



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para
aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de
hidrocarburos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

AUTORES:

Almeida Valdiviezo, Karl Hansen Olaf (orcid.org/0000-0003-4020-4692)

Valladares Saldarriaga, Leonard (orcid.org/0000-0003-4726-2027)

ASESOR:

Dr. Purihuaman Leonardo, Celso Nazario (orcid.org/0000-0003-1270-0402)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

PIURA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, PURIHUAMAN LEONARDO CELSO NAZARIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis titulada: "Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos", cuyos autores son ALMEIDA VALDIVIEZO KARL HANSEN OLAF, VALLADARES SALDARRIAGA LEONARD, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 23 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
PURIHUAMAN LEONARDO CELSO NAZARIO DNI: 16706577 ORCID: 0000-0003-1270-0402	Firmado electrónicamente por: PLEONARDOCN el 13-08-2024 09:55:30

Código documento Trilce: TRI - 0831894





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, ALMEIDA VALDIVIEZO KARL HANSEN OLAF, VALLADARES SALDARRIAGA LEONARD estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KARL HANSEN OLAF ALMEIDA VALDIVIEZO DNI: 40609737 ORCID: 0000-0003-4020-4692	Firmado electrónicamente por: KALMEIDAV el 23-07-2024 21:58:02
LEONARD VALLADARES SALDARRIAGA DNI: 43909274 ORCID: 0000-0003-4726-2027	Firmado electrónicamente por: LVALLADARESS el 23-07-2024 22:09:20

Código documento Trilce: TRI - 0831896

Dedicatoria

Dedicado a Dios, por guiarme en este camino de superación, a mis padres y hermano que con su amor me llenaron de fortaleza para sacar adelante este proyecto de vida, a mi querida esposa y amadas hijas por ser el motor que me motiva a crecer profesionalmente.

Leonard Valladares Saldarriaga

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar este proceso de obtener uno de mis anhelos deseados. Extiendo también mi gratitud a mis padres y tíos por su esfuerzo y ser mi guía en todos estos años.

A mis hijos, que son mi motivación y una profunda estima a mi novia, por estar siempre presente, por su apoyo moral e incondicional que ha sido crucial para la consolidación de este trabajo.

Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf

Agradecimiento

Agradecemos a nuestras familias por su apoyo incondicional durante todo este proceso de formación profesional, por motivarnos y animar a continuar en los momentos más difíciles a tomar las mejores decisiones, a nuestros padres por ser ejemplo de perseverancia y por estar pendiente a lo largo de nuestra vida universitaria.

A la universidad César Vallejo por abrirnos sus puertas y darnos la oportunidad de llegar a ser buenos profesionales. A nuestros compañeros de trabajo por el apoyo y tolerancia para permitir culminar y cumplir nuestra meta.

Los autores.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	ii
Declaratoria de originalidad del autores	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	ix
Resumen	x
Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	11
III. RESULTADOS	17
IV. DISCUSIÓN.....	77
V. CONCLUSIONES.....	79
VI. RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS.....	81
AANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Activos de la muestra de la empresa de Hidrocarburos	13
Tabla 2. Análisis de la encuesta	18
Tabla 3. Resultado del análisis de criticidad de las máquinas.	20
Tabla 4. Historial de las fallas del motocompresor intermedio 1.....	23
Tabla 5. Historial de fallas de motocompresor intermedio 2.	25
Tabla 6. Perdida monetaria de los equipos con riesgo alto, medio y bajo.....	31
Tabla 7. Porcentaje de los equipos según riesgo alto, medio y bajo	33
Tabla 8. Costo de falla compresor intermedio 1.....	39
Tabla 9. Costo de falla compresor intermedio 2.....	39
Tabla 10. Producción fiscalizada 2023.....	42
Tabla 11. Producción de los últimos 6 meses	42
Tabla 12. Pronóstico de producción diaria 2024	43
Tabla 13. Producción fiscalizada 2023.....	43
Tabla 14. Producción de los últimos 6 meses	44
Tabla 15. Pronóstico de producción diaria 2024	44
Tabla 16. Intervalos y cantidad de mantenimientos con programa actual.	46
Tabla 17. Costo por pérdida de barriles.	46
Tabla 18. Costo por pérdidas en mantenimientos.....	46
Tabla 19. Diagrama de Pareto.....	48
Tabla 20. Indicadores de performance de motocompresores.....	50
Tabla 21. Vista parcial del Estudio de Fallas a detalle a través del FMECA	51
Tabla 22. Resultados de análisis FMECA	53
Tabla 23. Plan de mantenimiento de 1000 horas	55
Tabla 24. Plan de mantenimiento de 2000 horas	57
Tabla 25. Plan de mantenimiento de 5000 horas.....	60
Tabla 26. Plan de mantenimiento de 10000 horas.....	64
Tabla 27. Horas y costos de mantenimiento	68
Tabla 28. Intervalos y cantidad de mantenimientos a ejecutar con el RCM	68
Tabla 29. Nueva producción de barriles.....	69
Tabla 30. Beneficio por la implementación de RCM	69

Tabla 31. Productividad	70
Tabla 32. Características de los costos y producción de barriles	70
Tabla 33. Eficacia.	71
Tabla 34. Eficiencia.....	72
Tabla 35. Pruebas de normalidad para la eficiencia.....	73
Tabla 36. Estadísticos de contraste.....	74
Tabla 37. Pruebas de normalidad para la eficacia.....	75
Tabla 38. Estadísticos de contraste.....	75
Tabla 39. Prueba de normalidad para la productividad.....	76
Tabla 40. Estadísticos de contraste.....	76

Índice de figuras

Figura 1. Modos de falla de subsistema de compresión de gas	27
Figura 2. Modo de falla 1. Motor	28
Figura 3. Modo de falla 2: Compresor.....	29
Figura 4. Modo de falla 3: Cooler	30
Figura 5. Análisis en equipos de riesgo alto.	34
Figura 6. Análisis en equipos de riesgo medio-bajo.	35
Figura 7. Análisis de pérdidas en barriles por hora para equipos de riesgo alto.....	36
Figura 8. Análisis de pérdidas en barriles por hora para equipos de riesgo medio.....	37
Figura 9. Análisis en equipos de Riesgo alto	40
Figura 10. Análisis en equipos de riesgo medio	41
Figura 11. Proyección de la productividad	45
Figura 12. Diagrama de Ishikawa de las causas de la baja productividad.....	47
Figura 13. Diagrama de pareto de las causas de la baja productividad.....	49
Figura 14. Árbol lógico de decisión del RCM.....	52

Resumen

El objetivo de esta investigación fue implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos. La investigación aplicada, con enfoque mixto y diseño pre-experimental, abordó las constantes paradas de los motocompresores debido a fallas correctivas. Se identificó que el mantenimiento se programaba cada 1500 horas, lo cual reducía la producción de petróleo crudo. La metodología RCM propuso un nuevo plan de mantenimiento con tareas preventivas y proactivas, reduciendo las paradas y mejorando la productividad. Como resultado, el nuevo intervalo de mantenimiento es de 1000 horas. Antes de la mejora, la producción era de 870 barriles/día con un mantenimiento cada 1500 horas. Con el análisis RCM, el nuevo plan de mantenimiento cada 1000 horas aumentó la producción a 1175 barriles/día, mejorando la productividad en un 18 %. Se concluyó que la aplicación del RCM estableció un programa de mantenimiento eficiente que minimiza las pérdidas de producción por paradas inesperadas. Cada falla se aborda con un esquema optimizado, aumentando la disponibilidad del equipo. Esto reduce las horas hombre en reparaciones y libera recursos para mejoras en el sistema.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, confiabilidad, productividad.

Abstract

The objective of this research was to implement reliability-centered maintenance (RCM) to increase crude oil productivity in a hydrocarbon company. The applied research, with a mixed approach and pre-experimental design, addressed the constant stoppages of the motor compressors due to corrective failures. It was identified that maintenance was scheduled every 1500 hours, which reduced crude oil production. The RCM methodology proposed a new maintenance plan with preventive and proactive tasks, reducing shutdowns and improving productivity. As a result, the new maintenance interval is 1000 hours. Before the upgrade, production was 870 barrels/day with maintenance every 1500 hours. With the RCM analysis, the new 1000-hour maintenance schedule increased production to 1175 barrels/day, improving productivity by 18%. It was concluded that the RCM application established an efficient maintenance program that minimizes production losses due to unexpected shutdowns. Each failure is addressed with an optimized schedule, increasing equipment availability. This reduces man-hours in repairs and frees up resources for system improvements.

Keywords: Maintenance plan, reliability, productivity.

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento en las empresas tiene como principal objetivo, mantener el buen funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones y en estos últimos tiempos ha logrado pasar de métodos estáticos a métodos dinámicos. Los investigadores de todo el mundo están laborando para desarrollar y aplicar nuevos métodos y técnicas para mejorar los procesos de mantenimiento (Enriques et al. 2020)

En Ecuador, se evidencia en la empresa EUROFISH una deficiencia sobre el mantenimiento en la línea de producción ya que no realizan con tiempo las acciones correctivas y preventivas además de ello no existe un método establecido para la administración de mantenimiento por parte de la empresa que permita prevenir daños, averías y paralizaciones (Muñoz y Cantos, 2021). Por otro lado, en Río de Janeiro – Brasil se ha evidenciado en la empresa problemas en su producción debido a una falta de gestión de mantenimiento ya que no se cuenta con herramientas y acciones de mantenimiento lo que ha provocado averías y retrasos en el desarrollo de sus actividades (Cruz, 2020).

En Venezuela, se evidencia una baja producción de petróleo debido a las constantes paradas de los equipos por mantenimiento, ya que esta presentaba diferentes reportes de fallas técnicas y operativas en el compresor lo cual afecta en la empresa tanto en el aspecto económico como en la disponibilidad de la maquinaria (Bermúdez y González, 2020).

A nivel nacional como en este caso, la gran mayoría de las empresas no le presta atención al mantenimiento y por esa razón es que algunas de ellas cierran sus negocios por las pérdidas que ocasiona la falta de mantenimiento. Ante ello, en la Cuenca de Talara se evidencia 30 pozos productores de distintos reservorios observando una baja producción debido a una mala gestión de mantenimiento de los equipos es decir no cuentan con un mantenimiento correctivo ni preventivo ocasionando retrasos en las operaciones además de generar costos adicionales por averías ya que no se ha podido realizar una revisión constante (Alarcón et al. 2020).

Además, en la Amazonía las labores de extracción petrolera han tenido lugar desde hace décadas, pero los últimos años se ha evidenciado una baja producción a causa de la

ausencia de un mantenimiento constante, al no existir un mantenimiento los equipos presentan averías, fugas, desgaste, fallas, etc. Generando que la producción del petróleo disminuya en la Amazonía peruana (Yusta, 2020).

La empresa en estudio, se dedica a la exploración y explotación de hidrocarburos, utiliza un sistema de gestión integrado para mejorar continuamente sus procesos, productos y servicios en beneficio de sus clientes, empleados y la comunidad circundante, en el área de producción se desarrolla una de sus principales operaciones que es la compresión de gas, la cual se utiliza para la inyección de gas natural comprimido a pozos productores de petróleo crudo, recuperar líquidos de gas natural y generar gas combustible para los equipos de generación de eléctrica y servicios auxiliares.

Los equipos utilizados en la operación de compresión de gas son antiguos y tienen varios años funcionando con un plan de mantenimiento normal que no previene paros imprevistos a pesar de eso es costoso para la empresa y no brinda seguridad a los operadores, es decir no garantiza confiabilidad en su operación. Actualmente los mantenimientos son realizados cada 1500 horas, sin embargo, los frecuentes periodos de inactividad se atribuyen principalmente al enfoque reactivo del personal técnico, que confía en su experiencia para resolver las averías a medida que surgen, en lugar de aplicar una estrategia de mantenimiento global o ceñirse a un plan de mantenimiento adecuado. Esta falta de medidas proactivas contribuye a prolongar los periodos de inactividad de los equipos.

A partir de lo dicho surgen dudas de las cuales, nos planteamos una interrogante de investigación; ¿De qué manera la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad logrará aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos?

Álvarez (2020) nos menciona que la justificación teórica viene a ser la descripción de las líneas de conocimientos que ya existen las cuales logran justificar la importancia que tiene la investigación desde el ámbito teórico, para el desarrollo del presente proyecto de investigación se tendrá referencias y buenas prácticas para lograrse el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Justificación práctica, nos va a permitir el análisis de las máquinas para corregir los pasos que en un inicio se realizaban en el mantenimiento de

los equipos en la empresa, los parámetros operacionales y fabricación para luego ejecutar la implementación del mantenimiento el cual nos brinde la confiabilidad y productividad requerida.

Moreno (2021) El término "justificación metodológica" se refiere a la justificación de la elección de una metodología específica para un proyecto de investigación, estrategia o técnicas nuevas las cuales resulten ser confiables para el desarrollo del proyecto y en el caso del presente proyecto de investigación, la justificación metodológica se desarrolla en base a definiciones aplicadas en los diferentes tipos de mantenimiento que ya tenemos, los cuales son: correctivo, preventivo y predictivo; estos métodos se utilizan para lograr la reducción de las fallas y paradas.

Justificación ambiental, la propuesta de implementar el mantenimiento se hace con la finalidad de reducir las paradas y fallas como ya mencionamos anteriormente, lo cual también evitará que con estos paros imprevistos no se produzcan gases dañinos los cuales contaminan la capa de ozono, las aguas residuales y demás que dañen al medio ambiente.

Asimismo, tenemos como objetivo general: implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos. De este modo también se plantean objetivos específicos tales como: Analizar las fallas de la maquinaria en la empresa de Hidrocarburos, llevar a cabo la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad y verificar el aumento de la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos.

La investigación tiene como hipótesis general: la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad aumenta significativamente la productividad de petróleo crudo en la empresa de hidrocarburos. Se plantean las hipótesis específicas como: la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia del proceso de petróleo crudo en la empresa de hidrocarburos y la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad aumenta significativamente la eficacia del proceso petróleo crudo en la empresa de hidrocarburos.

A nivel internacional encontramos a Pillasagua y Rodriguez (2021) realizaron su artículo

de investigación en la empresa Técnica y Comercio de la pesca C.A. planteando como fin evaluar la gestión de mantenimiento en la línea de enlatado 307. Usando la metodología de una investigación descriptiva con método cualitativo-cuantitativo. Utilizando ecuaciones de cálculo resulta que la disponibilidad está por encima del 97%, la fiabilidad por encima del 90% y la mantenibilidad arriba del 7,21%. Con los valores obtenidos se tendrá una buena disponibilidad entre 97,04 a 99,33 %, es decir, se tiene una buena mantenibilidad y fiabilidad de los elementos activos en el proceso, reduciendo las pérdidas económicas y los mantenimientos correctivos.

Bahrami et al. (2021) desarrollan su artículo en la industria eléctrica en el cual tuvo como objetivo identificar alimentadores críticos los cuales servirán para el mantenimiento que estará centrado en la confiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica. Utilizando el método mejor-peor para los criterios de confiabilidad y la técnica TOPSIS para los alimentadores de distribución. Los resultados mostraron que para el promedio ENS superior al valor de 0,3 el F12 es el alimentador más crítico y cuando se promedió con un valor menor a 0,3 el F12 ser encontrará en el segundo lugar de la lista crítica. Concluyéndose que se obtuvo que a través la FBWM convencional resulta ser más confiable por eso sus valores de mejora.

Cavassin et al. (2020) con su artículo de investigación determinado en una empresa Forestal en Paraná, este tuvo como objetivo desarrollar el análisis comparativo que hay entre los modelos de mantenimiento mecánico en las máquinas forestales. La población de dicho trabajo fueron las taladoras, apiladoras, skidders y máquinas cosechadoras. Usando como instrumento el modelo de mantenimiento WMC el cual nos arroja resultados de aumento del 5% con respecto a la disponibilidad mecánica y la reducción del 60% en consumo de aceite hidráulico lo que ahorra 120 litros y de las 540 horas de trabajo el modelo WCM ganó 8,7%. Concluyéndose que dicho modelo aumenta la disponibilidad de las máquinas cosechadoras y mejor las técnicas de mantenimiento preventivo.

Ratendra y Virender (2020) quienes realizaron su artículo de investigación en una industria de petróleo y gas. Tuvieron como objetivo identificar un enfoque de la calidad

de mantenimiento y las nuevas tecnologías, la población fue dichas industrias mencionadas. Resultando que las actividades realizadas se basan en confiabilidad en el equipo 100%, disponibilidad de 95% a 99% y mantenibilidad además de obtener que el 30% de la mano de obra está ocupada en operación y el 85% de las fallas se encuentran relacionados con estrategias inadecuadas de mantenimiento y seguridad los cuales son equipos con lesión registrable menos a 0,1%. Concluyendo que dicha investigación presenta los parámetros y la metodología que justificaría la importancia que tiene la reducción de costos en mantenimiento.

Shia et al. (2020) que realiza su artículo de investigación en sistemas de multicomponentes teniendo como objetivo optimizar el mantenimiento basado en la condición para sistemas multicomponentes que están relacionados a la confiabilidad del sistema. Usándose métodos de pronóstico para tomar decisiones en el mantenimiento cuando tenemos sistemas complicados además de usarse el algoritmo heurístico. Resultando que se logran tener ahorros en los costos significativos y la confiabilidad mejorada. Concluyeron que el marco de mantenimiento propuesto permite la actualización bayesiana y esto consigue que la confiabilidad de las unidades de servicio sea más precisa.

En la tesis de investigación nacional desarrollada por Lima (2022) en su informe de posgrado en la empresa agroindustrial de Arequipa, quien diseño una estrategia de gestión mantenimiento en base al TPM para elevar la productividad. Dicho estudio es exploratoria y no experimental donde la muestra estuvo formada por TPM es un excelente enfoque operativo que no es a corto plazo y aporta muchos beneficios a las empresas que lo hacen bien. Sin embargo, la implementación debe ser adecuada a las necesidades específicas de cada negocio. Las pequeñas empresas no necesitan ir paso a paso, sino que deben comenzar con un mantenimiento planificado y a su propio ritmo. Concluyendo que cuantas más herramientas de mejora continua implementen las empresas mejorarán la productividad.

Cuadros (2021) en su estudio de investigación de posgrado en la empresa Record SA, quienes implementaron un sistema de gestión de mantenimiento para mejorar la

efectividad global de los equipos. Dicho estudio es de cuantitativo, aplicada y explicativa donde la muestra estuvo formada por los equipos de la empresa la cual tuvo como instrumento es guía documental y reportes de paradas y reparaciones. Los resultados indican que un plan de mantenimiento automatizado mejoró la productividad del equipo en un 67,4%, un aumento del 17%. Concluyendo que, para aumentar la producción mediante la verificación sistemática de los equipos por parte de los operadores, detectando fallas inminentes para planificar el mantenimiento correctivo programado durante los intervalos de mantenimiento, como interrupciones por falta de programación o fines de semana y feriados.

Arrustico (2020) en su trabajo de investigación de posgrado en la refinería de petróleo, planteó proponer un plan de mantenimiento de nivel mundial en refinería de petróleo. Dicho estudio es de nivel mixto explicativo casual además tuvo como muestra 147 trabajadores donde se aplicó como instrumento una guía de observación y documental. Los resultados indican que el mantenimiento correctivo se encuentra entre el 10% en promedio y el 90% en varias clases de mantenimiento, es indispensable que la gestión a implementar sea de rango mundial y reducir los índices de mantenimiento correctivo que hoy en día rondan el 70%, al mismo tiempo que se mejora el mantenimiento preventivo e implementan otros métodos de mantenimiento, entre ellos se encuentra el mantenimiento autónomo. Concluyendo que la propuesta del mantenimiento basado en la implementación del mantenimiento autónomo y preventivo en una refinería de PE ha aumentado la productividad de la misma.

Aldana (2020) en su investigación de posgrado en la empresa Unión de Concreteras, tuvo como objetivo establecer la gestión mantenimiento preventivo mejorar el equipo. Dicho estudio es aplicado de diseño corte longitudinal tuvo como muestra con 9 equipos la cual se aplicó la observación y análisis documental. El resultado indica que la disponibilidad de equipos aumentó de 87.51 a 1.57%, un aumento promedio de 4.06%, este valor es representativo para la empresa, demostrando una mayor operatividad de la mina. Concluyendo que el número promedio de fallas en equipos mineros ha sido menor, ya que anteriormente había 23,88 fallas y ha disminuido a alrededor de 19,25 fallas, una mejora del 19,63%.

En el marco conceptual según Campos et al. (2019) menciona que el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es un método ampliamente reconocido y utilizado para planificar el mantenimiento de equipos industriales basado en garantizar que el equipo funcione a satisfacción del usuario o propietario. Para Arteaga y Gorozabel (2021) la RCM es un método de mantenimiento más apropiada y personalizada para todos los equipos en función de su estado de criticidad, esta implementación requiere recopilar y analizar datos históricos de fallas y mantenimiento para determinar la condición actual de los equipos. Finalmente, Diestra et al. (2019) infiere que el RCM es un conjunto de actuaciones que mantienen los equipos o instalaciones en condiciones de funcionamiento para que realicen eficazmente las funciones para las que fueron fabricados y especificados o restablecen este estado en caso de avería.

En las bases teóricas según Peñafiel et al. (2021) se evidencia el análisis de criticidad, es uno de los métodos que permite priorizar sistemas o procesos, así mismos equipos, para crear una estructura que apoye en la efectiva toma de decisiones, dirigiendo el propósito en la optimización de áreas o procesos que lo más importante, logran un elevado nivel de confiabilidad operativa. Su expresión matemática es de la siguiente manera:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

La frecuencia se refiere al número de errores que presenta el proceso que se está evaluando y las consecuencias están vinculadas a criterios básicos en los que:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto operacional} \times \text{flexibilidad operacional}) + \text{Costo de mantenimiento} + \text{impacto a seguridad y ambiente} + \text{Dependencia logística de repuestos}$$

Se puede utilizar una matriz de frecuencias consecutivas para determinar rápida y fácilmente el grado de criticidad de un elemento; en dicha matriz, el eje vertical representa la tasa de incidencia, mientras que el eje horizontal representa los efectos del dispositivo. (Peñafiel et al. 2021)

Las hojas de decisión RCM es un medio en el cual se puede llevar registro de respuestas

a preguntas en el mapa de decisiones y con base en estas respuestas, se registra: el mantenimiento de rutina (si corresponde) se realizará, con qué frecuencia y quién lo realizará, los defectos son lo suficientemente graves como para requerir un rediseño y en caso de que se permita intencionalmente que ocurran errores (Diestra et al. 2019).

Arévalo (2021) menciona que los indicadores de gestión de mantenimiento son: la confiabilidad – tiempo medio entre fallas (MTBF) la confiabilidad puede definirse como la capacidad de una instalación o sistema para llevar a cabo eficazmente su función prevista dentro de unos límites de diseño predeterminados y en un contexto operativo específico. Es importante destacar que, en el contexto de un programa de optimización de la fiabilidad, resulta imperativo analizar diversos parámetros, como la fiabilidad humana, la fiabilidad de los procesos, la mantenibilidad y la fiabilidad de los equipos. El tiempo medio hasta el fallo (MTTF) representa la duración media requerida para que un dispositivo o máquina realice con éxito su función designada sin experimentar ninguna interrupción causada por fallos. Esta métrica se obtiene dividiendo el tiempo total de funcionamiento por el número de fallos.

Asimismo, la mantenibilidad – tiempo promedio en reparar (MTTR), implica realizar un mantenimiento, que es el tiempo durante el cual el equipo puede volver a sus condiciones de funcionamiento óptimo. Finalmente, disponibilidad donde este índice permite realizar una estimación global como porcentaje (%) del tiempo total de disponibilidad para que el dispositivo esté listo para funcionar (Arevalo, 2021).

El marco legal, referente a las normativas técnicas, ambientales, de seguridad y de gestión de riesgos a la que está sujeta a la producción de petróleo, se puede mencionar principalmente al Ley N° 26221 que es la Ley Orgánica de Hidrocarburos, al DS N° 27-94-EM que habla sobre la comercialización de productos que derivan de los hidrocarburos, asimismo el DS N° 52-93EM que es el Reglamento de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos. También es importante mencionar al Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos (DS N° 26-94-EM).

Respecto a las normativas ambientales, se puede mencionar al Decreto Supremo N° 015-2006-EM y sus modificatorias, para la Protección Ambiental en las Actividades de

Hidrocarburos. Este decreto está conformado por 17 títulos, y 95 artículos. Asimismo, es importante mencionar a la Ley General del Ambiente (N°28611), indica disposiciones referentes a la responsabilidad de las empresas con el ambiente en el Perú. Referente a la gestión de riesgos, la principal norma a tener en cuenta es la ISO 31000:2018, se enfoca específicamente en la gestión de riesgos y se aplica internacionalmente. Esta norma en la manipulación de GLP es muy importante debido al peligro que representa esta actividad. En cuanto a las normativas vinculadas a la seguridad y salud ocupacional, podemos mencionar a la Ley 29783, que brinda estándares para la seguridad y salud en el trabajo en el Perú; asimismo, es importante tener en cuenta la ISO 45001, una norma de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, es una norma internacionalmente aceptada que se aplica a todo tipo de empresas independientemente de su rubro.

En cuanto a la segunda variable el marco conceptual de la productividad, según Fontalvo et al. (2019) infieren que se hace referencia a la productividad como la relación entre el volumen total de producción y los recursos utilizados para alcanzar dicho nivel de producción, es decir, la relación entre producción e insumos. Ramírez et al. (2022) menciona que la productividad en las empresas es un fenómeno que ha ido creciendo durante décadas y ahora se está convirtiendo en un factor importante tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Sostienen que una organización eficiente es aquella que logra sus objetivos lo más rápido posible y al menor costo, lo que conduce a una mayor productividad. Finalmente, Franco et al. (2021) la productividad es la primera condición para lograr crecimiento económico y mejores condiciones de vida: Hay que empezar por trabajar de forma eficiente y eficaz, es decir, la combinación óptima de recursos, porque eficiencia y eficacia son iguales a productividad.

En las bases teóricas, los indicadores de productividad son medidas que permiten evaluar el desempeño y la eficiencia de los procesos mineros. Algunos indicadores comunes incluyen la producción por hora, la utilización de equipos, la tasa de utilización de la capacidad, la eficiencia de la mano de obra, los tiempos de ciclo, entre otros. Estos indicadores proporcionan información valiosa para identificar áreas de mejora y monitorear el impacto de las iniciativas Lean en la productividad del área de operaciones

mineras (Gómez, 2021).

