una u otra forma estuvieron a mi lado en este proceso de mi vida y fueron un apoyo incondicional. A mi Hijo *Isaac Duque Chavarro*, que fue el motor en este proyecto, que ha sido mi inspiración para continuar mejorando cada día más y es mi vida enterar.

#### **Raúl Andrés Duque Pérez**

Quiero dedicar este trabajo a mi padre *Gustavo Mora* por darme esos sabios consejos que me animaron para lograr esta meta y por su apoyo incondicional, a mi madre *Mercedes Pardo* por esa voz de aliento y esa comprensión que solo ella pudo haberme brindado en esta etapa de mi vida, y mi novia *Giovanna Alonso* que ha estado incondicionalmente apoyándome y animándome a realizar este proyecto con todo su cariño.

#### **Jhonattan David Mora Pardo.**

Quiero dedicar este trabajo a mis hijos *Ian Tello*, *Sara Tello*, y mi futuro hijo (a), a mi esposa *Andrea Manrique*, mis padres y a todas esas personas que son el apoyo diario y fuerza necesaria para culminar este proyecto con éxito.

#### **Diego Augusto Tello Rodríguez.**

## Resumen

Con el fin de poder mejorar la confiabilidad de los equipos rotativos del sistema de Inyección de agua del Campo CPE-6, la cual se encuentra a cargo de la Compañía FRONTERA ENERGY; se requiere generar un plan de lubricación el cual permita disminuir y mitigar considerablemente las fallas que se vienen presentando por la ausencia de una rutina establecida de lubricación en los Equipos Rotativos y de esta forma poder reducir las pérdidas de producción que se generan a la hora de realizar las intervenciones correctivas no programadas causadas por las paradas en los equipos; de igual forma disminuir el impacto económico que ha generado la no utilización adecuada de los lubricantes y el mal almacenamiento el cual genera deterioro y pérdida del mismo.

Para la generación del plan de lubricación en primera instancia, se realizó el levantamiento técnico de los diferentes tipos de equipos existentes en el sistema de inyección de agua con base a las recomendaciones suministradas por cada fabricante en los manuales identificando las características, frecuencia, método y cantidad requerida de los lubricantes a utilizar teniendo en cuenta las condiciones de operación de los equipos. Para la correcta ejecución del plan de lubricación se realizará la divulgación y capacitación de manera teórico-práctica del personal técnico, que son los responsables de realizar los diferentes mantenimientos a los Equipos Rotativos de inyección de agua del Campo CPE-6, con esto se hace posible llevar a cabo la correcta aplicación del plan y por ende la correcta aplicación de los lubricantes en los equipos de inyección.

En los primeros capítulos se describe brevemente la situación actual de la empresa y conceptos básicos necesarios para el entendimiento de este proyecto de investigación y en los capítulos siguientes se realiza el desarrollo respectivo.

Palabras Claves: Lubricación, Mantenimiento, TPM, Bomba, Carta de Lubricación, Ficha de Lubricación, Plan de Lubricación.

## **Abstract**

In order to improve the reliability of the rotating equipment of the water injection system of the CPE-6 Field, which is in charge of the FRONTERA ENERGY Company; It is required to generate a lubrication plan which allows to considerably reduce and mitigate the failures that have been occurring due to the absence of an established routine of lubrication in the Rotating Equipment and in this way to be able to reduce the production losses that are generated at the time of carry out unscheduled corrective interventions caused by equipment stops; In the same way, reduce the economic impact generated by the non-adequate use of lubricants and poor storage, which generates deterioration and loss of the same.

For the generation of the lubrication plan in the first instance, a technical survey of the different types of existing equipment in the water injection system was carried out based on the recommendations provided by each manufacturer in the manuals, identifying the characteristics, frequency, method and required amount of lubricants to be used, considering the operating conditions of the equipment. For the correct execution of the lubrication plan, the theoretical-practical dissemination and training of the technical personnel will be carried out, who are responsible for carrying out the different maintenance to the Rotating Water Injection Equipment of the CPE-6 Field, with this it is done possible to carry out the correct application of the plan and therefore the correct application of the lubricants in the injection equipment.

In the first chapters the current situation of the company and basic concepts necessary for the understanding of this research project are briefly described and in the following chapters the respective development is carried out.

**Keywords:** Lubrication, Maintenance, TPM, Pump, Lubrication Chart, Lubrication Sheet, Lubrication Plan.

## **1. Introducción e Información General**

El siguiente proyecto de grado está encaminado a la generación de un plan de lubricación para los Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua de la facilidad de producción CPE-6 la cual se encuentra a cargo de la compañía Frontera Energy.

En la actualidad la empresa Confipetrol cuenta con el contrato de mantenimiento a los Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua de la facilidad de producción CPE-6 la cual está ubicada en el departamento del Meta. Con el fin de dar cumplimiento y seguimiento a los lineamientos del contrato, se establecieron indicadores y metas de cumplimiento de programación de actividades semanales. Estos indicadores y metas se están viendo afectados en ocasiones por la realización de actividades no programadas que se generan durante las diferentes semanas, a las cuales por su impacto en la producción se da prioridad a atenderlas dejando a veces de lado las actividades contempladas en la programación, lo que genera una disminución considerable en el porcentaje de cumplimiento de la programación y ocasiona atrasos en la ejecución de la sabana de mantenimiento anual.

Estas actividades no programadas que se vienen presentando durante las diferentes semanas que afectan el cumplimiento de los indicadores y metas establecidas en el contrato son generadas por factores que se pueden controlar y monitorear como lo son, el bajo aislamiento del bobinado de los motores, ruptura de ejes, daño en rodamientos, disparo de protecciones térmicas por altas temperaturas entre otras, que en algunas ocasiones son generadas por la inadecuada lubricación o falta de lubricación de los diferentes componentes de las máquinas.

Por lo anterior, se plantea generar un plan de lubricación a los Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua de la facilidad de producción CPE-6, teniendo en cuenta las frecuencias, tipo de lubricación y cantidad de lubricante a aplicar a cada uno de los equipos,

considerando las recomendaciones del fabricante y las condiciones reales de operación de los equipos en campo, por lo que se requiere realizar el levantamiento del listado de los diferentes Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua de la facilidad con sus respectivos manuales.

Por otro lado, al no tener un plan de lubricación con cantidades, tiempo y tipos de lubricantes a utilizar, se está presentando almacenamiento excesivo de los mismos, lo que genera pérdidas considerables de dinero, ya sea porque no se utilizan los tipos de lubricantes que se tienen almacenados o por contaminación por mal almacenamiento.



## **2. Problema de Investigación**

### **2.1 Descripción del Problema.**

¿Cómo generar el plan de lubricación más idóneo para satisfacer las necesidades de los Equipos Rotativos del sistema de Inyección de agua del campo CPE-6?

¿Qué pilares de la metodología TPM se pueden apropiar en los Equipos Rotativos de Inyección de Agua del campo CPE-6 para optimizar los procesos de lubricación mejorando la confiabilidad de los equipos?

### **2.2 Planteamiento del Problema**

Confipetrol SAS es una empresa dedicada a la prestación de servicios al sector de hidrocarburos como Overhaul, Paradas de planta, Mantenimiento y Operación de campos petroleros, Precomisionamiento y actualmente está llevando a cabo el mantenimiento de los Equipos Rotativos de la facilidad de campo CPE-6 para Frontera Energy. Para poder realizar el correcto mantenimiento de los equipos rotativos se realizan semanalmente programaciones de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo teniendo en cuenta las frecuencias recomendadas por los fabricantes de los equipos, inspecciones que se realizan en busca de anomalías, fallos que se presentan en los equipos, rondas CBM y por supuesto teniendo en cuenta las HH hombre disponibles para llevar a cabo la programación.

Se ha venido observando en el transcurso del contrato, que se presentan bastantes fallos relacionados con la lubricación de los equipos como; bajo nivel del reservorio de aceite, disparo de protecciones térmicas de equipos, desgaste prematuro de piezas por fricción que representan Pérdida de tiempos y de producción. Sumado a esto, se tiene un stock de muchos tipos de lubricantes que presentan deterioro por el no uso y posible contaminación en el almacenamiento lo que representa pérdidas económicas.

No hay establecida una cultura que muestre la importancia de la lubricación en los sistemas mecánicos y como una buena práctica de lubricación, bien estructurada y ejecutada puede llegar a disminuir las paradas de las máquinas, esto genera intervenciones menores en los equipos y una prolongación en la vida útil de los elementos que los conforman lo que se traduce en disminución de costos debido a que la rotación de repuestos disminuye.

### **2.3 Preguntas de Investigación.**

- a) ¿En qué sentido favorece el plan de lubricación respecto al estado actual de los equipos?
- b) ¿Cuál es la manera más idónea de generar un plan de lubricación que satisfaga las necesidades de los Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua?
- c) ¿De qué manera se ve beneficiado la facilidad de producción y como tal la compañía con el desarrollo del plan para los Equipos Rotativos del sistema de inyección de agua?

### **3. Objetivos de la Investigación**

#### **3.1 Objetivo General**

Generar un plan de lubricación a los Equipos Rotativos del Sistema de Inyección de Agua de la facilidad de producción CPE-6 teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia en campo, para así poder disminuir los tiempos de paradas, optimizar el recurso horas hombre dando una mejor disponibilidad y confiabilidad a los equipos de la operación.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

1. Detallar y elaborar el listado actual de los equipos existentes en el sistema de inyección de agua de la facilidad de producción CPE-6 para identificar su estado operativo, y a su vez realizar el levantamiento de información de los equipos que componen el sistema.
2. Precisar la importancia que tiene para el campo la creación de las cartas y fichas de lubricación teniendo en cuenta: el tipo de lubricación a utilizar, cantidad de lubricante que se debe aplicar, frecuencia de aplicación de acuerdo con horómetros y/o recomendación del fabricante.
3. Examinar los tipos de falla que se presentaron antes de la aplicación del Plan de Lubricación a los Equipos Rotativos mediante KPI's.
4. Identificar el beneficio que recibe el departamento de mantenimiento y por ende la compañía con la propuesta del plan de lubricación de los equipos del sistema de inyección de agua.

## **4. Justificación y Delimitación**

### **4.1 Justificación**

Para prestar un mejor servicio y una mejor confiabilidad en los equipos y operación de la facilidad del campo CPE-6, Confipetrol requiere tener una serie de estrategias dentro del mantenimiento donde se establecen pilares fundamentales para su principal caracterización como son: Garantizar que no se presenten accidentes con el equipo de trabajo, minimizar pérdidas de producción y asegurar el funcionamiento óptimo y adecuado de los equipos en el campo para su mejora continua.

El presente trabajo busca generar un plan de lubricación que ayudará al mejoramiento continuo en la prestación del servicio, al disminuir considerablemente las pérdidas en la producción del cliente, aumentar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de los equipos; para lograr este objetivo se debe de llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo el cual se debe integrar al programa de mantenimiento que lleva la compañía ya que esto ayudará al personal de mantenimiento a reconocer la ubicación de los puntos de lubricación y las frecuencias establecidas para cada uno de los equipos.

Se pretende detectar las fallas antes de su ocurrencia y aumentar la confiabilidad de los equipos, mediante el monitoreo de condición, en los motores y bombas del sistema de inyección de agua. Los beneficios que se esperan obtener mediante el uso de esta técnica de mantenimiento son, ahorros por extender en algunos casos el periodo de cambio de aceite, ahorros por mano de obra, ahorros por disposición del aceite usado y quizá el mayor de los beneficios sea el ahorro por disponibilidad del equipo.

Por otro lado, también se logrará manejar un Stock mínimo de lubricantes, evitando de este modo su contaminación por malas condiciones y métodos de almacenamiento y/o tiempos prolongados en bodega, lo que ocasiona daños en los equipos y sobrecostos en la operación.

#### **4.2 Delimitación**

Este plan de lubricación se desarrollará en el sistema de inyección de agua del campo CPE-6, del municipio de Puerto Gaitán – Meta, comprendido entre septiembre 2021 a junio 2022 y va dirigido a la Compañía Frontera Energy del sector Oíl & Gas. Con este plan se logrará gradualmente mejorar la confiabilidad de los equipos hasta un 90%.

#### **4.3 Limitación**

- Se especifica el área, ya que por parte de la gerencia del campo no le da fiabilidad al plan.
- El acceso a la información, por políticas de la compañía y términos de confidencialidad es limitado, los datos financieros del proyecto es un estimado con valores actuales del mercado.
- En la documentación de la compañía no reposan los manuales de los equipos según el fabricante.
- Resistencia al cambio del personal operativo para la mejora continua del proceso.

## 5. Marcos Referenciales

### 5.1 Estado del Arte

#### 5.1.1 *Estado del arte nacional*

##### 5.1.1.1 **Diseño del plan estratégico de mantenimiento para el campo Toroyaco**

En el año 2019 los estudiantes José Luis Guerrero Ramírez, Ingrid Xiomara González Martínez, Ana María Guerrero Ramírez, “*Diseño del plan estratégico de mantenimiento para el campo Toroyaco*” presentada a la universidad piloto de Colombia, en ese trabajo de grado los estudiantes realizan un diseño por la pérdidas de producción como consecuencia de las recurrentes fallas de los equipos de superficie instalados en su facilidad, por tal motivo se planteó un diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo para los equipos, este proyecto se desarrolló con el fin de reducir las fallas, mejorar las condiciones operativas de la planta, preservar y conservar los activos instalados, el proyecto contempló cuatro fases: primero, se identificó la gestión actual de mantenimiento en campo; segundo, se realizó la criticidad y se definió la taxonomía de equipos; tercero se elaboraron los planes de mantenimiento, cuarto, se efectuó la documentación y socialización de la estrategia de mantenimiento. (Guerrero Ramirez, González Martínez, & Guerrero Ramirez, 2019)

##### 5.1.1.2 **Implementación de un programa de lubricación en una empresa de refrigeración en el proceso de metales**

En el año 2018 el estudiante Santiago Castro Castaño en su tesis para optar por el título de ingeniero mecánico “*Implementación de un programa de lubricación en una empresa de refrigeración en el proceso de metales*” presentada a Universidad tecnológica de Pereira, en esta tesis el ingeniero tiene como objetivo formalizar un programa de lubricación adecuado y en función de las actividades de la empresa, propone crear un programa de lubricación para el

proceso de metales el cual es uno de los más críticos de la etapa productiva. El programa de lubricación permitirá asegurar que todos los puntos de lubricación de una máquina sean correctamente atendidos y les ayudará a los técnicos a identificar y ubicar todos los puntos de lubricación de un equipo determinado, además también es útil para verificar y estar seguros de conocer todos los puntos de lubricación de las máquinas. (Castro Castaño , 2018)

### **5.1.1.3 Implementación de una rutina de lubricación para las máquinas de tejer de textiles Omnes**

En el año 2016 el estudiante Julián Andrés Osorio Piedrahita en su tesis para optar al título de Tecnólogo mecánico “*Implementación de una rutina de lubricación para las máquinas de tejer de textiles Omnes*” presentada a Universidad tecnológica de Pereira, en esta tesis el aspirante proyecta dejar un manual de lubricación en el cual queden bases de organización para las labores del mantenimiento preventivo de lubricación, con instrucciones metodológicas de registros, para un debido seguimiento de cada uno de los equipos, colaborando de esta manera a futuras auditorías y coordinación de actividades. Con la creación de este Instructivo de Lubricación, se busca poder brindar la posibilidad de que cualquier persona por más mínimo conocimiento que tenga del tema pueda entender de manera clara el proceder a la hora de lubricar la maquinaria. (Osorio Piedrahita, 2016)

### **5.1.1.4 Manual de Lubricación por Equipos para la Industria Licorera de Caldas**

En el año 2006 el estudiante Augusto Bedoya Márquez en su tesis para optar por el título de ingeniero mecánico “*Manual de Lubricación por Equipos para la Industria Licorera de Caldas*” presentada a Universidad tecnológica de Pereira, En esta tesis el aspirante Crea un manual de lubricación por equipos en el cual se especifican rutas de lubricación por secciones y

se determinan frecuencias de lubricación, todo esto con el objetivo de mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas, además este trabajo pretende dejar bases de organización de las labores de lubricación con procedimientos metodológicos y toma de registros para seguimiento continuo de todos los equipos ayudando a futuras auditorías y a la coordinación de actividades. (Bedoya Márquez, 2006).

#### **5.1.1.5 Implementación sistema de lubricación por niebla en casa bomba**

En el año 2018 los estudiantes Esquivel Triana & Ruiz Molina, en su trabajo de grado para optar el título de Especialista en Gerencia de Proyectos *“Implementación sistema de lubricación por niebla en casa bomba”* presentada a la Universidad piloto de Colombia. En este trabajo los estudiantes buscan como objetivo mediante la tecnología de lubricación por niebla se mejore la confiabilidad de los sistemas de bombeo (Conjunto motor-Bomba). Implementar un Sistema Autónomo de Lubricación en Bombas/Motor para alcanzar un desempeño operativo óptimo en servicio de los equipos de bombeo (Esquivel Triana & Ruiz Molina, 2018).

#### **5.1.1.6 Implementación de los pilares de TPM (Mantenimiento Total Productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción Ofixpres S.A.S**

En el año 2011 la estudiante Rojas María Fernanda, en su trabajo de grado para optar el título de ingeniero industrial *“Implementación de los pilares de TPM (Mantenimiento Total Productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción Ofixpres S.A.S”*. En este trabajo se busca el mejoramiento continuo y al cuidado básico debido a la reducción de capacidad productiva por lo que se reforzó en estos pilares durante la ejecución del proyecto, analizando desde la raíz los problemas y planificando las metas para su mejora (Rojas Rangel, 2011).



## **5.1.2 Estado del arte Internacional**

### **5.1.2.1 Diseño de un plan de lubricación basado en la filosofía TPM**

#### **(Mantenimiento Total Productivo) para una planta hormigonera de Guayaquil.**

En el año 2017 la estudiante Rivas Poveda Rina Evelyn, en su trabajo de titulación para optar por el título de ingeniero industrial *“Diseño de un plan de lubricación basado en la filosofía TPM (Mantenimiento Total Productivo) para una planta hormigonera de Guayaquil”* presentada a la Universidad de Guayaquil. En este trabajo el estudiante busca dejar un diseño de lubricación bajo la filosofía de TPM para aumentar la producción de la planta y disminuir las paradas correspondientes a las fallas que incidieron en pérdidas anuales por lucro cesante. Se elaboró estrategias para mejorar con ello la eficiencia del plan de mantenimiento preventivo y la productividad de la planta. (Rivas Poveda, 2017)

### **5.1.2.2 Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A.**

En el año 2007 el estudiante Ramírez Hernández Julio Francisco, en su tesis para optar por el título de Maestro en Artes en Ingeniería de Mantenimiento *“Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A”* presentada a la Universidad de San Carlos de Guatemala, el presente trabajo se realizó para la maquinaria pesada de Topsa Construcciones S.A., empresa Guatemalteca que se dedica a prestar servicio en la industria de la construcción, debido a problemas con la disponibilidad del equipo se elaboró el plan de lubricación y determinaron la criticidad de los equipos para anticiparse a las fallas, modificar los

períodos de cambio de lubricantes y poder generar una mejora continua en la gestión de mantenimiento. (Ramírez Hernández, 2007)

### **5.1.2.3 Diseño e implantación de un plan de lubricación para máquinas y equipos**

En el año 2010 el estudiante Farías Meza Juan Carlos, El presente trabajo trata acerca del diseño e implantación de un plan de lubricación en máquinas y equipos de la empresa DOLTREX S.A., con el objetivo de normalizar sus procesos en lo que respecta a los trabajos de mantenimiento enfocados en la parte de la lubricación. El plan de lubricación implantado servirá para evitar futuras averías en la máquina si se procede a elaborar el trabajo de lubricación con el lubricante correcto y con la cantidad correcta, por lo que sería una parte muy importante en el mantenimiento preventivo de la planta de producción. Con esto se pretende tener un orden en los trabajos de lubricación que se están llevando actualmente en la planta. (Farías Meza, 2010)

### **5.1.2.4 Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32'x 32' de 621 DMTPH**

En el año 2012 el estudiante Núñez Lazarte Gustavo Alberto, en su trabajo de titulación para optar por el título de ingeniero mecánico "*Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32'x 32' de 621 DMTPH*" presentado a la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, el presente trabajo de tesis desarrolla el soporte entre otros elementos para el correcto funcionamiento del sistema basándose en parámetros de operación, propuesta del diseño del tanque principal de lubricación y propuesta para el arranque y control eléctrico del sistema de lubricación; mediante el uso de normas indicados por el fabricante. (Núñez Lazarte, 2012).

