



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

Fortalecimiento del plan de mantenimiento de la empresa STORK TECHNICAL SERVICES por medio del diseño e implementación de registros que contengan un riguroso seguimiento de los activos en la estación de bombeo de hidrocarburo en Puerto Salgar

Arturo Corrales Orrego
Estudiante de ingeniería mecatrónica

Pamplona, N. de Santander
25/10/2021



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Fortalecimiento del plan de mantenimiento de la empresa STORK TECHNICAL SERVICES por medio del diseño e implementación de registros que contengan un riguroso seguimiento de los activos en la estación de bombeo de hidrocarburo en Puerto Salgar

Arturo Corrales Orrego
Estudiante de ingeniería mecatrónica

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título profesional de **Ingeniero Mecatrónico**.

Director:
Ing. M. Sc. Diego José Barrera Oliveros

Pamplona, N. de Santander
25/10/2021

Dedicatoria

Este trabajo va a dedicado a:

Mi padre Arturo Corrales y mi madre Beatriz Orrego Jiménez, gracias al amor, esfuerzo, dedicación y educación que me brindaron y lograron como resultado la persona que soy hoy en día. Agradezco todo el apoyo y sabiduría entregada durante el tiempo de formación profesional, los cuales fueron fundamentales para el cumplimiento de uno de los mayores logros en mi vida.

El señor Orlando Rodríguez Guzmán y la señora Piedad Orrego Jiménez, mis tíos, quienes también formaron parte importante durante el periodo de mi carrera, impulsándome y alentándome mientras me preparaban para la vida profesional.

A todas y cada una de esas buenas personas que, tanto directa como indirectamente fueron también partícipes en la culminación de esta meta, les dedico este trabajo como un justo reconocimiento a su sacrificio.

Agradecimientos

Al finalizar esta etapa de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo y que han aportado para que yo pueda llegar a tan maravillosa instancia.

Agradezco enormemente y de manera especial al Ing. M. Sc. Diego José Barrera Oliveros, tutor de tesis, quien, con toda su disposición y conocimiento, me ha orientado en la elaboración de este proyecto y ha sido el guía durante la etapa final de mi carrera.

De igual manera, agradezco a todos los docentes del programa de ingeniería mecánica y de la Universidad de Pamplona, tanto por haberme compartido sus conocimientos, como por haberme brindado tantas oportunidades que han enriquecido mi desarrollo como profesional y personal a lo largo de mi preparación como ingeniero en mecánica.

Así mismo, agradezco a Stork technical services, institución que me brindó la gran oportunidad de realizar mis prácticas profesionales. Además, agradezco especialmente al ing. Luis Fernando Amador Aguirre, ingeniero IMC del área de mantenimiento y confiabilidad de la empresa y jefe inmediato, quien me brindó todas las herramientas para que pudiera desarrollar una práctica de manera exitosa. Por último, agradezco a todas las personas involucradas durante mi tiempo de práctica, personas muy agradables y acogedoras quienes hicieron de esta una de las mejores experiencias de mi vida.

Resumen

Este proyecto se desarrolla con el objetivo del estudio de los posibles factores o variables a tomar en cuenta para realizar un mantenimiento basado en condición (CBM) a los diferentes equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos presentes en la estación de recibo y despacho de hidrocarburos de Puerto Salgar, así como de la organización de un nuevo plan de mantenimiento de los equipos registrado en una base de datos con la cual se pretende organizar información, adicionar datos técnicos relevantes y programar actividades fundamentales para llevar un óptimo seguimiento y monitoreo de los equipos determinados de una manera más segura y efectiva.

Palabras clave: Proyecto, mantenimiento, CBM, eléctricos, electrónicos, mecánicos, bombeo, hidrocarburos.

Abstract

This project is developed with the objective of studying the possible factor or variable to take into account to carry out a condition-based maintenance (CBM) to the different electrical, electronic and mechanical equipment present in the hydrocarbon pumping stations in Puerto Salgar, as well as the organization of a new maintenance plan for the equipment registered in a database with which it is intended to organize information, add relevant technical data and Schedule fundamental activities to carry out an optimal follow-up and monitoring of the determined equipment of a safer and more effective way.

Keywords: Project, maintenance, CBM, electrical, electronic, mechanical, pumping, hydrocarbons.

Índice General

1.	Introducción.....	9
2.	Planteamiento del problema	12
2.1	Descripción de la empresa.....	12
2.1.1	Características de la empresa	12
2.2	Definición del problema.....	14
2.3	Objetivo general.....	14
2.4	Objetivos específicos	15
2.5	Justificación.....	15
3.	Marco Teórico	17
3.1	Directriz estratégica	18
3.2	Modelos de mantenimiento	19
3.2.1	Modelo correctivo	19
3.2.2	Modelo condicional.....	20
3.2.3	Modelo sistemático	20
3.2.4	Modelo de alta disponibilidad.....	21
3.3	Clases o tipos de mantenimientos	22
3.3.1	Mantenimiento correctivo.....	22
3.3.2	Mantenimiento preventivo	23
3.3.3	Mantenimiento predictivo	24
3.3.4	Comparación entre los 3 sistemas de mantenimiento	25
3.4	Mantenimiento basado en condición	26
3.4.1	Requerimientos de un programa de mantenimiento basado en condición...28	
3.4.2	Análisis de vibraciones mecánicas	29
3.4.2.1	¿Qué es vibración?	29
3.4.2.2	Unidades de vibración	31
3.4.2.3	El análisis	32
3.4.3	Análisis termográfico.....	34
3.4.3.1	Termograma.....	35
3.4.3.2	Inspección termográfica.....	37
3.4.4	Análisis MCEmax	38
3.4.4.1	Calidad de energía.....	39
3.4.4.2	Circuito de fuerza	39
3.4.4.3	Aislamiento.....	40
3.4.4.4	Estator	40

3.4.4.5	Rotor.....	40
3.4.4.6	Entrehierro	41
3.4.5	Ventajas del mantenimiento basado en condición	42
3.4.6	Desventajas del mantenimiento basado en condición.....	42
4.	Equipos e instalaciones	43
4.1	Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo	43
4.2	Sistemas de gerencia integrales (HSEQ)	43
4.2.1	Gestión del riesgo HSEQ	44
4.3	Poliductos en Colombia	45
4.4	Unidades de bombeo principal	48
4.4.1	Acoplamientos mecánicos	49
4.4.2	Motor eléctrico principal.....	50
4.4.2.1	Montaje	51
4.4.2.2	Curva característica	53
4.4.3	Variador de velocidad hidrovíscoso	53
4.4.3.1	¿Cómo se genera la película de aceite?.....	54
4.4.3.2	Material de los discos	55
4.4.3.3	¿Cómo se controla el torque?	56
4.4.3.4	Accesorios.....	57
4.4.3.5	Representación esquemática del variador de velocidad	58
4.4.3.6	Curvas características y de eficiencia	59
4.4.4	Bombas centrífugas	61
4.4.4.1	Principio de funcionamiento.....	62
4.4.4.2	Criterios y parámetros de selección de bombas centrífugas	63
4.4.4.3	Métodos simplificados para selección de bombas.....	64
4.4.4.4	Condiciones de operación de una bomba.....	66
4.4.4.5	Curvas características	66
4.5	Estación de recibo y despacho de hidrocarburo de Puerto Salgar	67
4.5.1	Riesgos y peligros presentes en el entorno.....	69
4.5.2	Almacenamiento	70
4.5.3	Sistemas de transporte.....	71
4.5.4	¿Cómo trabajar en la planta?	71
4.5.5	Componente operativo – Sistemas contraincendios (SCI)	72
5.	Metodología.....	73
5.1	Identificación y análisis de documentación	73
5.2	Control de documentación interna.....	73

5.3	Identificación de manuales existentes dentro del área de mantenimiento.....	74
5.4	Recopilación de datos y diseño de registros de los equipos.....	74
5.5	SAP PM (Mantenimiento de planta).....	74
5.5.1	Mantenimiento de planta predictivo.....	75
5.5.2	Características de SAP PM.....	76
5.5.3	Beneficios de SAP PM.....	76
5.5.4	Estructura de gestión.....	77
5.5.5	Estructura técnica de los equipos.....	77
5.5.6	Modelo de mantenimiento.....	80
5.5.7	Gestión de mantenimiento.....	83
5.5.8	Roles en SAP.....	85
5.5.9	Diagrama de flujo.....	86
6.	Hojas de vida de los equipos.....	88
6.1	Objetivo de las hojas de vida.....	89
6.2	Aplicaciones de las hojas de vida.....	89
6.3	Contenido de las hojas de vida.....	90
6.3.1	Ejemplo hoja de vida – Motor MPE – 2430.....	91
6.3.2	Ejemplo hoja de vida – Variador VV - 2410.....	93
6.3.3	Ejemplo hoja de vida – Bomba BPC – 2420.....	95
6.3.4	Bitácora de mantenimiento.....	96
6.3.5	Hojas de vida de equipos.....	98
6.3.6	Sección de vibraciones.....	99
6.3.7	Sección de Termografía.....	100
6.3.8	Sección de lubricación.....	101
6.3.8.1	Rótulos de lubricación.....	101
7.	Informe general.....	103
7.1	Consolidado histórico de eventos de falla.....	103
7.2	Fallas por año.....	104
7.3	Análisis por tipo de evento de falla.....	104
7.4	Estado de las órdenes de mantenimiento.....	105
7.5	Modos de falla.....	106
7.6	Conclusiones generales.....	107
8.	Análisis e interpretación de resultados.....	108
8.1	Resultados.....	109
8.2	Conclusiones.....	111
8.3	Recomendaciones.....	111

9. Bibliografía	112
10. Anexos	116

Índice de Tablas

Tabla 1.	Ventajas y desventajas.	25
Tabla 2.	Comparación de costos.	26
Tabla 3.	Prueba de aislamiento.	40
Tabla 4.	Motores eléctricos objetivos.	51
Tabla 5.	Datos de operación.	52
Tabla 6.	Variadores hidrovicosos objetivos.	54
Tabla 7.	Bombas centrífugas objetivos.	61
Tabla 8.	Condiciones de operación de bombas centrífugas.	66
Tabla 9.	Codificación SAP para el tipo de unidad.	78
Tabla 10.	Tipos de avisos.	83
Tabla 11.	Tipos de órdenes.	84
Tabla 12.	Formato control documental de los archivos.	90

Índice de Gráficos

Figura 1.	Componentes de la función mantenimiento.....	19
Figura 2.	Tipos de mantenimiento.	22
Figura 3.	Curva de mantenimiento predictivo.....	25
Figura 4.	Curva I-P + P-F. Establece el punto más probable de falla dependiente del estado actual de la máquina.....	27
Figura 5.	Estructura de trabajo del modelo de mantenimiento basado en condición.	28
Figura 6.	Fotografía del motor eléctrico de baja tensión de la unidad de compresión de aire de la estación.....	28
Figura 7.	Destrezas que debe tener un buen analista.	29
Figura 8.	Monitoreo a un motor eléctrico principal.	30
Figura 9.	Esquemático de una vibración real de una máquina (dominio del tiempo) y la aplicación de la transformada de Fourier (dominio de la frecuencia).	30
Figura 10.	Unidades de vibración.	31
Figura 11.	Flujograma de un análisis de vibraciones.	32
Figura 12.	Puntos de medición para el monitoreo en sistemas de bombeo y equipos rotativos.	32
Figura 13.	Sensor acelerómetro.....	33
Figura 14.	Fotografía del analizador de vibraciones perteneciente a la empresa..	34
Figura 15.	Espectro electromagnético.	34
Figura 16.	Fotografía a la cámara termográfica perteneciente a la empresa.	35
Figura 17.	Termograma de un motor eléctrico.....	37
Figura 18.	Análisis MCEmax a un motor eléctrico.....	38
Figura 19.	Equipo MCEMAX.	39
Figura 20.	Rotor de motor eléctrico jaula de ardilla.	41
Figura 21.	Partes de un motor eléctrico.	42
Figura 22.	Reuniones y charlas de seguridad industrial HSEQ.	44
Figura 23.	Cronograma de trabajo HSEQ.....	44
Figura 24.	Elementos de protección personal (EPP).....	45
Figura 25.	Poliducto Bicentenario en Colombia.....	46
Figura 26.	Poliductos en Colombia.....	47
Figura 27.	Unidad de bombeo principal de GLP estación Puerto Salgar.....	48
Figura 28.	Acoples mecánicos.....	49
Figura 29.	Partes de un acople mecánico más simples.....	49

Figura 30.	Motor eléctrico principal MPE-2430 estación Puerto Salgar.....	50
Figura 31.	Montaje de un motor eléctrico.	52
Figura 32.	Curva de operación de un motor jaula de ardilla.....	53
Figura 33.	Variador de velocidad VV-2410 estación Puerto Salgar.	54
Figura 34.	Circuito del flujo de aceite en un variador hidrovicoso.	55
Figura 35.	Cizallamiento del aceite en variador hidrovicoso.	55
Figura 36.	Diagrama de la vista transversal de un variador.	56
Figura 37.	Gráfico de instrumentación y control de un variador.	56
Figura 38.	Componentes de un variador.....	57
Figura 39.	Controladores.....	57
Figura 40.	Paquete de lubricación.....	57
Figura 41.	Enfriador (agua).....	58
Figura 42.	Enfriador (aire).	58
Figura 43.	Representación esquemática de un variador de velocidad.	58
Figura 44.	Curva eficiencia (torque variable).	59
Figura 45.	Curva eficiencia (torque constante).....	59
Figura 46.	Curva eficiencia (potencia constante).....	60
Figura 47.	Curva de eficiencia.....	60
Figura 48.	Bomba centrífuga principal BPC-3410 estación Puerto Salgar.....	61
Figura 49.	Partes de una bomba centrífuga.....	62
Figura 50.	Método de selección gráfico simplificado.....	65
Figura 51.	Punto de operación de una bomba.....	65
Figura 52.	Curva de potencia.	66
Figura 53.	Curva de caudal.	67
Figura 54.	Planos de la estación Puerto Salgar.	68
Figura 55.	Entrada a la estación Puerto Salgar	68
Figura 56.	Número de tanques de relevo presentes en las instalaciones.....	70
Figura 57.	Número de tanques de GLP (tabacos) presentes en las instalaciones..	70
Figura 58.	Diagrama de las líneas (poliductos) que atraviesan la estación.....	71
Figura 59.	Representación esquemática de los protocolos para realizar actividades en las instalaciones.	71
Figura 61.	SAP PM, componentes.....	75
Figura 62.	Facilidades de SAP.	75
Figura 63.	Estructura de gestión SAP.	77
Figura 64.	Pirámide jerárquica de la estructura técnica de los equipos.	77
Figura 65.	Componentes y objetos de trabajo utilizados en SAP.	78

Figura 66.	Codificación SAP para las características de los equipos	79
Figura 68.	Categorías de mantenimiento en SAP.....	80
Figura 69.	Tipos de mantenimiento preventivo en SAP.....	81
Figura 70.	Tipos de mantenimiento por condición en SAP.....	82
Figura 71.	Tipos de mantenimiento correctivo no planeado en SAP.....	83
Figura 72.	Roles de SAP.....	85
Figura 73.	Formato bitácora de mantenimiento.....	97
Figura 74.	Formato de severidad de una vibración según la norma ISO 10816-3.	99
Figura 75.	Algunas patologías clasificadas del análisis de vibraciones en equipos rotativos.....	100
Figura 76.	Termograma de un motor eléctrico que se encuentra en condiciones normales de operación.....	100
Figura 77.	Formato de rótulo de lubricación para el motor eléctrico principal de la unidad 2430.....	101
Figura 78.	Sección del lubricante en el rótulo de lubricación.....	101
Figura 79.	Sistema de codificación por colores para grados de viscosidad ISO.	102
Figura 80.	Gráfico consolidado eventos de falla en los equipos.....	103
Figura 81.	Consolidado de eventos de falla por año.....	104
Figura 82.	Clasificación por tipo de evento de falla.....	105
Figura 83.	Estado de las órdenes de mantenimiento.....	106
Figura 84.	Clasificación por modo de falla de los eventos	107
Figura 85.	Listado en SAP de órdenes de mantenimiento realizados al variador de la unidad 2410 en un intervalo de tiempo.....	108
Figura 86.	Fotografía de la unidad de bombeo principal 2430 que se encontraba en preservación.....	109
Figura 87.	Diagrama circular del desarrollo del proyecto de Hojas de vida de los equipos.....	110
Figura 88.	Rótulo de lubricación instalado en un activo de las instalaciones..	110
Figura 89.	Termografía aplicada al sistema de control de las unidades principales, tomada en el cuarto de control de máquinas o CCM.....	116
Figura 90.	Fotografía unidad de bombeo principal 2440.....	116
Figura 91.	Equipos auxiliares unidad de bombeo principal 2420.....	117
Figura 92.	Unidad de sistema contra incendio (SCI) de extinción con espuma de la estación.....	117
Figura 93.	Fotografía unidad de bombeo principal 7420.....	118
Figura 94.	Sistema de refrigeración por radiador de unidades principales 2420 y 2430.....	118

Capítulo 1

Introducción

“Una de las aplicaciones comunes en nuestro país para la ingeniería es el mantenimiento. Esta disciplina puede ser mal interpretada como un cambio de piezas a determinada frecuencia sin posibilidades de diseño ni soluciones innovadoras. Sin embargo, en el área de mantenimiento existe una aplicación conocida como confiabilidad, que se encarga de maximizar la disponibilidad y seguridad de operación de las máquinas para así reducir costos u asegurar una operación eficiente.” (Villarreal Carvajal, 2008)

Las empresas hoy en día están en constante búsqueda de eficiencia en los procesos productivos que llevan a cabo, para lograr tal objetivo, sus acciones se concentran en la reducción considerable en los costos generales de la organización. Por lo tanto, se toman medidas para garantizar la disponibilidad de los equipos involucrados en la línea de producción primaria y al mismo tiempo se asegura la calidad del producto o servicios.

“Existen, desde hace varios siglos, estándares de calidad que no son sustancialmente diferentes a los de las demás personas. Las estrategias y herramientas para aseguramiento de la calidad pueden haber cambiado, pero las expectativas básicas de los clientes, han sido prácticamente constantes durante mucho tiempo. La atención sobre la calidad durante las últimas décadas, ha creado un mercado global de consumidores enfocados también a la calidad. Piensan que saben lo que significa, que la pueden reconocer cuando la ven y, muy importante, esperan (inclusive demandan) calidad en cada producto y servicio que compran.” (R. W. & B. Y, 2001)

Ahora bien, cuando los productos o servicios fallan, no solo se perjudica el bienestar, y no solo se interrumpen estos servicios, sino que nuestra propia integridad se ve afectada. Las fallas en las máquinas han jugado un papel primordial en los peores accidentes e incidentes medioambientales en la historia de la industria. Como resultado, los eventos causantes de estas fallas, y lo que se debe hacer para minimizar sus impactos están ocupando un lugar realmente prioritario en el sector industrial.

Cada vez se nota un mayor crecimiento en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Se desarrollaron cientos de ellos en los últimos años y a medida que avanza el tiempo emergen nuevos, los cuales incluyen:

- Herramientas de toma de decisiones, como son los estudios de riesgos, tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como lo es el monitoreo del estado.

- El diseño de equipos poniendo gran énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio mayor en el pensamiento organizacional, a través de la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

El mayor reto al cual se enfrentan los encargados del área de mantenimiento en la actualidad, no incluye únicamente interiorizarse en estas técnicas, sino decidir cuáles son útiles y valederas y cuáles no, para sus respectivas organizaciones. Si se toman decisiones correctas, es posible mejorar el funcionamiento de los equipos y, agregado a esto, mantener y reducir los costos de mantenimiento.

Habiendo leído lo anterior, este proyecto tiene como finalidad el fortalecimiento de las estrategias de mantenimiento estableciendo herramientas indispensables para tener un control predictivo del funcionamiento de los activos que operan en las instalaciones. Su implementación cumple un rol muy importante en el proceso de optimización del plan de mantenimiento y tiene como finalidad establecer niveles óptimos de efectividad y eficiencia, consiguiendo de esta manera una mayor rentabilidad para la organización.

La estructura de este documento se conforma de la siguiente manera:

- **Capítulo 1**

Se desarrolla la introducción del trabajo, estableciendo el tema central de estudio, su finalidad y la forma en la cual se llevará a cabo el contenido del documento en su totalidad.

- **Capítulo 2**

Se documenta el planteamiento del problema, sección en la que se relaciona lo que se tiene en la empresa, presentando una breve introducción de ella y lo necesario para el fortalecimiento del programa de mantenimiento, se plantean el objetivo general del trabajo y los objetivos específicos que contribuirán a su ejecución.

- **Capítulo 3**

El lector podrá identificar las bases teóricas del proyecto, bases en las que se mencionarán conceptos relacionados con los diversos métodos y estrategias que constituyen un programa de mantenimiento a nivel industrial, con la finalidad de que se puedan establecer criterios y puntos de vista que permitan desarrollar una metodología acorde a lo que se busca, para después dar una interpretación clara y concisa de los resultados que se obtuvieron.

- **Capítulo 4**

Tendrá incluido todo lo referente a equipos e instalaciones involucrados en la línea de bombeo principal de la empresa, normativas y documentación requerida en lo referente a seguridad industrial de la industria del hidrocarburo, conceptos fundamentales dentro del desarrollo de los manuales de operación estándar.

- **Capítulo 5**

Se establecerá la metodología empleada, describiendo de manera detallada cada uno de los pasos utilizados para dar soluciones a los objetivos planteados.

- **Capítulo 6**

En este capítulo, se considera el diseño de los documentos de hojas de vida para los equipos predeterminados, según los conceptos planteados y documentación interna de la empresa.

- **Capítulo 7**

El capítulo 7 corresponde a la última parte del trabajo, en la cual se analizan los resultados obtenidos con el desarrollo e implementación de tales metodologías implementando las hojas de vida, también se establecerán unas conclusiones y recomendaciones que surgen a partir de dichos resultados

Capítulo 2

Planteamiento del problema

2.1 Descripción de la empresa

STORK TECHNICAL SERVICES HOLDING B. V. es una empresa prestadora de servicios técnicos industriales, apoyando a las actividades de extracción de petróleo y de gas natural, así como las industrias de energía, minería y refinación. Es una de las principales empresas de contratación de mantenimiento de Colombia, sus trabajos industriales especializados y multidisciplinarios ofrecen una alta satisfacción al cliente.

“La empresa cuenta con bastante maestría en el área de hidrocarburos y todas las actividades que dicho sector productivo requiere. Está fuertemente focalizada en la seguridad del proceso a través del programa global de salud, seguridad ocupacional y medioambiente. También ubica personal con experiencia y capacidad técnica para perfeccionar la ejecución del mantenimiento y las actividades operativas que favorecen el proceso de producción de los clientes.” (Stork Corporation Web site, 2021)

“Es una entidad extranjera matriculada el jueves 23 de mayo de 2013 con sede principal de sus operaciones en la dirección, Carrera 7 156 10 Piso 25 Edificio Northpoint Torre Krystal en Bogotá. Dispone de numerosas instalaciones a lo largo del territorio nacional, una de las cuales se encuentra ubicada en el municipio de Puerto Salgar (Cundinamarca), ubicación en el que se desarrollará este proyecto.” (LasEmpresas, 2021)

Teléfono: (1)5169696

Correo electrónico: maryory.urrego@stork.com

2.1.1 Características de la empresa

Razón social

- Stork Technical Services Holding B.v. Sucursal Colombia

Sector

- Hidrocarburos

Actividad económica

Empresa dedicada principalmente a actividades de apoyo para la extracción de petróleo y de gas natural.

Servicios que presta la empresa

La empresa presta servicios de ingeniería y construcción, operaciones y mantenimientos, paradas de planta y modificaciones, reubicaciones y desmantelamiento. Sus equipos están capacitados y preparados para encargarse de las operaciones diarias de las instalaciones, incluidos la planificación y el control de la gestión, así como con décadas de experiencia de trabajo en plantas activas y ambientes abandonados y una gran destreza en gestión de riesgos de manera apropiada, que asegura un desempeño excelente en salud, seguridad ocupacional y medioambiente en ambientes de constante cambio. En el sitio, Stork lleva a cabo mantenimiento de primera categoría, ayudando a minimizar los riesgos los riesgos y disminuir los costos de mantenimiento generales sin poner en riesgo la seguridad al emplear personal de embarcaciones multitalentoso. (Stork Corporation Web site, 2021)

Políticas de calidad

“Stork busca la excelencia en el servicio y la gestión integral de los riesgos. Bajo el modelo de “sinergia” logra mejores tiempos de ejecución, optimización de los recursos y menores impactos en pérdidas de producción planeada y no planeada que se traducen en mayor rentabilidad para el negocio, alineada a las metas HSEQ y seguridad de procesos (SP).” (Stork Corporation Web site, 2021)

- Busca establecer vínculos de largo plazo con los clientes. La estrategia es conformar alianzas para obtener resultados de manera conjunta.
- Fomentar la disciplina en el personal, en su forma de pensar y hacer las cosas. Se cuenta con empleados líderes, humildes y motivados, con la firmeza para entregar resultados.
- Stork, la casa matriz, se encuentra en un proceso de desarrollo constante y actualización de sus productos y servicios, con el objetivo de incorporar pensamientos innovadores para mejorar los procesos de los clientes.

2.2 Definición del problema

Las empresas se enfrentan constantemente al reto de producir más gastando menos. Es por ello, que Stork Technical Services Holding B. V., en su proceso de crecimiento continuo, busca alternativas para mejorar los procesos de tal forma que, con estas, se lleve a cabo una reducción de costos y la generación de una conciencia en la que se entienda la importancia de cada proceso dentro de la organización.

Con la planeación de mantenimientos programados para numerosos y distintos equipos en las instalaciones, se requiere de un seguimiento muy riguroso y ordenado de los análisis, ajustes, cambios y mejoras que el área de confiabilidad ejecute; ya que, de no tener un registro descriptivo el cual evidencie todo tipo de procesos realizados y fallas determinadas, ocurran eventos en los que se diagnostiquen fallas tardías, lo cual implique en no poder desarrollar un plan de acción oportuno y esto conlleve a realizar paradas de emergencia por labores de reparación urgentes.

Adicional a esto, una empresa de mantenimiento que tiene una relación empresarial profunda con la ingeniería que diseñó la instalación, con la empresa que ha trabajado en el montaje o con el fabricante del equipo principal, está en mejor disposición para ofrecer un buen servicio que una empresa ajena a la ingeniería, al constructor o al fabricante. Lo anterior es muy importante porque durante el resto de la vida de la instalación del equipo, hay que tener en cuenta que surgirán problemas técnicos, y se necesitarán un repuesto específico, valores de ajuste, o se tendrá que recurrir a controles electrónicos o a programación de la que sólo dispone el fabricante.

Un proceso ineficiente y no optimizado nunca va a generar resultados satisfactorios, por más herramientas y recursos invertidos. Si se lleva un control de manera precisa de los activos, esto conllevará a una reducción de tiempos, dinero y posibles errores, lo que resulta en un mejoramiento de la capacidad productiva de la empresa.

2.3 Objetivo general

- Fortalecer el plan de ejecución del mantenimiento de la empresa STORK TECHNICAL SERVICES Sucursal Colombia en Puerto Salgar, mediante el diseño e implementación de registros detallados que ilustren un seguimiento riguroso de los activos.

2.4 Objetivos específicos

- Realizar un estudio intensivo sobre la identificación, funcionamiento, estructura diseño y manejo de los equipos electromecánicos específicos del plan de mantenimiento.
- Diseñar una hoja de vida para los equipos que conforman las unidades de bombeo principal presentes en las instalaciones de la estación de recibo y despacho de hidrocarburos.
- Elaborar un informe general que identifique el seguimiento de la cantidad de alertas y desviaciones anormales junto con aspectos a mejorar basado en buenas prácticas de mantenimiento.

2.5 Justificación

El motivo de este proyecto, es establecer herramientas que posibiliten tener un control predictivo en el mantenimiento de los activos que operan en la estación de bombeo de hidrocarburos de Puerto Salgar. Su desarrollo cumple un rol muy importante en el proceso de optimización del plan de mantenimiento, aportando un análisis de las órdenes de mantenimiento generadas y ofreciendo recomendaciones basadas en buenas prácticas de mantenimiento.

Se necesita entonces, de la elaboración de una fuente de datos que establezca de manera clara e inequívoca, información acerca del funcionamiento de cada uno de los equipos presentes en el proceso de recibo y despacho de productos combustibles, información relacionada a todas las actividades de mantenimiento periódicos y no programados, procesos de instalación y puesta en marcha de los sistemas, ajustes de parámetros de control, resultados de análisis de condición diagnosticados y tendencia a fallar de cada uno de los equipos determinados.

Estas cartas, traen consigo información relevante relacionada con el funcionamiento, diseño, montaje, variables óptimas de operación y datos del fabricante de cada uno de los equipos rotativos que conforman el sistema de bombeo principal (motores / variadores / bombas) de la instalación. También se incluirá información acerca de las actividades de mantenimiento realizadas y las fallas presentadas en los equipos registradas en un margen de tiempo, consiguiendo con esto, realizar análisis adicionales basados en los datos registrados de fallas y alertas diagnosticadas.

Adicional a esto,

Con el desarrollo de la propuesta de fortalecimiento, se ayudará a dar soporte y validez frente al sistema de garantía de calidad de la empresa, de los procesos ejecutados por el área de mantenimiento, específicamente los que están directamente relacionados con las actividades de mantenimiento basado en condición de los activos involucrados en el proceso.

El proceso de implementación de las herramientas que se diseñaron para fortalecer el programa de mantenimiento de la empresa, queda únicamente ligado a criterio de ellos mismos, si consideran que puede ser un factor útil en los procesos y crean que con ellas se pueda aprovechar de la mejor manera el trabajo desarrollado.

Capítulo 3

Marco Teórico

“Las primeras compañías que existieron estaban constituidas por grupos de personas que tenían que trabajar en cada uno de los pasos del proceso de producción y a su vez restaurar las herramientas y las máquinas cuando presentaban alguna avería. Debido a que los trabajadores desempeñaban múltiples oficios, el elaborar un producto finalizado para ofrecerlo en el mercado implicaba un elevado costo tanto en tiempo como en dinero. Con el motivo de ganar más, invirtiendo menos, las empresas se vieron obligadas a dividir a sus trabajadores para que se dedicaran a actividades específicas, dichas tareas fueron de dos tipos: Tareas de operación de las máquinas y tareas de reparación de las mismas.” (Olarte C., Botero A., & Cañón A., 2010)

A lo largo de la historia y con la incesante búsqueda de la excelencia, las empresas se vieron obligadas a entrar en un estado de evolución constante, para mantener la buena competencia en el mercado y ofrecer servicios de calidad. El mantenimiento en este siglo, continúa con la orientación alcanzada en la década de los 90's, conocida con el nombre de “Mantenimiento Clase Mundial, el cual es una filosofía que agrupa una serie de tendencias desde el mantenimiento productivo total, pasando por mantenimiento centrado en confiabilidad y finalmente conceptos de gerencia del riesgo, fundamentándose en darle importancia e incidencia del mantenimiento dentro de las estrategias del negocio, elevándolo a un nuevo concepto que toma en cuenta la siguiente orientación”: (Cáceres, 2010)

- **Valor:** Acentúa un cambio en el control de presupuesto y financiero, y concierne que el mantenimiento debe ser considerado aportando valor a la corporación y no únicamente como un costo variable.
- **Enfoque de calidad:** Relaciona los focos de calidad, haciendo énfasis en la importancia de determinar el mantenimiento, no sólo para disponer y conservar el proceso, sino para garantizar la calidad del mismo dentro de sus políticas.
- **Cambio cultural:** Distingue la necesidad de incluir al personal del proceso en las decisiones a través de la congregación de equipos naturales de trabajo, implantando los objetivos de éstos con los de la corporación. Sumado a esto, que la actividad de mantenimiento básico sea efectuada por el operador, logrando cambios culturales dentro de la organización a nivel general
- **Gerencia de la incertidumbre:** Evalúa las políticas referentes al mantenimiento, frecuencias o ciclos, niveles de inventario por medio de criterios de gerencia de riesgo e incertidumbre.

3.1 Directriz estratégica

El avance del mantenimiento como ciencia de estudio permite distinguir algunas generaciones evolutivas, esto con respecto a los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura con el pasar del tiempo. El análisis que se lleva a cabo en cada una de estas etapas, demuestra las industrias en función de sus objetivos de producción para el momento.

“El objetivo fundamental del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo este supuesto se puede entender la transformación del área de mantenimiento a medida que avanzan las distintas épocas, de acuerdo con los requerimientos de los clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la aplicación de estos activos para producirlos.” (Mora Gutiérrez, 2000)

El objetivo general, para el cual se incurrió en el mantenimiento industrial es el de la planeación, programación y control de todas las actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en los procesos de producción. Sumado a esto, existen distintos objetivos específicos involucrados en las estrategias que conforman el mantenimiento de una industria, algunos de estos objetivos serán listados a continuación:

- Realizar listados de los equipos que conforman el proceso de producción.
- Asignar códigos de identificación a cada uno de los equipos listados.
- Realizar fichas técnicas que contengan la información de las características generales, técnicas y operacionales de cada uno de los equipos codificados.
- Asignar las tareas de mantenimiento requeridas con su correspondiente fecha de inicio y frecuencia de ejecución del mantenimiento.
- Realizar órdenes de trabajo del mantenimiento programado sistematizado.
- Generar informes que permitan controlar el manejo del presupuesto para la mano de obra propia y contratada, los repuestos y los materiales empleados en el mantenimiento.

“La función Mantenimiento, a través de cada uno de los niveles que se hallan implícitos en su estructura organizativa está en capacidad de aportar varios componentes en el proceso de direccionamiento y estrategias, a partir del diagnóstico de las oportunidades para la optimización de costos y la evaluación del impacto del mantenimiento dentro del negocio, mediante la generación de las políticas, los planes, las estrategias de contratación e integridad de los equipos.” (Amendola, 2002)

También, los procesos de apoyo son la base que soporta todas las estrategias que se generan en el direccionamiento y son muy importantes para lograr la cualidad en las

actividades de mantenimiento, dichos procesos están constituidos por los sub-procesos que podremos ver en la figura 1.

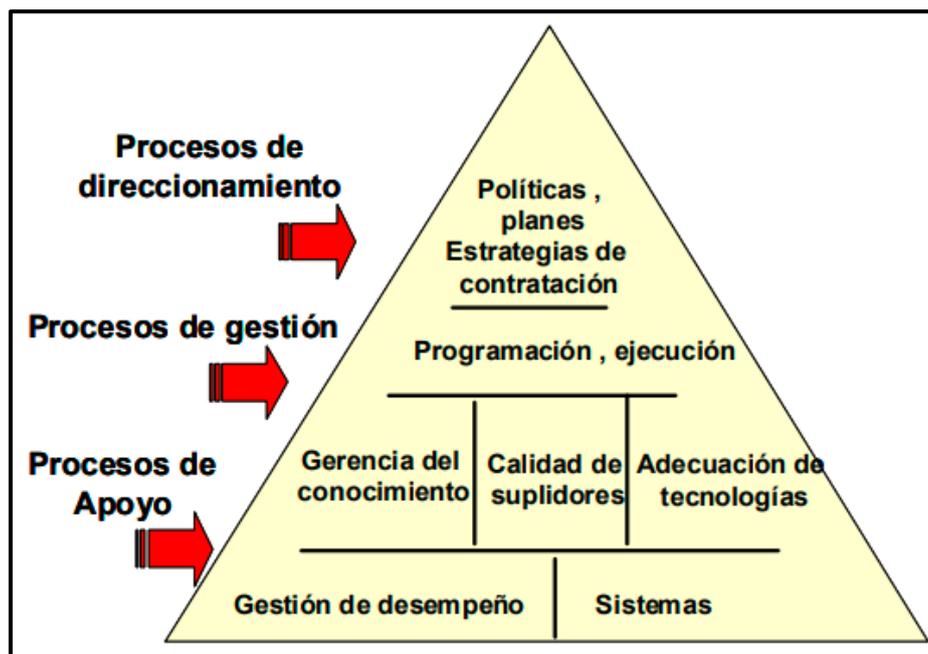


Figura 1. Componentes de la función mantenimiento. Tomada de (Cáceres, 2010)

“Para la función mantenimiento, la condición y disponibilidad de sus planes productivos juegan un papel decisivo en el logro de sus negocios, esto equivale a una constante búsqueda de singulares maneras de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre mediante un control efectivo de costes. El hecho de planificar y programar los trabajos de mantenimiento a grandes volúmenes de activos ha hecho que se incurra en la investigación de una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de representar procedimientos cada día más estructurados e interdependientes.” (Amendola, 2002)

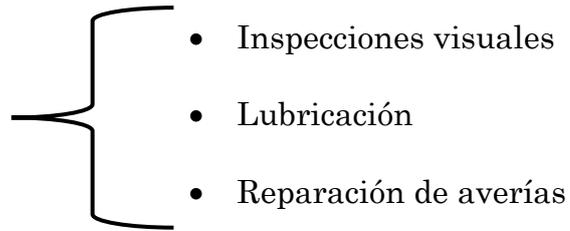
3.2 Modelos de mantenimiento

Con la actividad de inspección se podrán identificar las averías de un equipo de manera anticipada, y su corrección por lo general será menos costosa y compleja conforme antes sean detectados los problemas. Teniendo en cuenta lo anterior, se definen diversos modelos de mantenimiento.

3.2.1 Modelo correctivo

Es el modelo más básico y antiguo, en él se integran las actividades de inspección visual, lubricación del equipo y la reparación de averías existentes. Es recomendable aplicarlo únicamente en equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyos modos de falla no son altamente relevantes en el proceso de producción.

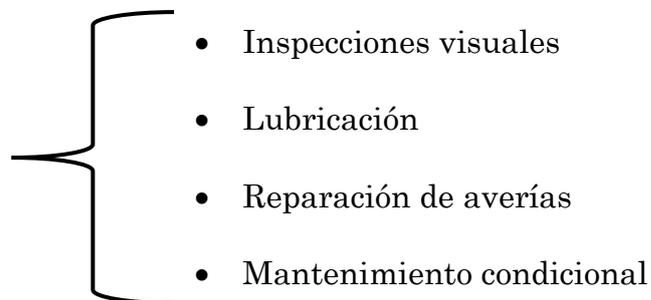
Modelo

- 
- Inspecciones visuales
 - Lubricación
 - Reparación de averías

3.2.2 Modelo condicional

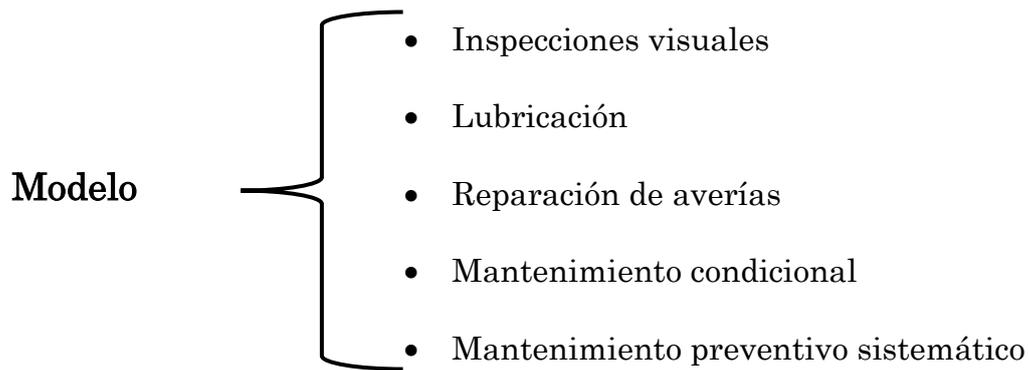
Es el resultado de integrar una actividad más en el modelo anterior, la cual condicionará una actuación posterior. Si tras una prueba se descubren anomalías, se programará una intervención; si en cambio, todo está en buenas condiciones, no se actuará.

Modelo

- 
- Inspecciones visuales
 - Lubricación
 - Reparación de averías
 - Mantenimiento condicional

3.2.3 Modelo sistemático

El enfoque de este modelo de mantenimiento es ajeno a la condición actual del equipo, primero se realizan actividades de medición para determinar la dimensión de las tareas a efectuarle a la máquina y, finalmente, se corregirán las averías que surjan. Este tipo de modelo es efectuado en gran medida a equipos que tienen una disponibilidad media y representan una cierta importancia en el sistema de producción y cuyas fallas representarían algún trastorno en el sistema productivo.

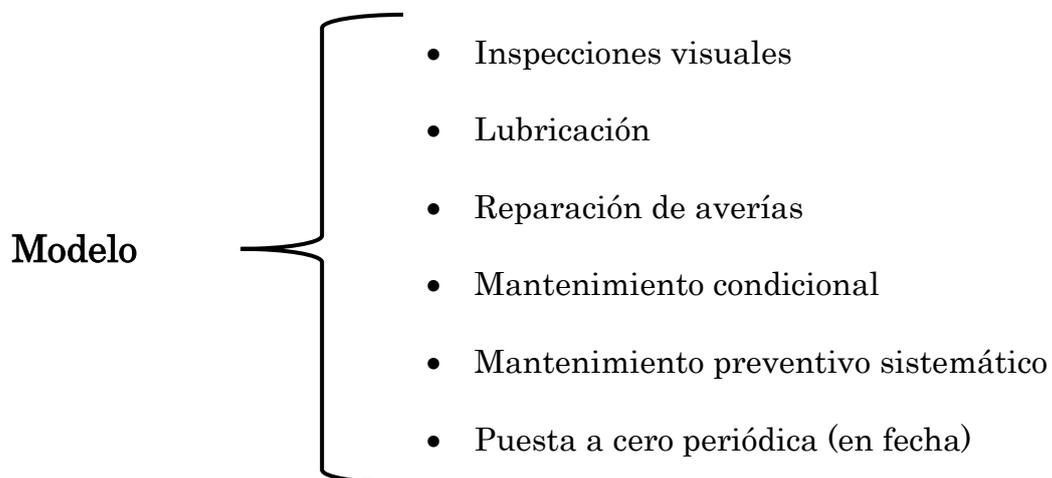


3.2.4 Modelo de alta disponibilidad

Es el más exigente de todos. Se recomienda su aplicación a aquellos equipos en los que se exigen niveles de disponibilidad tan elevados como del 90%, debido a que una falla representa un alto coste en el proceso de producción.

“Para mantener estos equipos se hace necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivas que permitan conocer el estado de la máquina aun estando en funcionamiento, y a paradas programadas, las cuales supondrán una revisión en su totalidad del equipo, estas últimas suelen tener frecuencias anuales o mayores a un año.

Lo que se busca con este modelo de mantenimiento es que no ocurran fallas en ningún momento.” (Quintero Rodríguez, 2018)



3.3 Clases o tipos de mantenimientos

“Existen diferentes clases o tipos de mantenimiento que se pueden encontrar en la mayoría de empresas a nivel regional, nacional y mundial. En el sector industrial, el estado de las instalaciones y de los equipos de trabajo es fundamental, no solo para que la producción se mantenga a un ritmo estable, sino también para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, a continuación, se presentarán, las clasificaciones más comunes en los tipos de mantenimiento, los cuales son: el mantenimiento correctivo, el preventivo y el predictivo.” (Eurofins, 2020)



Figura 2. Tipos de mantenimiento. Elaboración propia

3.3.1 Mantenimiento correctivo

“El mantenimiento correctivo está orientado a subsanar los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, determinando las averías y reparándolas. Los costos de reparación de un activo suelen ser mucho mayores en la etapa correctiva que en la etapa preventiva, y la literatura existente está encaminada más hacia la prevención que a la corrección. Ahora bien, es inevitable que, en algunos casos, se presenten frecuentemente dificultades en los equipos que no pudieron ser previstas o prevenidas mediante el mantenimiento preventivo o predictivo.” (Primero, Díaz, García, & Gonzáles Vargas, 2015)

Con el mantenimiento correctivo se puede llevar a cabo una reparación eficaz, puesto que el equipo se encuentra completamente detenido, no se demanda de una gran infraestructura, ni de personal altamente calificado y puede ser rentable si el activo está fuera de la línea de producción. Pero si este se encuentra dentro de la línea de producción, cada minuto de parada significa una pérdida igual a la cantidad de tiempo detenido, por el rendimiento de la fábrica, por el valor de la producción. Debido a esto, usualmente la calidad de la reparación se ve afligida por la necesidad de reparar rápido antes de reparar definitivamente y estas malas actividades de reparación devienen otras por las

necesidades de producción y se crea así un círculo de roturas, que originan altos costos y baja disponibilidad. (Linares Depestre, 2012)

El mantenimiento correctivo puede ser planificado o no planificado:

- Es planificado cuando se conoce de antemano qué operaciones se han de realizar al equipo averiado, por lo que se dispone del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para llevarlo a cabo.
- Es no planificado cuando se lleva a cabo un mantenimiento de emergencia debido a una avería imprevista o a tener que darle solución a un problema de seguridad, contaminación o normativa.