Arévalo (2021) infiere que este indicador relaciona a la productividad y a los métodos totales que se emplean para desarrollarla: El índice de productividad – respecto al tiempo, la productividad se logra obtener considerando la producción por mes y el lapso de tiempo de producción invertido; los resultados representan la productividad en unidades de producción por hora (unidades/hora).

$$\mathbf{Pt = Unidades producidas / Tiempo total de producción}$$

En cuanto a las dimensiones son: la eficiencia se refiere a la capacidad de realizar una tarea o actividad utilizando la menor cantidad de recursos posibles. En el contexto minero, implica maximizar la producción con la menor cantidad de tiempo, energía, mano de obra y materiales.

$$Eficiencia = \left(\frac{Horas\ de\ mano\ de\ obra\ estándar}{cantidad\ de\ tiempo\ trabajado} \right) * 100$$

La eficacia, por otro lado, se relaciona con la capacidad de lograr los resultados deseados. En el área de operaciones mineras, implica cumplir con los objetivos de producción y calidad establecidos

$$Eficacia = \left(\frac{resultado\ obtenido}{resultado\ deseado} \right) * 100$$

II. METODOLOGÍA

Se trata de investigación pura con un tipo aplicado; su objetivo es resolver un problema del mundo real aprovechando los conocimientos y marcos teóricos existentes, Estos pueden incluir desafíos en el lugar de trabajo, la educación y la sociedad (Fuentes et al., 2020). Esta investigación pretende utilizar la técnica RCM para desarrollar un plan de gestión del mantenimiento para la empresa de Hidrocarburos. El plan propuesto pretende hacer frente a fallos imprevistos y mejorar la productividad del petróleo.

El enfoque de investigación es mixto, es el tipo de estudio en el que el investigador o los investigadores utilizan una metodología híbrida que recurre tanto a técnicas cualitativas como cuantitativas, que intervienen en muchas fases del proceso de investigación, dirigen la recogida de datos, el análisis y la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos (Vásquez et al., 2021).

El diseño empleado en este estudio puede clasificarse como pre experimental debido a que la variable independiente va a contar solo con un nivel, es decir, grupo de experimentación el cual va a intervenir de acuerdo a lo que el investigador aplique. Por lo tanto, las variables llegan a sufrir modificaciones (Ramos, 2021).

Como se puede observar en la siguiente ecuación, se tiene una muestra la cual presenta dos propuestas y una solución. En la ecuación se muestra la modalidad de preprueba-posprueba.

$$G \quad O_1 \quad X \quad O_2$$

G: Grupo o muestra

O1: Primera observación (pretest)

X: Estímulo.

O2: Segunda observación (postest)

La tabla de operacionalización se encuentra descrita en el Anexo 1.

Variable 1: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Definición conceptual

Es un proceso crucial de la estrategia de mantenimiento de cualquier organización, ya

que puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad, aumentar la seguridad y ampliar el ciclo de vida de los activos. Este proceso ayuda a las organizaciones a optimizar sus actividades de mantenimiento y a mejorar la fiabilidad de los equipos. (Campos et al., 2019).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se emplea para estructurar eficazmente las operaciones y la administración del mantenimiento, con el objetivo de establecer iniciativas afianzadas a la fiabilidad de los equipos (Campos et al., 2019). Es una metodología que tiene en cuenta la influencia de un plan de mantenimiento.

Entre sus indicadores encontramos la Planificación, Organización, Evaluación, Control de equipos, Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad.

El presente informe presenta una escala de razón

Variable 2: Productividad

La productividad se refiere al grado de rendimiento exhibido en la utilización de los recursos, abarcando la correlación entre producción e insumos con el fin de generar más valor. Entre los diversos recursos de que dispone una empresa u organización, puede decirse que el más crucial e influyente es su capital humano. Esto se debe sobre todo al importante impacto que tienen los individuos en los resultados y logros de cualquier empresa (Muñoz, 2021).

En cuanto a la definición operacional, se tiene que la productividad sirve a las organizaciones como métrica global para evaluar su nivel de competitividad a escala nacional e internacional. Les permite gestionar eficazmente sus procesos, lo que conduce al aumento económico y a la buena calidad de vida (Muñoz, 2021). Esto a su vez, se alinea a las dimensiones de eficiencia y eficacia.

Entre los indicadores se tienen a las siguientes fórmulas:

$$Eficiencia = \left(\frac{\text{Horas hombre empleadas}}{\text{horas totales del proceso}} \right) * 100$$

$$Eficacia = \left(\frac{\text{resultado obtenido}}{\text{resultado deseado}} \right) * 100$$

El presente informe presenta una escala ordinal.

La Población: Se refiere a un colectivo de personas que tienen características comunes y se sitúan en un área geográfica determinada (Arias et al., 2022). Con respecto a esto la población de la presente investigación estará dada por 69 activos (maquinaria de la planta de gas natural comprimido) que pertenecen al Lote-XIIIA de la empresa de hidrocarburos; así mismo se encuentran 7 trabajadores (6 operarios y 1 supervisor del área) encargados del buen funcionamiento de los activos y la planta.

En los criterios de inclusión se consideran a los activos mecánicos que han contado con disponibilidad en los últimos 3 meses, operarios que han estado laborando en estos últimos 3 meses y el área del Lote-XIIIA de la empresa de hidrocarburos.

En los criterios de exclusión se toman en cuenta a los activos mecánicos que no presenten las características de motocompresores, operarios que no pertenezcan a la zona determinada y tengan ausencia mayor a 3 meses y la zona que no pertenezca al área de Lote-XIIIA.

La muestra representativa se caracteriza por ser un subconjunto de la población que representa con exactitud a toda la población y que posee las mismas características y valores que este subgrupo (Meneses, 2022). En donde la muestra se compone por 2 motocompresores a los cuales se tiene el fin de implementar un plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad; por otro lado, también se tiene la participación de 7 empleados del área, compuestos por 6 operarios y un jefe supervisor del proceso.

Tabla 1.

Activos de la muestra de la empresa de Hidrocarburos

Activos	N° Local
Motocompresora 1	HP-4220
Motocompresora 2	HP-70233

Fuente: Elaboración propia

Para Cieza (2019), nos menciona que existen 3 métodos de muestreo como son: censal, con sostenimiento en el criterio estadístico y personal. En el presente proyecto se usa el muestreo censal puesto que la muestra se encuentra formada por toda la población.

Las máquinas Motocompresores son herramientas muy importantes en la producción de petróleo en las empresas de hidrocarburos, es por eso que es necesario tenerlas siempre operativa buscando aumentar su vida útil a través del mantenimiento. La unidad de análisis refiere quienes van a ser uso de medición, en otras palabras, los sujetos u objetos a los cuales se le aplicará el instrumento de medición (Arteaga, 2022).

Respecto a las técnicas de recolección de datos, en el caso de la variable 1 la cual viene a ser el mantenimiento centrado en la confiabilidad, se tomará en cuenta como primera técnica a la observación ya que gracias a esta se podrá analizar los programas correspondientes al mantenimiento de las maquinarias que se encuentran en la empresa de hidrocarburos. Por otro lado, se tendrá en cuenta la técnica de la encuesta en el caso de los operarios, que es un método para recopilar información cuantitativa. Esto permite al encuestado hacer preguntas y obtener respuestas de un grupo grande de personas. Para la variable 2, en este caso la productividad también consideraremos la técnica de observación directa la cual nos ayudará a analizar dicha productividad de petróleo en la empresa de hidrocarburos.

Además, como técnica de análisis documental de ambas variables se utilizará la ficha de análisis documental mediante uso de hojas de cálculo.

Los instrumentos que se usaron para las variables que se presentan tenemos a la ficha de análisis documental, esta nos ayudará a analizar el mantenimiento y poder registrar la información necesaria como por ejemplo las paradas de maquinaria, programadas y no programadas, esta última vienen a ser las fallas de las cuales se deben de tener en cuenta el número, secuencia del evento, fecha, hora, duración, etc. Se debe de registrar toda la información para luego calcularse el MTBF, MTTR, AMEF y la confiabilidad. Para el análisis de la productividad se hará uso de la ficha de registro el cual se presenta en el anexo 3 donde se incluirá información como la fecha, número de pedidos, cantidad de barriles producidos; estos datos se utilizaron para analizar el proceso de producción e

identificar el origen del problema. Por último, el cuestionario servirá como método de evaluación del personal a cargo del funcionamiento de las máquinas, recurriendo a una cierta cantidad de interrogantes que permita realizar el análisis de criticidad.

Medina y Verdejo (2020), la define la validez como el grado en el que la evidencia y la teoría fundamentan lo que se interpresa en los resultados obtenidos a partir de una prueba o instrumentos de medición para los usos propuestos. En este caso los instrumentos fueron validados por expertos (Anexo 6).

Este punto la confiabilidad viene a ser la precisión de la información que se ha conseguido a través de un instrumento el cual ha sido administrado en diferentes ocasiones (Medina y Verdejo, 2020). Mediante el estadístico Alfa de Cronbach (anexo 7) se midió la confiabilidad, en el cuestionario de criticidad, se obtuvo 0.710, con lo cual, se puede decir que es aceptable y se puede aplicar al objeto de estudio.

El presente proyecto se lleva a cabo con el siguiente procedimiento: como primer paso se tiene que recolectar información por medio de las fichas de recolección de datos; luego dicha información recolectada debemos de organizarla en Excel y crear así una base de datos; como un tercer paso tenemos que elaborar la estadística descriptiva usando gráficas y tablas en las que se organizan las variables de estudio; después se realizará la estadística inferencia la cual vienen a ser las estimaciones e hipótesis que se basan en la probabilidad y se pueda argumentar los resultados que se obtienen a partir de las muestras. Se presenta y analiza la información recolectada para finalmente elaborar conclusiones y brindar recomendaciones.

En el presente proyecto se llevó a cabo realizando el análisis estadístico a través de datos numéricos, dicho método se aplica a los datos y la información recopilada por los instrumentos mencionados anteriormente. Además de emplearse métodos estadísticos como lo son los descriptivos e inferenciales los cuales se les aplican a los indicadores de gestión de mantenimiento como la matriz de criticidad, MTBF, MTTR para así tener una buena confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en la empresa. Por otro lado, la herramienta de análisis y cálculo integradas en Excel se utilizarán para realizar las fases de anotación y registro de datos, proporcionando una base sólida para todo el

procedimiento de recogida y análisis de datos.

De acuerdo a lo establecido por la Universidad César Vallejo, los aspectos éticos a considerar son los siguientes: Respeto por la Autonomía y Privacidad este aspecto implica que una metodología recolección de datos, fueron de manera opcional y se necesitó de la aprobación informada de los involucrados. Se aseguró la discreción y el secreto de la información brindada tanto por los participantes como por la empresa. Otro aspecto más es la integridad de la Información donde los datos recogidos fueron manejados con el mayor grado de precisión e integridad. Se evitó cualquier manipulación o un incorrecto uso, que pudiera alterar las evidencias de la investigación, asegurando información válida y confiable. Se considera útil que todos los procedimientos para extraer datos de la línea de producción se hayan explicado a los jefes de departamento correspondientes. Cada persona que participó en este estudio aceptó voluntariamente participar llenando un formulario de consentimiento informado. Esto garantiza la autonomía de los participantes. Como último punto acerca de los aspectos éticos tenemos a las Normas Académicas y Éticas puesto que el desarrollo de la investigación se realizó siguiendo las normas éticas y académicas, incluyendo el reconocimiento y la citación adecuada de todas las fuentes de información utilizadas. Considerando, además el uso de herramientas de detección de plagio para así descartar la copia de otro proyecto.

III. RESULTADOS

Para el inicio del análisis de falla de la maquinaria en la empresa de hidrocarburos, se tuvo un formato para encuesta de análisis de criticidad, donde se tendrá en cuenta el impacto por flexibilidad operacional, impacto con costes de mantenimiento, impacto en seguridad, higiene y ambiente y todo ello se mantendrá bajo una frecuencia de falta entre $0 < x < 2$. Parra y Crespo (2012, p. 58).

El modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR) descrito a continuación es una técnica de análisis semicuantitativo que es simple y útil en la práctica. Se basa en el concepto de riesgo, que se define como el resultado de combinar la frecuencia de ocurrencia de un fallo con la gravedad de sus consecuencias. A continuación, se presentan de forma detallada:

$$CTR = FF * C$$

Donde; CTR: Criticidad total por riesgo, FF: frecuencia de fallos y C: consecuencias.

El parámetro consecuencias se determina de la siguiente forma.

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

Donde; IO, factor de producción; FO, factor de operacionalización; CM, costos de mantenimiento y SHA, impacto de seguridad, higiene y ambiente.

La siguiente expresión del modelo de priorización de CTR es la siguiente:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

Durante la evaluación para estos tres factores se utiliza la siguiente escala.

La elección de los factores ponderados se lleva a cabo en reuniones de trabajo con la participación de diversos equipos relacionados con el funcionamiento del activo en cuestión, como los de operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y medio ambiente. Luego, se determinan los sistemas que requieren prioridad y se organiza una lluvia de ideas para asignar a cada uno de los equipos los valores correspondientes a los factores que componen la expresión de Criticidad Total por Riesgo. Para calcular el nivel

de criticidad de cada equipo o sistema, se suman los valores totales de los factores principales. La frecuencia de fallos se representa en el eje vertical y las consecuencias en el horizontal, utilizando el resultado final de la expresión (2): $(10 \times FO) + CM + SHA$. La matriz de criticidad proporcionada a continuación sirve para clasificar los sistemas en tres categorías.

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

El modelo de modelo de criticidad está basado en estimación del factor riesgo.

$$Riesgo = FF * C$$

Donde; FF: frecuencia de fallos, C: consecuencias.

Mediante la siguiente formula se determinó la criticidad de los equipos analizados.

$$Criticidad = Frecuencia \times Consecuencia$$

Tabla 2.

Análisis de la encuesta

FORMATO PARA ENCUESTA ANALISIS CRITICIDAD	
NOMBRE:	PUESTO:
EQUIPO:	FECHA:
1. FRECUENCIA DE FALLA	2. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN
Mayor a 2 eventos al año	Pérdidas de Producción Superiores al 75%
1 y 2 eventos al año	Pérdidas de Producción entre el 50% y el 74%
Entre 0,5 y 1 evento al año	Pérdidas de Producción entre el 25% y el 49%

Menos de 0,5 eventos al año

Pérdidas de Producción

entre el 10% y el 24%

Pérdidas de Producción

menor al 10%

3. IMPACTO POR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL

No se cuenta con Unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.

Se cuenta con Unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.

Se cuenta con Unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

4. IMPACTO CON COSTES DE MANTENIMIENTO

Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares

Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares

5. IMPACTO EN SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE

Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que excedan los límites permitidos.

Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración.

Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles contener y fugas repetitivas.

No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

Durante la investigación se analizaron 69 máquinas que involucran todo el proceso de compresión de gas, con ellos se establecieron las frecuencias de fallas, el impacto que tiene estas fallas sobre la producción, el impacto de costos de mantenimiento y el impacto en la SHA. Luego de ello se calculó la criticidad en función a la frecuencia y consecuencia producto del análisis de cada máquina, obteniendo lo siguiente:

- Compresor intermedio 1
- Compresor intermedio 2

Tuvieron una criticidad de 132 considerada la más alta registrada en el análisis, tal y como muestra la tabla 3.

Tabla 3.

Resultado del análisis de criticidad de las máquinas.

RESULTADOS TOTALES ANALISIS CRITICIDAD									
CRITICIDAD = $FF \times ((IP \times FO) + CM + SHA)$									
ITEM	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS (FF)	IMPACTO SOBRE PRODUCCIÓN (IP)	IMPACTO POR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	IMPACTO EN COSTES DE MANTENIMIENTO (CM)	IMPACTO EN SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE (SHA)	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
SISTEMA GAS DE INGRESO									
1	Cabezal-Pozo 03	1	3	4	2	8	1	22	22
2	Línea Cabezal-Pozo 03	1	3	4	2	8	1	22	22
3	Cabezal-Pozo 05	1	3	4	2	8	1	22	22
4	Línea Cabezal-Pozo 05	1	3	4	2	8	1	22	22
5	Cabezal-Pozo 06	1	7	4	2	8	1	38	38
6	Línea Cabezal-Pozo 06	2	7	4	2	8	2	38	76
7	Cabezal-Pozo 02	1	5	4	2	8	1	30	30
8	Línea Cabezal-Pozo 02	1	5	4	2	8	1	30	30
9	Cabezal-Pozo 07	1	5	4	2	8	1	30	30
10	Línea Cabezal-Pozo 07	1	5	4	2	8	1	30	30
11	Cabezal-Pozo 08	1	5	4	2	8	1	30	30
12	Línea Cabezal-Pozo 08	1	5	4	2	8	1	30	30
13	Cabezal-Pozo 09	1	10	4	2	8	1	50	50
14	Línea Cabezal-Pozo 09	1	10	4	2	8	1	50	50
15	Enfriador Gas Entrada N° 01 (Antiguo)	1	1	2	2	3	1	7	7
16	Aerorefrigerante A/B (EGE)	2	1	2	1	1	2	4	8
17	Enfriador Gas Entrada N° 02 (Nuevo)	1	3	2	2	3	1	11	11
18	Aerorefrigerante C/D (EGE)	1	1	2	1	1	1	4	4
19	Motocompresor hp 412444	1	10	4	2	8	1	50	50
20	Motocompresor hp 412445	1	10	1	1	3	1	14	14

SISTEMA PRODUCCIÓN GAS SECO									
21	Medición Gas de Ingreso	1	1	4	1	1	1	6	6
22	Filtro Separador Gas Entrada	1	10	4	1	3	1	44	44
23	Deshidratador de Gas A/B	1	10	4	2	3	1	45	45
24	Filtro de Polvo de Gas	1	10	4	1	3	1	44	44
25	Intercambiador de Gas Entrada	1	10	4	2	3	1	45	45
26	Condensador de Reflujo	1	10	4	2	3	1	45	45
27	Separador Frío	1	10	4	2	3	1	45	45
28	Deetanizadora	1	10	4	2	3	1	45	45
29	Rehervidor de Deetanizadora	1	10	4	2	6	1	48	48
30	Turboexpander	2	7	4	2	1	2	31	62
31	Enfriador Entrada Compresor Gas Residual A/B	1	7	4	2	3	1	33	33
32	Aeroenfriador Entrada Compresor Gas Residual A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
33	Compresor intermedio 1	4	7	4	2	3	4	33	132
34	Enfriador Salida Compresor Gas Residual A/B	1	7	4	2	3	1	33	33
35	Aeroenfriador Salida Compresor Gas Residual A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
36	Compresor intermedio 2	4	7	4	2	3	4	33	132
37	Enfriador Entrada Compresor Reinyección A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
38	Aeroenfriador Entrada Compresor Reinyección A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
39	Enfriador Salida Compresor Reinyección A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
40	Aeroenfriador Salida Compresor Reinyección A/B	1	7	4	1	3	1	32	32
41	Calentador del Gas de Regeneración	2	10	4	2	6	2	48	96
42	Enfriador del Gas de Regeneración	1	10	4	2	3	1	45	45
43	Aeroenfriador del Gas de Regeneración N° 01/02	1	7	4	1	3	1	32	32
44	Scrubber del Gas Combustible (16-5101)	1	10	4	1	3	1	44	44
45	Filtro Separador de Aceite de Gas Residual (21-0505)	1	10	4	1	3	1	44	44
46	Medición de Gas Seco	1	1	4	1	1	1	6	6
SISTEMA PRODUCCIÓN NGL									
47	Filtro Separador de Condensado	1	10	4	1	6	1	47	47
48	Deshidratador de Condensado A/B	1	10	4	2	6	1	48	48
49	Filtro de Polvo de Condensado	1	10	4	1	6	1	47	47
50	Enfriador de Producto (Condensado)	1	10	4	2	6	1	48	48
51	Aeroenfriador de Producto (Condensado) N° 01/02	1	7	2	2	3	1	19	19
52	Electrobomba de Fondo A/B	1	10	1	1	3	1	14	14
53	Motobomba de Reinyección de Producto	1	10	4	2	6	1	48	48
54	Medición de NGL	1	1	4	1	1	1	6	6
SISTEMA AGUA DE PRODUCCIÓN									

55	Tanque Slop	1	10	4	2	8	1	50	50
56	Tanques Decantadores N° 01/02	1	1	1	2	8	1	11	11
57	Poza API	1	10	4	1	8	1	49	49
58	Sistema de Filtración de Agua	1	1	4	1	6	1	11	11
59	Electrobomba de Filtración Agua (KSB)	2	1	2	1	3	2	6	12
60	Electrobomba alimentación Agua Reinyección (IMBIL)	2	1	1	1	3	2	5	10
61	Electrobomba Agua Reinyección (CAT)	4	7	4	1	3	4	32	128
62	Electrobomba Agua Aceitosa	1	1	2	1	6	1	9	9
63	Electrobomba envío Condensado (CAT2511)	2	1	4	1	6	2	11	22
SISTEMA MEDICIÓN - CALIDAD GAS INGRESO / GAS SECO / NGL									
64	Cromatógrafo	4	10	1	2	1	4	13	52
SISTEMA AUXILIAR - ACEITE CALIENTE									
65	Electrobomba Aceite Caliente A/B	2	10	1	1	8	2	19	38
66	Calentador de Aceite (Horno)	2	10	4	2	8	2	50	100
67	Tanque de Aceite Caliente	1	10	4	2	8	1	50	50
SISTEMA AUXILIAR - ENERGÍA ELECTRICA									
68	Motocompresor Ip1623	2	10	1	2	3	2	15	30
SISTEMA AUXILIAR - AIRE INSTRUMENTACIÓN									
69	Motocompresor hp hp412443	2	10	1	1	3	2	14	28

Nota. Elaboración propia

Costo de fallas de los equipos.

Mediante la ficha de observación sobre el proceso de compresión de gas se analizó la cantidad de horas en las cuales los motocompresores fallaron y la descripción de cada falla, con ello se halló la cantidad monetaria de costo por cada parada (tabla 4 y 5).

Tabla 4.

Historial de las fallas del motocompresor intermedio 1.

FECHA	Mes	Duración (horas)	Tipo de parada	Código de parada	Descripción	Fallas/Actividades no contempladas en mantenimiento.
11-Ene-23	enero	0.17	Falla	325-00	Detonación	0
6-Feb-23	febrero	0.63	Falla	36	Bajo nivel de agua	1
21-Feb-23	febrero	0.28	Falla	325-00	Detonación	0
26-Feb-23	febrero	0.17	Falla	31	Vibración de coolers	0
26-Feb-23	febrero	0.38	Falla	31	Vibración de coolers	0
6-Mar-23	marzo	0.20	Falla	325-00	Detonación de motor	0
2-May-23	mayo	0.22	Falla	31	Vibración de cooler	0
4-May-23	mayo	0.22	Falla	31	Vibración de cooler	0
7-May-23	mayo	0.17	Falla	540-07	Vibración de cooler	0
7-May-23	mayo	0.15	Falla	540-07	Vibración de cooler	0
8-May-23	mayo	0.50	Falla	325-00	Detonación de motor	0
16-May-23	mayo	0.33	Falla	172-00	Alta temp de aire de entrada.	0
1-Jun-23	junio	0.17	Falla	325-00	Reemplazo de bujía	0
2-Jun-23	junio	0.25	Falla	Otros	Reemplazo de bujía	0
14-Jun-23	junio	0.17	Falla	172-00	Temperatura de aire del motor.	0
15-Jun-23	junio	0.20	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
29-Jun-23	junio	0.35	Falla	506-02		0
5-Jul-23	julio	0.75	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
11-Jul-23	julio	15.17	Falla	106-01	Mantenimiento programado y falla 106-01	0
10-Ago-23	agosto	0.08	Falla	325-00	Detonación.	0
11-Ago-23	agosto	1.17	Falla	502-13	Cilindro # 2 fuera de calibración.	1
11-Ago-23	agosto	0.42	Falla	505-13	Cilindro # 5 fuera de calibración.	1
15-Ago-23	agosto	2.33	Falla	094-12	Falla sensor de Fuel	0
15-Ago-23	agosto	0.67	Falla	172-00	Alta temperatura de aire del motor	0
21-Ago-23	agosto	1.67	Falla	094-12	Falla de sensor de Fuel	0
22-Ago-23	agosto	0.08	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
26-Ago-23	agosto	7.58	Falla	Otros	Bajas RPM 300 a 400	1
3-Set-23	septiembre	0.30	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
3-Set-23	septiembre	0.27	Falla	505-13	Descalibración C # 5	1
7-Set-23	septiembre	0.32	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
7-Set-23	septiembre	0.42	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
8-Set-23	septiembre	0.25	Falla	325-00	Detonación de motor.	0

9-Set-23	septiembre	0.33	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
9-Set-23	septiembre	1.12	Falla	529-12	Sensor de restricción de aire	0
19-Set-23	septiembre	0.57	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
20-Set-23	septiembre	1.00	Falla	505-13	Cilindro # 5 fuera de calibración.	1
21-Set-23	septiembre	0.22	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
27-Set-23	septiembre	3.00	Falla	Otros	Falla en sistema de ignición	0
30-Set-23	septiembre	0.25	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
1-Oct-23	octubre	0.33	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
2-Oct-23	octubre	0.65	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
4-Oct-23	octubre	0.17	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
5-Oct-23	octubre	0.23	Falla	otros	Falla de calibración en cilindros	1
6-Oct-23	octubre	4.22	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
13-Oct-23	octubre	0.42	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
17-Oct-23	octubre	0.67	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
21-Oct-23	octubre	0.17	Falla	36	Bajo nivel de agua	1
29-Oct-23	octubre	0.22	Falla	otros	Alta temperatura de agua del motor	0
31-Oct-23	octubre	0.78	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
1-Nov-23	noviembre	0.48	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
2-Nov-23	noviembre	0.83	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
12-Nov-23	noviembre	0.72	Falla	Otros	Falla por fuga de Gas	1
14-Nov-23	noviembre	1.87	Falla	36	Bajo nivel de agua	1
15-Nov-23	noviembre	0.25	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
19-Nov-23	noviembre	0.25	Falla	505-13	Descalibración C # 5	1
25-Nov-23	noviembre	0.08	Falla	529-00	Ajuste de energía de entrada bajo	1
26-Nov-23	noviembre	0.37	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
30-Nov-23	noviembre	0.55	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
2-Dic-23	diciembre	1.00	Falla	otros	Bajo nivel de aceite del compresor	1
4-Dic-23	diciembre	0.25	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
10-Dic-23	diciembre	0.78	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
11-Dic-23	diciembre	2.42	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
13-Dic-23	diciembre	1.50	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
14-Dic-23	diciembre	0.30	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
15-Dic-23	diciembre	0.22	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
26-Dic-23	diciembre	1.00	Falla	325-00	Detonación de motor.	0
		21.7				

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5.*Historial de fallas de motocompresor intermedio 2.*

FECHA	Mes	Duración (horas)	Tipo de parada	Código de parada	Descripción	Fallas/Actividades no contempladas en mto.
8-Ene-23	enero	0.08	falla	1	No Flow	0
14-Ene-23	enero	0.10	falla	31	Vibración de cooler	0
26-Ene-23	enero	1.00	Falla	110-00	Reemplazo de fajas de Motor.	0
27-Ene-23	enero	1.42	falla	110-01	Alta temperatura de agua	0
27-Ene-23	enero	0.58	falla	147-7 31	Sensor de cooler	0
3-Feb-23	febrero	0.93	Falla	172-00	Alta temp de aire de entrada.	0
14-Feb-23	febrero	0.53	falla	172-00	Alta temperatura de aire de entrada	0
21-Feb-23	febrero	0.17	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
17-Mar-23	marzo	0.17	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
24-Mar-23	marzo	0.13	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
18-Abr-23	abril	0.12	Falla	325-00	Detonación	0
18-Abr-23	abril	0.08	Falla	325-00	Detonación	0
24-Abr-23	abril	0.03	Falla	325-00	Detonación	0
11-May-23	mayo	0.10	Falla	325-00	Detonación	0
25-May-23	mayo	0.33	falla	325-00	Detonación	0
26-May-23	mayo	0.08	Falla	325-00	Detonación	0
29-May-23	mayo	0.08	Falla	325-00	Detonación	0
2-Jun-23	junio	0.67	falla	325-00	Detonación	0
12-Jun-23	junio	1.40	Falla	325-00	Detonación	0
15-Jun-23	junio	0.17	Falla	325-00	Detonación	0
18-Jun-23	junio	0.72	Falla	325-00	Detonación	0
3-Jul-23	julio	1.98	falla	325-00	Detonación	0
4-Jul-23	julio	5.33	Falla	326-11	Sincronización	1
10-Ago-23	agosto	0.67	falla	505-02	Desproporción de mezcla, cilindro # 5	1
3-Set-23	septiembre	0.08	Falla	540-07	Sensor de vibración.	0
8-Set-23	septiembre	0.08	Falla	Otros	Calibración de precámaras.	1
10-Set-23	septiembre	2.82	Falla	Otros	Fuga de agua por bomba principal	1
11-Set-23	septiembre	2.00	Falla	Otros	Reemplazo fajas, polea de motor.	0
12-Set-23	septiembre	0.70	Falla	Otros	fuga de agua por tapa de chaqueta	1
16-Set-23	septiembre	0.50	programa	Otros	Instalación de protectores, fajas	0
10-Nov-23	noviembre	1.43	Falla	023-02	No feed back - fuel Actuador	1
14-Nov-23	noviembre	3.50	Falla	36	Bajo nivel de agua	1
15-Nov-23	noviembre	3.00	Falla	Otros	Cambio de pernos rotos de chaqueta	1
17-Nov-23	noviembre	0.32	Falla	094-00	Fuel en el límite del módulo de presión	1
18-Nov-23	noviembre	2.25	Falla	094-00	Fuel en el límite del módulo de presión	1
24-Nov-23	noviembre	1.68	Falla	325-00	Detonación	0
25-Nov-23	noviembre	1.00	Falla	094-00	Fuel en el límite del módulo de presión	1
25-Nov-23	noviembre	1.00	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0

26-Nov-23	noviembre	0.38	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
5-Dic-23	diciembre	0.25	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
8-Dic-23	diciembre	0.50	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
9-Dic-23	diciembre	0.13	Falla	Otros	Falla de calibración en cilindros	1
11-Dic-23	diciembre	0.20	Falla	529-02	Compensación de calidad de gas.	1
14-Dic-23	diciembre	0.05	Falla	Otros	Cambio de Bujía	0
14-Dic-23	diciembre	0.23	Falla	Otros	Baja temperatura de cilindro #1	1
19-Dic-23	diciembre	0.42	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
19-Dic-23	diciembre	0.33	Falla	540-07	Sensor de vibración.	0
20-Dic-23	diciembre	0.25	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
20-Dic-23	diciembre	0.33	Falla	540-07	Sensor de vibración.	0
23-Dic-23	diciembre	0.75	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
26-Dic-23	diciembre	0.42	Falla	172-00	Alta temperatura de aire de motor	0
27-Dic-23	diciembre	0.83	Falla	325-00	Detonación	0
29-Dic-2323	diciembre	0.70	Falla	325-00	Detonación	0

22.16667

Nota. Elaboración propia

Figura 1.