### **5.1.2.5 Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa Cosmos Agencia Maritima S.A.C**

En el año 2017 el estudiante Gonzales Pinedo Gerardo, en su tesis para optar el título de ingeniero industrial “*Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa cosmos agencia marítima s.a.c*” presentado a la universidad privada del norte de Lima, realiza la implementación de TPM con la finalidad de disminuir los costos de mantenimiento, alargar la vida útil de la flota, reduciendo las pérdidas por defectos de calidad y averías.

Como resultado se obtuvo un nuevo plan de mantenimiento con el fin de optimizar recursos dentro del área de mantenimiento, en colaboración con todos los trabajadores involucrados en el proceso proyectando una reducción de costos esperada. Además, se realizó una mejora en los procesos de mantenimiento mediante el análisis de las actividades dentro del proceso de mantenimiento (Gonzales Pinedo, 2017).

## **5.2 Marco Conceptual**

### **5.2.1 Lubricación**

La lubricación busca reducir la fricción de dos superficies sólidas que se encuentran en movimiento, con el fin de evitar desgaste en las superficies de las partes y de esta manera alargar la vida útil de las mismas. Para realizar una adecuada lubricación se deben tener en cuenta diferentes aspectos que afectan directamente la conformación de la capa protectora como lo son la velocidad de rozamiento de las piezas, acabado superficial de las caras en contacto de las piezas, viscosidad del lubricante y frecuencia de lubricación.

### **5.2.2 Clase de lubricantes**

Teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento de los equipos se deben implementar diferentes clases de lubricantes para garantizar la mínima fricción posible entre sus componentes.

#### **5.2.2.1 Gases**

Con este método, el gas es inyectado a alta presión entre las dos superficies que están en contacto disminuyendo casi a un mínimo la fuerza de fricción que se genera entre ellas. El gas lubricante más utilizado es el aire con una capacidad de soporte de carga de 10 psi.

#### **5.2.2.2 Líquidos**

Este tipo de lubricante es el más utilizado actualmente debido a que es de fácil aplicación y a que cualquier tipo de líquido es considerable lubricante como es el caso del agua. En la industria el más utilizado los lubricantes líquidos son los derivados del petróleo, los cuales están constituidos por un aditivo y una base lubricante.

#### **5.2.2.3 Semisólidos**

Este tipo de lubricante se caracteriza por tener una consistencia mayor a los lubricantes líquidos y por ser una mezcla de grasa con un espesante metálico. Son utilizados en lugares de difícil lubricación ya que permanecen durante más tiempo sobre la superficie lubricada.

#### **5.2.2.4 Sólidos**

Son aquellos lubricantes que se adhieren fuertemente en superficies metálicas y ayudan a disminuir el coeficiente de fricción.

### **5.2.3 Propiedades Físicas**

#### **5.2.3.1 Gravedad específica:**

Ésta se define como la relación peso de un volumen dado de aceite y el peso de un volumen idéntico de agua a una temperatura específica. Su regla general es a 15,6°C (Método ASTM D-287).

#### **5.2.3.2 Color o fluorescencia:**

Solo es un indicativo para dar punto de partida a un aceite nuevo, no tiene nada que ver con su calidad, es característico por cada fabricante y solo sirve para comparar un aceite nuevo y uno usado. (Método ASTM D-1500).

#### **5.2.3.3 Viscosidad:**

Es la resistencia interna para fluir que presentan las moléculas de un líquido cuando pasan una al lado de la otra en movimiento y a una temperatura determinada. Esta manifiesta una un aumento en la fricción interna que trae como consecuencia un aumento de temperatura (Método ASTM D-88 y ASTM D-445).

#### **5.2.3.4 Índice de viscosidad:**

Se define como la mayor o la menor viscosidad de un aceite lubricante cambios de temperatura. Esto a gran importancia ya que a altas temperaturas un aceite lubricante tiende a reducir la viscosidad y romper la película lubricante mientras que si sucede lo contrario a bajas temperaturas presenta tendencia a no fluir y no realizar un trabajo adecuado (Método ASTM. 567).

#### **5.2.3.5 Rigidez dieléctrica:**

Es la capacidad de aislamiento eléctrico que poseen los aceites lubricantes y se determina por la tensión que produce un arco eléctrico permanente entre dos electrodos sumergidos en este **(Método ASTM D1816)**.

### **5.2.4 Propiedades Térmicas**

#### **5.2.4.1 Punto de inflamación o chispa:**

Es la temperatura mínima a la cual los aceites lubricantes pueden llegar antes de generar llama o chispa **(Método ASTM D-92 y ASTM D-93)**.

#### **5.2.4.2 Punto de combustión:**

Es el punto de temperatura en el cual un aceite lubricante forma gases suficientes para mantener una llama durante 5 segundos como mínimo. Este suele estar entre los 30°C y los 60°C superior al de inflamación. Los puntos de inflamación y de combustión no deben ser confundidos con los de auto inflamación que es la temperatura a la cual se inflama el lubricante y se quema sin necesidad de aplicar llama o chispa **(Método ASTM D-92 y ASTM D-93)**.

#### **5.2.4.3 Punto de fluidez:**

Es la temperatura máxima donde el aceite todavía es un fluido y se define como la temperatura 2,7°C por encima de la cual el aceite se mantiene en su composición cuando se inclina el recipiente donde está alojado **(Método ASTM D- 97)**.

#### **5.2.4.4 Punto de floculación:**

Es la temperatura máxima donde se empieza a separar el floculado, parafinas u otras sustancias en solución cuando se somete a un proceso de enfriamiento una mezcla conformada por un 10% del aceite y un 90% de fluido refrigerante **(Método ASTM D-97)**.

## **5.2.5 Propiedades Químicas**

### **5.2.5.1 Residuos de carbón:**

Es la cantidad de carbón en porcentaje por peso que queda después de que una muestra de aceite es sometida a un proceso de evaporación y pirolisis (**Método ASTM D-189 y ASTM D-524**).

### **5.2.5.2 Contenido de cenizas sulfatadas:**

Está relacionado con la cantidad de materiales no combustibles que pueden estar presentes en el aceite como el polvo y partículas metálicas por superficies desgastadas (**Método ASTM D-482 y ASTM D-874**).

### **5.2.5.3 Numero de neutralización (NN) o número ácido total (TAN):**

Es la relación de miligramos de una base estándar (KOH), que es necesario añadirle a un gramo de aceite para neutralizarle los ácidos que contenga (**Método ASTM D-664 y ASTM D974**).

### **5.2.5.4 Numero básico total (TBN):**

Hace referencia a la alcalinidad de un aceite nuevo y especifica la cantidad en miligramos de un ácido (HCL) que es necesario añadirle a cada gramo de aceite nuevo para neutralice las sustancias básicas que posee. (**Método ASTM D-664 y ASTM D-2896**).

### **5.2.5.5 Punto de anilina:**

Indica la cantidad de hidrocarburos saturados no reactivos en aceite lubricante y permite determinar la composición de la base y tendencia a deformar sellos de caucho en las maquinas que lubrican con aceite lubricante. (**Método ASTM D- 611**).

#### **5.2.5.6 Corrosión al cobre:**

Determina la tendencia del aceite lubricante a presentar corrosión en metales blancos tales como el babbit, cobre, bronce, entre otros (**Método ASTM D-130**).

#### **5.2.5.7 Herrumbre:**

Determina en los aceites lubricantes a la reacción química presente por materiales ferrosos tales como el hierro o el acero, los cuales pueden hacer presentar en el lubricante una especie de oxidación dependiendo del tipo de metal que corroa el aceite (**Método ASTM D-665**).

### **5.2.6 Propiedades Superficiales.**

#### **5.2.6.1 Demulsibilidad:**

Es la resistencia de un aceite a emulsificarse con el agua cuando se encuentra en presencia de esta (**Método ASTM D-1401 y ASTM D-2711**).

#### **5.2.6.2 Aero emulsión o atrapamiento de aire:**

Es una emulsión aire-aceite por burbujas pequeñas de aire, de tamaño bastante inferior a los de la espuma superficial, dispersas en la masa del aceite. (**Método ASTM D-892**).

#### **5.2.6.3 Formación de espuma:**

Es la espuma generada en el aceite lubricante generada por distintas circunstancias tales como la agitación, disminución de presión exterior y un aumento de la viscosidad de la fase líquida (**Método ASTM D-892**).

#### **5.2.6.4 Tensión Interfacial:**

Es el grado de resistencia que ofrecen dos líquidos que no son miscibles a su separación cuando estos se ponen en contacto (**Método ASTM D971**).



## **5.2.7 Características Fisicoquímicas de las Grasas**

### **5.2.7.1 Consistencia:**

En las grasas es una medida de dureza relativa y se puede definir como la propiedad de fluidez de esta cuando se aplica una presión determinada a una temperatura específica. Esta característica se da de acuerdo con la penetración ASTM, con su correspondiente valor en NLGI **(Método ASTM D-217)**.

### **5.2.7.2 Viscosidad aparente:**

Está relacionada en las grasas cuando disminuye la viscosidad aparente aumenta la temperatura o el régimen de esfuerzo cortante. Punto de goteo: Se define como la temperatura a la cual la grasa pasa de un estado semisólido a sólido plástico, a líquido y fluye a través de un orificio estándar en las condiciones de ensayo **(Método ASTM D-566 y ASTM D-2265)**.

### **5.2.7.3 Estabilidad mecánica:**

Es la propiedad que tienen las grasas de retener su consistencia, aspecto de fabricación cuando está sometida a un trabajo crítico o su capacidad para volver a un estado original **(Método ASTM D- 1813)**.

**5.2.7.3.1 Color:** Esta característica no aplica para distinguir calidad en la grasa, solo es un indicador que da el fabricante para su distinción.

**5.2.7.3.2 Aspecto:** Es la apariencia de la grasa a ser mantecosa, fibrosa, suave y de esta apariencia depende la viscosidad del fluido, tipo de espesante, presencia de aditivos y procesos de fabricación.

### **5.2.7.4 Protección contra corrosión:**

Esta característica dependerá del tipo de jabón metálico utilizado en la fabricación de la grasa, capacidad para formar y mantener un sello que proteja la superficie lubricada.

#### **5.2.7.5 Estabilidad a la oxidación:**

Es la resistencia de la grasa al deterioro químico durante su almacenamiento y operación causada por la exposición al aire (**Método ASTM D-942**).

#### **5.2.8 Resistencia al lavado por agua**

Es la característica que permite no modificar la estructura molecular de la grasa al entrar en contacto con el agua como lo es en gran parte las grasas sódicas.

#### **5.2.9 Perdida de evaporación**

Es la capacidad que poseen las grasas a no evaporar fracciones volátiles de aceite, esto con el fin de evitar el endurecimiento de esta.

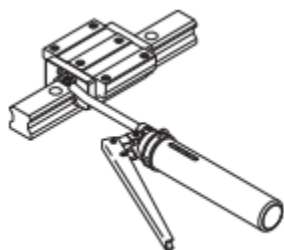
#### **5.2.10 Métodos de lubricación**

Dependiendo de los diferentes sistemas de equipos existen diferentes métodos de lubricación para dar una mejor protección y lubricación a los mismos.

##### **5.2.10.1 Lubricación Manual**

En esta metodología se aplica la grasa periódicamente con una graser manual en los puntos de lubricación que han sido diseñados por el fabricante. Es recomendable establecer unas rutinas de lubricación con la cantidad y especificación del fabricante de acuerdo con la frecuencia que se especifique.

*Ilustración 1 Lubricación Manual*



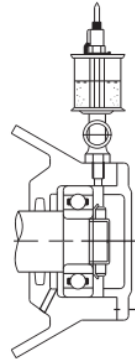
\* Lubricación con una pistola de engrase

Fuente: [https://tech.thk.com/es/products/pdf/es\\_a24\\_005.pdf](https://tech.thk.com/es/products/pdf/es_a24_005.pdf)

### 5.2.10.2 Lubricación por goteo

Este tipo de lubricación se utiliza generalmente en rodamientos que trabajan a una velocidad relativamente alta, el aceite es almacenado en un depósito visible y de fácil acceso para reposición de nivel<sup>1</sup>.

*Ilustración 2 Lubricación por Goteo*

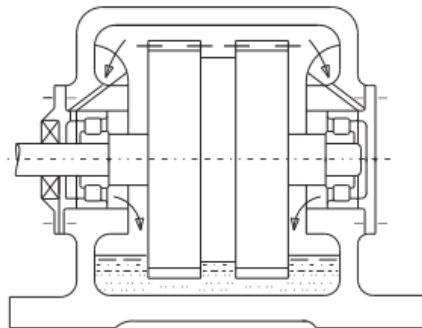


Fuente: [www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na\\_es/12-LUBRICACION.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_es/12-LUBRICACION.pdf)

### 5.2.10.3 Lubricación por salpicadura

Mediante este método de lubricación, el aceite es salpicado sobre los rodamientos mediante engranajes o simples discos giratorios instalados cerca de los rodamientos y sin necesidad de sumergir los rodamientos en aceite<sup>2</sup>.

*Ilustración 3 Lubricación por Salpicadura*



Fuente: [www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na\\_es/12-LUBRICACION.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_es/12-LUBRICACION.pdf)

<sup>1</sup> [www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na\\_es/12-LUBRICACION.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_es/12-LUBRICACION.pdf)

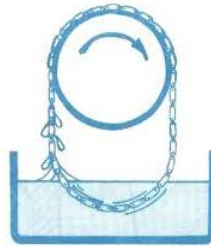
<sup>2</sup> [www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na\\_es/12-LUBRICACION.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_es/12-LUBRICACION.pdf)

#### 5.2.10.4 Lubricación por cadena

La flexibilidad de la cadena le permite tener mayor superficie de contacto con el eje que va a lubricar. En consecuencia, la cadena suministra más cantidad de aceite a bajas velocidades.

Periódicamente debe chequearse el nivel del aceite del cojinete donde están alojados los anillos o cadenas, para permitir que éstos se sumerjan adecuadamente. El aceite del recipiente debe estar siempre limpio y libre de contaminaciones<sup>3</sup>.

*Ilustración 4 Lubricación por Cadena*



Fuente: [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos\\_maquinas/vol12/volumen12.html#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol12/volumen12.html#)

#### 5.2.10.5 Lubricación por estopa o mecha

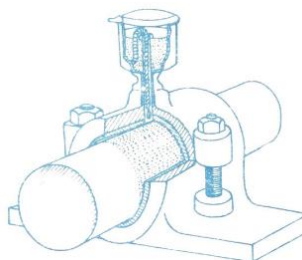
Este sistema de lubricación aplica el principio de la capilaridad de un material poroso tal como el cordón de tela o estopa.

El aceite es absorbido por la mecha y ésta lo deposita en el órgano que se quiere lubricar. Un extremo de la mecha está sumergido en el aceite, que también se encuentra en un frasco invertido, y la otra se pone en contacto con el órgano en movimiento, que va a lubricar. La cantidad de aceite se regula variando el número de mechas y variando la altura entre el nivel de aceite en el recipiente y el extremo opuesto de la mecha<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos\\_maquinas/vol12/volumen12.html#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol12/volumen12.html#)

<sup>4</sup> [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos\\_maquinas/vol12/volumen12.html#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol12/volumen12.html#)

*Ilustración 5 Lubricación por Estopa*



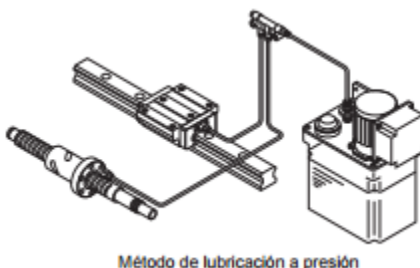
Fuente: [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos\\_maquinas/vol12/volumen12.html#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol12/volumen12.html#)

#### **5.2.10.6 Lubricación Forzada**

En este método, se introduce una cantidad determinada de lubricante a presión en intervalos determinados. Normalmente, no se recoge el lubricante luego de usarlo.

Aunque se requiere un sistema de lubricación especial con una tubería o un diseño semejante, con este sistema se reducen las probabilidades de olvidarse de reponer el lubricante. Este método se usa principalmente para la lubricación con aceite. Si usa grasa, es necesario examinar el diámetro apropiado de la tubería y la consistencia requerida de la grasa<sup>5</sup>.

*Ilustración 6 Lubricación Forzada*



Método de lubricación a presión

Fuente: [https://tech.thk.com/es/products/pdf/es\\_a24\\_005.pdf](https://tech.thk.com/es/products/pdf/es_a24_005.pdf)

#### **5.2.11 Selección de lubricante**

Para realiza una correcta selección de aceite, se debe tener en cuenta primeramente la recomendación del fabricante, el cual conoce todos los parámetros de funcionamiento de la máquina, con el fin de lograr las adecuadas lubricaciones de todos los componentes.

<sup>5</sup> [https://tech.thk.com/es/products/pdf/es\\_a24\\_005.pdf](https://tech.thk.com/es/products/pdf/es_a24_005.pdf)

### **5.2.11.1 Parámetros que se deben tener en cuenta**

Siempre que se vaya a seleccionar el aceite para un equipo industrial se debe tener presente que se debe utilizar un aceite de especificación ISO, y que cualquier recomendación que se debe llevar a este sistema. Los siguientes son los pasos que es necesario tener en cuenta para seleccionar el aceite para un equipo industrial:

1. Consultar en el catálogo del fabricante del equipo, las recomendaciones del aceite a utilizar.
2. Selección del grado ISO del aceite requerido a la temperatura de operación en el equipo.
3. Selección del aceite industrial, de la misma marca que los lubricantes que se están utilizando en la empresa y su aplicación en el equipo.

### **5.2.12 Catálogo del fabricante del equipo**

El fabricante del equipo en su catálogo de mantenimiento especifica las características del aceite que se debe utilizar, para que los mecanismos del equipo trabajen sin problema alguno hasta alcanzar su vida de diseño. Es muy importante que el fabricante sea claro al especificar el aceite, de lo contrario, el usuario del equipo se debe poner en contacto con él para que le aclare las dudas que pueda tener.

Las recomendaciones del aceite a utilizar el fabricante del equipo las puede dar de las siguientes maneras:

1. Especificar el nombre y la marca del aceite a utilizar y las equivalencias en otras marcas de lubricantes.
2. Dar el grado ISO del aceite y las demás propiedades fisicoquímicas del aceite, como índice de viscosidad, punto de inflamación, punto de fluidez, etc.