Una buena planificación del mantenimiento puede conseguir beneficios tales como: menor consumo de horas, disminución del tiempo de parada de equipos, mejora en la productividad, ahorro de costos. (Pisabarro de la Plaza, 2011)

3.3.2 Mantenimiento preventivo

Es un tipo de mantenimiento que posee un plan de técnicas programadas previamente a las actividades, esto con el objetivo de prevenir en lo posible la mayor cantidad de fallas o averías imprevistos, consiguiendo así la reducción de tiempos muertos de producción por paradas de emergencia y, por ende, disminuir costos durante la producción. Se trata de operaciones destinadas a la conservación de equipos e instalaciones a través de la revisión periódica y reparación profesional.

“El mantenimiento preventivo tiene como objetivo permitir el conocimiento sistemático del estado de las máquinas y equipos para planificar la actividad que debe realizarse, en los momentos más adecuados. Es decir, consiste en que no se debe esperar que los activos fallen para practicarles una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que se manifieste la falla, todo esto se puede conseguir conociendo las especificaciones técnicas de los activos a través de los manuales.” (Alavedra Flores, y otros, 2016)

Para implementar un programa de mantenimiento preventivo, se debe contar previamente con la siguiente información:

1. Catálogos de fabricantes.
2. Manuales del fabricante.
3. Planos levantados a la maquinaria (en caso de que no los tenga).
4. Memorias de cálculo si se han realizado mejoramientos o reparaciones.

5. Experiencia de los técnicos en lubricación, electricidad y mecánica, que ayuden a responder las preguntas propias de una programación.
6. Listados con la disponibilidad de personal y equipos de mantenimiento.
7. Información de los supervisores de producción acerca de tiempos picos, flojos y paradas obligadas de producción. (Ayala Matus, 2010)

3.3.3 Mantenimiento predictivo

“El mantenimiento predictivo consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Por ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso de falla antes de que la falla funcional ocurra. Dentro de dichas tareas se incorporan: Inspecciones, monitoreos y chequeos. Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de falla potencial, es decir, debe haber síntomas claros de que la falla está en el proceso de ocurrir.” (Buelvas Díaz & Martínez Figueroa, 2014)

Para llevar a cabo estos controles en las distintas máquinas de un sistema, se hace necesario el uso de instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no intrusivas, ejemplo de estas pueden ser: análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos y mecánicos, análisis de vibraciones, entre otras.

Las acciones que recomienda un mantenimiento predictivo son en función de:

1. La importancia del equipo.
2. Los límites de deterioro del equipo.
3. El Impacto del deterioro del equipo.
4. Los Análisis de la tendencia.
5. La predicción de la futura falla y el tiempo en el que pueda ocurrir.

La siguiente figura nos ilustra la relación existente entre la cantidad de mediciones que se debe realizar a un equipo con respecto a las condiciones actuales del mismo.

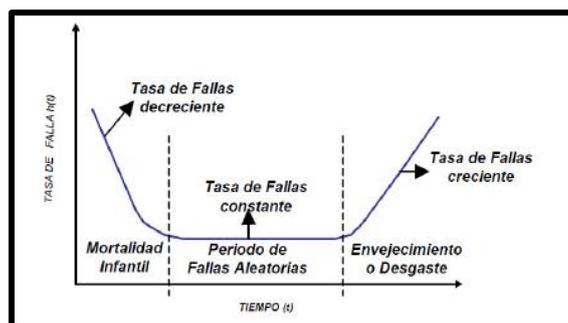


Figura 3. Curva de mantenimiento predictivo. Tomado de (Fuenmayor, 2019)

3.3.4 Comparación entre los 3 sistemas de mantenimiento

Tabla 1. Ventajas y desventajas. Modificada de (Sucre", 2015)

Mantenimiento	Ventajas	Desventajas
Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo aprovechamiento de la vida útil de los sistemas • No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Las averías se presentan de forma imprevista y afectan la producción • Riesgo de fallos de elementos difíciles de adquirir • Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar
Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo en relación con el mantenimiento predictivo • Reducción importante del riesgo por fallas o fugas • Reduce la probabilidad de paros imprevistos • Permite llevar un mejor control y planeación sobre el propio mantenimiento a ser aplicado en los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere tanto de experiencia del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer el programa de mantenimiento a los equipos • No permite determinar con exactitud del desgaste o depreciación de las piezas de los equipos
Predictivo	<ul style="list-style-type: none"> • Más confiabilidad. Al utilizar aparatos y personal calificado, los resultados deben ser más exactos • Requiere menos personal, lo que genera una disminución en el costo de personal y procesos de contratación • Los repuestos duran más. Se busca que los repuestos duren exactamente el tiempo que debe ser 	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre que hay un daño, se debe realizar una programación • Requiere equipos especializados, algunos realmente costosos • Es importante contar con el personal más calificado para realizar estas actividades • Su implementación es costosa en general

Tabla 2. Comparación de costos. Tomada de (Gonzales Guzman, 2016)

Costos	Correctivo	Preventivo	Predictivo
Para implementar	Bajos	Medianos	Altos
Improductivos	Altos	Medianos	Muy bajos
Tipo de parada	Altos e indefinidos	Predefinidos	Mínimos
Asociado a existencia de repuestos	Altos consumos e indefinidos	Altos consumos y definidos	Consumos mínimos

3.4 Mantenimiento basado en condición

Los criterios confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, hacen parte de la cotidianidad del mantenimiento. Si se evalúa la definición moderna de mantenimiento, se puede identificar que su función principal es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones a los cuales estará sujeto, y de esta forma, estos equipos puedan asistir a un proceso de producción o servicio.

Con el avance de la tecnología y el desarrollo de equipos y sistemas industriales cada vez más complejos, las técnicas de mantenimiento basadas en el tiempo pasaron a no satisfacer las necesidades de nuevos proyectos industriales, es por esto que la filosofía del mantenimiento empezó a tener una orientación hacia un carácter predictivo.

Nace así entonces la generación del mantenimiento basado en condición, el cual se desenvuelve con técnicas predictivas efectivas de acompañamiento de las circunstancias en las que operan los equipos, y con la divulgación de conocimientos acerca de la confiabilidad en el mantenimiento.

El mantenimiento basado en condición (CBM por sus siglas en inglés) demanda tecnologías, maestría del personal, comunicación y otros; para integrar toda la información disponible que describe la condición de un equipo o equipos, tales como: diagnóstico, datos de rendimiento, historiales de mantenimiento, registros del operador y datos de diseño, para hacerlos más eficientes en la toma de decisiones. (Rodas Peña, 2020)

“El principal objetivo de este tipo de mantenimiento es conseguir el máximo producto por el mínimo de costo (utilidad), y es el procedimiento de monitorear periódicamente la máquina y establecer tendencias de la condición mecánica y rendimiento de la misma, mediante el pronóstico de si un elemento va a fallar o posiblemente cuándo va a fallar.” (Topanta Cunalata, 2009)

La siguiente figura nos servirá de gran ayuda para determinar el punto de falla que dependerá de las condiciones actuales de un equipo.

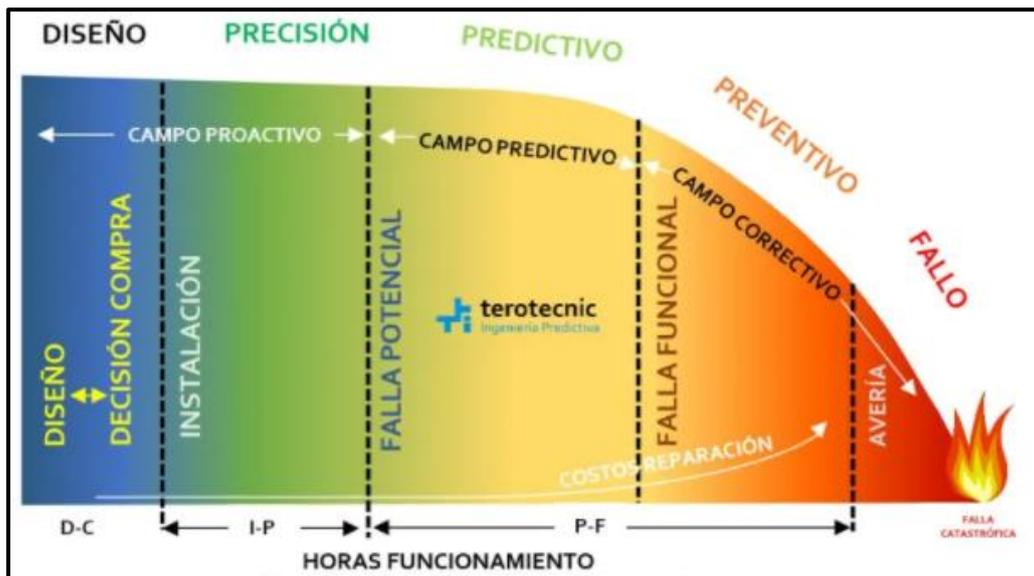


Figura 4. Curva I-P + P-F. Establece el punto más probable de falla dependiente del estado actual de la máquina. Tomada de (Díaz Povedano, 2014)

Los resultados que se buscan conseguir mediante la práctica de CBM son:

- “Basándose en la criticidad de los equipos, establecer frecuencias óptimas de monitoreo en los equipos rotativos y alternativos considerados críticos.
- Aplicar las tecnologías predictivas necesarias para evaluar la condición de los equipos y evitar las consecuencias de los modos de falla.
- Evitar intervenciones innecesarias en los equipos rotativos y alternativos críticos mediante un correcto diagnóstico de la condición del equipo.
- El ahorro que significaría intervenir un equipo si los trabajos fuesen realizados en función del análisis de condición del equipo y no por tiempos cumplidos.
- Intervenciones más económicas mediante la detección del fallo, evitando que la máquina funcione hasta averiarse.
- Averías reparadas más rápidamente mediante el conocimiento oportuno de cuál es el elemento defectuoso antes de abrir la máquina.
- Control de calidad del trabajo realizado luego de efectuarle un mantenimiento.
- Establecer los niveles de alarma apropiados para equipos que sean evaluados como críticos según las normativas.” (Topanta Cunalata, 2009)

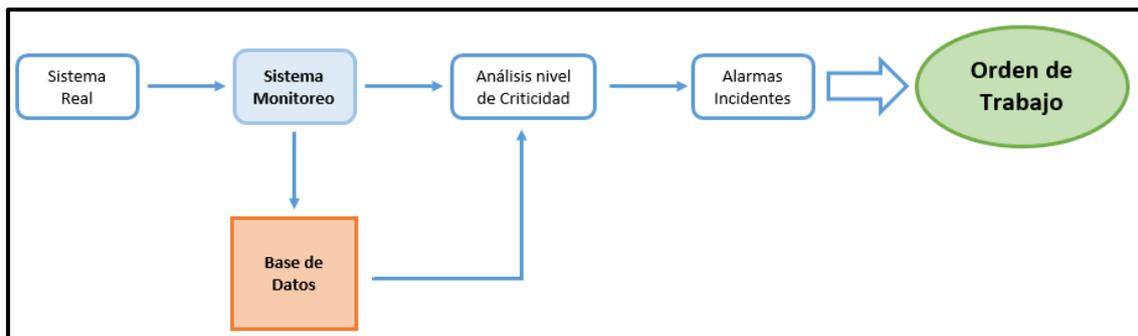


Figura 5. Estructura de trabajo del modelo de mantenimiento basado en condición.
Modificado de (Topanta Cunalata, 2009)

3.4.1 Requerimientos de un programa de mantenimiento basado en condición

Como se ha visto anteriormente, para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo, se debe realizar un buen análisis con la población objetivo que se va a mantener, su clasificación según su criticidad, la mano de obra disponible, los tiempos de disponibilidad y el inventario en existencias de repuestos en almacén. Además de ello, se suman una serie de condiciones que deben estar presentes en el proceso del mantenimiento, estas son:

- **Maquinaria:** Debe de haber una población de equipos que van a ser objeto de los monitoreos y pruebas, la mayoría suelen ser sistemas recíprocos y rotativos.



Figura 6. Fotografía del motor eléctrico de baja tensión de la unidad de compresión de aire de la estación. Fuente: Base de datos de Stork

- **El analista:** Es el componente más importante para que un programa de mantenimiento sea exitoso. La mayor parte es la interpretación de los datos y el análisis que se realiza en la mente humana, es por esto que se necesita de un personal altamente calificado, que convierta los datos recogidos en información. Algunas de las características más importantes con las que debe contar un buen analista las podemos encontrar en la figura 9. (Topanta Cunalata, 2009)

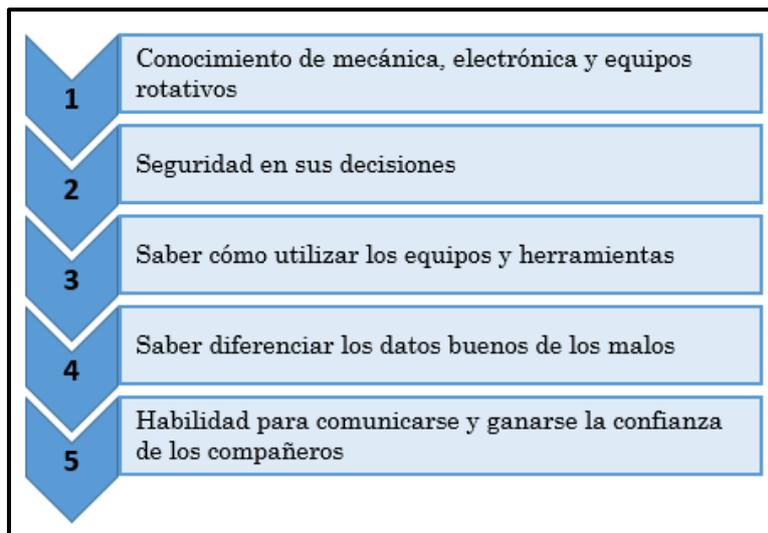


Figura 7. Destrezas que debe tener un buen analista. Elaboración propia

- **Equipo analizador:** Como la filosofía del mantenimiento basado en condición se basa en la medición de las señales de alerta que pueden ser producidas por altas vibraciones o ruidos, incremento inusual de la temperatura, o cambio en la composición y consistencia de los agentes lubricantes presentes en la máquina. (Topanta Cunalata, 2009)

A día de hoy, estas son algunas de las técnicas más aplicadas en un programa de mantenimiento basado en condición:

3.4.2 Análisis de vibraciones mecánicas

“El análisis de vibraciones mecánicas frente a los otros procedimientos generales del mantenimiento, reduce los costos y aumenta la confiabilidad sobre la actividad de los equipos. Esta nueva tecnología fundamentada en la vigilancia continua no limita la operación de la máquina durante la ejecución del chequeo y posibilita la detección de la avería en su fase inicial, así como la determinación o diagnóstico de la causa que la provoca. De esta manera, el mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones, mediante mediciones continuas o periódicas, el análisis y control de determinados parámetros conjuntamente con el criterio técnico de los operarios con experiencia definen las condiciones de la salud de las máquinas.” (Penkova Vassileva, 2007)

Para entender la práctica de análisis de vibraciones, tenemos que primero recurrir a sus conceptos básicos bajo los cuales se realiza.

3.4.2.1 ¿Qué es vibración?

En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Cuando todas las partes de un equipo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento, se le denomina vibración de cuerpo entero. La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación. Esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su

origen dentro del objeto. La figura 10 nos ilustra la práctica llevada a cabo en campo de un monitoreo de equipos rotativos. (Restrepo Álvarez & Cardona Salazar, 2015)



Figura 8. Monitoreo a un motor eléctrico principal. Fuente: Base de datos de Stork

Las vibraciones de un cuerpo se pueden describir como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes, estos son traslaciones en las tres direcciones X, Y y Z; y rotaciones alrededor de los mismos. Esto permite que cualquier movimiento complejo que presente un sistema o un equipo, se pueda descomponer en una combinación mucho más simple de estos seis movimientos.

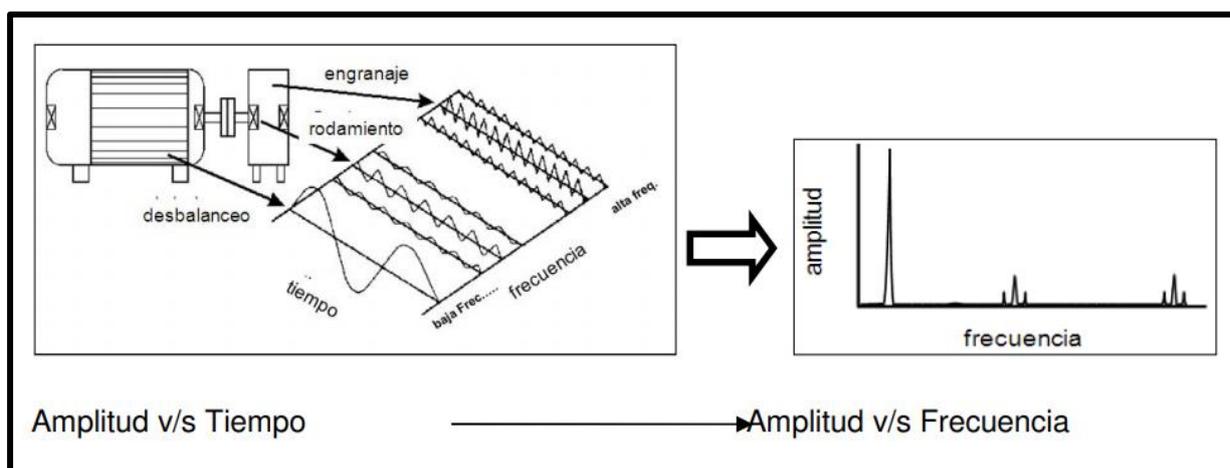


Figura 9. Esquemático de una vibración real de una máquina (dominio del tiempo) y la aplicación de la transformada de Fourier (dominio de la frecuencia). Tomada de (Ojeda Vera, 2010)

3.4.2.2 Unidades de vibración

Aparte de un desplazamiento variable, un objeto vibrando tendrá una velocidad variable y una aceleración variable.

- El desplazamiento se define como la distancia recorrida desde un punto o posición de referencia y se mide en milímetros (mm).
- La velocidad no es más que la proporción de cambio del desplazamiento en el tiempo, su unidad de medida es milímetros por segundo (mm/s).
- Por último, se tiene la aceleración que, al igual que la velocidad, es la proporción de cambio de la velocidad en un intervalo de tiempo. Se mide en milímetros por segundo cuadrado (mm/s^2)

El desplazamiento de un cuerpo, que está sujeto a un movimiento sencillo armónico es una onda senoidal. También resulta que, la velocidad del movimiento es senoidal y que, cuando el desplazamiento está en su punto de máxima amplitud, la velocidad estará en cero, debido a que, en ese punto, el cuerpo da la vuelta y se regresa hacia la posición inicial; cuando el desplazamiento está en cero, la velocidad estará en su máximo. De igual manera sucede con la velocidad y la aceleración, magnitud que resulta también una onda senoidal. Con todo lo anterior se puede deducir y comprobar matemáticamente si es necesario, que cada una de estas magnitudes tiene una fase y están desplazadas a 90 grados de cada una como se ilustra en la siguiente imagen. En la figura 12 podemos observar las distintas variables que se estudian a la hora de monitorear una máquina. (White, 2010)

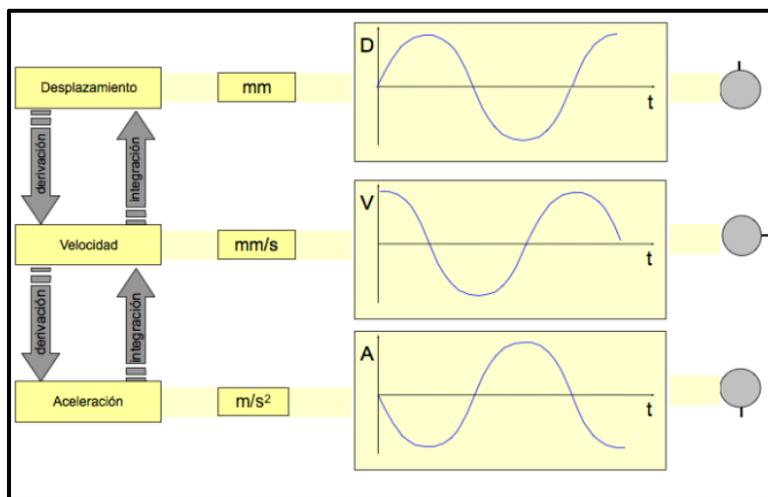


Figura 10. Unidades de vibración. Tomada de (Tecnologiavao, 2019)

3.4.2.3 El análisis

Lo más importante de estudiar vibraciones es desarrollar el análisis de las mismas. El análisis de datos o espectral presenta dos etapas: La primera es la adquisición de los datos obtenidos de la máquina y la segunda es la interpretación de los mismos. Esto con el objetivo de determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos.

“La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para realizar un análisis de vibraciones. Las variables a medir son: desplazamiento, velocidad y aceleración; estos dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ($\text{rpm} = \text{cpm}$). De manera que, para bajas rpm, se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades que estén dentro del orden de 600 y 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones.” (Royo, Rabanaque, & Torres, 2003)

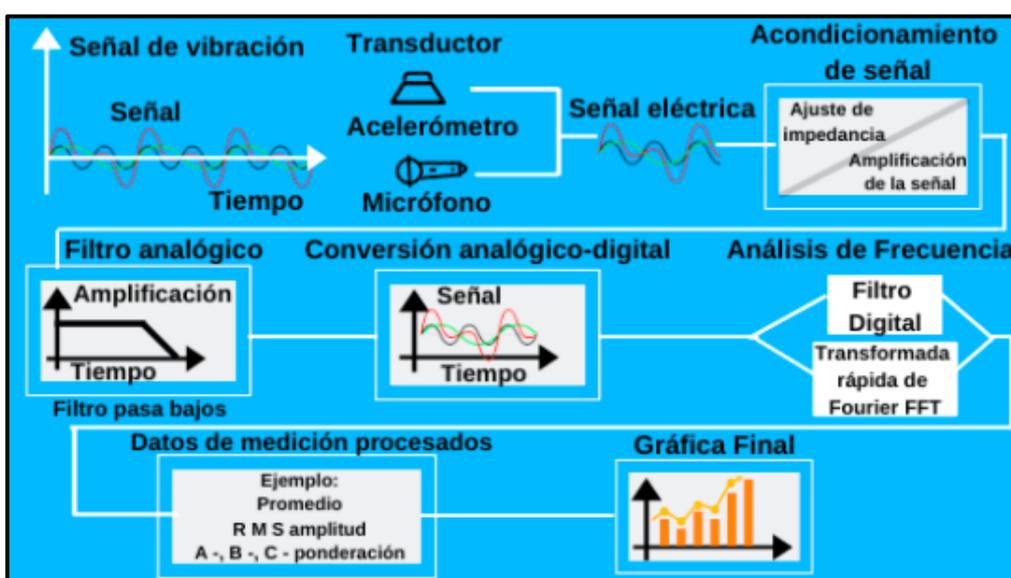


Figura 11. Flujograma de un análisis de vibraciones. Tomada de (Aula 21, 2019)

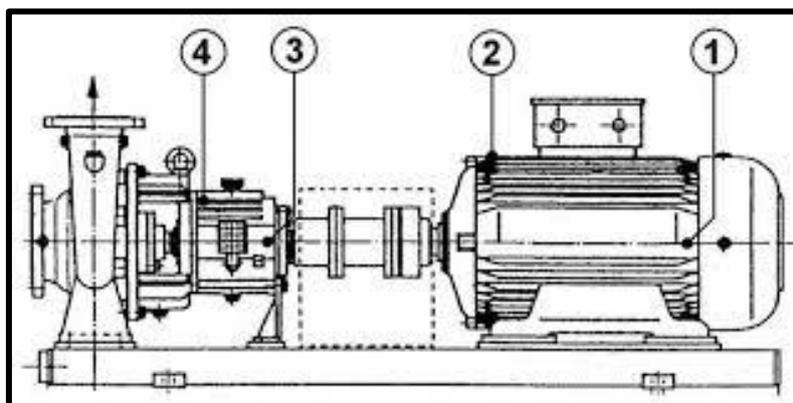


Figura 12. Puntos de medición para el monitoreo en sistemas de bombeo y equipos rotativos. Tomada de (Contreras Calderón, y otros, 2018)

En la figura 13 se observa la estructura o el plan de trabajo para una rutina de análisis de vibraciones; y la figura 14 nos muestra los puntos en los cuales se debe fijar el sensor acelerómetro para la toma de datos.



Figura 13. Sensor acelerómetro. Tomada de (IFM electronic gmbh, 2021)

Los pasos a seguir en la adquisición de datos en un análisis de vibración son:

1. Determinar con anticipación las características de diseño y funcionamiento de la máquina, como son: velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranajes y condiciones del entorno en el que se encuentra ubicada la máquina.
2. Solicitar permiso con la autoridad de área para realizar la toma de vibraciones de los equipos respectivos.
3. Si el sistema cuenta con guardas de seguridad, identificar que estas se encuentren en su sitio y debidamente aperrnados a la base.
4. Realizar una inspección visual de la unidad, en busca de fugas o problemas evidentes.
5. Verificar que los puntos de monitoreo se encuentren identificados en la unidad y estén libres de cualquier suciedad que pueda afectar la medición, igualmente, verificar la correcta instalación de los acoples motores – bomba cuando la condición lo determine y reportar cualquier novedad sobre las mismas.
6. Verificar que el equipo se encuentre operando con carga y que los rpm sean estables. (En el caso de equipos que se encuentren en “Stand By”, a la hora de ponerlos en operación, se debe esperar como mínimo 5 minutos para que la unidad alcance su nivel normal de operación.
7. Colocar el sensor de vibraciones atornillándolo o adhiriéndolo magnéticamente a los puntos ya definidos y en la posición establecida en el diagrama de puntos de medición.
8. Toma de datos para las diferentes ubicaciones en igualdad de condiciones.
9. Verificación del estado final del sitio de trabajo y reportar la salida del área al encargado de la misma, así como reportar la hora de salida en el permiso de trabajo y dar cierre. (Carvajal, 2020)



Figura 14. Fotografía del analizador de vibraciones perteneciente a la empresa. Elaboración propia

3.4.3 Análisis termográfico

Se define como la técnica de producir una imagen de luz infrarroja invisible para la visión del ser humano y permite detectar con precisión un cambio de temperatura en un elemento, basado en la medición de los niveles de radiación del espectro infrarrojo. El principio básico con el cual la práctica del análisis termográfico da resultados es el principio de la radiación térmica de los cuerpos.

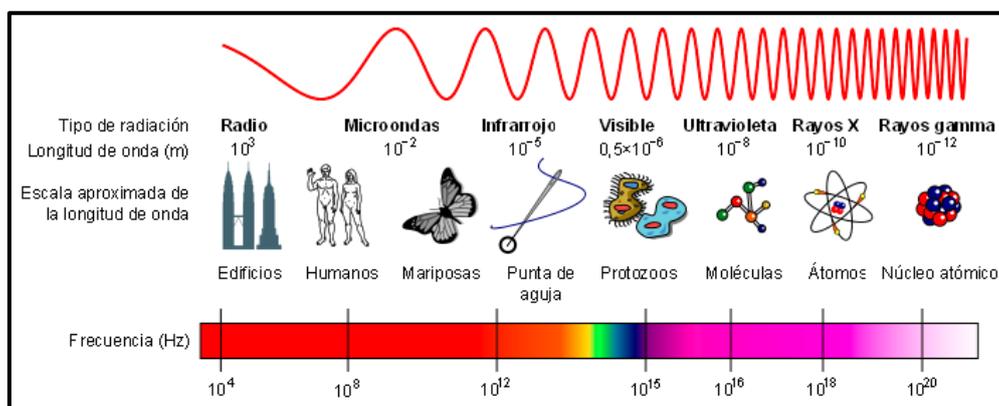


Figura 15. Espectro electromagnético. Tomada de (Swam, 2015)

La termografía, como es una práctica no destructiva, a distancia y sin ningún contacto, que proporciona imagen térmica de un objeto cualquiera, en la cual se puede visualizar las distintas temperaturas a las que se encuentran las superficies de los componentes de una máquina.

Con esta técnica podremos detectar el origen de calentamiento dentro del mantenimiento en varios campos de la industria en general, como lo son: mantenimiento eléctrico, de edificios, hornos o calderas, fricción mecánica, flujo de fluido, entre otros.

Cuando una máquina en movimiento emite energía desde su superficie, irradia una energía en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a la temperatura en la superficie, lo que denota que, a mayor calor, mayor cantidad de energía es emitida. Como estas ondas se ubican en el espectro infrarrojo, no se pueden visualizar a simple vista, por lo que se hace necesario el uso de instrumentos que transformen esta energía en un espectro visible para poder observar y analizar su distribución. (Guiracocha Guiracocha, 2015)



Figura 16. Fotografía a la cámara termográfica perteneciente a la empresa. Elaboración propia

“Existen dos tipos principales de termografía, de acuerdo con la Guía para inspecciones infrarrojas del Infrasppection Institute (2000):

1. **Termografía infrarroja cualitativa:** Es la práctica de reunir información acerca de una estructura, sistema, objeto o proceso por la observación de imágenes de radiación infrarroja, y el registro y presentación de esa información.
2. **Termografía infrarroja cuantitativa:** Es la práctica de medición de temperaturas de patrones observados de la radiación infrarroja.” (Estrada & Fernández, 2016)

3.4.3.1 Termograma

“Un termograma es una imagen térmica, producto de la captura de emisiones naturales de radiación, por medio de un equipo que integra una combinación de, sistemas de video, termómetros ópticos por radiación infrarroja y complejos algoritmos; en esta imagen térmica se puede observar la diferenciación de colores del cuerpo estudiado, con el fin de realizar, determinar y leer en forma precisa las temperaturas de la imagen. La norma ASTM E1316 define un termograma como: ‘una imagen que indica la temperatura real de

un objeto o ambiente en un patrón correspondiente a contraste o color’.” (Neita Duarte & Peña Rodríguez, 2011)

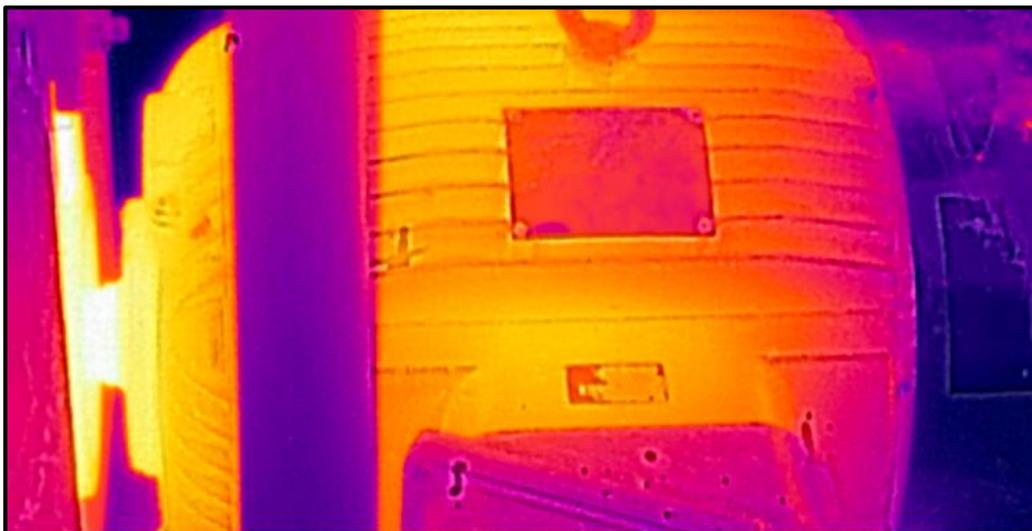


Figura 17. Termograma de un motor eléctrico. Tomada de (SEDISA S.A.C., 2020)

3.4.3.2 Inspección termográfica

Con una inspección termográfica se puede evaluar la condición de una máquina o de una línea de proceso cuando está en operación, permitiendo encontrar fallos en sus componentes. Los pasos que se deben seguir para realizar un procedimiento de análisis termográfico a un equipo son:

1. Solicitar permiso con la autoridad de área para realizar la toma de termografía infrarroja de los equipos respectivos.
2. Verificación preliminar del elemento, para definir los puntos a inspeccionar (esto bajo condiciones normales de carga).
3. Instalar tapete eléctrico si hay la necesidad.
4. Realizar detección de tensión directa sobre carcasa de equipos a medir. Si se detecta voltaje, suspenda de inmediato a la actividad y proceda a buscar la causa si las condiciones lo permiten, en caso contrario, desenergizar el equipo para inspeccionar posibles cables con falla de aislamiento.
5. Abrir el gabinete, guarda y/o tapas según corresponda.
6. Realizar termografía a los equipos (enfocar el objeto de acuerdo a los límites de proximidad permitido por el RETIE).
7. Procurar incluir dentro de un mismo termograma varios puntos de similares características.
8. Realizar un adecuado enfoque de la imagen termográfica obteniendo el mayor nivel de detalle posible antes de capturar el registro.

9. Realizar verificación de imagen y repetir el procedimiento en caso de imagen defectuosa para obtener imágenes nítidas y con la mayor cantidad de información.
10. Realizar verificación de imagen y repetir el procedimiento en caso de imagen defectuosa para obtener imágenes nítidas y con la mayor cantidad de información.
11. Verificar variables eléctricas en caso de ser necesario:
 - a. Tensión entre fases.
 - b. Verificar corrientes de fase.
12. Una vez terminada la actividad, cerrar el gabinete, guarda y/o tapas según corresponda.
13. Hacer reporte de hallazgos encontrados en el mantenimiento.
14. Una vez efectuada la toma, proceder al cierre del gabinete por parte del personal técnico.
15. Cierre del permiso de trabajo. (Carvajal, 2020)

3.4.4 Análisis MCEmax

“Las pruebas eléctricas aplicadas a un motor deben de ser confiables y deben dar un diagnóstico completo de todas las zonas o áreas de falla. Las pruebas a ejecutar deben contener ensayos tanto en estado dinámico del motor como en estático. Los ensayos en estático son de particular importancia en aquellos casos en que se desea tener previo conocimiento del estado del motor antes de ponerlo en operación o en los casos en los cuales el motor no tiene una operación continua y presenta frecuentemente paradas y su puesta en funcionamiento puede terminar de dañarlo, o en el caso de pruebas en dinámico, para establecer el comportamiento del motor bajo carga y los efectos del circuito de potencia sobre el motor.” (Vanegas Rojas, 2019)



Figura 18. Análisis MCEmax a un motor eléctrico. Tomada de (TSM COLOMBIA, 2015)

“Para realizar las pruebas mencionadas anteriormente, es común utilizar el equipo especializado de monitoreo conocido como MCEMAX, el cual se puede observar en la figura 21, que es un dispositivo probador de motores eléctricos no destructivo que combina las características del analizador estático MCE y del analizador en dinámico EMAX en una sola unidad portátil, para recolectar todos los datos necesarios para el análisis basado en la condición de los motores eléctricos. Para realizar un diagnóstico completo del motor, el MCEMAX prueba todas las zonas de falla tales como”: (Canchila Rivera & Nieto Valbuena, 2018)



Figura 19. Equipo MCEMAX. Tomada de (VIBROBAL, 2021)

3.4.4.1 Calidad de energía

Cuando se realizan las pruebas de análisis de potencia del motor, el probador EMAX examina la señal de voltaje, analizando la forma de onda de tensión, identificando la frecuencia fundamental, y también el nivel de desviación armónica sugerido según la norma IEEE 519-2014 para los motores.

“No hay necesidad de liberar los armónicos si la distorsión de tensión no excede los límites establecidos por la norma del 5% del armónico total y el 3% para cualquier armónico individual. Los problemas de calentamiento suceden cuando los armónicos alcanzan del 8% al 10% a más y se debe corregir lo más pronto posible dicha distorsión para extender la vida útil del motor.” (Bethel, 2016)

3.4.4.2 Circuito de fuerza

“El circuito de potencia pertenece al tablero asignado como centro de control del motor (CCM) hasta la bornera del mismo, y envuelve a todos los conductores con sus bornes y los circuitos de control. Cuando los motores se encuentran en operación y la alimentación la realiza un circuito con problemas de calidad, este tiende a provocar desequilibrios de tensión en los terminales del motor, ocasionando consecuencias tales como: aumento de temperatura de los elementos adyacentes a las conexiones, pérdidas de torque, aparición de corrientes de secuencia negativa, daños en el aislamiento por aumento de la temperatura, disminución en la eficiencia del motor, provocando que el usuario no solo se

enfrente daños inesperados del motor, sino también a pérdidas potenciales debido a paradas en líneas de producción.” (Vanegas Rojas, 2019)

3.4.4.3 Aislamiento

“Esta prueba puede realizarse a tensiones de prueba desde 250 VDC hasta 5000 VDC dependiendo de la tensión de la placa y de la condición de aislamiento del motor. Se realiza la medición de la resistencia de aislamiento, que es obtenida del voltaje aplicado al aislamiento del devanado y dividido por la suma de todas las corrientes; también llamada corriente total y calculando los valores de la resistencia de aislamiento. Como el aumento en la temperatura afecta la resistencia del aislamiento y la resistencia del conductor, todas las lecturas que se tomen deben realizarse a temperatura estándar, según la clase de equipo que se esté probando. La siguiente tabla nos ilustra la variación de voltaje que se lleva a cabo en la prueba de aislamiento de un motor.” (Vanegas Rojas, 2019)

Tabla 3. Prueba de aislamiento. Tomada de (Vanegas Rojas, 2019)

Capacidad de la bobina fase a fase (V)	Voltaje de prueba requerido
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 – 10000

3.4.4.4 Estator

En el estator se generan distintos tipos de fallas, todas relacionadas al bobinado: Corto espira-espira, corto fase-fase y corto espira-tierra. Mediante el equipo MCEMAX, el diagnóstico de esta zona de falla puede ser realizado directamente en los terminales del motor o desde el centro de control de motores mediante un análisis estático o dinámico del motor, determinando cualquier condición que conlleve a las fallas mencionadas.

La prueba de estator es una práctica que consiste en mediciones de inductancia entre las fases del motor, para lograr esto, el dispositivo envía señales de AC a altas frecuencias, y se calcula un desequilibrio inductivo. Este tipo de desequilibrio implica que implica que las fases producen campos magnéticos desequilibrados y que muy probablemente tienen cortos entre las espiras.

3.4.4.5 Rotor

Como en el arranque la corriente del motor es más alta que durante el resto de su funcionamiento normal, al momento de arrancarlo, se presenta un aumento de la

temperatura en las barras del rotor y si sumado a esto, las barras presentan gran resistencia, este calentamiento será aún mayor, provocando desigualdades en la distribución de temperatura en el motor. Podemos observar la estructura de un rotor de jaula de ardilla en la figura 22. (Vanegas Rojas, 2019)

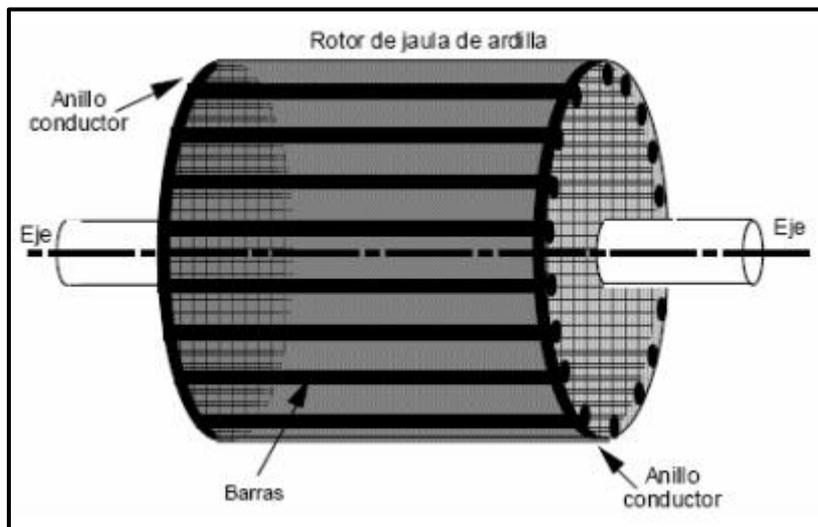


Figura 20. Rotor de motor eléctrico jaula de ardilla. Tomado de (BIRT LH, 2020)

Dentro de las fallas que se pueden presentar en el rotor están: fisuras en las barras del rotor o barras rotas. La prueba de rotor resulta en un patrón en función de la frecuencia para encontrar bandas laterales en cierta amplitud, identificando así barras flojas, degradadas o rotas.

3.4.4.6 Entrehierro

Los modos de falla que se pueden presentar en la zona del entrehierro están basados en factores de excentricidad que este pueda tener, esto sucede cuando el espacio que existe entre el rotor y el estator no es uniforme a lo largo de la construcción. Es un error que suele estar presente en las máquinas eléctricas, incluso cuando son nuevas, es el culpable de variaciones en el flujo magnético en el entrehierro, causando desequilibrios en el flujo de corrientes, lo que termina en alteraciones en las inductancias. En la figura 23 podemos evidenciar de manera simplificada la zona en la cual se encuentra el entrehierro de un motor eléctrico. (Vanegas Rojas, 2019)

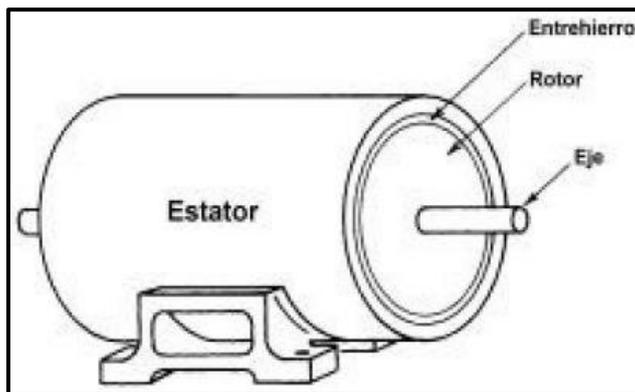


Figura 21. Partes de un motor eléctrico. (Rodríguez P., 2000)

3.4.5 Ventajas del mantenimiento basado en condición

- Se consigue un grado de preparación más alto de la planta, debido a una confiabilidad mayor del equipo.
- Instaurar una tendencia sobre las fallas que se empiezan a descubrir, se puede realizar con precisión y las operaciones de mantenimiento se pueden proyectar de manera que concuerde con paradas programadas de la planta.
- Minimización de los gastos para refacciones y mano de obra.
- Asegurar la protección del equipo, el personal y el medio ambiente.
- Reforzar la eficiencia de los equipos en gran medida.

3.4.6 Desventajas del mantenimiento basado en condición

- Necesita de una gran inversión.
- Se hace estrictamente necesario el uso de personal calificado. (Topanta Cunalata, 2009)

Capítulo 4

Equipos e instalaciones

4.1 Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo

“El sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SGSST), debe ser implementado por todos los empleadores y su concepto está relacionado al principio fundamental de la calidad, este es la implementación del ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar). Dicho ciclo tiene como objetivo la mejora continua del sistema, esto incluye la política, la organización, la planificación, la aplicación, la evaluación, la auditoría y las acciones de mejora (OHSAS 18001 de 2007) con el objetivo de anticipar, reconocer, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la seguridad y la salud en el trabajo.

En Colombia es obligatorio el uso del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, para esto, el ministerio del trabajo expidió la resolución 1111 de 2017, donde se controlaron los estándares mínimos con el fin de verificar el cumplimiento de las normas, requisitos y procedimientos de obligatorio cumplimiento en riesgos laborales establecidos en los sistemas de gestión, por parte de las entidades y empresas contratantes.” (Gándara Salas, Rodríguez, Pertuz Simancas, Vega Puello, & Marrugo Ligardo, 2017)

4.2 Sistemas de gerencia integrales (HSEQ)

“Este sistema integral de calidad denominado HSEQ, por sus siglas en inglés: Healthy, Security, Enviroment & Quality, reúne todos los aspectos de carácter vital para el desarrollo de una empresa. Tiene como fin el garantizar y promover la responsabilidad social en las empresas, la salud ocupacional, la seguridad industrial, el medio ambiente y la calidad. La sociedad y los gobiernos exigen no solamente el cumplimiento de la ley, sino también un compromiso verdadero para manejar estos aspectos; permitiendo de esta manera prevenir accidentes de toda índole y optimizando la forma como se enfrentan los riesgos y el desempeño en las organizaciones.” (Peña Torres, 2014)

La figura 24 nos ilustra el momento de las charlas de seguridad industrial y salud en el trabajo realizadas antes de comenzar cada jornada laboral.



Figura 22. Reuniones y charlas de seguridad industrial HSEQ. Fuente: Fotografías tomadas por personal HSEQ de Stork

4.2.1 Gestión del riesgo HSEQ

Con el fin de poder establecer los peligros y estudiar los riesgos para poder identificar las mejores formas de control, se recomienda el empleo de la metodología basada en la norma ISO31000 de gestión del riesgo, la cual se muestra en la figura 25.