Modos de falla de subsistema de compresión de gas.

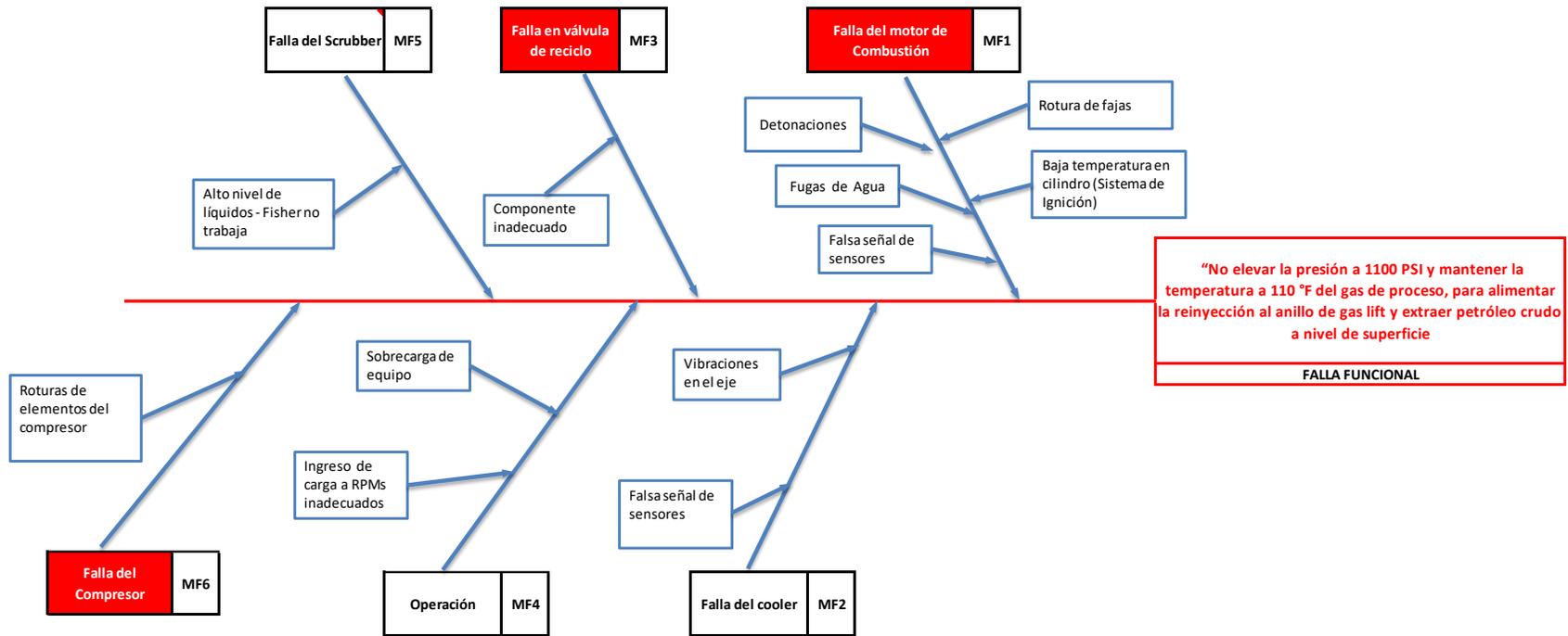


Figura 2.

Modo de falla 1. Motor

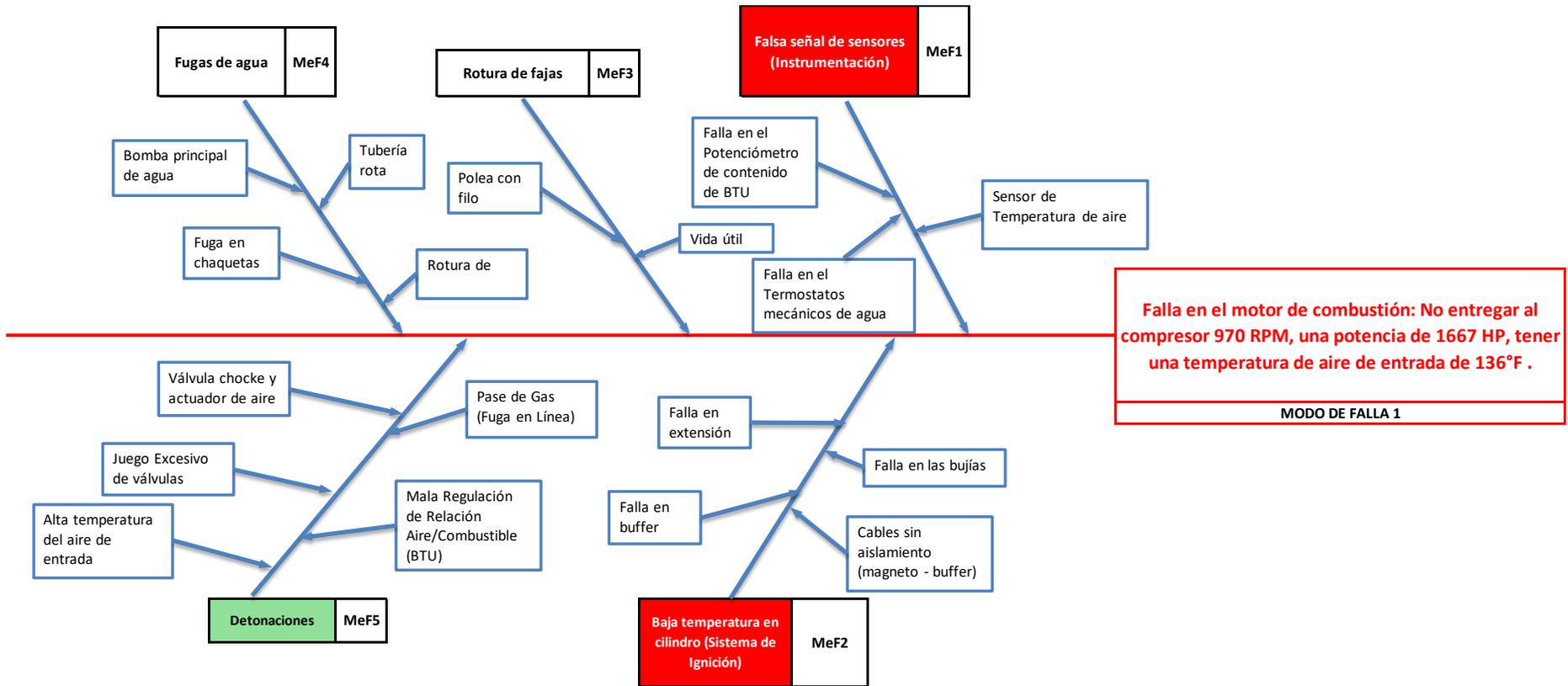


Figura 3.

Modo de falla 2: Compresor

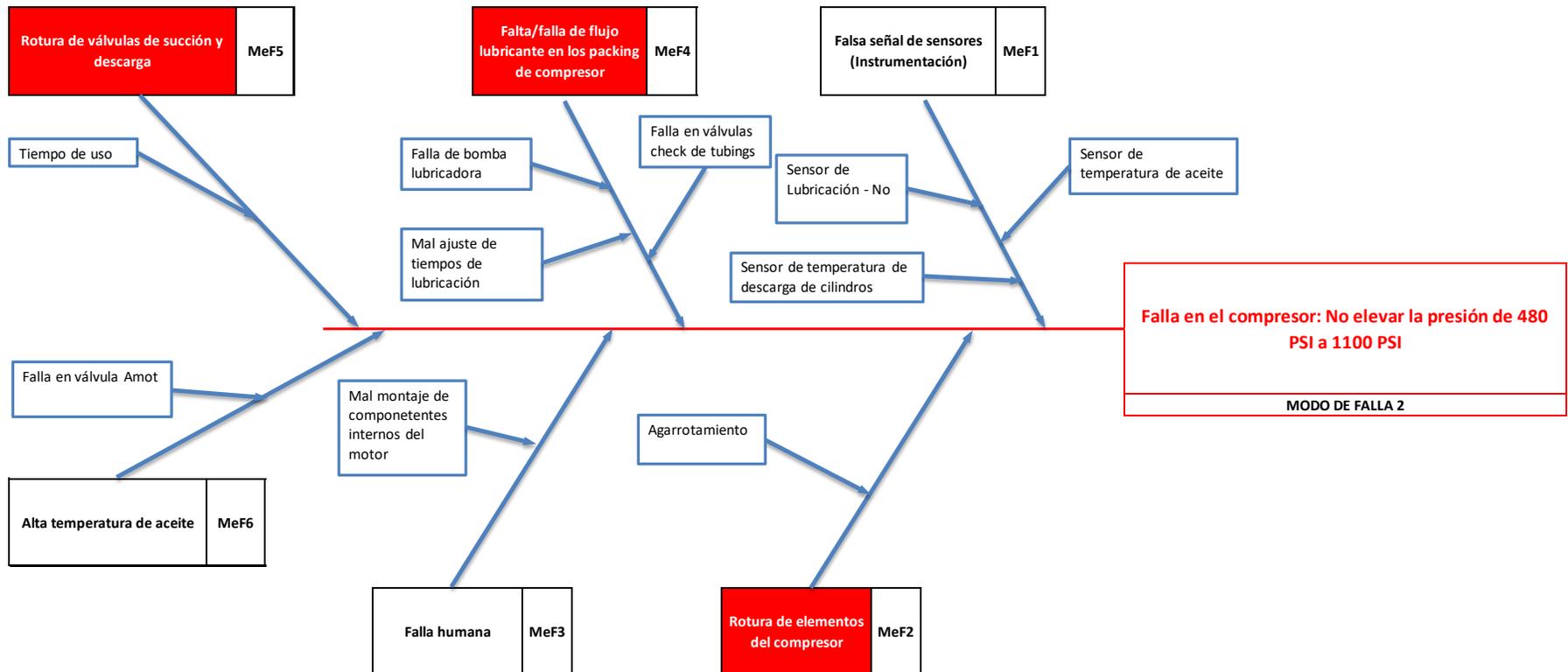
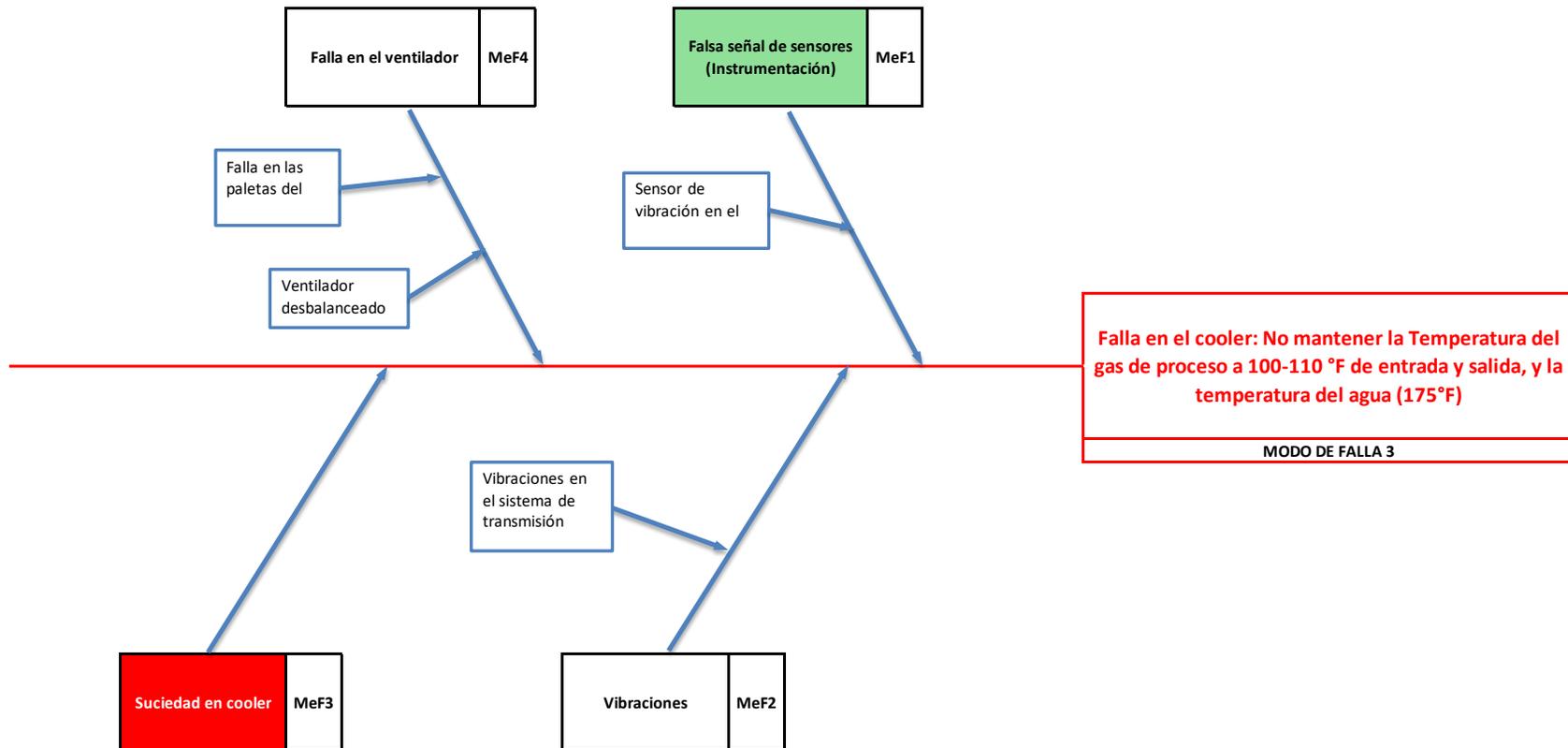


Figura 4.

Modo de falla 3: Cooler



Durante la jerarquización de los equipos, se tuvo como análisis un cronograma de criticidad de la planta de Gas, donde se encontró un impacto de 10 siendo el más significativo con mayor consecuente y un valor de pérdida monetaria de \$ 3625 /h. Una pérdida total de \$132,072.43. Por lo general se indican fallos en la mayoría de los equipos de trabajo.

Tabla 6.

Perdida monetaria de los equipos con riesgo alto, medio y bajo.

ITEM	EQUIPO	IMPACTO SOBRE PRODUCCIÓN (IP)	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	VALOR	TIPO	PERDIDA (Bbl/hr)	PERDIDA (\$/hr)
33	Motobomba de Reinyección de Producto	10	1	48	48	A	60.42	3625.00
36	Calentador de Aceite (Horno)	10	2	50	100	A	60.42	3625.00
61	Calentador del Gas de Regeneración	10	2	48	96	A	60.42	3625.00
66	Cabezal-Pozo 09	10	1	50	50	A	60.42	3625.00
41	Línea Cabezal-Pozo 09	10	1	50	50	A	60.42	3625.00
6	Separador Trifásico	10	1	50	50	A	60.42	3625.00
30	Tanque Slop	10	1	50	50	A	60.42	3625.00
64	Tanque de Aceite Caliente	10	1	50	50	A	60.42	3625.00
13	Poza API	10	1	49	49	A	60.42	3625.00
14	Rehervidor de Deetanizadora	10	1	48	48	A	60.42	3625.00
19	Deshidratador de Condensando A/B	10	1	48	48	A	60.42	3625.00
55	Enfriador de Producto (Condensado)	10	1	48	48	A	60.42	3625.00
67	Filtro Separador de Condensado	10	1	47	47	A	60.42	3625.00
57	Filtro de Polvo de Condensado	10	1	47	47	A	60.42	3625.00
29	Deshidratador de Gas A/B	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
48	Intercambiador de Gas Entrada	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
50	Condensador de Reflujo	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
53	Motocompresor HP 4122445	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
47	Deetanizadora	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
49	Enfriador del Gas de Regeneración	10	1	45	45	A	60.42	3625.00
23	Filtro Separador Gas Entrada	10	1	44	44	A	60.42	3625.00
25	Filtro de Polvo de Gas	10	1	44	44	A	60.42	3625.00
26	Scrubber del Gas Combustible (16-5101)	10	1	44	44	A	60.42	3625.00
27	Filtro Separador de Aceite de Gas Residual (21-0505)	10	1	44	44	A	60.42	3625.00
28	Cromatógrafo	10	4	13	52	B	60.42	3625.00
42	Cabezal-Pozo 06	7	1	38	38	B	40.01	2400.66
22	Compresor intermedio 01	7	4	33	132	A	40.01	2400.66
24	Compresor intermedio 02	7	4	33	132	A	40.01	2400.66
44	Electrobomba Agua Reinyección (CAT)	7	4	32	128	A	40.01	2400.66
45	Línea Cabezal-Pozo 06	7	2	38	76	A	40.01	2400.66
5	Turboexpander	7	2	31	62	A	40.01	2400.66
65	Enfriador Entrada Compresor Gas Residual A/B	7	1	33	33	B	40.01	2400.66
31	Enfriador Salida Compresor Gas Residual A/B	7	1	33	33	B	40.01	2400.66
34	Aeroenfriador Entrada Compresor Gas Residual A/B	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
32	Aeroenfriador Salida Compresor Gas Residual A/B	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
35	Enfriador Entrada Compresor Reinyección A/B	7	1	32	32	B	40.01	2400.66

37	<i>Aeroenfriador Entrada Compresor Reinyección A/B</i>	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
38	<i>Enfriador Salida Compresor Reinyección A/B</i>	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
39	<i>Aeroenfriador Salida Compresor Reinyección A/B</i>	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
40	<i>Aeroenfriador del Gas de Regeneración N° 01/02</i>	7	1	32	32	B	40.01	2400.66
43	<i>Cabezal-Pozo 02</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
7	<i>Línea Cabezal-Pozo 02</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
8	<i>Cabezal-Pozo 07</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
9	<i>Línea Cabezal-Pozo 07</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
10	<i>Cabezal-Pozo 08</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
11	<i>Línea Cabezal-Pozo 08</i>	5	1	30	30	B	15.10	906.25
12	<i>Electrobomba Aceite Caliente A/B</i>	10	2	19	38	C		
68	<i>Motocompresor LP 1623</i>	10	2	15	30	C		
69	<i>Motocompresor HP 412443</i>	10	2	14	28	C		
1	<i>Cabezal-Pozo 03</i>	3	1	22	22	C		
2	<i>Línea Cabezal-Pozo 03</i>	3	1	22	22	C		
3	<i>Cabezal-Pozo 05</i>	3	1	22	22	C		
4	<i>Línea Cabezal-Pozo 05</i>	3	1	22	22	C		
63	<i>Electrobomba envío Condensado (CAT2511)</i>	1	2	11	22	C		
51	<i>Aeroenfriador de Producto (Condensado) N° 01/02</i>	7	1	19	19	C		
20	<i>Motocompresor HP 412444</i>	10	1	14	14	C		
52	<i>Electrobomba de Fondo A/B</i>	10	1	14	14	C		
59	<i>Electrobomba de Filtración Agua (KSB)</i>	1	2	6	12	C		
17	<i>Enfriador Gas Entrada N° 02 (Nuevo)</i>	3	1	11	11	C		
56	<i>Tanques Decantadores N° 01/02</i>	1	1	11	11	C		
58	<i>Sistema de Filtración de Agua</i>	1	1	11	11	C		
60	<i>Electrobomba alimentación Agua Reinyección (IMBIL)</i>	1	2	5	10	C		
62	<i>Electrobomba Agua Aceitosa</i>	1	1	9	9	C		
16	<i>Aerorefrigerante A/B (EGE)</i>	1	2	4	8	C		
15	<i>Enfriador Gas Entrada N° 01 (Antiguo)</i>	1	1	7	7	C		
21	<i>Medición Gas de Ingreso</i>	1	1	6	6	C		
46	<i>Medición de Gas Seco</i>	1	1	6	6	C		
54	<i>Medición de NGL</i>	1	1	6	6	C		
18	<i>Aerorefrigerante C/D (EGE)</i>	1	1	4	4	C		

Nota. Elaboración propia.

Una vez encontrada el tipo de riesgo registrado por cada equipo y su clasificación por nivel, se realiza la cuantificación porcentual, teniendo una participación de riesgo bajo del 33%, riesgo medio del 25% y un riesgo alto del 42%.

Tabla 7.

Porcentaje de los equipos según riesgo alto, medio y bajo

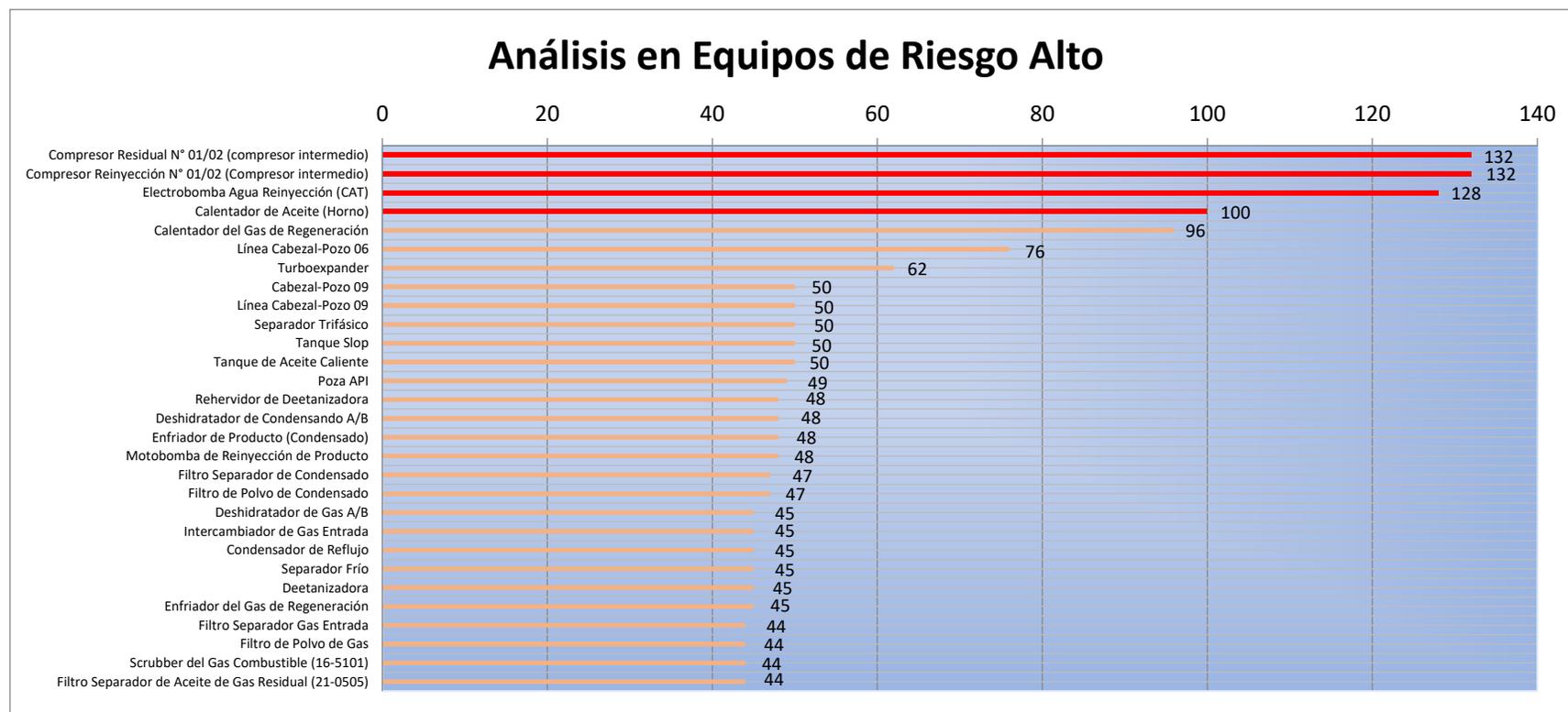
Color	Tipo de riesgo	% representativo
Blanco	Riesgo Bajo	33%
Amarillo	Riesgo Medio	25%
Rojo	Riesgo Alto	42%

Nota. Elaboración propia

En la figura 5, se observa la tendencia de escala del nivel de riesgo de los equipos usados para la realización de las actividades extractoras de petróleo, considerando como prioridad las máquinas compresoras intermedios, además el análisis arroja la condición de equipos en riesgo alto.