3. Dar la viscosidad del aceite en otro sistema de clasificación de la viscosidad como AGMA, ó SAE.
4. Dar la viscosidad del aceite en cualquier sistema de unidades de medida como SSU, SSF, °E (Grado Engler), etc, y las demás propiedades fisicoquímicas del aceite.

En cualquiera de las formas anteriores, como el fabricante puede especificar el aceite a utilizar en un equipo, es muy importante que él especifique la temperatura de operación a la cual va a trabajar dicho aceite en el equipo y la temperatura ambiente para la cual se recomienda utilizarlo, de lo contrario, si el fabricante solo especifica el grado ISO del aceite, es factible que se presenten problemas de desgaste erosivo o adhesivo a corto o a largo plazo en los mecanismos lubricados. De no estar disponible esta información, el usuario se debe contactar con el fabricante del equipo y que se la envíe lo más pronto posible<sup>6</sup>.

### ***5.2.13 Equipos Rotativos***

Son equipos provistos de una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. Normalmente el rotor gira en el interior del estator. Al espacio de aire existente entre ambos se le denomina entrehierro.

#### **5.2.13.1 Bomba**

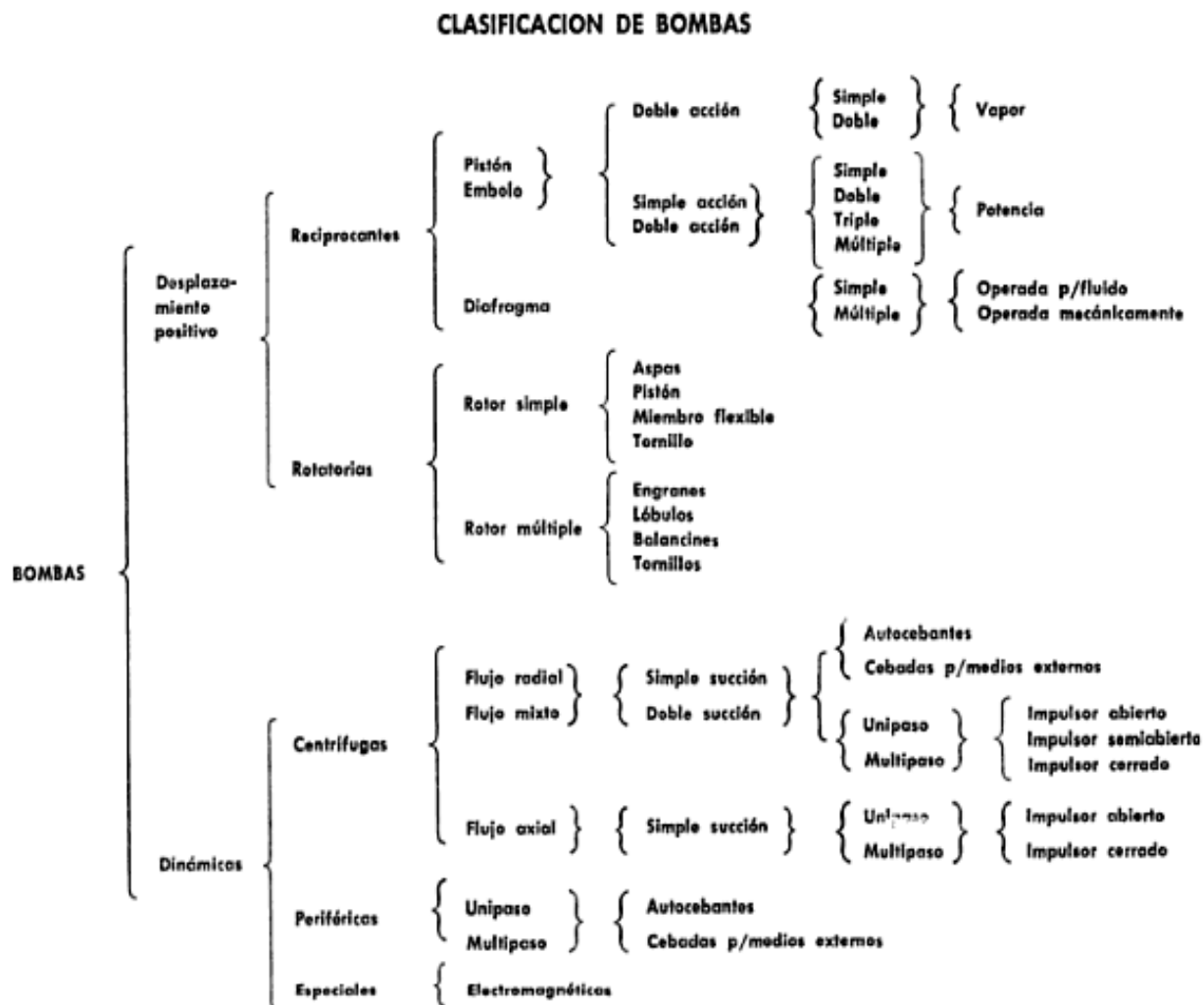
Es una máquina que absorbe energía mecánica que puede ser generada por un motor eléctrico, motor de combustión interna, térmico, etc. y restituye al líquido que la atraviesa en forma de presión, posición o velocidad (energía hidráulica).

Existes muchos tipos de bombas por lo cual es adecuado realizar una clasificación que se considera más completa y que se utilizará en este documento(Hydraulic Institute, 2010).

---

<sup>6</sup> <http://www.widman.biz/boletines/2.html>

Figura 1 Clasificación de Bombas



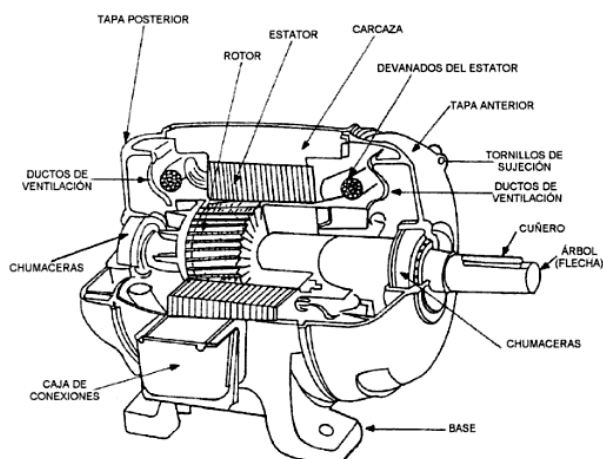
Fuente: <http://www.pumps.org/>

### 5.2.13.2 Motor Eléctrico

Es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.



*Figura 2 Motor Eléctrico*



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico)

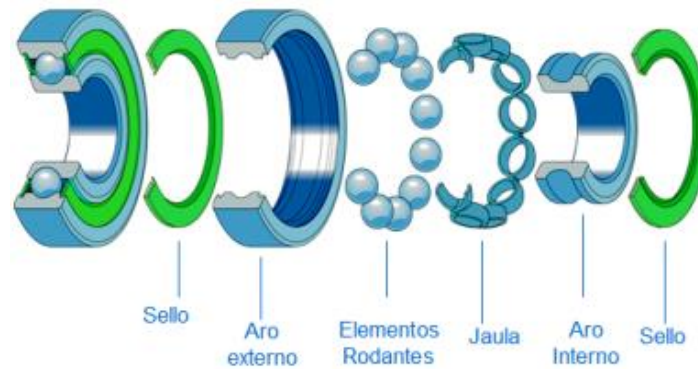
### 5.2.13.3 Rodamiento

Los rodamientos son elementos mecánicos que aseguran un enlace móvil entre dos elementos de un mecanismo, uno con respecto a otro; siendo su función principal el de transmitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con presión y con un rozamiento mínimo.

Los rodamientos están constituidos por un grupo de elementos que lo conforman y que son:

- Dos aros o anillos, uno ligado al elemento fijo y otro al elemento móvil, conformando entre ellos pistas o caminos de rodadura.
- Cuerpos o elementos de rodadura que permiten el desplazamiento relativo de los dos aros con un rozamiento mínimo.
- Jaulas o elementos separadores que guían y separan los elementos rodantes.

*Figura 3 Partes del Rodamiento*



Fuente: Presentación de SKF.

Para su aplicación y correcta selección se deben tener en cuenta aspectos importantes como son:

- La magnitud de la carga a soportar.
- Dirección de la carga.
- Espacio disponible.
- Precisión
- Rigidez.
- Límites de velocidad

Es de suma importancia la correcta selección ya que de estos factores depende la vida útil del equipo y por otro lado la vida útil del rodamiento en sí. Dependiendo de los aspectos anteriores existen diferentes tipos de rodamiento:

- Rodamiento de bolas
- Rodamiento de rodillos.
- Rodamiento cilíndrico.
- Rodamiento de agujas.
- Rodamientos de rodillos esféricos.
- Rodamientos de rodillos cónicos

#### ***5.2.14 Fichas de lubricación***

Las fichas de lubricación son los manuales de los diferentes equipos en campo para realizar la respectiva lubricación, es decir que en ella encontramos el tipo de lubricante a utilizar, cantidad, modo de aplicación, frecuencia de aplicación, fotos de puntos de lubricación, ubicación del equipo, código del equipo y componentes a lubricar.

Se logra con las fichas de lubricación dar un estándar para la aplicación de lubricantes a las diferentes clases de equipos en una planta, teniendo en cuenta que en ocasiones cuando ingresa gente nueva llegan con diferentes conocimientos y métodos de realización de lubricación.

#### ***5.2.15 Cartas de lubricación***

Un objetivo primordial de la carta de lubricación es hacer una relación de los lubricantes que se utilizan en cada uno de los componentes de sus equipos y elaborar un concentrado de los diferentes lubricantes empleados en la planta en general.

Es típico en una organización que, a lo largo del tiempo, conforme cambian los supervisores, cada uno seleccione lubricantes a su gusto. Al paso de algunos años, se tiene una muy amplia gama de lubricantes, de diferentes familias y proveedores. En ocasiones puede encontrar grasas especiales en aplicaciones convencionales; es decir, puede estar lubricando un rodamiento de poca exigencia con una grasa de alto desempeño (y alto costo), destinada para aplicaciones especiales, lo que implica un importante desperdicio de recursos. La carta de lubricación es la herramienta perfecta para hacer la correcta selección y consolidación de los lubricantes de acuerdo con las diferentes aplicaciones que se tengan, Es importante, en la medida de lo posible, reducir al mínimo las familias de aceites y grasas para evitar tener un mundo de lubricantes en el almacén, lo cual genera costo, aumenta el riesgo de error, ocupa más espacio e

incrementa el tiempo de almacenamiento. (carta de lubricacion un documento clave en la gestion de lubricacion).

las principales funciones de las cartas de lubricación son:

1. Determinar Cantidad de Engrase.
2. Determinar la cantidad instalada de la planta.
3. Establecer máximos y mínimos de lubricantes.
4. Identificación del Lubricante y Cantidad en Cada Equipo.

#### ***5.2.16 Plan de lubricación***

Un programa de lubricación bien diseñado y ejecutado puede brindar grandes oportunidades económicas, cuando se genera planes de lubricación para nuestros clientes, utilizamos un enfoque dividido en tres fases o etapas;

La primera fase es un diagnóstico del proceso de lubricación que actualmente posee la planta. Durante esta fase, un consultor visita las instalaciones del cliente y hace una evaluación, comparando el estado actual con el estado óptimo de referencia (ORS, por sus siglas en inglés). Con esto se determinan las brechas existentes con las mejores prácticas en las áreas principales del programa de lubricación del cliente. Al final de esta fase, el cliente no sólo recibe un informe claro de lo que tiene que hacer para transformar su planta, también recibe el grado de madurez y el nivel prioritario de implementación (NIP, por sus siglas en inglés) para cada uno de los elementos evaluados que deben que ser desarrollados, así como el nivel de cumplimiento de su programa de lubricación.

La segunda fase consiste en diseñar el estado óptimo de referencia para cada punto de lubricación de la maquinaria de la planta. Esto incluye el desarrollo de procedimientos y tareas de lubricación consistentes principalmente en modificaciones a la maquinaria, inspecciones,

análisis de aceite, mantenimiento preventivo (PM) y tareas basadas en la condición de las máquinas, todas relacionadas para mejorar la mantenibilidad y confiabilidad de los activos.

La tercera fase, la cual es el enfoque principal de este artículo, es la implementación del diseño realizado en la fase dos. Modificar la máquina es la primera etapa de esta fase. Si realmente quiere hacer cambios hacia una lubricación de clase mundial, usted necesita hacer modificaciones en su maquinaria (Wright, Jeremy, 2013).

#### ***5.2.17 Manipulación y Almacenamiento de Lubricante***

Con el fin de evitar un deterioro en los aceites lubricantes es necesario seguir una serie de pasos los cuales nos van a asegurar una buena manipulación de estos.

1. Verifique si las cantidades recibidas concuerdan con las cantidades solicitadas.  
(verificar las unidades).
2. Verifique los sellos de las canecas o posibles presentaciones en los cuales se distribuyen los lubricantes.
3. Verifique si existen fugas o averías en los recipientes donde se encuentra almacenado el lubricante.
4. Verifique que el nombre del producto sea legible y con sus respectivas especificaciones técnicas.

#### ***5.2.18 Mantenimiento Productivo Total***

El mantenimiento productivo total, es una metodología de mejora que busca optimizar la eficiencia global de los equipos aumentando la disponibilidad de la maquinaria y mejorando su rendimiento y calidad; el Mantenimiento Productivo Total “TPM”, en inglés “Total Productive Manténganse”, es un sistema industrial japonés desarrollado principalmente en la década de los 70’s, surge por la necesidad de mejorar los productos y servicios en las empresas, promoviendo

la interacción del operario, la máquina y la compañía. El TPM busca la integración de todo el personal de la compañía con el propósito de obtener una mejora en el proceso de producción a través de la eliminación de pérdidas, buscando aumentar la productividad del personal, de los equipos y de la planta en general.

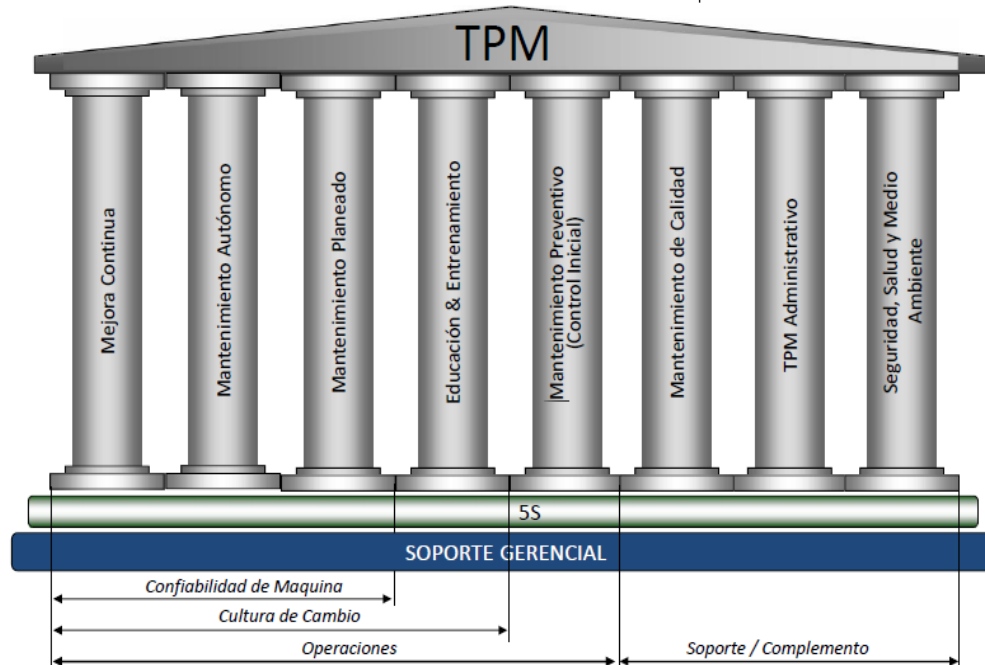
La institución dedicada al desarrollo de la metodología y conceptos del TPM, es el Japan Institute of Plant Maintenance y define el siguiente concepto: “El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene todas las pérdidas en todas las operaciones de las empresas. Esto incluye cero accidentes, cero defectos y cero fallos en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos (JIPM, 2019).

Para la implementación del TPM en las compañías se especificaron 8 pilares, estos son la base fundamental de esta metodología, cada uno de ellos nos dice una ruta a seguir para lograr los objetivos de eliminar o reducir las pérdidas: como son paradas programadas, ajustes de producción, fallos de los equipos, fallos de los procesos, pérdidas de producción normales, pérdidas de producción anormales, defectos de calidad y reprocesamiento (Gallego Valencia & Arboleda Urrea, 2019).

- 1) Mejoras Enfocadas (Kobetsu Kaizen).
- 2) Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen).
- 3) Mantenimiento Planificado.
- 4) Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen).

- 5) Prevención del Mantenimiento.
- 6) Actividades de Departamentos Administrativos y de Apoyo.
- 7) Formación y Adiestramiento.
- 8) Gestión de Seguridad y Entorno.

*Figura 4 Pilares del TPM*



Fuente: El Mundo de la Ingeniería Industrial: Mantenimiento Productivo Total (TPM)

(Rochichan.Blogspot.Com).

### **5.2.19 Matriz de Criticidad**

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- ✓ Instalaciones.
- ✓ Sistemas.
- ✓ Equipos.
- ✓ Elementos de un equipo.

De acuerdo con su impacto total del negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación, Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos.

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis (Romero Carranza, 2013).

*Figura 5 Matriz de criticidad*



Fuente: Pemex 2019



### ***5.2.20 Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad (AMFEC)***

Es una metodología para identificar y analizar todos los modos de fallos potenciales de las diferentes partes de un sistema, los efectos que estos fallos puedan tener en el sistema, cómo evitar los fallos y/o mitigar sus efectos en el sistema.

Dicho de otro modo y simplificando, el FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) es una técnica para identificar, priorizar y eliminar posibles fallas del sistema (a nivel de diseño o proceso). Los FMECA básicamente se diferencian de FMECA de

Diseño y FMECA de Proceso: el primero hace referencia al producto o sistema en sí, el segundo se centra en los problemas derivados de cómo el equipo es fabricado, mantenido u operado.

Inicialmente el FMECA se llamaba FMEA o AMFE. La C es un nuevo parámetro que cada vez se utiliza más, el cual indica la criticidad o gravedad de los diversos efectos de los fallos, pudiendo priorizar su importancia (Leedeo Engineering, 2020).

Este método de análisis se utiliza principalmente para:

- Tener un criterio objetivo de selección de alternativas de diseños durante las fases iniciales de un desarrollo de un producto o sistema
- Tener un método para considerar todos los modos de fallo posibles, así como sus efectos
- Listar posibles fallos e identificar la gravedad de sus efectos
- Desarrollar criterios para ejecutar un plan de pruebas robusto y eficaz para la detección de problemáticas
- Acumular conocimiento para futuros desarrollos y cambios de diseño
- Proporcionar una base para la planificación del mantenimiento
- Proporcionar una base para el análisis de fiabilidad RAMS

### 5.3 Marco Normativo Legal

Tomando como marco normativo el instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, su normativa técnica 1840 del 20-6-2012, que lleva como título “*Petróleo y sus Derivados. Bases Lubricantes*”, indica los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales se deben someter las bases lubricantes vírgenes derivadas del petróleo, usadas en la fabricación de grasas y aceites para el uso automotor o de uso industrial, de tal manera que se referencian las características importantes de los fluidos indispensables para el conocimiento tales como lo son normas ASTM, definiciones, clasificación, designación, requisitos de viscosidad, fluidez, punto de inflamación, corrosión, contenido de agua, pruebas de emulsibilidad, contenido de azufre, color, volatilidad, entre otros.

