



POSGRADOS

Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Propuestas metodológicas y tecnológicas
avanzadas

Tema:

OPTIMIZACIÓN DEL
MANTENIMIENTO PLANEADO EN
UNA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE CILINDROS DE
USO DOMESTICOS DE GAS LICUADO
DE PETROLEO GLP

Autor(es)

Nivares David Valencia Valencia

Director:

Ing. Armando Fabrizzio López Vargas
Ph.D

GUAYAQUIL – Ecuador

2023



Autor(es):



Nivares David Valencia Valencia
Ingeniero Eléctrico
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales
por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
nvalenciav@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Armando Fabrizio López Vargas
Ingeniero Mecánico
Dr. Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de
San Marcos
Director de Tesis
Universidad Politécnica Salesiana
alopez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL- ECUADOR – SUDAMÉRICA

NIVARES DAVID VALENCIA VALENCIA

“OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE CILINDROS DE USO DOMESTICOS DE GAS LICUADO DE PETROLEO GLP”

Dedicatoria

Hoy, después de la entrega y dedicación, puedo decir que he alcanzado una meta más en mi carrera profesional. Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de mi esposa e hijos quienes son mi razón de ser, así también la motivación constante de mi madre quien es una de mis mayores inspiraciones.

Dedico también este logro a mi hermano y amigos, quienes siempre han estado presentes en este camino, me han brindado su cariño y respaldo en todo momento.

Este nuevo título profesional es el reflejo de un compromiso con el aprendizaje continuo y el desarrollo personal, y se los dedico con todo mi corazón. Espero que sigamos compartiendo juntos muchos más logros y momentos felices en la vida.

¡Gracias por su amor y apoyo siempre!

Con cariño,

Nivares David Valencia Valencia

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la fortaleza y la perseverancia para alcanzar esta meta. También agradezco a mi madre, quien siempre ha sido ese ejemplo de superación a seguir en la vida.

Quiero expresar mi gratitud a mi esposa e hijos, quienes han sido mi fuente de inspiración constante. Gracias por estar siempre a mi lado, por entender la falta de atención debido a mis actividades académicas, y por alentarme a seguir adelante cuando las cosas se ponían difíciles.

No puedo dejar de mencionar a mis hermanos y amigos, quienes me han brindado su apoyo y cariño en todo momento. Gracias por las palabras de aliento, los abrazos, las risas y todos los momentos emotivos compartidas. Ustedes han sido una parte importante en este camino y les estoy agradecido eternamente.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a mis profesores, quienes me han guiado y enseñado con paciencia y dedicación. Gracias por su sabiduría, por compartir sus experiencias y por brindarme las herramientas necesarias para crecer en mi carrera profesional.

Este nuevo título que he obtenido es un logro compartido por todos ustedes, y por eso quiero expresarles mi más sincero agradecimiento. Espero que podamos seguir compartiendo juntos muchos más momentos de felicidad y éxitos en el futuro.

Con cariño,

Nivares David Valencia Valencia

Tabla de contenido

Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
Resumen	15
Abstract	16
1. Introducción	17
1.1. Determinación del Problema	18
1.2. Formulación del problema.....	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problema específico	21
1.3. Justificación de la investigación	21
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.4.2. Objetivos específicos	23
1.5. Hipótesis	23
1.5.1. Hipótesis general.....	23
1.5.2. Hipótesis Específicos	23
2. Marco Teórico Referencial	24
2.1. Mantenimiento.....	24
2.1.1. Historia del mantenimiento durante el siglo XX	25
2.1.1.1. Primera generación:.....	26
2.1.1.2. Segunda generación:	26
2.1.1.3. Tercera generación:	27
2.1.1.4. Cuarta generación:.....	29
2.1.1.5. Quinta generación:	30
2.1.2. Mantenimiento Correctivo	31
2.1.3. Mantenimiento Preventivo.....	31
2.1.4. Mantenimiento Predictivo.....	32
2.1.5. Mantenimiento de clase mundial – World Class Maintenance – WCM.....	32
2.2. Cuadro de Mando (Balanced Score Card aplicado al Mantenimiento)	35
2.2.1. Indicadores de Rendimiento (KPI'S).....	36
2.2.1.1. Retraso en el mantenimiento	37
2.2.1.2. Disponibilidad	37
2.2.1.3. Tiempo medio de reparación (MTTR)	37
2.2.1.4. Tiempo medio entre fallos (MTBF)	38