Figura 5.

Análisis en equipos de riesgo alto.

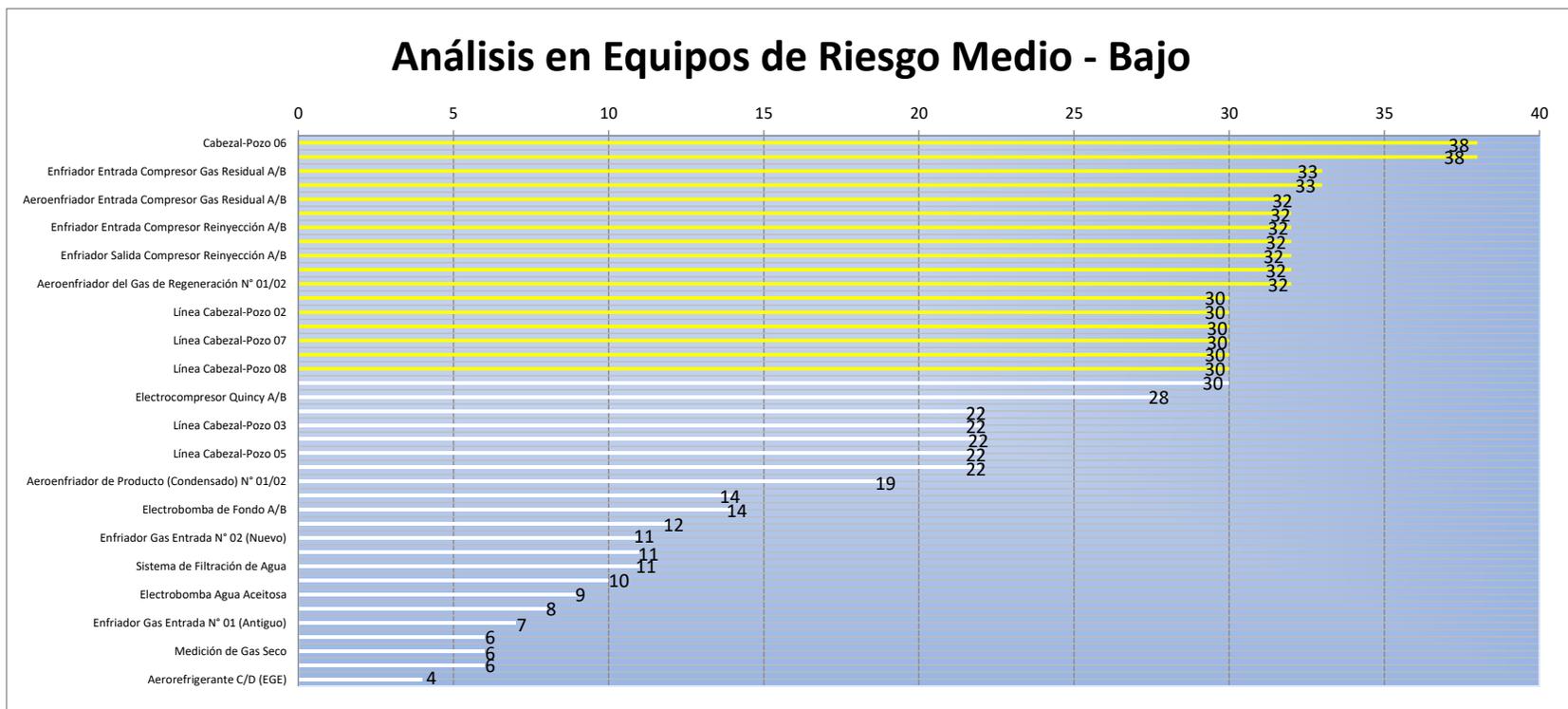


Nota. Elaboración propia

En la figura 6 se observa la maquinaria de riesgo medio, desde el cabezal-pozo 06 hasta línea cabezal pozo 07, y los equipos que tienen un riesgo bajo desde el grupo electrógeno A/B hasta el aerorefrigerante C/D (EGE). Se desprecian los equipos con estos valores ya que no representan una severidad alta que comprometa el flujo productivo de la empresa.

Figura 5.

Análisis en equipos de riesgo medio-bajo.



Nota. Elaboración propia

En la figura 7 se observa las pérdidas en unidades está por encima de 60 barriles por hora, y la pérdida más baja fue de 40,01 barriles/hora.

Figura 6.

Análisis de pérdidas en barriles por hora para equipos de riesgos altos.

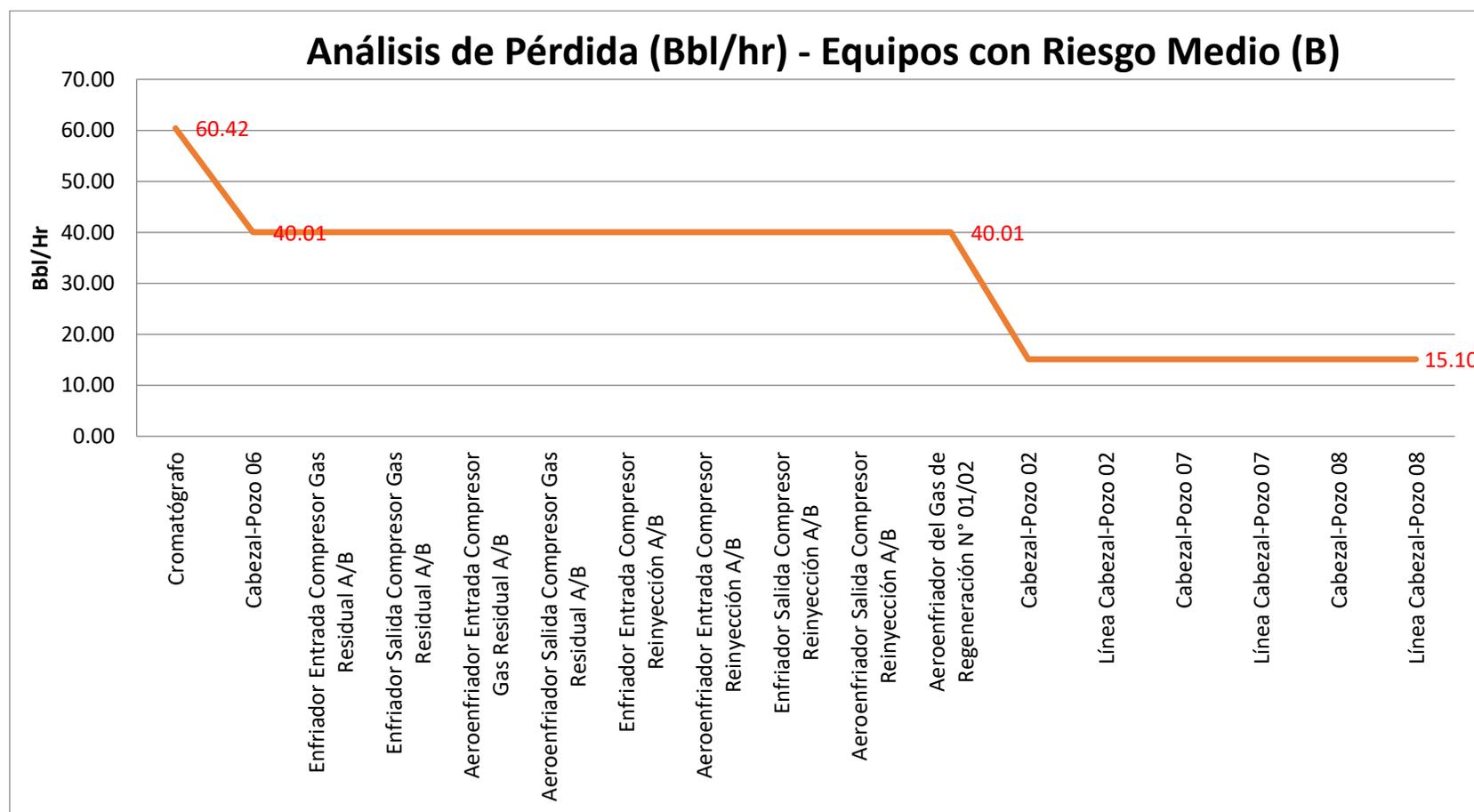


Nota. Elaboración propia.

En la figura 8 se observa las pérdidas están por encima de 60 barriles por hora, y la pérdida más baja fue de 15.1 barriles/hora.

Figura 7.

Análisis de pérdidas en barriles por hora para equipos de riesgo medio.



Nota. Elaboración propia

Dado que el motocompresor intermedio 1 y motocompresor intermedio 2 son los activos más críticos del proceso de compresión de gas y su funcionamiento está asociado al 60% de la producción total del lote petrolero, se encuentra.

Equipo principal: Motocompresor

El motocompresor se divide en tres partes importantes para su funcionamiento, entre ellos se tiene el Cooler, Motor de combustión interna y el compresor. En estos equipos se realizó el análisis de fallas.

Para el primer modo de fallas funcional el análisis indica lo siguiente: “No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección del anillo de gas lift y recuperar petróleo crudo a nivel de superficie”. Ver figura 1.

Para el segundo modo de fallas funcional del motor se analizó lo siguiente: “Falla en el motor de combustión: No entregar al compresor 970 RPM, una potencia de 1667 HP, tener una temperatura de aire de entrada de 136°F”. Ver figura 2.

Para el tercer modo de falla funcional del compresor se analizó lo siguiente: “Falla en el compresor: No elevar la presión de 480 PSI a 1100 PSI”. Ver figura 3.

Para el cuarto modo de falla funcional del cooler se analizó lo siguiente: “Falla en el cooler: No mantener la Temperatura del gas de proceso a 100-110 °F de entrada y salida, y la temperatura del agua (175°F)”. Ver figura 4.

Tipos de falla.

Falla del motor:

- Falsa señal de sensores.
- Baja temperatura en cilindros.
- Detonaciones.

Falla del compresor:

- Falta señal de sensores.
- Rotura de componentes del compresor.
- Falta de flujo lubricante en los packing del compresor

Fallas del cooler:

- Falta de señal de sensores en el cooler.
- Vibraciones en el eje del cooler.
- Falla en el ventilador.

Los costos de fallas comprenden (compresor intermedio HP 4220) 21,7 horas de parada, una producción perdida de 870 barriles, producción perdida por el compresor de 435 barriles/día y un costo de barril en producción de \$60. En la tabla 8 se detallan las pérdidas.

Tabla 8.

Costo de falla compresor intermedio 1.

Fallas no contempladas en mantenimientos.	Valor	Unidad
Horas de parada	21.7	horas
Producción Diaria Total	870	barriles
Producción Diaria por Compresor	435	barriles
Costo promedio de Barril	60	\$
Total	23598.75	\$

Nota. Elaboración propia

Los costos del motocompresor intermedio 2 (HP 70233) 22,17 horas paradas, una perdida en la producción diaria de 870 barriles perdidas por fallo del compresor de 435 barriles/día, y un costo de producción de \$60. En la tabla 9 se detallan las perdidas.

Tabla 9.

Costo de falla compresor intermedio 2.

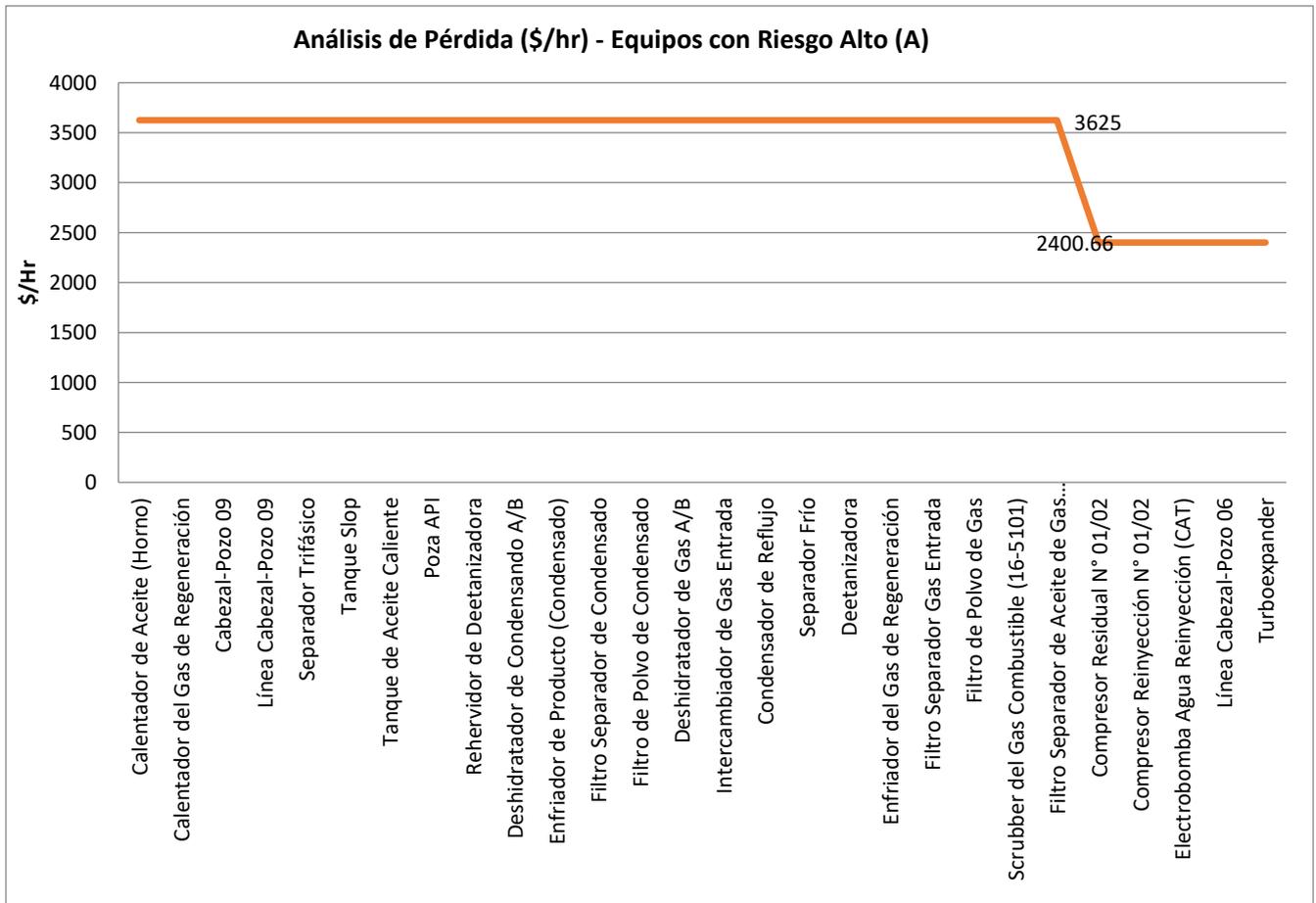
Fallas no contempladas en mantenimientos.	Valor	Unidad
Horas de parada	22.16666667	horas
Producción Diaria Total	870	barriles
Producción Diaria por Compresor	435	barriles
Costo promedio de Barril	60	\$
Total	24106	\$

Nota. Elaboración propia

En la siguiente figura se registra en nivel de pérdida por equipo registrado, tomando en consideración este primer parte como riesgo alto (A).

Figura 8.

Análisis en equipos de Riesgo alto

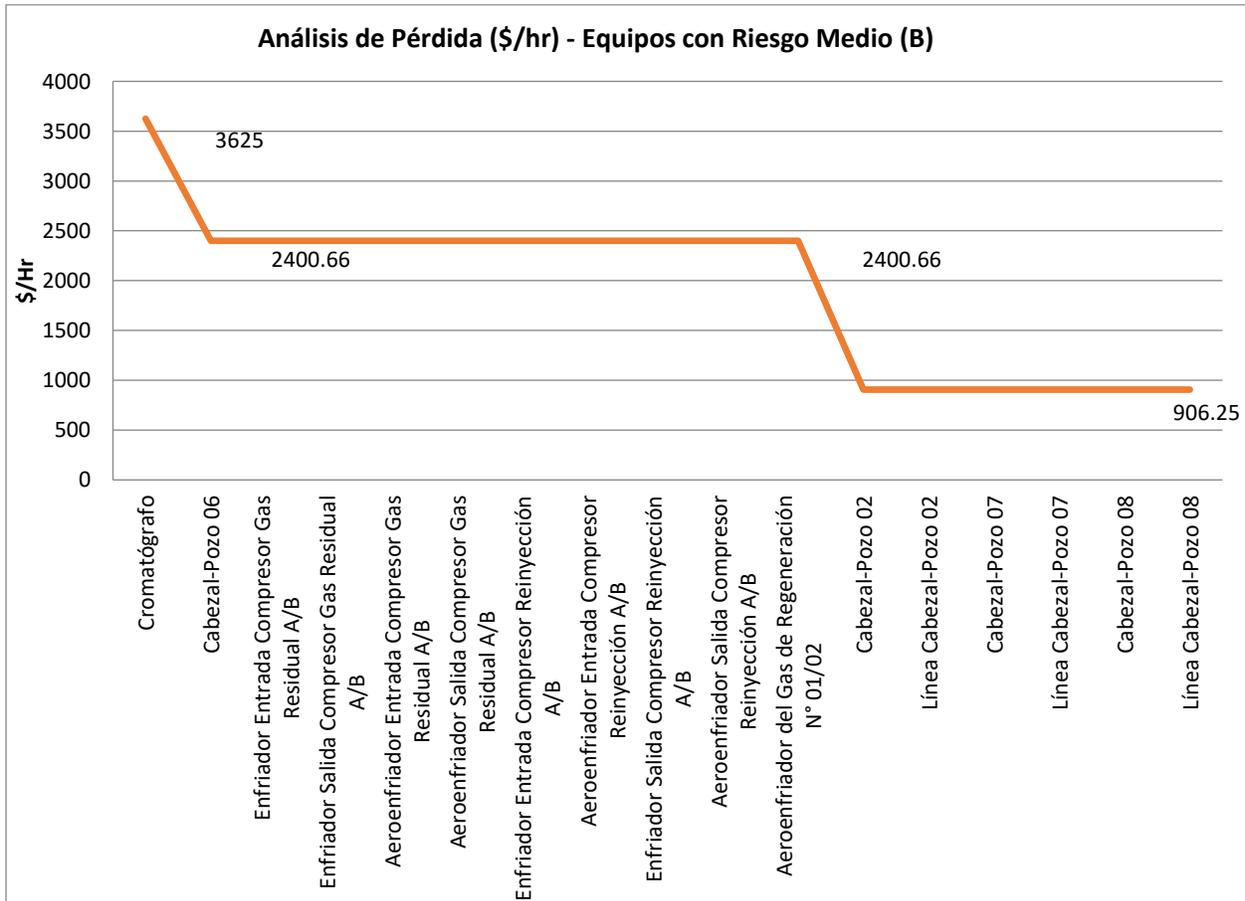


Nota. Elaboración propia.

En la siguiente figura se registra en nivel de pérdida por equipo registrado, tomando en consideración este primer parte como riesgo medio (B).

Figura 9.

Análisis en equipos de riesgo medio



Nota. Elaboración propia.

En la tabla 10 se muestra la producción de la empresa durante el periodo del 2023, donde la media de la producción diaria se encuentra en un promedio de 1357 barriles.

Tabla 10.

Producción fiscalizada 2023

Mes	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23
Bls/dia	1493	1425	1493	1422	1289	1231	1283	1248	1390	1315	1447	1248
Bls/mes	46293	39906	46274	42652	39960	36927	39769	38677	41704	40765	37449	44845

Nota. Fuente Página Perú Petro (2023)

En la tabla 11 se muestra la producción desde noviembre 2023 hasta abril del año 2024, donde se produce una media de 1299 barriles, 58 barriles menos de los producidos el año anterior.

Tabla 11.

Producción de los últimos 6 meses

Mes	Nov-23	Dic-23	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24
Bls/dia	1447	1248	1337	1276	1241	1250
Bls/mes	37449	44845	41459	37010	38499	37500

Nota. Fuente Página Perú Petro (2024)

En la tabla 12 se muestra la proyección de producción para el 2024, teniendo una media de 1106 barriles, durante el año 2024, sin embargo, en comparación con la producción del 2023, la caída de producción se pronostica con una baja de 251 barriles.

Tabla 12.*Pronóstico de producción diaria 2024*

Mes	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Ago-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dic-24
Bls/día	1269	1214	1182	1155	1131	1111	1092	1076	1047	1022	998	976
Bls/mes	39339	33992	36642	34650	35061	33330	33852	33356	31410	31682	29940	30256

Nota. Fuente Página Perú Petro (2023)

Indicando que el método de inyección de gas comprimido proveniente de los motocompresores solo sustenta el 60% de la producción.

En la tabla 13 se muestra la producción de la empresa durante el periodo del 2023, donde la media de la producción diaria se encuentra en un promedio de 814,2 barriles.

Tabla 13.*Producción fiscalizada 2023*

Mes	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23
Bls/día	895.8	855	895.8	853.2	773.4	738.6	769.8	748.8	834	789	868.2	748.8
Bls/mes	27769.8	26505	27769.8	26449.2	23975.4	22896.6	23863.8	23212.8	25854	24459	26914.2	23212.8

Nota. Elaboración propia

En la tabla 14 se muestra la producción de barriles desde noviembre del 2023, hasta la fecha abril 2024 donde se produce una media de 779,9 barriles, 35 barriles menos de los producidos el año anterior.

Tabla 14.*Producción de los últimos 6 meses*

Mes	Nov-23	Dic-23	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24
Bls/día	868.2	748.8	802.2	765.6	744.6	750
Bls/mes	26914.2	23212.8	24868.2	23733.6	23082.6	23250

Nota. Elaboración propia

En la tabla 15 se muestra la proyección para el 2024, teniendo una media de 663 barriles, sin embargo, en comparación con la producción del 2023, la caída de producción se pronostica una baja de 151.6 barriles.

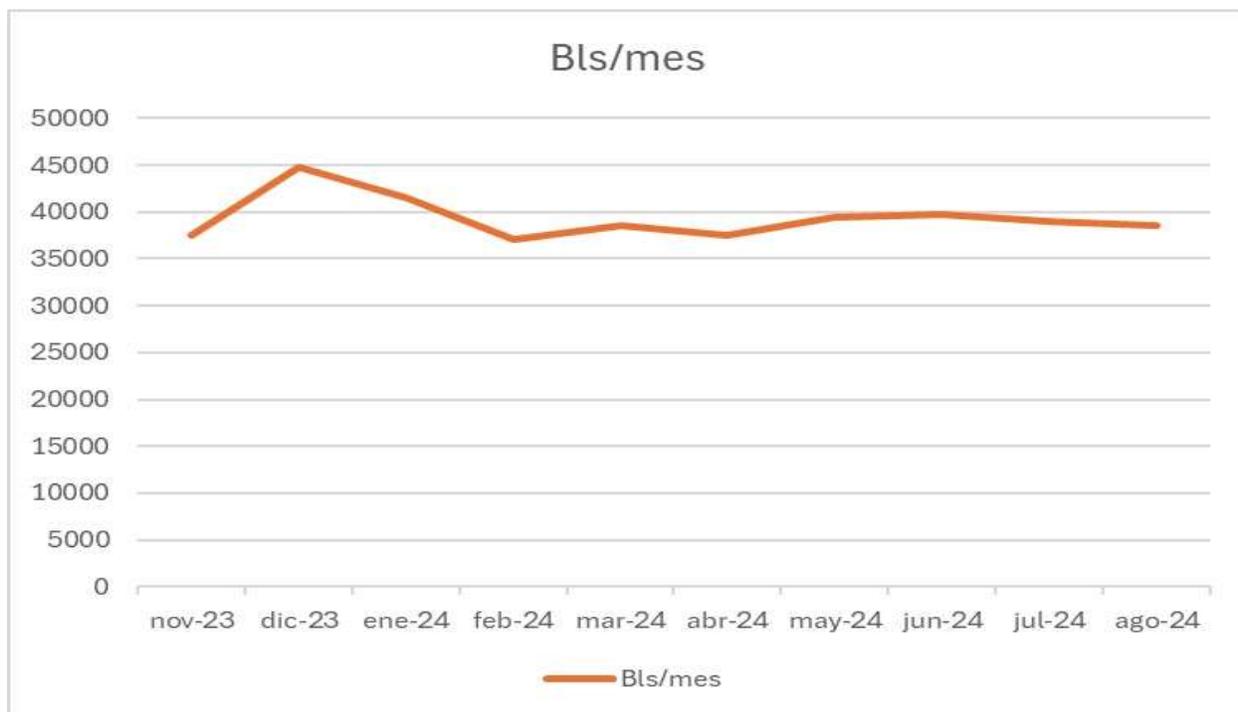
Tabla 15.*Pronóstico de producción diaria 2024*

Mes	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Ago-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dic-24
Bls/día	761.4	728.4	709.2	693	678.6	666.6	655.2	645.6	628.2	613.2	598.8	585.6
Bls/mes	23603.4	22580.4	21985.2	21483	21036.6	20664.6	20311.2	20013.6	19474.2	19009.2	18562.8	18153.6

Nota. Elaboración propia

Figura 10.

Proyección de la producción de petróleo crudo (2024)



Nota. Elaboración propia

Resumen de las pérdidas por mantenimiento preventivo con un promedio de tiempo de 1500 horas.

Tabla 16.

Intervalos y cantidad de mantenimientos con programa actual.

INTERVALO- HRS	INTERVALO- DIAS	N° MTTOS ANUAL	N° MTTOS ANUAL	HORAS DE MTTO
1500 HRS	63	5.793650794	6	12

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17.

Costo por pérdida de barriles.

BARRILES POR DÍA	BARRILES POR HORA	HRS DE MTTO	COSTO DE BARRIL	COSTO POR MTTO
870	18.125	12	\$60.00	\$13,050.00
ANUAL				
\$78,300.00				

Nota. Elaboración propia.

Costo total anual por mantenimientos.