Esta norma brinda herramientas en cuanto al conocimiento general en los lubricantes para su adecuado uso teniendo en cuenta su aplicación, ya sea de carácter automotriz o industrial; determinación del lubricante en cuanto a las características que presenten como su viscosidad, fluidez, contenidos, volatilidad; además del manejo del lubricante y su modo de transporte y tratamiento una vez cumple su vida útil (NTC 1840, 2017).

## **6. Marco Metodológico**

### **6.1 Recolección de la Información**

Con el fin de generar un adecuado plan de lubricación para mejorar la Confiabilidad de los equipos rotativos del sistema de inyección de agua existentes en la facilidad CPE-6, se debe realizar el levantamiento de información tanto por medio físico como en internet, ubicar los manuales de los equipos instalados y recolectar la información del conocimiento del personal técnico en cuanto a su experiencia, con esta información se discriminaran tipos de equipos su clasificación y así mismo los lubricantes indicados para su funcionamiento según la recomendación del fabricante, de igual forma se recolectará información de la operación de los mismos, número de fallas y tipos de fallas con el fin de poder evaluar la mejor frecuencia de intervención.

### **6.2 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es descriptivo ya que reseña los rasgos y cualidades de las máquinas que están bajo estudio, y el paradigma es mixto porque se aplican datos cualitativos y cuantitativos en el desarrollo de la investigación.

De acuerdo con el tipo de investigación seleccionado se escoge la población de equipos los cuales son objeto del desarrollo del proyecto, se procede a realizar el listado de equipos (anexo 1) con su respectiva descripción y función en el proceso, posteriormente se realiza el levantamiento de información de los manuales por equipo y basados en esta información se inicia la creación de las fichas técnicas en las cuales se describe las características técnicas de cada máquina.

A la vez se realiza el levantamiento de la información con el personal técnico en cuanto a su conocimiento en la práctica, se realiza entrevistas cualitativas a los líderes técnicos de

mantenimiento haciendo preguntas puntuales de forma secuenciada, dirigida y de tipo abiertas sobre el conocimiento de los equipos en donde se pudo obtener información de la ejecución de la actividad como tal y evaluar el modo de aplicación de los lubricantes, las frecuencias en las que se viene desarrollando la actividad y los tipos de lubricantes que se utilizan a la fecha.

Para la recolección de información técnica de los equipos fue necesario ubicar en la Biblioteca general de la planta los manuales de los equipos a fin de revisar las recomendaciones que da cada fabricante en cuanto al tipo de lubricación a utilizar en cada equipo y el lubricante recomendado, con esta información se inicia la elaboración de las fichas de lubricación por máquina discriminando datos técnicos del equipo, información técnica del lubricante a utilizar, los puntos de lubricación y herramientas necesarias para el desarrollo de la actividad.

Después teniendo la información anteriormente nombrada se realiza la carta de lubricación recopilando la información de las fichas técnicas y las fichas de lubricación de cada máquina para proceder a la generación del plan de lubricación a implementar.

### **6.3 Fuentes de Obtención de la Información**

**Como fuente primaria** de la información se obtiene indicadores de gestión por parte del departamento de Confiabilidad y P&P de la compañía, indicadores tales como Malos Actores, indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad, tendencia de Cumplimiento de la Programación y Balance de Actividades Preventivas versus Correctivas, con el fin de poder evaluar el impacto que tiene sobre el proceso la falta de una buena lubricación en la maquinaria.

**Como fuente secundaria** se obtienen los manuales de los equipos, trabajos de grado, artículos científicos e información en modo magnético ubicado en la web.

## 6.4 Herramientas

El plan de lubricación de los Equipos Rotativos del Sistema de Inyección de Agua del campo CPE-6, se realiza con el estudio previo de la información suministrada por Confiabilidad y P&P, al igual que la información de los manuales de los equipos y las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a las características de los lubricantes a utilizar, en el cual se incluye propiedades fisicoquímicas, cantidad a suministrar, frecuencia y método de lubricación teniendo en cuenta las condiciones de operación.

## 6.5 Metodología

Para el desarrollo del objetivo **No.1** “Detallar y elaborar el listado actual de los equipos existentes en el sistema de inyección de agua de la facilidad de producción CPE-6 para identificar su estado operativo, y a su vez realizar el levantamiento de información de los equipos que componen el sistema”. Se realizará una visita al sitio de operación para hacer una inspección visual a los equipos, se realizará levantamiento de información de cada máquina con su respectivo registro fotográfico para la creación del listado de equipos del sistema, se verificará el estado actual de operación y se entrevistará al personal operativo que tiene a cargo los equipos con el fin de recolectar información histórica de funcionamiento.

Para el desarrollo del objetivo **No.2** “Precisar la importancia que tiene para el campo la creación de las cartas y fichas de lubricación teniendo en cuenta: el tipo de lubricación a utilizar, cantidad de lubricante que se debe aplicar, frecuencia de aplicación de acuerdo con horómetros y/o recomendación del fabricante. Se elaborará las fichas técnicas de cada equipo incluyendo sus características según manuales de operación y mantenimiento, para posteriormente crear las fichas de lubricación indicando información técnica del lubricante a utilizar, los puntos de lubricación y herramientas necesarias de trabajo.

Para el desarrollo del objetivo **No.3** “Examinar los tipos de falla que se presentaron antes de la aplicación del Plan de Lubricación a los Equipos Rotativos mediante KPI’s”. Se realizará revisión a la información suministrada por el departamento de Confiabilidad, Planeación & Programación (P&P) para analizar las fallas presentadas por falta de lubricación, se hará un comparativo del número y tipo de fallas presentadas antes del plan de lubricación y el comportamiento actual de los equipos después de la puesta en marcha del plan.

Para el desarrollo del objetivo **No.4** “Identificar el beneficio que recibe el departamento de mantenimiento y por ende la compañía con la propuesta del plan de lubricación de los equipos del sistema de inyección de agua”. Se realizará la documentación técnica necesaria para ejecutar el plan de lubricación del sistema de inyección de agua, estableciendo indicadores de gestión y se calculará el análisis costo beneficio de la implementación de este plan.

## **6.6 Información Recopilada**

Se procede a realizar la visita a campo a fin de verificar el estado actual de los equipos del sistema de inyección de agua, en el que se realiza el levantamiento de información de las placas de estos y el registro fotográfico de cada equipo, al igual que se recibe información del estado de operatividad de las máquinas por parte de los operadores de área. Con la información recopilada se procede hacer el listado de los equipos que componen el sistema a fin de delimitar el número de equipos, sistemas y subsistemas que entraran en el plan de lubricación.

### ***6.6.1 Listado de Equipos***

Se procede a realizar el levantamiento de la información de los diferentes equipos que se encuentra actualmente en el sistema de inyección de agua de la facilidad, dando como resultado 14 equipos.

El listado de equipos con su respectiva información se puede observar en la tabla 1. En donde se puede encontrar los siguientes datos:

- Descripción del Equipo: Se describe con el TAG del equipo, luego tipo de equipo y por último se especifica la ubicación del equipo
- Equipo: Marca y Serie del equipo.
- Potencia Motor (HP): potencia nominal de equipo si aplica.

*Tabla 1 Listado de Equipos Sistema de Inyección de Agua.*

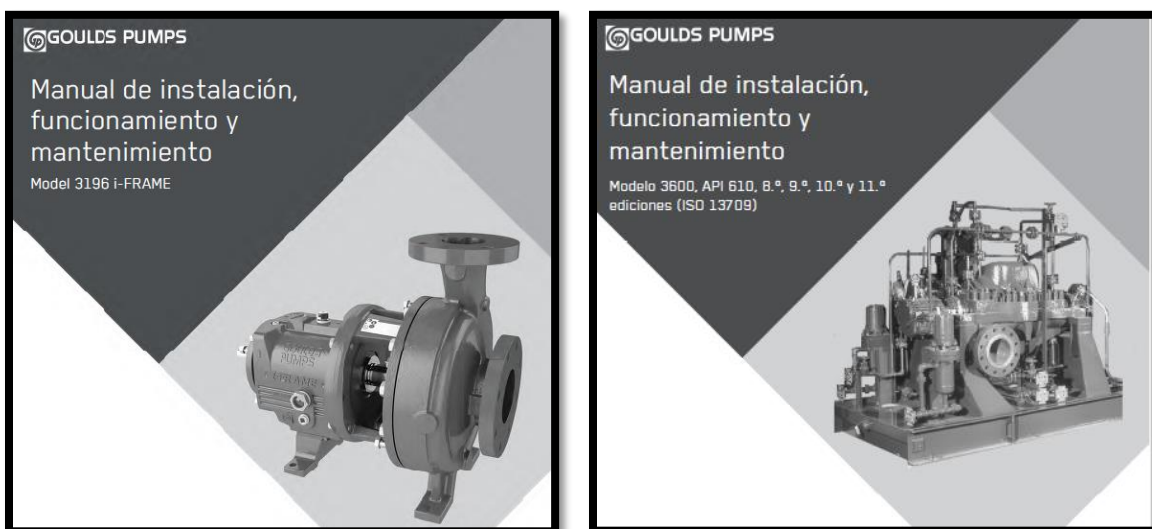
LISTADO EQUIPOS CPF - CPE6				
Cod SAP	Descripción del Equipo	Equipo	Potencia Motor (HP)	Contractual
<b>Sistema de Inyección de Agua CPE-6</b>				
8000000784	P-041A Moto-Bomba Booster	Weg02018EP3E256T	25	1
8000000785	P-041A Moto-Bomba Booster	Durco Flowserve2K 3X2-10 ARV		1
8000000786	P-041B Moto-Bomba Booster	Weg02018EP3E256T	25	1
8000001472	P-041B Moto-Bomba Booster	Durco Flowserve2K 3X2-10 ARV		1
8000000791	P-041C Moto-Bomba Booster	Us MotorDA92	50	1
8000000792	P-041C Moto-Bomba Booster	Goulds3196 2X3-8		1
8000000793	P-042A Moto-Bomba Inyeccion	TecoQZAD143061-3	600	1
8000000794	P-042A Moto-Bomba Inyeccion	GouldsE278-C5598-3		1
8000000795	P-042B Moto-Bomba Inyeccion	TecoQZAD143061-1	600	1
8000000798	P-042B Moto-Bomba Inyeccion	GouldsE278-C5598-1		1
8000000799	P-042C Moto-Bomba Inyeccion	TecoQZAD143061-2	600	1
8000000796	P-042C Moto-Bomba Inyeccion	GouldsE278-C5598-2		1
8000000797	P-042D Moto-Bomba Inyeccion	Siemens3003241703-10	1500	1
8000000903	P-042D Moto-Bomba Inyeccion	Reda HPSG3A - 3B		1

14

Fuente: Autores

Se procede a ubicar los manuales de los equipos para verificar las recomendaciones técnicas de los fabricantes en cuanto a la lubricación de estos, especificaciones del tipo de lubricante a utilizar, frecuencias a establecer y puntos de lubricación de cada equipo. A continuación, se relaciona imágenes de algunos de los manuales encontrados.

*Figura 6 Manuales de los equipos del Sistema de Inyección de Agua.*



Fuente: Manuales de Operación y Mantenimiento de Bombas GOULDS PUMPS

En las siguientes figuras se puede observar las recomendaciones que hace el fabricante en sus manuales referente al tema de lubricación para cada bomba respectivamente, en donde se describe los métodos recomendados y los tipos de lubricantes a utilizar lo cual sirve como base para el inicio de la creación de las fichas tanto técnicas como de lubricación.



Figura 7 Recomendaciones de lubricación según manuales.

### 5.6.2 Lubricación de los cojinetes

**AVISO:**  
La grasa puede asentarse en el equipo que se deja en punto muerto y dejar los rodamientos lubricados inadecuadamente. Verifique el nivel de grasa de una bomba que ha estado fuera de servicio por un período prolongado y, si fuera necesario, vuelva a engrasarla.

Las bombas se envían sin aceite. Los rodamientos lubricados con aceite se deben lubricar en el lugar de trabajo.  
Los rodamientos lubricados con grasa se lubrican en fábrica.  
El fabricante de los cojinetes llena los cojinetes engrasados de por vida con grasa y los sella en la fábrica. No es necesario lubricar ni sellar estos rodamientos.

#### 5.6.2.1 Volúmenes de aceite

**Requisitos de volumen de aceite**  
Esta tabla muestra la cantidad de aceite necesaria para lubricar los rodamientos con aceite.

Bastidor	mil	1/4 gal	oz
STI	400	0.5	16
MTI	1400	1.5	47
LTI	1400	1.5	48
XLTi y I17	3000	3	96

#### 5.6.2.2 Requisitos de aceites lubricantes

**Requisitos de aceite basados en la temperatura**  
Para la mayoría de las condiciones de funcionamiento, las temperaturas de los rodamientos varían entre 49°C | 120°F y 82°C | 180°F, y puede utilizarse un aceite de viscosidad ISO grado 68 a 38°C | 100°F, si las temperaturas superan los 82°C | 180°F, consulte la tabla donde se indican los requisitos de temperatura.

Temperatura	Requisito de aceite
Las temperaturas de los rodamientos superan los 82°C   180°F	Utilice viscosidad ISO grado 100 con refrigerante de caja de rodamientos o engrasador de aceite lubricar con aletas. El engrasador de aceite lubricar con aletas viene de manera estándar con el modelo HT 3196 y es opcional para todos los demás modelos.
Las temperaturas de los líquidos bombeados superan los 177 °C   350 °F	Utilice lubricación sintética.

#### 5.6.2.3 Aceite aceptable para lubricar rodamientos

**Lubricantes aceptables**  
Ejemplos de aceites para turbina de alta calidad aceptables, con inhibidores de óxido y oxidación.

**Tabla 10: Lubricantes aceptables**

Marca	Tipo de lubricante
Chevron	GST Oil 68
Exxon	Teresstic EP 68
Mobil	DTE Heavy Medium
Phillips 66	Aceite de turbina VG68
Shell	Turbo T 68
Sunoco	Sunvis 968
Royal Purple	Aceite sintético SYNFLIM ISO VG 68

Puesta en marcha, arranque, funcionamiento y apagado

### Requisitos de aceites lubricantes

**Requisitos de calidad de aceite**  
Utilice un aceite de turbina de alta calidad con inhibidores de corrosión y óxido, con viscosidad nominal que se muestra abajo a 100 °F (38 °C).

**Requisitos de aceite basados en la temperatura**  
Para la mayoría de las condiciones de funcionamiento, las temperaturas de los rodamientos varían entre 120 °F (49 °C) y 180 °F (82 °C), y puede utilizarse un aceite de viscosidad ISO grado 68 a 100 °F (38 °C). Si las temperaturas superan los 180 °F (82 °C), consulte la tabla de requisitos de temperatura.

Temperatura	Requisito de aceite
Las temperaturas de los rodamientos superan los 180 °F (82 °C)	Utilice viscosidad ISO grado 100. Las temperaturas de los rodamientos son por lo general unos 20 °F (11 °C) más altas que las de la superficie externa del alojamiento.
Las temperaturas de los fluidos bombeados son extremas	Consulte al fabricante o a un experto en lubricación.

### Aceite aceptable para lubricar rodamientos

**Lubricantes aceptables**

Marca	Tipo de lubricante		
	Bola/bola	Manga/bola	Manga/Kingsbury
Exxon	Teresstic EP 46	Teresstic EP 46	Teresstic EP 32
Mobil	DTE Heavy Medium	DTE 746	DTE 732
Sunoco	Sunvis 946	Sunvis 946	Sunvis 932
Royal Purple	SYNFLIM ISO VG 68	SYNFLIM ISO VG 46	SYNFLIM ISO VG 32

### Lubrique los rodamientos con aceite

**AVISO:**  
No exponga una bomba en reposo a condiciones de congelamiento. Drene todo el líquido que está dentro de la bomba y de las bobinas de enfriamiento. Si no lo hace, puede ocurrir que el líquido se congele y que la bomba se dañe.

Las bombas que se lubrican mediante anillo de engrase se suministran con una aceitera que mantiene un nivel de aceite constante en el alojamiento de los rodamientos.

- Rellene el depósito de aceite en el bastidor del cojinete:
  - Llene la cámara del cojinete a través del cuerpo principal del mecanismo de seguridad hasta que alcance el nivel de causal óptimo visible en el visor de la diana.
  - Llene el depósito del mecanismo de seguridad utilizando un embudo.
  - Verifique que la junta tónica se encuentre en el surtidor del tanque de aceite del mecanismo de seguridad.
  - Coloque el dedo pulgar sobre el surtidor del depósito. Invierta e inserte el surtidor en el refuerzo roscado interno del cuerpo principal.
  - Ajuste el depósito. No ajuste demasiado.
  - Verifique que se mantenga el nivel de aceite adecuado según el siguiente diagrama.

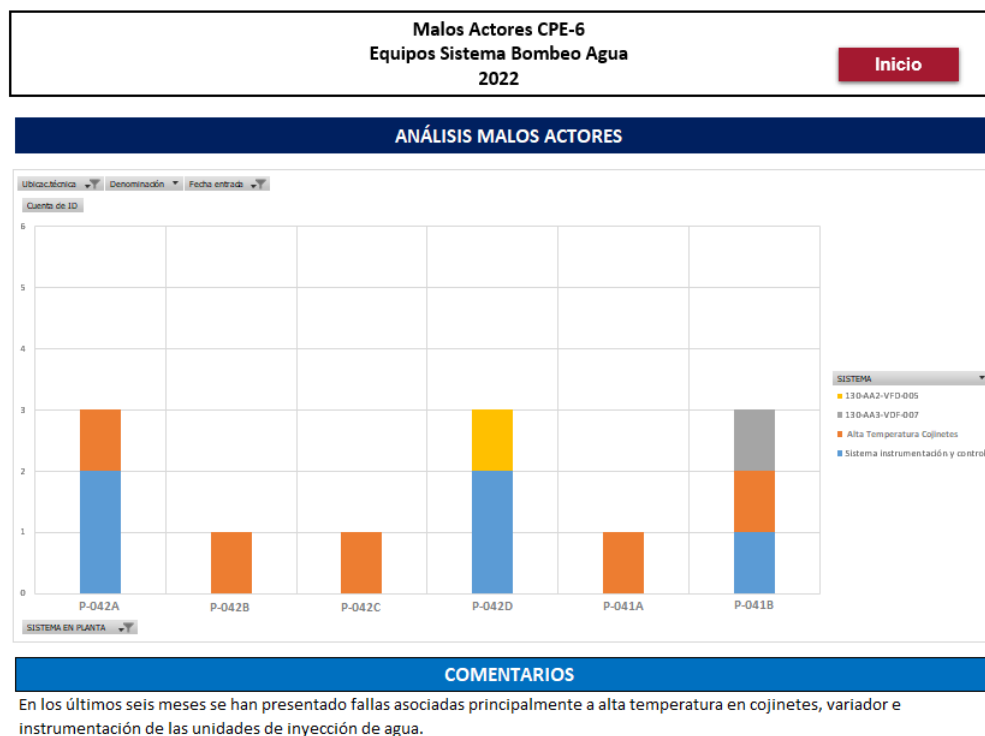
**AVISO:**  
No llene el depósito de aceite del bastidor del cojinete por el tapón de la parte superior.