Figura 23. Cronograma de trabajo HSEQ. Tomada de (Jimenez, 2010)

“La gestión del riesgo permite en una primera fase establecer los procesos de la organización y definir un mapa de procesos. En una segunda fase se procede a establecer los peligros inmersos en las actividades de esos procesos para poder crear la matriz de riesgos. En forma paralela, sobre las mismas actividades se crea la matriz de impacto ambiental para determinar los controles necesarios para prevenir accidentes ambientales. En una segunda fase, el análisis de calidad de los controles, el monitoreo, medición y establecimiento de un esquema de indicadores, permite hacer el análisis del comportamiento del sistema con el objeto de poder iniciar su mejora de la eficacia y el mantenimiento acorde con la evolución del entorno en el cual se desenvuelve la empresa, al mismo tiempo que se adapta a sus cambios internos normales: fusiones de departamentos, creación de nuevos cargos y demás cambios normales.” (Jimenez Barreño, 2015)

La figura 26 identifica cada uno de los elementos de protección personal, los cuales son de uso obligatorio mientras el trabajador se encuentre dentro de las instalaciones.



Figura 24. Elementos de protección personal (EPP). Tomada de (ESCEC, 2020)

4.3 Poliductos en Colombia

La mayor parte del petróleo se encuentra en las zonas más apartadas del país, donde la infraestructura vial es prácticamente rudimentaria; se deben recorrer distancias de aproximadamente 1500 kilómetros para transportar parte del producto a las distintas zonas de exportación y puntos de abastecimiento del territorio nacional.

Las principales redes de transporte están compuestas por los oleoductos y poliductos, que son los que se encargan de transportar el 90% del total del producto nacional. En la figura 27 puede identificar una de las múltiples líneas de poliductos que recorren el país.



Figura 25. Poliducto Bicentenario en Colombia. Tomada de (América economía, 2020)

Cenit transporte, cliente directo de Stork, es una empresa que cuenta con instalaciones que se encargan de distribuir combustibles en distintas localidades del país. Para que esto sea posible, dichas instalaciones cuentan con sistemas de bombeo que transportan los fluidos desde los tanques de almacenamiento hasta los cargaderos en los que los vehículos tipo cisterna se abastecen para hacer una entrega final del producto.

En las diversas estaciones de bombeo incluidas en el contrato de Stork: estaciones Cenit 8.000.001.448, existen proyectos realizados como edificaciones, construcciones y montaje de equipos, construcción e instalaciones provisionales y áreas de centro de despacho de combustibles con el objetivo principal de acrecentar la efectividad de los procesos y la capacidad de almacenamiento y transporte de hidrocarburos.

En la siguiente imagen se pueden identificar los distintos poliductos con los que se hace realidad la meta de transportar grandes cantidades de distintos productos refinados derivados del petróleo desde la zona de extracción hasta los puntos de abastecimiento distribuidos por el país.



Figura 26. Poliductos en Colombia. Tomada de (Sopeña, 2015)

4.4 Unidades de bombeo principal

En cada una de las estaciones de bombeo ubicadas a lo largo de las líneas de los poliductos, se encuentran una serie de sistemas que, en conjunto, impulsan el producto a través de ellas, consiguiendo así un transporte del producto bastante rápido y efectivo a grandes distancias, mucho mejor que transportarlo por vehículos.

Cabe recalcar que las máquinas que conforman los sistemas de bombeo principales, son equipos que tienen una criticidad muy alta, por lo que siempre deben estar en funcionamiento y, si se debe realizar una parada debe ser estrictamente necesaria (paros de emergencia) o paradas rutinarias programadas por frecuencias preestablecidas por las entidades de mantenimiento.

Estas unidades están conformadas, en su mayoría, por un arreglo de motor – variador – bomba, unidos mecánicamente mediante unos dispositivos llamados acoples mecánicos.

Cada uno de estos componentes, al ser equipos rotativos de altas velocidades, suelen trabajar con altas temperaturas, elevados niveles de ruido y algunos, están expuestos a ambientes húmedos que favorecen el deterioro de los mismos, por lo que se debe estar controlando constantemente las variables operativas para evitar en lo máximo posible cualquier tipo de avería imprevista. En la figura 29 se ilustra la unidad de bombeo principal de GLP 4420 que se encuentra en la estación de Puerto Salgar.



Figura 27. Unidad de bombeo principal de GLP estación Puerto Salgar. Fuente: Base de datos de Stork

4.4.1 Acoplamientos mecánicos

“La principal función de un acoplamiento es la de transmitir potencia (normalmente asociada al movimiento de rotación) entre los ejes que acopla, permitiendo el diseño modular de las máquinas. Además, el acoplamiento puede tener asignadas otras funciones también de gran importancia. Las más habituales son permitir desalineaciones y pequeños desplazamientos axiales y servir de fusible mecánico ante sobrecargas.” (Pérez González, Rodríguez Cervantes, & Sancho Brú, 2007)



Figura 28. Acoples mecánicos. Tomada de (FERRER-DALMAU INDUSTRIAL, 2020)

Un acoplamiento está formado por, al menos, dos componentes (tornillos y chavetas aparte). Aunque la mayoría de estos cuenta con un mayor número de piezas, pudiendo resultar dicho número bastante elevado en el caso de los acoplamientos más complejos. Como se puede ver en la figura 31 que nos muestra el acople más sencillo que hay. (Pérez González, Rodríguez Cervantes, & Sancho Brú, 2007)

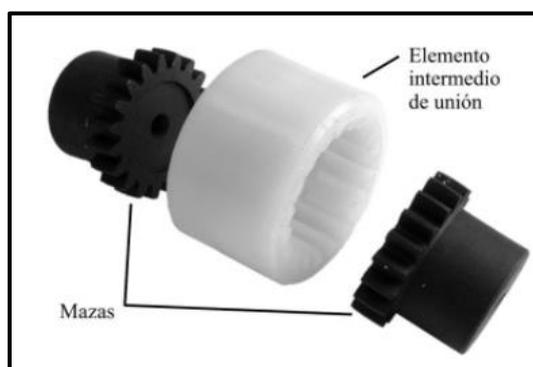


Figura 29. Partes de un acople mecánico más simples. Tomada de (Pérez González, Rodríguez Cervantes, & Sancho Brú, 2007)

Las propiedades más importantes, en las cuales está fundamentado el objetivo de la colocación de un acople mecánico son:

- **“Flexibilidad angular:** La flexibilidad angular representa la permisibilidad del acoplamiento ante la inclinación relativa de los ejes.

- **Flexibilidad ante desplazamiento:** La flexibilidad ante desplazamiento o paralela, representa la permisibilidad ante la separación paralela entre los ejes.
- **Flexibilidad a torsión:** Representa la capacidad del acoplamiento para torsionarse, es decir, para que cuando dos ejes mecánicos que se encuentran acoplados, sea posible que uno gire un cierto ángulo sin que el otro se mueva.
- **Posibilidad de movimiento axial:** Cuando existe juego entre la maza y el eje, existe la posibilidad de movimiento axial relativo entre ambos, aunque el acoplamiento sea completamente rígido.
- **Flexibilidad axial:** Funciona como amortiguador de las vibraciones axiales durante el movimiento.” (Pérez González, Rodríguez Cervantes, & Sancho Brú, 2007)

4.4.2 Motor eléctrico principal

La principal fuente de energía mecánica rotacional del sistema, en la estación de recibo y despacho de Puerto Salgar se encuentran en total de 8 unidades de bombeo principal, cada una cuenta con su motor eléctrico de inducción de baja tensión, con la capacidad necesaria para alimentar al sistema y poder recibir y rebompear el producto hacia la siguiente estación. A continuación, se observa una fotografía tomada al motor de la unidad de bombeo principal 2430.



Figura 30. Motor eléctrico principal MPE-2430 estación Puerto Salgar. Fuente: Base de datos de Stork

Los motores eléctricos involucrados en este proyecto están registrados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Motores eléctricos objetivos. Elaboración propia

SISTEMA	FABRICANTE	DENOMINACION	MODELO
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE2410 Motor Principal U#1 L10	1LA1562-2KF90Z
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE2420 Motor Principal U#2 L10	1LA1562-2KF90Z
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE2430 Motor Principal U#3 L10	1LA1562-2KF90Z
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE2440 Motor Principal U#4 L10	1Td2724-5Ef01Z
Motor eléctrico	GE-ELECT	Me-3410 Motor Elect 1250Hp. 6300V. 60Hz	5PKF82134092702
Motor eléctrico	GE-ELECT	Me-3420 Motor Elect 1250Hp. 6300V. 60Hz	5PKF82134092702
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE 7410 Motor Principal U#1 G/Day	1Td2225-5Ef01Z
Motor eléctrico	SIEMENS	MPE 7420 Motor Principal U#2 G/Day	1Td2225-5Ef01Z

4.4.2.1 Montaje

El montaje mecánico de un motor eléctrico es de fundamental importancia para el correcto funcionamiento del mismo, lo que conducirá a una vida útil más prolongada.

Existen distintos casos de montajes de motores eléctricos:

- Que el motor eléctrico y el equipo a impulsar forman una sola unidad.
- Que tanto el motor como el equipo impulsado estén sobre un bastidor.
- Que ambas máquinas sean provistas en forma separada.

“La cuestión exige que los motores estén convenientemente fijados a sus bases y, de acuerdo con el tipo de montaje, correctamente alineados. Así como también una forma especial de conexión eléctrica en virtud de que inevitablemente el conjunto motor – equipo produce vibraciones, las cuales transmiten a sus bases y a la conexión eléctrica, las cuales con el correr del tiempo producen deterioros paulatinos que desembocarán en la interrupción del servicio prestado por el equipo impulsado.” (Farina, 2018)

En la figura 33 se puede observar las condiciones de fijación recomendadas para el anclaje de un motor eléctrico principal según normativas estipuladas.

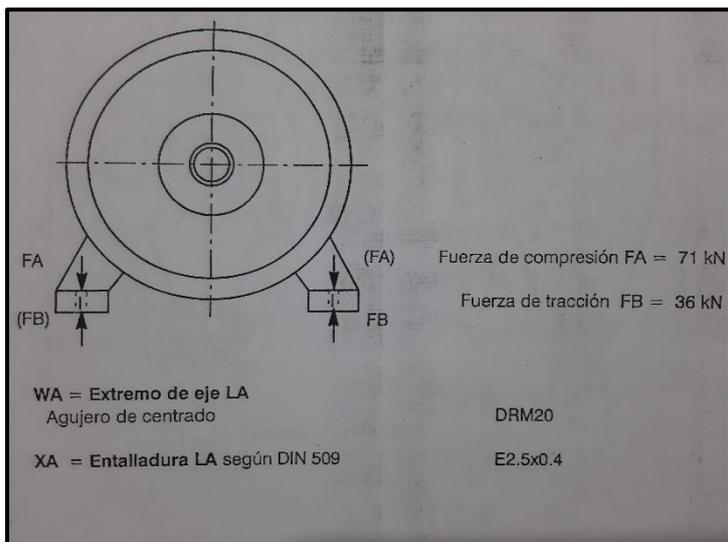


Figura 31. Montaje de un motor eléctrico. Fuente: Manual SIEMENS H-COMPACT

La siguiente tabla contiene los datos de operación para el modelo de motor SIEMENS H-COMPACT.

Tabla 5. Datos de operación. Elaboración propia

Potencia	746 KW	Torque	1989 Nm
Voltaje	6000 V	Factor de potencia	0,90
Frecuencia	60 Hz	Clase de torque	KL5
Corriente	83 A	Clase térmica	F
Velocidad	3581 min ⁻¹	Recinto	EX NA II T3

4.4.2.2 Curva característica

La siguiente gráfica representa la curva característica de operación para este tipo de motores, fue extraída del catálogo facilitado por el proveedor SIEMENS.

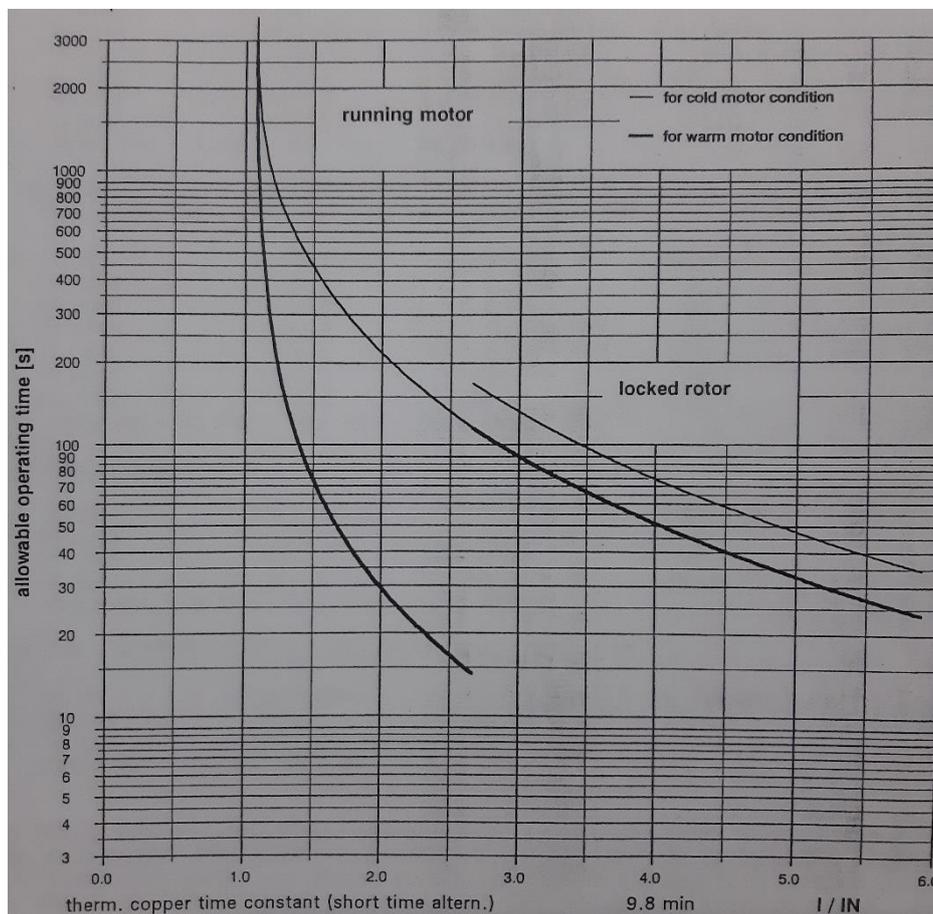


Figura 32. Curva de operación de un motor jaula de ardilla. Fuente: Manual SIEMENS H-COMPACT

4.4.3 Variador de velocidad hidrovicoso

El variador de velocidad funciona según el principio de cizallar una película de aceite para transmitir el par. Este efecto hidrovicoso (cizallamiento hidrodinámico) transmite el par en proporción a una fuerza de sujeción variable, cuanto más rápida es la velocidad de salida. La placa de transmisión de entrada funciona como controlador. El disco de fricción de salida está revestido con un material elástico adecuadamente ranurado. El material acoplado entre las placas de transmisión de entrada y los discos de fricción de salida permite un control de velocidad prácticamente infinito hasta el 100% de la velocidad de entrada. Este simple fenómeno (basado en los principios de los rodamientos hidrodinámicos establecidos) es la base de la transmisión de par controlada en el variador de velocidad. En la figura 35 podemos observar un variador hidrovicoso, en este caso de la unidad de bombeo principal 2410 de las instalaciones



Figura 33. Variador de velocidad VV-2410 estación Puerto Salgar. Fuente: Base de datos de Stork

Los variadores hidrovicosos involucrados en este proyecto son los planteados en la tabla a continuación:

Tabla 6. Variadores hidrovicosos objetivos. Elaboración propia

SISTEMA	FABRICANTE	DENOMINACION	MODELO
Variador hidrovicoso	PHILADELPHIA	Variador De Velocidad U#1 L10	H60-500
Variador hidrovicoso	PHILADELPHIA	Variador De Velocidad U#4 L10	H60-300
Variador hidrovicoso	PHILADELPHIA	VV3430 Variador De Velocidad U#2 G/Day	H29-300

4.4.3.1 ¿Cómo se genera la película de aceite?

El elemento de entrada acelera las partículas de aceite tangencialmente y se establece una película hidrodinámica mediante la acción del ranurado de aceite del disco de fricción. Las partículas de aceite también se ven afectadas por la fuerza centrífuga que las acelera hacia el exterior. Esta acción de bombeo natural asegura una película de aceite uniforme en las caras del disco para un corte controlado. La película de aceite se repone continuamente mediante una bomba de aceite en circulación, que bombea aceite desde el depósito a través de un enfriador y de regreso al centro de los miembros rotativos donde se repite el ciclo. En las figuras 36 y 37 se representa esquemáticamente el proceso de cizallamiento de aceite y de circulación de aceite por el sistema de recirculación y refrigeración.

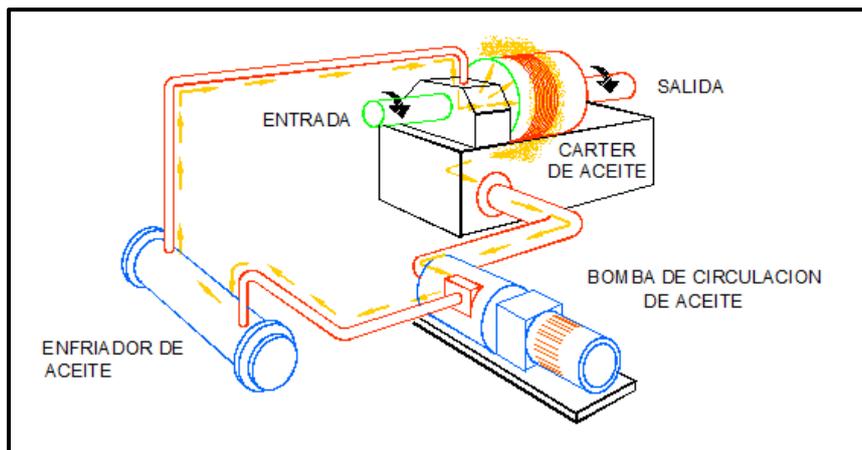


Figura 34. Circuito del flujo de aceite en un variador hidrovíscoso. Fuente: manual *SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES*

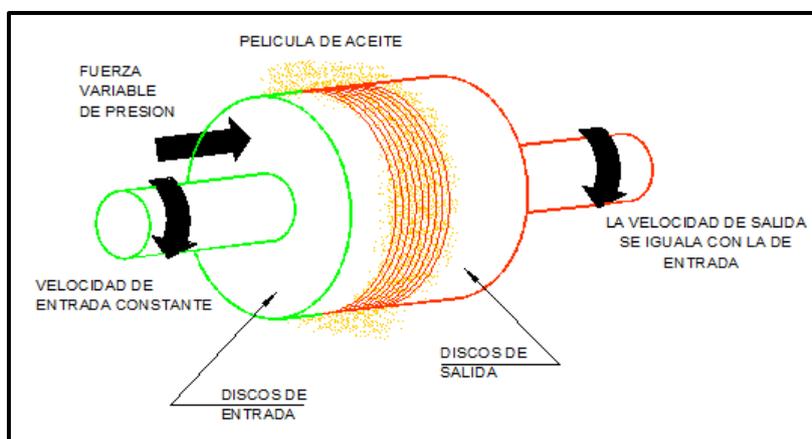


Figura 35. Cizallamiento del aceite en variador hidrovíscoso. Fuente: manual *SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES*

Las características de este tipo de aceite son:

- Separa discos de entrada y salida.
- Transporta el calor generado debido al corte de la película de aceite.
- La película de aceite es estabilizada mediante la aceleración tangencial que le imprime los discos de entrada y el ranurado de los discos de salida.
- La fuerza centrífuga provee un bombeo continuo que asegura una película permanente.

4.4.3.2 Material de los discos

Los discos del eje de entrada son fabricados en acero y los del eje de salida tienen sobre su superficie un material especial acanalado, resistente al desgaste y con propiedades deslizantes. La compatibilidad entre los materiales de fabricación de los discos permite controlar la variación de velocidad del eje de salida, hasta alcanzar el 100% de la velocidad del eje de entrada

4.4.3.3 ¿Cómo se controla el torque?

Aumentando el número de discos, se puede aumentar la capacidad de torque hasta lograr el deseado, también, dependiendo de la fuerza de cierre, se transmite más o menos torque y mediante un pistón fijo se aplica presión a los discos aumentando o disminuyendo la fuerza de cierre (hidráulica o neumática). La cantidad de torque deseado se controla variando la presión de cierre. En la siguiente figura se pueden identificar los elementos que componen la sección del paquete de discos hidrovicosos.

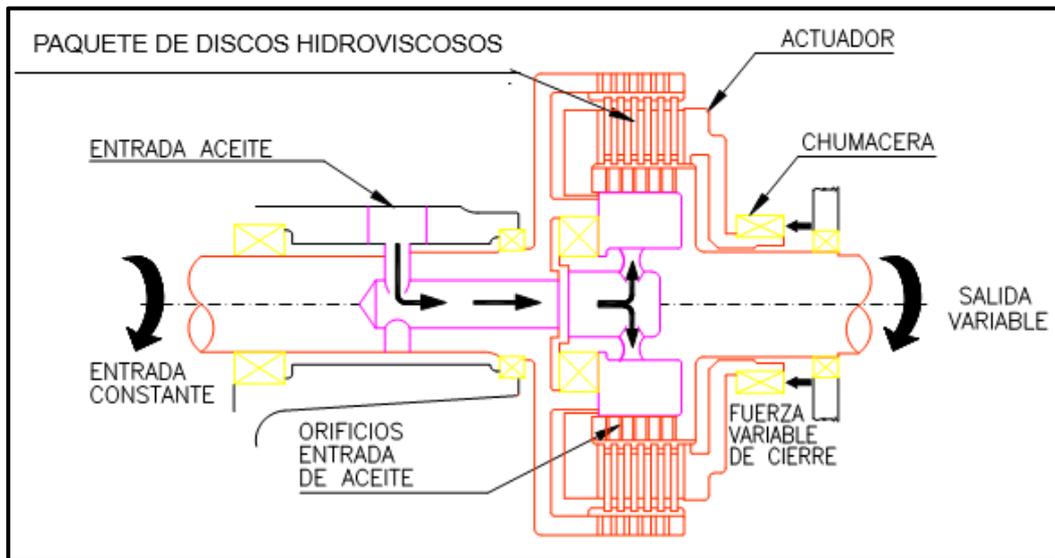


Figura 36. Diagrama de la vista transversal de un variador. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

El sistema del variador se retroalimenta por la señal de velocidad enviada desde el eje de salida por un pick – up magnético. En la figura 39 se observa un diagrama de instrumentación y control de un variador hidrovicoso modelo H60-500

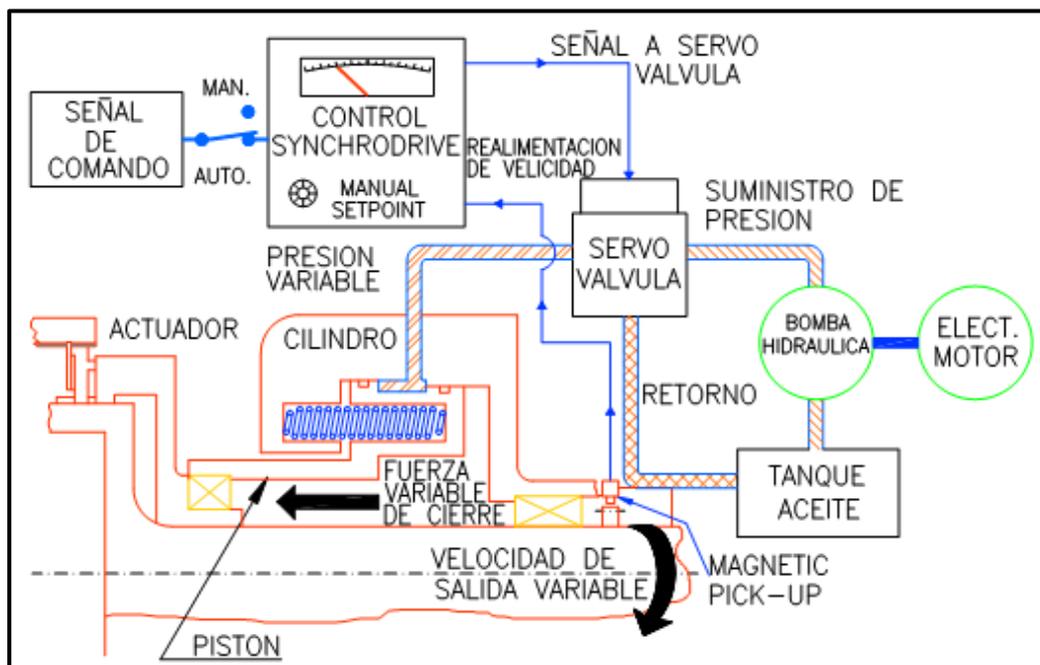


Figura 37. Gráfico de instrumentación y control de un variador. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

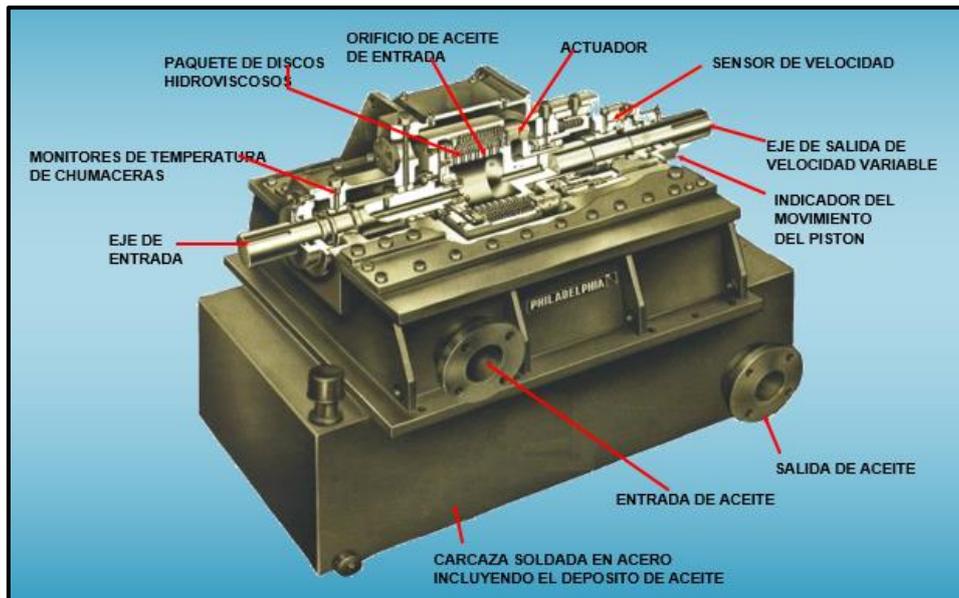


Figura 38. Componentes de un variador. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

4.4.3.4 Accesorios

Las siguientes figuras representan los distintos equipos que, en conjunto con el variador, logran el correcto funcionamiento del control de la variación en el par de salida:



Figura 39. Controladores. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

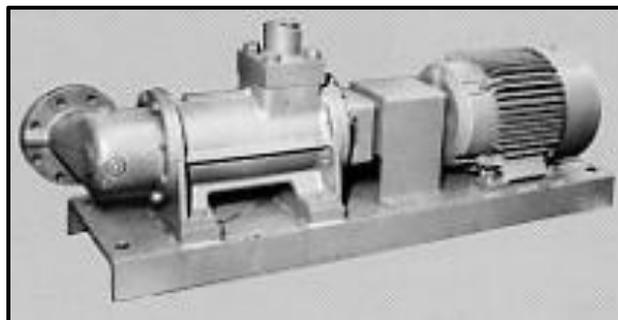


Figura 40. Paquete de lubricación. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

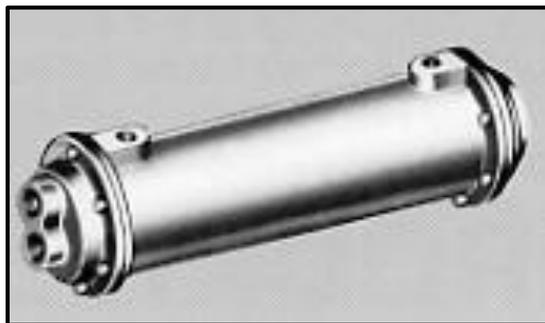


Figura 41. Enfriador (agua). Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES



Figura 42. Enfriador (aire). Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

4.4.3.5 Representación esquemática del variador de velocidad

La siguiente imagen nos representa un modelo de caja blanca con la información de las pérdidas en el proceso de operación de un variador hidrovicoso.

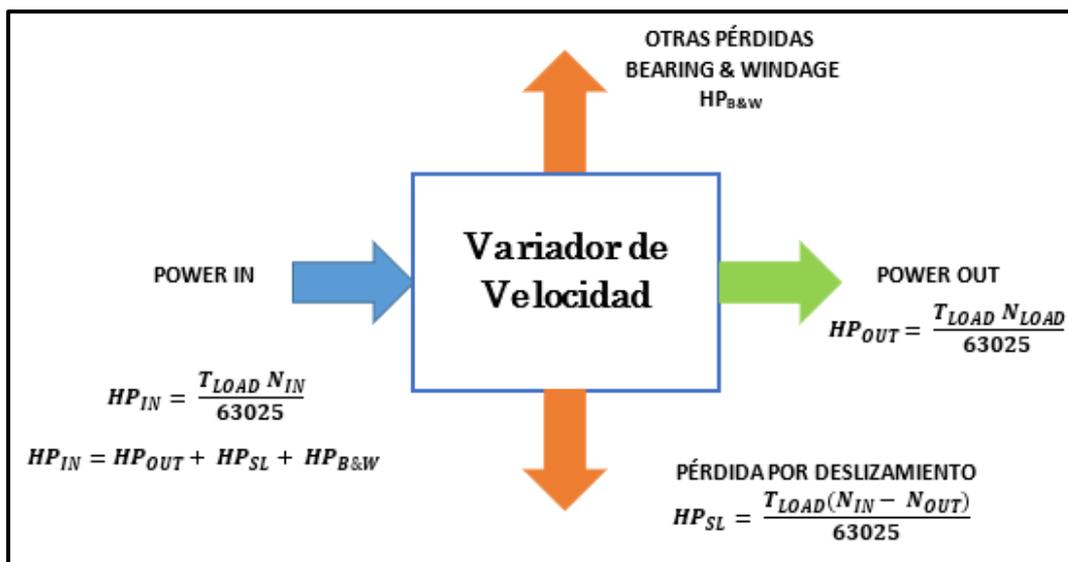


Figura 43. Representación esquemática de un variador de velocidad. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

4.4.3.6 Curvas características y de eficiencia

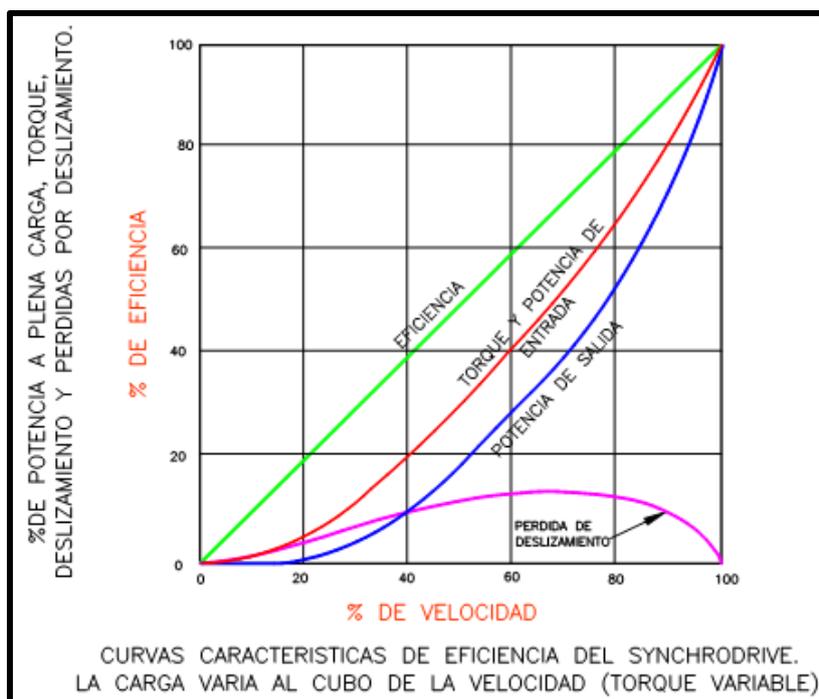


Figura 44. Curva eficiencia (torque variable). Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

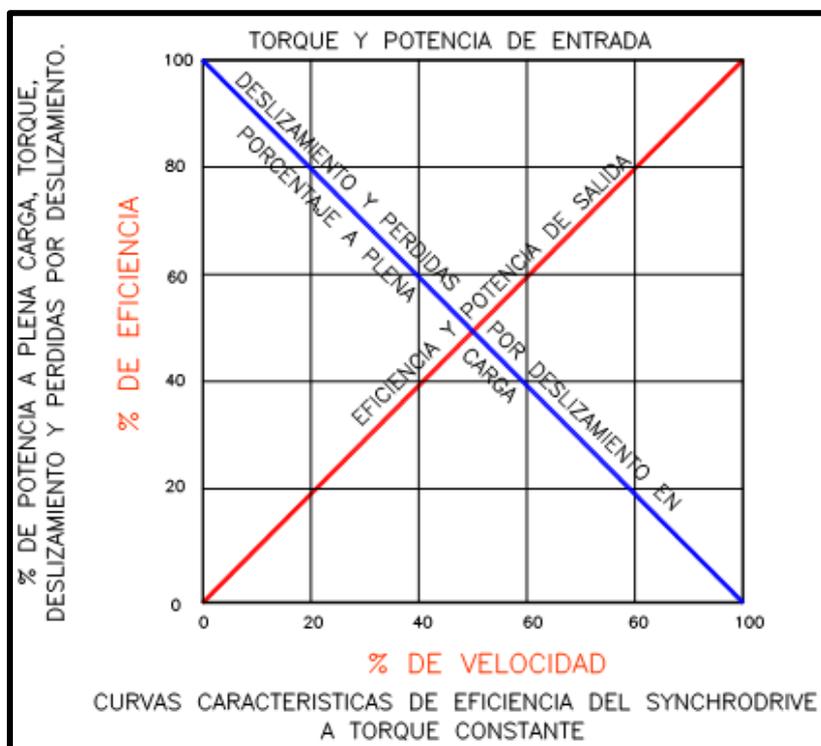


Figura 45. Curva eficiencia (torque constante). Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

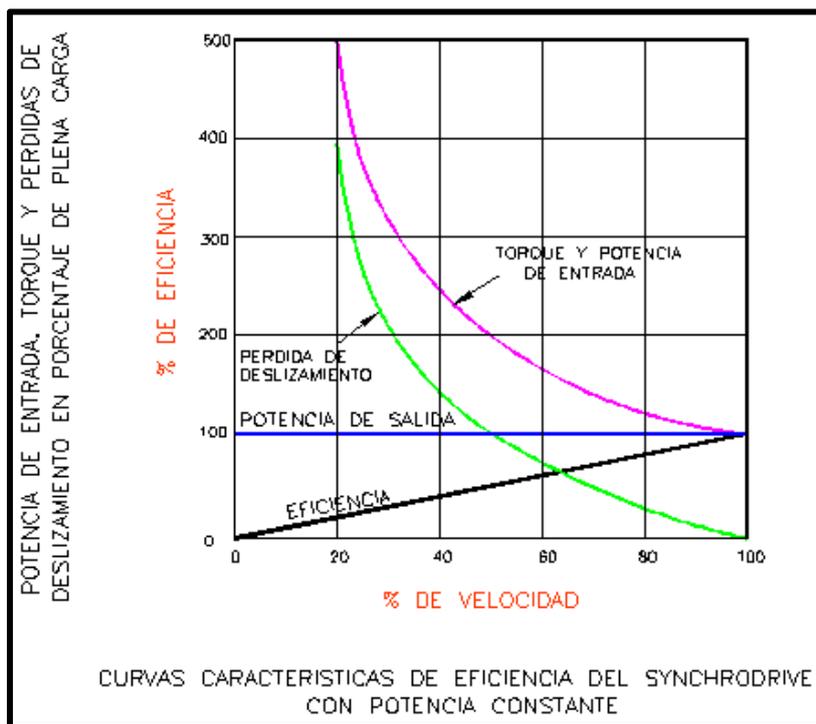


Figura 46. Curva eficiencia (potencia constante). Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

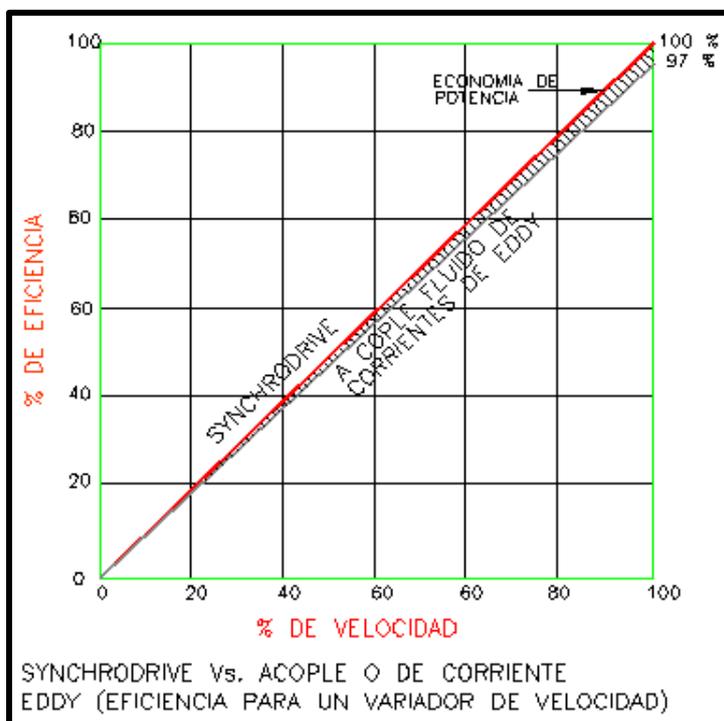


Figura 47. Curva de eficiencia. Fuente: manual SYNCHROTORQUE HYDROVISCIOUS DRIVES

4.4.4 Bombas centrífugas

El bombeo es una de las actividades más comunes tanto de la industria de proceso como de la vida cotidiana y a manera de ejemplo, se pueden mencionar: se tienen problemas específicos de bombeo en la industria de procesos como puede ser el manejo de sustancias corrosivas, combustibles en la industria química, manejo de agua caliente en plantas generadoras de energía eléctrica ya sea con combustibles fósiles o con combustible nuclear, el bombeo de aguas residuales, el bombeo de agua para riego, o para suministro para el consumo en zonas urbanas. Para todos los anteriores casos, el problema básico es el movimiento del líquido de un punto a otro. La figura 50 ilustra una bomba centrífuga de multi-etapa de la unidad de bombeo principal 3410 de la estación de Puerto Salgar.



Figura 48. Bomba centrífuga principal BPC-3410 estación Puerto Salgar. Fuente: Base de datos de Stork

Las bombas centrífugas involucradas en este proyecto las podemos encontrar en la siguiente tabla:

Tabla 7. Bombas centrífugas objetivos. Elaboración propia

SISTEMA	FABRICANTE	DENOMINACION	MODELO
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC2410 Bomba Ppal Centrífuga U#1 L10	MSD
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC2420 Bomba Ppal Centrífuga U#2 L10	MSD
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC2430 Bomba Ppal Centrífuga U#3 L10	MSD
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC2440 Bomba Ppal Centrífuga U#4 L10	MSD
Bomba centrífuga	FLowsERV	Bpc-3410 Bom Centrif Flowserv 875 gpm	DMX
Bomba centrífuga	FLowsERV	Bpc-3420 Bom Centrif Flowserv 875 gpm	DMX
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC7410 Bomba Ppal Centrífuga U#1 G/Day	MSD
Bomba centrífuga	BINGHAM	BPC7420 Bomba Ppal Centrífuga U#2 G/Day	MSD

La solución de problemas concretos de bombeo necesita de manera directa el conocimiento del comportamiento tanto de la bomba en sí, como del sistema al que deberá acoplarse, esto sigue siendo válido si el problema con el que se enfrentará el ingeniero es el de evaluar la bomba o un sistema de bombeo. El análisis de una bomba, bien sea pequeña para aplicaciones domésticas, o grande para aplicaciones industriales, reside en la mecánica de fluidos.

4.4.4.1 Principio de funcionamiento

“Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Los elementos constructivos de los que constan son:

- a) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b) El impulsor o rodete, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba.
- c) Una tubería de impulsión, la finalidad de la voluta es la de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.” (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

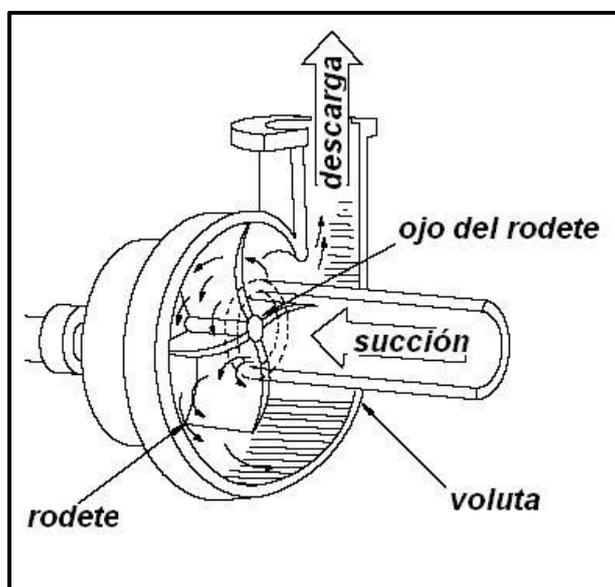


Figura 49. Partes de una bomba centrífuga. Tomada de (Fullmecánica 2014, 2016)

Como se puede ver en la figura 51, el líquido ingresa de manera axial por la tubería de aspiración y se dirige hacia el centro del rodete, que es impulsado por un motor, experimentando una variación en la dirección más o menos brusca, pasando a radial para el caso de las bombas centrífugas, o permaneciendo axial, para el caso de las bombas axiales, asumiendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten las partículas del fluido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas por la fuerza centrífuga mientras abandonan el rodete hacia la voluta, de manera que aumentan la presión del líquido. Finalmente, la carcasa o voluta, dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima y va aumentando conforme las partículas se encuentran frente a la abertura de impulsión. (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

4.4.4.2 Criterios y parámetros de selección de bombas centrífugas

“Para seleccionar un equipo de bombeo se deberá tener un conocimiento completo del sistema en que trabajaran bomba y motor, caso contrario puede resultar en una selección errónea que causará el mal funcionamiento de la bomba, desencadenando afectaciones en la eficiencia y eficacia del sistema.

Las bombas se eligen, generalmente por uno de los siguientes métodos:

1. El cliente suministra detalles completos a uno o más proveedores, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para la aplicación.
2. El comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo procediendo a elegir la unidad más adecuada de catálogos y gráficas de características.
3. Una combinación de los anteriores dos métodos para llegar a la selección final.”
(Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

Los parámetros que se deben conocer a la hora del proceso de selección de una unidad de bombeo son:

- Naturaleza del líquido que se bombea.
- Capacidad requerida.
- Condiciones del lado de succión.
- Condiciones del lado de descarga.
- Carga total sobre la bomba.
- Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
- Tipo de fuente de potencia.
- Limitaciones del espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costo de adquisición e instalación de la bomba.
- Costo de operación de la bomba.
- Códigos y estándares gubernamentales.

Como podemos observar, la metodología o secuencia para realizar la selección de máquinas de bombeo de manera convencional es complicada y bastante requiere bastante trabajo, debido a que refiere criterios y variables que dificultan un correcto análisis.

4.4.4.3 Métodos simplificados para selección de bombas

Método analítico simplificado

De forma analítica se resuelve el sistema de ecuaciones dado por la curva resistente de la tubería, definida por la ecuación

$$H_b = \Delta H + K * Q^2$$

Donde:

H_b = Carga de la bomba.

ΔH = Diferencia de altura entre longitud de la tubería de succión al eje de la bomba y longitud de descarga al eje de succión.

K = Coeficiente de pérdidas locales.

Q = Caudal.

H = Curva característica de la bomba, definida por la ecuación

$H = \eta + N + Q + (D * Q^2)$, la cual suministra la carga comercial de la instalación por vía analítica, con:

η = Eficiencia de la bomba (%)

N = Potencia.

D = Diámetros equivalentes.

Método gráfico simplificado

“El método de resolución gráfica es más intuitivo que analítico, añadido a esto, proporciona información adicional ya que permite deducir cómo se modifica el punto de trabajo cuando cambia, por ejemplo, el nivel de aspiración debido a un descenso de la capa freática, y como afecta tal cambio a la eficiencia (η) de la instalación. La curva de la bomba en forma gráfica por lo general, la suministra la casa comercial, y la curva resistente se puede obtener de forma analítica a partir de la ecuación de Darcy Weisbach ($H = \Delta H + K * Q^2$).