En la tabla se identificaron los costos por mantenimiento, repuestos y por fallas no contempladas durante la gestión de mantenimiento, teniendo en cuenta que solo se consideraron los 2 compresores como la mayor máquina en estado crítico.

Tabla 18.

Costo por pérdidas en mantenimientos.

COSTOS POR MTTO	\$78,300.00
COSTOS POR RPTOS	\$16,265.47
COSTOS POR FALLAS NO CONTEMPLADAS EN PREVENTIVOS/RCM	\$24,106.25
TOTAL	\$118,671.72

Nota. Elaboración propia.

Figura 11.

Diagrama de Ishikawa de las causas de la baja productividad.

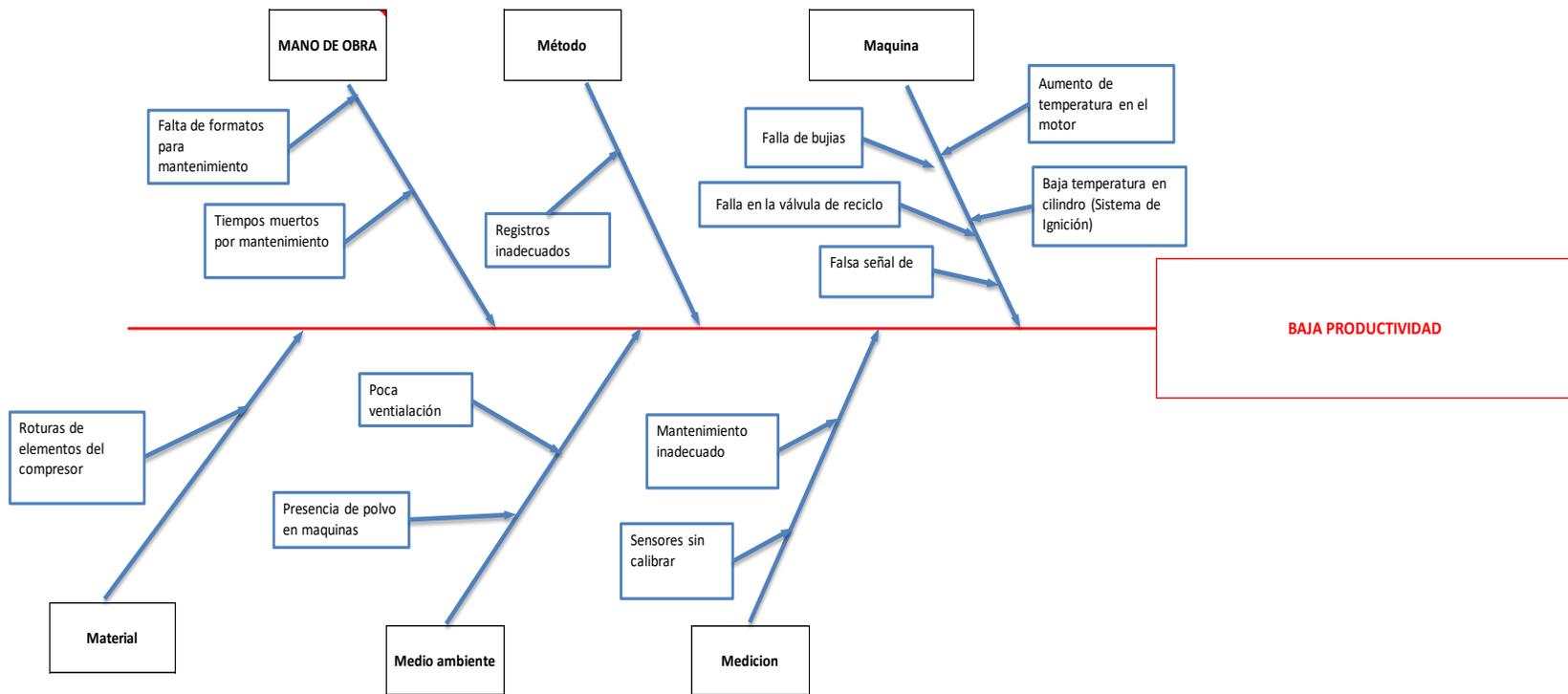


Diagrama de Pareto.

En la tabla 19 se muestra el diagrama de Pareto, los efectos y su descripción de problema, se tiene con mayor porcentaje las causas que afectan a la maquinaria directamente por intervención inadecuada de la actual gestión de mantenimiento.

Tabla 19.

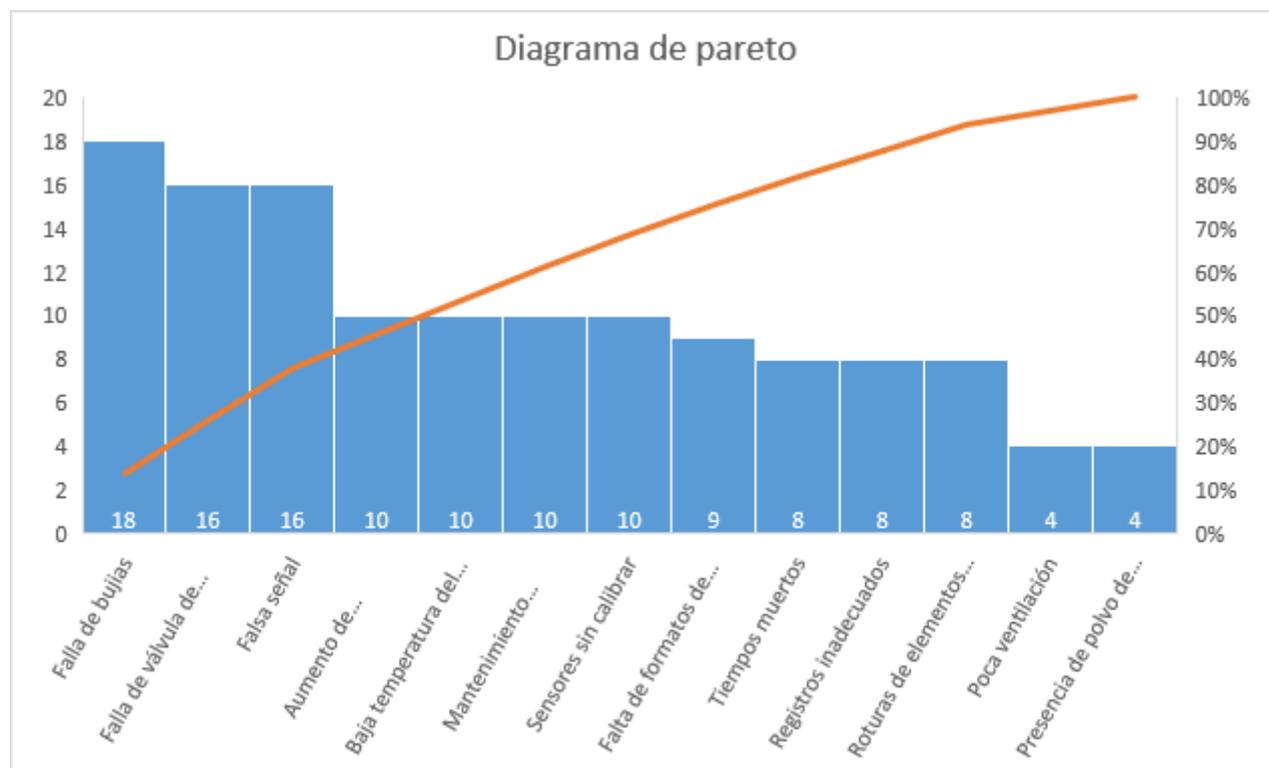
Diagrama de Pareto

TIPO DE EFECTO	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	FRECUENCIA	%
Falla de bujías	Bujías desgastadas	18	14%
Falla de válvula de reciclo	Atoramiento en la válvula de reciclo	16	12%
Falsa señal	Inadecuado contacto eléctrico	16	12%
Aumento de temperatura en el motor	No tienen enfriadores en el motor	10	8%
Baja temperatura del cilindro	Adelgazamiento de la película de aceite	10	8%
Mantenimiento inadecuado	Realizan mantenimiento correctivo	10	8%
Sensores sin calibrar	Sensores inestables	10	8%
Falta de formatos de mantenimiento	No registran los formatos	9	7%
Tiempos muertos	Exceso de tiempos por mantenimiento	8	6%
Registros inadecuados	Documentos desfasados	8	6%
Roturas de elementos del compresor	Piezas sin cambiar	8	6%
Poca ventilación	Espacios cerrados, sin corriente natural de aire	4	3%
Presencia de polvo de maquinas	poca limpieza en el área	4	3%
TOTAL		131	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 12.

Diagrama de Pareto de las causas de la baja productividad.



Nota. Elaboración propia

3.2 Implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad

Los 02 compresores intermedios (reciprocantes, 01 etapa, idénticos) existentes en la planta de Procesamiento de Gas del Lote petrolero, ambos operan en la costa norte de Perú, temperatura de medio ambiental 18° - 34° C, estos compresores se necesita que mantengan la compresión necesaria para la entrega de gas al proceso de recuperación de petróleo crudo a nivel de superficie de los pozos inyectoros. Deben estar diseñados para comprimir y entregar gas comprimido a 1170 PSIG y 120°F. Diseñados para mover 6.5 MMSCFD de flujo máximo de gas.

La data en función a la confiabilidad de los años 2020, 2021, 2022, 2023, se muestra en la siguiente tabla, donde se muestra una cantidad considerable de fallas ocurridas en estos periodos. El promedio de fallas anuales fue de 152.

Tabla 20.

Indicadores de performance de motocompresores

AÑO	# Moto Compresores	Tiempo Disponible	Tiempo de Funcionamiento	Tiempo de operación Neta	N°de FALLAS	Disponibilidad	Confiabilidad	Operatividad	Disponibilidad	Confiabilidad	MTBF	MTTR
2020	2	17856	16593	15646	98	94.48%	97.30%	97.00%	92.00%	93.00%	37.30	0.59
2021	2	17856	17457	16892	212	89.61%	91.71%	97.00%	92.00%	93.00%	45.32	1.35
2022	2	17856	16785	16215	178	81.34%	92.91%	97.00%	92.00%	93.00%	31.37	0.91
2023	2	17520	17145	17049	119	92.07%	96.07%	97.00%	92.00%	93.00%	30.59	0.55

Fuente: Documentos estratégicos de la empresa.

La creación de un programa de mantenimiento se realizó con el objetivo de servir como guía para el operador, el técnico de mantenimiento y el personal administrativo. Para la propuesta de este programa de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), se consideraron las fallas más críticas de cada máquina de telar industrial, con el fin de mejorar los indicadores de mantenimiento.

Se realizó el análisis criticidad, modo y efectos de falla (FMECA) considerando el costo H-H de un supervisor de \$8.50 y un técnico de mantenimiento de \$6.25. No se pagan penalidades por parada de producción.

El costo promedio de mantenimiento mayor (Overhaul) en un compresor intermedio es de \$100,000.00

Formula usada para hallar el costo total de parada por falla:

$$= \text{costo parada } h \left(\frac{\$}{\text{por mantenimiento}} \right) * h. \text{parada} + 8.5 \left(\frac{\$}{h} \right) * HHsup + 6.25 \left(\frac{\$}{h} \right) * HHtec + \text{costo Mtto.} (\$) + \text{servicios} (\$) + \text{penalidades} (\$)$$

Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Tabla 21.

Vista parcial del Estudio de Fallas a detalle a través del FMECA

INSTALACIÓN	SISTEMA	SUBSISTEMA	EQUIPO	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	MECANISMO DE FALLA	TIPO DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Falsa señal de sensores	Falla Potenciómetro de contenido de BTU	Falla en el cable eléctrico
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Falsa señal de sensores	Falla Potenciómetro de contenido de BTU	Falla del módulo de control de energía de combustible
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Falsa señal de sensores	Falla de sensor de temperatura de aire de entrada	Cable eléctrico averiado/Terminales averiados
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Falsa señal de sensores	Falla de sensor de temperatura de aire de entrada	Sensor de temperatura defectuoso
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Falsa señal de sensores	Falla en el Termostatos del motor	Error humano
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Baja temperatura en cilindros (Sistema de Ingnición)	Falla en la extensión	Falla en continuidad eléctrica
Planta de Gas	PRODUCCIÓN DE GAS SECO	COMPRESIÓN DE GAS	COMPRESOR DE GAS INTERMEDIO	Motor de Combustión Interna	Entregar 970 rpm al compresor	No elevar la presión a 1100 PSI y mantener la temperatura a 110 °F del gas de proceso, para alimentar la reinyección al anillo de gas lift y extraer petróleo crudo a nivel de superficie.	Falla del motor de combustión	Baja temperatura en cilindros (Sistema de Ingnición)	Falla en las bobinas	Rotura de pernos, por ajuste inadecuado de los mismos

Nota. Elaboración propia (mayor resolución en anexo 11 se adjunta el enlace drive de archivo Excel)

Figura 13.

Árbol lógico de decisión del RCM

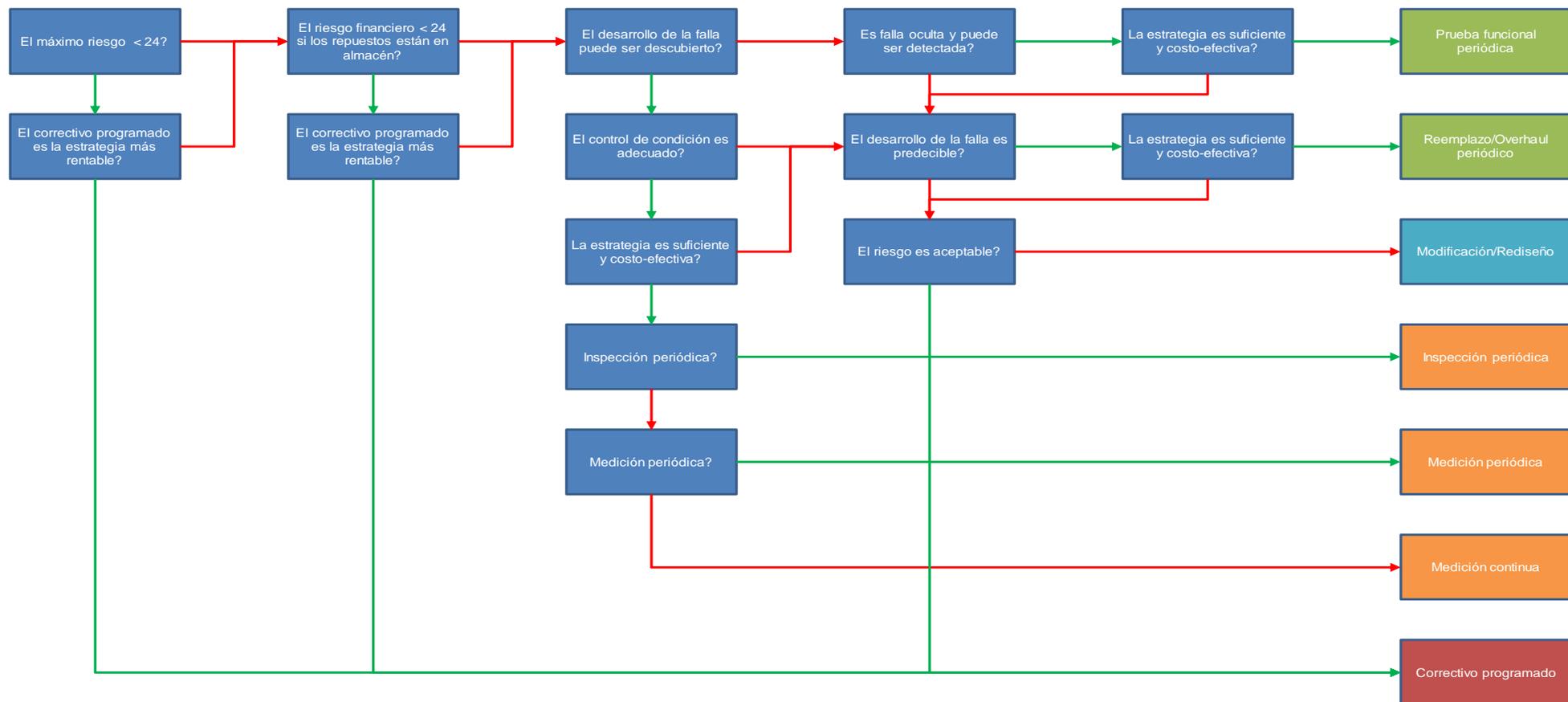


Tabla 22.

Resultados de análisis FMECA

Acción de Mantenimiento	Descripción de acción de mantenimiento	Área Responsable	Intervalo	Unidad Intervalo
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo cada 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo cada 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora
Monitoreo de Condiciones/ Mantenimiento Preventivo	Implementación de señales (parámetros operativos) en el SCADA para monitoreo continuo/ Mantenimiento Preventivo de 2,000 HRS.	Mantenimiento/Operaciones	2,000	Hora
Monitoreo de Condiciones/ Mantenimiento Preventivo	Implementación de señales (parámetros operativos) en el SCADA para monitoreo continuo/ Mantenimiento Preventivo de 1,000 HRS.	Mantenimiento/Operaciones	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Reemplazo de termostatos mecánicos de agua cada 10,000 hrs. en mtto. preventivo	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento preventivo de 1,000 hrs.	Mantenimiento	1,000	Hora
Mantenimiento preventivo	Informar/capacitar a ejecutores con el correcto torque que debe llevar: 18 lb/pie/ Mantenimiento preventivo de 1,000 hrs.	Mantenimiento	1,000	Hora
Implementación/Mantenimiento Preventivo	Reemplazo de bujías originales usadas de 01 electrodo, por bujías de 02 ó más electrodos, reemplazo por bujías champions (costo). Inspección en Mtts. preventivos de 1,000 hrs. Reemplazo en Mtts preventivos de 5,000 hrs	Mantenimiento	1,000	Hora
Impermeabilización / Mantenimiento Preventivo	Relleno de silicona alrededor de buffer para evitar el paso de agua de lluvia. / Mantenimiento preventivo de 1,000 hrs.	Mantenimiento	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Ingresar al mtto. De 10,000 hrs. (01 año, 02 meses en promedio) la inspección del harness	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección y alineamiento en mtto. preventivo de 2,000 hrs. Reemplazo en mtto. de (5,000-10,000) hrs	Mantenimiento	2,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección y alineamiento en mtto. preventivo de 2,000 hrs. Reemplazo en mtto. de (5,000-10,000) hrs	Mantenimiento	2,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Reemplazo de todos los pernos, por tiempo de vida útil	Mantenimiento	-	
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento preventivo de 10,000 hrs. Se reemplaza por bomba de agua previamente reparada (parte de planificación)	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Reemplazo al fallar el componente. / Se ataca en mtto. de 1000 hrs. Programación para verificar roturas, fugas como preventivo	Mantenimiento	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento de 2,000 hrs.	Mantenimiento	2,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección completa del aftercooler en mtts. de 10,000 horas.	Mantenimiento	10,000	Hora
Implementación/Mantenimiento Preventivo	Cierre de cooler por parte inferior (fácil ingreso de insectos) / Implementación de limpieza a 1,000 hrs (toma principal de succión) / Limpieza correcta en mtts. Menores (no doblar aletas de as de tubos) / Rectificar aletas de as de tubos	Mantenimiento	1,000	Hora
Implementación/Mantenimiento Preventivo	Cierre de cooler por parte inferior (fácil ingreso de insectos) / Implementación de limpieza diaria de coolers (toma principal de succión) / Limpieza correcta en mtts. Menores (no doblar aletas de as de tubos)	Operaciones	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Reparación de aislante térmico en mtto. de 10,000 hrs./ Verificación de ajuste en mtto. de 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección y alineamiento en mtto. preventivo de 2,000 hrs. Reemplazo en mtto. de (5,000-10,000) hrs	Mantenimiento	2,000	Hora
Implementación / Mantenimiento Preventivo	Adquisición de software (Exterran) para simulación operativa de motocompresor, con el fin de obtener parámetros operacionales ideales de funcionamiento, comprándolas con los llevados a día de hoy. / Mantenimiento preventivo de 1,000 hrs	Mantenimiento	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento preventivo de 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora

Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 10,000 hrs. (Reemplazo) / De ser necesario se reemplazará en Mtos. menores (Actuador en Stand By reparados)	Mantenimiento.	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 5,000 hrs. (Engrese y Calibración). Mantenimiento Preventivo de 10,000 (Reemplazo)	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 5,000 hrs. (Reemplazo y/o Reparación)	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 10,000 hrs. (Reemplazo) / De ser necesario se reemplazará en Mtos. menores (Actuador en Stand By reparados)	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 5,000 hrs. (Engrese y Calibración). Mantenimiento Preventivo de 10,000 (Reemplazo)	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección/Reemplazo de Mantenimiento Preventivo de 60,000 hrs.	Mantenimiento	60,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 10,000 hrs. (Reemplazo) / De ser necesario se reemplazará en Mtos. menores (Actuador en Stand By reparados)	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 5,000 hrs. (Engrese y Calibración). Mantenimiento Preventivo de 10,000 (Reemplazo)	Mantenimiento	5,000	Hora
Implementación	Capacitación de ejecutores.	Mantenimiento	-	
Mantenimiento Preventivo	Inspección mantenimiento preventivo de 1000 hrs, inspección de block de distribución	Mantenimiento	1,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 2,000 hrs.	Mantenimiento	2,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 2,000 hrs.	Mantenimiento	2,000	Hora
Implementación	Capacitación a los ejecutores.		-	
Mantenimiento Preventivo	Inspección del estado de levas y rodillos en mto. De 10,000 hrs.	Mantenimiento	10,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Inspección de válvulas check (hermeticidad) a las 10,000 hrs./ Inspección de líneas de lubricación en mto. preventivo de 2,000 hrs.	Mantenimiento	2,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento preventivo de 5,000 hrs.: Inspección de condición de válvulas de succión y descarga	Mantenimiento	5,000	Hora
Implementación/Mantenimiento Preventivo	Reemplazo de cables eléctricos actuales por uno de mayor dureza en siguiente OH/ Inspección y/o reparación en preventivo de 2000 hrs.	Mantenimiento	2,000	Hora
Implementación	Implementar protección a chumaceras en cada lavado del cooler/ Capacitación a ejecutores	Mantenimiento	-	
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento preventivo de 60,000 hrs. Inspección de ejes/ Alineamiento de ejes	Mantenimiento	60,000	Hora
Mantenimiento preventivo	Mantenimiento preventivo: Limpieza de cooler cada 1,000 hrs	Operaciones	1,000	Hora
Implementación	Implementación de celosilla por la toma de ventilación	Mantenimiento	-	
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo cada 5,000 hrs.	Mantenimiento	5,000	Hora
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo de 10,000 hrs.	Mantenimiento	10,000	Hora
Implementación	Capacitación de ejecutores sobre correcto funcionamiento.	Operaciones	-	
Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento a las 10,000 hrs.	Mantenimiento	10,000	Hora

Después realizado el FMECA, en la tabla 26 determinamos las tareas preventivas y proactivas, indicando el tipo de mantenimiento, la acción a desarrollar, el área encargada y el intervalo de tiempo a ejecutar. Se recomienda en cuanto a repuestos de los motocompresores, sean estandarizados, tiene que ser muy mantenibles en cuanto a la facilidad del retiro de sus elementos, se debe considerar un puente grúa de 10 TN como facilidad, para el retiro de piezas de mayor envergadura.

Tabla 23.

Plan de mantenimiento de 1000 horas

MECANICO				
N	Sistema/componente/equipo	Actividad	FALLA	MTBF
1	Sistema de ignición	Bujías (por falla de bujías)		
1.1		Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite		
1.2		Ajustar la abertura de las bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías		
1.3		Vida útil estima de las bujías entre 4000 y 8000 horas (no es necesario, ni se recomienda limpiar las bujías)	Luz de electrodos de bujías fuera de rango	02 meses
1.4		Apertura de la bujía: 0.28 +/- 0.03 mm (0.011+/- 0.001 de pulg).		
1.5		Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada.		
2	Sistemas de ignición	Bobinas		
2.1		Torque de pernos de bobinas: 18 lb-pie	Rotura de pernos por excesivo ajuste	1 año
3	Sist. Refrigeración y lub	Líneas, tuberías y posibles fugas (RCM: ROTURA DE NIPLE DE TUBERIA DE 2": MTBF: 1 año)		
3.1		Inspección y engrase de varillaje de actuadores		
4	Varillajes	Varillajes de actuadores		
4.1		Inspección y engrase de varillajes de actuadores	Regulación de varillaje fuera de rango	2 años
4.2		Calibrar actuadores con el DDT		
5	Fajas de transmisión	Fajas de transmisión		
5.1		Inspección visual	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida útil	9 meses
ELÉCTRICO				
7	Sistema de ignición	Bujías		
		Resistividad: del externo al electrodo central: 6kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico)	Carbonización de los electrodos de las bujías/ detonaciones	02 meses
		Limpieza/continuidad		
8	Sistema de ignición	Buffer	Falla en buffers por ingreso de agua de lluvias	08 meses

9	Sistema de ignición	Imput: 24Vdc, Output: 8Vdc Harness (Buffer- sensor de combustible y buffer-bobina) Resistividad: 0.15 ohm/ continuidad	Cables a tierra por aislamiento en mal estado/detonación	03 años
10	Sistemas de ignición	Bobinas Resistividad: 0.8 ohm/ continuidad En clavija A y B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)	Detonación (baja temperatura en un cilindro genera el esfuerzo del resto de unidades de potencia)	02 meses
11	Sistemas de ignición	Extensión Resistividad: 0.9 ohm/ continuidad Harness de sensores de combustión Prueba de resistividad	Falta de continuidad eléctrica Des calibración de precámaras falla: SXX-!3 (harness buffer sensor de combustión)	02 años 1.5 meses
INSTRUMENTACIÓN				
6	Sensores	Dispositivo de protección del motor		
6.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien- Caterpillar Medidores y pantallas Compruebe estado de las pantallas electrónicas. (Reemplazo o reparare medidores rotos)	Falta señal de sensores de protección del motor y sensores auxiliares	06 meses

En la tabla 23, indicamos el plan de mantenimiento de 1,000 horas a la parte mecánica, eléctrica e instrumentación indicando el componente, sistema y equipo con la actividad a ejecutar, teniendo en cuenta las fallas y el MTBF registradas en el FMECA.

Tabla 24.