2.2.1.5.	Tiempo medio hasta el fallo (MTTF).....	39
2.3.	Herramientas de análisis de Confiabilidad	39
2.3.1.	Análisis Pareto	39
2.3.2.	Análisis Jack Knife	40
2.3.3.	Diagrama de Ishikawa	42
2.3.4.	Diagrama de flujo	43
2.4.	Herramientas Informáticas	43
2.4.1.	Software MAXIMO IBM	43
2.4.2.	Software Minitab.....	46
2.5.	Gestión de activos.....	46
2.6.	Modelo de Gestión de Mantenimiento	48
2.6.1.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	49
2.6.2.	Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)	52
2.6.2.1.	Ventajas y Desventajas de la Metodología PMO.....	54
2.6.2.2.	Diferencias entre RCM y PMO.....	55
2.6.3.	Proceso de implementación del PMO.....	57
2.6.4.	Patrones de fallas	64
2.7.	Planta de envasado.....	65
2.7.1.	Descripción de las instalaciones industriales	66
2.7.1.1.	Sistema de transportación de cilindros de GLP	66
2.7.1.2.	Puesto de tarado	67
2.7.1.3.	Admisión Neumática.....	68
2.7.1.4.	Funcionamiento del carrusel de envasado.....	68
2.7.1.5.	Balanzas de llenado.....	69
2.7.1.6.	Expulsión Neumática	70
2.7.1.7.	Báscula Electrónica de Control de peso.....	71
2.7.1.8.	Comprobador Electrónico de Fugas.....	72
2.7.1.9.	Probadores de válvulas.....	73
2.7.1.10.	Máquina de termosellado	74
2.7.1.11.	Red de Alimentación de Datos.....	75
3.	Metodología.....	76
3.1.	Tipo, diseño y nivel de investigación	77
3.1.1.	Tipo de investigación.....	77
3.1.2.	Diseño de la investigación	77
3.1.3.	Nivel de la investigación.....	78
3.2.	Método de investigación.....	78
3.3.	Determinación de la muestra	78

3.3.1.	Población	78
3.3.2.	Muestra	79
3.4.	Técnicas, Métodos e Instrumentos de recolección de datos	79
3.4.1.	Técnicas de recolección	79
3.4.2.	Materiales.....	80
3.4.3.	Instrumentos.....	81
3.5.	Diagnóstico de incidencia de fallas en la producción.....	82
3.5.1.	Análisis de Pareto de Mantenimiento	82
3.5.1.1.	Fallas ocasionadas en los equipos	84
3.5.2.	Índice de producción.....	85
3.5.3.	Tiempo neto de producción	87
3.5.4.	Gestión de Mantenimiento.....	88
3.5.5.	Diagrama de Ishikawa de baja productividad.....	88
3.5.6.	Análisis de ineficiencia mecánica operacional	90
3.6.	Cálculo de indicadores del sistema de mantenimiento.....	91
3.6.1.	Pérdidas de Producción 2022.....	91
3.6.2.	Porcentaje de mantenimientos proactivos.....	92
3.6.3.	Disponibilidad Operativa.....	93
3.6.4.	Análisis de Fiabilidad	94
3.6.4.1.	Identificación del mejor Modelo de Distribución	95
3.6.4.2.	Análisis paramétrico.....	99
3.6.4.3.	Disponibilidad de la línea de envasado de GLP.....	99
3.6.5.	Análisis Jack Knife Mantenimiento.....	104
4.	Propuesta de Optimización del Mantenimiento Planificado	107
4.1.	Recopilación de Tareas.....	107
4.2.	Análisis de modos de falla (FMA)	111
4.3.	Racionalización y revisión del FMEA.....	121
4.4.	Análisis Funcional	129
4.5.	Evaluación de Consecuencias.....	136
4.6.	Definición de la Política de Mantenimiento	141
4.7.	Revisión y agrupación	144
4.7.1.	Demostración de resultados	152
4.7.1.1.	Análisis de Indicadores	152
4.7.1.2.	Prueba de las muestras	154
4.7.1.3.	Análisis de distribución.....	155
4.7.1.4.	Histograma de Fallas.....	156
4.7.1.5.	Diagnóstico y evaluación	158

4.7.1.6.	Productividad y proceso actual	160
4.7.1.7.	Demostración de la hipótesis.....	163
4.7.1.8.	Planteamiento de la hipótesis	164
4.7.1.9.	Nivel de significancia.....	164
4.7.1.10.	Análisis de datos.....	164
4.7.1.11.	Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis	164
4.7.1.12.	Prueba de Hipótesis de fallas ocurridas.....	165
4.7.1.13.	Prueba de Hipótesis de Producción de cilindros	166
4.7.1.14.	Análisis y Decisión.....	167
	Conclusiones.....	171
	Recomendaciones.....	172
	Referencias	173
	Anexos.....	176