- Verifique que el nivel de aceite sea correcto. El nivel de aceite correcto está centrado en el visor de la diana, cuando la bomba no se encuentra en funcionamiento. Durante el funcionamiento, el visor de la diana proporciona una lectura falsa del nivel de aceite. Aquí

Fuente: Manuales de Operación y Mantenimiento de Bombas GOULDS PUMPS

Por otra parte, se realiza revisión con el Dto. de Confiabilidad de los indicadores que se llevan a la fecha en los cuales se pudo evidenciar la falta de lubricación como mal actor y el impacto que viene teniendo en el proceso y en los equipos, al igual que la indisponibilidad de los equipos por salidas intempestivas por aumento de temperatura en rodamientos y cojinetes lo cual viene afectando la confiabilidad del sistema, a continuación, se describe mediante imágenes de los indicadores el seguimiento a la condición del proceso presentado por el departamento de Confiabilidad.

Figura 8 Histórico Malos Actores Sistema Inyección de Agua.

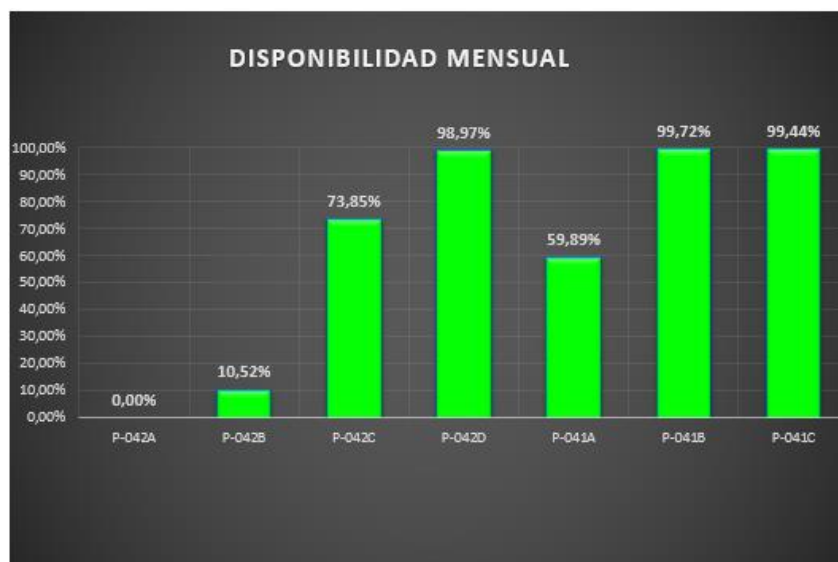


Fuente: Departamento de Confiabilidad Confipetrol S.A.S

En el gráfico anterior se relacionan los sistemas que presentaron fallas en cada mal actor del Sistema de Inyección de la planta y los cuales incidieron en las paradas, afectando los indicadores de disponibilidad correspondiente al periodo del 1 de enero al 30 de junio de 2022.

Para los indicadores de disponibilidad se puede observar en la siguiente figura que 3 unidades impactan el resultado final debido a que han presentado varias fallas de las cuales la más relevante en el histórico es por alta temperatura en cojinetes, que de acuerdo con el seguimiento realizado por el personal de mantenimiento se ha presentado por falta de lubricación con bajos niveles en los reservorios y falta de aplicación de grasa a los rodamientos.

Figura 9 Indicador de Disponibilidad unidades de Inyección mes de mayo.



Fuente: Departamento de Confiabilidad Confipetrol S.A.S

Se verifica el comportamiento del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación el cual se viene viendo afectado y mostrando una mala gestión de parte del departamento de mantenimiento comprometiendo la medición del contrato ya que la confiabilidad de la operación no es la mejor teniendo 2 equipos fuera de línea y otros con limitaciones operacionales.

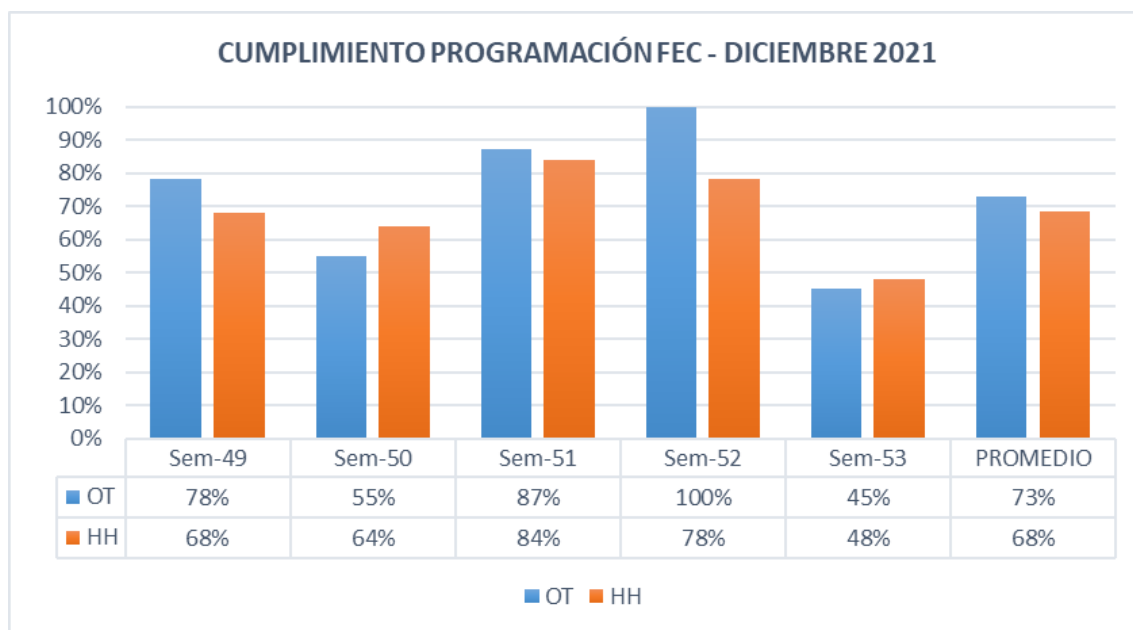
Tabla 2 Valores Indicador de Disponibilidad, MTBF y MTTR unidades mes de mayo.

UNIDAD	ESTADO	CONDICIÓN	STATUS	PERIODO OPERACIONAL	MTBF	MTTR	$\lambda$	CONVENCIONES		OBSERVACIÓN
								A OPERACIONAL UNIDAD (%)	A SAS UNIDAD (%)	
P-042A	FDS	SIT	●	744,00	0	744,00	#iDIV/0!	0,00%	0,00%	Daño en cojinetes
P-042B	FDS	SIT	●	744,00	78	665,77	0,0128	10,52%	10,52%	Alta temperatura en cojinetes
P-042C	OPE	NOR	●	744,00	142	6,36	0,0070	73,85%	73,85%	Ajuste desplazamiento axial
P-042D	OPE	NOR	●	744,00	744	0,00	0,0000	98,97%	98,97%	MPV 2000
P-041A	OPE	NOR	●	744,00	744	0,00	0,0000	59,89%	59,89%	Alta temperatura en cojinetes
P-041B	OPE	NOR	●	744,00	744	0,00	0,0013	99,72%	99,72%	N/A
P-041C	OPE	NOR	●	744,00	247	0,72	0,0040	99,44%	99,44%	N/A

Fuente: Departamento de Confiabilidad Confipetrol S.A.S

En cuanto a la información recibida por P&P se recibe la tendencia del comportamiento del cumplimiento de la programación el cual se ha visto afectado por las intervenciones no programadas en algunos equipos por problemas que vienen de la deficiencia en la lubricación de estos, a continuación, se describe dicho comportamiento en la siguiente figura.

*Figura 10 Cumplimiento de la programación.*



Fuente: Departamento de Planeación de Mantenimiento.

Se realizó entrevistas al personal técnico con el fin de recoger información respecto a la forma de como se viene ejecutando las rutinas de lubricación en los equipos y de esta forma poder identificar de donde parte el problema, a continuación, se plasma el formato utilizado en la entrevista al personal técnico:

Figura 11 Formato para entrevista personal técnico.

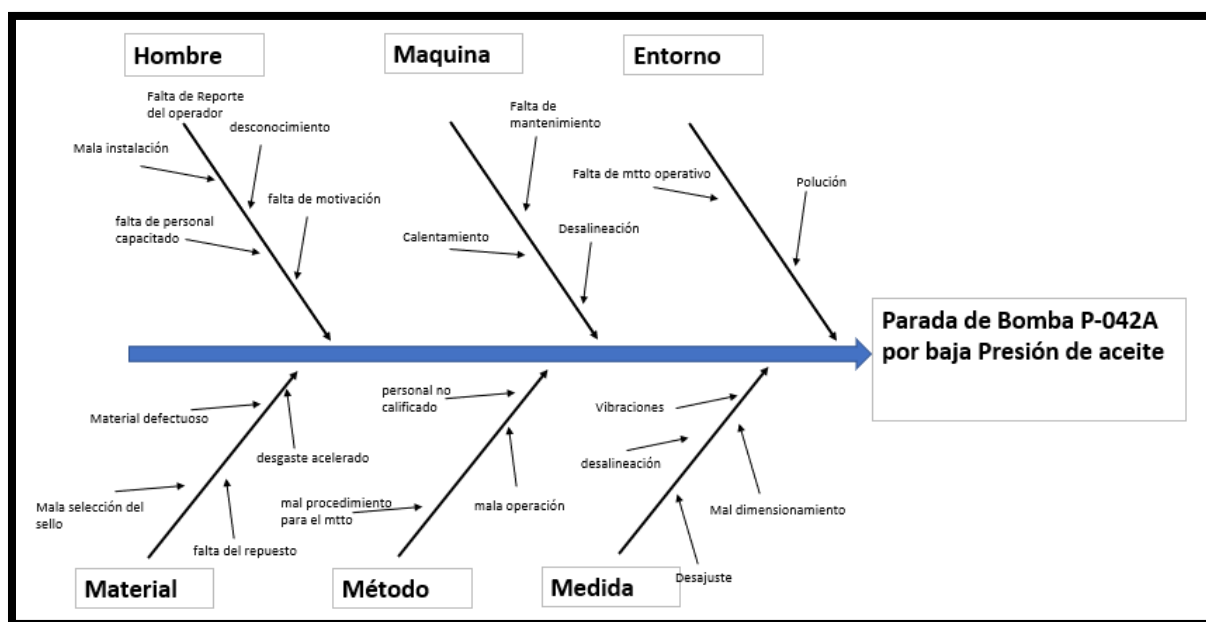
<b>Objetivo:</b> El presente formato tiene como fin recolectar datos del personal de mantenimiento dando como principal objetivo conocimientos en los equipos que			
<b>Alcance:</b> Este documento aplica para ingenieros, tecnicos , supervisores de equipos en campo.			
		<b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS</b>	<b>FE-01</b>
<b>CUESTIONARIO</b>			
<b>Nombre entrevistado:</b>		<b>Profesión:</b>	
<b>Años de experiencia:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>N.</b>	<b>DESCRIPCION DE LA PREGUNTA (ALTERNATIVA FIJA)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>1</b>	<b>¿Cree usted que el mantenimiento de los equipos es una carga economica para lempresa?</b>		
<b>2</b>	<b>¿Se llevan acabo registros de manteniminto en algun formato o vitacora?</b>		
<b>3</b>	<b>¿conoce usted el funcionamiento de los equipos?</b>		
<b>4</b>	<b>¿Recibe capacitaciones sobre la operación y mantenimtno de los equipos del sistema?</b>		
<b>5</b>	<b>¿Cuál es la falla mas recurrente del sistema?</b> _____ _____ _____		
<b>6</b>	<b>¿considera que faltan planes de mantenimiento para el mantenimiento del sistema?</b>		
<b>7</b>	<b>¿sabe cual lubricante debe aplicar a cada equipo del sistema?</b>		
<b>8</b>	<b>¿sabe con que frecuencia se debe aplicar lubricar los equipos?</b>		
<b>9</b>	<b>¿sabe que precauciones de seguridad debe tener para cuando aplique o reposiciones niveles de aceite y/o grasa?</b>		
<b>10</b>	<b>¿sabe que diferencia hay entre las grasas que tienen disponible para uso?</b>		
<b>TOTAL</b>			

Fuente: Autores

## 6.7 Análisis de la Información

Para iniciar con la evaluación de la condición de las fallas que se vienen presentando en los equipos del sistema de inyección de agua del capo CPE-6 después de recopilar la información necesaria entregada por Confiabilidad y P&P, se inicia una evaluación de toda la información y se procede a realizar un análisis causa-efecto con el método de Ishikawa o espina de pescado como comúnmente se conoce a fin de poder encontrar la causa raíz de las salidas de las máquinas:

*Ilustración 7 Diagrama de Ishikawa*



Fuente: Elaboración propia

La ilustración anterior se pudo concluir que los tres malos actores que se vienen presentando en los equipos del sistema de inyección de agua son salidas de los equipos por baja presión de aceite, bajo nivel de reservorios y alta temperatura en cojinetes, lo que nos lleva a concluir que se presentan problemas de lubricación en los equipos por falta de suministro, fugas en algunas ocasiones o mal uso del tipo de lubricante para el tipo de rodamiento o cojinete que

posee la bomba o el motor ocasionando que por su punto de goteo en algunas grasas se vuelva líquida y se pierda con más facilidad permitiendo que haya pérdida de esta película de lubricación y tengamos trabajo de superficies metálicas llevando a las altas temperaturas y activando las protecciones de los equipos lo cual conlleva a la salida de las máquinas y pérdidas en los procesos.

### ***6.7.1 Propuesta de Solución***

Los equipos objeto de estudio de este proyecto cuentan con su plan de mantenimiento preventivo a la fecha, permitiendo que perseveren su estado de manera óptima y confiable para los procesos productivos; un factor importante dentro de esta estrategia de mantenimiento es la lubricación, la cual se lleva de una manera no rutinaria y sin un plan establecido el cual verifique y asegure que las actividades propuestas se estén desempeñando de manera efectiva. La lubricación es desempeñada por un técnico el cual conoce los equipos y los puntos rutinarios de lubricación para cada uno de los equipos, desconociendo en ocasiones puntos no visibles, pero no menos importantes para las máquinas.

Dentro de la lubricación en el Sistema de Inyección de Agua del CPF se identificaron equipos los cuales utilizaban grasas no aptas para los sistemas o mecanismos, ocasionando que el rendimiento no fuera el óptimo y en el peor de los casos dañando los sistemas y/o ocasionando paradas en las máquinas por tiempo prolongado.

#### **6.7.1.1 Misión**

Generar un plan de lubricación para los equipos del sistema de inyección de agua en las instalaciones del campo CPE-6, cumpliendo con todos los requerimientos, asegurando disponibilidad y confiabilidad de la mano del cumplimiento de compromisos legales y contractuales. Todo dentro de un marco ambiental óptimo, teniendo en cuenta el cuidado de los

equipos y las personas las cuales dentro de un conjunto de actividades desarrollan el mantenimiento.

### 6.7.1.2 Visión

Trascender, evolucionar y mantener las mejores prácticas de mantenimiento, después de la realización del plan de lubricación con personal idóneo, comprometido y responsable para transformar esas debilidades en puntos positivos para el área de mantenimiento y la compañía.

### 6.7.2 Fichas Técnicas

Luego de realizarse el listado de los equipos, se procede a realizar el levantamiento de la información (Data Sheet) de cada uno. Un ejemplo de esto se puede observar en la siguiente Ilustración.

Ilustración 8 Ficha técnica Conjunto bomba-motor

FICHA TECNICA DE EQUIPOS - CAMPO CPE-6 - CPF			
AREA: SISTEMA INYECCION DE AGUA		CAMPO CPE-6	
HOMBRE TECNICO EQUIPO		P-842A MetaBomba Inyeccion	
UBICACION TECNICA		MPO-CP6-CPF 01-SMAGU-SINTA	
TAG		P-842A	
CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOTOR			
MARCA	TECO	FACT POT.	99%
MODELO	MAN-E1	FRECUENC.	60Hz
SPEC		FACT SERV	1.15
PART N°	-	FASES	3
N° SERIE	02AD143661-3	CLASE AISL.	F
TIPO	OTE	PESO	5942lb
FRAME	5110A	RENTA EFIC	44,5
POTENCIA	460HP	GARANT REMA	43,4
VOLTAJE	460	IP	
CORRIENTE	450 AMP	DESIGN	A
VELOCIDAD	3500	Ref. Traxara	6315 C3
N° DE INVENTARIO	FOPEL-00101	Ref. Delsatara	6315 C3
OBSERVACIONES:			
CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA BOMBA			
MARCA	GOULDS	CAUDAL	375 GPM
MODELO	3600	DIAM IMPEL	
SIZE	3X6X10	KILO GRAMOS	
SPEC		DIAMETRO SUCCION	
PART N°		DIAMETRO DESCARGA	
N° SERIE	E278-C5598-3	POLEA	S1
TIPO		N° DE INVENTARIO	FOPEL-00085
HP		Ref. Leda Acapto	7312BECBM
PRESION MAXIMA		Ref. Leda Libro	6312
VELOCIDAD	3560		
OBSERVACIONES:			

Fuente: Elaboración propia.



### **6.7.3 Características de los Lubricantes**

La lubricación busca reducir la fricción de dos superficies solidas que se encuentran en movimiento, con el fin de evitar desgaste en las superficies de las partes móviles y de esta manera alargar la vida útil de las misma.

Para realizar una adecuada lubricación se deben tener en cuenta diferentes aspectos que afectan directamente la conformación de la capa protectora como lo son la velocidad de rozamiento de las piezas, acabado superficial de las caras en contacto de las piezas, viscosidad del lubricante y frecuencia de lubricación.

Se procede a revisar las fichas técnicas de diferentes lubricantes, en especial los utilizados por la empresa para realizar las lubricaciones de los diferentes equipos. En las fichas técnicas podemos observar las características de los lubricantes para lo cual se tienen en cuenta los parámetros para una buena lección de lubricante y se realiza la selección de las siguientes marcas;

- ✓ Aceite Sintético Royal Purple, REF. FDA22
- ✓ Aceite Sintético Mobil ISO68, 68cSt@40°C,252
- ✓ Grasa para Motor Eléctrico, Mobil NLGI2, Poliurea

#### **6.7.3.1 Selección del grado ISO**

Toda selección de lubricante debe ir en función de la temperatura de operación del lubricante en los equipos y de la temperatura ambiente para lo cual se debe tener en cuenta:

- 1) Siempre el fabricante del equipo debe dar el nombre y la marca del aceite comercial, de no ser así, se debe buscar el aceite más parecido con respecto a sus características y en lo posible de la misma marca. Si no se utilizan lubricantes equivalentes a los recomendados, al cabo del tiempo, se tendrá un buen número

de lubricantes que dificultan la correcta lubricación de los equipos y que si se hace un análisis minucioso de ellos se encontrará que muchos de ellos son equivalentes entre sí y que el número final de lubricantes que se pueden utilizar es mucho menor.

- 2) En el caso que el fabricante nos proporcione un tipo de aceite en un sistema de clasificación diferente al ISO, como ASTM, AGMA o SAE, de debe hallar el equivalente entre estos y el ISO. Para lo cual se puede utilizar la tabla 3.