Plan de mantenimiento de 2000 horas

MECANICO				
N	Sistema/componente/equipo	Actividad	FALLA	MTBF
1	Acople motor ventilador	Fajas de transmisión		
1.1		Retirar las guardas de faja de transmisión de potencia del motor- ventilador		
1.2		Verificación de alimento de fajas motor - ventilador		
1.3		Inspeccionar la tensión de fajas y verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras)	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida putil	09 meses
1.4		Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor-cooler		
1.5		Limpieza del motor con aire a presión		
2	Parte superior motor	Balancines y válvulas de admisión, escape y gas		
2.1		Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas motor. Válvula de admisión: 0.020", válvula de escape gas: 0.025". Registrar valores	Juego excesivo o deficiente en calibración de válvulas de admisión y escape	
		Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor		
3	Parte interior de precámara	Válvulas check de precámara		
3.1		Inspección de válvulas check	Falla en valvula check de precámara (Desgaste)	04 meses
4	Parte superior de culatas	Sistema de respiradero del cáter		
4.1		Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos		
		Torque de abrazadera de retención del respiradero: 4,5 +/- 0.6 N.m (40 +/- 5 lb.pulg)		
4.2		Torque de abrazaderas de manguera: 3,0 +/- 0.5 N.m (27+/- 4,5 lb-pulg)		
5	Sistema de ignición	Bujías		
5.1		Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite	Luz de electrodos de bujías fuera de rango	
5.2		Ajustar la abertura de las bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías		
5.3		Vida útil estimada de las bujías: entre: 4000 y 8000 horas. (no es necesario, i se recomienda limpiar las bujías)		
5.4		Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada		

5.5		Apertura de la bujía 0.28 +/- 0.03 mm (0.011 +/- 0.001 de pulg)		
6	Sistema de ignición	Sensores de combustión		
7.1		Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión 9,5 +/- 0.5 N.m (84,0)	Descalibración de precámara falla: SXX-13 (harnessbuffer sensor de)	02 meses
7		Bobinas		
7.1		Torque de pernos de bobinas	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida útil	1.5 meses
8	Adaptadores	Actuadores (Choke, Wastegate y GP- Control)		
8.1		Inspeccionar, engrasar y regular las articulaciones y varillajes de actuadores del motor (Wastergate, Choke y GP-control)	Actuadores averiados o en mal estado/ varillaje regulado fuera de rango	1 año
8.2		Reemplazar actuadores de ser necesario (en Caso de falla o alarma) por uno reparado		
ELÉCTRICO				
9	Sistema de ignición	Bujías		
9.1		Resistividad: del externo al electrodo central: 6kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico)	Carbonización de los electrodos de las bujías/ Detonaciones	02 meses
9.2		Limpieza/continuidad		
10	Sistema de ignición	Buffer		
10.1		Imput: 24Vdc, Output: 8Vdc	Falla en buffers pro ingreso de agua de lluvias	08 meses
11	Sistema de ignición	Harnes (Buffer- sensor de combustible y buffer-bobina)		
11.1		Resistividad: 0.15 ohm/ continuidad	Cables a tierra por aislamiento en mal estado (detonación)	03 años
12	Sistemas de ignición	Bobinas		
12.1		Resistividad: 0.8 ohm/ continuidad	Detonaciones (baja temperatura en un cilindro genera el esfuerzo del resto de unidades de potencia)	02 meses
12.2		En clavija A y B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)		
13	Sistemas de ignición	Extensión		
13.1		Resistividad: 0.9 ohm/ continuidad	Falta en continuidad eléctrica	02 años
14		Pernos de caja de paso y caja de detonación		
14.1		Ajuste	Cables eléctricos averiados o flojos/ terminales flojos	06 meses
15		Harness (Sensores y Actuadores)		
15.1		Resistividad con respecto a tierra: 18-19 Gohm		
INSTRUMENTACIÓN				
16	Sensores	Dispositivo de protección del motor	Falsa señal de sensores de protección del motor y sensores auxiliares	06 meses
16.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien- Caterpillar		

16.2	Inspeccionar los visores y switch de nivel de tanque de expansión de agua del motor y compresor- Murphy
16.3	Inspeccionar/limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy
16.4	Inspeccionar y calibrar los switches de vibración del motor-Murphy
17	Líneas de aire
17.1	Limpiar y purgar las líneas de aire del instrumento de control
18	Medidores
18.1	Compruebe estado de las pantallas electrónicas. (Reemplace o repare medidores rotos)

En la tabla se muestra el resumen del plan de mantenimiento de 2000 horas para un motor es esencial para asegurar un funcionamiento confiable, eficiente y seguro del equipo, al mismo tiempo que se maximiza su vida útil y se minimizan los costos operativos.

Tabla 25.

Plan de mantenimiento de 5000 horas

MECANICO				
N	Sistema/componente/equipo	Actividad	FALLA	MTBF
1	Acople motor ventilador	Fajas de transmisión		
1.1		Retirar las guardas de faja de transmisión de potencia del motor- ventilador		
1.2		Reemplazo de faja C-75 y C-128		
1.3		Verificación de alimento de fajas motor - ventilador		
1.4		Inspeccionar la tensión de fajas y verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras) y poleas	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida útil	09 meses
1.5		Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor-cooler		
2		Sistema de lubricación del motor		
2.1		Reemplace los filtros de aceite cada vez que: Presión diferencial se acerque a 105 kPa (15 PSI), el o cada 1000 hrs. de servicio		
2.3		Limpieza del motor con aire a presión		
4	Parte superior motor	Balancines y válvulas check/reparación		
3.1		Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas motor. Válvula de admisión: 0.020", válvula de escape gas: 0.025". Registrar valores	Juego excesivo o deficiente en calibración de válvulas de admisión y escape	04 meses
3.2		Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor		
4		Precámara de combustión		
4.1		Inspección de válvulas check/ reparación	Falla en válvula check de precámara (desgaste)	02 meses
5	Parte superior de culatas	Sistema de respiradero del cáter		
5.1		Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos		
5.2		Torque de abrazadera de retención del respiradero: 4,5 +/- 0.6 N.m (40 +/- 5 lb.pulg)		
5.3		Torque de abrazaderas de manguera: 3,0 +/- 0.5 N.m (27+/- 4,5 lb-pulg)		
6	Sistema de ignición	Bujías	Luz de electrodos de bujías fuera de rango	
6.1		Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite		
6.2		Ajustar la abertura de las bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías		

6.3		Vida útil estimada de las bujías: entre: 4000 y 8000 horas. (no es necesario, i se recomienda limpiar las bujías)		
6.4		Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada		
6.5		Apertura de la bujía 0.28 +/- 0.03 mm (0.011 +/- 0.001 de pulg)		
7	Sistema de ignición	Sensores de combustión		
7.1		Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión 9,5 +/- 0.5 N.m (84,0	Des calibración de precámara falla: SXX-13 (harnessbuffer sensor de)	02 meses
8		Bobinas		
8.1		Torque de pernos de bobinas	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida putil	1.5 meses
9	Actuadores	Actuadores (Choke, Wastegate y GP- Control)		
9.1		Inspeccionar, engrasar y regular las articulaciones y varillajes de actuadores del motor (Wastergrate, Choke y GP-control)	Actuadores averiados o en mal estado/ varillaje regulado fuera de rango	1 año
9.2		Reemplazar actuadores de ser necesario (en Caso de falla o alarma) por uno reparado		
10	Turbo compresión	Turbocargador		
10.1		Inspeccionar el juego radial y axial del turbocargador antes de ser instalado. Juego axial: 0,004"-0,008", juego radial: 0,0024		
11	Parte frontal del motor	Aftercooler		
11.1		Limpieza de manifold de entrada de aire	Rotura de tuberías, ingreso de agua a ducto de aire de admisión, paso de agua a los cilindros	02 años
11.2		Limpieza del aftercooler (verificación de partículas, grietas, inspección de tapon)		
12	Sistema de refrigeración	Bombas de agua		
12.1		Inspección / reemplazo de bombas de agua	Fuga de agua por el sello mecánico de la bomba de agua	01 año
12.2		Inspección / reemplazo de sello (reemplazo de agua aditiva)		
13	Sistema de escape	Derivada del sistema de escape		
13.1		Reemplazo de válvula de derivación de gases de escape	Válvula wastegate en mal estado o averiada	02 años
13.2		Reemplazar conjunto de la caja de la válvula de derivación de gases de escape, eje y los extremos de los vástagos.		
14	Precámara	Válvulas agujas de fuel gas de precámara		
14.1		Inspección/reemplazo	Falla por desgaste de válvula aguja	08 meses
ELÉCTRICO				
16	Banco de baterías	Batería		02 meses

16.1		Limpio/compruebe el nivel de electrolito		
16.2		Mantenga baterías limpias		
16.3		Afloje abrazaderas de cables y quítelas de todos los bornes de las baterías		
16.4		Compruebe cargador de baterías	Carbonización de los electrodos de las bujías/	
17	Sistema de ignición	Bujías	Detonaciones	
17.1		Resistividad: del externo al electrodo central: 6kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico)		
17.2		Limpieza/continuidad		
18	Sistema de ignición	Buffer	Falla de buffers por ingreso de agua de lluvias	08 meses
18.1		Imput: 24Vdc, Output: 8Vdc		
19	Sistema de ignición	Harnes (Buffer- sensor de combustible y buffer-bobina)	Cables a tierra por aislamiento en mal estado /	03 años
19.1		Resistividad: 0.15 ohm/ continuidad	Detonaciones	
20	Sistemas de ignición	Bobinas	Detonaciones (baja temperatura en un cilindro genera el esfuerzo del resto de unidades de potencia)	02 meses
20.1		Resistividad: 0.8 ohm/ continuidad		
20.2		En clavija A y B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)		
21	Sistemas de ignición	Extensión	Falta en continuidad eléctrica	02 años
21.1		Resistividad: 0.9 ohm/ continuidad		
22	Caja de peso	Pernos de caja de paso y caja de detonación		
22.1		Ajuste	Cables eléctricos averiados o flojos/ terminales flojos	06 meses
23	Motor en general	Harness (Sensores y Actuadores)		
23.1		Resistividad con respecto a tierra: 18-19 Gohm		
24	Parte frontal del motor	Pick up magnético		
24.1		Limpiador mecánicamente los pick-up magnéticos del motor		
24.2		Sensor de velocidad - calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)		
24.3		Sensor de sobre velocidad- calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)	Falta en el módulo de control de energía de combustible	01 año
24.4		Sensor de ángulo de giro- calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)		
24.5		Aprieto de contratuerca 45 +/- 7 N.m (0.028 +/- 0.006 in)		
25	Parte de control	Potenciómetro de contenido de BTU		

25.1		Inspección de módulo de control de energía y cable		
INSTRUMENTACIÓN				
26	Sensores	Dispositivo de protección del motor		
26.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien- Caterpillar		
26.2		Inspeccionar los visores y switch de nivel de tanque de expansión de agua del motor y compresor- Murphy	Falsa señal de sensores de protección del motor y sensores auxiliares	06 meses
26.3		Inspeccionar/limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy		
26.4		Inspeccionar y calibrar los switches de vibración del motor-Murphy		
27	Motocompresor	Líneas de aire		
27.1		Limpiar y purgar las líneas de aire del instrumento de control		
28	Motor	Manómetro		
28.1		Verificación de manómetro del motor		
29	Parte frontal derecha del motor	Válvulas Fisher reguladores de presión	Manómetro en mal estado o descalibrado por vibración	04 meses
29.1		Inspeccionar la válvula reguladores presión de gas de 2". Marca Fisher		
30		Solenoides de fuel gas		
31.1		Verificación de solenoide de fuel gas		

En resumen, en la tabla 25 se detalla el Plan de mantenimiento de 5000 horas el cual es una herramienta esencial para la gestión eficaz del mantenimiento del motor, garantizando su funcionamiento seguro, eficiente y confiable.

Tabla 26.

Plan de mantenimiento de 10,000 horas

MECANICO				
N	Sistema/componente/equipo	Actividad	FALLA	MTBF
1	Acople motor ventilador	Fajas de transmisión		
1.1		Retirar las guardas de faja de transmisión de potencia del motor- ventilador		
1.2		Reemplazo de faja C-75 y C-128		
1.3		Verificación de alimento de fajas motor - ventilador		
1.4		Inspeccionar la tensión de fajas y verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras) y poleas	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida putil	09 meses
1.5		Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor-cooler		
2		Sistema de lubricación del motor		
2.1		Reemplace los filtros de aceite cada vez que: Presión diferencial se acerque a 105 kPa (15 PSI), el o cada 1000 hrs. de servicio		
2.3		Limpieza del motor con aire a presión		
4	Parte superior motor	Balancines y válvulas check/repación		
3.1		Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas motor. Válvula de admisión: 0.020" , válvula de escape gas: 0.025" . Registrar valores	Juego excesivo o deficiente en calibración de válvulas de admisión y escape	04 meses
3.2		Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor		
4		Precámara de combustión		
4.1		Inspección de válvulas check/ reparación	Falla en válvula check de precámara (desgaste)	02 meses
5	Parte superior de culatas	Sistema de respiradero del cárter		
5.1		Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos		
5.2		Torque de abrazadera de retención del respiradero: 4,5 +/- 0.6 N.m (40 +/- 5 lb.pulg)		
5.3		Torque de abrazaderas de manguera: 3,0 +/- 0.5 N.m (27+/- 4,5 lb-pulg)		
6	Sistema de ignición	Bujías		
6.1		Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite	Luz de electrodos de bujías fuera de rango	
6.2		Ajustar la abertura de las bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías		
6.3		Vida útil estimada de las bujías: entre: 4000 y 8000 horas. (no es necesario, i se recomienda limpiar las bujías)		
6.4		Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada		
6.5		Apertura de la bujía 0.28 +/- 0.03 mm (0.011 +/- 0.001 de pulg)		
7	Sistema de ignición	Sensores de combustión	Descalibración de precámara falla: SXX-13 (harnessbuffer sensor de)	02 meses
7.1		Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión 9,5 +/- 0.5 N.m (84,0		

8		Bobinas	Rotura de faja de transmisión de motor-cooler por desgaste o vida útil	1.5 meses
8.1		Torque de pernos de bobinas		
9	Actuadores	Actuadores (Choke, Wastergrate y GP- Control)		
9.1		Inspeccionar, engrasar y regular las articulaciones y varillajes de actuadores del motor (Wastergrate, Choke y GP-control)	Actuadores averiados o en mal estado/ varillaje regulado fuera de rango	1 año
9.2		Reemplazar actuadores de ser necesario (en Caso de falla o alarma) por uno reparado		
10	Turbocompresión	Turbocargador		
10.1		Inspeccionar el juego radial y axial del turbocargador antes de ser instalado. Juego axial: 0,004"-0,008", juego radial: 0,0024		
11	Parte frontal del motor	Aftercooler	Rotura de tuberías, ingreso de agua a ducto de aire de admisión, paso de agua a los cilindros	02 años
11.1		Limpieza de manifold de entrada de aire		
11.2		Limpieza del aftercooler (verificación de partículas, grietas, inspección de tapon)		
12	Sistema de refrigeración	Bombas de agua		
12.1		Inspección / reemplazo de bombas de agua	Fuga de agua por el sello mecánico de la bomba de agua	01 año
12.2		Inspección / reemplazo de sello (reemplazo de agua aditivada)		
13	Sistema de escape	Derivada del sistema de escape		
13.1		Reemplazo de válvula de derivación de gases de escape		
13.2		Reemplazar conjunto de la caja de la válvula de derivación de gases de escape,eje y los extremos de los vástagos.	Válvula wastegate en mal estado o averiada	02 años
14	Precámara	Válvulas agujas de fuel gas de precámara		
14.1		Inspeccion/reemplazo	Falla por desgaste de válvula aguja	08 meses
15		Cárter del motor		
15.1		Reemplace el aceite (con aceite caliente para que partículas no estén asentadas)		
15.2		Limpiar el elemento de la rejilla de succión		
16		Bomba de prelubricación		
16.1		Inspeccionar funcionamiento correcto (escobillas, mangueras, conectores y conexiones eléctricas) / Reemplazo por reparada	Fugas de aceite por bomba pre-lubricadura	1.5 años
17		Aislante térmico		
17.1		Inspeccione/ reemplace cualquier terminar de protector rota	Alta temperatura de aire de entrada	1.33 meses
18		Motor - compresor		
18.1		Medir alineamiento		
18.2		Inspeccionar acopio		
19		Chaquetas de agua de motor		
19.1		Reemplazo de gaskets de chaquetas/ reemplazo de pernos en mal estado	Fuga de agua por chaquetas	03 meses
ELÉCTRICO				
20	Banco de baterías	Batería	Carbonización de los electrodos de las bujías/ Detonaciones	02 meses

20.1		Limpio/compruebe el nivel de electrolito		
20.2		Mantenga baterías limpias		
20.3		Afloje abrazaderas de cables y quítelas de todos los bornes de las baterías		
20.4		Compruebe cargador de baterías		
21	Sistema de ignición	Bujías		
21.1		Resistividad: del externo al electrodo central: 6kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico)		
21.2		Limpieza/continuidad		
22	Sistema de ignición	Buffer	Falla de buffers por ingreso de agua de lluvias	08 meses
22.1		Imput: 24Vdc, Output: 8Vdc		
23	Sistema de ignición	Harnes (Buffer- sensor de combustible y buffer-bobina)	Cables a tierra por aislamiento en mal estado / Detonaciones	03 años
23.1		Resistividad: 0.15 ohm/ continuidad		
24	Sistemas de ignición	Bobinas	Detonaciones (baja temperatura en un cilindro genera el esfuerzo del resto de unidades de potencia)	02 meses
24.1		Resistividad: 0.8 ohm/ continuidad		
24.1		En clavija A y B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)		
25	Sistemas de ignición	Extensión	Falta en continuidad eléctrica	02 años
25.1		Resistividad: 0.9 ohm/ continuidad		
26	Caja de peso	Pernos de caja de paso y caja de detonación		
26.1		Ajuste	Cables eléctricos averiados o flojos/ terminales flojos	06 meses
27	Motor en general	Harness (Sensores y Actuadores)		
27.1		Resistividad con respecto a tierra: 18-19 Gohm		
28	Parte frontal del motor	Pick up magnético		
28.1		Limpiador mecánicamente los pick-up magnéticos del motor		
28.2		Sensor de velocidad - calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)		
28.3		Sensor de sobrevelocidad- calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)	Falta en el módulo de control de energía de combustible	01 año
28.4		Sensor de ángulo de giro- calibración 0.33 mm 0.70 +/- 0.15 mm (0.028 +/- 0.006 in)		
28.5		Aprieto de contratuerca 45 +/- 7 N.m (0.028 +/- 0.006 in)		
29	Parte de control	Potenciómetro de contenido de BTU		
29.1		Inspección de módulo de control de energía y cable		
INSTRUMENTACIÓN				
30	Sensores	Dispositivo de protección del motor		
30.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien- Caterpillar		
30.2		Inspeccionar los visores y switch de nivel de tanque de expansión de agua del motor y compresor- Murphy	Falsa señal de sensores de protección del motor y sensores auxiliares	06 meses
30.3		Inspeccionar/limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy		
30.4		Inspeccionar y calibrar los interruptores de vibración del motor-Murphy		
31	Motocompresor	Líneas de aire		

31.1		Limpiar y purgar las líneas de aire de los instrumentos de control		
32	Motor	Manómetro		
32.1		Verificación de manómetro del motor		
33	Parte frontal derecha del motor	Válvulas Fisher reguladores de presión		
33.1		Inspeccionar la válvula reguladores presión de gas de 2". Marca Fisher	Manómetro en mal estado o descalibrado por vibración	04 meses
34		Solenoides de fuel gas		
34.1		Verificación de solenoide de fuel gas		

La tabla 26 detalla las actividades de mantenimiento para varios sistemas/componentes mecánicos y eléctricos de una máquina. Este enfoque estructurado ayuda en la planificación del mantenimiento preventivo, asegurando un rendimiento óptimo y la longevidad del equipo.

Costos de mantenimiento en base a RCM.

Según la planificación de mantenimiento centrado en la confiabilidad se tiene un intervalo de horas de trabajo de 1000 horas y un costo total de \$ 82,215.00.

Tabla 27.

Horas y costos de mantenimiento

Mtto.	HORAS DE MTTO	COSTO POR MTTO
1000	3.5	\$5,138.44
2000	7	\$10,276.88
1000	3.5	\$5,138.44
2000	7	\$10,276.88
5000	14	\$20,553.75
1000	3.5	\$5,138.44
2000	7	\$10,276.88
1000	3.5	\$5,138.44
2000	7	\$10,276.88
TOTAL, ANUAL		\$82,215.00

La programación de mantenimiento se estima en un promedio de 1000 horas con un total de mantenimientos de 9.

Tabla 28.

Intervalos y cantidad de mantenimientos a ejecutar con el RCM

INTERVALO HRS	INTERVALO DIAS	N° MTTOS ANUAL	N° MTTOS ANUAL	N° de MTTOS
1000 HRS	42	8.69047619	9	8.6

La producción con un nuevo sistema de mantenimiento fue de 1174,5 barriles.

Tabla 29.*Nueva producción de barriles*

BARRILES POR DÍA	BARRILES POR HORA	COSTO DE BARRIL
1174.5	24.46875	\$60.00

Tabla 30.*Beneficio por la implementación de RCM*

Descripción	Costos (USD)
Costos por Mantenimiento (RCM)	\$82,215.00
Costos por Repuestos (RCM)	\$1,780.00
Total, Costos por Mantenimiento (RCM)	\$83,995.00
Costo de Mantenimiento Actual	\$118,671.72
Beneficio Obtenido	\$34,677.00

Esta tabla consolidada muestra los costos de mantenimiento actuales y bajo RCM, así como los beneficios obtenidos al comparar ambos enfoques.

3.3 Aumentar la productividad de petróleo crudo en una empresa de hidrocarburos

Se utilizó la guía de observación y reporte semanal de eficiencia eficacia y productividad (Anexo 3), donde se promedió la productividad de los meses de noviembre hasta enero para el pre test y los meses de abril a junio para el post test. Se tomaron en cuenta los meses de febrero a marzo para la implementación del RCM.

Tabla 31. Productividad

Meses	Antes	Meses Después
Noviembre	0,6565	Abril 0,5649
Diciembre	0,5636	Mayo 0,7964
Enero	0,6045	Junio 0,7986
Promedio	0,6082	0,7199

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la productividad se incrementa en 18,62% con la implementación del RCM.

Respecto a la producción se tiene que en la operación diaria de planta en función a barriles la producción es de 1175 barriles/ día con un costo de \$60 por barril.

Tabla 32.

Características de los costos y producción de barriles

BARRILES POR DÍA	BARRILES POR HORA	COSTO DE BARRIL	Costo de barriles por día	Costo de barriles por hora
1175	24.47	60	70500	2937.5

Producción:

Producción inicial: 870 barriles/día

Producción final: 1175 barriles/día

$$= \left(\frac{1175-870}{870} \right) \times 100 = 35\%$$

Se genera un incremento de la producción del 35% con el RCM.

Eficacia:

Se utilizó la guía de observación y reporte semanal de eficiencia, eficacia y productividad (Anexo 3), donde se promedió la eficacia de los meses de noviembre hasta enero para el pre test y los meses de abril a junio para el post test. Se tomaron en cuenta los meses de febrero a marzo para la implementación del RCM.

Tabla 33. Eficacia

Meses	Antes	Meses	Después
Noviembre	0,6629	Abril	0,5727
Diciembre	0,5717	Mayo	0,8072
Enero	0,6125	Junio	0,8094
Promedio	0,6157		0,7298

Se puede apreciar que la eficacia se incrementa en 18,62% con la implementación del RCM.

Eficiencia:

Se utilizó la guía de observación y reporte semanal de eficiencia, eficacia y productividad (Anexo 3), donde se promedió la eficiencia de los meses de noviembre hasta enero para el pre test y los meses de abril a junio para el post test. Se tomaron en cuenta los meses de febrero a marzo para la implementación del RCM.

Tabla 34. Eficiencia

Meses	Antes	Meses	Después
Noviembre	0,9903	Abril	0,9865
Diciembre	0,9857	Mayo	0,9866
Enero	0,9869	Junio	0,9866
Promedio	0,9877		0,9865

Se puede apreciar que la eficiencia no se incrementa en 18,62% con la implementación del RCM.

Comprobación de la hipótesis

Test de hipótesis para la eficiencia

A. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : La implementación del RCM no mejora la eficiencia (media antes = media después).

H_1 : La implementación del RCM mejora la eficiencia (media antes < media después).

Selección del nivel de significancia:

$\alpha = 0.05$.

Recolección y preparación de los datos:

Los valores promedios de eficiencia antes y después de aplicar el RCM se toman de la Tabla 34.

Selección de la prueba estadística adecuada:

Primero se comprobó si los datos presentan una distribución normal, se empleó Shapiro - Wilk (SW) al ser el número de datos inferior a 50.

Tabla 35. Prueba de normalidad para la eficiencia

	SW		
	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia A	0,929	3	0,485
Eficiencia D	0,75	3	0,000

El valor de significancia (Sig) para la eficiencia antes de la intervención es mayor que 0.05, lo que indica que los valores de la eficiencia previa presentan una distribución normal. En contraste, el valor de Sig para la eficiencia después de la intervención es menor que 0.005, lo que sugiere que los datos de la eficiencia posterior no siguen una distribución normal. el test no paramétrico de Wilcoxon para datos emparejados

Cálculo de la estadística de prueba y valor p:

Tabla 36. Estadísticos de contraste

	Eficiencia D – Eficiencia A
Z	-,535 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0,593

a El test de los rangos con signo de Wilcoxon

b Utilizando los rangos positivos.

Toma de decisión:

El valor de Sig. es superior a 0,05.

Conclusión:

Si Sig. > 0.05, se concluye que estadísticamente el RCM no mejora la eficiencia.

B. Prueba de hipótesis para la eficacia

Planteamiento de la hipótesis:

H₀: La implementación del RCM no mejora la eficacia (media antes = media después).

H₁: La implementación del RCM mejora la eficacia (media antes < media después).

Selección del nivel de significancia:

$\alpha = 0.05$.

Recolección y preparación de los datos:

Los valores promedios de eficacia antes y después de aplicar el RCM se toman de la tabla 33.

Selección de la prueba estadística adecuada:

Primero se comprobó si los datos presentan una distribución normal, se empleó SW al ser el número de datos inferior a 50.

Tabla 37. Pruebas de normalidad para la eficacia

	SW		
	Estadístico	gl	Sig.
Eficacia A	0,996	3	0,884
Eficacia D	0,757	3	0,015

El valor de significancia (Sig) para la eficacia antes de la intervención es mayor que 0.05, lo que indica que los datos de la eficacia previa siguen una distribución normal. En contraste, el valor de Sig para la eficacia después de la intervención es menor que 0.005, lo que sugiere que los datos de la eficacia posterior no siguen una distribución normal. Por lo tanto, se aplicará el test no paramétrico de Wilcoxon para datos emparejados.

Cálculo de la estadística de prueba y valor p:

Tabla 38. Estadísticos de contraste

	Eficacia D – Eficacia A
Z	-1,069 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0,285

a Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b Basado en los rangos positivos.

Toma de decisión:

El valor de Sig. es superior a 0,05.

Conclusión:

Si Sig. > 0.05, se concluye estadísticamente que el RCM no produce el aumento en la eficacia.

C. Prueba de hipótesis para la productividad

Planteamiento de la hipótesis:

H₀: La implementación del RCM no mejora la productividad (media antes = media después).

H₁: La implementación del RCM mejora la productividad (media antes < media después).