Índice de figuras

Figura 1. Indicadores de utilización y eficiencia de los equipos	20
Figura 2. Generaciones de mantenimiento	26
Figura 3. Relaciones entre estrategias y tecnologías	34
Figura 4. Pirámide de la excelencia de mantenimiento	35
Figura 5. Diagrama de Pareto	40
Figura 6. Análisis Jack Knife	41
Figura 7. Diagrama de causa efecto o de espina de pez - Ishikawa.....	42
Figura 8. Beneficios del Sistema Máximo.....	44
Figura 9. Pirámide de taxonomía de locaciones, sistemas, equipos y componente.....	45
Figura 10. Beneficios de la gestión de activos	48
Figura 11. Beneficios de la gestión de activos	49
Figura 12. Flujograma del proceso del RCM	50
Figura 13. Ciclo Vicioso del Mantenimiento Reactivo	53
Figura 14. Diferencias entre PMO y RCM.....	56
Figura 15. Relación costo-tiempo-beneficio del RCM y PMO	57
Figura 16. Paso 1 del PMO.....	58
Figura 17. Hoja de decisiones del RCM (Moubray).....	62
Figura 18. Patrones de falla	64
Figura 19. Carrusel de envasado de cilindros de GLP de 15 Kg.....	66
Figura 20. Sistema de transportación de cilindros de GLP tipo cadena	67
Figura 21. Soporte con registrador de datos de ingreso de cilindros (tara de ingreso)...	67
Figura 22. Dispositivo de entrada HRS para entrada radial	68
Figura 23. Tipos de admisión de cilindros en carruseles de envasado de GLP.....	69
Figura 24. Balanza electrónica	70
Figura 25. Sistema automático ECS de control del peso.....	71
Figura 26. Corregidor de peso Kosan Crisplant	72
Figura 27. Detector de fugas electrónico ET1-GD-CIR.....	73
Figura 28. Comprobador automático de válvula ET-PT	74
Figura 29. Termoselladora automática	74
Figura 30. Esquema de red de datos	75
Figura 31. Paso para la implementación del PMO	107
Figura 32. Análisis Funcional.....	129

Índice de tablas

Tabla 1. Simbología empleada	43
Tabla 2. Componentes de línea de envasado de GLP.....	45
Tabla 3. Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.	52
Tabla 4. Método Fine.....	60
Tabla 5. Matriz de técnicas de instrumentos	81
Tabla 6. Lista de sistemas.....	82
Tabla 7. Histórico de fallas de sistemas de llenado de cilindros de GLP	84
Tabla 8. Parámetros de consideración en producción	85
Tabla 9. Disponibilidad periodo Enero - junio 2022.....	86
Tabla 10. Parámetros de consideración en tiempos de fallas	87
Tabla 11. Indicadores Técnicos de Mantenimiento primer semestre 2022	94
Tabla 12. Datos tiempos de operación y reparación.....	94
Tabla 13. Bondad de ajuste.....	96
Tabla 14. Percentiles.....	96
Tabla 15. Datos de MTBF	97
Tabla 16. Características de distribución.....	100
Tabla 17. Tabla de percentiles disponibilidad de envasado	100
Tabla 18. Intervalos de confianza en la operación	102
Tabla 19. Intervalos de confianza de probabilidad de fallas	103
Tabla 20. Calculo del OEE.....	106
Tabla 21. Tareas de mantenimiento extraídas del sistema MAXIMO	108
Tabla 22. Modos de Fallas PMO	111
Tabla 23. Identificación de modos de falla - Carrusel.....	112
Tabla 24. Identificación de modos de falla - Repesadora.....	114
Tabla 25. Identificación de modos de falla - Salida de Carrusel.....	116
Tabla 26. Identificación de modos de falla - Entrada de Carrusel	117
Tabla 27. Identificación de modos de falla - Detectora de fugas	118
Tabla 28. Identificación de modos de falla - Detectora de Toroides.....	119
Tabla 29. Identificación de modos de falla - Termoselladora	120
Tabla 30. Racionalización del FMEA	121
Tabla 31. Análisis de modo y efecto de falla – Carrusel.....	122
Tabla 32. Análisis de modo y efecto de falla – Repesadora.....	123
Tabla 33. Análisis de modo y efecto de falla - Salida de Carrusel.....	124
Tabla 34. Análisis de modo y efecto de falla - Entrada de Carrusel	125
Tabla 35. Análisis de modo y efecto de falla - Detectora de fugas	126
Tabla 36. Análisis de modo y efecto de falla - Detectora de toroides	127
Tabla 37. Análisis de modo y efecto de falla – Termoselladora	128
Tabla 38. Tareas asociadas a la función de equipo.....	130
Tabla 39. Ponderación de consecuencia	136
Tabla 40. Cuadro de identificación de consecuencias.....	137
Tabla 41. Modos de fallas recurrentes	141
Tabla 42. Componentes reemplazables a corto y mediano plazo.....	143
Tabla 43. Plan de mantenimiento - Carrusel	145
Tabla 44. Plan de mantenimiento - Balanzas de llenado y Repesadora	146
Tabla 45. Plan de mantenimiento - Salida de Carrusel.....	147
Tabla 46. Plan de mantenimiento - Entrada de carrusel	148
Tabla 47. Plan de mantenimiento - Detectora de fugas	149
Tabla 48. Plan de mantenimiento - Detectora de toroides.....	150