*Tabla 3 Equivalencia Entre diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad*

Equivalencias entre los diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad						
Grado ISO	Grado ASTM	Grado AGMA	Grado SAE			
			Motor		Engranajes	
			Unigrado	Multigrado	Unigrado	Multigrado
10						
15	75					
22	105		0W, 5W		75W	
32	150		10W			
46	215	1	10,15W			
68,68EP	315	2, 2EP	20W,20	10W30,20W20	80,80W	
100,100EP	465	3,3EP	25W,30	5W50, 15W40		
150,150EP	700	4,4EP	40	15W50, 20W40		
220,220EP	1000	5,5EP	50		90	85W-90
320,320EP	1500	6,6EP				85W-140
460,460EP,460C	2150	7,7EP,7C			140	
680,680EP,680C	3150	8,8EP,8C				
1000,1000EP,1000C	4650	9,9EP,9C				
1500,1500EP,1500C	7000	10,10EP,10C			250	

Fuente: <http://www.widman.biz/boletines/2.html>

En la tabla 3, se puede observar que podemos utilizar diferentes sistemas de clasificación de acuerdo con la viscosidad, tan solo conociendo la referencia del lubricante recomendado por el fabricante del equipo.

También existen tablas donde de acuerdo con la temperatura de funcionamiento del lubricante, se puede determinar qué tipo de Lubricante y que características se requieren para el tipo de trabajo y condiciones a las cuales está expuesto el equipo.

#### **6.7.4 Frecuencia de Relubricación Rodamientos**

Se procedió a calcular la frecuencia de relubricación de los rodamientos para cada una de las condiciones de trabajo.

$$T_r = T \times q$$

Donde;

$$T_r = \text{Plazo de relubricacion real}$$

$$T = \text{Tiempo en horas ideal}$$

$$q = \text{Factor de reducción} = F_1 \times F_2 \times F_3$$

Determinación del factor  $q$ .

*Tabla 4 Factor de reducción*

CONDICIONES Y SERVICIO	CARACTERÍSTICAS		
	Escasa	Fuerte	Muy fuerte
Polvo y Humedad ( F1)	0.7-0.9	0.4-0.7	0.1-0.4
Vibración y Oscilación ( F2)	0.7-0.9	0.4-0.7	0.1-0.4
Temperatura ( F3)	0.7-0.9	0.4-0.7	0.1-0.4

Fuente: Pedro Albarracín.

Teniendo en cuentas las características, las condiciones y servicio donde operan los equipos, se toman los siguientes factores.

$$F_1 = 0.2 \text{ (Polvo y humedad muy fuertes).}$$

$$F_2 = 0.4 \text{ (Vibraciones y oscilaciones muy fuertes).}$$

$$F_3 = 0.2 \text{ (Temperatura muy fuerte).}$$

De acuerdo con lo anterior el factor de reducción es;

$$q = F_1 \times F_2 \times F_3$$

$$q = 0.2 \times 0.4 \times 0.2$$

$$q = 0.016$$

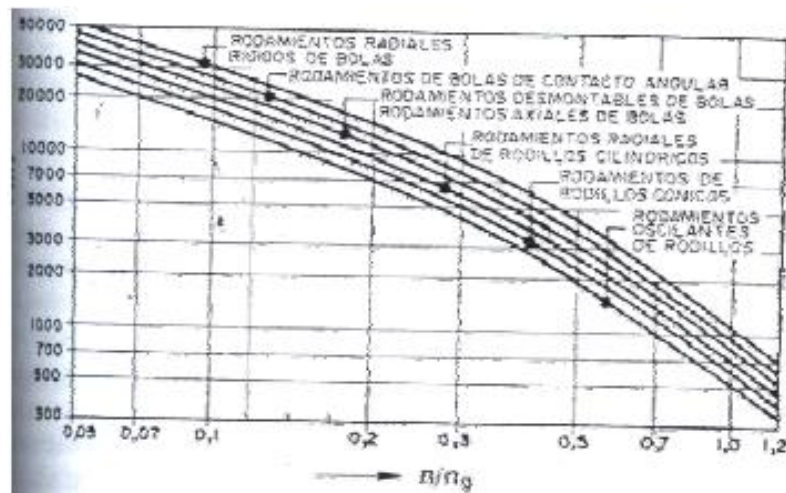
Una vez calculado  $q$ , Se procede al cálculo del  $T$  (tiempo real en horas) el cual se calcula con base a la gráfica 1, teniendo en cuenta la fracción entre  $n/n_g$  y el tipo de rodamiento.

$n$  = Velocidad Real de rodamiento

$n_g$  = Velocidad Máxima del rodamiento.

$\frac{n}{n_g}$  = Relación entre velocidad Real y Máxima del rodamiento

*Ilustración 9 Frecuencia de Re-engrase para Rodamientos*



Fuente: Pedro Albarracín.

Una vez calculado estos factores se obtiene  $T$ , el cual al multiplicarlo por el factor  $q$ , obtenemos el tiempo de relubricación  $T_r$  en horas.

Este procedimiento se realiza para cada tipo de Equipo, teniendo en cuenta los parámetros que acá se evalúan.

### **6.7.5 Fichas de Lubricación**


















Las fichas de lubricación se realizan teniendo en cuenta las especificaciones dadas por el fabricante para cada una de las referencias existentes en el sistema de inyección del campo CPE.6.

En total se realizan 3 fichas de lubricación teniendo en cuenta el conjunto de equipos existentes con sus diferentes características.

Como se puede observar en la ficha que se muestra en la figura 4, se incluyen los siguientes datos.

1. Descripción del equipo.
2. Ubicación.
3. Sistema.
4. Características de los lubricantes a utilizar.
5. Componentes para lubricar.
6. Puntos de lubricación.
7. Referencia de elementos a lubricar.
8. Método de lubricación.
9. Cantidad de lubricante a suministrar.
10. Frecuencia de lubricación.
11. Herramientas para utilizar
12. Recomendaciones.

Figura 12 Ficha de Lubricación

FICHA DE LUBRICACIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS CAMPO CPE-6									
MOTOR ELECTRICO TECO BOMBA GOULDS		UBICACIÓN	P-042A MotoBomba Inyeccion	SISTEMA	INYECCION DE AGUA				
				<b>Mobil Polyrex Em Grease</b>					
				Grado NLGI	2			Tipo de espesante	Poliurea
				Aceite Base	Mineral				
				Viscosidad del aceite base @ 40°C, cSt	115				
				a 100°C, cSt (IP 71/ASTM D-445)	12,2				
				Punto de goteo, °C, ASTM D2265	260				
				Penetración Trabajada a 25°C 0.1 mm (IP 50/ASTM D-217)	280				
				<b>Mobil DTE Heavy Medium</b>					
				Grado de Viscosidad ISO	68				
				Viscosidad Cinemática ASTM D445 @ 40°C, cSt mm <sup>2</sup> /s	65				
				@100°C, cSt mm <sup>2</sup> /s	8,7				
				Indice de Viscosidad (VI) ISO 2909	95				
				Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	223				
				Punto de escurrimiento ASTM D97	-15°C				
				Densidad @ 15 C, kg/l, ASTM D4052	0,86				
EQUIPO	COMPONENTE	PUNTOS DE LUBRICACIÓN	LUBRICANTE	REFERENCIA RODAMIENTOS	METODO LUBRICACIÓN	CANTIDAD	FRECUENCIA		
MOTOR ELECTRICO	MOTOR ELECTRICO TECO HP: 600 RPM: 3580	A	Mobil Polyrex Em Grease	6315 C3		50 gramos			
		B		6315 C3		50 gramos			
BOMBA GOULDS	BOMBA GOULDS 3600	C	Mobil DTE Heavy Medium	7312BECBM		0.25 Litros			
		D		6312 C3		0.25 Litros			
CODIFICACIÓN									
									
Cada Turno	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimensual	Cuatrimensual	Semestral	Anual
	CANTIDAD	HERRAMIENTAS							
	1	Oil Safe							
	1	Pistola engrasadora							
	1	Medidor de aceite y medidor de grasa							
	1	Wypall							
<i>Se debe en lo posible manejar un estandar de limpieza tal que la entrada de contaminantes dentro del interior del componente, especialmente cuando se transvasa el aceite o grasa.</i>									

Fuente: Autores

### 6.7.6 Carta de Lubricación General

Con el fin de realizar una correcta mejora de las rutinas de lubricación, se procede a realizar la carta general de lubricación de los equipos existentes en el sistema de inyección de la facilidad, la cual busca estandarizar los lubricantes a utilizar, mejorar y optimizar los tiempos de búsqueda de información de lubricantes para cada elemento de los diferentes equipos y las frecuencias de aplicación entre otras. A continuación, se ilustra la carta generada en la tabla 5. Adicional se adjunta como anexo al documento donde se podrán encontrar la carta de lubricación para los diferentes equipos.

Tabla 5 Carta General de Lubricación

CARTA DE LUBRICACIÓN CPE-6 EQUIPOS ROTATIVOS INYECCION DE AGUA												
DESCRIPCION DEL EQUIPO	PUNTO DE LUBRICACION	REFERENCIA DE RODAMIENTO	Velocidad (RPM)	CRITICIDAD	RPI	INFORMACION DEL LUBRICANTE			LUBRICACIÓN			
						LUBRICANTE	GRADO ISO/SAE	REFERENCIA DE LUBRICANTE	CAPACIDAD	UNIDAD	FRECUENCIA (Horas)	FRECUENCIA (Dias)
<b>Sistema de Inyección de Agua</b>												
P-041A MotoBomba Booster	Rodamientos	6309 C3 - 6209 C3	25	B	1800	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	22	Gramos	2200	92
P-041A MotoBomba Booster	x	x										
P-041B MotoBomba Booster	Rodamientos	6309 C3 - 6209 C3	25	B	1800	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	22	Gramos	2200	92
P-041B MotoBomba Booster	x	x										
P-041C MotoBomba Booster	Rodamientos	6310-2ZJC3 - 6210-2ZJC3	50	B	1775	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	22	Gramos	2000	83
P-041C MotoBomba Booster	Rodamientos	6309 C3 - 3309 C3				Aceite	ISO 68	Mobil DTE Heavy Medium	0,1	Litros	2200	92
P-042A MotoBomba Inyeccion	Rodamientos	6315 C3 - 6315	600	A	3580	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	100	Gramos	2720	113
P-042A MotoBomba Inyeccion	Caja De Rodamientos	7312BECBM - 6312				Aceite	ISO 68	Mobil DTE Heavy Medium	0,5	Litros	2500	104
P-042B MotoBomba Inyeccion	Rodamientos	6315 C3 - 6315	600	A	3580	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	100	Gramos	2720	113
P-042B MotoBomba Inyeccion	Caja De Rodamientos	7312BECBM - 6312				Aceite	ISO 68	Mobil DTE Heavy Medium	0,5	Litros	2500	104
P-042C MotoBomba Inyeccion	Rodamientos	6315 C3 - 6315	600	A	3580	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	100	Gramos	2720	113
P-042C MotoBomba Inyeccion	Caja De Rodamientos	7312BECBM - 6312				Aceite	ISO 68	Mobil DTE Heavy Medium	0,5	Litros	2500	104
P-042D MotoBomba Inyeccion	Rodamientos	6309 C3 - 6209 C3	1500	A	3600	Grasa	NLGI 2	Mobil Polyrex Em Grease	100	Gramos	3000	125
P-042D MotoBomba Inyeccion	Camara de Empuje	7313 BECBM - 6013 ZZ C3				Aceite	ISO 22	Royal Purple FDA 22	0,7	Litros	3000	125

Fuente: Autores

### 6.7.7 Rutina de Lubricación

La rutina de lubricación busca distribuir de manera equitativa el número de actividades de lubricación que se deben realizar por mes llevando un orden lógico de acuerdo con la ubicación de los equipos dentro de la facilidad, con el fin de evitar pérdidas de tiempo en desplazamientos del personal.

La realización de la rutina de lubricación se realizó con base al listado de equipos, el cual contiene el TAG y por ende la ubicación de este.

Para la ruta de lubricación se tomaron los tiempos sugeridos por el fabricante de los equipos, el cálculo de relubricación y la criticidad de los equipos en el sistema.

Una vez distribuidas las actividades por mes, se procede a realizar el cálculo del número de Horas Hombre (HH) necesarias para llevar de una manera completa la rutina de lubricación propuesta.

*Actividades Mensuales: 6*

*Actividades semanales:  $6/4 = 1,5$*

Teniendo en cuenta la jornada laboral de 8 horas diarias, un tiempo de ejecución por actividad de 1,5 hora de acuerdo con la experiencia y que los trabajos por parte de HSEQ no permiten trabajar individualmente, se requiere de 1 pareja para poder cumplir con la ruta de lubricación. Es decir, de 3 HH al mes.

*Tabla 6 Plan de lubricación*

Rutina de lubricación sistema de Inyección de Agua del Campo CPE-6		6 4 4 6 4 4 6 4 4 6 4 4														
Descripción del Equipo	Equipo	FRECUENCIA (Meses)	FRECUENCIA (Días)	FRECUENCIA (Mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
					LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB	LUB
sistema de Inyección de Agua del Campo CPE-6																
P-041A Moto-Bomba Booster	Weg02018EP3E256T	2807	117	4	P			P			P			P		
P-041A Moto-Bomba Booster	Durco Flowserve2K 3X2-10 ARV	2807	117	4	P			P			P			P		
P-041B Moto-Bomba Booster	Weg02018EP3E256T	2807	117	4			P			P			P			P
P-041B Moto-Bomba Booster	Durco Flowserve2K 3X2-10 ARV	2807	117	4			P			P			P			P
P-041C Moto-Bomba Booster	Us MotorDA92	2816	117	4		P			P			P			P	
P-041C Moto-Bomba Booster	Goulds3196 2X3-8	4300	179	6		P						P			P	
P-042A Moto-Bomba Inyección	TecoQZAD143061-3	2807	117	4	P			P			P			P		
P-042A Moto-Bomba Inyección	GouldsE278-C5598-3	2807	117	4	P			P			P			P		
P-042B Moto-Bomba Inyección	TecoQZAD143061-1	2807	117	4		P			P			P			P	
P-042B Moto-Bomba Inyección	GouldsE278-C5598-1	2807	117	4		P			P			P			P	
P-042C Moto-Bomba Inyección	TecoQZAD143061-2	2807	117	4			P			P			P			P
P-042C Moto-Bomba Inyección	GouldsE278-C5598-2	2807	117	4			P			P			P			P
P-042D Moto-Bomba Inyección	Siemens3003241703-10	2807	117	4	P			P			P			P		
P-042D Moto-Bomba Inyección	Reda HPSG3A - 3B	2807	117	4	P			P			P			P		
					6	4	4	6	4	4	6	4	4	6	4	4
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores

### 6.7.8 Plan de lubricación para los equipos

La generación del plan se realiza con el estudio previo de los equipos con base a catálogos de los fabricantes sobre las características de los lubricantes que aplican, una vez recopilada la información las rutinas de lubricación se basan en las fichas de lubricación por



equipo las cuales contiene toda la información necesaria para la correcta aplicación del lubricante como los son; cantidad a suministrar, frecuencia y método de lubricación teniendo en cuenta las condiciones de operación, para lo cual se realiza la respectiva divulgación y capacitación al personal técnico, supervisores, operadores que de una u otra manera interactúan con los equipos y pueden ayudar a su mantenimiento.

Para implementar los 4 primeros pilares de la metodología del **TPM** al plan de lubricación se deben tener en cuenta primero los siguientes pasos:

1. Presentar el proyecto de limpieza y lubricación; aquí se buscará comprometer a la gerencia de la empresa en que el programa es de suma importancia para el mejoramiento continuo y el logro de altos estándares de calidad, y estos se reflejarán en los siguientes aspectos: Reducir los costos de mantenimiento, Mejorar la productividad de la planta y Reducir la tasa de defectos.
2. Dar a conocer las bondades del programa al departamento de producción para que se involucre directamente con él, haciendo énfasis en que se trata de un programa de mediano y largo plazo y no simplemente de algo pasajero.

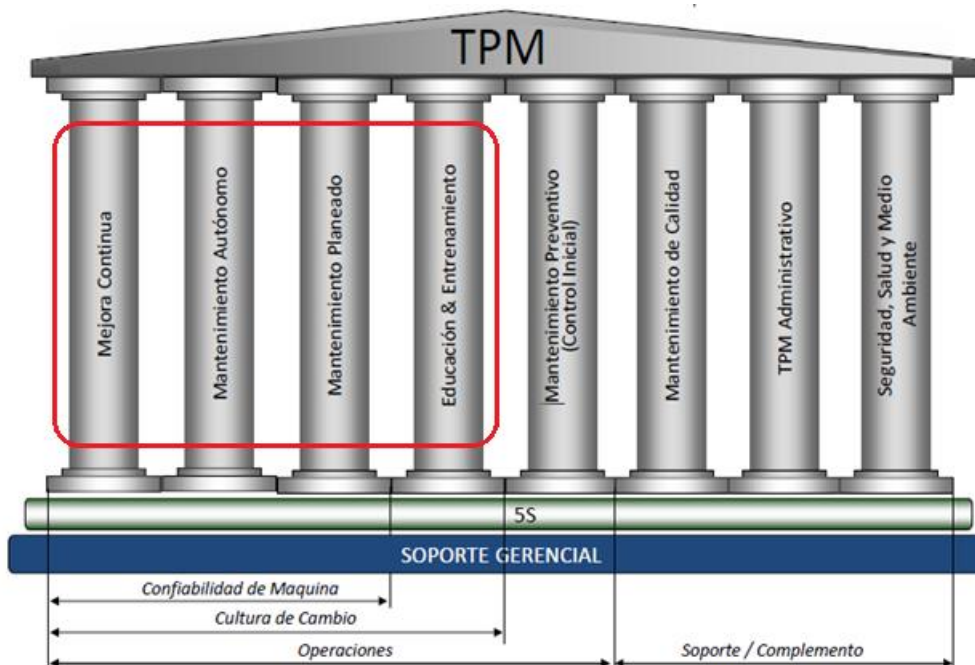
#### **6.7.8.1 Divulgación rutinas de lubricación al personal**

Mediante la investigación y el estudio de fuentes de información tanto físicas como electrónicas, se procederá a la toma de información que sirva para llevar a cabo la lubricación de los equipos que actualmente existen en la facilidad de campo CPE-6.

Basado en la metodología del **Mantenimiento Productivo Total “TPM”** se realizará la implementación de un plan piloto de mantenimiento que involucre a la gerencia, personal de áreas que no tengan relación con el mantenimiento y todo el personal operativo de los equipos de la facilidad de producción, en el cual se abarquen los principales pilares como lo son la mejora

continua, el mantenimiento autónomo, el mantenimiento planeado y el pilar de educación y entrenamiento el cual tendrá desarrollo en el comento de capacitar al personal que tendrá el objetivo de ejecutar dicho plan, siendo esta la forma de poder asegurar la confiabilidad de los equipos del proceso en cuanto a lo que tiene que ver con actividades de lubricación.

*Figura 13 Los 8 Pilares del TPM*



Fuente: [El Mundo de la Ingeniería Industrial: Mantenimiento Productivo Total \(TPM\) \(Rochichan.Blogspot.Com\).](#)

Se procede a realizar la respectiva divulgación de la nueva implementación que se va a llevar a cabo y se da a conocer al personal técnico la importancia e impacto de la implementación de las nuevas rutinas, con el fin de comprometer y motivar a realizar de forma seria y consciente la correcta lubricación de los equipos.

Esta divulgación está a cargo del supervisor de mantenimiento el cual debe garantizar el 100 % de participación del personal técnico encargado de realizar el mantenimiento y los

operadores de los equipos para de este modo empezar a implementar de forma satisfactoria las rutinas.