Se debe superponer la representación de esta ecuación sobre las curvas características de la bomba y la intersección proporcionada en el punto de trabajo.” (Hernández Guerra, 2018, pág. 31)

El punto de trabajo de una bomba depende a la vez de la característica motriz que presenta y de la característica resistente a vencer. La curva $H_b = H^*(Q)$ se puede aproximar por

una expresión del tipo $H_b = \eta + NQ + DQ^2$ siendo H la carga manométrica diferencia entre salida y entrada.

Podemos encontrar un esquemático sencillo del análisis en la figura 52.

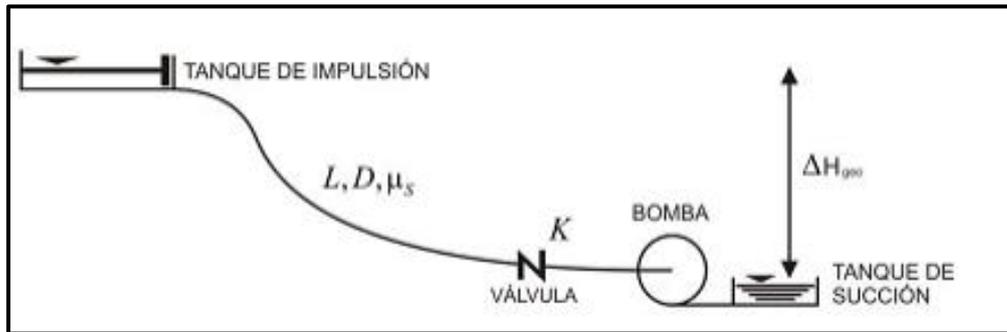


Figura 50. Método de selección gráfico simplificado. Tomada de (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

De esta forma, el cálculo queda de la siguiente manera

$$\Delta H_{p\acute{e}rdida} = \frac{fLQ^2}{2gDA^2} + \frac{KQ^2}{2gDA^2} = KQ^2$$

Es muy común el caso de que se tome el valor de las pérdidas por fricción de manera constante acercándose al valor final, pero es un error que muchos diseñadores cometen al pensar que una bomba va a impulsar un líquido a través de una red y vencerá todas las resistencias a su paso.

Lo correcto sería incluir la siguiente ecuación en el análisis, la cual aproxima la curva resistente de instalación:

$$\Delta H_r = \Delta H_{geo} + \Delta H_{p\acute{e}rdida}$$

El resultado de todo el análisis se concluye con un gráfico sencillo que me ubica el punto de operación de la bomba seleccionada, como podemos identificar en la figura 53

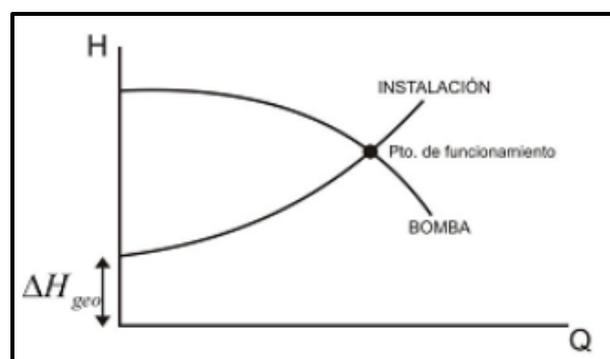


Figura 51. Punto de operación de una bomba. Tomada de (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

4.4.4.4 Condiciones de operación de una bomba

Las bombas están diseñadas para operar con 3 diferentes productos: diésel, gasolina y jet A-1. Para cada uno de los productos, las características de operación son ligeramente diferentes, como podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 8. Condiciones de operación de bombas centrífugas. Elaboración propia

Líquido	Temp.	Viscosidad	G.E.	Caudal	Altura	RPM	Eficiencia
Diésel	80°F	4,002 cP	0,870	875 gpm	3829 ft	3279	76,8 %
Gasolina	80°F	0,444 cP	0,740	875 gpm	3659 ft	3222	76,8 %
Jet A-1	80°F	0,165 cP	0,550	875 gpm	3982 ft	3330	76,7 %

4.4.4.5 Curvas características

En la figura 54 se evidencia la curva característica de una variable conocida en el mundo de los equipos hidrodinámicos como “altura neta positiva de aspiración” o NPSH (Net Positive Suction Head) frente a distintos valores de potencia. El NPSH es un valor que generalmente está incluido en el catálogo de operación del equipo y se utiliza para alcanzar un determinado comportamiento de la bomba con distintas condiciones de caudal, velocidad de giro y tipo de líquido bombeado.

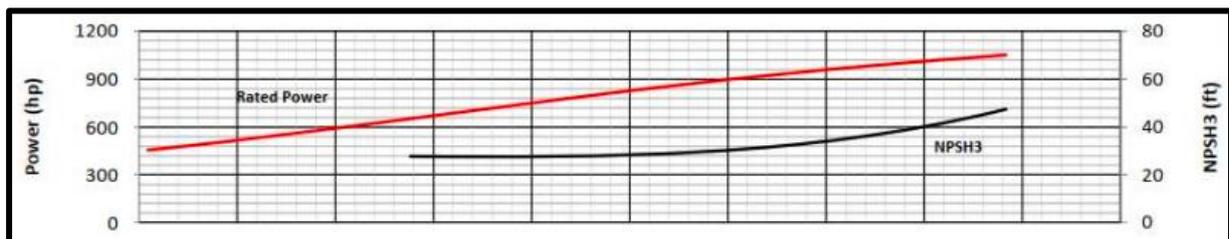


Figura 52. Curva de potencia. Tomada de (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

La figura 55 me representa los valores de eficiencia frente a distintos valores de caudal y “altura” (en inglés Head), terminología que se utiliza para definir y medir presión en equipos hidrodinámicos.

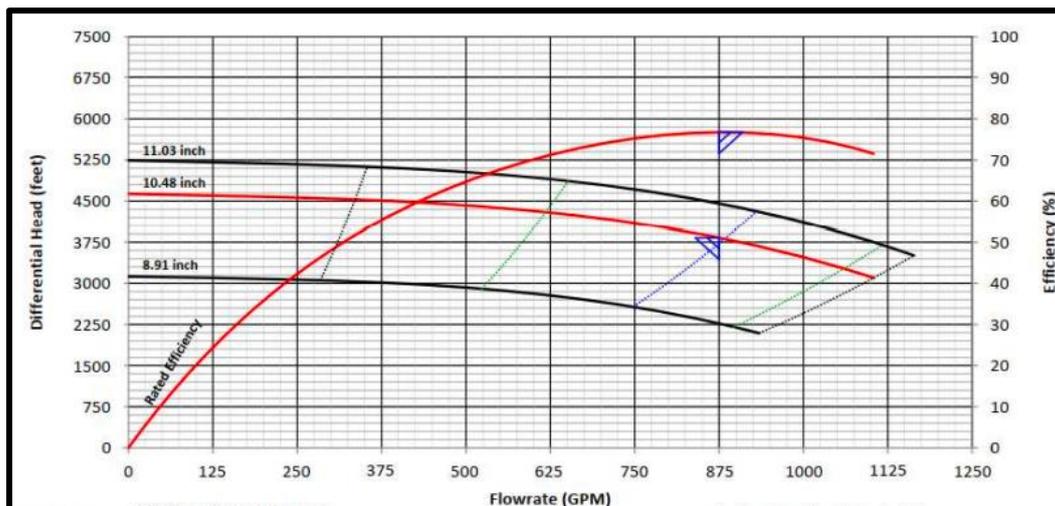


Figura 53. Curva de caudal. Tomada de (Aguilar Reyes, Nieves Saavedra, & Medina Hernández, 1997)

4.5 Estación de recibo y despacho de hidrocarburo de Puerto Salgar

La Estación de recibo y despacho de hidrocarburo se encuentran ubicadas en la vereda El Rayadero, municipio de Puerto Salgar (N1 – 094 – 000, E939 – 000), departamento de Cundinamarca, flanco occidental de la Cordillera Oriental y la margen derecha del río Magdalena en el kilómetro 3 de la vía que conduce al municipio de Caparrapí. Las instalaciones ocupan un área de 19,45 Ha aproximadamente, las cuales están repartidas de la siguiente manera:

- Áreas administrativas y de operaciones (7,7 Ha).
- Zonas verdes (10,3 Ha).
- Áreas anexas (1,4 Ha).

Las siguientes imágenes me representan la organización estructural de toda el área perimetral de la estación de recibo y despacho de hidrocarburo en Puerto Salgar.

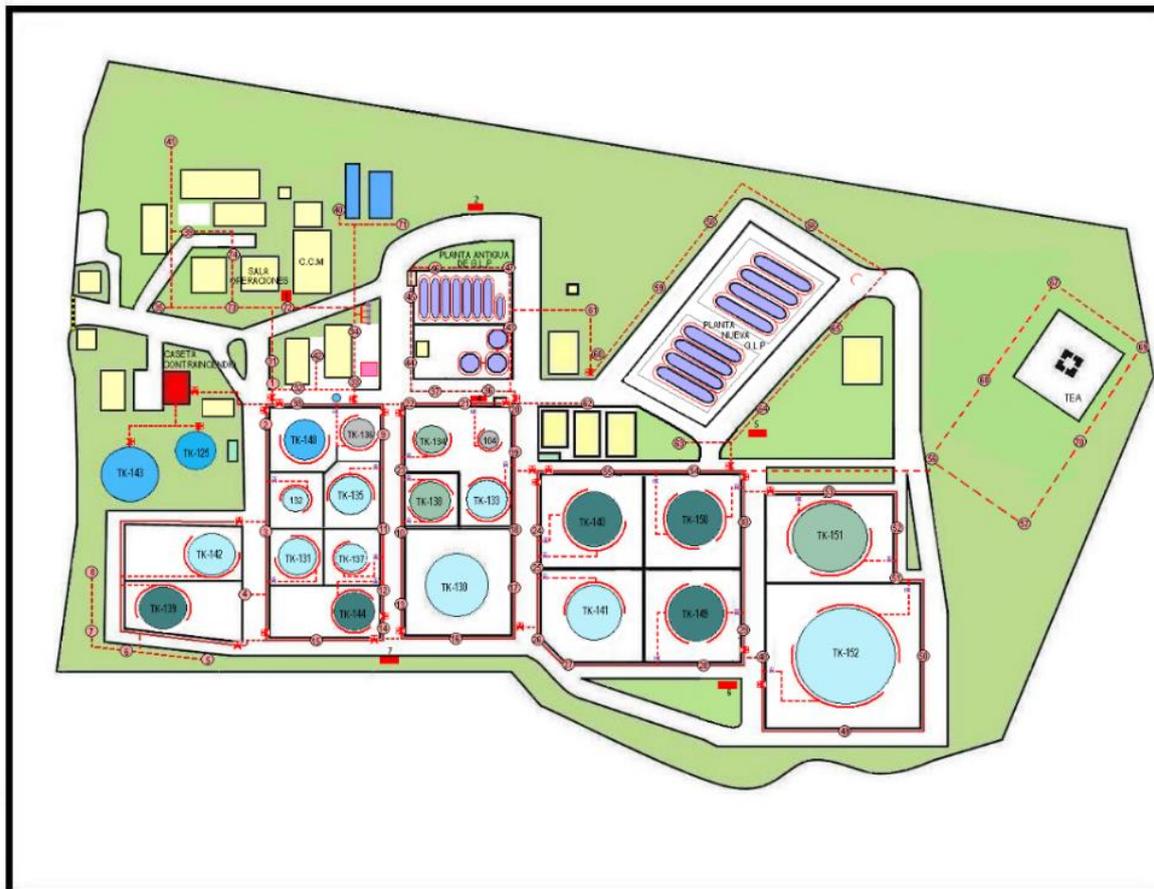


Figura 54. Planos de la estación Puerto Salgar. Fuente: Base de datos de Stork



Figura 55. Entrada a la estación Puerto Salgar. Elaboración propia

4.5.1 Riesgos y peligros presentes en el entorno

1. Radiación solar.
2. Tormentas eléctricas, descargas atmosféricas.
3. Animales venenosos y ponzoñosos.
4. Superficies irregulares, obstáculos en el área.
5. Ruido.
6. Iluminación deficiente (Cárcamos eléctricos).
7. Líneas de proceso (presión producto).
8. Tanques de almacenamiento GLP (Balas y esferas).
9. Presencia de atmósfera explosiva.
10. Movilización de vehículos, maquinaria y equipos.
11. Sistemas de control operativo.
12. Sistemas de comunicación.
13. Energía electrostática.
14. Líneas aéreas con tensión eléctrica.
15. Redes eléctricas subterráneas.
16. Niveles de tensión mayores a 25V de corriente alterna (CA), 48V de corriente continua (CC) o sin tensión.
17. Equipos energizados (unidades, motores, tableros eléctricos).
18. Áreas restringidas (subestación eléctrica y CCM's).

4.5.2 Almacenamiento

En este apartado se ilustra de manera sencilla los distintos contenedores de productos refinados en el proceso de recibo y despacho de la estación.

La figura 58 me identifica el número de tanques para refinados líquidos.

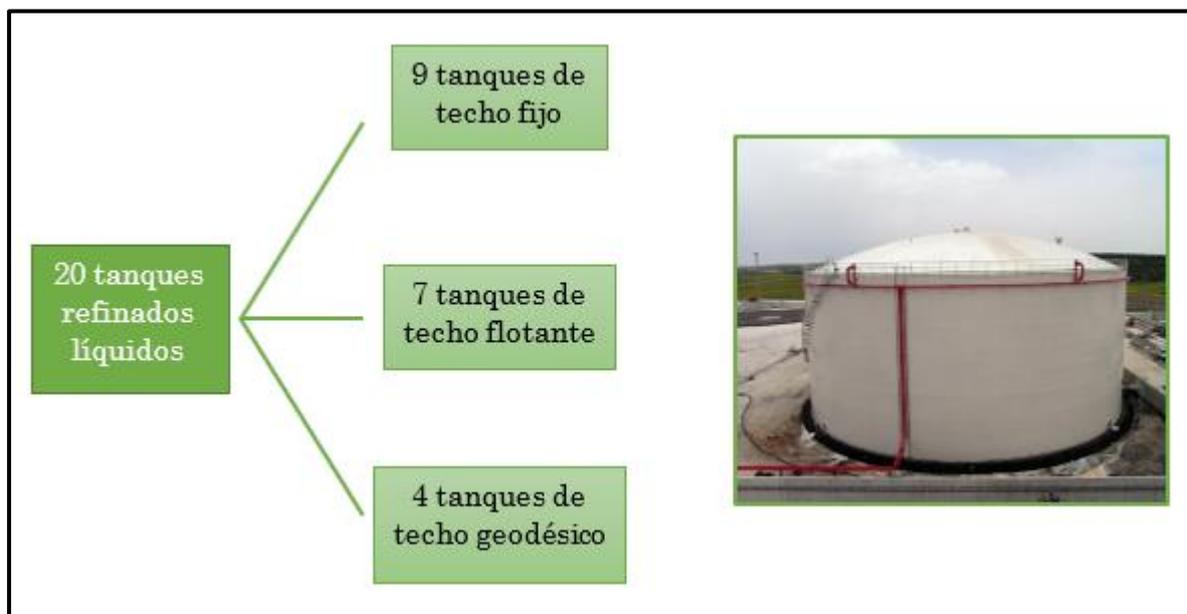


Figura 56. Número de tanques de relevo presentes en las instalaciones. Elaboración propia

La figura 59 me identifica el número de tanques para refinados gaseosos, para el caso de la estación Puerto Salgar se cuenta con gas licuado del petróleo o GLP.

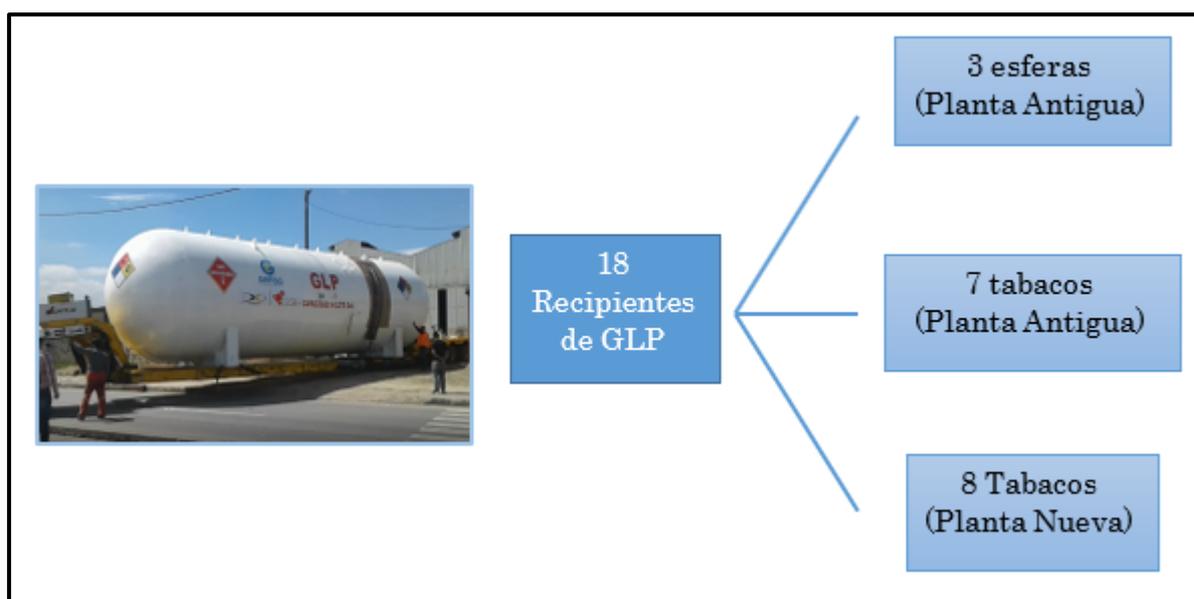


Figura 57. Número de tanques de GLP (tabacos) presentes en las instalaciones. Elaboración propia

4.5.3 Sistemas de transporte

La siguiente figura describe de manera sencilla el sistema de recibo y el sistema despacho distribuido por la estación y los distintos productos que se transportan a través de cada una de las líneas.

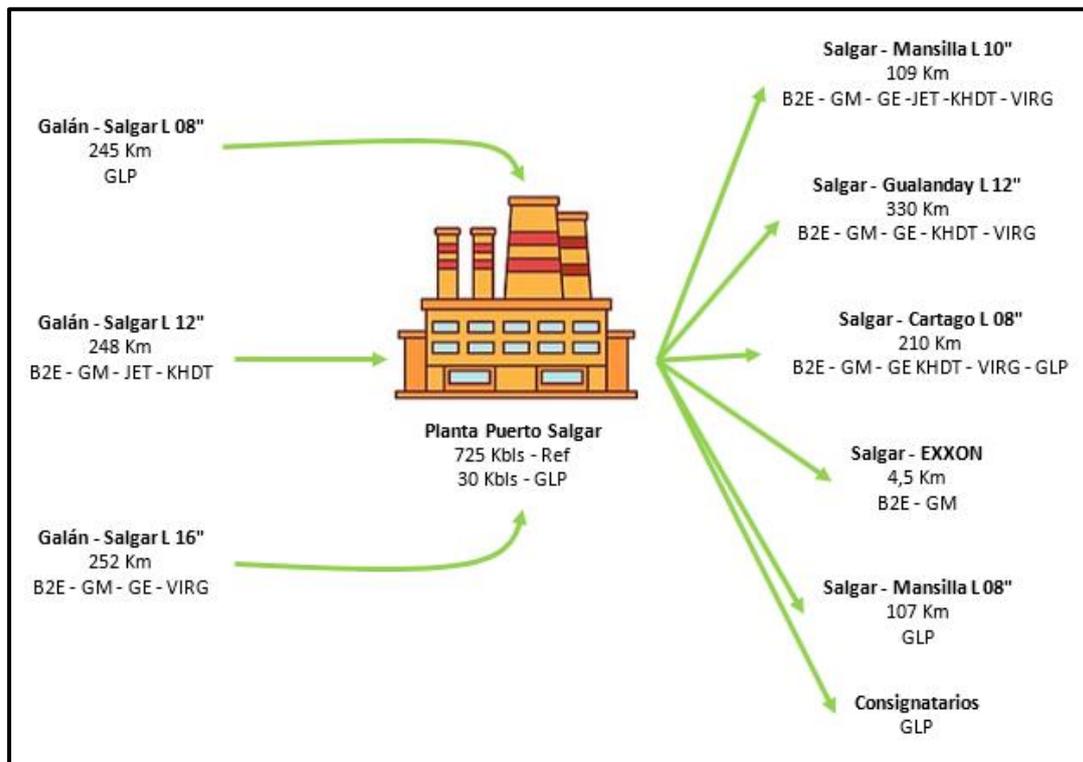


Figura 58. Diagrama de las líneas (poliductos) que atraviesan la estación. Elaboración propia

4.5.4 ¿Cómo trabajar en la planta?

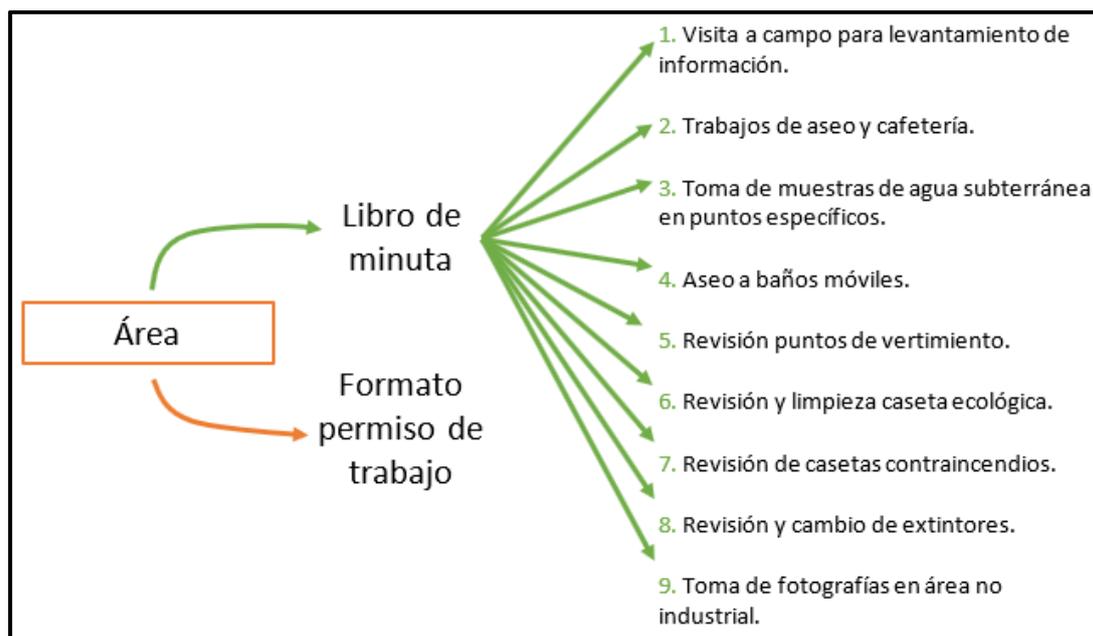


Figura 59. Representación esquemática de los protocolos para realizar actividades en las instalaciones. Elaboración propia

4.5.5 Componente operativo – Sistemas contraincendios (SCI)

La línea de sistema contraincendios es muy importante dentro del proceso de recibo y despacho de las instalaciones, ya que es el primer agente que actúa frente a cualquier evento de conato de incendio provocado por algún tipo de avería en cualquiera de las unidades que operan en la estación. La figura 62 ilustra de manera sencilla la distribución del sistema de unidades contraincendios.

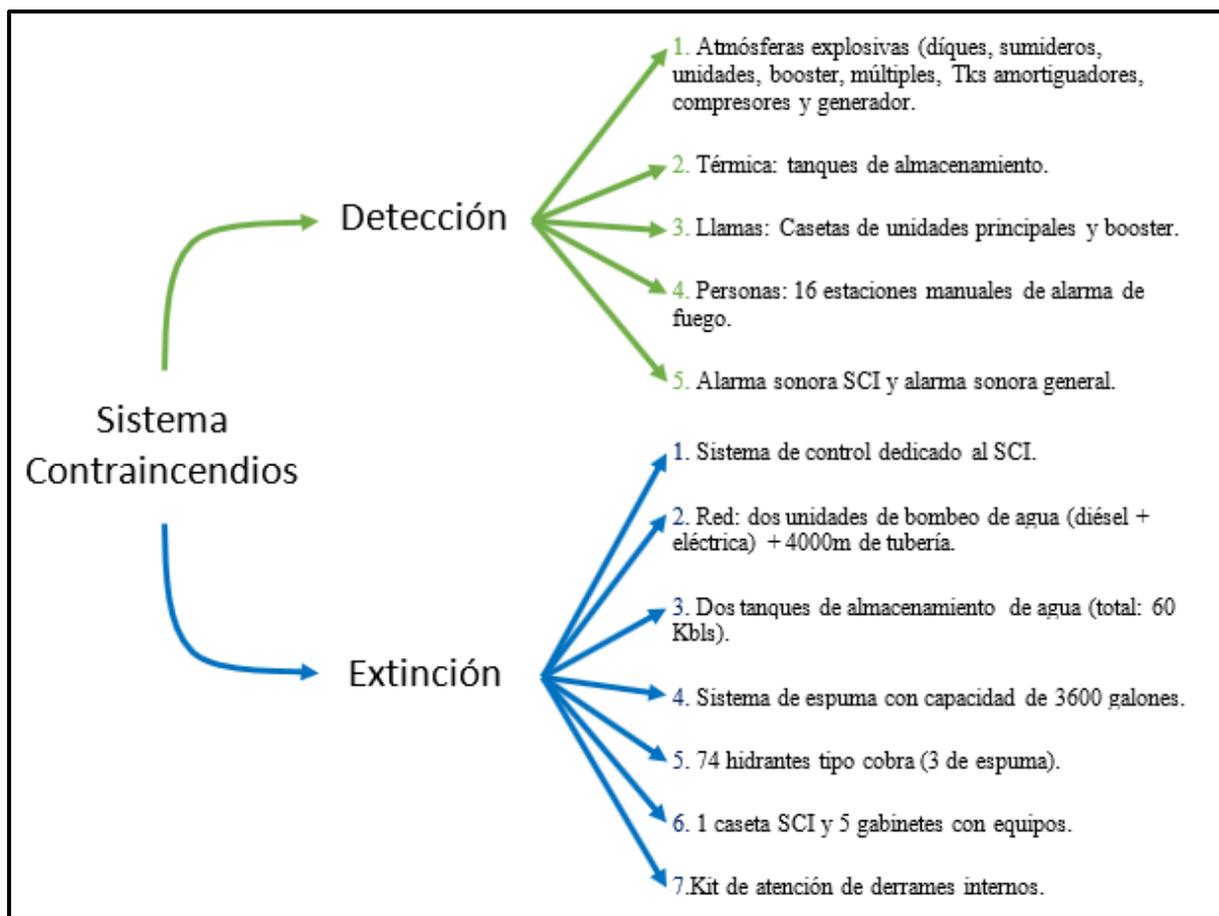


Figura 60. Estructuración de los sistemas contra incendios de la estación. Elaboración propia

Capítulo 5

Metodología

5.1 Identificación y análisis de documentación

El primer paso es identificar y analizar los manuales y procedimientos que actualmente se están ejecutando durante el proceso de mantenimiento y durabilidad de los equipos que actualmente tiene incluida la empresa en el plan y forman parte dentro de la población objetivo de este proyecto. La ejecución de esta fase, sirve como base para el análisis y la elaboración de los nuevos procedimientos propuestos que tendrán como directrices en el desarrollo de los informes: criterios actuales de mantenimiento y documentación interna de la empresa.

A través de la identificación de la documentación referente al sistema de garantía de calidad de procesos de mantenimiento, se pretende generar conocimiento sobre las condiciones en las que se realizan cada una de las operaciones de los procesos relacionados con las prácticas de mantenimiento y confiabilidad de los equipos. Durante esta fase, se identifican las políticas y objetivos de calidad bajo las cuales se rige la organización, su misión, visión y valores empresariales, aspectos muy importantes que determinan el camino por el cual se orienta la empresa para conseguir procesos que cumplan con las exigencias de calidad y de esta manera conseguir la completa satisfacción de los clientes.

5.2 Control de documentación interna

Es indispensable conocer los mecanismos de elaboración de documentos, su estructura y redacción, con el fin de asegurar el adecuado uso, identificación, distribución, conservación y control de toda la información. La elaboración de cada documento se rige bajo las normativas internas de la empresa y se definen de acuerdo a una estructura preestablecida dada de la siguiente forma:

Lo primero a definir es el objetivo del documento, una vez realizado, se establece el propósito real de cada procedimiento, luego se especifica en forma clara el campo de aplicación de las actividades desarrolladas a lo largo del documento, se establecen los responsables de ejecutar y hacer cumplir cada una de las actividades de proceso de descrito en el procedimiento, después es necesario que se definan todos los términos propios o específicos, abreviaturas y símbolos utilizados en el proceso, luego es necesario establecer los equipos, materiales y herramientas necesarias para el desarrollo óptimo de las actividades, en el sexto apartado se considera el desarrollo del documento, el cual presenta una estructura libre y describe en los ítem que sean necesarios las operaciones o actividades, utilizando en su mayoría recursos visuales que complementen el proceso de descripción y transmisión de la información de manera clara e inequívoca, por último, se

definen los responsables de la elaboración, revisión y aprobación y un histórico de cambios, el cual establece que tales procedimientos se encuentran sujetos a modificaciones futuras.

5.3 Identificación de manuales existentes dentro del área de mantenimiento

Siguiendo con el proceso de identificación de la documentación, se procede a identificar y analizar los manuales y procedimientos ya establecidos por el área de mantenimiento, específicamente aquellos cuyas actividades u operaciones se encuentran relacionados con el sistema de bombeo principal (motores eléctricos, variadores de velocidad y bombas centrífugas). La identificación de estos documentos, permite establecer conocimientos acerca del funcionamiento básico de cada uno de los equipos y sistemas mencionados anteriormente, así mismo, permite garantizar de forma correcta la limpieza y actividades de mantenimiento, conocimientos que hay que tener presentes también, durante las actividades que se estipularán en los nuevos procedimientos.

5.4 Recopilación de datos y diseño de registros de los equipos

Para poder realizar el diseño de los registros, inicialmente se requiere de la recopilación de datos, dentro de los cuales se incluye: especificaciones de la forma y tipo de producto, nombre, marca, color, serie, componentes del equipo, parámetros de temperaturas, precauciones de su utilización, fechas de limpieza, inspección visual y reemplazo de piezas defectuosas, fechas de cambio de aceites y combustibles, personas responsables del mantenimiento y operación del equipo, observaciones generales.

Teniendo recopilada la información, se procede a la elaboración de los registros, los cuales serán distribuidos de la siguiente manera: hoja de vida para cada uno de los equipos, datos y características de diseño, curvas características y fundamentalmente documentación técnica proporcionada por el fabricante, planos eléctricos, mecánicos y diagramas de tuberías e instrumentación de los equipos para el caso del variador hidrovicoso.

5.5 SAP PM (Mantenimiento de planta)

Dentro de una institución dedicada al mantenimiento, el módulo de mantenimiento de planta de SAP, efectúa las tareas de negocio tales como: avisos de mantenimiento, órdenes y listas de tareas y gestión de descargo.

En la figura a continuación se pueden identificar cada uno de los distintos componentes que nos puede facilitar la plataforma SAP en el módulo de mantenimiento de planta.



Figura 61. SAP PM, componentes. Fuente: Base de datos CENIT

5.5.1 Mantenimiento de planta predictivo

“El módulo SAP PM identifica y rectifica los problemas de los equipos bajo su control. Ya sea por completo fracaso o el deterioro con el tiempo. SAP PM automáticamente identifica la ubicación exacta de un equipo defectuoso y genera una orden de mantenimiento detallada. Incluye las especificaciones necesarias, dibujos de ingeniería y precauciones de seguridad. Todos estos detalles son muy importantes ya que, si en alguno de ellos el mantenimiento puede no ser posible, esto podría detener la producción, poner en peligro la vida de las personas o, en el peor de los casos, ambas situaciones juntas.” (Prime Institute corporation Web site, 2021)

En la figura 64 se evidencian cada una de las facilidades de la plataforma.

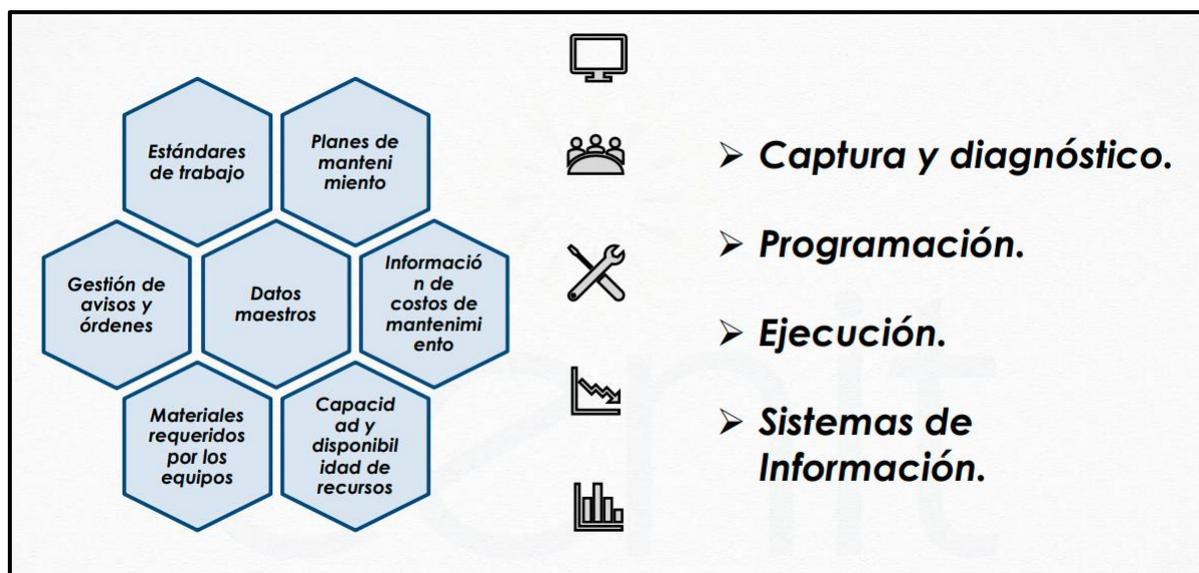


Figura 62. Facilidades de SAP. Fuente: Base de datos CENIT

5.5.2 Características de SAP PM

- Objetos técnicos establecidos (zonas técnicas, equipos, grupos, conjuntos).
- Descripción flexible de los planes de mantenimiento preventivo.
- Inventario de refacciones, herramientas.
- Estadísticas de intervenciones y solución de inconvenientes en los sistemas de información.
- La dirección de las operaciones de mantenimiento sobre una base contractual.
- Los costos de mantenimiento añadidos en el análisis de todos los departamentos de la compañía como costos, contabilidad, finanzas.

5.5.3 Beneficios de SAP PM

- ✓ **Online.** Información disponible en tiempo real.
- ✓ **Gestión de materiales.** Soporta todas las fases de la gestión de materiales, la planificación de necesidades y recursos, la gestión de stock, inventarios, la entrega y reposición.
- ✓ **Integración.** Permite la unificación entre los diferentes módulos, evitando interfaces que puedan alterar la información.
- ✓ **Planificación de mantenimiento.** Permite la planificación del mantenimiento, llevando el control de recursos y costos de los equipos.
- ✓ **Contabilidad financiera.** Gestión de datos y otras necesidades de tipo contable y financiero de la organización
- ✓ **Control.** Proporciona información necesaria para la toma de decisiones.
- ✓ **Procesos organizacionales.** Cuenta con un alto porcentaje de adherencia a los procesos definidos.

5.5.4 Estructura de gestión

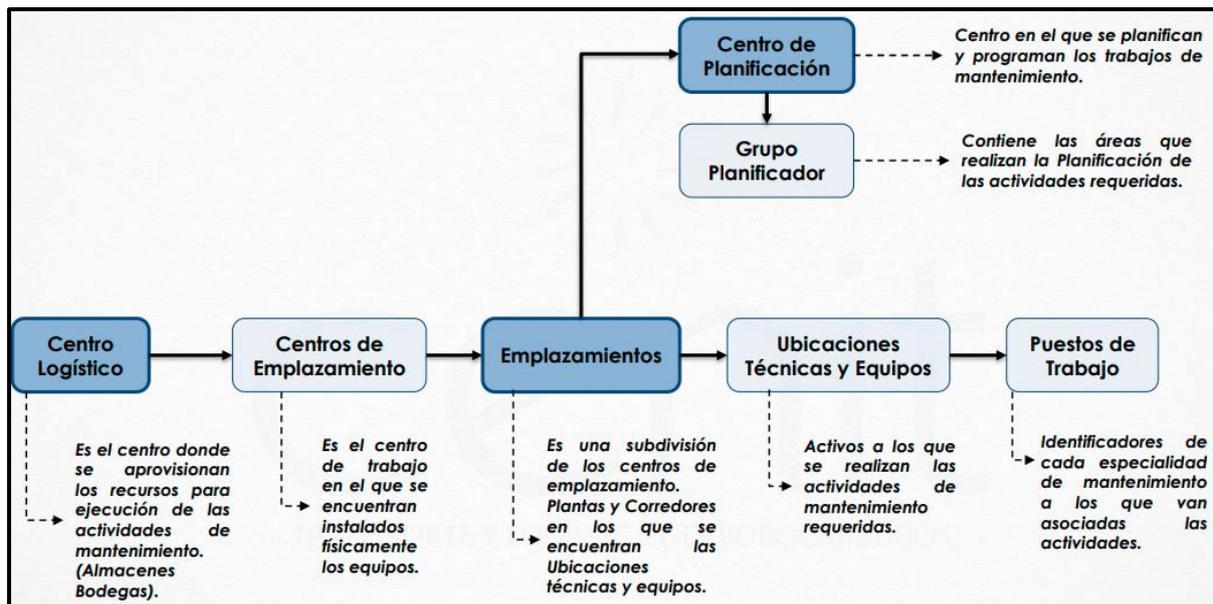


Figura 63. Estructura de gestión SAP. Fuente: Base de datos CENIT

5.5.5 Estructura técnica de los equipos

SAP PM se rige a partir de una estructura que organiza jerárquicamente cada uno de los componentes que están incluidos dentro del mantenimiento de una planta. Las siguientes imágenes da una breve descripción de dicha estructura.

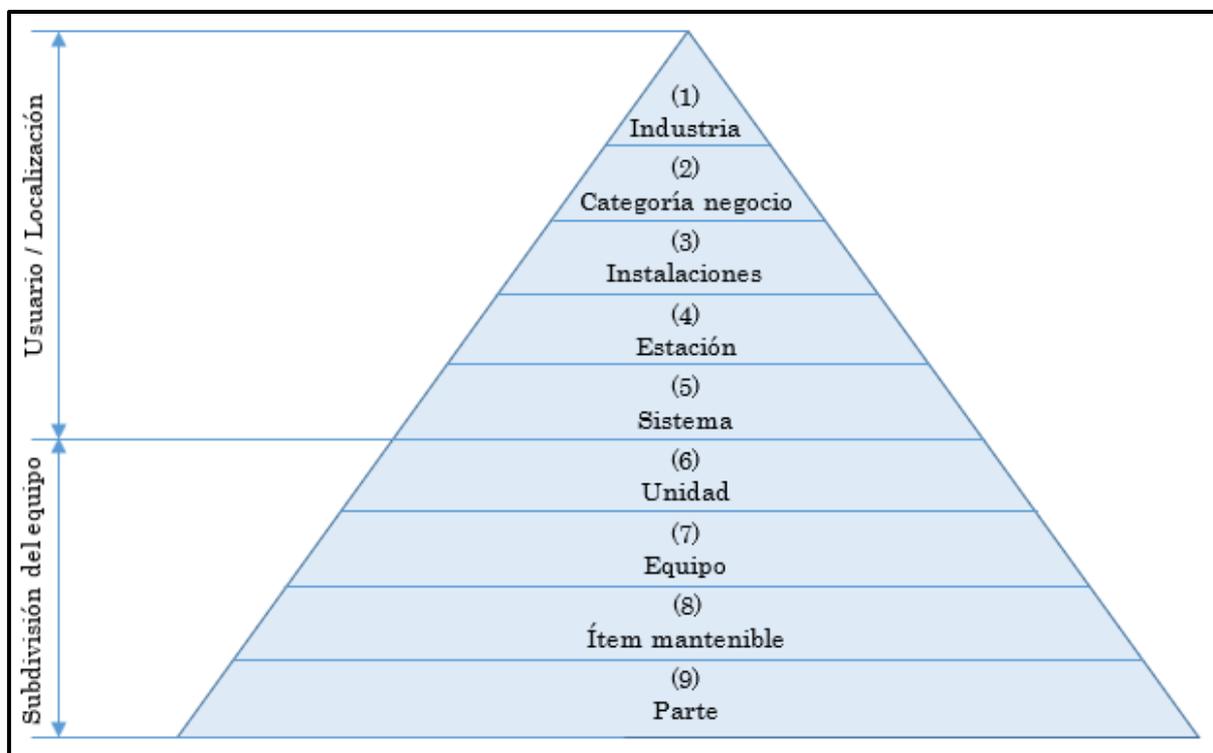


Figura 64. Pirámide jerárquica de la estructura técnica de los equipos. Fuente: Base de datos CENIT

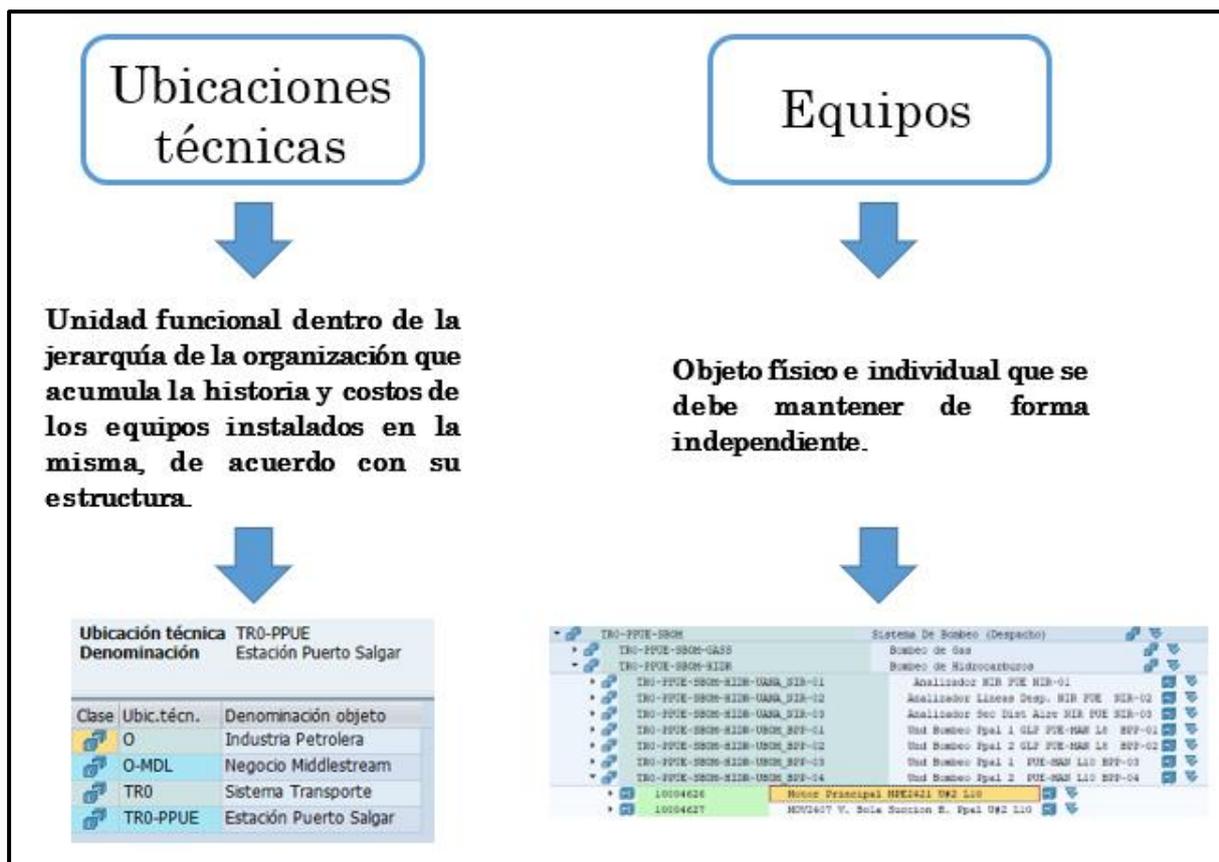


Figura 65. Componentes y objetos de trabajo utilizados en SAP. Fuente: Base de datos CENIT

La tabla 10 contiene las distintas codificaciones que se utilizan para clasificar los distintos sistemas que se manejan en las estaciones.