Selección del nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05.$$

Recolección y preparación de los datos:

Los valores promedios de productividad antes y después de aplicar el RCM se toman de la tabla 31.

Se observa un incremento de la productividad de 18,37% de la productividad.

Selección de la prueba estadística adecuada:

Primero se comprobó si los datos presentan una distribución normal, se empleó SW al ser el número de datos inferior a 50.

Tabla 39. Pruebas de normalidad para la productividad

	SW		
	Estadístico	gl	Sig.
Eficacia A	0,198	3	0,868
Eficacia D	0,382	3	0,016

El valor de significancia (Sig) para la productividad antes de la intervención es mayor que 0.05, lo que indica que los datos de la productividad previa siguen una distribución normal. En contraste, el valor de Sig para la productividad después de la intervención es menor que 0.005, lo que sugiere que los datos de la productividad posterior no siguen una distribución normal. Por lo tanto, se aplicará el test no paramétrico de Wilcoxon para datos emparejados

Cálculo de la estadística de prueba y valor p:

Tabla 40. Estadísticos de contraste

	Productividad D – Productividad A
Z	-1,069 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0,285

a Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b Basado en los rangos positivos.

Toma de decisión:

El valor de Sig. es superior a 0,05.

Conclusión:

Si Sig. > 0.05, se concluye que estadísticamente no se comprueba que el RCM origina el aumento en la productividad.

IV. DISCUSIÓN

Para el análisis de fallas de la empresa de hidrocarburos se indicó que las compresoras presentaban un nivel de criticidad muy alto de 132 puntos, para este problema se encontró que los intervalos de mantenimiento preventivo usado para estos equipos rondaban las 1500 horas, lo que representa un costo de \$118,671.72 En su trabajo de investigación de posgrado en la refinería de petróleo, (Arrustico, 2020) planteó proponer un plan de mantenimiento de nivel mundial en refinería de petróleo. Dicho estudio es de nivel mixto explicativo casual además tuvo como muestra 147 trabajadores donde se aplicó como instrumento una guía de observación y documental. Los resultados indican que el mantenimiento correctivo se encuentra entre el 10% en promedio y el 90% en varias clases de mantenimiento, es indispensable que la gestión a implementar sea de rango mundial y reducir los índices de mantenimiento correctivo que hoy en día rondan el 70%, al mismo tiempo que se mejora el mantenimiento preventivo e implementan otros métodos de mantenimiento, entre ellos se encuentra el mantenimiento autónomo. Se concluye, que la opción menos adecuada para usar un tipo de mantenimiento fue el correctivo, por ello se debe anticipar de una mejor forma los problemas de las maquinarias.

La confiabilidad obtenida mediante un nuevo mantenimiento implementado genero un costo total de \$83995.00 y un intervalo de mantenimiento de 1000 h, en comparación al tiempo anterior que tenía un tiempo de 1500 h. Las paradas se redujeron más del 90%, considerando paradas por mantenimiento preventivo realizado en la confiabilidad, teniendo como base un mapeo e instructivo planificado de cuando realizar el mantenimiento en las compresoras. (Ratendra y Virender, 2020) realizaron un artículo de investigación sobre la industria de petróleo y gas. Tuvieron como objetivo identificar un enfoque de la calidad de mantenimiento y las nuevas tecnologías, la población fue dichas industrias mencionadas. Resultando que las actividades realizadas se basan en confiabilidad en el equipo 100%, disponibilidad de 95% a 99% y mantenibilidad además de obtener que el 30% de la mano de obra está ocupada en operación y el 85% de las fallas se encuentran relacionados con estrategias inadecuadas de mantenimiento y seguridad los cuales son equipos con lesión registrable menos a 0,1%. Concluyendo que dicha investigación presenta los parámetros y la

metodología que justificaría la importancia que tiene la reducción de costos en mantenimiento.

La productividad anterior a la mejora tiene un promedio de 870 barriles /día con el mantenimiento preventivo con un aproximado de 1500 horas, sin embargo, con el análisis realizado en RCM y con el nuevo mantenimiento se obtiene un promedio de 1000 horas, con un aumento de 1175 barriles/día y una mejora en la productividad del 18 %. A su vez, (Cavassin et al. 2020) en su artículo de investigación determinado en una empresa Forestal en Paraná, este tuvo como objetivo desarrollar el análisis comparativo que hay entre los modelos de mantenimiento mecánico en las máquinas forestales. La población de dicho trabajo fueron las taladoras, apiladoras, skidders y máquinas cosechadoras. Usando como instrumento el modelo de mantenimiento WMC el cual nos arroja resultados de aumento del 5% con respecto a la disponibilidad mecánica y la reducción del 60% en consumo de aceite hidráulico lo que ahorra 120 litros y de las 540 horas de trabajo el modelo WCM ganó 8,7%. Concluyéndose que dicho modelo aumenta la disponibilidad de las máquinas cosechadoras y mejora las técnicas de mantenimiento preventivo.

V. CONCLUSIONES

1. Mediante la aplicación del RCM, hemos logrado establecer un programa de mantenimiento eficiente que minimiza las pérdidas de producción debidas a paradas inesperadas. Cada falla analizada se aborda con un esquema optimizado, lo que permite una mayor disponibilidad del equipo. Esto no solo reduce las horas hombre dedicadas a la reparación de fallas, sino que también libera recursos para oportunidades de mejora dentro del sistema.
2. El análisis reveló que las compresoras intermedias 1 y 2 experimentaron la mayor cantidad de fallas en los procesos productivos de barriles de petróleo crudo, con un nivel de criticidad muy alto que afecta significativamente la productividad de la empresa. Además, se observó que el mantenimiento preventivo utilizado anteriormente requería muchas horas de operación.
3. La implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad ha resultado en una reducción significativa de los costos de mantenimiento y del tiempo de ejecución de las tareas de mantenimiento. La metodología RCM ha reducido las paradas en los compresores, lo que ha favorecido la productividad.
4. La productividad mejoró considerablemente con la implementación del RCM. La aplicación fue exitosa en las compresoras aumentó la eficacia mientras que la eficiencia conservó su valor.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar frecuentemente un estudio de criticidad de los activos y solo a los sistemas más críticos del proceso productivo aplicar esta metodología puesto que a estos activos son los que se necesita tener el foco de atención por su característica operativa y en el contexto en el que se desempeñan.

Automatizar la planificación, programación y seguimiento de las actividades de mantenimiento, con el fin de detectar cualquier actividad inusual que pueda perjudicar los procesos planificados.

Continuar monitorizando y registrando los costos de mantenimiento para evaluar el impacto financiero de la implementación del RCM y buscar oportunidades adicionales de ahorro.

Redistribuir las horas hombre liberadas a partir de la reducción de fallas hacia proyectos de mejora continua y actividades de valor agregado que contribuyan a la optimización del sistema.

REFERENCIAS

ALARCÓN, Daniel, VILLAFUENTE, Christopher, SABRERA, Victor, HUERTA, Alexer. Estudio probabilístico de métodos avanzados de análisis de curva de declinación para la estimación de reservas de petróleo durante el régimen de flujo transitorio. Revista el reventón energético. [en línea]. Diciembre. 2020, n°18. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2023]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7540387>

ALDANA, César. Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A. Tesis (Magíster en gerencia del mantenimiento). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2020. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4374/aldana%20gallo%20fime%20maestria%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ÁLVAREZ, Aldo. Justificación de la Investigación. Universidad de Lima, 2020. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10821>

ARIAS, José, HOLGADO, Julio, TAFUR, Tania y VASQUEZ, Mario. Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. ISBN: 978-612-5069-04-7.

http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/3109/1/2022_Metodologia_de_la_investigacion_El_metodo_%20ARIAS.pdf

ARRUSTICO, Johnny. Propuesta de una gestión de mantenimiento de clase mundial para incrementar la productividad en refinerías de petróleo en el Perú 2020. Tesis (Magíster en administración de empresas). Lima: Universidad Privada del Norte, 2020.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26149/Arrustico%20Loyola%20C%20Johnny%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARTEAGA, Gabriel. La unidad de análisis explicada. *Recogida y análisis de datos* [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2023]. <https://www.testsiteforme.com/unidad-de-analisis/>

ARTEAGA, Luis, GOROZABEL, Francis. Implementación del mantenimiento centrado

en confiabilidad a maquinarias críticas de la plaza Calderón. Revista universidad y ciencia [en línea]. Diciembre. 2021, n°1. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2023]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8099718>

BAHRAMI, Sina, RASTEGAR, Mohammad y DEGHANIAN, Payman. An FBWM-TOPSIS Approach to Identify Critical Feeders for Reliability Centered Maintenance in Power Distribution Systems. IEEE Systems Journal. Septiembre 2021, n°3, 9893-3901pp. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9172099>

BERMÚDEZ, Didier y GONZÁLEZ, Marco. Producción de petróleo y gas en Venezuela: análisis mediante la función de Cobb Douglas. Revista UIS Ingenierías. [en línea]. Diciembre. 2020, n°9. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2023]. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553762534020/>

CAMPOS, Omar, TOLENTINO, Guilibaldo, TOLEDO, Miguel, TOLENTINO, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Revista científica*. [en línea]. Diciembre. 2020, n°1. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2023]. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>

CAVASSIN, Carlos, SILVA, Eduardo, SOARES, Henrique, MAGALHAES, Gabriel y PACCOLA, José. Comparative Analysis of Maintenance Models in Forest Machines. *Forest Management*, n°2. [2020]. <https://www.scielo.br/j/floram/a/swsFjLMdMr3v7SX4Rz366Fs/?format=html&lang=en>

CRUZ, José. Petróleo e porto no norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Revista EURE. [en línea]. Setiembre. 2020, n°46. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2023]. <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/3161/1303>

CUADROS, Luis. Implementación de un sistema de gestión de mantenimiento en la empresa Record SA. Tesis (Magíster en ingeniería industrial). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2021. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4442>

DIESTRA, Juan, ESQUIVEL, Lourdes, GUEVARA, Robert. Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. Revista ingeniería ciencia, tecnología

e innovación. [en línea]. Junio. 2019. n°1. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2023]. <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/530/505>

ENRIQUES, Antonio, DÍAZ, Armando, VILLAR, Leisis, DEL CASTILLO, Alfredo, RODRÍGUEZ, Alberto y ALFONSO, Alexander. Tecnología para el análisis de criticidad de los sistemas tecnológicos en empresas. *Revista mecánica*, 23(1), 1-10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442020000100003

FONTALVO, Tomás, DE LA HOZ, Efrain y MORELOS, José. La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Revista dimensión empresarial*. [en línea] 16(1), 1-10. [Fecha de consulta: 28 de setiembre]. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-85632018000100047

FRANCO, Jorge, URIBE, Julián, AGUDELO, Sebastián. Factores clave en la evaluación de la productividad: estudio de caso. *Revista multidisciplinar*. [en línea] 7(15), 1-10. [Fecha de consulta: 28 de setiembre]. <https://revistas.itm.edu.co/index.php/revista-cea/article/view/1800/2124>

FUENTES, Daniel, TOSCANO, Antonio, MALVACEDA, Edgar, DÍAZ, Jhonatan y DÍAZ, Luis. Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables [en línea]. 2020. S.I.: Universidad Pontificia Bolivariana. ISBN 978-958-764-879-9. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/6201>

GÓMEZ, Ray. Mejora de la productividad en la producción de calzado en la empresa Facalsa de la ciudad de Ambato, mediante la estandarización de tiempos. *Revista multidisciplinar*. [en línea] 5(5), 1-10. [Fecha de consulta: 28 de setiembre]. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/876/1197>

LIMA, Nancy. Diseño de estrategias de gestión de mantenimiento basado en el TPM para mejorar la productividad de empresas agroindustriales de Arequipa. Tesis (Magíster en ciencia). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2022. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5dd2853e-ef25-47fa-8e36-526e385b039a/content>

LOLI, Edwin y MERINO, Luis. Conocimiento y cumplimiento del plan de mantenimiento de los equipos de máquinas por la tripulación de los buques mercantes consorcio naviero peruano Ilo y Paita 2016. Tesis (Oficial de Marina Mercante). Perú: Escuela nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, 2017. <http://repositorio.enamm.edu.pe/jspui/bitstream/ENAMM/84/1/TESIS%2076%20-%20LOLI%20-%20MERINO.pdf>

MEDINA, María y VERDEJO, Ada. Validez y confiabilidad en la evaluación del aprendizaje mediante las metodologías activas. *Revista de educación*, 15(2):270-284, 2020.

MENESES, Carlos. (2022). El proyecto de investigación. *La hoja de ruta de la investigación* [en línea]. 80(157). [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2023]. <https://revistas.comillas.edu/index.php/miscelaneacomillas/article/view/19134>

MORENO, Eliseo. Metodología de investigación, pautas para hacer tesis. Blogger. <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2021/01/justificacion-metodologica.html>

MUÑOZ, Angie. (2021). Estudio de tiempos y su relación con la productividad. *Revista de Investigación en Ciencias de la Administración ENFOQUES* [en línea]. 5(17), 40-54. [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2023]. <https://www.redalyc.org/journal/6219/621968429003/html/>

MUÑOZ, Jorge y CANTOS, Manuel. Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. *Revista científica*. [en línea]. Marzo-junio. 2021, n°9. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61466617005/>

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. *Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento*. [En línea]. INGEMAN, 1° ed. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2012. ISBN: 41092. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/344196736_Ingenieria_de_Mantenimiento_y_Fiabilidad_aplicada_en_la_Gestion_de_Activos_Segunda_Edicion_2015_Edita_INGEMAN_Espana_Capitulos_1_y_2

PEÑAFIEL, José, ARTEAGA, Ángel y DAQUINTA, Antonio. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas. Revista Científica "INGENIAR". [en línea]. Octubre. 2021, n°8. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2023]. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/64>

PERÚ PETRO. ESTADÍSTICA MENSUAL DE HIDROCARBUROS NOVIEMBRE 2023. Octubre. 2023, n°8. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2024]. <https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/a9017f01-64df-4ab4-9d9e-35d07fde2b4d/Estadistica+Mensual+-+Noviembre+2023.pdf?MOD=AJPERES&Estadistica%20Mensual%20-%20Noviembre%202023>

PERÚ PETRO. ESTADÍSTICA MENSUAL DE HIDROCARBUROS ABRIL 2024. Abril. 2024, n°8. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2024]. <https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/0e2bceef-b914-42b5-a360-c38047e8571c/Estadistica+Mensual+-+Abril+2024.pdf?MOD=AJPERES&Estadistica%20Mensual%20-%20Abril%202024>

PERÚ PETRO. ESTADÍSTICA MENSUAL DE HIDROCARBUROS PRONOSTICO 2024. Abril. 2024, n°8. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2024]. https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/440b7880-e8df-4067-b845-d4345ea2d645/Pron%C3%B3stico+de+Producci%C3%B3n+de+Hidrocarburos+2024-2028.pdf?MOD=AJPERES&Pronosticos%20de%20Hidrocarburos%20Liquidados_2023

PILLASAGUA, Juan y RODRIGUEZ, María. Analysis of the management of maintenance in line No. 1 of canning company Tecopesca and its impact on availability of assets. Polo del conocimiento. Julio-agosto 2021, n°9 <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3086>

RAMÍREZ, Graziella, MAGAÑA, Deneb y OJED, Ruth. Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. Revista transcender, contabilidad y gestión. [en línea]. Noviembre. 2022, n°20. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2023].

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-63882022000200189

RAMOS, Carlos. Diseño de investigación experimental. Universidad Indoamérica, 2021. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>

RATENDRA, Kumar y VIRENDER, Narula. Application of Structured Maintenance Reliability Programme in Oil and Gas Industry - a Case Study. Avances en ingeniería industrial y de producción: Actas seleccionada de FLAME, January 10 2020, 115-128pp. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-33-4320-7_11

SHIA, Yue, ZHU, Weihang, XIANG, Yisha y FENG, Qianmei. Condition-based maintenance optimization for multi-component systems subject to a system reliability requirement. Ingeniería de confiabilidad y seguridad de sistemas, 107042pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832020305433>

VÁSQUEZ, Ernesto, ORTIZ, Graciela, RODRÍGUEZ, Nuria y VÁSQUEZ, Edelfimo. (2021). El Proyecto de Investigación [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2023]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9517>

YUSTA, Raúl. Water and soil pollution due to oil extraction activities in the northern peruvian amazon. Revista Universidad Autónoma de Barcelona. [en línea]. Marzo-junio. 2020, n°12. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2023]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=292323>

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Es un proceso crucial de la estrategia de mantenimiento de cualquier organización, ya que puede optimizar sus actividades de mantenimiento y a mejorar la fiabilidad de los equipos. (Campos et al., 2019).	Se emplea para estructurar eficazmente las operaciones del mantenimiento, con el fin de dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos	Plan de mantenimiento	Planificación	De razón	Observación	Guía de observación acerca del proceso de compresión de Gas
				Organización			
				Evaluación			
				Control de equipos			
			Gestión de mantenimiento	Matriz de criticidad		Análisis documental	Cuestionario de análisis de criticidad
				Confiabilidad			
Disponibilidad							
Mantenibilidad	Guía de análisis documental (Normas, estándares, documentos de referencia)						
Productividad	La productividad se refiere al grado de rendimiento exhibido en la utilización de los recursos, abarcando la correlación entre producción e insumos con el fin de generar más valor (Muñoz, 2021).	La productividad sirve a las organizaciones como métrica global para evaluar su nivel de competitividad, lo que conduce al aumento económico y a la buena calidad de vida, en relación a los criterios de eficiencia y eficacia.	Eficacia	(Barriles de petróleo producidos / Barriles de petróleo proyectados) *100	Ordinal	Reportes de producción	Guía de observación y reportes semanal de eficiencia y productividad
			Eficiencia	(Tiempo operativo/ Tiempo disponible) *100			

Anexo 2. Guía de observación acerca del proceso de compresión de gas

Ficha de registro del proceso de compresión de gas	
Actividades del proceso	Tiempos en (min)
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

Anexo 3. Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad

PRODUCTIVIDAD								
MES	ITEM	Tiempo real (operación neta)	Tiempo programado (disponible)	EFICIENCIA (TR/TP) *100	N° de pedidos entregados (B.P)	N° de pedidos programados (B.P)	EFICIENCIA (PE/PP) * 100	PRODUCTIVIDAD (Eficiencia* Eficacia) /100
Noviembre	semana 45	334	336	99.40%	6777	10150	66.77%	66.37%
	semana 46	332	336	98.81%	6687	10150	65.88%	65.10%
	semana 47	332	336	98.81%	6690	10150	65.91%	65.13%
	semana 48	333	336	99.11%	6761	10150	66.61%	66.02%
Diciembre	semana 49	330	336	98.21%	5790	10150	57.04%	56.03%
	semana 50	335	336	99.70%	5839	10150	57.53%	57.36%
	semana 51	328	336	97.62%	5791	10150	57.05%	55.70%
	semana 52	331	336	98.71%	5793	10150	57.07%	56.34%
Enero	semana 1	336	336	98.69%	6216	10150	61.24%	60.44%
	semana 2	333	336	98.67%	6218	10150	61.26%	60.45%
	semana 3	321	336	98.60%	6218	10150	61.26%	60.40%
	semana 4	334	336	98.67%	6216	10150	61.24%	60.43%
Febrero	semana 5	335	336	98.49%	5905	10150	58.18%	57.30%
	semana 6	332	336	98.64%	5909	10150	58.22%	57.43%
	semana 7	327	336	98.63%	5949	10150	58.61%	57.81%
	semana 8	318	336	98.62%	5970	10150	58.82%	58.00%
Marzo	semana 9	312	336	98.61%	5912	10150	58.25%	57.44%
	semana 10	322	336	98.61%	5546	10150	54.64%	53.88%
	semana 11	320	336	98.60%	5912	10150	58.25%	57.43%
	semana 12	335	336	98.62%	5712	10150	56.28%	55.50%
Abril	semana 13	333	336	98.61%	5758	10150	56.73%	55.94%
	semana 14	327	336	98.61%	5855	10150	57.68%	56.88%

seman a 15	199	336	98.61%	5895	10150	58.08 %	57.27%
seman a 16	276	336	98.61%	5742	10150	56.57 %	55.79%
promedio	321	336	98.68%	6044	10150	59.55 %	58.77%

Anexo 4. Cuestionario para análisis de criticidad.

NOMBRE:

PUESTO:

EQUIPO:

FECHA:

1. FRECUENCIA DE FALLA		2. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN			
Mayor a 2 eventos al año		Pérdidas de Producción Superiores al 75%			
1 y 2 eventos al año		Pérdidas de Producción entre el 50% y el 74%			
Entre 0,5 y 1 evento al año		Pérdidas de Producción entre el 25% y el 49%			
Menos de 0,5 eventos al año		Pérdidas de Producción entre el 10% y el 24%			
		Pérdidas de Producción menor al 10%			
3. IMPACTO POR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL					
No se cuenta con Unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes					
Se cuenta con Unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios					
Se cuenta con Unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños					
4. IMPACTO CON COSTES DE MANTENIMIENTO					
Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares					
Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares					
5. IMPACTO EN SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE					
Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que excedan los límites permitidos					
Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración					
Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles contener y fugas repetitivas.					
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.					

Anexo 5. Evaluación por juicio de expertos

Validador 1:

Evaluación por juicio de expertos

Respetado evaluador: usted ha sido seleccionado para evaluar el instrumento: "ficha de Encuesta, Guía de análisis documental, Guía de observación, Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad". La evaluación del instrumento es de gran relevancia para lograr que sea válido y que los resultados obtenidos a partir de éste sean utilizados eficientemente, aportando al quehacer profesional. Agradecemos su valiosa colaboración.

1. Datos generales del evaluador

Nombres y apellidos:	Severin Augusto Fahsbende Cespedes
Número de documento de identidad:	02644838
Grado profesional:	Magister
Área de experiencia profesional:	Ingeniería Industrial
Institución laboral:	Universidad Cesar Vallejo
Tiempo de experiencia profesional:	39 años
Experiencia en investigación:	05 años

2. Propósito de la evaluación

Validar el contenido según los criterios del punto 5.

3. Datos de la escala

Nombre del instrumento:	Guía de observación
Autor(a)(es):	Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (x) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de análisis documental
Autor(a)(es):	Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (x) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad
Autor(a)(es):	Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (x) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	Mensual
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Formato de encuesta de análisis de criticidad
Autor(a)(es):	Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (x) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Población
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

4. Soporte teórico

Señalar el aporte teórico y autor que sostiene el dimensionamiento de la variable de estudio en el instrumento.

Instrumento	Dimensiones	Definición
Guía de observación	Plan de Mantenimiento	Estructurar eficazmente las operaciones del mantenimiento
Guía de análisis documental	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos
Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad	Eficacia	capacidad de lograr objetivos en el tiempo y forma indicados, sin importar los procesos, tiempo, herramientas, costos, ventas, recursos humanos y maquinaria intervinientes
	Eficiencia	uso de los recursos disponibles para lograr un determinado nivel de optimización
Encuesta: Cuestionario de análisis de criticidad	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos

5. Presentación de instrucciones para el juez

A continuación, a usted le presento el instrumento ver punto 4 elaborado por Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf y Valladares Saldarriaga Leonard en el año 2023 De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los siguientes ítems, según corresponda:

Categoría	Calificación	Indicador
Claridad El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro.
	2. Bajo nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
Coherencia El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene una relación lógica con la dimensión.
	2. Bajo nivel	El ítem tiene una relación tangencial/lejana con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que se está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra relacionado con la dimensión que se está midiendo.
Relevancia El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante.
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

Leer con detenimiento los ítems y calificar en una escala del 1 al 4 su valoración; asimismo, brinde sus observaciones, en caso de considerar necesario.

1. No cumple con el criterio
2. Bajo nivel
3. Moderado nivel
4. Alto nivel

Dimensiones del instrumento

Primera dimensión: Plan de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Planificación.

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Planificación	1	4	4	4	
Organización	1	4	4	4	
Evaluación	1	4	4	4	
Control de equipos	1	4	4	4	

Segunda dimensión: Gestión de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Matriz de criticidad	1	4	4	4	
Confiabilidad	1	4	4	4	
Disponibilidad	1	4	4	4	
Mantenibilidad	1	4	4	4	

Tercera dimensión: Eficacia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Producción

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Barriles de petróleo producidos	1	4	4	4	
Barriles de petróleo proyectados	1	4	4	4	

Cuarta dimensión: Eficiencia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Tiempo operativo	1	4	4	4	
Tiempo disponible	1	4	4	4	



Severin Augusto Fahsbender Cespedes
Ing. Industrial CIP. 32559
Ngtr Ingeniería Ambiental y
Seguridad Industrial A1622769

Firma del evaluador
DNI 02644838

Validador 2:

Evaluación por juicio de expertos

Respetado evaluador: usted ha sido seleccionado para evaluar el instrumento: "Encuesta". La evaluación del instrumento es de gran relevancia para lograr que sea válido y que los resultados obtenidos a partir de éste sean utilizados eficientemente, aportando al quehacer profesional. Agradecemos su valiosa colaboración.

1. Datos generales del evaluador

Nombres y apellidos:	García Yovera Abraham José
Número de documento de identidad:	80270538
Grado profesional:	Dr. Gestión Pública
Área de experiencia profesional:	Ingeniería Industrial
Institución laboral:	Universidad Cesar Vallejo
Tiempo de experiencia profesional:	16 años
Experiencia en investigación:	6 años

2. Propósito de la evaluación

Validar el contenido según los criterios del punto 5.

3. Datos de la escala

Nombre del instrumento:	Guía de observación
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida () Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de análisis documental
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida () Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida () Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	Mensual
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Encuesta: Cuestionario de análisis de criticidad
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida () Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Población
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

4. Soporte teórico

Señalar el aporte teórico y autor que sostiene el dimensionamiento de la variable de estudio en el instrumento.

Instrumento	Dimensiones	Definición
Guía de observación	Plan de Mantenimiento	Estructurar eficazmente las operaciones del mantenimiento
Guía de análisis documental	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos
Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad	Eficacia	capacidad de lograr objetivos en el tiempo y forma indicados, sin importar los procesos, tiempo, herramientas, costos, ventas, recursos humanos y maquinaria intervinientes
	Eficiencia	uso de los recursos disponibles para lograr un determinado nivel de optimización
Encuesta: Cuestionario de análisis de criticidad	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos

5. Presentación de instrucciones para el juez

A continuación, a usted le presento el instrumento ver punto 4 elaborado por Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf y Valladares Saldarriaga Leonard en el año 2023 De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los siguientes ítems, según corresponda:

Categoría	Calificación	Indicador
Claridad El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro.
	2. Bajo nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
Coherencia El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene una relación lógica con la dimensión.
	2. Bajo nivel	El ítem tiene una relación tangencial/lejana con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que se está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra relacionado con la dimensión que se está midiendo.
Relevancia El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante.
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

Leer con detenimiento los ítems y calificar en una escala del 1 al 4 su valoración; asimismo, brinde sus observaciones, en caso de considerar necesario.