#### **6.7.8.2 Capacitación del personal sobre rutinas de lubricación**

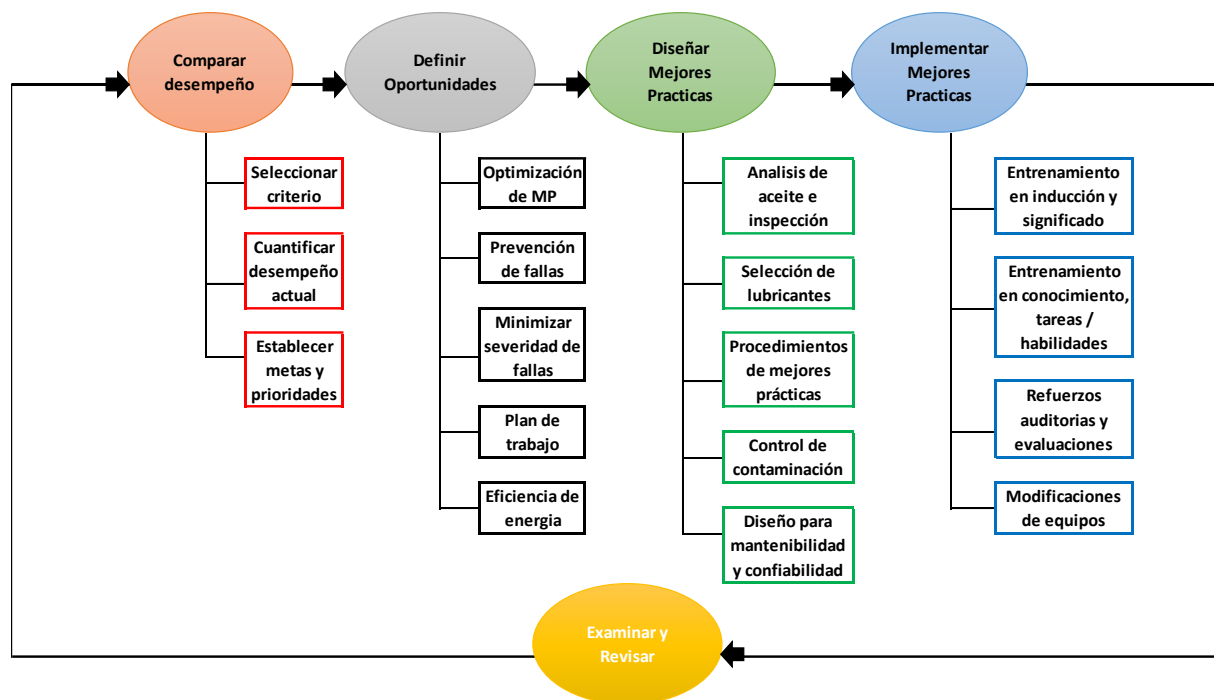
Con el fin de realizar una adecuada rutina de lubricación y evitar desviaciones en esta, se procede a realizar capacitaciones del personal sobre la utilización de las herramientas que deben utilizar, clases de lubricantes, clases de rodamientos, utilización de las fichas de lubricación, tipos de lubricante, métodos de lubricación etc., esto se debe garantizar para desarrollar de forma adecuada la lubricación con base a las fichas de lubricación y la carta general.

#### **6.7.8.3 La Excelencia en la Lubricación**

En los proyectos de excelencia en lubricación, la única manera de mejorar la confiabilidad es aplicar y mantener las mejores prácticas, empezando con la selección del lubricante correcto para cada aplicación, y posteriormente aplicando las mejores prácticas para el manejo y aplicación del lubricante, control de contaminación y toma de muestras de lubricante, pero el camino no concluye allí; se debe dar el mantenimiento adecuado a todos los accesorios y equipos empleados para poder aplicar las mejores prácticas. Si no se hace de esta manera, todos los esfuerzos iniciales se vendrán abajo y no se logrará el retorno de inversión esperado.

En la figura 6. tenemos los cuatro principales objetivos que se requieren tener en cuenta y ejecutar para poder cumplir y llegar al camino de la excelencia en la lubricación.

Figura 14 El Camino a la Excelencia en Lubricación



Fuente: [https://reliabilityweb.com/assets/uploads/art/diseno\\_1.JPG](https://reliabilityweb.com/assets/uploads/art/diseno_1.JPG)

### 6.7.9 Estrategias y políticas

Los datos recolectados de mantenimiento deben ser de libre circulación para todo el personal de mantenimiento para desarrollo personal, y restringida para cualquier otro personal que sea ajeno al área.

Mantener cualquier tipo de conflicto personal fuera del área de trabajo. En la mayoría de los casos mantener el área de trabajo en perfectas condiciones, aseo e higiene.

Las actividades de mantenimiento planteadas en el plan de mantenimiento deben ser realizadas guiándose de las recomendaciones y fichas técnicas de los fabricantes de los equipos y de los productos, recopilados por el personal a través de la historia y por experiencias vividas.

Se debe utilizar únicamente repuestos y productos originales, cualquier actividad de mantenimiento debe estar sujeta a una orden de trabajo, se debe tener personal competente para el área de mantenimiento por parte de contratación se debe hacer un buen filtro.

## 6.8 Indicadores de Gestión

Con el fin de poder realizar control sobre el estado de los equipos se debe garantizar la creación de mecanismo, los cuales permitan análisis de una manera clara la información, que conlleve a la toma de decisiones para el mejoramiento continuo del mantenimiento.

### 6.8.1 Estado de Equipos

Una vez se tiene el listado general de los equipos, se utilizará para realizar el seguimiento del estado y condiciones de los equipos por medio de rutinas periódicas, donde se especifique en cada uno de los equipos sus características, novedades presentadas y fecha de la rutina donde se realiza el reporte.

Estado del equipo se divide en 3:

OPE	Equipo Operativo
FDS	Equipo Fuera de Servicio
DIS	Equipo Disponible

Y las condiciones en las que se encuentra el equipo se divide en 4:

NOR	Operación Normal
LIM	Limitación Operacional
SIT	Equipo en Sitio
EXT	Equipo en Taller Externo

La actualización de la información se debe realizar semanal por medio de una rutina de inspección (estado de quipos), la cual ayuda a garantizar la confiabilidad de la información y tomar medidas con respecto a los equipos que no se encuentren en operación o stand-by.

Figura 15 Estado de Equipos y Condiciones

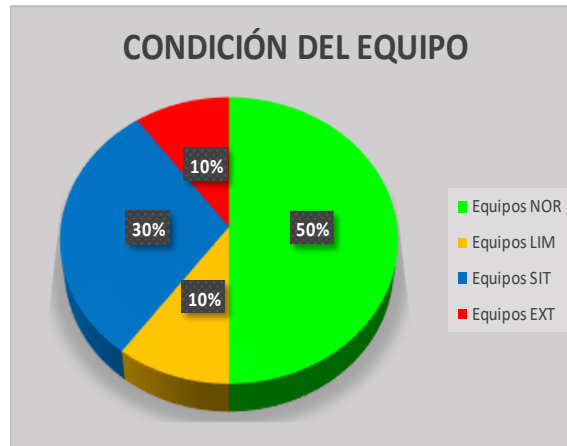
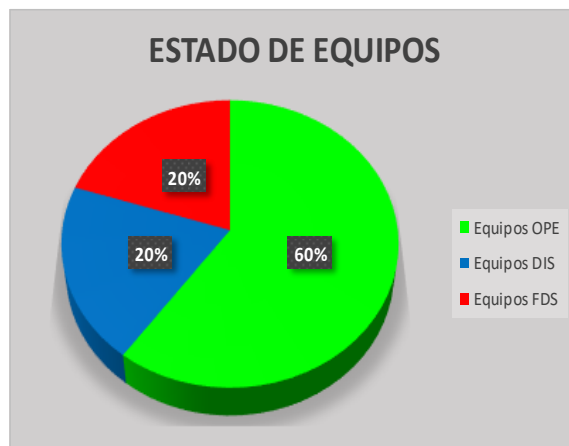
Actual	Descripción
10	# Equipos
6	Equipos OPE
2	Equipos DIS
2	Equipos FDS
5	Equipos NOR
1	Equipos LIM
3	Equipos SIT
1	Equipos EXT

## ESTADO DE EQUIPOS

OPE	Equipo Operativo
FDS	Equipo Fuera de Servicio
DIS	Equipo Disponible

## CONDICIÓN DEL EQUIPO

NOR	Operación Normal
LIM	Limitación Operacional
SIT	Equipo en Sitio
EXT	Equipo en Taller Externo



Fuentes: Autores

### 6.8.2 Reporte de Falla

Una falla es un suceso repentino o paulatino que puede ocasionar que un equipo disminuya su capacidad de producción o quede fuera de servicio ocasionando tiempos muertos en producción que se reflejan finalmente en costos para las compañías.

Las fallas se pueden presentar ya sea por factores externos o factores internos y la finalidad de realizarles un análisis, es poder detectar estos factores a tiempo con el fin de corregirlos o prolongar la falla al máximo. Estas se pueden medir ya sea por ocurrencia o por tiempo.

El reporte de falla nos ayuda a realizar un análisis detallado del evento que se presenta en unos equipos con el fin de poder realizar seguimiento, control o simplemente evitando que se vuelva a presentar la misma falla dos veces. Para lograr esto, se debe realizar la divulgación del

reporte al personal técnico tanto de mantenimiento como de operación ya que ellos son los encargados de operar y mantener el equipo.

En el formato de reporte de falla (Anexo), se base en la técnica de las 5 W la cual recibe su nombre por las siglas en inglés (Who, what, where, when, why, How) con el fin de presentar un informe detallado sobre lo sucedido donde se especifica el quien es el responsable, que fallo, donde fallo, cuando fallo y porque fallo.

### **6.8.3 Tiempo Medio entre Fallas (TMEF)**

Es llamado tiempo medio entre fallas al lapso de operación de un equipo sobre el número de fallas que este presenta.

De este indicador se puede detectar la necesidad de implementar un mantenimiento proactivo con pruebas no destructibles como son la termografía y análisis de vibraciones y evaluar el estado del equipo previniendo la falla. Logrando aumentar este indicador podemos aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

$$TMEF = \frac{\textit{Horas de operación}}{\textit{Cantidad de fallas}}$$

Para realizar el cálculo de un grupo de equipos en general y poder mediar la confiabilidad de la batería se debe realizar la sumatoria de las horas de operación de las maquinas asociadas sobre la sumatoria de las fallas de todos los equipos involucrados. Este cálculo es más general.

$$TMEF = \frac{\sum \textit{Horas de operación}}{\sum \textit{Cantidad de fallas}}$$

### **6.8.4 Tiempo Medio para Reparar**

El tiempo medio para reparar como su nombre lo indica es el tiempo que se demora la reparación de un equipo, y va muy de la mano con la mantenibilidad. Para realizar el cálculo de

este indicador se calcula el tiempo de salida del equipo del proceso y se divide por el número de intervenciones que ha presentado en un intervalo de tiempo determinado.

$$TMPR = \frac{\# \text{ de Horas detenido por correctivos del equipo}}{\text{Cantidad de OT correctivas del equipo}}$$

Las cantidades de órdenes de trabajo (OT) correctivas nos indica el número de intervenciones que se le han realizado al equipo en un determinado tiempo.

Hay que tener en cuenta que dentro del tiempo de las horas que se encuentra detenido el equipo, se debe trabajar en mejorar el tiempo que lleva el alistamiento de la actividad, es decir, alistamiento de herramientas, preparación y firma del permiso de trabajo, tiempo de traslado del personal, tiempo de consecución de los repuestos y cierre de OT.

#### **6.8.5 Disponibilidad**

Este indicador nos muestra el porcentaje del tiempo considerando el tiempo que se encuentra disponible el equipo para la operación. Este indicador se puede calcular teniendo en cuenta el tiempo medio entre fallas que es el tiempo disponible de la máquina para operar antes de una posible falla en relación con el tiempo que dura en mantenimiento la maquina más el tiempo medio entre fallas.

$$DISP. = \frac{\text{Tiempo disponible para la operacion}}{\text{tiempo disponibla para la operacion} + \text{tiempos de mantenimiento}}$$

$$DISP. = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

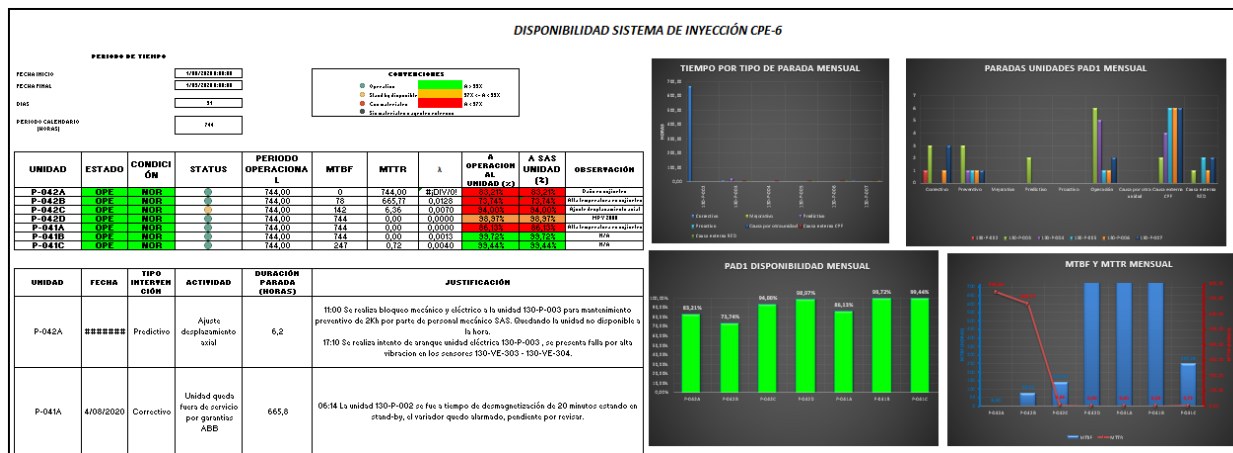
Hay que tener en cuenta que para un periodo de tiempo prologando, el TMPR es la suma de todos los mantenimientos que se realiza a la máquina, es decir, que se incluyen los de correctivos, preventivos, etc.



### 6.8.6 Análisis de criticidad

Para desarrollar el análisis de criticidad se toma como base los KPI's que utiliza Confiabilidad para analizar el comportamiento de los equipos del sistema de inyección de agua, se pondera cada factor y por último se le asigna una clasificación de acuerdo con el resultado en el proceso, En la figura 14 se muestra el análisis de criticidad.

Figura 16 Análisis de Criticidad Equipos Sistema de Inyección de Agua

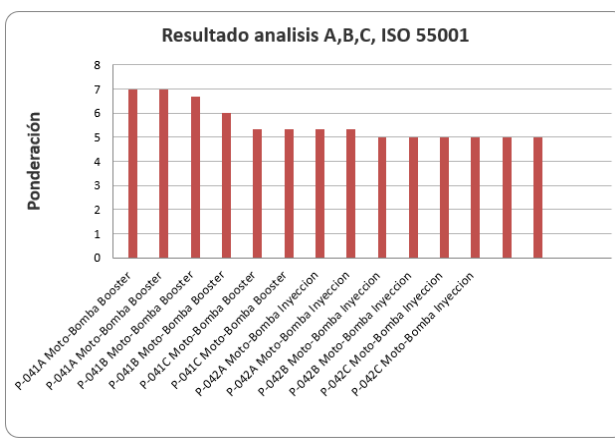


Fuente: Autores

Una vez realizado el análisis de criticidad de los equipos se procede a realizar la ponderación con sus respectivos niveles y resultados.

Ilustración 10 Nivel de criticidad y resultados ABC

Ponderación	ISO 14224										ISO 55001									
	S	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	A	B	C	D	E	F	G	H	I
P-041A Moto-Bomba Booster	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-041B Moto-Bomba Booster	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-041C Moto-Bomba Booster	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-042A Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-042B Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-042C Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-042D Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-041A Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-041B Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
P-041C Moto-Bomba Inyeccion	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0



Fuente: Autores

### 6.8.6.1 FMECA

Para la estructuración del análisis de modos de falla y efectos se identificaron los subsistemas de los equipos asociados al Sistema de Inyección de Agua, a cada uno se le identifico una falla funcional, una causa y una consecuencia, luego se calculó el nivel de criticidad para cada una de las fallas identificadas; multiplicando su frecuencia por las consecuencias, los resultados se pueden observar a continuación en la siguiente tabla.

*Tabla 7 FMECA*

Item	Ubicación Técnica	Nombre del Activo	Función Primaria	Función Secundaria
1	Sistema de Inyección de Agua	PUCE 004 Bomba P-42A	Inyección de Agua	Mantener niveles en Tanques
2		EMAC 008 Motor P-42A	Transmisión de Potencia Eléctrica a Mecánica	Variación del caudal de la bomba
3		VSD003 Variador de Frec P-042A	Variación de frecuencia	Variación de velocidad del motor

Item No.	Nombre del componente	Modo de falla	Causa / Efecto	Nivel de Frecuencia de Ocurrencia de Fallos	FF	DF	SF	RPM
2.1	Rotor, PN R8933L3 - MARCA US MOTOR- PARTE 104750 - CODIGO SAP 25795 - MATERIAL ACERO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Bajo	3	8	3	72
2.1.2	Protector radial PN B41080-US MOTOR- PARTE NUMERO 457890 - CODIGO SAP 25797- MATERIAL ALUMINIO	MANIPULACION	Causa	Bajo	3	8	3	72
2.1.2.3	O-Ring, PN 055725-VEG- PARTE NUMERO 457890 - CODIGO SAP 25798- MATERIAL CAUCHO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Medio	5	6	5	150
1.1	Empaque, Borger, FPM-Gould- PARTE NUMERO 457890 - CODIGO SAP 25797- MATERIAL PLASTICO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Medio	5	6	5	150
1.2	O-ring, HO-3, Borger FL- T76-FPM- MARCA BÖRGER- PARTE 104751 - CODIGO SAP 25784 - MATERIAL ACERO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Medio	5	6	5	150
1.2.1	Sello, Labial, PN S16508- MARCA BÖRGER- PARTE 104753 - CODIGO SAP 25783 - MATERIAL PLASTICO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Medio	5	6	5	150
1.2.1.1	Sello, Labial, PN S16116- MARCA BÖRGER- PARTE 104755 - CODIGO SAP 25783 - MATERIAL PLASTICO	RUPTURA Y DESGASTE	Efecto	Medio	5	6	5	150
1.2.2	RESORTE, SUSPENSION, P22033T @40 C, 240 C- MARCA BÖRGER- PARTE 104752 - CODIGO SAP 25783 - MATERIAL PLASTICO	USO CONTINUO	Efecto	Medio	5	6	5	150

Fuente: Autores

## 6.9 Seguridad, Salud en el Trabajo (SST) y Medio Ambiente

Hoy en día la seguridad, salud en el trabajo y el medio ambiente juegan un papel muy importante en cuanto a identificar, reconocer, evaluar e intervenir los riesgos que se originen en los lugares de trabajo, que puedan afectar la salud de los trabajadores y/o de las partes interesadas, además de desarrollar actividades de Promoción y Prevención de la salud del trabajador, protegiéndolo de los factores de riesgos ocupacionales.

Por lo anterior se deben realizar un paso a paso de la actividad de lubricación y de este modo, mitigar el riesgo al máximo al cual se encuentra el trabajador expuesto. Primero se debe definir el objetivo de la actividad y su alcance.

- **Objetivo:** Implementar normas de seguridad en el proceso de lubricación de equipos rotativos para minimizar los riesgos asociados a la actividad.
- **Alcance:** Aplica para toda la facilidad en donde se realice lubricación a equipos rotativos.