Tabla 9. Codificación SAP para el tipo de unidad. Fuente: Base de datos CENIT

UANA	Unidad Analizador	UMAH	Unidad Marcación de Hidrocarburos
UBOM	Unidad de bombeo	UMCI	Unidad Monitoreo de Corrosión Interior
USEB	Unidad Bloqueo y/o Seccionamiento	UMUL	Unidad Múltiple
UBRM	Unidad Brazo de Medición	UOBC	Unidad Obra Civil
UCDE	Unidad de Cargue / Descargue	UPIS	Unidad Piscina
UCGA	Unidad City Gate	PLEM	Unidad PLEM
UCOM	Unidad de Compresión	UPRO	Unidad Probador
UCOA	Unidad de Contingencia Ambiental	URPC	Unidad Protección Catódica
UCAC	Unidad de Control de Acceso	TKAL	Unidad Recipiente de Almacenamiento
UCSA	Unidad de Control Satélite	TKPR	Unidad Recipiente de Proceso
UCYS	Unidad de Control y Supervisión	URHD	Unidad Red de Hidrantes

UCTT	Unidad Cruces de Tubería de Transp	USEF	Unidad Seguridad Física
UDIN	Unidad Detección de Intrusos	USAE	Unidad Sistema Alimentador Eléctrico
UEDF	Unidad Edificaciones	USAL	Unidad Sistema de Alumbrado
UEAL	Unidad Extinción con agente limpio	UDPT	Unidad Sistemas y Descargas Puesta a Tierra
UFIL	Unidad de Filtración	USRE	Unidad Sistema de Respaldo Eléctrico
UFYG	Unidad de Fuego y Gas	USIS	Unidad Sistema Instrumentado de Seguridad
UGEL	Unidad Generador Eléctrico	USEL	Unidad Subestación Eléctrica
UHME	Unidad Herramientas de Medida	UTEA	Tea
UIDF	Unidad Inyección de Fluido	STPR	Segmento Tubería de Proceso
ULAR	Unidad Levantamiento Artificial	STTR	Segmento Tubería de Transporte

La imagen 68 describe la codificación que se le aplica a cada uno de los equipos según el tipo de máquina y la valoración de criticidad que se le da a los mismos.

Criticidad de Equipos	Tipos de Equipos
D Crítico por Disponibilidad	C Seguridad & Control
E Esencial	E Eléctricos
N No Crítico	M Mecánicos
S Crítico por Seguridad	N Marinos
X No Valorado	R Rotativos
	U Utilitarios
	V Civiles
	T Estáticos

Figura 66. Codificación SAP para las características de los equipos. Fuente: Base de datos CENIT

Visualizar equipo : Generales

Resumen clases PtosMedida/Contador

Equipo Tipo Activo Industrial

Denominación

Status

Válido de Fin de validez

Generales Emplaz. Org. Est. Doc. RAM / Clasif.

Datos generales

Clase Bomba Centrífuga

Tp.objeto Rotativos

Grupo autoriz.

Peso Tamaño/Dimens.

Nº inventario PstaEnServDesde

Datos de aprovisionamiento

Valor adquis. Fecha adquis.

Datos de fabricación

FabEQ/UTA País productor

Denomin.tipo Año/Mes const. /

NºPieza fabric.

Fabr. Nº-serie

Figura 67. Vista de un equipo en la plataforma SAP PM. Elaboración propia

5.5.6 Modelo de mantenimiento

Las ilustraciones que se presentan a continuación, me representan la codificación para las distintas categorías de mantenimiento que se tienen en cuenta dentro del modelo de mantenimiento de SAP

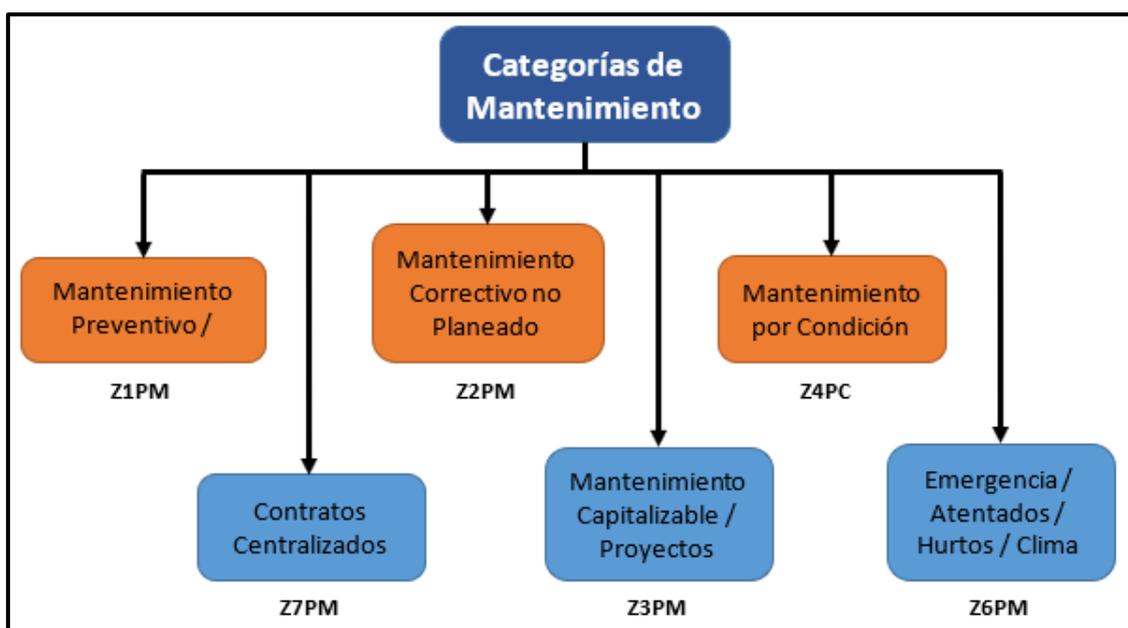


Figura 68. Categorías de mantenimiento en SAP. Fuente: Base de datos CENT

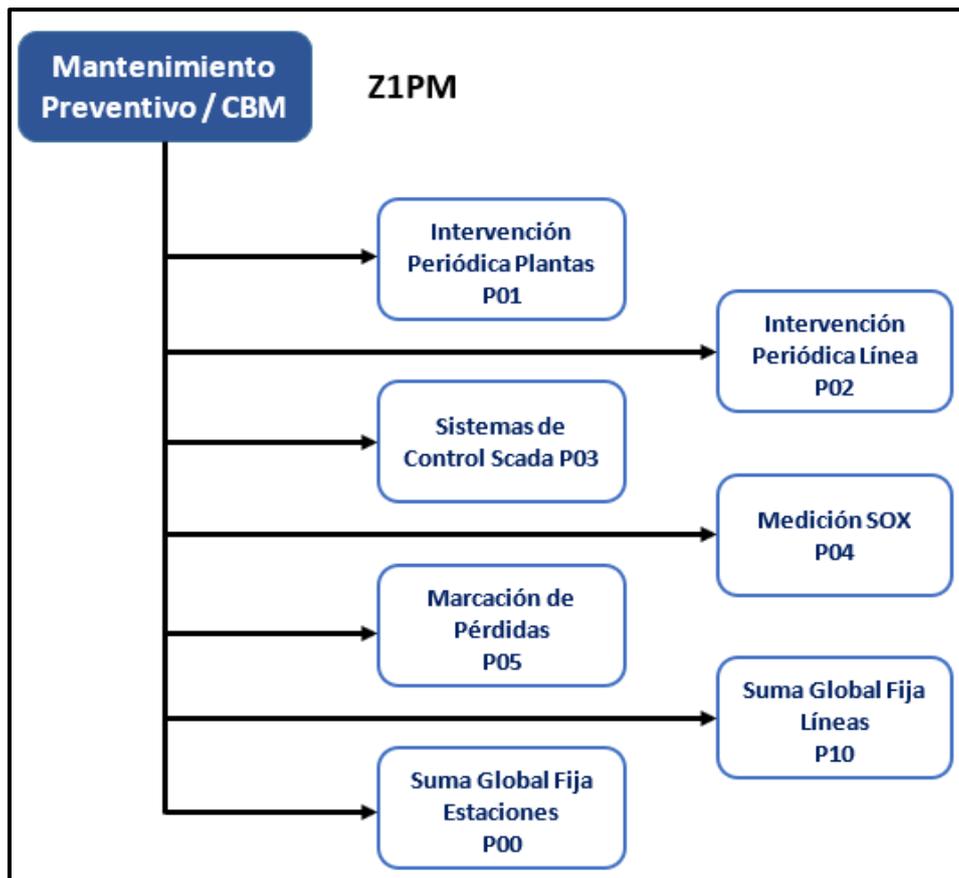


Figura 69. Tipos de mantenimiento preventivo en SAP. Fuente: Base de datos CENIT

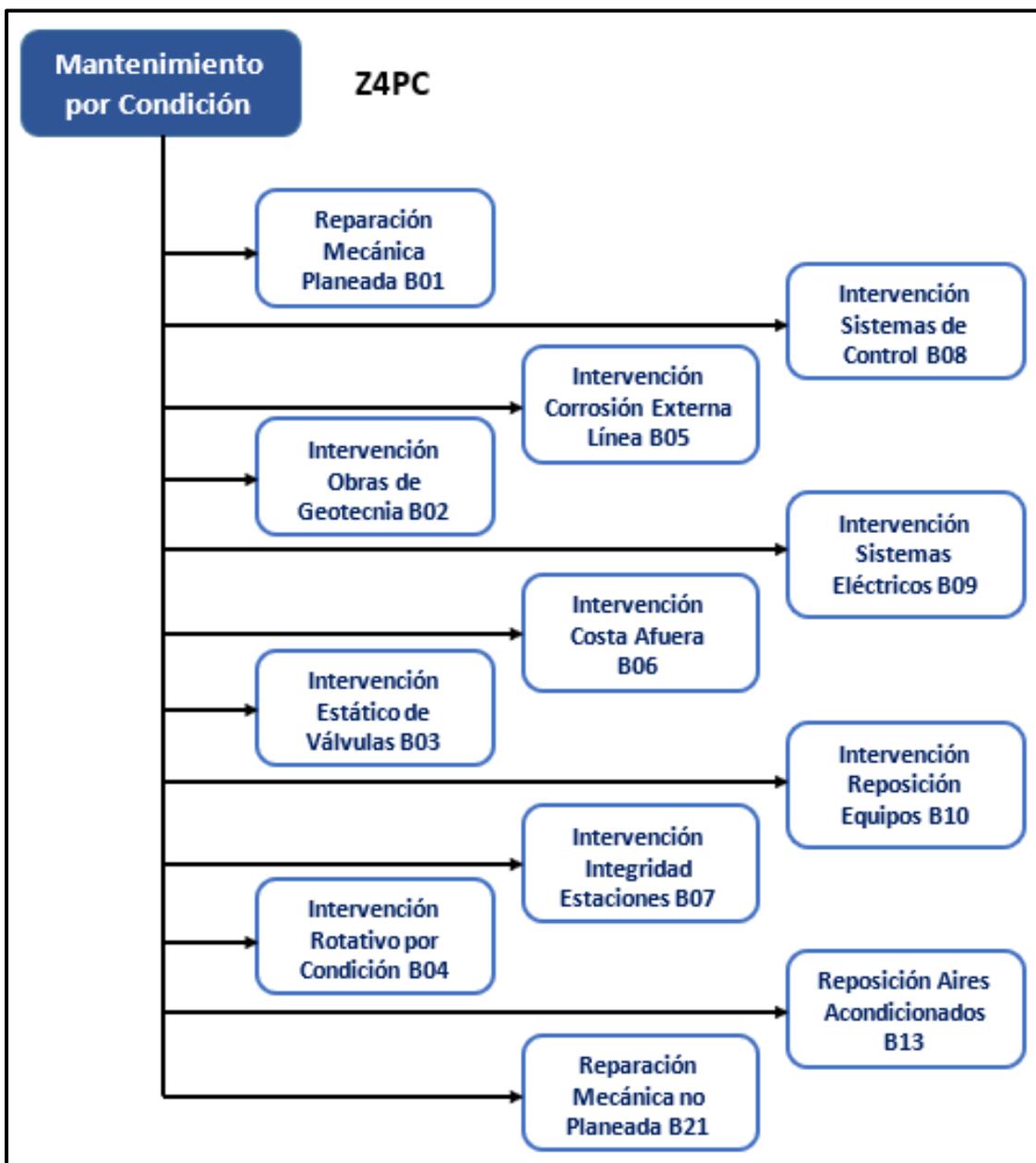


Figura 70. Tipos de mantenimiento por condición en SAP. Fuente: Base de datos CENIT

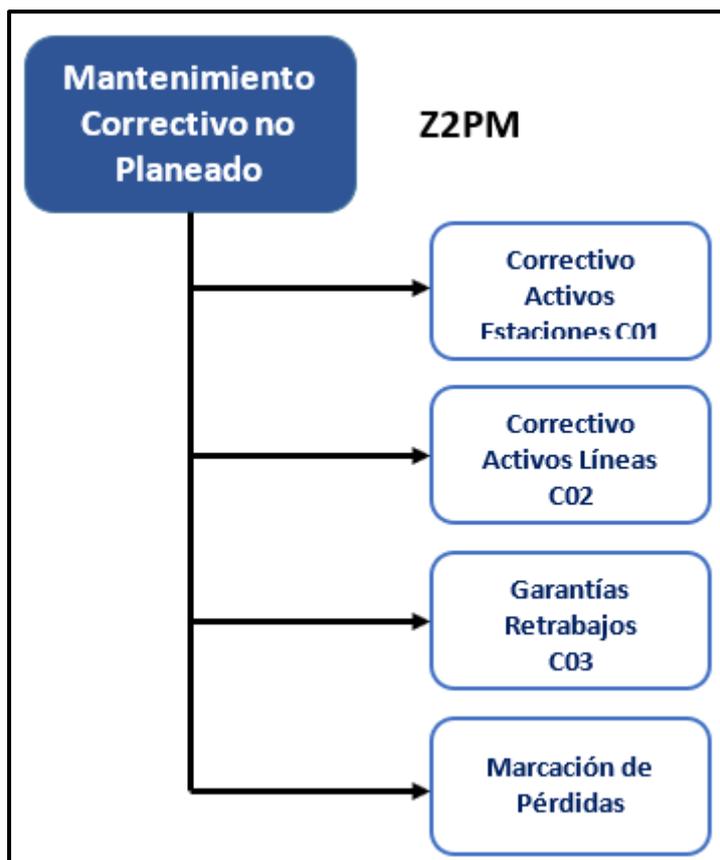


Figura 71. Tipos de mantenimiento correctivo no planeado en SAP. Fuente: Base de datos CENIT

5.5.7 Gestión de mantenimiento

- **Aviso:** Es el objeto técnico donde se registra la necesidad de un mantenimiento (programado o correctivo). Contiene la información técnica de la actividad de mantenimiento. En la siguiente tabla encontraremos la codificación para la clasificación por tipo de aviso.

Tabla 10. Tipos de avisos. Fuente: Base de datos CENIT

Y1	Rutinario	Creado automáticamente desde el plan de mantenimiento.
Y2	Falla / Avería	Reporte de las averías observadas. Pérdida total o parcial de la función.
Y3	Solicitudes Operativas	Reporte de un evento o situación externa que afecta a la operación de los activos de una estación, ducto o sistema. Requerimientos operativos.
Y4	Basado por Condición	Se requiere ajuste de rangos operativos y/o solicitudes relacionados con cambios operacionales y actividades por condición.
Y5	Incorporación Desincorporación	Solicitud de incorporación y desincorporación de equipos.

Y6	Emergencias	Se genera para documentar el evento y/o justificación de la emergencia correspondiente.
Y7	Aviso Contratos Centralizados	Se genera para documentar técnicamente las actividades ejecutadas a través de contratos centralizados.

- **Orden:** Es el objeto técnico donde se registran las actividades, materiales y servicios requeridos. Contiene los costos de la actividad de mantenimiento. En la tabla 12 se indica la codificación que se tiene para la clasificación de órdenes según el tipo de actividad

Tabla 11. Tipos de órdenes. Fuente: Base de datos CENIT

Z1PM	Preventivo	Previamente planeada para ejecutarse con una frecuencia establecida. Generada desde el plan de mantenimiento.
Z2PM	Correctivo Planeado no	Generada a partir de una solicitud de trabajo (aviso) por una pérdida (inesperada) total o parcial de la función del activo que ponga en riesgo la continuidad operativa
Z3PM	Continuidad Operativa	a) Basada en un estudio emitido por Gerencias de Estaciones y Líneas CENIT. b) Presupuesto de inversión aprobado por Junta Directiva CENIT. c) Ejecución de un proyecto por parte de la Dirección de Proyectos CENIT.
Z4PC	Basado en Condición	Generada con el fin de recuperar la condición integral de los activos industriales y lineales, cuyos ítems mantenibles han cumplido su vida útil (desgaste o degradación).
Z6PM	Emergencias	Emergencias por imprevistos sobrevinientes de la naturaleza, por efecto de atentados a la infraestructura y/o afectación por terceros involuntaria o voluntaria a los activos. Aplica para Remediaciones Ambientales.
Z7PM	Pago Contratos Centralizados	Atención de los contratos centralizados adscritos a las gerencias de estaciones y líneas CENIT.
Z6PC	Suborden	Suborden requerida para adición de materiales y/o servicios; mensualización de la ejecución de un trabajo planeado.

5.5.8 Roles en SAP

El siguiente esquemático me ilustra los distintos organismos y sus principales funciones en el proceso de cumplimiento o ciclo de vida de una orden de trabajo. Este es un proceso continuo que se debe llevar a cabo de la manera más organizada y correcta posible, ya que, de lo contrario, las inconsistencias en el proceso se manifestarán en detenciones de la actividad y pérdidas en el proceso industrial de producción.

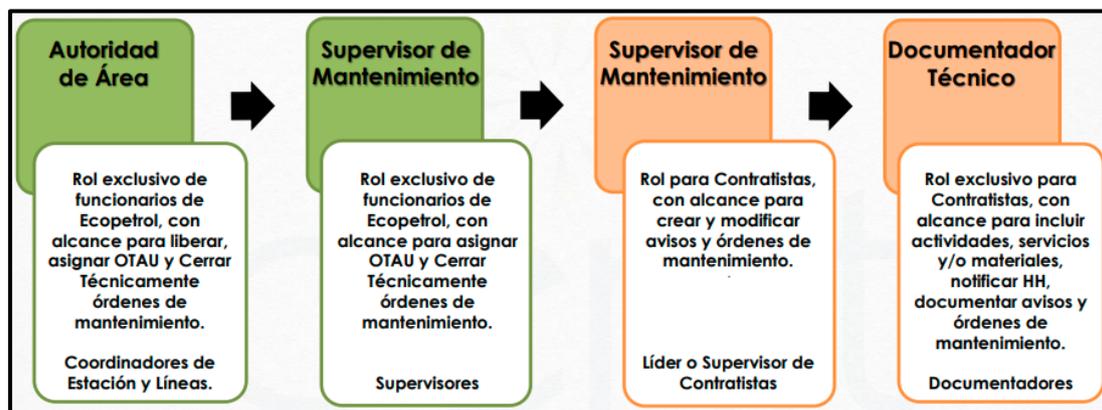
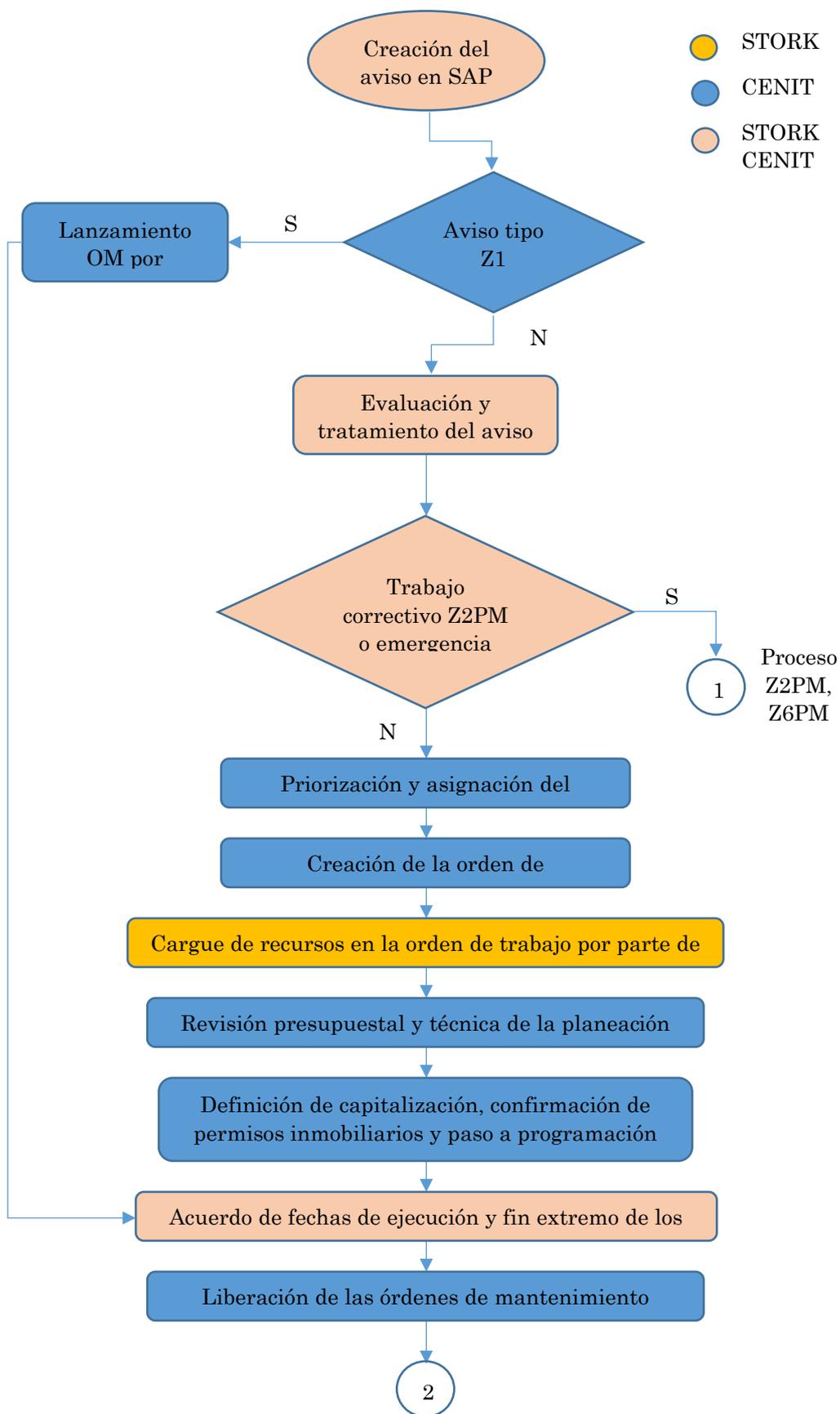
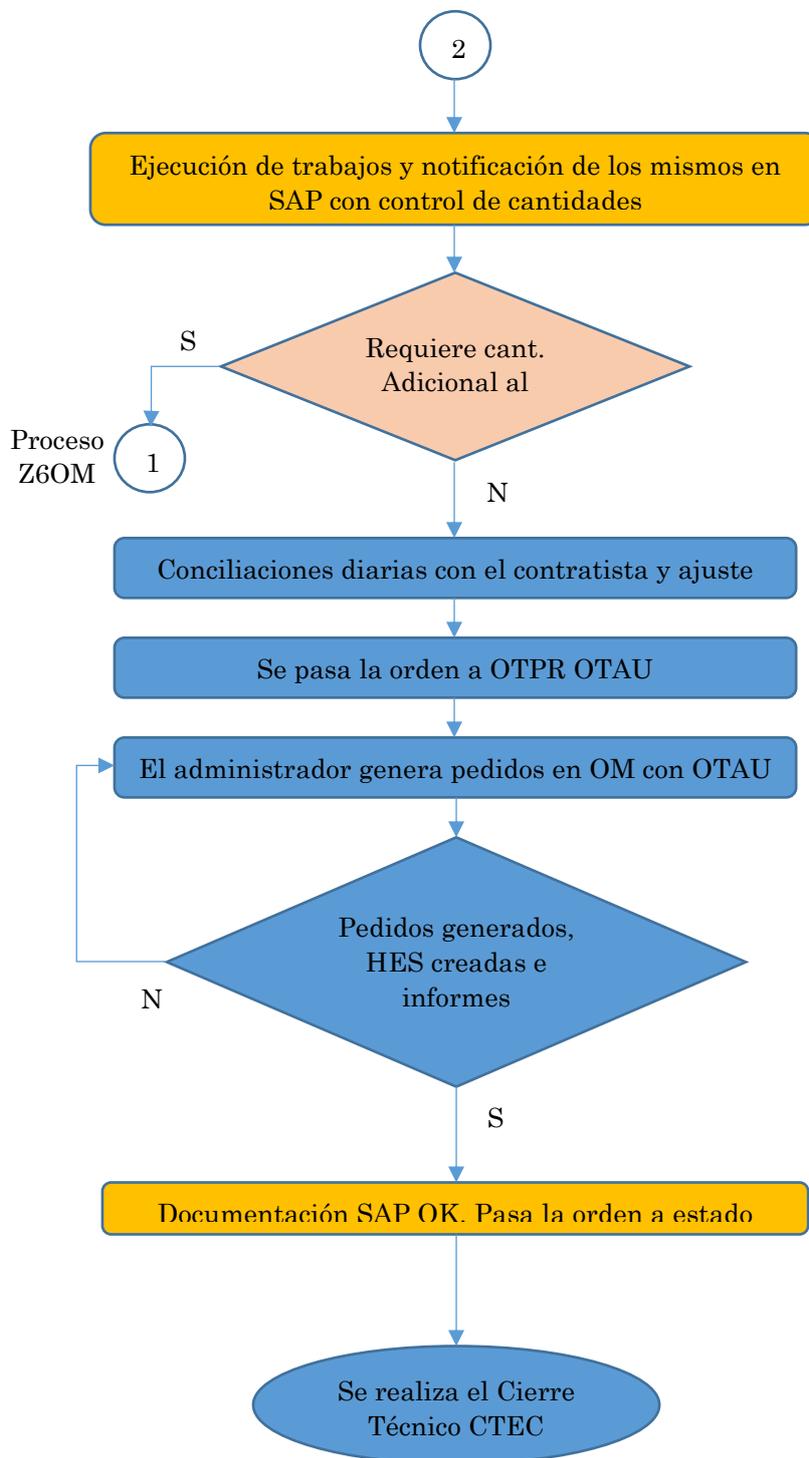


Figura 72. Roles de SAP. Fuente: Base de datos CENIT

5.5.9 Diagrama de flujo





Capítulo 6

Hojas de vida de los equipos

Las hojas de vida de cada equipo, son una serie de documentos importantes en el proceso de gestión de mantenimiento de la empresa Stork Technical Services, que contienen registros de información acerca de las actividades de mantenimiento ejecutadas en un intervalo de tiempo. Estos documentos, se elaboran para acciones específicas que se llevan a cabo en el lugar de trabajo, y, por lo tanto, están estrechamente relacionados con un proceso de estandarización que lleva a la optimización de los procesos desarrollados en el plan de mantenimiento y confiabilidad de los equipos.

Las hojas de vida desarrolladas y sobre las cuales se profundizará son las siguientes:

- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 2410
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 2420
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 2430
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 2440
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 3410
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 3420
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 7410
- Hoja de vida – Motor Eléctrico Principal MPE 7420
- Hoja de vida – Variador de Velocidad VV 2410
- Hoja de vida – Variador de Velocidad VV 2440
- Hoja de vida – Variador de Velocidad VV 7420
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 2410
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 2420
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 2430
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 2440
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 3410
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 3420
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 7410
- Hoja de vida – Bomba Centrífuga Principal BPC 7420

Se decidió trabajar con estos activos específicamente, ya que representan una catalogación como “esencial” dentro de las operaciones de la estación, lo ideal con estas unidades es que no presenten fallas o, en los peores casos, averías que conlleven a una parada en la línea del proceso, deteniendo las actividades de recibo y despacho de la estación. Con el proyecto de hojas de vida se busca realizar análisis basados en el historial de mantenimientos y de fallas de los equipos, en pro de actuar predictivamente sin que se presenten los eventos de parada, mejorando así en la calidad del servicio.

Dentro del sistema documental de la empresa, se estipula una vigencia de 3 años máximo para documentos de esta naturaleza, por otro lado, son documentos que están sujetos a modificaciones y, por ende, estos deben ser revisados y aprobados por el personal que realizó la revisión y aprobación original, de no ser que se designe específicamente de otra forma.

Las ventajas al implementar hojas de vida en los equipos son:

- Garantizan la calidad, consistencia y uniformidad de los distintos procesos en la línea de recibo y despacho de hidrocarburo.
- Se convierten en una herramienta muy importante de entrenamiento tanto para personal nuevo como para el que tiene experiencia.
- Los documentos sirven para evaluar tanto al personal como a los equipos y conocer su desempeño.
- Son herramientas que pueden llegar a ser útiles para la ejecución de auditorías y la auto inspección de los distintos procesos dentro del plan de mantenimiento.

6.1 Objetivo de las hojas de vida

La hoja de vida de un equipo tiene el objetivo de reducir el riesgo de fallas e interrupciones en el trabajo, con el fin de cumplir a cabalidad con objetivos tales como: brindar una guía para trabajadores de relevo o reemplazo, una ayuda en el establecimiento de información sobre los puestos de trabajo y la identificación de las destrezas requeridas para dichos puestos, una referencia para el entrenamiento de los empleados, una base para evaluar el desempeño efectivo, una oportunidad de fortalecer los procesos de mantenimiento y confiabilidad de la empresa Stork Technical Services.

6.2 Aplicaciones de las hojas de vida

Los documentos desarrollados pueden ser aplicables en:

En equipos. Operación, puesta a punto, cambios de formatos, cambios de material, mantenimientos preventivos y/o correctivos, limpieza y calibración de equipos de medición.

En el sistema documental interno de la empresa. Con la organización almacenamiento y acceso a información relevante para validación de procesos, capacitaciones, actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

6.3 Contenido de las hojas de vida

Es importante que los archivos contengan información suficiente para que el personal pueda utilizarlo como una guía, así como, en caso de alguna duda, sepan dónde encontrar más información o a quién recurrir. Cada hoja de vida incluirá varias características: título, objetivo, alcance, responsables, definición de conceptos, documentación aplicable o de referencia, control documental, y un historial de actividades de mantenimiento.

Título

- Nombre de la hoja de vida en el que se especifica el equipo determinado.

Objetivo

- Indica el fin que se desea conseguir con la implementación de dichas hojas de vida.

Alcance

- Establece a qué equipos, materiales y/o accesorios abarca el documento

Responsables

- Identifica a cada uno de los responsables del desarrollo, cumplimiento e implementación de las hojas de vida.

Conceptos

- Se incluye la definición de conceptos técnicos, indispensables para la comprensión exacta de cada una de las actividades descritas.

Documentación aplicable o de referencia

- Aquí se nombran los documentos y normas tomadas como referencia para el diseño, desarrollo e implementación de los documentos. Así mismo, se establecen anexos, creados como documentos de apoyo y complemento de información.

Control documental

- Definimos el personal encargado de elaborar, revisar y aprobar la documentación nueva, en base a las políticas establecidas por la empresa en su manual de calidad.

Tabla 12. Formato control documental de los archivos. Elaboración propia

VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION	PREPARADO / PREPARED	APROBADO / APPROVED
			XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX
			Profesional CBM	Líder de Mantenimiento

6.3.1 Ejemplo hoja de vida – Motor MPE – 2430

		HOJA DE VIDA DE EQUIPO				HVE 005		
EQUIPO:	MPE2430 Motor Principal U#3 L10				LÍNEA:	Hidrocarburos		
MARCA:	FLENDER		PROVEED.:	FLENDER	TIPO:	Activo Industrial		
MODELO:	1La1562-2Kf90Z		SERVICIO:	Motor	SERIAL:	P95224300206		
CLASE:	Motor Eléct De Inducción MT		TP OBJ:	Rotativos	PROTEC.:	IP 55		
UB. TÉCN.:	TR0-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-05		CÓD. SAP:	10036749	CRITICID:	Esencial		
FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:			1/01/2015		COLOR:	Gris		
DATOS DE EMPLAZAMIENTO								
CE. EMPL:	3040 Estaciones Centro Andina		EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar	P. TRAB:	Troncal Central Estaciones		
LUBRICACIÓN								
SIST. LUBRICACIÓN:	Forzado		LUBRIC:	MOBIL NUTO H 46	CAMBIO:	6 meses / condición		
					CANT.:	35 gal		
DATOS TÉCNICOS								
POTENCIA:	2000 kW		VOLTAJE:	6000 V		FRECUENCIA:	60 Hz	
VELOCIDAD:	3584 RPM		TORQUE:	1989 Nm		FACTOR POT.:	0,9	
CLASE TORQUE:	KL 5		CONEXIÓN:	Y		FASES:	3	
					CORRIENTE:	168 A		
					EFICIENCIA:	96,8%		
					CLASE TÉRMICA:	F		
DATOS DE ARRANQUE								
POT. REQUERIDA:	745 kW		MOMENT. INERCIA:	28 kgm ²		TIEMPO DE ARRANQUE:		
						11 s		
						19 s		
					No. PERMITIDO ARRANQUES:	3 Frío		
						2 Caliente		
						al 100% Voltaje Nominal		
						al 80% Voltaje Nominal		
						3 Frío		
						2 Caliente		
						al 100% Voltaje Nominal		
						al 80% Voltaje Nominal		
RESPONSABILIDADES								
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)			RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK			
CENTRO PLANIF.:	2010 Cenit		GRUPO PLANIF.:	O&M	Operación y mantenimiento			
PTO. TBJO. RESP.:	3040EELE Especialidad electricidad		PERFIL CATÁLOGO:	PMEMIM	Motor eléctrico de inducción MT			
EQUIPOS ASOCIADOS								
CÓDIGO SAP	DENOMINACIÓN EQUIPO			UBIC. TÉCNICA	SISTEMA	UNID. FUNCIONAL		
10036850	BL2431Bomba Tk Lubricacion Motor U#3			TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05		
10036851	IA2431Radiador Motor Ppal U #3 L10			TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05		
10036852	Motor B.BI2431 Tk Lubricacion Motor U#3			TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05		
10036853	Motor Radiador Ia2431 Motor U#3 L10			TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05		
10067746	Acometida Motor Ppal U#3 L10 MPE2430			TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05		



PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones			A			N			P			P
Análisis Termográfico			A						P			
Análisis MCEmax			N				A				P	
Análisis Lubricante	A		A				N		P			P
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> P En Programación N Normal C Precaución A Alerta </div>												
CONTROL DOCUMENTAL												
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE		DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION				PREPARADO / PREPARED			APROVADO / APPROVED		
							Duban Carvajal			Freddy Melo		
							Profesional CBM			Líder de Mtto y Confiabilidad		

6.3.2 Ejemplo hoja de vida – Variador VV - 2410

		HOJA DE VIDA DE EQUIPO				HVE 003	
(FOTO)	EQUIPO:	Variador De Velocidad U#1 L10			LÍNEA:	Hidrocarburos	
	MARCA:	PHILADELPHIA	PROVEED.:	PHILADELPHIA	TIPO:	Activo Industrial	
	MODELO:	H60-500	SERVICIO:	Reductor	SERIAL:	2TR08010	
	CLASE:	Variador de Velocidad	TP OBJ:	Eléctricos	PROTEC.:		
	UB. TÉCN.:	TR0-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-03	CÓD. SAP:	10004635	CRITICID:	Esencial	
	FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:		1/01/2015			COLOR:	Blanco
	DATOS DE EMPLAZAMIENTO						
	CE. EMPL:	3040 Estaciones Centro Andina	EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar	P. TRAB:	Troncal Central Estaciones	
	LUBRICACIÓN						
	SIST. LUBRICACIÓN:	Por Circulación	LUBRIC:	MOBIL ATF D/M	CAMBIO:	12 meses / condición	
CANT.:	275 gal						
DATOS TÉCNICOS							
PRES. DISEÑO:	14,70 bar	PRES. PRUEBA:	3240 bar	AREA:	1,49 m^2		
PESO VACÍO:	1814 Kg	SERVICIO:	Continuo	POLÍT. MTTO:	Predictivo		
PESO LLENO:	2495 Kg	CONEXIÓN:	Bridada		Preventivo		
RESPONSABILIDADES							
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)		RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK			
CENTRO PLANIF.:	2010	Cenit	GRUPO PLANIF.:	O&M	Operación y mantenimiento		
PTO. TBJO. RESP.:	3040EMEC	Especialidad mtto mecánica	PERFIL CATÁLOGO:	PMPRGB	Incrementador/Reductor		
EQUIPOS ASOCIADOS							
CÓDIGO SAP	DENOMINACIÓN EQUIPO		UBIC. TÉCNICA	SISTEMA	UNID. FUNCIONAL		
10036741	BH2411 B.Desplaz Act Vve U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036742	Intercambiador Tema De Haz Y Casco L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036743	BL2411 B.Tornillos Lubricac Var U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036744	IA2413 Radiador#2 Sincro Var#1 Desp L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036745	Radiador #1 Sincro Var #1 Desp L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036773	MH2411 Motor Acople Vvve Und#1 Despl10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036799	Arrancador Mot Rad Mi2411 U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036800	Arrancador Mot. Rad Ia2413 U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036801	Arrancador Mot. Lubric MI2411 Vve#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036802	Arrancador Mot.Acople Mh2411 Vve#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036803	MI2411 Motor Radiador #1 Vve U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036804	MI2413 Motor Radiador #2 Vve U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		
10036805	ML2411 Motor Lubricacion Vve U#1 L10		TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03		

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones			N			N			P			P
Análisis Termográfico			A			N			P			
Análisis MCEmax			N				N				P	
Análisis Lubricante									P			P
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> P En Programación N Normal C Precaución A Alerta </div>												
CONTROL DOCUMENTAL												
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE		DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION				PREPARADO / PREPARED			APROVADO / APPROVED		
							Duban Carvajal			Freddy Melo		
							Profesional CBM			Líder de Mtto y Confiabilidad		

6.3.3 Ejemplo hoja de vida – Bomba BPC – 2420

		HOJA DE VIDA DE EQUIPO								HVE 004		
(FOTO)	EQUIPO:	BPC2420 Bomba Ppal Centrifuga U#2 L10						LÍNEA:	Hidrocarburos			
	MARCA:	SULZER BINGHAM			PROVEED.:	BINGHAM		TIPO:	Activo Industrial			
	MODELO:	MSD			SERVICIO:	Bomba		SERIAL:	16270164			
	CLASE:	Bomba Centrifuga			TP OBJ:	Rotativos		PROTEC.:				
	UB. TÉCN.:	TR0-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-04			CÓD. SAP:	10004633		CRITICID:	Esencial			
	FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:				1/01/2015			COLOR:	Verde claro			
	DATOS DE EMPLAZAMIENTO											
	CE. EMPL:	3040 Estaciones Centro Andina			EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar		P. TRAB:	Troncal Central Estaciones			
	LUBRICACIÓN											
	SIST. LUBRICACIÓN:	Por anillo salpique		LUBRIC:	MOBIL NUTO H 68		CAMBIO:	3 meses / condición		CANT.:	5 gal	
DATOS TÉCNICOS												
DIAM. SUCCION:	10 in		TIPO FLUIDO:	Refinado		SIST. SELLADO:	UZCP 3750 5X4A-1		CAUDAL:	3200 L/min		
DIAM. ENTRADA:	8 in		TIPO ACOPLE:	Rígido		TIPO RODAMIENTO:	7310B / Babbit		POT. NOMINAL:	2500 Kv		
VELOCIDAD:	3560 RPM		TIPO IMPULSOR:	Cerrado		NORMA API:	610					
RESPONSABILIDADES												
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)					RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK					
CENTRO PLANIF.:	2010 Cenit		GRUPO PLANIF.:	O&M Operación y mantenimiento								
PTO. TBJO. RESP.:	3040EMEC Especialidad mtto mecánica		PERFIL CATÁLOGO:	PMPUCE Bomba Centrifuga								
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones									P			P
Análisis Termográfico									P			
Análisis MCEmax											P	
Análisis Lubricante									P			P
P En Programación N Normal C Precaución A Alerta												
CONTROL DOCUMENTAL												
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE		DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION				PREPARADO / PREPARED			APROVADO / APROVED		
							Duban Carvajal			Freddy Melo		
							Profesional CBM			Líder de Mtto y Confiabilidad		

6.3.4 Bitácora de mantenimiento

Cualquier tipo de industria que cuente con algún tipo de equipo que requiera de un mantenimiento, necesita que se encuentre en las condiciones óptimas para cumplir su función y así evitar contratiempos. Por ello, para llevar un registro del mantenimiento y saber cuándo “le toca”, se decidió construir un documento que incluirá en su contenido datos relacionados a las actividades de mantenimiento que se van a desarrollar y será de gran ayuda, este documento será nuestra “bitácora de mantenimiento”.

Ahora bien, sabiendo que muchos equipos electrónicos y mecánicos ya vienen con una bitácora o libro de mantenimiento y garantía, ¿por qué diseñar un documento adicional que tiene esa misma función?, la respuesta surge de la situación en la que se cuenta con un número bastante grande de equipos, se vuelve complicado dar seguimiento a las fechas y programación de los mantenimientos. De manera que es mejor tener una bitácora estándar de mantenimiento en donde se pueda llevar el registro de los equipos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó el documento de manera que pueda ser diligenciado a mano por el tema de trabajos en campo y la dificultad para llevar equipos electrónicos e información de manera digital en dichas zonas.

El documento contendrá distintos apartados para diligenciar los cuales son:

- Datos acerca de la fecha, entrega y número de reporte.
- Datos del técnico encargado de desarrollar la actividad o actividades: nombre, número de documento de identidad, número teléfono y firma.
- Datos sobre el equipo respectivo: equipo, marca y modelo, además de una descripción detallada del equipo.
- Datos de la actividad de mantenimiento, el apartado más significativo del documento, el cual llevará un registro al detalle del procedimiento de cada una de las actividades desde el inicio hasta la total culminación de la o las actividades desarrolladas por el personal a cargo.
- Datos de control documental, requisito por parte de la empresa: quién elaboró, quién revisó y quién autorizó, los cuales deberán registrar su nombre y firma dando así consentimiento de que realizaron su respectiva labor validando todos los protocolos afines.

En la figura 75 se puede encontrar la primera versión del formato de bitácora de mantenimiento que se desarrolló durante el proceso de práctica.

BITÁCORA DE MANTENIMIENTO		
STORK TECHNICAL SERVICES HOLDING B.V.		
FECHA:	ENTREGA:	No. DE REPORT:
DATOS DEL TÉCNICO ENCARGADO		
NOMBRE:	TELÉFONO:	
No. ID:	FIRMA:	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		
EQUIPO	MARCA/MODELO	DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL EQUIPO
MANTENIMIENTO CORRECTIVO		
Descripción de la actividad:		
Observaciones:		
ELABORÓ	REVISÓ	AUTORIZÓ
Nombre y Firma	Nombre y Firma	Nombre y Firma

Figura 73. Formato bitácora de mantenimiento. Elaboración propia

6.3.5 Hojas de vida de equipos

Una hoja de vida de un equipo o máquina es aquel documento que nos permite determinar la identificación de la misma. Se identifican características del equipo, sumado a esto, incluye la información del historial de los mantenimientos que se le han realizado a este.

Los archivos están organizados de tal manera que cada uno de los equipos cuenta con su hoja de vida propia y por separado, en cuyo contenido se encuentran los datos relacionados a todos los datos necesarios para identificar cada uno y poder tratarlos en actividades de mantenimiento:

- **Datos generales del equipo**

Tag del equipo, línea o sector industrial al que pertenece, marca y modelo, color, proveedor, tipo de equipo, clase de máquina, tipo de objeto, nivel de protección, ubicación técnica, código SAP, criticidad del equipo, fecha de instalación del equipo.

- **Datos de emplazamiento del equipo**

Centro de emplazamiento, codificación de emplazamiento, puesto de trabajo.

- **Datos de lubricación del equipo**

Sistema de lubricación, referencia del lubricante utilizado, frecuencia para el cambio de aceite, cantidad necesaria de lubricante en galones.

- **Datos técnicos del equipo**

Potencia, voltaje nominal, frecuencia, corriente nominal, velocidad, torque, factor de potencia, eficiencia, clase de torque, tipo de conexión, fases, clase térmica

- **Datos de arranque del equipo**

Potencia mínima requerida, momento de inercia, tiempo de arranque al 100% y al 80% del voltaje nominal, número de arranques permitido al 100% y al 80% del voltaje nominal.