1. No cumple con el criterio
2. Bajo nivel
3. Moderado nivel
4. Alto nivel

Dimensiones del instrumento

Primera dimensión: Plan de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Planificación.

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Planificación	1	4	4	4	
Organización	1	4	4	4	
Evaluación	1	4	4	4	
Control de equipos	1	4	4	4	

Segunda dimensión: Gestión de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Matriz de criticidad	1	4	4	4	
Confiabilidad	1	4	4	4	
Disponibilidad	1	4	4	4	
Mantenibilidad	1	4	4	4	

Tercera dimensión: Eficacia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Producción

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Barriles de petróleo producidos	1	4	4	4	
Barriles de petróleo proyectados	1	4	4	4	

Cuarta dimensión: Eficiencia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Tiempo operativo	1	4	4	4	
Tiempo disponible	1	4	4	4	



Firma del evaluador
Dr. Gestión Pública
Mg. Gestión del Talento Humano
Ingeniero Industrial
DNI 80270538

Validador 3:

Evaluación por juicio de expertos

Respetado evaluador: usted ha sido seleccionado para evaluar el instrumento: "Encuesta". La evaluación del instrumento es de gran relevancia para lograr que sea válido y que los resultados obtenidos a partir de éste sean utilizados eficientemente, aportando al quehacer profesional. Agradecemos su valiosa colaboración.

1. Datos generales del evaluador

Nombres y apellidos:	Gerardo Sosa Panta
Número de documento de identidad:	03591940
Grado profesional:	Magister
Área de experiencia profesional:	Ingeniería Industrial
Institución laboral:	UCV
Tiempo de experiencia profesional:	25
Experiencia en investigación:	Si

2. Propósito de la evaluación

Validar el contenido según los criterios del punto 5.

3. Datos de la escala

Nombre del instrumento:	Guía de observación
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida () Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de análisis documental
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (X) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (X) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	Mensual
Ámbito de aplicación:	Muestra
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

Nombre del instrumento:	Formato de encuesta de análisis de criticidad
Autor(a)(es):	Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf Valladares Saldarriaga Leonard
Procedencia:	Propia
Administración:	Asistida (X) Autoaplicable ()
Tiempo de aplicación:	1 día
Ámbito de aplicación:	Población
Significación:	Explicar cómo está estructurado el instrumento (dimensiones, indicadores). Indicar de forma breve cuál es el propósito de medición del instrumento.

4. Soporte teórico

Señalar el aporte teórico y autor que sostiene el dimensionamiento de la variable de estudio en el instrumento.

Instrumento	Dimensiones	Definición
Guía de observación	Plan de Mantenimiento	Estructurar eficazmente las operaciones del mantenimiento
Guía de análisis documental	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos
Guía de observación y reporte semanal de eficiencia y productividad	Eficacia	capacidad de lograr objetivos en el tiempo y forma indicados, sin importar los procesos, tiempo, herramientas, costos, ventas, recursos humanos y maquinaria intervinientes
	Eficiencia	uso de los recursos disponibles para lograr un determinado nivel de optimización
Encuesta: Cuestionario de análisis de criticidad	Gestión de mantenimiento	Dar iniciativas afianzadas a los diferentes indicadores de mantenimiento de los equipos

5. Presentación de instrucciones para el juez

A continuación, a usted le presento el instrumento ver punto 4 elaborado por Almeida Valdiviezo Karl Hansen Olaf y Valladares Saldarriaga Leonard en el año 2023 De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los siguientes ítems, según corresponda:

Categoría	Calificación	Indicador
Claridad El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro.
	2. Bajo nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
Coherencia El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene una relación lógica con la dimensión.
	2. Bajo nivel	El ítem tiene una relación tangencial/lejana con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que se está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra relacionado con la dimensión que se está midiendo.
Relevancia El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante.
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

Leer con detenimiento los ítems y calificar en una escala del 1 al 4 su valoración; asimismo, brinde sus observaciones, en caso de considerar necesario.

1. No cumple con el criterio
2. Bajo nivel
3. Moderado nivel
4. Alto nivel

Dimensiones del Instrumento

Primera dimensión: Plan de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Planificación.

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Planificación	1	4	4	4	
Organización	1	4	4	4	
Evaluación	1	4	4	4	
Control de equipos	1	4	4	4	

Segunda dimensión: Gestión de mantenimiento

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Matriz de criticidad	1	4	4	4	
Confiabilidad	1	4	4	4	
Disponibilidad	1	4	4	4	
Mantenibilidad	1	4	4	4	

Tercera dimensión: Eficacia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Producción

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Barriles de petróleo producidos	1	4	4	4	
Barriles de petróleo proyectados	1	4	4	4	

Cuarta dimensión: Eficiencia

Objetivos de la dimensión (especificar qué se quiere medir): Operatividad

Indicadores	Ítems	Criterios			Observaciones o recomendaciones
		Claridad	Coherencia	Relevancia	
Tiempo operativo	1	4	4	4	
Tiempo disponible	1	4	4	4	



Mg. Gerardo Sosa Panto
INGENIERO INDUSTRIAL
CIP. 67114

Firma del evaluador

DNI: 03591940

Anexo 6. Resultado del reporte de similitud de Turnitin

DPI- VALLADARES, ALMEIDA

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRINCIPALES

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	3%
3	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
7	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.camisea.com.pe Fuente de Internet	<1%
10	documents.mx Fuente de Internet	<1%
11	asobanca.org.ec Fuente de Internet	<1%
12	bibliodigital.tec.ac.cr Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	Submitted to Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO Trabajo del estudiante	<1%

Anexo 7.

Confiabilidad de la encuesta

	FF	IP	FO	CM	SHA	var
1	2,00	7,00	4,00	2,00	8,00	
2	1,00	5,00	4,00	2,00	8,00	
3	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	
4	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	
5	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	
6	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	
7	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	
8	1,00	7,00	4,00	2,00	3,00	
9	4,00	7,00	4,00	2,00	3,00	
10	4,00	7,00	4,00	2,00	3,00	
11	2,00	10,00	4,00	2,00	6,00	
12	1,00	7,00	4,00	1,00	3,00	
13	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	
14	2,00	10,00	4,00	2,00	8,00	
15						
16						

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	14	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	14	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

	Alfa de Cronbach	N de elementos
→	,710	5

Anexo 8. Carta de autorización de la empresa

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo, CHRISTIAN IVAN CURAY VERA, identificado con DNI 45249037, en mi calidad de Apoderado del área de Talento Humano de la empresa **Olympic Peru Inc. Sucursal del Perú** con RUC N°20305875539, ubicada en la ciudad de Piura, Perú.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor Leonard Valladares Saldarriaga (en adelante EL ESTUDIANTE), identificado(s) con DNI N° 43909274, de la Carrera profesional de Ingeniería Industrial, para que utilice la siguiente información de la empresa: Proceso de Compresión de Gas Natural con la finalidad de que pueda desarrollar su Tesis para optar el Título Profesional.

Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

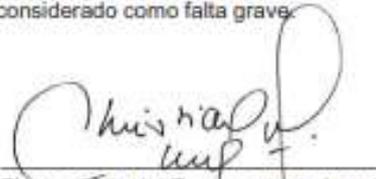
Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o

Mencionar el nombre de la empresa.

EL ESTUDIANTE no publicará información confidencial.

EL ESTUDIANTE no publicará información sin autorización del área de Talento Humano.

Todo acto contrario a lo antes indicado será considerado como falta grave.



Firma y sello del Representante Legal

DNI: 45249037

Correo electrónico: ivan.curay@zeusol.com.pe

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.



Firma del Estudiante

DNI: 43909274

Anexo 9. Matriz de riesgos utilizado por la empresa para analizar consecuencia de fallos de FMECA

				IMPACTO					
				Mínimo	Medio	Significativo	Severo	Crítico	
				1	3	10	30	100	
				Seguridad y Salud	Primeros auxilios / Observación médica.	Registrable o incapacitante menor a 1 mes. Discapacidad reversible.	Incapacitante mayor a 1 mes. Discapacidad permanente menor.	Muerte Discapacidad permanente mayor	Dos Muertes Discapacidades permanentes múltiples.
				Medio Ambiente	Impacto limitado a un área mínima de poca importancia.	Impacto reversible al entorno físico o biológico.	Impactos moderado de corto plazo (hasta 1 año) que no afectan el funcionamiento del ecosistema.	Impactos serios reversible en el largo plazo (hasta 5 años).	Daño ambiental muy serio y que afecta el ecosistema irreversiblemente a largo plazo.
				Financiero	0	25,000	50,000	75,000	100,000
				Flexibilidad Operativa	Con redundancia/respaldo Repuesto en almacén	Con redundancia/respaldo Adquisición de repuesto > 1 mes	Sin redundancia/respaldo Adquisición de repuesto < 1 semana	Sin redundancia/respaldo Adquisición de repuesto < 2 meses	Sin redundancia/respaldo Adquisición de repuesto > 6 meses
PROBABILIDAD	Común	Más de 3 fallas al año Probabilidad > 90%	8	8	24	80	240	800	
	Muy Probable	Entre 1 y 3 fallas al año Probabilidad entre 66% - 89%	4	4	12	40	120	400	
	Probable	1 falla en 3 años Probabilidad entre 34% - 65%	2	2	6	20	60	200	
	Posible	1 falla en 5 años Probabilidad entre 11% - 33%	1	1	3	10	30	100	
	Raro	1 falla en más de 5 años Probabilidad ≤ 10%	0.5	0.5	1.5	5	15	50	

Anexo 10. Planes de mantenimiento del fabricante

CADA 1,000 HORAS (3.5h)

<u>MECÁNICO</u>		
N°	Sistema/Componente/Equipo	Actividad
5	Sistema de Ignición	Bujías (por falla de bujías)
5.1		Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite
5.2		Ajustar la abertura de la bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías
5.3		Vida útil estimada de las bujías: entre 4,000 y 8,000 horas. (no es necesario, ni se recomienda limpiar las bujías)
5.4		Apertura de la bujía: 0.28 +/- 0.03mm (0.011+/-0.001 de pulg)
5.5		Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada.
7	Sistema de Ignición	Bobinas
7.1		Torque de pernos de bobinas : 18 lb-pie
		Líneas, Tuberías y Posibles fugas (RCM: Rotura de niple de tubería de 2":MTBF: 1 año)
		Inspección de líneas, tuberías, posibles fugas.
		Varillaje de actuadores
		Inspección y engrase de varillajes de actuadores
		Calibrar Actuadores con el DDT
		Fajas de transmisión
		Inspección visual
<u>ELÉCTRICO</u>		
7	Sistema de Ignición	Bujías
		Resistividad: del extremo al electrodo central: 6kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico)
		Limpieza / continuidad
8	Sistema de Ignición	Buffer
		Input: 24Vdc , Output: 8Vdc *Banco de pruebas
9	Sistema de Ignición	Harness (Buffer - Sensor de combustión y buffer - bobina)
		Resistividad: 0.15 ohm/ Continuidad
10	Sistema de Ignición	Bobina
		Resistividad: 8 Kohm en masa
		En clavija Ay B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)
11	Sistema de Ignición	Extensión
		Resistividad: 0.9 ohm / Continuidad
		Harness de sensores de combustión
		Prueba de resistividad
<u>INSTRUMENTACIÓN</u>		
6	Sensores	Dispositivos de protección del motor
6.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien - Caterpillar
		Medidores y pantallas
		Compruebe estado de las pantallas electrónicas. (Reemplace o repare medidores rotos)

CADA 2,000 HORAS (8h)

<u>MECÁNICO</u>		
N°	Sistema/Componente/Equipo	Actividad
	Acople motor-ventilador	Fajas de Transmisión Retirar las guardas de fajas de transmisión de potencia del motor - ventilador Verificación de alineamiento de fajas motor - ventilador Inspeccionar la tensión de fajas y verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras) Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor - cooler Limpieza del motor con aire a presión
	Parte superior motor	Balancines y válvulas de admisión, escape y gas Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas del motor. Válvula de admisión: 0.020", Válvula de escape: 0,060". Válvula de Gas: 0.025". Registrar Valores Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor.
	Parte interior de precámara	Válvulas check de precámara (RCM Falla en válvula check MTBF: 4 MESES) Inspección de válvulas check
	Parte superior de culatas	Sistema del respiradero del cárter Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos. Torque de abrazadera de retención del respiradero: Torque de abrazaderas de manguera:
	Sistema de Ignición	Bujías Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite Ajustar la abertura de la bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías Vida útil estimada de las bujías: entre 4,000 y 8,000 horas. (no es necesario, ni se recomienda limpiar las bujías) Apertura de la bujía: 0.28 +- 0.03mm (0.011+-0.001 de pulg) Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada.
	Sistema de Ignición	Sensores de Combustión Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión: 9,5 +-0.5 N.m (84,0 +- 4,5 lb-pulg.)
	Sistema de Ignición	Bobinas Torque de pernos de bobinas
	Actuadores	Actuadores (Choke, Wastegate y GP-Control) Inspeccionar, engrasar y regular las articulaciones y varillajes de actuadores del motor (Wastegate, choke y GP-CONTROL Reemplazar actuadores de ser necesario (en caso de falla o alarma) por uno reparado
<u>ELÉCTRICO</u>		
7	Sistema de Ignición	Bujías Resistividad: del extremo al electrodo central: 6 kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico) Limpieza / continuidad
8	Sistema de Ignición	Buffer Input: 24Vdc , Output: 8Vdc *Banco de pruebas
9	Sistema de Ignición	Harness (Buffer - Sensor de combustión y buffer - bobina) Resistividad: 0.15 ohm/ Continuidad
10	Sistema de Ignición	Bobina Resistividad: 8 Kohm en masa En clavija Ay B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)
11	Sistema de Ignición	Extensión Resistividad: 0.9 ohm / Continuidad
12	Caja de paso	Pernos de caja de paso y caja de detonación Ajuste
13	Motor en general	Harness (Sensores y Actuadores) Resistividad con respecto a tierra: 18 - 19 Gohm
<u>INSTRUMENTACIÓN</u>		
6	Sensores	Dispositivos de protección del motor
6.1		Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien - Caterpillar Banco de pruebas/Señales en paralelo al PLC
6.2		Inspeccionar los visores y switches de nivel del tanque de expansión de agua del motor y compresor - Murphy
6.3		Inspeccionar/Limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy
6.4		Inspeccionar y calibrar los switch de vibración del motor - Murphy
7	Motocompresor	Líneas de aire Limpiar y purgar las líneas de aire de instrumentos de control.
8	Motor	Manómetros Verificación de manómetros del motor Medidores Compruebe estado de las pantallas electrónicas. (Reemplace o repare medidores rotos)

CADA 5,000 HORAS+A1(15h)

<u>MECÁNICO</u>		
N°	Sistema/Componente/Equipo	Actividad
	Acople motor-ventilador	Fajas de Transmisión Retirar las guardas de fajas de transmisión de potencia del motor - ventilador Reemplazo de fajas C-75 y C-128 Verificación de alineamiento de fajas motor - ventilador Inspeccionar la tensión de fajas verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras) Y poleas (RCM: DESGASTE MTBF: 9 meses) Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor - cooler
	Sistema de lubricación del motor	Sistema de lubricación del motor. Reemplace los filtros de aceite cada vez que: Presión diferencial se acerque a 105 kPa (15PSI), el programa S.O.S. determine límites máximos o cada 1,000 hrs. de servicio. (Ver estado de sellos anulares de ser necesario reemplazarlos) Limpieza del motor con aire a presión
	Parte superior motor	Balancines y válvulas de admisión, escape y gas Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas del motor. Válvula de admisión: 0.020", Válvula de escape: 0,060". Válvula de Gas: 0.025". Registrar Valores Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor.
	Parte interior de precámara	Inspección de válvulas check / Reparación
	Parte superior de culatas	Sistema del respiradero del cárter Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos. Torque de abrazadera de retención del respiradero: Torque de abrazaderas de manguera:
	Sistema de Ignición	Bujías Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite Ajustar la abertura de la bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías Vida útil estimada de las bujías: entre 4,000 y 8,000 horas. (no es necesario, ni se recomienda limpiar las bujías) Apertura de la bujía: 0.28 +/- 0.03mm (0.011+0.001 de pulg) Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada. De ser necesario reemplace bujía (vida útil determinada por el voltaje pico y suciedad debido a depósitos de aceite)
	Sistema de Ignición	Sensores de Combustión Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión: 9,5 +0.5 N.m (84,0 + 4,5 lb-pulg.)
	Sistema de Ignición	Bobinas Torque de pernos de bobinas
	Actuadores	Actuadores (Choke, Wastegate y GP-Control) Inspeccionar, engrasar y regular las articulaciones y varillajes de actuadores del motor (Wastegate, choke y GP-CONTROL) Turbocargador
	Parte Frontal del Motor	Inspeccionar el juego radial y axial del turbocargador antes de ser instalado. Juego axial: 0.004" – 0.008". Juego radial: 0.017" – 0.024"
	Parte Frontal del Motor	Filtro de fuel Gas Inspección/Reemplazo del filtro del fuel gas.
	Parte Lateral Izquierda	Aftercooler Limpieza de manifold de entrada de aire Limpieza del aftercooler (verificación de partículas, grietas, inspección de tapón) Bombas de agua (RCM FUGA , MTBF: 1 AÑO) Inspección/ Reemplazo de bombas de agua Inspección reemplazo de sello (Reemplazo de agua aditivada) Derivación del sistema de escape Reemplazo de válvula de derivación de gases de escape. Reemplazar conjunto de la caja de la válvula de derivación de gases de escape, eje y los extremos de los vástagos *Válvulas agua de fuel gas de precámara (RCM MTBF:8 MESES) Inspección/Reemplazo
<u>ELÉCTRICO</u>		
	6 Banco de Baterías	Batería
	6.1	Limpie/compruebe el nivel de electrolito.
	6.2	Mantenga baterías limpias.
	6.3	Afloje abrazaderas de cables y quitelas de todos los bornes de las baterías.
	6.4	Compruebe cargador de baterías.
	7 Sistema de Ignición	Bujías Resistividad: del extremo al electrodo central: 6 kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico) Limpieza / continuidad
	8 Sistema de Ignición	Buffer Input: 24Vdc , Output: 8Vdc *Banco de pruebas
	9 Sistema de Ignición	Harness (Buffer - Sensor de combustión y buffer - bobina) Resistividad: 0.15 ohm/ Continuidad
	10 Sistema de Ignición	Bobina Resistividad: 8 Kohm en masa En clavija Ay B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)
	11 Sistema de Ignición	Extensión Resistividad: 0.9 ohm / Continuidad
	12 Caja de paso	Pernos de caja de paso y caja de detonación Ajuste
	13 Motor en general	Harness (Sensores y Actuadores) Resistividad con respecto a tierra: 18 - 19 Gohm
	Parte Frontal del Motor	Pick Up Magnético Limpiar mecánicamente los pick- up magnéticos del motor, chequeo de tolerancia del pick - up. sensor de velocidad - Calibración 0.33 mm sensor de sobrevelocidad - Calibración 0.33 mm sensor de ángulo de giro - Calibración 0.33 mm Apriete de contratuerca Potenciómetro de contenido de BTU (RCM) Inspección de módulo de control de energía y cable.
<u>INSTRUMENTACIÓN</u>		
	6 Sensores	Dispositivos de protección del motor (Pruebas en taller)
	6.1	Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien - Caterpillar
	6.2	Inspeccionar los visores y switches de nivel del tanque de expansión de agua del motor y compresor - Murphy
	6.3	Inspeccionar/Limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy
	6.4	Inspeccionar y calibrar los switch de vibración del motor - Murphy
	7 Motocompresor	Líneas de aire Limpiar y purgar las líneas de aire de instrumentos de control.
	8 Motor	Manómetros Verificación de manómetros del motor
	Parte frontal derecha del motor	Válvula Fisher reguladora de presión Inspeccionar la válvula reguladora de presión de gas de 2" - Marca Fisher Solenoides de fuel Gas Verificación de solenoide de fuel Gas.

CADA 10,000 HORAS

(MANTENIMIENTO MAYOR, 3 DÍAS)

MECÁNICO		
N°	Sistema/Componente/Equipo	Actividad
	Acople motor-ventilador	Fajas de Transmisión (fajas dentadas?) Retirar las guardas de fajas de transmisión de potencia del motor - ventilador Verificación de alineamiento de fajas motor - ventilador Reemplazo de fajas verificar el ajuste de los soportes de pie (chumaceras) Y poleas (RCM: DESGASTE MTBF: 9 meses) Inspeccionar el estado de los canales de las poleas de transmisión motor - cooler
	Sistema de lubricación del motor	Sistema de lubricación del motor. Reemplace los filtros de aceite cada vez que: Presión diferencial se acerque a 105 kPa (15PSI), el programa S.O.S. determine límites máximos o cada 1,000 hrs. de servicio. (Ver estado de sellos anulares de ser necesario reemplazarlos)
	Parte superior motor	Limpieza del motor con aire a presión Balancines y válvulas de admisión, escape y gas Inspeccionar y calibrar las válvulas de admisión, escape y gas del motor. Válvula de admisión: 0.020", Válvula de escape: 0,060". Válvula de Gas: 0.025". Registrar Valores Inspeccionar y regular el puente y balancines del motor.
	Parte interior de precámara	Válvulas check Reemplazo de válvulas check
	Parte superior de culatas	Sistema del respiradero del cárter Limpie los elementos del respiradero y reemplace sellos. Torque de abrazadera de retención del respiradero: Torque de abrazaderas de manguera:
	Sistema de Ignición	Bujías Vida útil de las bujías determinada por: voltaje pico y suciedad debido a la carbonilla y aceite Ajustar la abertura de las bujías antes de volver a colocarla e instalar una nueva empaquetadura de bujías Vida útil estimada de las bujías: entre 4,000 y 8,000 horas. (no es necesario, ni se recomienda limpiar las bujías) Apertura de la bujía: 0.28 +/- 0.03mm (0.011+0.001 de pulg) Asegurarse que la extensión de las bujías tenga las puntas de los extremos limpias para lograr continuidad adecuada. Reemplace bujía (vida útil determinada por el voltaje pico y suciedad debido a depósitos de aceite)
	Sistema de Ignición	Sensores de Combustión Reemplace sensores de combustión Torque de tuercas de conjunto de cables del sensor de combustión: 9,5 +0.5 N.m (84,0 +/- 4,5 lb-pulg.)
	Sistema de Ignición	Bobinas Torque de pernos de bobinas
	Actuadores	Actuadores (Choke, Wastegate y GP-Control) Reemplazar los extremos del vástago de varillaje. Reemplazar los cojinetes y el varillaje Regular las articulaciones y varillajes Turbocargador
	Parte Frontal del Motor	Inspeccionar el juego radial y axial del turbocargador antes de ser instalado. Juego axial: 0.004" – 0.008". Juego radial: 0.017" – 0.024"
	Parte Frontal del Motor	Filtro de fuel Gas Inspección/Reemplazo del filtro del fuel gas.
	Parte Lateral Izquierda	Aftercooler Limpieza del aftercooler (verificación de partículas, grietas, inspección de tapón)/ Desmontaje, lavado e inspección. Si es necesario reemplazar Bombas de agua Inspección/ Reemplazo de bombas de agua Inspección reemplazo de sello Reemplazo de agua aditivada Termostatos (RCM: MTBF: 17 AÑOS, PROBLEMA EN EL 1) Reemplazo de termostatos del sistema principal y auxiliar Cárter del motor Reemplace el aceite (con aceite caliente para que partículas no estén asentadas) Limpiar el elemento de la rejilla de succión Derivación del sistema de escape Reemplazo de válvula de derivación de gases de escape. Reemplazar conjunto de la caja de la válvula de derivación de gases de escape y eje de los vástagos Bomba de Prelubricación Inspeccionar funcionamiento correcto (escobillas, mangueras, conectores y conexiones eléctricas)/Reemplazo por reparación Aislante térmico (RCM: Alta temperatura de aire de entrada MTBF: 1.33 meses) Inspeccione/Reemplace cualquier laminar de protector rota (no romper lámina de acero inoxidable dentro del protector) Motor-Compresor Medir Alineamiento Inspeccionar Acople Chaquetas de agua de motor Reemplazo de gaskets de chaquetas
ELÉCTRICO		
	6 Banco de Baterías	Batería Limpie/compruebe el nivel de electrolito.
	6.1	Mantenga baterías limpias.
	6.2	Afioje abrazaderas de cables y quitelas de todos los bornes de las baterías.
	6.3	Compruebe cargador de baterías.
	6.4	
	7 Sistema de Ignición	Bujías Resistividad: del extremo al electrodo central: 6 kohm *banco de pruebas (se mide por voltaje pico) Limpieza / continuidad
	8 Sistema de Ignición	Buffer Input: 24Vdc , Output: 8Vdc *Banco de pruebas
	9 Sistema de Ignición	Harness (Buffer - Sensor de combustión y buffer - bobina) Resistividad: 0.15 ohm/ Continuidad
	10 Sistema de Ignición	Bobina Resistividad: 8 Kohm en masa En clavija Ay B (resistividad de bobina: 0.9K ohm)
	11 Sistema de Ignición	Extensión Resistividad: 0.9 ohm / Continuidad
	12 Caja de paso	Pernos de caja de paso y caja de detonación Ajuste
	13 Motor en general	Harness (Sensores, Magneto y Actuadores) RCM: (Harness Magneto - Buffer: MTBF: 3AÑOS) Resistividad con respecto a tierra: 18 - 19 Gohm
	Parte Frontal del Motor	Pick Up Magnético Limpiar mecánicamente los pick- up magnéticos del motor, chequeo de tolerancia del pick - up. sensor de velocidad - Calibración 0.33 mm sensor de sobrevelocidad - Calibración 0.33 mm sensor de ángulo de giro - Calibración 0.33 mm Apriete de contratuerca
INSTRUMENTACIÓN		
	6 Sensores	Dispositivos de protección del motor (Pruebas en taller)
	6.1	Compruebe shutdowns y alarmas para ver si funcionan bien - Caterpillar Comprobar sensores de T de combustible
	6.2	Inspeccionar los visores y switches de nivel del tanque de expansión de agua del motor y compresor - Murphy
	6.3	Inspeccionar/Limpiar el controlador de nivel de aceite lubricante del motor - Murphy
	6.4	Inspeccionar y calibrar los switch de vibración del motor - Murphy
	7 Motocompresor	Líneas de aire Limpiar y purgar las líneas de aire de instrumentos de control.
	8 Motor	Manómetros Verificación de manómetros del motor
	Parte frontal derecha del motor	Válvula Fisher reguladora de presión Inspeccionar la válvula reguladora de presión de gas de 2" - Marca Fisher Solenoido de fuel Gas Verificación de solenoido de fuel Gas.

Anexo 11. DRIVE FMECA

<https://drive.google.com/drive/folders/1L5rrhp9Pqcfw4KpGofpX92TmeQaJotJ8?usp=sharing>

Anexo 12. MOTOCOMPRESOR INTERMEDIO 1



Anexo 13. MOTOCOMPRESOR INTERMEDIO 2