➤ **Contenido:**

✚ Condiciones Generales

1. Planificación de la actividad a realizar.
2. Asegurara que la personal que realice el trabajo tenga las competencias, capacitación y entrenamiento para desarrollar la actividad.
3. Garantizar que la actividad e inspección se realice de acuerdo a los procedimientos aprobados.
4. Tener en cuenta que la actividad debe ser desarrollada dentro de los límites seguros

➤ Herramientas y equipos

1. Graseira manual con su respectiva grasa.
2. Wypall con su respectivo aceite.
3. Llaves manuales.
4. Cámara fotográfica. (opcional)
5. Pistola Laser termografía. (opcional)
6. Estetoscopio para rodamientos(opcional)

➤ Actividades previas a la ejecución de la actividad

1. Realizar el correcto diligenciamiento del permiso de trabajo.
2. Realizar el correcto diligenciamiento del Análisis de riesgo del sitio donde se desarrolla la actividad (AR).
3. Inspección del área donde se va a realizar la actividad.
4. Verificar que el área esté libre de materiales u obstáculos que impidan el desarrollo de la actividad.
5. Charla de seguridad pre-operacional.
6. Verificar el estado de la herramienta.
7. Demarcar en lo posible el área de trabajo.
8. Esta actividad se debe realizar en conocimiento del personal de operaciones.

➤ Paso a paso de la actividad:

1. Realizar una inspección si el equipo presenta ruido en los rodamientos.
2. Toma de temperatura (opcional).
3. Utilizar el estetoscopio con el fin de identificar ruidos no percibibles con la audición normal. (opcional).
4. Identificar los puntos de lubricación de los equipos con ayuda de la ficha de lubricación del equipo.
5. Aplicación de la grasa y/o aceite a los equipos con la graser y/o wypall teniendo en cuenta la ficha de lubricación del equipo.
6. En caso de que se presentara alta temperatura verificar si baja la temperatura.
7. En caso de presentarse ruido, verificar si disminuye con la aplicación de la grasa.

8. Realizar ajuste y limpieza de los elementos del equipo y dejar un registro de la cantidad y fecha de intervención.
9. Se procede a dejar la información al supervisor de mantenimiento para su respectivo control.

### 6.9.1 Peligros y Riesgos Asociados a la Actividad

Tabla 8 Peligros y riesgos asociados a la actividad

PELIGROS	RIESGOS	EVENTO LIMITE	CONTROLES	RESPONSABLE
Superficies irregulares	Resbalones, caídas, golpes	Traumas, múltiples heridas y facturas	Realizar inspección visual de la superficie de trabajo	Técnico
			Ubicar rutas y pasos peatonales	Técnico
			Transitar por las rutas establecidas y no transitar por diques, bordes, rejillas.	Técnico
Acenso y descenso por escaleras y pasarelas	Resbalones, caídas, golpes	Traumas, múltiples heridas y facturas	Contar con barandas y pasamanos	Técnico
			Subir y bajar escaleras utilizando los tres puntos de apoyos	Técnico
Partes en movimiento o rotatorias	Atrapamientos y contacto con partes móviles en equipos	Atrapamiento, traumas y amputación de miembros	Contar con señales de advertencia al peligro	Técnico
			Verificar que los equipos cuenten con guardas de seguridad	Técnico
Superficies Calientes	Contacto con superficies calientes	Quemaduras y pérdida de piel	Señalizar e identificar las superficies calientes	Técnico
			Utilización de ropa de seguridad	Técnico
Transporte terrestre	Desplazamiento en vehículos por áreas de procesos	Accidentes de tránsito	Identificar los límites de velocidad de las diferentes áreas	Técnico
			Utilización del cinturón de seguridad	Técnico
Ruido mayor a 85 db	Exposición a ruido	Pérdida parcial o total de la audición	Utilización de tapa oídos de inserción y de copa	Técnico
			Verificar los db de la fuente	Técnico
Encuentro con animales e insectos	Piquetes y/o mordeduras de animales y/o insectos	Perdida de movilidad, rasquiña, molestia	Verificación de existencia de suero antiofídico	Técnico
			Utilización de ropa de seguridad	Técnico
			Inspección del área de trabajo	Técnico

Fuente: Autores

### 6.9.2 Medidas de seguridad

Overol o pantalón de seguridad, Camisa de seguridad, Gafas de seguridad, Casco de seguridad, Uso de protector solar y capuchón, Protector auditivo de inserción, Protector auditivo de copa en caso de requerir doble protección auditiva, Botas de seguridad.

### **6.9.3 Responsables de la ejecución y control**

- Supervisor de mantenimiento: encargado de coordinar la ejecución de la actividad.
- Supervisor HSEQ: encargado de realizar el diligenciamiento del permiso de trabajo, diligenciamiento del AR, divulgación del AR, verificación del uso de EPP, acompañamiento de la actividad y cálculo del riesgo de acuerdo a la matriz RAM (Anexo H).
- Programador: encargado de programar la actividad que se va a ejecutar.
- Personal Técnico: encargado de realizar la actividad de forma segura siguiendo las indicaciones de los procedimientos.
- Operador: encargado del área y del equipo.

### **6.9.4 Análisis y riesgos de la actividad**

Para calcular el nivel de riesgo asociado a la actividad de lubricación de equipos rotativos de una manera cualitativa, se utiliza la matriz de análisis y riesgos (RAM) para con esta herramienta poder teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia y consecuencia tomar acciones que permitan mitigar los riesgos de la actividad.

Tabla 9 Matriz RAM

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM										
CONSECUENCIAS						PROBABILIDAD				
Personas	Economica	Ambiental	Cientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catstrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Ecopetrol

$$R = C \times P$$

$$R = 3 \times C = M$$

Se puede observar en la tabla 9, que la consecuencia más grave de la actividad de lubricación recae sobre las personas y que ha ocurrido en la empresa por lo cual se toma este riesgo en cuenta.

Una vez determinado el riesgo con base a la probabilidad y la consecuencia que es igual a M, se procede a evaluar el criterio de control de riesgo de acuerdo con el nivel del riesgo (tabla 10).

*Tabla 10 Criterio de control de riesgo de acuerdo con el nivel del riesgo*

COLOR	RIESGO	TOMA DE DECISIÓN	PARA REALIZAR TRABAJO
VH	Muy Alto	Intolerable	No se debe realizar la actividad hasta no contar con alternativas que mitiguen el riesgo a por lo menos un nivel de riesgo alto (H)
H	Alto	Se deben presentar alternativas para mitigar el riesgos, en caso de realizar la actividad se debe dar la aprobación de la gerencia	Buscar alternativas para mitigar el riesgos y en caso de no ser posible los gerentes participar en la elaboración y dar la aprobación de la ejecución
M	Medio	Se deben tomar medidas que controlen mejor el riesgo para se puede ejecutar la actividad	El supervisor de mantenimiento y el supervisor HSEQ deben elaborar el AST y aprobarlo
L	Bajo	Revisar los procedimientos, controles. Listas de chequeo y responsabilidades de la actividad	para estos riesgos de debe preguntar: que puede salir mal, que puede causar que algo salga mal o falle, que podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle
N	Ninguno	usar los sistemas de controle establecidos	

Fuente: Autores

Con base a los criterios de control de riesgo de acuerdo al nivel de riesgo, es necesario tomar medidas que controlen el riesgo para poder realizar la ejecución de la actividad y el supervisor de mantenimiento y el supervisor HSEQ deben elaborar el AST y aprobarlo.

### **6.9.5 Medio ambiente**

Con respecto al impacto medio ambiental que puede generar la actividad, se recomienda tener en cuentas los siguientes aspectos que se encuentran alineados al plan de acción de cumplimiento ambiental.

- ✓ Manejo de residuos de acuerdo con su clasificación. Residuos reciclables en una bolsa Blanca. Residuos peligrosos y/o contaminados con aceite, deben ser escurridos en un recipiente para enviar aceites al drenaje cerrado y sólidos al lugar de disposición en una bolsa Negra.
- ✓ Los aspectos ambientales significativos asociados con la tarea y los posibles impactos al medio ambiente que se puedan generar son identificados, igualmente en el permiso de trabajo y el análisis de seguridad que se incluye para la ejecución de la tarea.



- ✓ El permiso de trabajo debe ser leído y entendido por los ejecutantes antes de empezar la labor, con el fin de saber cuáles son los aspectos ambientales y peligros analizados, involucrados en la tarea, conocer los controles y evitar incidentes que puedan generar los posibles impactos al medio ambiente por el no cumplimiento del procedimiento de trabajo.
- ✓ Los aspectos ambientales valorados en el permiso de trabajo y la forma de minimizar los impactos son de obligatorio conocimiento y aplicación, por el ejecutante de la tarea antes de iniciar la actividad, así como de las evaluaciones de riesgos que puedan surgir en el análisis del permiso de trabajo.
- ✓ Es de suma importancia contar con un kit de emergencia de derrames de productos a base de hidrocarburos, ya que la sustancia que se maneja es aceite y grasa.

## **7. Impactos esperados /generados**

### **7.1 Impactos esperados**

Se espera que la generación del plan de lubricación para los equipos rotativos de CPE-6 cree una cultura del mantenimiento autónomo para la mejora continua de los equipos de la compañía, teniendo la información técnica apropiada y mano de obra calificada para dichos procesos. Para esto se reflejaría en un plazo de (meses) corto de 0-12, mediano de 13-18, largo de 19 o más.

De los impactos esperados está los de corto plazo ya que con un plan de lubricación la empresa gradualmente entenderá la importancia de la lubricación a los equipos, mejorando la productividad económica del campo.

Por último, el fortalecimiento de las habilidades de nuestros profesionales (Operadores y Técnicos) en un corto plazo teniendo un alto índice de compromiso y conocimientos para poder cumplir con los trabajos asignados, con altos estándares de calidad.

### **7.2 Impactos alcanzados**

Los impactos alcanzados fueron; diagnóstico del estado actual de los equipos del sistema de inyección de agua, proponiendo el plan de lubricación el cual carece la compañía.

Por otra parte, se desarrollaron fichas técnicas de los equipos y la recolección de información de las hojas de vidas de estos.

Bajo la implementación de los 4 pilares de la metodología del TPM se aumentó la producción por la estabilidad operacional de los equipos y al mismo tiempo se incrementó la motivación de los operadores y personal técnico de acuerdo con la satisfacción del trabajo ejecutado.

## 8. Administración de Presupuesto

Un Presupuesto es la previsión de gastos e ingresos para un determinado lapso. Permite a las empresas, los gobiernos, las organizaciones privadas y las familias establecer prioridades y evaluar la consecución de sus objetivos. Para alcanzar estos fines puede ser necesario incurrir en déficit o, por el contrario, puede ser posible ahorrar, en cuyo caso el presupuesto presentará un superávit. En el ámbito del comercio es también un documento o informe que detalla el coste que tendrá un servicio en caso de realizarse. El que realiza el presupuesto se debe atener a él y no puede cobrarlo si el cliente acepta el servicio. (WEBSCOLAR, 2010)

*Tabla 11 Presupuesto*

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>TALENTO HUMANO</b>				
ASESORIA	\$/hora	30	\$ 60.000	\$ 1.800.000
PROCESO DE DIAGNÓSTICO	\$/hora	80	\$ 45.000	\$ 3.600.000
PLAN DE CAPACITACIÓN	\$/hora	60	\$ 30.000	\$ 1.800.000
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	\$/hora	15	\$ 26.785	\$ 401.775
CREACIÓN PLAN DE LUBRICACIÓN	\$/hora	5	\$ 26.785	\$ 133.925
IMPLEMENTACION PLAN DE MTTO	\$/hora	20	\$ 150.000	\$ 3.000.000
INDICADORES DE GESTIÓN DE MTTO	\$/hora	16	\$ 26.785	\$ 428.560
<b>MAQUINARIA</b>				
HERRAMIENTA INFORMATICA (PC)	\$	3	\$ 1.475.000	\$ 4.425.000
INTERNET	\$/mes	8	\$ 35.000	\$ 280.000
SOFTWARE	\$	1	\$ 20.000	\$ 20.000
USO Y MANEJO DE FORMATOS	\$ un	20	\$ 2.000	\$ 40.000
<b>MATERIALES FUNGIBLES</b>				
IMPRESIONES	\$/hoja	200	\$ 150	\$ 30.000
REVISTA, LIBROS Y PERIODICOS	\$ un	25	\$ 20.000	\$ 500.000
PAPELERIA GENERAL	\$ un	6	\$ 30.000	\$ 180.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 16.639.260</b>

Fuente Autores

## 8.1 Cálculo del ROI

Para el cálculo del retorno de la inversión se toma como base los costos asociados a la implementación del proyecto más los costos que se generarán por la compra de los lubricantes necesarios para la intervención de los equipos según lo acordado en el plan lo cual suma una caneca de 55 galones de cada lubricante acordado y un cuñete de 18kg de la grasa necesaria para aplicar a los rodamientos de motores eléctricos y bombas en donde aplique, teniendo en cuenta que una de las limitaciones fue el poder obtener los costos reales de producción por políticas de la compañía se aproxima un valor promedio a la participación del proceso de inyección de agua de la estación en todo el proceso de producción de crudo de lo cual se pudo obtener el siguiente valor para el ROI:

*Tabla 12 Cálculo del ROI*

Cálculo de ROI					
Datos a completar:					
Inversión		\$ 25.545.825,00			
Ingresos netos producidos por inversión		\$ 100.476.087,00			
Resultados					
ROI en %		293,32%			
ROI en \$		\$ 3,9332			
El retorno de inversión (ROI) cuando mi ingreso es \$100.476.087,00 y mi inversión es de \$25.545.825,00 es igual a 293%					
Por cada peso invertido, obtengo \$3,93 pesos de retorno					

Fuente Autores

## 9. Conclusiones y Recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

- ✓ Con la desarrollo e implementación de los planes de lubricación se mejora la confiabilidad y disponibilidad de los equipos rotativos del Campo CPE-6, reduciendo el tiempo medio entre falla y el tiempo medio para reparar, gracias al suministro adecuado de lubricación a los diferentes componentes con base a las recomendaciones de los fabricantes.
- ✓ La creación de las fichas de lubricación ayuda a evita errores frecuentes que pueden llevar al deterioro los componentes de los equipos debido a errores humanos a la hora de realizar la lubricación.
- ✓ Se optimiza el recurso horas hombre, ya que se tiene la información en el lugar adecuado y se garantiza el menor tiempo posible de desplazamiento del personal entre actividades.
- ✓ Se presenta un ahorro considerable en la utilización de lubricantes ya que se aplica la cantidad con la frecuencia especificada por el fabricante y no se genera sobre lubricación lo cual puede afectar los componentes de los equipos.
- ✓ Se optimiza los costos del mantenimiento al evitar que el equipo falle por problemas de lubricación, lo que ayuda a programar las actividades de mantenimiento.

### 9.2 Recomendaciones

- ✓ Se debe tener cuidado al momento de almacenar los lubricantes ya que de su cuidado depende la conservación de sus propiedades. Que los recipientes donde este se almacena queden siempre bien tapados para evitar contaminación con agentes externos.

- ✓ Brindar charlas y capacitaciones sobre el mundo de la lubricación y de los equipos no solo al personal de mantenimiento sino también a los operadores, ya que ellos son quienes permanecen junto a los equipos la gran mayoría de tiempo
- ✓ Las personas que estén frente al mantenimiento deberán tener conocimientos sobre el tema para poder ejecutar el plan de mantenimiento planteado en esta propuesta.

## 10. Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <http://noria.mx/lublearn/la-carta-de-lubricacion-un-documento-clave-en-la-gestion-de-lubricacion-en-holcim-apasco-planta-orizaba/>
- (s.f.). Obtenido de <http://www.widman.biz/boletines/2.html>
- Bedoya Márquez, A. (2006). *Manual de Lubricación por Equipos para la Industria Licorera de Caldas*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Castro Castaño, S. (2018). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Pereira. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/159377823.pdf>
- Esquivel Triana, F. F., & Ruiz Molina, J. L. (2018). Implementación sistema de lubricación por niebla en casa bomba. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4664/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20ESQUIVEL%20RUIZ%20GPV16.pdf>
- Farías Meza, J. C. (2010). *Diseño e implantación de un plan de lubricación para máquinas y equipos*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/12015>
- Gallego Valencia, S., & Arboleda Urrea, Y. P. (2019). *Implementación del mantenimiento autónomo a las herramientas neumáticas de la línea de ensamble de la empresa AUTEKO MOBILITY SAS*. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO, MEDELLIN. Obtenido de [https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1605/Rep\\_Itm\\_pre\\_Gallego.pdf?sequence=1](https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1605/Rep_Itm_pre_Gallego.pdf?sequence=1)
- Gonzales Pinedo, G. G. (2017). Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa cosmos agencia maritima s.a.c. Lima,

- Perú. Obtenido de  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12926/Tesis%20Implementaci%C3%B3n%20TPM.pdf?sequence=1>
- Guerrero Ramirez, J. L., González Martínez, I. X., & Guerrero Ramirez, A. M. (2019).  
<http://repository.unipiloto.edu.co/>. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/>
- Hydraulic Institute. (2010). Obtenido de <https://www.pumps.org/members/hydraulic-institute/>
- JIPM. (2019). Definición del TPM. Japon. Obtenido de <https://jipmglobal.com/about/tpm>
- Leedeo Engineering. (16 de 01 de 2020). ¿Qué es un FMECA? España. Obtenido de  
<https://www.leedeo.es/l/fmeca/>
- Metodología General para la Formulación de Proyectos. (Agosto 2013). En D. N. Planeación  
 (Ed.), *Manual de Soporte Conceptual* (pág. 28). Republica de Colombia.
- NTC 1840. (2017). *NTC 1840, Petróleo y sus derivados. Bases lubricantes*. Norma Técnica  
 Colombiana.
- Núñez Lazarte, G. A. (2012). *Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32' x 32'  
 de 621 DMTPH*. Universidad Católica de Santa María, Perú, Arequipa. Obtenido de  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7914>
- Osorio Piedrahita, J. A. (2016). *Implementación de una rutina lubricación para las máquinas de  
 tejer de textiles Omnes*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de  
<https://repositorio.utp.edu.co/items/54673bbf-32f4-4695-b75e-f4af4b9ac081>
- PORRITT, W. (2014). *Mantenimiento y reconstrucción de maquinaria: Resolución de uno de los  
 más importantes problemas en la industria moderna*. Barcelona.
- Ramírez Hernández, J. F. (2007). *Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la  
 maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción,*



por *Topsa Construcciones S.A.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Obtenido de

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/5140/1/JULIO%20FRANCISCO%20RAMIREZ%20HERN%C3%81NDEZ.pdf>

Rivas Poveda, R. E. (2017). *5.1.2.1 Diseño de un plan de lubricación basado en la filosofía TPM (Mantenimiento Total Productivo) para una planta hormigonera de Guayaquil.*

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil. Obtenido de

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/24512/1/Tesis%20Rina%20Rivas%20Poveda.pdf>

Rojas Rangel, M. F. (2011). *Implementación de los pilares de TPM (Mantenimiento Total Productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de*

*producción Ofixpres S.A.S.* Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Santander, Floridablanca. Obtenido de

[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1711/digital\\_21225.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1711/digital_21225.pdf?sequence=1)

Romero Carranza. (2013). *Matriz de Criticidad.*

WEBSCOLAR. (01 de 10 de 2010). <https://www.webscolar.com/la-administracion-del-presupuesto>.

Wright, Jeremy. (10 de 2013). *Diseño del proceso de lubricación.* (N. Corporation, Ed., & F. J.

Páez Alfonso, Trad.) *Machinery Lubrication.*