- **Responsables de la operación y el mantenimiento del equipo**

Responsables de la operación de la máquina, responsables del mantenimiento de la máquina.

- **Plan de mantenimiento predictivo**

Contiene la información acerca de la fecha y los resultados de actividades de mantenimiento basado en condición ejecutados a lo largo del año 2021 y la fecha actividades en programación. Este apartado está basado en el formato RMN 3020 de la norma ISO 9001, norma en la cual se establecen los requisitos de un sistema de gestión de la calidad y representa un factor muy importante a tener en cuenta en todos los procedimientos de una empresa prestadora de servicios de cualquier índole.

- **Control documental**

Versión del documento, fecha desde la cual comenzó a regir, descripción del archivo, firma de quien prepara el documento, firma de quien aprueba el documento.

6.3.6 Sección de vibraciones

En este apartado se anexarán los datos relacionados al análisis de vibraciones de los equipos, constará con la tabla de severidad de una vibración estipulada según la norma ISO 10816-3, norma que establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, aplicando mediciones sobre las piezas no rotativas de los activos, como se muestra en la figura 76.

Severidad de una vibración según la norma ISO 10816-3								v r.m.s mm/s	v r.m.s in/s	10 - 1000 Hz n >= 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)	Velocidad Vibración			
												11	0,433	
												7,1	0,28	
												4,5	0,177	
												3,5	0,138	
												2,8	0,11	
												2,3	0,091	
												1,4	0,055	
												0,71	0,028	
Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible					Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P <= 300 kW		Máquinas grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de maquinaria						
Acople directo		Eje intermedio / Poleas		Motores 160mm <= H < 315mm		Motores H > 315mm								
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo						

	Puesta en operación reciente
	Operación para largo plazo
	Operación para corto plazo
	Vibración causando daños

Figura 74. Formato de severidad de una vibración según la norma ISO 10816-3. Tomada de (PRUFTECHNIK, 2011)

También se incluyen en esta sección las patologías que se pueden encontrar en los activos durante una rutina de monitoreo y análisis de vibraciones en equipos rotativo, cómo repercuten en el funcionamiento del equipo y algunas recomendaciones por parte de especialistas en alineación y balanceo de equipos. Podemos evidenciar algunas de ellas en la siguiente figura.

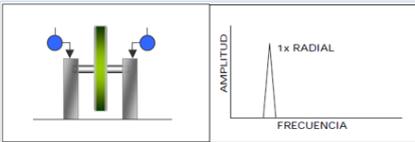
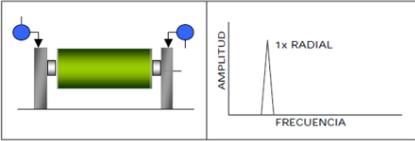
PATOLOGÍAS BÁSICAS CLASIFICADAS			
DESALINEACIÓN			
Desbalanceo estático		Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro.	Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un sólo plano (en el centro de gravedad del rotor) con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo
Desbalanceo dinámico		El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor.	Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en DOS PLANOS con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico

Figura 75. Algunas patologías clasificadas del análisis de vibraciones en equipos rotativos. Tomada de (A-MAQ S.A., 2005)

6.3.7 Sección de Termografía

En este apartado se encontrará una referencia con la cual podremos comparar las condiciones termográficas normales de operación de un activo, esta sección es la más corta y sencilla de todas, ya que el análisis consiste en comparar las condiciones normales de un equipo con las del equipo respectivo que será monitoreado, con el fin de encontrar zonas calientes donde no debería. También, este apartado cuenta con una tabla que incluye las frecuencias recomendadas para realizar inspecciones termográficas a los distintos equipos.

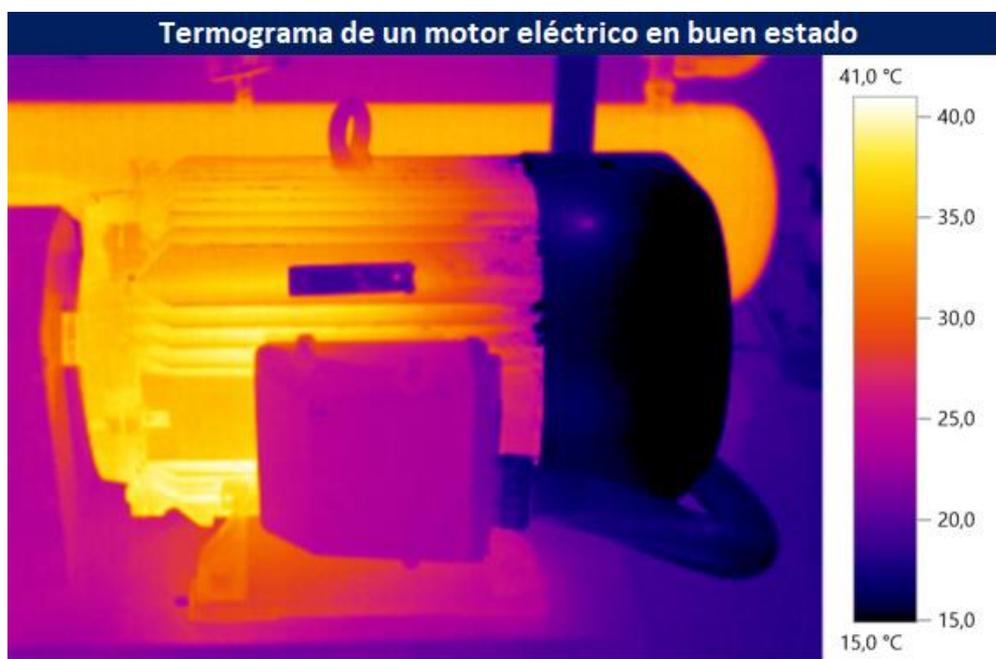


Figura 76. Termograma de un motor eléctrico que se encuentra en condiciones normales de operación. Tomada de (Bobinados Martorell S. L., 2020)

6.3.8 Sección de lubricación

La última parte de las hojas de vida, pero no por ello la menos importante, esta sección se concentra en dar información de manera clara, sencilla, visual y muy resumida sobre los temas relacionados a la lubricación de cada uno de los equipos.

6.3.8.1 Rótulos de lubricación

En primera instancia se identifica una nueva metodología implementada en los equipos y son los “rótulos de lubricación”. Esta estrategia se implementó debido principalmente a la falta de información y vacíos existentes relacionados a los temas de lubricación de los activos tanto por parte del cliente como por parte de la empresa prestadora del servicio. Las figuras 79 y 80 muestran un ejemplo del formato para los rótulos de lubricación diseñados en conjunto con el personal del área de lubricación de la empresa.

FOTO	Und Bombeo Ppal 3 PUE-MAN L10 BPP-05		
	ACEITE HIDRÁULICO	IV 98	MPE2430 Motor Principal U#3 L10/SIEMENS
	ISO 46		Tareas
	Mobil Nuto H46	Frecuencia	
	Lubricación por circulación de aceite. Cantidad: 35 galones.	Muestra de aceite	Predictiva/Mensual
	Rellenar aceite según nivel	Mensual o por condición	
	Cambio de aceite	Semestral o por condición de muestra de aceite	

Figura 77. Formato de rótulo de lubricación para el motor eléctrico principal de la unidad 2430. Elaboración propia

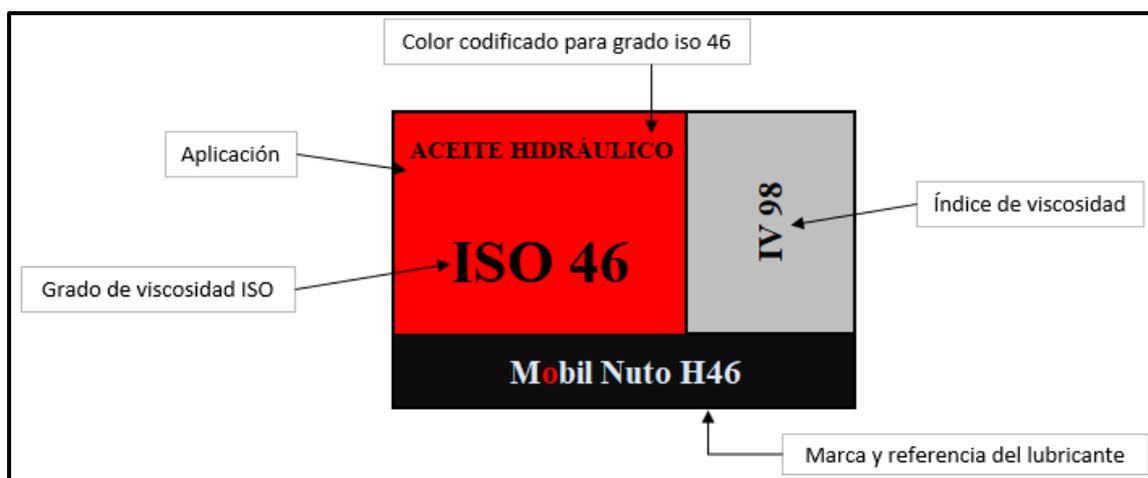


Figura 78. Sección del lubricante en el rótulo de lubricación. Elaboración propia

Dichos rótulos consisten en unas placas metálicas de tamaño reducido, las cuales serán fijadas en cada uno de los activos presentes en las instalaciones. Contarán con información relacionada a: tag de la unidad funcional a la que pertenece el activo, tag correspondiente al equipo específico a lubricar, color codificado para grado ISO, índice de viscosidad del aceite, marca y referencia del lubricante, grado de viscosidad ISO y la aplicación del respectivo lubricante; así como también las rutinas de inspección de lubricación la frecuencia correspondiente a cada una de ellas.

Esto basado en una tabla con la codificación de colores para los grados ISO de viscosidad de los fluidos lubricantes. La cual está representada en la figura 81.

ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR	ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR
10		2975 C	220		1955 C
15		217 C	320		144 C
22		3435 C	460		376 C
32		2925 C	680		527 C
46		485 C	1000		528 C
68		356 C	1500		430 C
100		Amarillo C	2200		326 C
150		661 C	3200		254 C

Figura 79. Sistema de codificación por colores para grados de viscosidad ISO. Tomada de (Noria Latin América, 2015)

NOTA: En los anexos 10.3 / 10.4 y 10.5 se incluyen las hojas de vida para el motor MPE-3420 y las bombas BPC-3420 y BPC-7410 respectivamente. También se incluyen las diferentes secciones de la hoja de vida del motor MPE-2430 en los anexos 10.6 / 10.7 / 10.8

Capítulo 7

Informe general

La idea principal por la cual se desarrolla un informe, es la de dar a conocer, con un lenguaje claro, concreto y objetivo, la información acerca de la temática sobre la cual se diseñó. Estos documentos son herramientas muy útiles cuando se quiere presentar indicadores y resultados, haciendo uso de comparativas con los datos reales y los teóricos marcando unos umbrales como metas alcanzables por cumplir.

Este informe incluye en su contenido un análisis basado en los eventos de fallas (Y2) registrados en la plataforma SAP desde el inicio del contrato hasta la fecha, junto con algunas recomendaciones basadas en las buenas prácticas de mantenimiento para aumentar la efectividad y eficiencia del mantenimiento prestado como servicio por parte de la empresa, corrigiendo fallos que provengan de fuentes distintas a problemas mecánicos o eléctricos de los activos.

NOTA: El informe fue incluido en este documento al final en el anexo 10.2 luego de las imágenes.

7.1 Consolidado histórico de eventos de falla

Para esta sección del informe, se realiza un análisis sobre la cantidad de eventos de falla (mantenimientos no programados) registrados en la plataforma desde que se inició el contrato y hasta el día de hoy, separado por cada uno de los equipos, del cual se obtuvieron conclusiones y posibles soluciones para minimizar un poco la probabilidad de evento de falla en las máquinas como lo pueden ser un mantenimiento mayor (MOH).

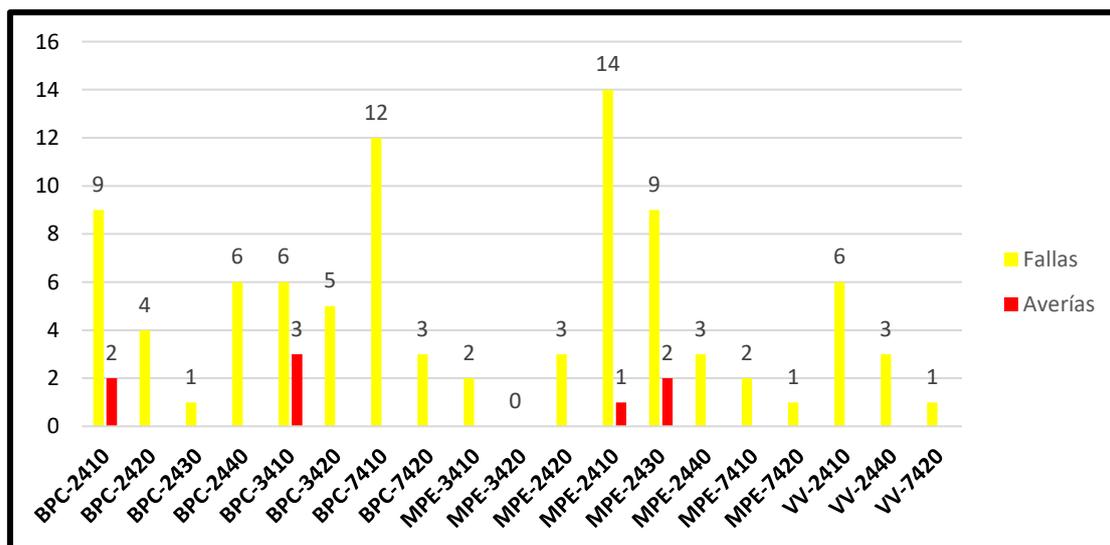


Figura 80. Gráfico consolidado eventos de falla en los equipos. Elaboración propia

7.2 Fallas por año

Para esta parte, se tuvo en cuenta la cantidad de eventos que se estuvieron registrando cada año, tomándolas y separándolas por cada uno de ellos hasta la fecha, del cual se pudo comprobar que hay una tendencia de incremento con el pasar del tiempo, lo cual tiene lógica, ya que la probabilidad de que un equipo falle aumenta a medida que incrementa su tiempo de uso.

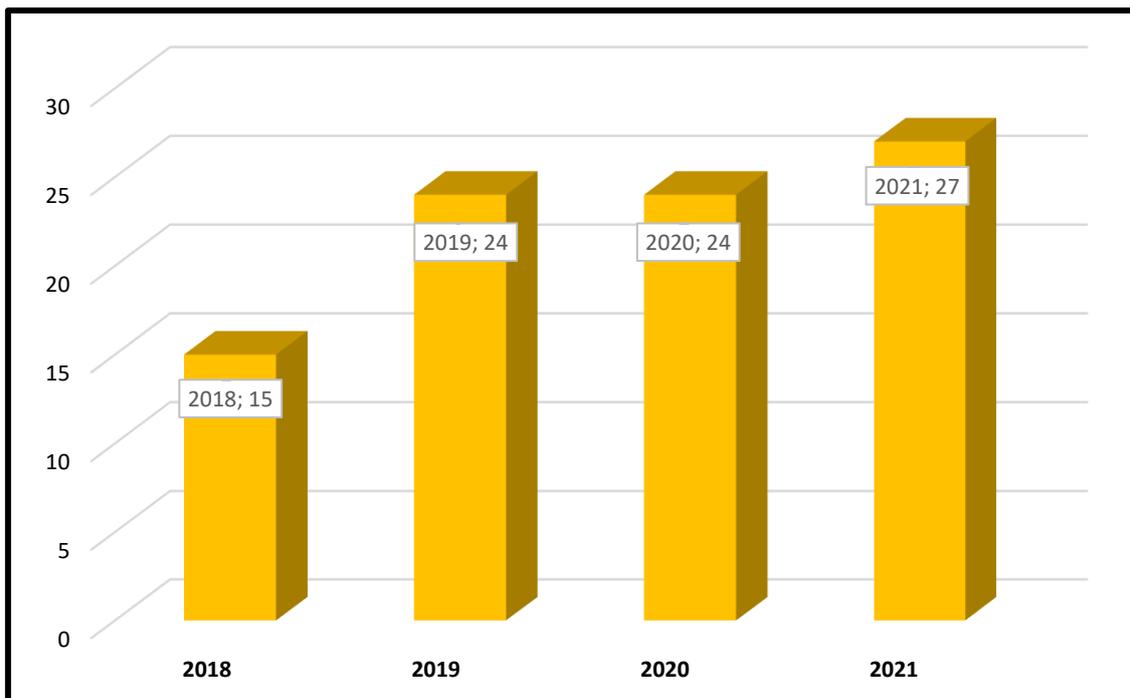


Figura 81. Consolidado de eventos de falla por año. Elaboración propia

7.3 Análisis por tipo de evento de falla

En este apartado, se tiene en cuenta la clasificación por tipo de evento de falla, de la cual cabe destacar el que no se hayan presentado eventos tipo 1 y sólo un 5% de los eventos hayan sido tipo 2.

Los distintos tipos de eventos son, siguiendo un orden jerárquico de mayor a menor:

- **Evento Tipo 1 (T1):** Eventos de falla o avería, los cuales representan una investigación prioritaria y exhaustiva del análisis de la causa raíz, y el cual resulta en gastos económicos y de reputación muy elevados para la empresa o el cliente, estos eventos por lo general, resultan en daños de los equipos con restricción o parada del sistema por un tiempo mayor a 48 horas.

- **Evento Tipo 2 (T2):** Eventos de falla o avería, inesperados o desviaciones de las condiciones de un equipo, que restringe o detiene la operación del sistema por un lapso de tiempo de entre 2 y 48 horas.
- **Evento Tipo 3 (T3):** Eventos de falla inesperados o por desviaciones en las condiciones de un equipo crítico, que no genera restricción alguna en la operación del sistema o la parada tiene un tiempo de duración no mayor a 2 horas.
- **Evento Tipo 0 (T0):** Este tipo de eventos, son resultado de fallas o averías de activos los cuales no representan una relevancia significativa en el sistema de producción, en otras palabras, son activos no críticos, por lo tanto, no requieren de una investigación y no generan parada alguna al sistema.

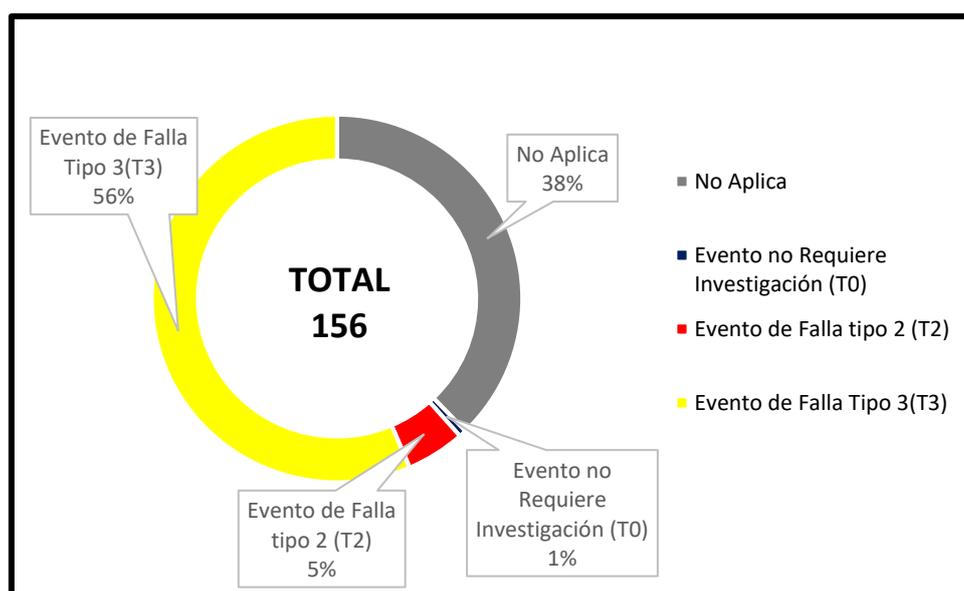


Figura 82. Clasificación por tipo de evento de falla. Elaboración propia

7.4 Estado de las órdenes de mantenimiento

Del análisis de esta sección, se llegó a la conclusión de que existen brechas en el ciclo de vida de algunas órdenes de mantenimiento, a las cuales nunca se les dio un cierre adecuado, posible resultado de desorden en la información y falta de capacitaciones al personal.

También hay que destacar que el número de órdenes denegadas es relevante, con lo que se concluye que definitivamente hace falta capacitar al personal sobre el proceso de documentación de avisos y que también conozcan el correcto proceso de ciclo de vida de una orden de mantenimiento.

- **AVAB:** Aviso abierto.

- **AVDG:** Aviso denegado.
- **AVEJ:** Aviso ejecutado.

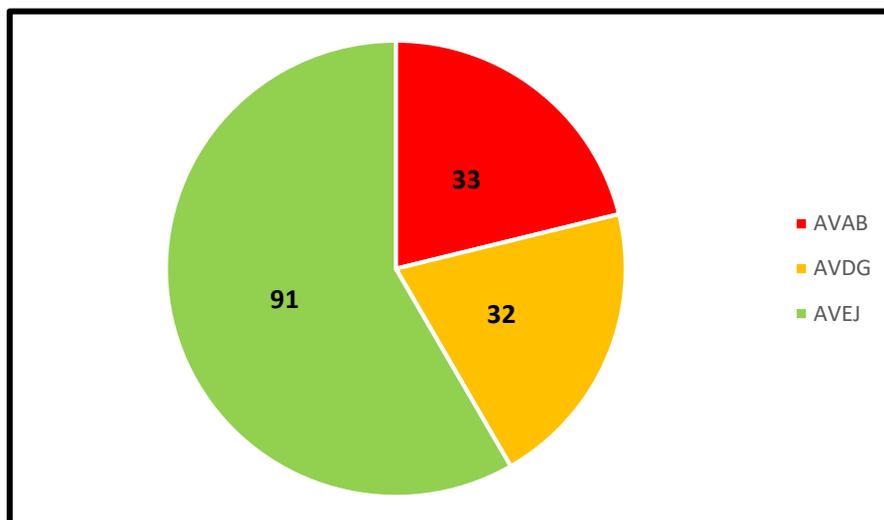


Figura 83. Estado de las órdenes de mantenimiento. Elaboración propia

7.5 Modos de falla

El último apartado del informe, me reúne información acerca de los distintos modos de falla presentes en lo que va del contrato, el modo de falla me representa la causa con la cual se desarrolló el evento de falla.

De este análisis se observa que uno de los dos modos de falla que más se presentaron, fueron por fugas, de lo que se puede llegar a concluir que hay que reforzar en protecciones e inspecciones para evitar fallos mecánicos en juntas y bridas de conexión, también analizar la posibilidad de tomar medidas preventivas frente a eventos de desgastes o derrames.

Por otra parte, una posible solución o para minimizar efectos de impacto frente a las altas temperaturas, es llevarle un mejor seguimiento a los ciclos de los lubricantes, como bien se sabe, el fluido lubricante aparte de disminuir la fricción, también cumple una función de refrigeración en las zonas donde se presentan fuerzas de rozamiento.

Otra buena práctica que se puede tomar tiene que ver con el almacenamiento de los lubricantes, verificar que se encuentren debidamente aislados frente a elementos contaminantes presentes en el ambiente (agua lluvia, materiales particulados).

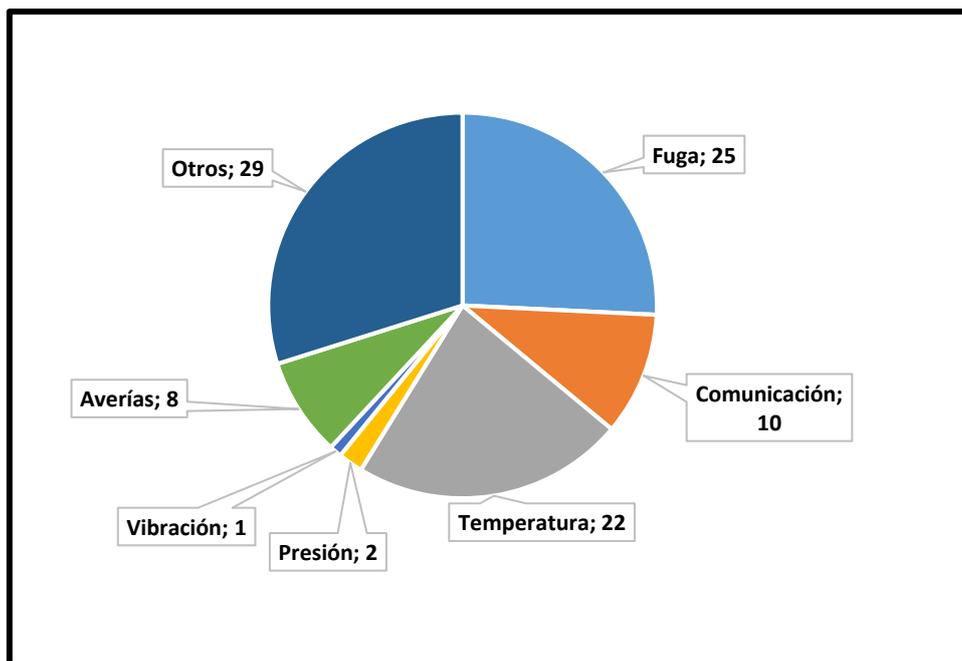


Figura 84. Clasificación por modo de falla de los eventos. Elaboración propia

7.6 Conclusiones generales

De todos los análisis anteriores que se realizaron, vale la pena retroalimentar de manera resumida los aspectos más relevantes que resultaron de la elaboración del informe, para lo cual se tiene que:

- Hay que considerar claramente la viabilidad de realizar mantenimiento mayor a ciertos activos presentes en la población de equipos estudiados.
- También es evidente la necesidad que existe de capacitar al personal de mantenimiento en documentación de avisos y órdenes de mantenimiento para mejorar aspectos relacionados al tema y evitar brechas.
- Desarrollar estrategias para minimizar los impactos por temperatura relacionados al fluido lubricante de los equipos y eventos de fuga por causa de fallos mecánicos en las juntas o por corrosión.

Capítulo 8

Análisis e interpretación de resultados

La explotación petrolífera en Colombia tiene ya muchos años de historia. A lo largo del paso de los años son muchos los datos que se han obtenido, se han creado muchos documentos, mapas y estudios; pero el conocimiento de dichos materiales está en la cabeza de unos pocos y el acceso a tales recursos de información es restringido, o se han perdido con el tiempo.

La documentación es una herramienta fundamental, necesaria para unificar y establecer pautas de trabajo, que garanticen la ejecución de los protocolos establecidos en la empresa. Es por esto que, la actualización y las constantes revisiones a las fuentes de información ya existentes y las nuevas, es un método que ayuda a la mejora de la confiabilidad y la reproducibilidad de resultados óptimos de los procesos, actividades, procedimientos o tareas desarrolladas en la estrategia de mantenimiento, específicamente aquellas relacionadas con mantenimientos preventivos, correctivos y la puesta a punto de los equipos de unidades de bombeo principal.

El desarrollo de dichos manuales, supone un proceso de seguimiento de todas las actividades que incluyen la puesta a punto y mantenimientos de los equipos de bombeo, cuyo fin es reimpulsar los productos refinados hacia otros sectores del país. Este proceso también abarca todas las actividades de mantenimiento programadas y desarrolladas para dichos equipos, así mismo, provee de bases para el proceso de implementación de nuevas filosofías de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de los equipos a partir de una alta confiabilidad y la seguridad operativa de los mismos.

La siguiente imagen me muestra un listado de todas las actividades de mantenimiento que se programaron y desarrollaron en el variador de la unidad de bombeo principal 2410 en un periodo de tiempo.

Visualizar órdenes PM: Lista de órdenes PM										
Orden	OrdenPrinc	Aviso	Cl.orden	GP	Texto breve	Denominación de la ubicación técnica	Inic.extr.	Emplaz.	Status del sistema	StatUsu
21053581		10471835	Z1PM	O&M	P24_PVO 2000H Est. Pto Sal	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	09.02.2020	P0490	CERR KKMP NLIQ PREC	CTSN OPKO
21114838		10572523	Z1PM	O&M	10_PVO_CONVER POT HIDR PPAL	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	05.10.2020	P0490	CTEC KKMP NLIQ PREC	CTSN
21114845		10572530	Z1PM	O&M	04_PVO_CONTROL Y MONITOREO PPAL	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	11.01.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
21114847		10572532	Z1PM	MTO	PVO CONTROL Y MONITOREO	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03		P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
21114839		10572524	Z1PM	O&M	10_PVO_CONVER POT HIDR PPAL	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	18.01.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
21121461		10585875	Z1PM	MTO	P24_PVO 2000H Est. Pto Sal	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	01.02.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
22028045		120002144	Z2PM	O&M	Alta Temperatura en Variador 2410 TE241K	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	07.03.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
22028217		120002282	Z2PM	O&M	Drenajes con pase de la BPC 2410	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	10.03.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
21120540		10584870	Z1PM	O&M	10_PVO_CONVER POT HIDR PPAL	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	15.03.2021	P0490	LIB. NOTI KKMP NLIQ PREC	CTOK OTEF
21143547		110009157	Z1PM	O&M	10_PVO_CONVER POT HIDR PPAL	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03	07.06.2021	P0490	LIB. KKMP NLIQ PREC	OTPL
21145494		110011104	Z1PM	MTO	P24_PVO 2000H Est. Pto Sal	Und Bombeo Ppal 1 PUE-MAN L10 BPP-03		P0490	LIB. KKMP NLIQ PREC	OTPL

Figura 85. Listado en SAP de órdenes de mantenimiento realizados al variador de la unidad 2410 en un intervalo de tiempo. Elaboración propia

8.1 Resultados

Durante el proceso de desarrollo del proyecto, se determinaron dificultades con respecto a la gestión de información, se evidenció que para dos equipos determinados, no había registro alguno en la base de datos de SAP relacionada a órdenes de mantenimiento, tampoco se conseguía mayor información técnica de dichos activos, ya que eran máquinas que se habían instalado hace mucho tiempo (cerca de unos 20 años) y no se encontraba documentación en los archivos de biblioteca, tampoco dio respuesta positiva el proveedor frente a la solicitud de información. Los documentos de hojas de vida faltantes fueron:

- Hoja de Vida - Motor eléctrico principal MPE 2420
- Hoja de Vida - Bomba centrífuga principal BPC 2430

En una investigación adicional con el personal técnico de la empresa, también se pudo comprobar que para el caso de la bomba centrífuga de la unidad 2430 no estuvo tenida en cuenta dentro de la programación de actividades de mantenimiento debido a que presentó una avería y la unidad quedó en preservación durante el periodo de realización de la práctica. En la figura 83 podremos evidenciar el estado de preservación de la unidad 2430 de las instalaciones.



Figura 86. Fotografía de la unidad de bombeo principal 2430 que se encontraba en preservación. Elaboración propia

Para el caso del motor eléctrico principal 2420, no se encontró información referente a mantenimientos realizados durante el periodo de desarrollo de la práctica, una de las conclusiones que se pudieron deducir fue que hubo inconsistencias por parte del equipo de programación y no se cargó ningún tipo de información referente a actividades de mantenimiento del motor en la plataforma.

Resultando así en un total de 17 de 19 archivos de hojas de vida de los equipos completadas, los cuales conforman un 89.5% de la totalidad del proyecto completado como lo evidencia el siguiente gráfico:



Figura 87. Diagrama circular del desarrollo del proyecto de Hojas de vida de los equipos. *Elaboración propia*

Por otro lado, las hojas de vida fueron bien recibidas por parte del personal de mantenimiento y confiabilidad de la empresa y algunos técnicos que lo pudieron conocer, aclararon que contiene información muy valiosa y que es bueno tenerla como soporte de evaluación del personal antiguo y guía para el personal nuevo.

También se acogió muy positivamente la propuesta de la nueva metodología de rótulos de lubricación, el cual se empezó a llevar a cabo una vez se dio a conocer, mandando a manufacturar las placas según los formatos y luego fijándolas en los respectivos equipos.

En la siguiente figura podemos evidenciar la implementación de uno de los rótulos ya fijados en la máquina correspondiente



Figura 88. Rótulo de lubricación instalado en un activo de las instalaciones. *Elaboración propia*

8.2 Conclusiones

- Se diseñan 17 hojas de vida de los equipos en total para la empresa Stork Technical Services, cada una de ellas contiene la mayor cantidad de información recolectada con respecto a especificaciones de diseño, condiciones de operación y un registro con el seguimiento de las actividades de mantenimiento predictivo y/o correctivo que se hayan ejecutado a los equipos correspondientes en un intervalo de tiempo prolongado.
- Se pudo determinar la falta de documentación y detalles tanto operativos, como de fabricación en algunos de los equipos, considero que es un punto muy importante al cual se le debe prestar atención, ya que, si se quiere hacer un buen mantenimiento a un material, pieza, equipo, sistema o conjunto determinado, se debe tener al menos entre un 85 y 100 % de datos de información acerca de los equipos
- El diseño y desarrollo de las hojas de vida se convierten en documentos importantes que demuestran la capacidad del departamento de mantenimiento para establecer procedimientos de seguimiento que contribuyan a mejorar el mantenimiento en los niveles de calidad y servicio, demostrando un control sobre la totalidad de los procesos referente a las actividades de ajustes y mantenimientos en los equipos.
- Se evidenció la notable falta de apoyo en el programa de lubricación de la empresa, lo que resultó en muchos vacíos a la hora de buscar la información y un esfuerzo mayor en el desarrollo del apartado de lubricación en las hojas de vida de los equipos.
- Las hojas de vida, proveen a la empresa Stork Technical Services, de herramientas importantes para la identificación de problemas y la generación de soluciones relacionadas con los procesos de mantenimiento predictivo. Su implementación aclara normas de actuación, acelerando la curva de aprendizaje de los nuevos talentos que se incorporen a la organización, demostrando también la disposición de la empresa por establecer nuevos métodos que ayuden en su proceso de mejora continua

8.3 Recomendaciones

- Se les recomienda a los departamentos de taxonomía y documentación de la empresa, completar los vacíos existentes en la base de datos con información referente a identificación, funcionamiento, estructura diseño y manejo de algunos equipos incluidos en el plan de mantenimiento.
- Se recomienda a las altas directivas y los jefes de mantenimiento y confiabilidad de la organización Stork Technical Services, velar por el cumplimiento de lo establecido en las hojas de vida y las recomendaciones incluidas en el informe general, para que, de esta forma se puedan seguir estableciendo herramientas de mejora continua y permitir a la organización encontrar niveles de productividad competentes dentro del mercado nacional.

Bibliografía

- (2021). Obtenido de Stork Corporation Web site: <https://www.stork.com/es/servicios/operaciones-mantenimiento>
- (2021). Obtenido de Prime Institute corporation Web site: <https://www.prime-institute.net/noticias/sap-mantenimiento-de-planta-en-que-consiste>
- Aguilar Reyes, J., Nieves Saavedra, A., & Medina Hernández, E. (1997). *Diseño y selección de bombas*. Ciudad de México.
- Alavedra Flores, C., Gastelu Pinedo, Y., Méndez Orellana, G., Minaya Luna, C., Pineda Ocas, B., Prieto Gilio, K., . . . Moreno Rojo, C. (2016). *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013*. Lima.
- A-MAQ S.A. (2005). *Memorias seminario de vibraciones*.
- Amendola, L. (2002). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*. Valencia.
- América economía. (24 de Septiembre de 2020). *América economía*. Obtenido de Ataques postergan operaciones de oleoducto Bicentenario en Colombia: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ataques-postergan-operaciones-de-oleoducto-bicentenario-en-colombia>
- Aula 21*. (8 de Julio de 2019). Obtenido de Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-analisis-de-vibraciones/>
- Ayala Matus, V. H. (2010). *Guía de mantenimiento preventivo, desarme y armado de reductores de velocidad tipo KMP marca Flender utilizados en el accionamiento de molinos verticales para la fabricación de cemento*. Guatemala.
- Bethel, N. P. (2016). *Análisis por zonas de falla*.
- BIRT LH. (2020). *Máquinas rotativas de corriente alterna*. Obtenido de https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/E/E09/es_IEA_E09_Contenidos/website_141_motor_de_rotor_en_cortocircuito_o_de_jaula_de_ardilla.html
- Bobinados Martorell S. L. (1 de Octubre de 2020). *Bobinados Electromecánica Martorell*. Obtenido de Termografías en motores eléctricos: <https://www.bobinadosmartorell.com/empresa-2/termografias-en-motores-electricos>
- Buelvas Díaz, C. E., & Martinez Figueroa, K. J. (2014). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L. Barranquilla*.
- Cáceres, M. B. (2010). *Cómo incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar el mantenimiento*.
- Canchila Rivera, J. A., & Nieto Valbuena, Y. A. (2018). *Diseño de la estrategia de mantenimiento predictivo eléctrico y actualización de los procedimientos de*

diagnóstico para el contrato de operación y mantenimiento de Confipetrol en Campo Rubiales. Bogotá.

- Carvajal, D. (2020). *Procedimiento técnico para el mantenimiento predictivo termografía infrarroja.*
- Carvajal, D. (2020). *Procedimiento técnico para el monitoreo de equipo rotativo en estaciones de bombeo.*
- Contreras Calderón, E., Alcalá Barojas, I., Valdez Martínez, J. S., Beltrán Escobar, A. M., López Vega, L. J., & Rumbo Morales, J. Y. (2018). Aplicación industrial del análisis de vibraciones. *Revista de ingeniería industrial*, 16-22.
- Díaz Povedano, G. (2014). *Terotecnic ingeniería.* Obtenido de <https://terotecnic.com/tag/que-podemos-ver-con-un-analisis-de-vibracion/>
- ESCEC. (24 de Noviembre de 2020). *Escuela Empresarial de Colombia.* Obtenido de Medidas de seguridad en la ejecución del trabajo: <https://escec.edu.co/lessons/1-1-elementos-de-proteccion-personal-epp/>
- Estrada, F., & Fernández, L. (2016). Tablero para prácticas de termografía infrarroja. *Revista de aplicaciones de la ingeniería*, 44-50.
- Eurofins.* (21 de Junio de 2020). Obtenido de <https://envira.es/es/diferentes-tipo-de-mantenimiento-existen-empresa/>
- Farina, A. L. (2018). Montajes eléctricos trifásicos: montaje y puesta en marcha. *Revista ingeniería eléctrica*, 82-90.
- FERRER-DALMAU INDUSTRIAL. (29 de Mayo de 2020). *Mundo compresor.* Obtenido de Tipos de acoplamientos flexibles y selección para cada aplicación: <https://www.mundocompresor.com/productos/tipos-acoplamientos-flexibles-seleccion-para-cada-aplicacion>
- Fuenmayor, E. (2019). *Calculando la frecuencia óptima de mantenimiento o reemplazo preventivo: caso de estudio basado en métodos y normas vigentes.*
- Fullmecánica 2014. (29 de Abril de 2016). *Full Mecánica.* Obtenido de <http://www.fullmecanica.com/definiciones/b/1677-bombas-centrifugas>
- Gándara Salas, D., Rodríguez, Y., Pertuz Simancas, J., Vega Puello, L., & Marrugo Ligardo, Y. (2017). Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en latinoamérica: una revisión desde la integración HSEQ. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 45.
- García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento.* Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Gonzales Guzman, J. L. (2016). *Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa Latercer S. A. C.* Chiclayo.
- Guiracocha Guiracocha, R. A. (2015). *Establecimiento de una base de datos de señales de vibraciones acústicas e imágenes termográficas infrarrojas para un sistema mecánico rotativo con la combinación de diferentes tipos de fallos y elaboración de guías de prácticas para detección de fall... .* Cuenca.

- Hernández Guerra, J. E. (2018). *Evaluar criterios hidráulicos de selección para equipos de bombeo eficientes siguiendo un procedimiento simplificado*. Santa Clara.
- IFM electronic gmbh. (2021). Obtenido de <https://www.ifm.com/cl/es/shared/product-news/2017/sps/acelerometros-para-la-deteccion-del-estado-de-maquinas>
- Jimenez Barreño, H. (2015). *HSEQ*. Bogotá.
- Jimenez, H. (13 de Febrero de 2010). *Slideshare*. Obtenido de Sistema de gerencia integral: <https://www.slideshare.net/HERNANJIMENE/sistema-de-gerencia-integral>
- LasEmpresas. (2021). Obtenido de <https://www.lasempresas.com.co/bogota/stork-technical-services-holding-bv/>
- Linares Depestre, L. O. (2012). *Del mantenimiento correctivo al mantenimiento centrado en confiabilidad*. Santa Clara: Centro Azúcar.
- Mesa Grajales, D. H., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Pereira: Scientia et Technica.
- Mora Gutiérrez, A. (2000). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Neita Duarte, L., & Peña Rodríguez, E. (2011). *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. Floridablanca.
- Noria Latin América. (20 de Marzo de 2015). *NORIA*. Obtenido de LIS - Un nuevo sistema de identificación de lubricantes: <https://noria.mx/lublearn/lis-un-nuevo-sistema-de-identificacion-de-lubricantes/>
- Ojeda Vera, B. L. (2010). *Medición y análisis en el sistema propulsivo naval*.
- Olarte C., W., Botero A., M., & Cañon A., B. (2010). *Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. Pereira: Scientia Et Technica.
- Penkova Vassileva, M. (2007). *Mantenimiento y análisis de vibraciones*.
- Peña Torres, N. D. (2014). *Sistemas de gestión de calidad integrados (HSEQ), como alternativa a los desafíos económicos, sociales y ambientales del mantenimiento aeronáutico*. Bogotá.
- Pérez González, A., Rodríguez Cervantes, P. J., & Sancho Brú, J. L. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Castelló: Publicaciones de la Universitat Jaume I.
- Pisabarro de la Plaza, E. (2011). *Plan de mantenimiento de la planta Barnices Valentine, S. A. U*. Barcelona.
- Primero, D. F., Diaz, J. C., García, L. F., & Gonzáles Vargas, A. (2015). *Manual para la gestión del mantenimiento correctivo de equipos biomédicos en la fundación Valle del Lili*. Cali: Revista Ingeniería Biomédica.
- PRUFTECHNIK. (13 de Octubre de 2011). *PRUFTECHNIK*. Obtenido de <https://pruftechnik.wordpress.com/2011/10/13/la-vibracion-confirma-la-norma/>
- Quintero Rodríguez, D. G. (2018). *Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y estructuras hospitalarias*. Floridablanca.

- R. W., H., & B. Y, B. H. (2001). ¿Qué es calidad? *Quality Progress*.
- Restrepo Álvarez, L. A., & Cardona Salazar, J. D. (2015). *Diseño de un sistema de control de nivel para la preparación de líquidos dializantes basado en señales ultrasónicas*. Pereira.
- Rodas Peña, P. (2020). *Gestión de la información para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en condición con monitoreo en línea de la maquinaria del área de vulcanización TT (Truck Tires) en Continental Tire Andina S.A.* Cuenca.
- Rodríguez P., J. (2000). *ELO 281 Sistemas electromecánicos*. Valparaíso.
- Royo, J. A., Rabanaque, G., & Torres, F. (2003). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. Zaragoza.
- SEDISA S.A.C. (8 de Julio de 2020). *Sedisa, servicios de confiabilidad*. Obtenido de Termografía en motores eléctricos: <https://www.sedisa.com.pe/servicios/sin-categoria/termografia-en-motores-electricos-analisis-con-ejemplos-reales>
- Sols, A. (2000). *Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad*. Madrid.
- Sopeña, F. (4 de Febrero de 2015). *Andando por Bogotá*. Obtenido de Las voladuras de oleoductos en colombia: <http://andandoporbogota.blogspot.com/2015/02/las-voladuras-de-oleoductos-en-colombia.html>
- Sucre", U. N. (2015). *Mantenimiento industrial*.
- Swam, L. (27 de Abril de 2015). *Cielos despejados*. Obtenido de Radiación electromagnética del espacio: Rayos Gamma: <http://cielos-despejados.blogspot.com/2015/04/radiacion-electromagnetica-del-espacio.html>
- Tecnologiavao. (14 de Octubre de 2019). *Tecnología para la industria*. Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/analisis-de-vibraciones-en-bombas-centrifugas-unidades-de-vibracion-que-debes-manejar/>
- Topanta Cunalata, O. G. (2009). *Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores recíprocos y de tornillo*. Riobamba.
- TSM COLOMBIA. (27 de Enero de 2015). *TSM*. Obtenido de <https://tsmcolombia.com/servicios/>
- Vanegas Rojas, A. C. (2019). *Implementación de una guía para el diagnóstico de fallas y estimación de eficiencia de máquinas eléctricas asíncronas utilizando el equipo MCEMAX*. Santiago de Cali.
- VIBROBAL. (2021). *VIBROBAL Ingeniería de vibraciones y mantenimiento*. Obtenido de MCEmax: <https://www.vibrobal.com/index.php/productos/61-mcemax>
- Villarreal Carvajal, S. A. (2008). *Optimización de mantenimiento basado en condición (CBM) para una máquina tipo motor-bomba utilizando análisis por cadenas de Markov*. Bogotá.
- White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Woburn: Azima DLI.
- Zapata, C. (2011). *Confiabilidad en ingeniería*. Pereira: Publiprint Ltda.

Anexos

10.1 Imágenes



Figura 89. Termografía aplicada al sistema de control de las unidades principales, tomada en el cuarto de control de máquinas o CCM. Elaboración propia



Figura 90. Fotografía unidad de bombeo principal 2440. Elaboración propia

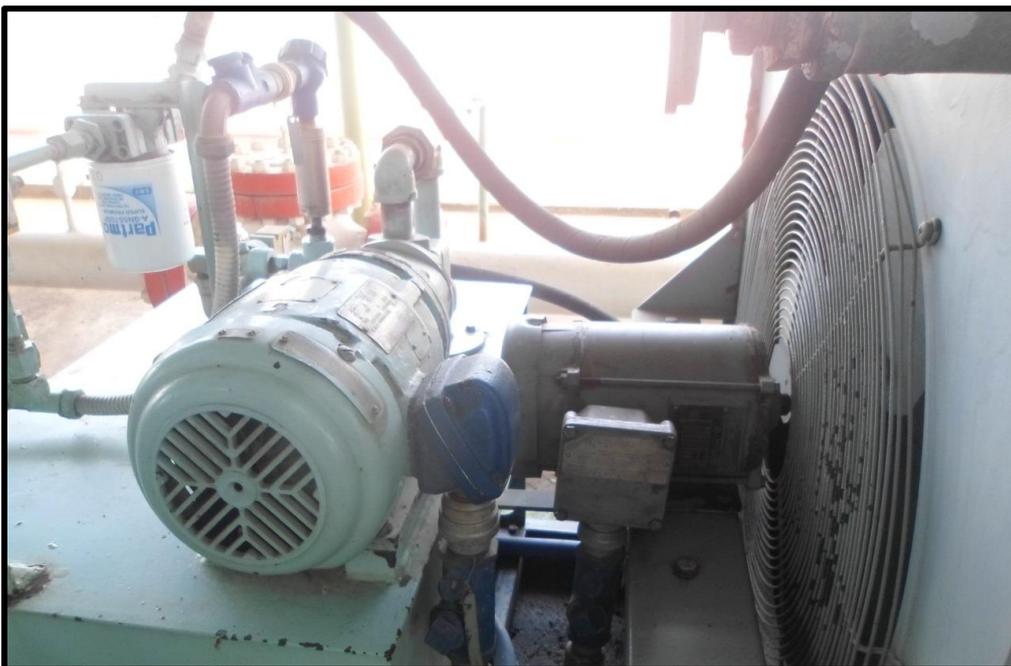


Figura 91. Equipos auxiliares unidad de bombeo principal 2420. Elaboración propia



*Figura 92. Unidad de sistema contra incendio (SCD) de extinción con espuma de la estación.
Elaboración propia*



Figura 93. Fotografía unidad de bombeo principal 7420. Elaboración propia



*Figura 94. Sistema de refrigeración por radiador de unidades principales 2420 y 2430.
Fuente: Base de datos de Stor*

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

10.2 Informe general

TABLA DE CONTENIDOS

1. OBJETIVO.....	1
2. ALCANCE	1
3. RESPONSABLES.....	2
4. CONCEPTOS.....	2
5. INDICADORES.....	6
6. REFERENCIA.....	12
7. CONTROL DOCUMENTAL	12

1. OBJETIVO

La hoja de vida de un equipo tiene el objetivo de reducir el riesgo de fallas e interrupciones en el trabajo, con el fin de cumplir a cabalidad con objetivos tales como: brindar una guía para trabajadores de relevo o reemplazo, una ayuda en el establecimiento de información sobre los puestos de trabajo y la identificación de las destrezas requeridas para dichos puestos, una referencia para el entrenamiento de los empleados, una base para evaluar el desempeño efectivo, una oportunidad de fortalecer los procesos de mantenimiento y confiabilidad de la empresa Stork Technical Services.

2. ALCANCE

UBICACIÓN TÉCNICA	SISTEMA	UNIDAD FUNCIONAL	EQUIPO	CÓDIGO SAP
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03	Variador De Velocidad U#1 L10	10004635
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03	BPC2410 Bomba Ppal Centrifuga U#1 L10	10004642
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-03	MPE2410 Motor Principal U#1 L10	10036749
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-04	Motor Principal MPE2421 U#2 L10	10004626
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-04	BPC2420 Bomba Ppal Centrifuga U#2 L10	10004633
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05	BPC2430 Bomba Ppal Centrifuga U#3 L10	10004625
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-05	MPE2430 Motor Principal U#3 L10	10007266
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-06	Variador De Velocidad U#4 L10	10007259
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-06	MPE2440 Motor Principal U#4 L10	10007264
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-06	BPC2440 Bomba Ppal Centrifuga U#4 L10	10007265
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-10	BPC7410 Bomba Ppal Centrifuga U#1 G/Day	10007193
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-10	MPE7410 Motor Principal U#1 G/Day	10007194
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-11	VV3430 Variador De Velocidad U#2 G/Day	10007182
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-11	BPC7420 Bomba Ppal Centrifuga U#2 G/Day	10007187

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-11	MPE7420 Motor Principal U#2 G/Day	10007188
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-14	Bpc-3410 Bom Centrif Flowserv 875 gpm	10071532
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-14	Me-3410 Motor Elect 1250Hp. 6300V. 60Hz	10071534
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-15	Bpc-3420 Bom Centrif Flowserv 875 gpm	10071551
TR0-PPUE	SBOM-HIDR	UBOM_BPP-15	Me-3420 Motor Elect 1250Hp. 6300V. 60Hz	10071553

3. RESPONSABLES

RESPONSABLE DE LA ENTREGA		
NOMBRE (S) Y APELLIDOS(S)	DOCUMENTO DE IDENTIDAD	FIRMA

RESPONSABLE DE LA ENTREGA		FECHA DE RECEPCIÓN
NOMBRE (S) Y APELLIDOS (S)	FIRMA	

4. CONCEPTOS

A

Aceleración: Razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo.

Acelerómetro: Sensor y transductor cuya entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje de baja impedancia.

Alineación: Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo más colineales posible, durante el tiempo de operación normal de la máquina.

Amplitud: Es el máximo valor que presenta una onda sinusoidal.

Análisis Espectral: Es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.

Armónico: Son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.

Armónico Fraccionario: Armónicos que se encuentran entre los armónicos principales y son fracciones de la frecuencia fundamental.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

Axial: Posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.

B

Backlash: Juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.

Balanceo: Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación, de manera que se pueda eliminar el mayor número de fuerzas inerciales.

Bandeamiento Lateral: Son líneas espectrales que aparecen espaciadas a igual frecuencia, alrededor de una línea central. Esta es la mezcla de dos señales, en la cual la línea central pertenece a una y las líneas laterales pertenecen a la otra.

C

Centro de Gravedad: Es la representación de la masa de un cuerpo en un punto.

Ciclo: Es un rango de valores en los cuales un fenómeno periódico se repite.

D

Decibel: Unidad logarítmica de amplitud medida (muy usada en vibraciones y acústica).

Desplazamiento: Cambio de posición de un objeto o partícula de acuerdo a una sistema de referencia.

Diagnóstico: Proceso por medio del cual se juzga el estado de una máquina.

Dominio de la Frecuencia: Es la representación gráfica de la vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Frecuencia.

Dominio del Tiempo: Es la representación gráfica de una señal de vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Tiempo.

E

Entrehierro: Espacio de aire comprendido entre el **Estator** y el **Rotor** de un motor eléctrico.

Espectro: Sinónimo de dominio de la frecuencia.

Excentricidad: Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

F

Factor de Servicio: Factor que corrige niveles normalizados, para máquinas que se encuentran a condiciones especiales de operación.

Fase: Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.

Fatiga: Tendencia de un material a romperse bajo deflexiones repetidas.

Frecuencia: Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.

Frecuencia de Engrane (GMF Gear Mesh Frequency): Es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para piñón y engranaje.

Frecuencia de falla de Jaula (FC): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta deterioro en su jaula.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

Frecuencia de falla de Elemento Rodante (FB): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en algún elemento rodante.

Frecuencia de falla de Pista Externa (FO): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa.

Frecuencia de falla de Pista Interna (FI): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista interna.

Frecuencia de Línea (FL): Es la frecuencia eléctrica de alimentación del motor. En América son 60 Hz y en Europa son 50 Hz.

Frecuencia Natural (Fn): Es la frecuencia que presenta cada componente por su propia naturaleza y características. Esta frecuencia oscilará si es excitada por agente externo que opere a una frecuencia muy cercana.

Frecuencia de Paso de Aspas (BPF): Es el número de aspas o paletas de una bomba o ventilador por su velocidad de rotación.

G

G: Unidades de aceleración de la gravedad. Equivale a 9800 mm/s² y a 32.2 pie/s².

H

Horizontal: Generalmente es la posición que se le da al sensor, que va perpendicular al sentido de la gravedad.

Hz: Unidad mas común de la frecuencia. Equivale a ciclos por segundo.

M

Masa Equilibrante: Masa utilizada en balanceo, para contrarrestar la masa desbalanceadora.

Micra: Medida de longitud o distancia. Equivale a la milésima parte de un milímetro.

Mil: Medida de longitud o distancia. Equivale a una milésima de pulgada.

O

Onda en el tiempo: Es la representación instantánea de una señal dinámica con respecto al tiempo.

Orden: Es otra de las unidades de frecuencia, utilizadas para maquinaria rotativa. Una orden es equivalente a la velocidad nominal de la máquina.

P

Período: Es el tiempo necesario para que ocurra una oscilación o se complete un ciclo. Generalmente está dada en minutos y segundos.

Pico: Cada una de las líneas que componen el espectro.

Pulsación: Elevación y caída en la amplitud de vibración causada por dos fuentes de vibración que están a

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

frecuencias muy cercanas.

R

Radial: Posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.

Resonancia: Se presenta cuando la frecuencia natural de un componente es excitada por un agente externo. La amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios a todos sus componentes.

Rotor Flexible: Son rotores que giran muy cerca o por encima de su primera velocidad crítica. Por sus condiciones de operación presentan una deformación significativa.

Rotor Rígido: Rotor que no se deforma significativamente cuando opera a su velocidad nominal.

RPM: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale al número de ciclos por minuto que presenta la máquina.

RPS: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale a 1 Hz (ciclos por segundo).

Ruido: Es información de la señal que no representa alguna importancia. Representa contaminación de la señal.

Ruido de Piso o Blanco: Es el límite mas bajo de sensibilidad de un instrumento de medición electrónico, expresado en micro-voltios ($10^{-6}V$). Se localiza a través de todo el espectro.

Ruido Rosa: Es el ruido que se localiza en un rango especial del espectro.

S

Sensor: Es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica. En nuestro caso pasa de una señal física de vibración y la convierte en una señal eléctrica.

Señal: Es toda información de magnitud física variable que se convierte a magnitud eléctrica mediante un transductor.

Shock: Es un impacto que tiene como resultado la generación de un pulso.

Subarmónicos: Son frecuencias que se encuentran a una fracción fija de una frecuencia fundamental, como la velocidad nominal de la máquina.

T

Transformada Rápida de Fourier (FFT): Es una técnica para calcular por medio de un computador la frecuencia de las series que conforman la onda en el dominio del tiempo.

V

Vector: Es una cantidad dotada de magnitud y dirección.

Velocidad: Razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.

Velocidad Nominal: Velocidad de entrada de una máquina.

Vertical: Posición que se le da al sensor, que va en el sentido de la aceleración de la gravedad.

Vibración: Es un movimiento oscilatorio.

Vibración Aleatoria: Frecuencias que no cumplen con patrones especiales que se repiten.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

5. INDICADORES

Para el caso del motor eléctrico principal 2420, no se encontró información referente a mantenimientos realizados durante el periodo de desarrollo de la práctica, una de las conclusiones que se pudieron deducir fue que hubo inconsistencias por parte del equipo de programación y no se cargó ningún tipo de información referente a actividades de mantenimiento del motor en la plataforma.

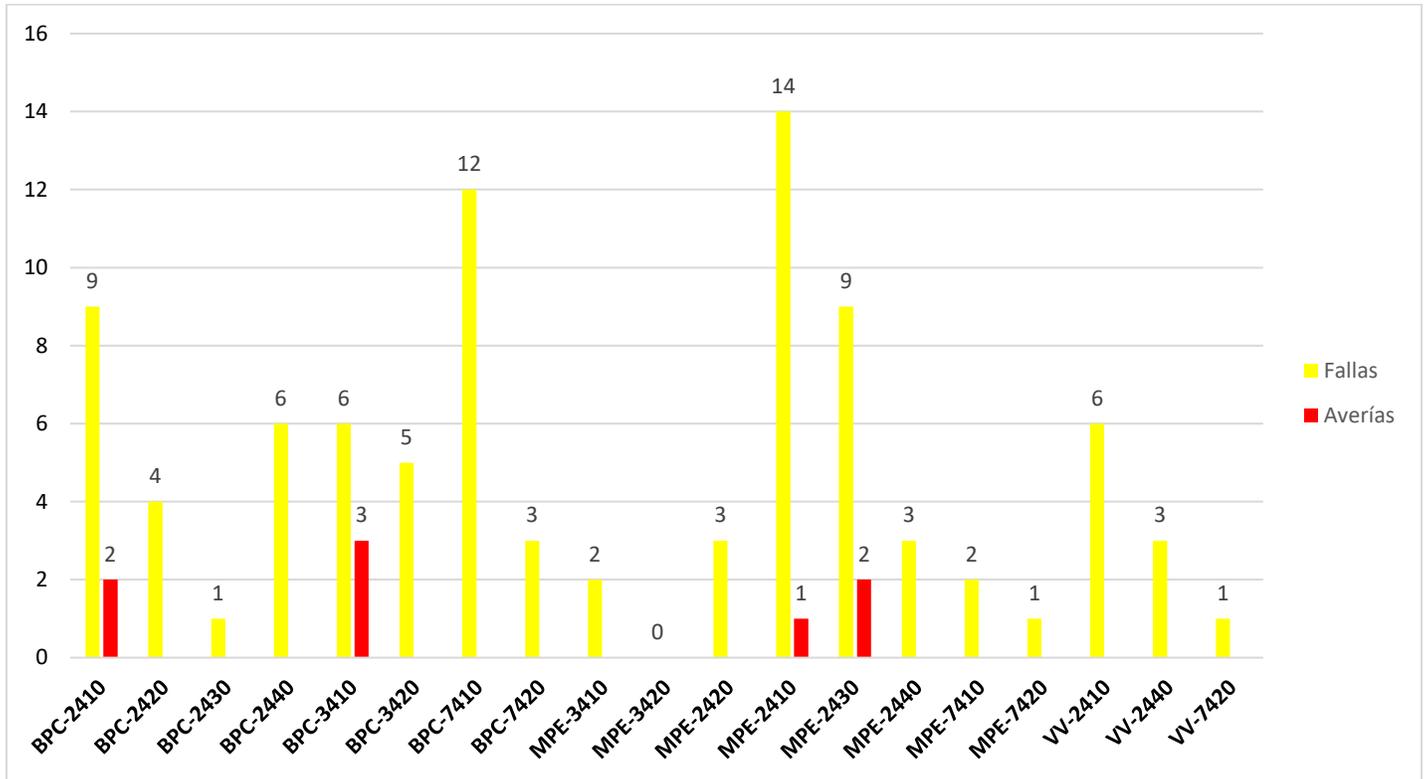
En una investigación adicional con el personal técnico de la empresa, también se pudo comprobar que para el caso de la bomba centrífuga de la unidad 2430 no estuvo tenida en cuenta dentro de la programación de actividades de mantenimiento debido a que presentó una avería y la unidad quedó en preservación durante el periodo de realización de la práctica.

Resultando así en un total de 17 de 19 archivos de hojas de vida de los equipos completadas, los cuales conforman un 89.5% de la totalidad del proyecto completado como lo evidencia el siguiente gráfico:



PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

CONSOLIDADO HISTORICO DE EVENTOS DE FALLA

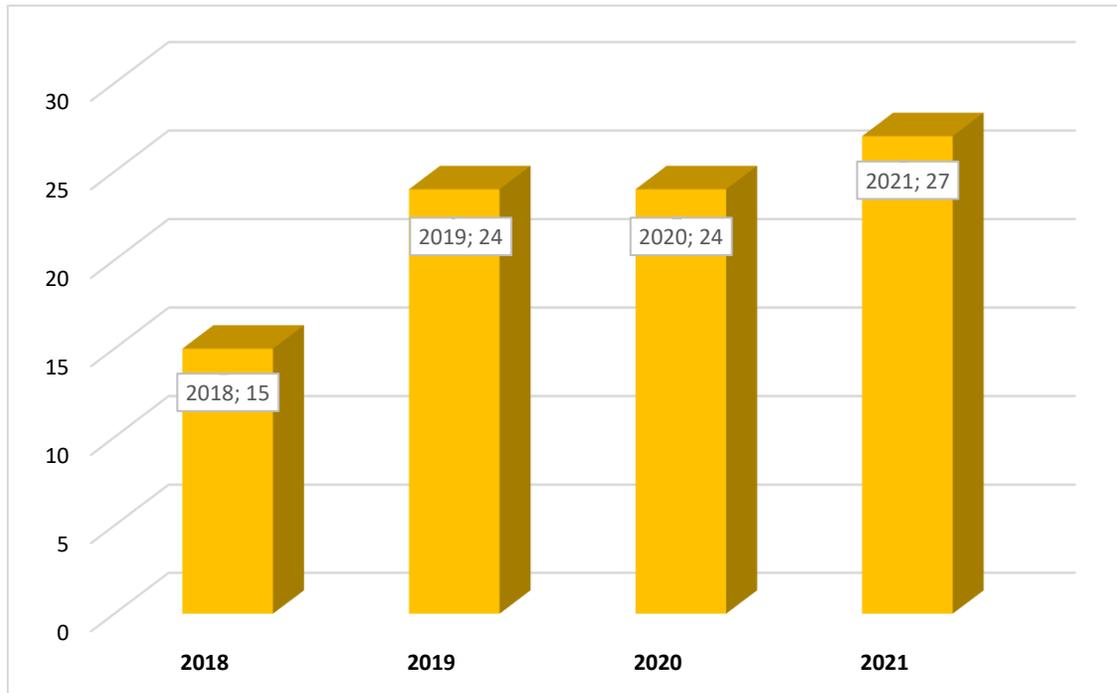


En el gráfico anterior se puede observar la cantidad total de fallas y averías que se presentaron desde el inicio del contrato hasta la fecha, de aquí se identifica:

- Se evidencia que para la BPC-2430, MPE-3420, MPE-7410 y VV-7420 presentan una cantidad muy mínima de fallos, lo cual es un dato poco creíble. La causa puede ser una posible falta de registro de eventos en la plataforma.
- De todos los activos, el MPE-2410 y la BPC-7410, son los que más fallas presentaron, revisar la viabilidad de realizar un mantenimiento mayor (MOH) con el fin de reemplazar piezas que posiblemente estén en mal estado.
- La BPC-3410 presenta una cantidad elevada de averías, lo que se representa en pérdidas de disponibilidad de toda la unidad de bombeo, revisar la viabilidad de una inspección general para identificar posibles piezas en mal estado.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

FALLAS POR AÑO



De la data obtenida y filtrada por año, se evidencia una clara tendencia positiva en la cantidad de eventos, de lo cual se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Con el paso del tiempo y con el funcionamiento constante de los equipos, estos se van deteriorando por el tiempo de uso y van a tener un índice de falla mayor al que tenían cuando fueron instalados por primera vez.
- Se está desmejorando en la calidad del servicio con el pasar del tiempo.

En caso de resultar la última opción como verdadera, se deben tomar medidas de mejoramiento en la calidad de las labores.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

TIPO DE EVENTO

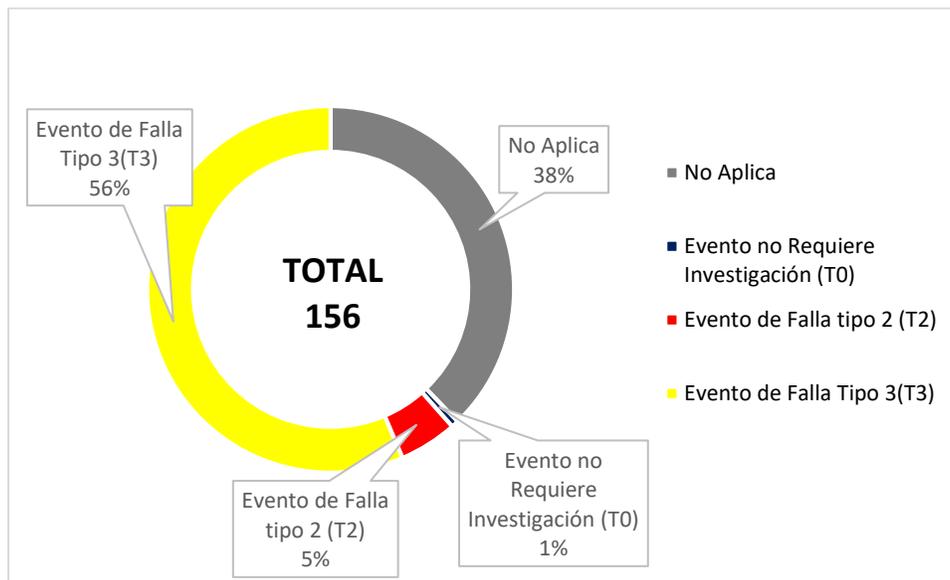
Para la clasificación por tipo de evento debemos conocer los conceptos:

N/A (No aplica): No es ni falla ni avería. Son eventos en los cuales la empresa no tiene el deber de ejecutar acción de investigación o reparación, se consideran como eventos externos a la organización.

Evento Tipo Cero (T0): Son eventos que me representan una falla o avería, pero el evento como tal no requiere de una investigación.

Evento Tipo 3 (T3): Son eventos que representan una falla o avería y me generan una investigación, estos eventos representan una parada de bombeo por indisponibilidad no mayor a 2 horas.

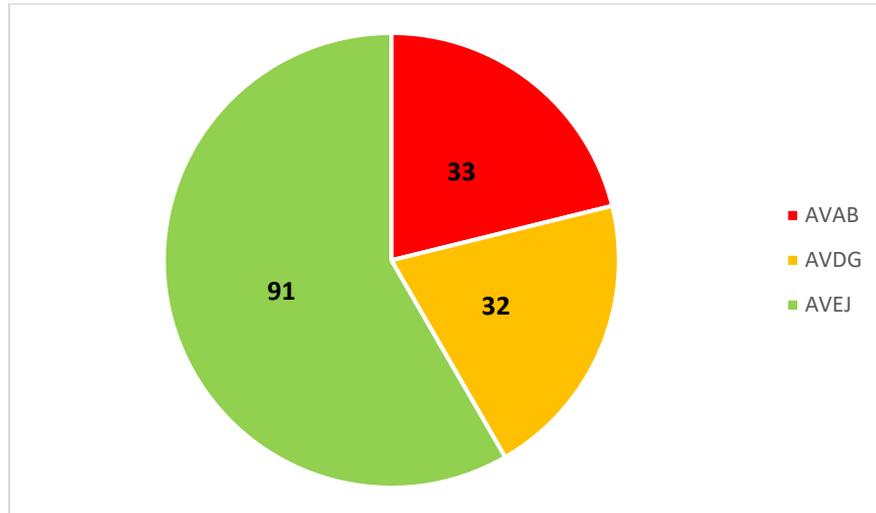
Evento Tipo 2 (T2): Son eventos que representan una falla o avería y me generan una investigación, estos eventos representan una parada de bombeo por indisponibilidad de entre 2 y 48 horas.



De esta gráfica se puede notar la gran cantidad de eventos que no aplican como eventos de falla Y2, la posible causa es que el personal no sabe documentar avisos ni órdenes de mantenimiento, para dar solución a esto, se debe capacitar al personal en documentación de avisos y así disminuir este indicador.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

ESTADO DE LAS ÓRDENES DE MANTENIMIENTO

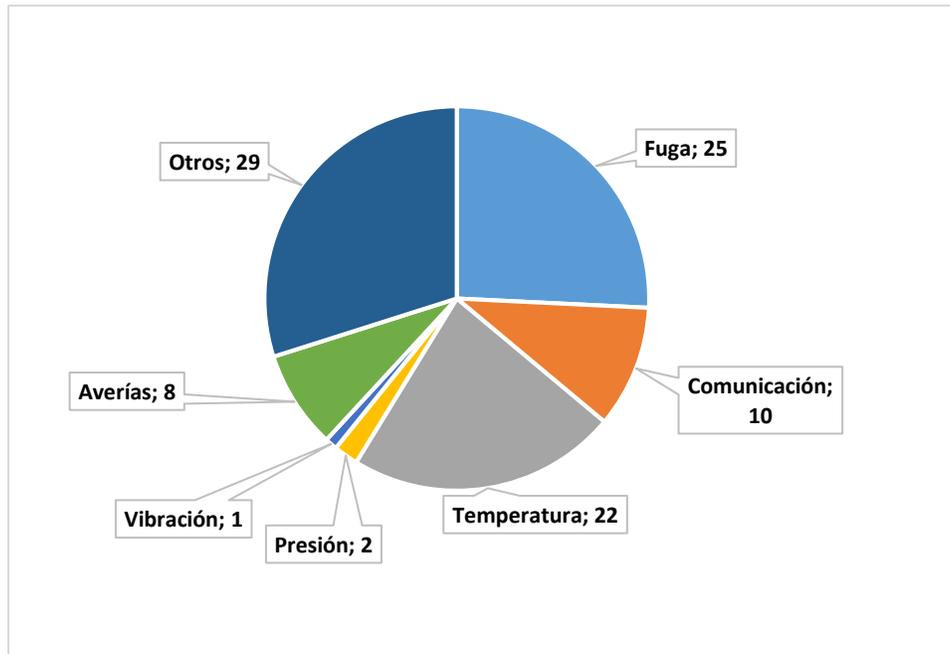


De esta sección cabe destacar:

- Existe un número significativo de órdenes a las cuales aún no se les ha dado un cierre (AVAB), esto genera ruidos en los procesos de mantenimiento y arroja desviaciones en la información. Para corregir, se debe hacer el seguimiento respectivo de la ejecución de las labores y gestionar correctamente hasta darle un cierre a estos avisos.
- Igualmente, hay un buen número de órdenes denegadas (AVDG), esto ocurre cuando hay errores en el proceso de documentación de avisos, y se debe cerrar los avisos para dar un cierre parcial. Para dar solución, es importante el orden en la información y los procesos de gestión de órdenes de mantenimiento, también capacitar el personal en documentación de avisos.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

MODOS DE FALLA



- Hay un buen número de fallas por temperatura alta, revisar estado de los fluidos lubricantes y de los sistemas de refrigeración de los activos que se encuentren en buenas condiciones para un funcionamiento correcto en el control de temperaturas.
- Del mismo modo, hay un número considerable de fallas por fuga de fluidos, esto puede deberse a fallos mecánicos en las juntas y bridas de conexión, también por efectos de corrosión o roturas en las superficies. Para solucionar, se debe hacer inspecciones más seguidas para actuar preventivamente frente a estos hechos, y buscar alguno de los distintos métodos de protección frente a desgastes o derrames.

PROYECTO HOJAS DE VIDA UNIDADES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE BOMBEO DE HIDROCARBURO

6. REFERENCIA

INFORMACIÓN DOCUMENTADA	
CÓDIGO / DOCUMENTO	Nombre del documento
8000004854	Especificaciones técnicas del contrato
NTC-ISO 9001/2015	Sistema de Gestión de Calidad – Requisitos
GHS-M-004	Manual de control de trabajo
GHS-I-014	Instructivo Análisis de Riesgos
API 610	Bombas centrífugas
ISO 10816	Vibración mecánica
	RETIE 2013 (Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013)
	Manual de operación de los equipos a intervenir
NFPA 70B-1998	Recommended Practice for Electric Equipment Maintenance. Section 17-18 (Infrared inspection)
ASTM E1316-04a	Standard Terminology for Nondestructive Examinations
NETA ATS-03	NETA Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Distribution Equipment and Systems. Chapter THERMOGRAPHIC SURVEY
NETA-MTS-2007	“Standard for Maintenance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems”, 2007 Ed

7. CONTROL DOCUMENTAL

VER./ ISSUE	VIGENTE DESDE/ DATE	DESCRIPCIÓN/ DESCRIPTION	PREPARADO/ PREPARED	APROBADO/ APROVED
1.0	DD/MM/AAAA	Emisión primigenia del documento		
			Duban Carvajal Profesional CBM	Freddy Melo Líder Mtto. y confiabilidad

CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR / TRACK CHANGES

No hay cambios debido a que es la emisión primigenia del documento

NOTA DE PROPIEDAD / DISCLAIMER

Los derechos de propiedad intelectual de este documento y su contenido le pertenecen exclusivamente al grupo STORK. Por lo tanto, queda estrictamente prohibido el uso, divulgación, distribución, reproducción, modificación y/o alteración de los mencionados derechos, con fines distintos a los previstos en este documento, sin la autorización previa y escrita del grupo STORK.

		HOJA DE VIDA DE EQUIPO								HVE 012		
(FOTO)	EQUIPO:	Me-3420 Motor Elect 1250Hp. 6300V. 60Hz						LÍNEA:	Hidrocarburos			
	MARCA:	GENERAL ELECTRIC			PROVEED.:	GE-ELECT		TIPO:	Activo Industrial			
	MODELO:	5PKF82134092702			SERVICIO:	Motor		SERIAL:	282005818			
	CLASE:	Motor Eléct De Inducción MT			TP OBJ:	Rotativos		PROTEC.:	IP 42			
	UB. TÉCN.:	TRO-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-15			CÓD. SAP:	10071553		CRITICID:	Esencial			
	FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:								COLOR:	Verde claro		
	DATOS DE EMPLAZAMIENTO											
CE. EMPL:	3040 Estaciones Centro Andina			EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar		P. TRAB:	Troncal Central Estaciones				
LUBRICACIÓN												
SIST. LUBRICACIÓN:	Por anillo salpique		LUBRIC:	MOBIL NUTO H 32		CAMBIO:	6 meses / condición		CANT.:	3 gal		
DATOS TÉCNICOS												
POTENCIA:	1250 HP		VOLTAJE:	6300 V		FRECUENCIA:	60 Hz		CORRIENTE:	104 A		
VELOCIDAD:	3575 RPM		TORQUE:	1989 Nm		FACTOR POT.:	0,89		EFICIENCIA:	96,8%		
CLASE TORQUE:	KL 5		CONEXIÓN:	Y		FASES:	3		CLASE TÉRMICA:	F		
DATOS DE ARRANQUE												
POT. REQUERIDA:	1250 HP		MOMENT. INERCIA:	20 kgm^2		TIEMPO DE ARRANQUE:	11 s		al 100% Voltaje Nominal			
							19 s		al 80% Voltaje Nominal			
						No. PERMITIDO ARRANQUES:	3 Frío 2 Caliente		al 100% Voltaje Nominal			
							3 Frío 2 Caliente		al 80% Voltaje Nominal			
RESPONSABILIDADES												
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)				RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK						
CENTRO PLANIF.:	2010 Cenit		GRUPO PLANIF.:	O&M Operación y mantenimiento								
PTO. TBJO. RESP.:	3040EELE Especialidad electricidad		PERFIL CATÁLOGO:	PMEMIM Motor eléctrico de inducción MT								
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones									P			P
Análisis Termográfico									P			
Análisis MCEmax											P	
Análisis Lubricante									P			P
P En Programación N Normal C Precaución A Alerta												
CONTROL DOCUMENTAL												
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE			DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION			PREPARADO / PREPARED			APROVADO / APPROVED		
							Duban Carvajal			Freddy Melo		
							Profesional CBM			Líder de Mtto y Confiabilidad		

10.4 Hoja de vida – Bomba BPC - 3420

		HOJA DE VIDA DE EQUIPO								HVE 011		
(FOTO)	EQUIPO:	Bpc-3420 Bom Centrif Flowserv 875 gpm						LÍNEA:	Hidrocarburos			
	MARCA:	FLOWSERVE			PROVEED.:	FLOWSERVE		TIPO:	Activo Industrial			
	MODELO:	DMX			SERVICIO:	Bomba		SERIAL:	4X11DMX-B			
	CLASE:	Bomba Centrífuga			TP OBJ:	Rotativos		PROTEC.:				
	UB. TÉCN.:	TRO-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-15			CÓD. SAP:	10071551		CRITICID:	Esencial			
	FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:						COLOR:	Verde claro				
	DATOS DE EMPLAZAMIENTO											
	CE. EMPL:	3040 Estaciones Centro Andina			EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar		P. TRAB:	Troncal Central Estaciones			
	LUBRICACIÓN											
	SIST. LUBRICACIÓN:	Por anillo salpique		LUBRIC:	MOBIL NUTO H 68		CAMBIO:	3 meses / condición		CANT.:	5 gal	
DATOS TÉCNICOS												
PRES. SUCCIÓN:	150 psig		TIPO FLUIDO:	Refinado		SIST. SELLADO:	Doble sello mec.		CAUDAL:	875 gpm		
PRES. DESCARGA:	1968 psig		TIPO ACOPL:	Thomas		TIPO RODAMIENTO:	Chumacera / Bola		POT. NOMINAL:	1212 HP		
VELOCIDAD:	3401 RPM		TIPO IMPULSOR:	Multiple volute		NORMA API:	610		NUM. ETAPAS:	12		
RESPONSABILIDADES												
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)				RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK						
CENTRO PLANIF.:	2010		Cenit		GRUPO PLANIF.:	O&M		Operación y mantenimiento				
PTO. TBJO. RESP.:	3040EMEC		Especialidad mtto mecánica		PERFIL CATÁLOGO:	PMPUCE		Bomba Centrífuga				
EQUIPOS ASOCIADOS												
CÓDIGO SAP		DENOMINACIÓN EQUIPO				UBIC. TÉCNICA		SISTEMA		UNID. FUNCIONAL		
10071552		Acumulador Sello Vejiga Api 53B Bpc-3420				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
10071880		Mbl-3421 Motor Eléctrico 3Hp. 480V. 60Hz				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
10071881		Bl-3421 Bomb Unidad Automatica Llenado				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
10071882		Motor Mpe-3420 220W. 120V				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
10071883		Intercamb Calor Sello Api 53B Bpc-3420				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
10071884		Acople Motor Bomba Bpc-3420				TRO-PPUE		SBOM-HIDR		UBOM_BPP-15		
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones									P			P
Análisis Termográfico									P			
Análisis MCEmax											P	
Análisis Lubricante									P			P
P En Programación N Normal C Precaución A Alerta												

CONTROL DOCUMENTAL				
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION	PREPARADO / PREPARED	APROVADO / APPROVED
			Duban Carvajal	Freddy Melo
			Profesional CBM	Líder de Mtto y Confiabilidad

10.5 Hoja de vida – Bomba BPC - 7410

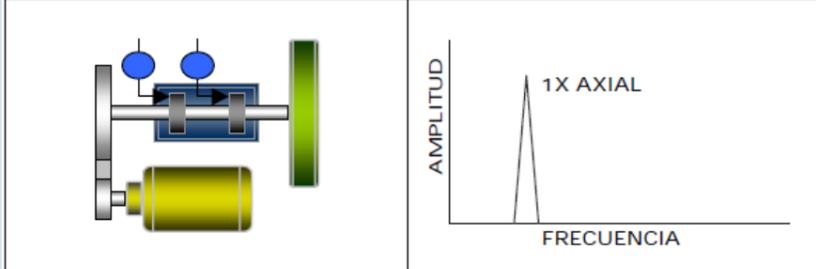
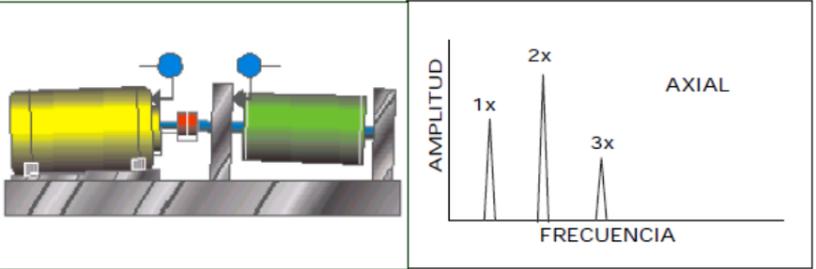
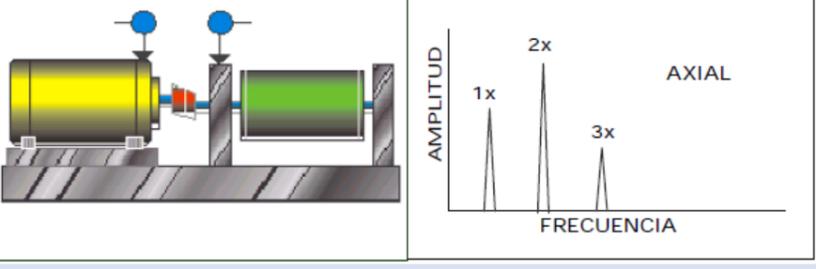
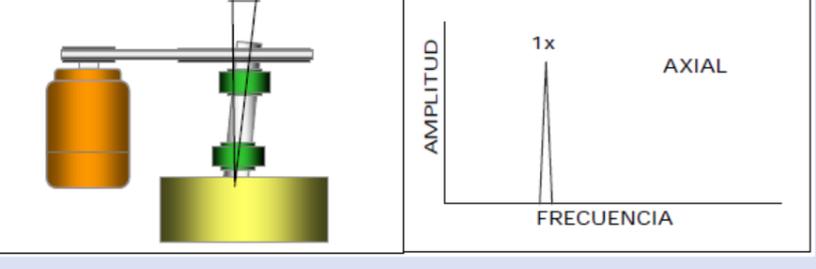
		HOJA DE VIDA DE EQUIPO						HVE 013				
(FOTO)	EQUIPO:	BPC7410 Bomba Ppal Centrífuga U#1 G/Day						LÍNEA:	Hidrocarburos			
	MARCA:	SULZER BINGHAM			PROVEED.:	BINGHAM		TIPO:	Activo Industrial			
	MODELO:	MSD			SERVICIO:	Bomba		SERIAL:	2D475			
	CLASE:	Bomba Centrífuga			TP OBJ:	Rotativos		PROTEC.:				
	UB. TÉCN.:	TRO-PPUE-SBOM-HIDR-UBOM_BPP-10			CÓD. SAP:	10007193		CRITICID:	Esencial			
	FECHA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO:				1/01/2015		COLOR:	Verde claro				
	DATOS DE EMPLAZAMIENTO											
	CE. EEMPL:	3040 Estaciones Centro Andina		EMPLAZ:	P0490 Estación Puerto Salgar		P. TRAB:	Troncal Central Estaciones				
	LUBRICACIÓN											
	SIST. LUBRICACIÓN:	Por anillo salpique		LUBRIC:	MOBIL NUTO H 68		CAMBIO:	3 meses / condición				
CANT.:	5 gal											
DATOS TÉCNICOS												
DIAM. SUCCION:	10 in		TIPO FLUIDO:	Refinado		SIST. SELLADO:	UZCP 3750 5X4A-1					
DIAM. ENTRADA:	8 in		TIPO ACOPLE:	Rígido		TIPO RODAMIENTO:	7310B / Babbit					
VELOCIDAD:	3560 RPM		TIPO IMPULSOR:	Cerrado		NORMA API:	610					
CAUDAL:	3200 L/min		POT. NOMINAL:	2500 Kw								
RESPONSABILIDADES												
RESP. OPERACIÓN:	Personal encargado del grupo CENIT (cliente)			RESP. MTTO:	Personal encargado del grupo STORK							
CENTRO PLANIF.:	2010 Cenit		GRUPO PLANIF.:	O&M Operación y mantenimiento								
PTO. TBJO. RESP.:	3040EMEC Especialidad mtto mecánica		PERFIL CATÁLOGO:	PMPUCE Bomba Centrífuga								
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO FORMATO RMN 3020 NORMA ISO 9001												
ACTIVIDADES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de Vibraciones			N	A		N			P			P
Análisis Termográfico			N			N			P			
Análisis MCEmax		N					N				P	
Análisis Lubricante				A			N		P			P
P En Programación N Normal C Precaución A Alerta												
CONTROL DOCUMENTAL												
VER. / ISSUE	VIGENTE DESDE / DATE		DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION			PREPARADO / PREPARED		APROVADO / APPROVED				
						Duban Carvajal Profesional CBM		Freddy Melo Líder de Mtto y Confiabilidad				

10.6 HOJA DE VIDA MPE-2430 / SECCIÓN DE VIBRACIONES

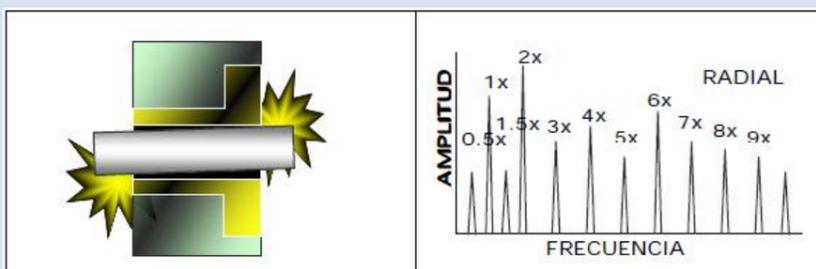
Severidad de una vibración según la norma ISO 10816-3								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. in/s	10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)	Velocidad Vibración
								11	0,433		
								7,1	0,28		
								4,5	0,177		
								3,5	0,138		
								2,8	0,11		
								2,3	0,091		
								1,4	0,055		
								0,71	0,028		
Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Fundación			
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P <= 300 kW		Máquinas grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de maquinaria			
Acople directo		Eje intermedio / Poleas		Motores 160mm <= H < 315mm		Motores H > 315mm					
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo			

■	Puesta en operación reciente
■	Operación para largo plazo
■	Operación para corto plazo
■	Vibración causando daños

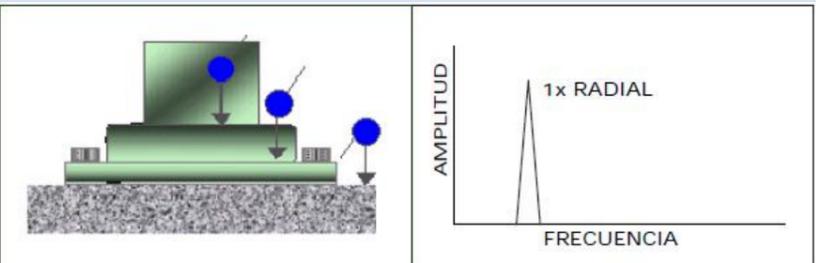
PATOLOGÍAS BÁSICAS CLASIFICADAS			
DESALINEACIÓN			
Desbalanceo estático		<p>Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro.</p>	<p>Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un sólo plano (en el centro de gravedad del rotor) con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo</p>
Desbalanceo dinámico		<p>El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor.</p>	<p>Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en DOS PLANOS con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico</p>

<p>Rotor colgante</p>		<p>Ocurre en rotores que se encuentran en el extremo de un eje. Es producido por desgaste en la superficie del rotor y doblamiento del eje</p>	<p>Para corregir la falla, primero debe verificarse que el rotor NO TENGA EXCENTRICIDAD NI QUE EL EJE ESTÉ DOBLADO. Luego debe realizarse el balanceo adecuado</p>
<p>Desalineación angular</p>		<p>Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales</p>	<p>Para corregirlo, el conjunto motor-rotor deben alinearse. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado</p>
<p>Desalineación paralela</p>		<p>Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales</p>	<p>Se debe alinear el conjunto para corregir el daño. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado</p>
<p>Desalineación entre chumaceras</p>		<p>En una máquina con transmisión de poleas, la mala posición de las chumaceras puede evitar que el eje se acomode correctamente, lo cual genera vibraciones anormales en sentido axial y radial</p>	<p>Es necesario hacer una verificación de que las chumaceras queden completamente paralelas entre si</p>

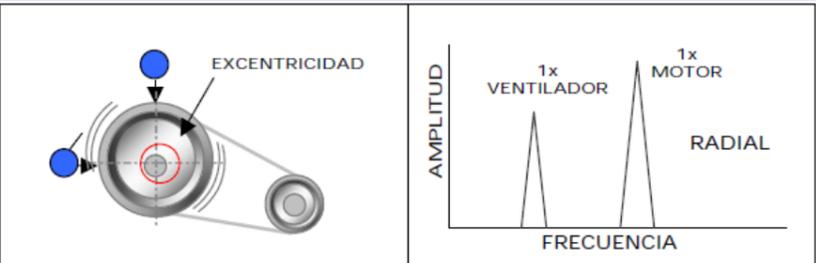
HOLGURAS MECÁNICAS

<p>Holgura eje - agujero</p>		<p>Aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego), y holgura entre el impulsor y su eje en bombas</p>	<p>Se recomienda verificar la colocación de los manguitos y los juegos eje-agujero cercanos al punto de medición. Igualmente, los ajustes de rotor-eje</p>
-------------------------------------	--	--	--

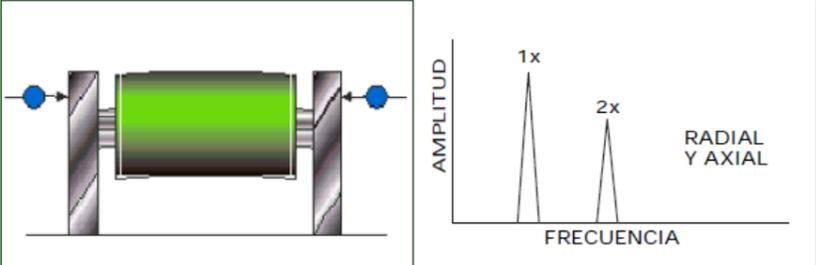
SOLTURA ESTRUCTURAL

<p>Soltura estructural</p>		<p>Ablandamiento o desplazamiento del pié de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción</p>	<p>Se recomienda primero revisar el estado de fatiga del pié de máquina (rajaduras, corrosión). Luego debe verificarse el estado de los sujetadores y por último el estado de la cimentación</p>
-----------------------------------	--	---	--

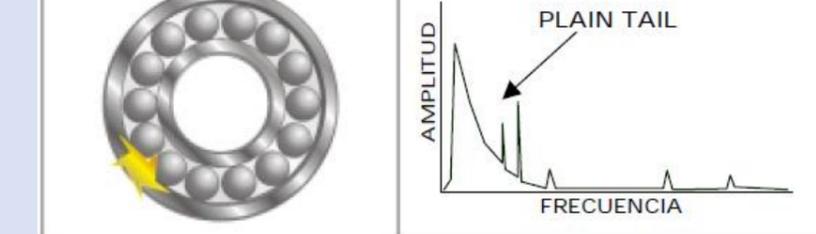
EXCENTRICIDAD

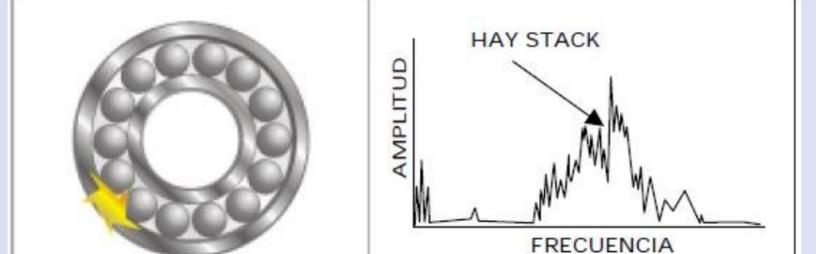
<p>Rotor excéntrico</p>		<p>Fácilmente confundible con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea o engranaje</p>	<p>Para corregir la falla, el rotor debe ser reensamblado o reemplazado. (Tratar de balancear el rotor excéntrico resulta en una disminución del nivel de vibración, en una dirección, y un aumento considerable en la otra)</p>
--------------------------------	--	--	--

ROTOR O EJE PANDEADO

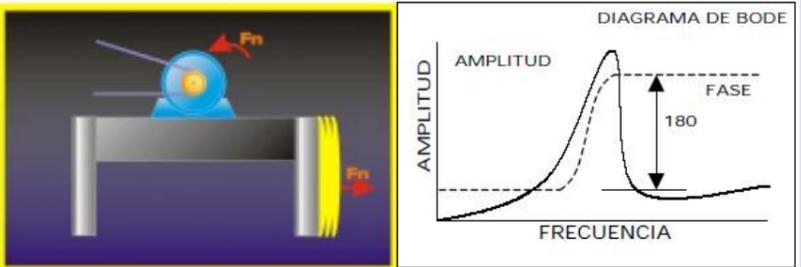
<p>Pandeo</p>		<p>Más común en ejes largos. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje</p>	<p>Para corregir la falla, el eje debe rectificarse o cambiarse.</p>
----------------------	---	---	--

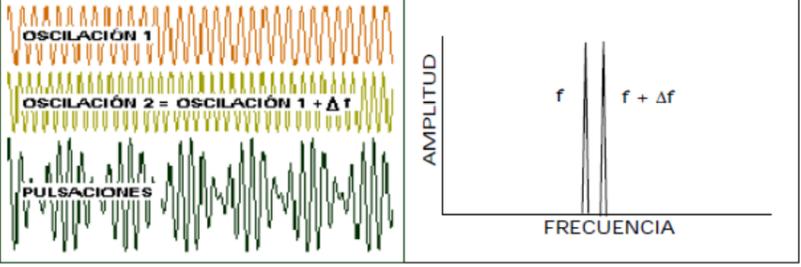
PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN

<p>Fricción abrasiva</p>		<p>Puede suceder por pérdida de propiedades del lubricante tales como viscosidad debido a temperatura excesiva o por contaminación. También puede ser producido por falta de cumplimiento con el programa de lubricación</p>	<p>Revisar el programa de lubricación de la máquina, lubricar y medir de nuevo en dos horas. Se debe hacer un seguimiento en las siguientes mediciones</p>
---------------------------------	--	--	--

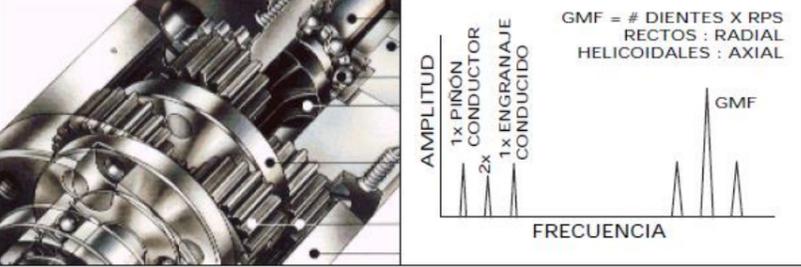
<p>Contacto metal - metal</p>		<p>Se produce por falta de lubricante, por contaminación de agua o polvo que no deja trabajar correctamente el lubricante o por exceso de velocidad</p>	<p>Se recomienda revisar el número de horas de los rodamientos y el programa de lubricación. Inspeccionar posibles fallas en los rodamientos</p>
--------------------------------------	--	---	--

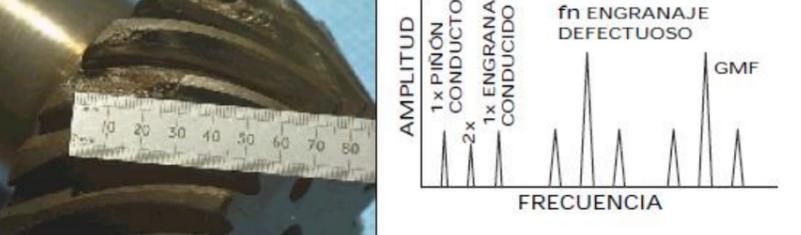
RESONANCIAS Y PULSACIONES

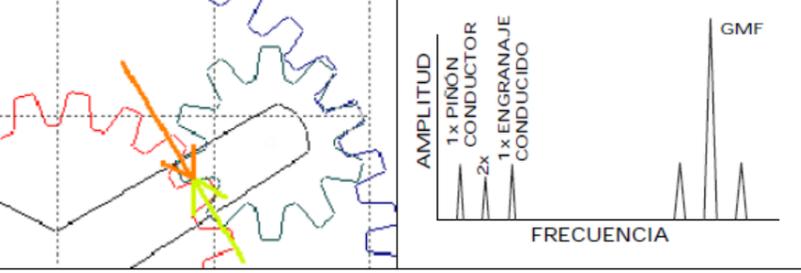
<p>Resonancia</p>		<p>Ocurre cuando la velocidad de una fuerza conducida iguala la frecuencia natural de una estructura o una parte de ella</p>	<p>Se requieren cambios periódicos de localización de la frecuencia natural</p>
--------------------------	--	--	---

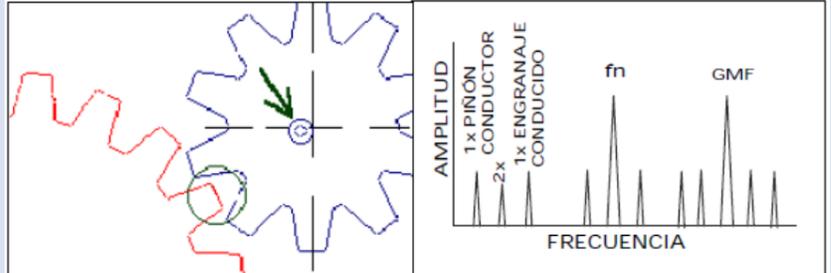
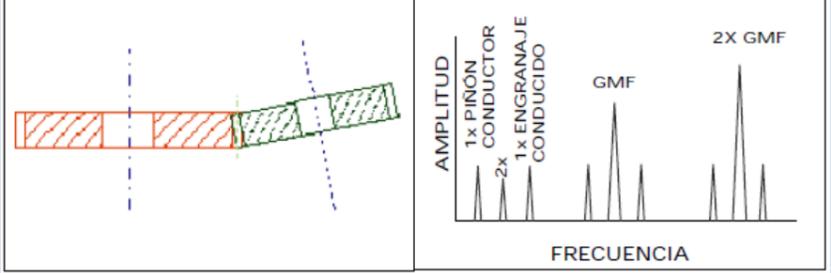
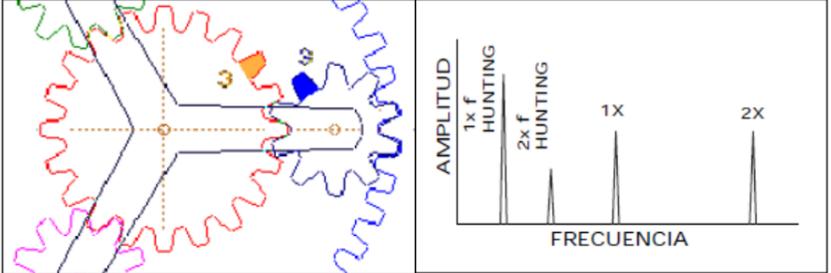
<p>Pulsaciones</p>		<p>Sucede cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Generalmente se produce por dos máquinas cercanas que trabajan casi a la misma velocidad</p>	<p>Para solucionar el problema se deben aislar estructuralmente las máquinas en conflicto</p>
---------------------------	--	--	---

FALLAS EN ENGRANAJES

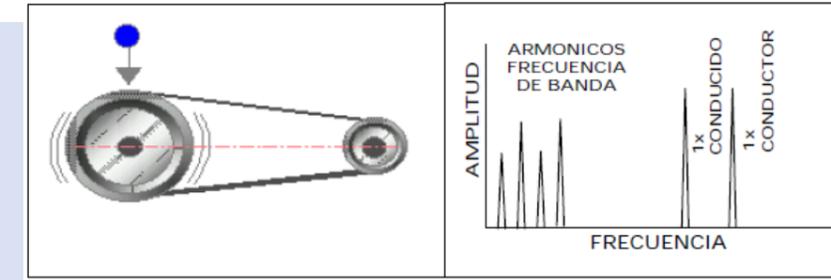
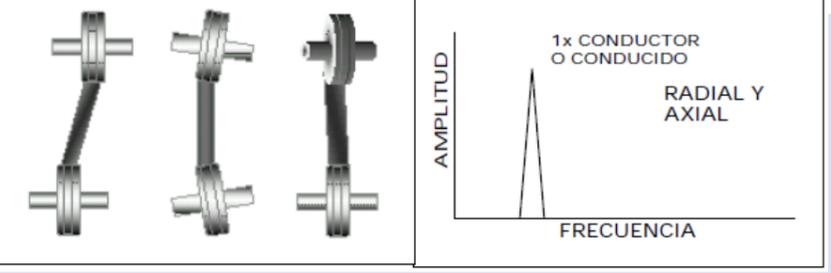
<p>Estado normal</p>		<p>Espectro característico de un engranaje en estado normal (esta no es una patología)</p>	<p>El engranaje se encuentra en buen estado si estos picos de vibración se encuentran en niveles relativamente bajos</p>
-----------------------------	---	--	--

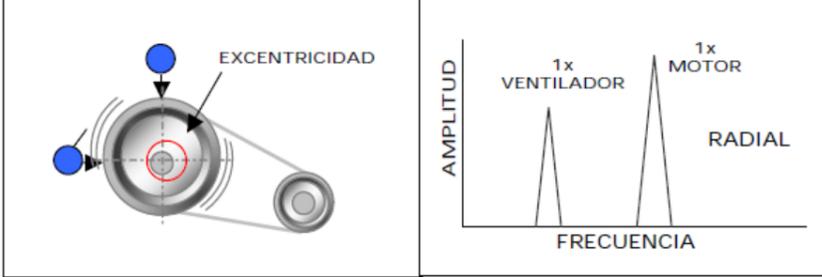
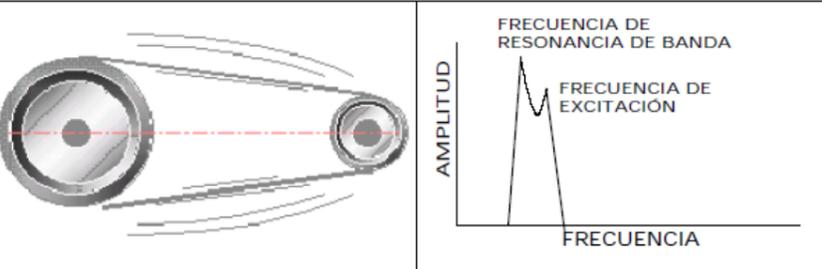
<p>Desgaste en diente</p>		<p>Ocurre por operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo</p>	<p>Para solucionar el problema debe cambiar o rectificar el engranaje (sólo si este no está sometido a grandes cargas y la urgencia lo amerita). Si el desgaste es prematuro inspeccione desalineación en el eje o excentricidad en el engranaje</p>
----------------------------------	--	---	--

<p>Sobrecarga en engrane</p>		<p>Todos los dientes están recibiendo sobrecarga continúa</p>	<p>Debe buscarse algún elemento que esté aumentando el torque transmitido más allá de lo normal (rodamiento o buje defectuoso, fallas en lubricación y anomalías en general en el rotor conducido que dificulten el movimiento)</p>
-------------------------------------	--	---	---

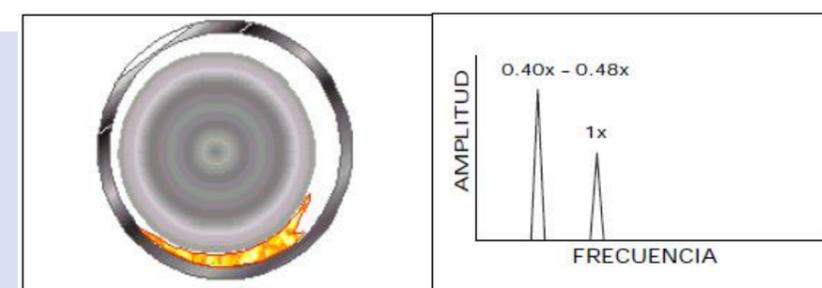
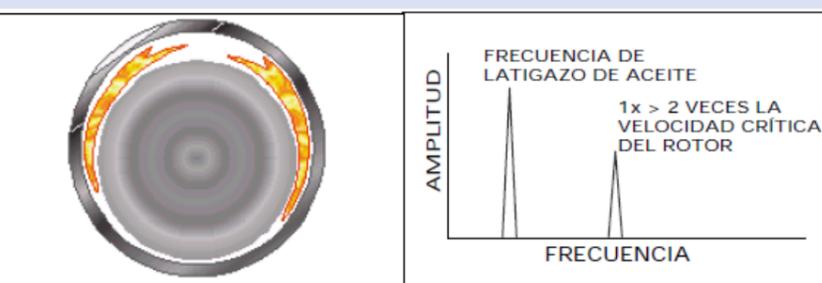
<p>Excentricidad y/o backlash</p>		<p>La excentricidad ocurre cuando el centro de simetría no coincide con el centro de rotación. El backlash se produce cuando, al terminar el contacto entre dos dientes, los dos siguientes no entran inmediatamente en contacto</p>	<p>Para corregir el problema, el engranaje debe ser reensamblado o reemplazado si se encuentran problemas de manufactura</p>
<p>Engranaje desalineado</p>		<p>Se presenta cuando las ruedas dentadas fueron ensambladas con errores de alineación o cuando sus ejes no están paralelos</p>	<p>El conjunto debe ser realineado para corregir el problema</p>
<p>Problemas de Hunting</p>		<p>Problemas leves en la manufactura o manipulación indebida producen que, cuando dos dientes específicos del piñón y el engranaje conducido se encuentran, generen vibraciones de choque</p>	<p>Si se determina que el problema es severo, deben reemplazarse el par de engranajes y debe tenerse más precaución en la manipulación</p>

BANDAS

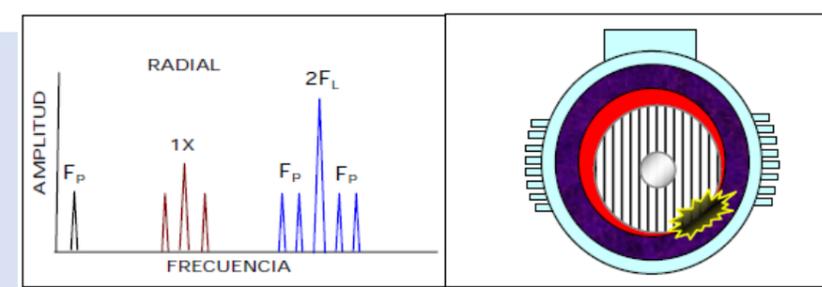
<p>Distensión</p>		<p>Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma</p>	<p>Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario reemplácela</p>
<p>Desalineación en poleas</p>		<p>Puede ocurrir porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente</p>	<p>Para solucionar el problema deben alinearse las poleas tanto angular como paralelamente</p>

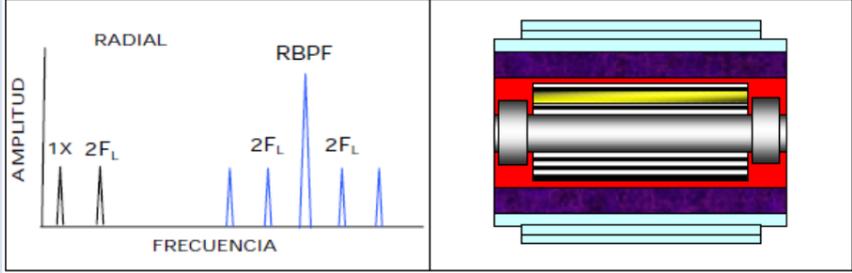
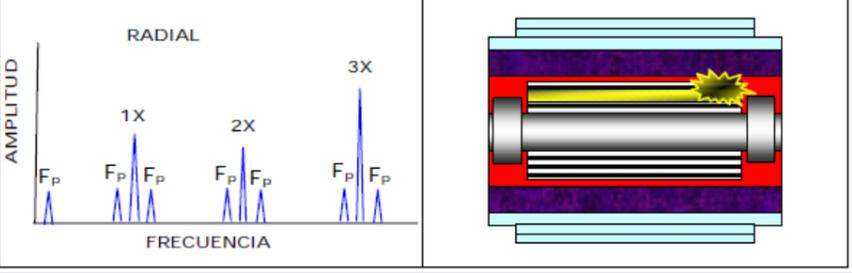
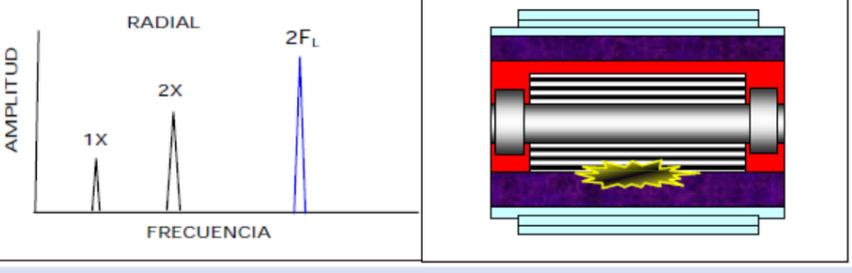
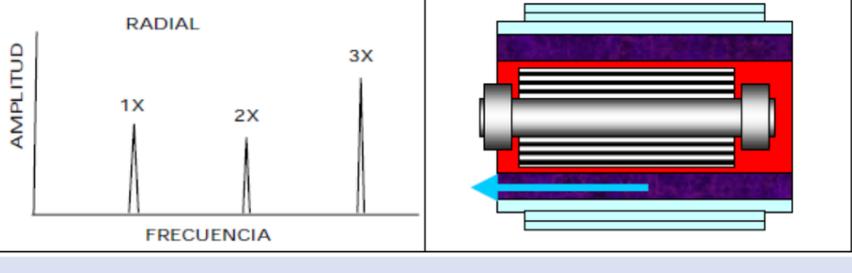
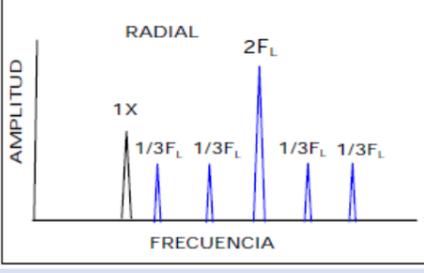
<p>Excentricidad de poleas</p>	 <p>The diagram shows a pulley with an eccentric center of rotation. The vibration spectrum shows two peaks at 1x VENTILADOR and 1x MOTOR, labeled as RADIAL.</p>	<p>Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea</p>	<p>Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzos de fatiga reversible. Se recomienda cambiarse la polea excéntrica</p>
<p>Resonancia banda</p>	 <p>The diagram shows a belt between two pulleys. The vibration spectrum shows a peak at FRECUENCIA DE RESONANCIA DE BANDA and a smaller peak at FRECUENCIA DE EXCITACIÓN.</p>	<p>Sucede si la frecuencia natural de la banda coincide o se aproxima a las RPS del motor o de la máquina conducida</p>	<p>La frecuencia natural puede ser alterada cambiando la tensión de la banda o su longitud</p>

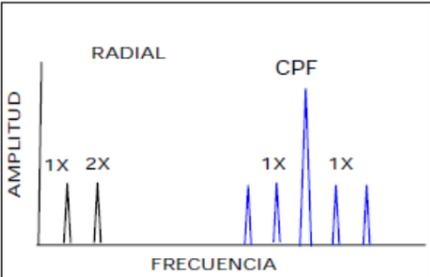
COJINETES

<p>Remolino de aceite</p>	 <p>The diagram shows a bearing with oil whirl. The vibration spectrum shows a peak at 0.40x - 0.48x and a smaller peak at 1x.</p>	<p>Normal en chumaceras y crítico si el desplazamiento supera 0.5 veces la holgura eje-agujero</p>	<p>Se recomienda volver a seleccionar el lubricante o modificar las especificaciones de la chumacera para corregir el problema</p>
<p>Latigazo de aceite</p>	 <p>The diagram shows a bearing with oil whip. The vibration spectrum shows a peak at FRECUENCIA DE LATIGAZO DE ACEITE and a smaller peak at 1x > 2 VECES LA VELOCIDAD CRÍTICA DEL ROTOR.</p>	<p>Es el remolino de aceite, presente al superar el doble de la velocidad crítica del rotor. El nivel de vibración fatiga y desgasta aceleradamente la película de aceite</p>	<p>En caso de ocurrir esta falla, deben emplearse lubricantes especiales para estas condiciones de carga y velocidad</p>

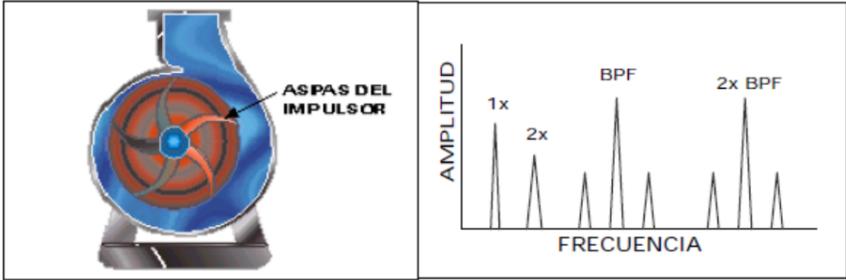
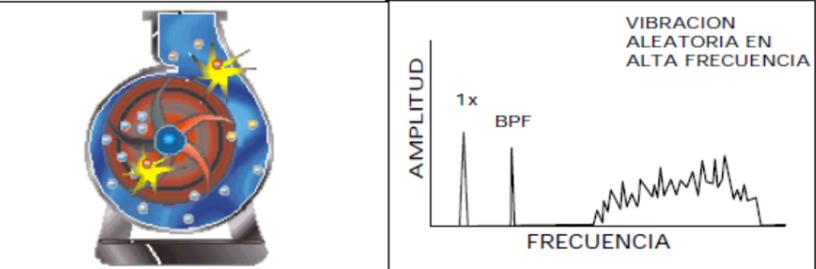
MOTORES ELÉCTRICOS

<p>Entrehierro variable o excéntrico</p>	 <p>The diagram shows a motor with a variable air gap. The vibration spectrum shows peaks at Fp, 1x, and 2FL.</p>	<p>Es producido por causa de un rotor desbalanceado o con excentricidad, u otra condición mecánica anormal que no permita la uniformidad del espacio entre el estator y el rotor, como un estator flexible</p>	<p>Debe centrarse la armadura o el rotor. Se debe confirmar que los rodamientos del motor no tengan juego o las tapas del motor no estén descentradas</p>
---	---	--	---

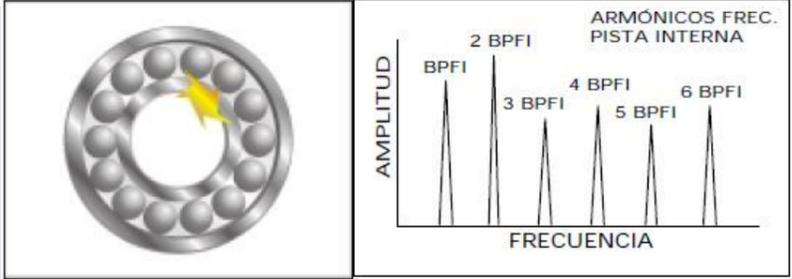
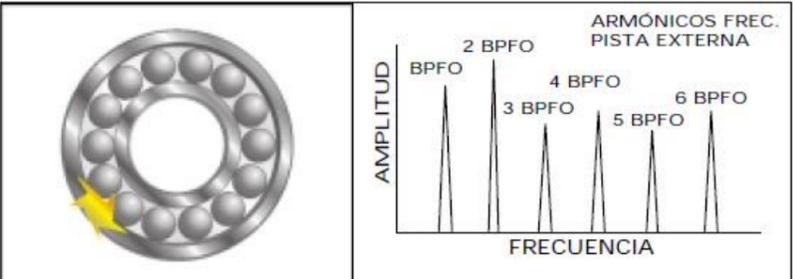
<p>Barras de rotor sueltas</p>		<p>Ocurre cuando una de las barras que rodea el rotor del motor se suelta y hace que las demás barras tengan que hacer el trabajo de ésta</p>	<p>Reemplazar o reparar el rotor</p>
<p>Barras de rotor rotas</p>		<p>Ocurre cuando una de las barras que rodea el rotor del motor se rompe y hace que las demás barras tengan que hacer el trabajo de ésta</p>	<p>Reemplazar o reparar el rotor</p>
<p>Estator excéntrico</p>		<p>La excentricidad de un estator está muy ligada con el entrehierro variable y produce alta vibración direccional. Para motores de inducción, el entrehierro no debe exceder el 5% y para motores sincrónicos, el 10%</p>	<p>Una base endeble puede producir excentricidad en el estator y laminaciones, las cuales producirán calor localizado que crecerá con la operación del motor</p>
<p>Rotor fuera del centro magnético</p>		<p>El rotor se sale del centro magnético en forma axial y produce alta vibración en este sentido</p>	<p>Es necesario corregir el componente que está permitiendo salir al rotor de su centro magnético, tal como un rodamiento con juego axial o un acople dañado</p>
<p>Problemas de fase</p>		<p>Este problema es causado por conectores dañados o flojos. Este problema puede exceder un nivel de vibración en 25 mm/s, si no se corrige</p>	<p>Cambiar conectores</p>

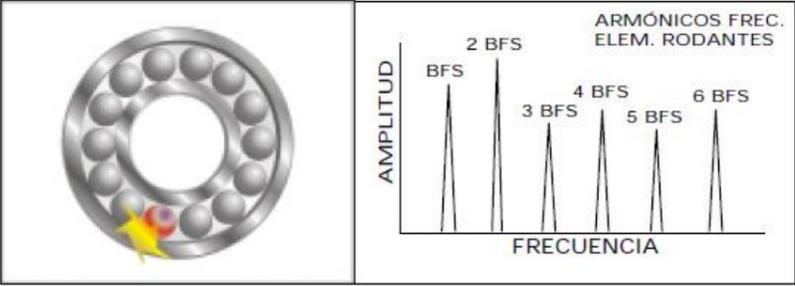
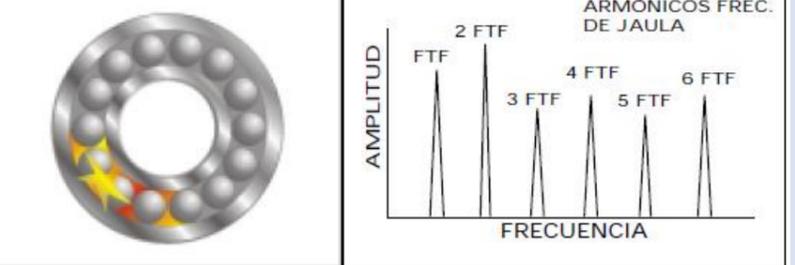
<p>Holgura en la bobina del estator</p>	 <p>Gráfico de Amplitud vs Frecuencia. Muestra picos en 1x y 2x en la zona RADIAL, y picos en 1x en la zona CPF.</p>	<p>En motores sincrónicos una de las bobinas del estator se puede soltar por desgaste</p>	<p>Se debe rebobinar el estator</p>
--	--	---	-------------------------------------

FLUJO DE LÍQUIDOS

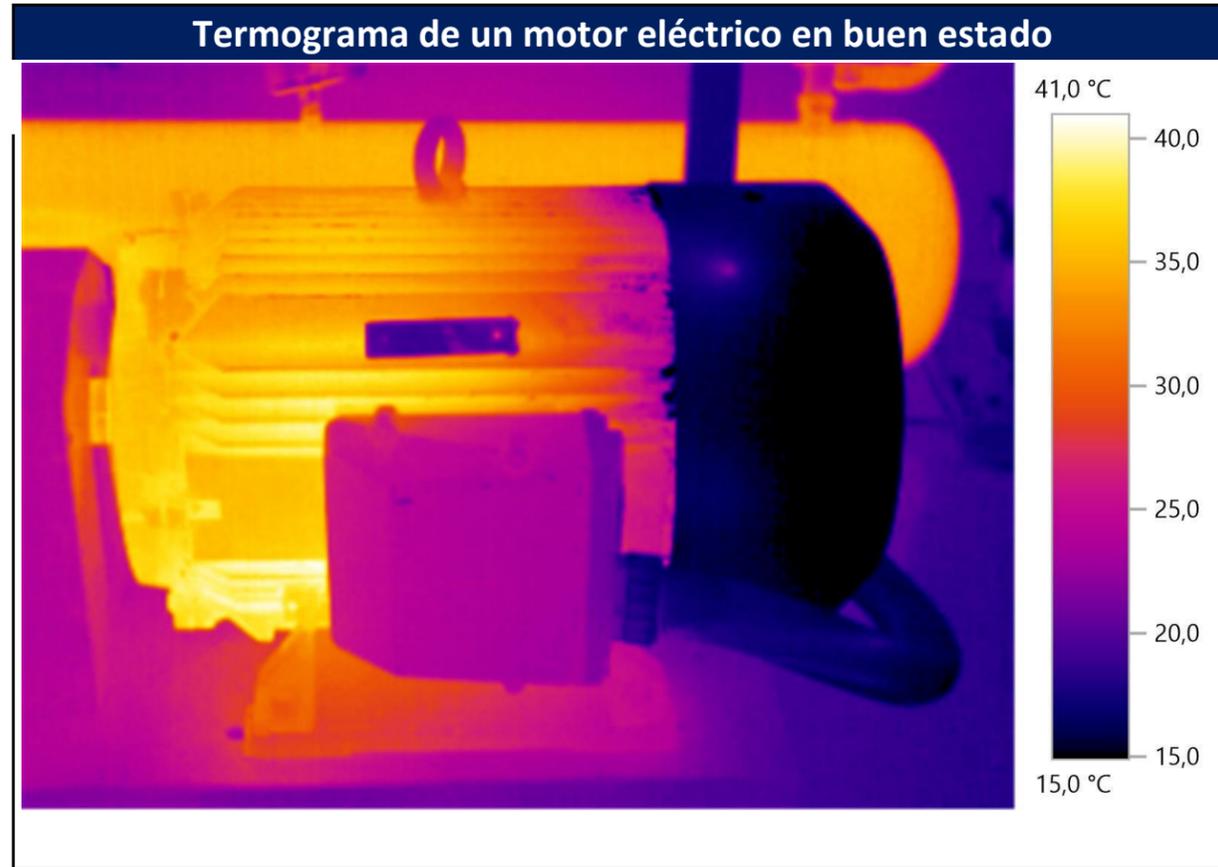
<p>Frecuencia de aspas</p>	 <p>Diagrama de la bomba con el impulsor etiquetado como 'ASPAS DEL IMPULSOR'. Gráfico de Amplitud vs Frecuencia con picos en 1x, 2x, BPF y 2x BPF.</p>	<p>Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la carcasa. Producida por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas</p>	<p>En caso de aumentos en la BFP deben revisarse cambios abruptos de dirección del fluido y posibles obstrucciones parciales en la descarga de la bomba</p>
<p>Cavitación</p>	 <p>Diagrama de la bomba con burbujas de vapor. Gráfico de Amplitud vs Frecuencia con un pico en 1x BPF y una zona de 'VIBRACION ALEATORIA EN ALTA FRECUENCIA'.</p>	<p>Es la entrada de aire o vaporización de un fluido dentro de la bomba. Ocurre cuando la presión de fluido es menor que la presión de vapor a esta temperatura. La cavitación causará erosión a las partes internas de la bomba</p>	<p>Para solucionar el problema debe controlarse con más rigor la presión de succión y tenerse cuidado con el proceso para cebar la bomba</p>

FALLAS EN RODAMIENTOS

<p>Falla en pista interna</p>	 <p>Diagrama de un rodamiento con una falla en la pista interna. Gráfico de Amplitud vs Frecuencia con picos en BPF, 2 BPF, 3 BPF, 4 BPF, 5 BPF y 6 BPF. Etiqueta: 'ARMÓNICOS FREC. PISTA INTERNA'.</p>	<p>Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente</p>	<p>El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento. Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga</p>
<p>Falla en pista externa</p>	 <p>Diagrama de un rodamiento con una falla en la pista externa. Gráfico de Amplitud vs Frecuencia con picos en BPFO, 2 BPFO, 3 BPFO, 4 BPFO, 5 BPFO y 6 BPFO. Etiqueta: 'ARMÓNICOS FREC. PISTA EXTERNA'.</p>	<p>Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente</p>	<p>El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento. Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga</p>

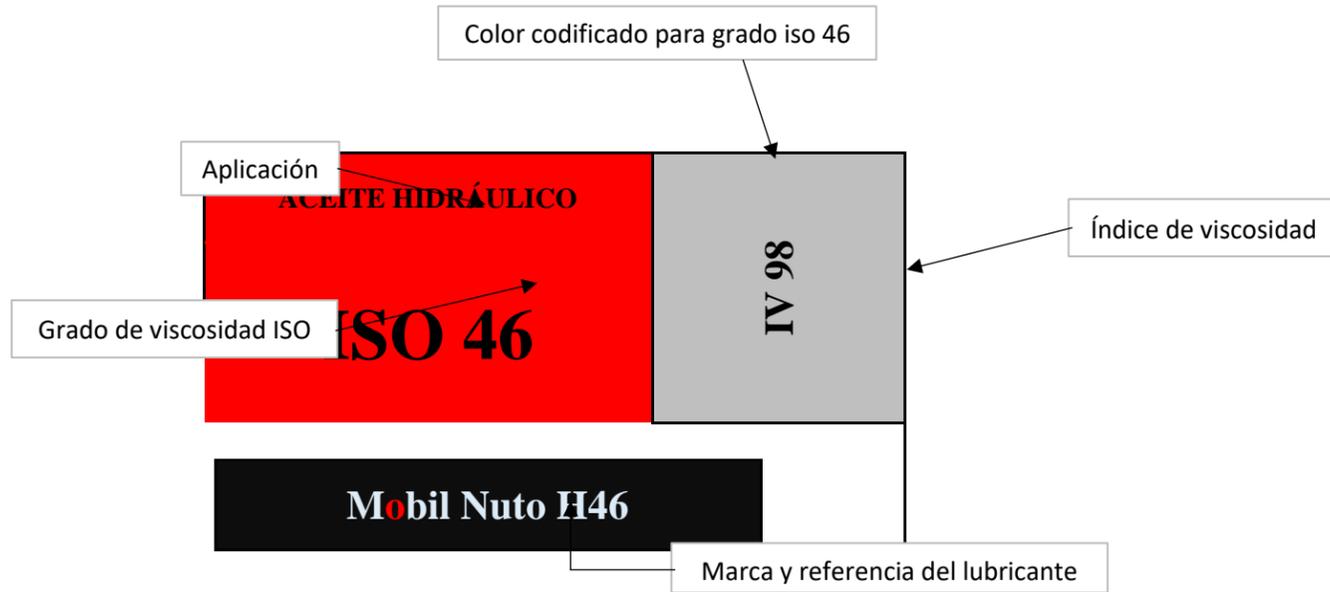
<p>Falla en elementos rodantes</p>	 <p>Diagrama de un rodamiento con un elemento rodante agrietado. El gráfico de amplitud vs frecuencia muestra picos en BFS, 2 BFS, 3 BFS, 4 BFS, 5 BFS y 6 BFS. El título del gráfico es 'ARMÓNICOS FREC. ELEM. RODANTES'.</p>	<p>Agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente</p>	<p>El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga</p>
<p>Deterioro de la jaula</p>	 <p>Diagrama de un rodamiento con una jaula deformada. El gráfico de amplitud vs frecuencia muestra picos en FTF, 2 FTF, 3 FTF, 4 FTF, 5 FTF y 6 FTF. El título del gráfico es 'ARMÓNICOS FREC. DE JAULA'.</p>	<p>Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes</p>	<p>El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Revise la posible causa que está dando origen a la falla</p>

10.7 HOJA DE VIDA MPE-2430 / SECCIÓN DE TERMOGRAFÍA



TIPO DE EQUIPAMIENTO	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Subestaciones de Alto voltaje	1-3 años
Transformadores	Anualmente
Centros de Control de Motores 400V con Aire acondicionado	6-12 meses
Sin aire acondicionado o más Antiguos	4-6 meses
Equipamiento de distribución eléctrica	4-6 meses
Motores grandes*	Anualmente
Motores más pequeños	4-6 meses

10.8 HOJA DE VIDA MPE-2430 / SECCIÓN DE LUBRICACIÓN



ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR	ISO VG	COLOR*	NOMBRE DEL COLOR
10	[Light Blue]	2975 C	220	[Dark Red]	1955 C
15	[Pink]	217 C	320	[Orange]	144 C
22	[Dark Green]	3435 C	460	[Light Green]	376 C
32	[Blue]	2925 C	680	[Purple]	527 C
46	[Red]	485 C	1000	[Light Purple]	528 C
68	[Green]	356 C	1500	[Grey]	430 C
100	[Yellow]	Amarillo C	2200	[Teal]	326 C
150	[Dark Blue]	661 C	3200	[Purple]	254 C

FOTO	Und Bombeo Ppal 3 PUE-MAN L10 BPP-05								
	ACEITE HIDRÁULICO ISO 46	IV 98 MPE2430 Motor Principal U#3 L10/SIEMENS							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tareas</th> <th>Frecuencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muestra de aceite</td> <td>Predictiva/Mensual</td> </tr> <tr> <td>Rellenar aceite según nivel</td> <td>Mensual o por condición</td> </tr> <tr> <td>Cambio de aceite</td> <td>Semestral o por condición de muestra de aceite</td> </tr> </tbody> </table>	Tareas	Frecuencia	Muestra de aceite	Predictiva/Mensual	Rellenar aceite según nivel	Mensual o por condición	Cambio de aceite
	Tareas	Frecuencia							
	Muestra de aceite	Predictiva/Mensual							
Rellenar aceite según nivel	Mensual o por condición								
Cambio de aceite	Semestral o por condición de muestra de aceite								
Mobil Nuto H46									
Lubricación por circulación de aceite. Cantidad: 35 galones.									

RUTA 360 DE INSPECCIONES DE LUBRICACIÓN			
Variables de lubricación	Norma	Anorma	Observación
	I	I	
Flujo (Verificación o cantidad) en diferentes puntos de la máquina			Verificar en cuarto de control
Presión en diferentes puntos de la máquina			Verificar en cuarto de control
Temperatura en diferentes puntos de la máquina			Verificar en cuarto de control
Inspección de variable y condición del instrumento (flujómetro) en diferentes puntos de la máquina			Verificar en campo

Inspección de variable y condición del instrumento (PI ó indicador transmisor de presión) en diferentes puntos de la máquina			Verificar en campo
Inspección de variable y condición del instrumento (TI ó indicador transmisor de temperatura) en diferentes puntos de la máquina			Verificar en campo
Mirillas/Visores de inspección de nivel de aceite	Norma 	Anorma 	Observación
Visor de nivel de aceite (alto/medio/bajo, oscurecimiento del aceite, aceite turbio, espuma en los visores, cambio en el nivel, barnices en las mirillas)			Debe ser traslúcido
Visor de sedimentos del fondo del cárter (oscurecimiento del aceite, aceite turbio, agua libre, partículas de desgaste grandes, acumulación de lodos)			Debe ser traslúcido
Visores de flujo (espumación del aceite, oscurecimiento del aceite, flujo turbulento/laminar, aceite turbio)			Debe ser traslúcido
Volumen de aceite del cárter			Superior al 70% de su capacidad
Fugas de aceite en visores y mirillas (humedecimiento, goteo, chorro continuo)			Identificar el comportamiento de la fuga
Ventilación	Norma 	Anorma 	Observación
Condición de respiradores o venteos (taponamiento de agujeros o tapa-filtros). Validar si están para cambio			No deben de estar obstruidos
Color del filtro desecante (si aplica, cambiar por condición de contaminación)			
Identificar fuga de aceite por venteos (Humos/Vapores/Espuma/Gotas de aceite mínimas ó aspersión de aceite constante)			
Identificar fugas de aceite por empaquetadura ó tapas en mal estado (ajuste de tapas, cambio de empaques)			
Exterior del tanque	Norma 	Anorma 	Observación
Fugas de aceite (identificar fisuras o agrietamiento en superficie del tanque)			Revisar soldaduras
Sellado de cubiertas y compuertas (se debe contar con todos los pernos correspondientes a la cubierta)			Pernos ajustados
Empaquetaduras en buenas condiciones de sello			No deben existir fugas de fluido
Contaminantes sobre la superficie externa (sílice, agua y material particulado)			Superficies totalmente limpias para evitar ingreso de contaminantes al sistema
Interior del tanque	Norma 	Anorma 	Observación
Espuma (espumación de aceite)			Identificar puntos de ingreso de aire al sistema y revisar análisis de aceite (desgaste de aditivos)
Partículas flotantes			Revisar análisis de aceite
Barniz (apariencia de cáscara de naranja)			Reportar al especialista de lubricación
Filtro de aceite	Norma 	Anorma 	Observación
Diferencial de Presión			
Partículas centrifugadas			
Ultimo cambio o limpieza del filtro de aceite si aplica.			
Inspecciones de desgaste en componentes de la máquina. Inspección interna	Norma 	Anorma 	Observación
Picado de metales, grietas, fisuras. Anillos del salpique, cojinetes lisos, ejes , rodamientos , sellos, ect			Aplica para inspección interna de equipos
Cascabeleo y rechinos (ruidos extraños en la máquina)			Reportar a especialista CBM
Depósitos de carbón (Carbonizado por la combustión)			Reportar a especialista de lubricación
Depósitos de partículas o barniz (apariencia de cáscara de naranja)			Reportar a especialista de lubricación
Decoloración de la superficie (alta temperatura)			Reportar a especialista de lubricación
Huellas de corrosión			Reportar a especialista de lubricación
Huellas de desgaste abrasivo y adhesivo. Ejes , cojinetes lisos, rodamientos , cuñas.			Reportar a especialista de lubricación y CBM
Soldaduras de puntos de fijación a la base del equipo. Pernos.			Reportar a especialista CBM