Tabla 49. Plan de mantenimiento – Termoselladora	151
Tabla 50. Indicadores Técnicos de Mantenimiento segundo semestre 2022	152
Tabla 51. Indicador de cumplimiento.....	158
Tabla 52. Detalle anual de producción de cilindros	159
Tabla 53. Datos de producción Enero - diciembre 2022	160
Tabla 54. Producción de cilindros en nave de envasado - Primer Periodo	169
Tabla 55. Producción de cilindros en nave de envasado - Segundo Periodo	170

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Diagrama de Pareto de Línea - Acumulación de fallas (Hrs).....	83
Gráfico 2. Porcentaje de producción Enero - junio de 2022	85
Gráfico 3. Disponibilidad periodo Enero - junio 2022.....	86
Gráfico 4. Tiempo neto de producción Enero - junio de 2022	87
Gráfico 5. Registro de Fallos - Espera - Retrasos Enero - junio de 2022.....	88
Gráfico 6. Diagrama de Ishikawa de baja productividad	89
Gráfico 7. Indicador de pérdida de producción por fallas	92
Gráfico 8. Indicador de Mantenimientos Proactivos	92
Gráfico 9. Tareas de mantenimiento primer semestre 2022	93
Gráfico 10. Definición de modelo de fiabilidad	98
Gráfico 11. Probabilidad de fallas en la operación.....	99
Gráfico 12. Confiabilidad del sistema	101
Gráfico 13. Fallas acumuladas.....	102
Gráfico 14. Probabilidad, confiabilidad y función de riesgo.....	104
Gráfico 15. Jack Knife fallas en línea de envasado GLP	105
Gráfico 16. Clasificación de Consecuencias - Evidentes	136
Gráfico 17. Tipos de falla	142
Gráfico 18. Tareas de mantenimiento a condición	142
Gráfico 19. Reducción de fallas.....	153
Gráfico 20. Comparativa porcentual de Disponibilidad.....	153
Gráfico 21. Fallas registradas en dos periodos	154
Gráfico 22. Probabilidad de fallas plan de mantenimiento existente	155
Gráfico 23. Probabilidad de fallas con PMO.....	156
Gráfico 24. Relación Fallas TPM & PMO	157
Gráfico 25. Producción de cilindros en dos periodos.....	161
Gráfico 26. Porcentaje de producción Enero - diciembre 2022	161
Gráfico 27. Resumen de Periodo TPM.....	162
Gráfico 28. Resumen de Periodo PMO	163
Gráfico 29. Distribuciones muestrales Fallas TPM.....	168
Gráfico 30. Distribuciones muestrales Fallas PMO	168
Gráfico 31. Histograma de Periodo TPM; Periodo PMO.....	170

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz operacionalización variable independiente	177
Anexo 2. Matriz operacionalización variable dependiente	178
Anexo 3. Matriz de Consistencia.....	179
Anexo 4. Desarrollo de causa-efecto Materiales	181
Anexo 5. Desarrollo de causa-efecto Personal	182
Anexo 6. Desarrollo de causa-efecto Maquinas	183
Anexo 7. Desarrollo de causa-efecto Métodos.....	184
Anexo 8. Desarrollo de causa-efecto Medio Ambiente.....	185
Anexo 9. Desarrollo de causa-efecto Mediciones	186
Anexo 10. Datos de producción año 2022.....	187
Anexo 11. Plan de mantenimiento preventivo de tabulador.....	188
Anexo 12. Plan de mantenimiento preventivo de entrada de carrusel.....	189
Anexo 13. Plan de mantenimiento preventivo de balanzas	190
Anexo 14. Plan de mantenimiento preventivo de sistema eléctrico	191
Anexo 15. Plan de mantenimiento preventivo de sistema electrónico y neumático	192
Anexo 16. Plan de mantenimiento de recuperadora y repesado	193
Anexo 17. Plan de mantenimiento preventivo de probadora de fugas	194
Anexo 18. Plan de mantenimiento preventivo en probadora de toroides.....	195
Anexo 19. Plan de mantenimiento preventivo en termoselladora	196

OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CILINDROS DE USO DOMESTICOS DE GAS LICUADO DE PETROLEO GLP

Autor(es):

Nivares David Valencia Valencia

Resumen

El presente proyecto fue elaborado en base a la información recibida de la planta de producción para cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP y complementado con datos de obtenidos al aplicar técnicas de mantenimiento donde se muestra como mediante la implementación de la optimización se logra estimar y calcular mejoras en el proceso de envasado de cilindros de GLP.

El estudio comienza con la recopilación de información a través de la verificación del plan de mantenimiento existentes, histórico de fallas, identificando equipos críticos, datos de producción, verificación del estado los equipos y su funcionalidad. Luego se analiza, procesa y compara para proponer medidas para introducir los conceptos de optimización del mantenimiento planeado para la mejora y el aumento de la productividad y la producción.

Se concluyó que es posible definir planes óptimos de mantenimiento enfocados en eliminar las causas de fallas, generando un incremento en la disponibilidad de equipos, reducción de fallas inesperadas y reducción de costos, sin hacer un análisis de la totalidad de funciones principales, secundarias y fallas funcionales que demanda un proceso RCM, reduciendo los tiempos de parada relacionados con mantenimiento.

Palabras claves:

Planes de mantenimiento, fallas, gas licuado de petróleo, equipos críticos, disponibilidad, Optimización de Mantenimiento Planificado (PMO), historial de fallas, RCM.

Abstract

The present project was elaborated based on the information received from the production plant for domestic LPG cylinders and complemented with data obtained by applying maintenance techniques where it is shown how through the implementation of the optimization it is possible to estimate and calculate improvements in the LPG cylinders packaging process.

The study begins with the collection of information through the verification of the existing maintenance plan, history of failures, identifying critical equipment, production data, verification of equipment status and functionality. Then it is analyzed, processed and compared to propose measures to introduce the concepts of planned maintenance optimization for the improvement and increase of productivity and production.

It was concluded that it is possible to define optimal maintenance plans focused on eliminating the causes of failures, generating an increase in equipment availability, reduction of unexpected failures and cost reduction, without making an analysis of the totality of main functions, secondary functions and functional failures that an RCM process demands, reducing maintenance related downtime.

Key words:

Maintenance plans, failures, liquefied petroleum gas, critical equipment, availability, Planned Maintenance Optimization (PMO), failure history, RCM.

1. Introducción

El mantenimiento se ha convertido en un eje importante para industria, con el paso del tiempo ha dejado de ser considerado un gasto y se ha transformado en una inversión de ayuda a las organizaciones, pues se ha demostrado la importancia de su implementación, teniendo como finalidad principal la preservación y disponibilidad de equipos, maquinarias y estructuras. Sin embargo, los cambios constantes y las crecientes necesidades obligan a las organizaciones no solo a tomar el lugar, sino también a establecer estrategias que les permitan mantenerse a la vanguardia y asegurar la viabilidad de sus activos.

Este trabajo se basa en la propuesta de PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado) para la línea de producción de cilindros de uso domésticos de Gas Licuado De Petróleo, que tiene como objetivo mejorar la gestión del mantenimiento utilizando los análisis estadísticos como una poderosa herramienta de soporte mediante la identificación de actividades y/o tareas determinadas, asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos cuando se necesiten, al menor costo posible, para disminuir el número de fallas y aumentar la eficiencia de la productividad del GLP debido a paradas no planificadas.

El rendimiento histórico de las fallas de los equipos se determinará mediante un análisis estadístico, basado en la distribución de Weibull. Con base en los registros de fallas, se predice el impacto de las actividades de mantenimiento preventivo en algunas métricas de administración de equipos, como la confiabilidad, la capacidad de mantenimiento, la disponibilidad y la efectividad general (OEE).

En el primer capítulo se presenta una introducción contextual, una descripción del problema, una base teórica y práctica para el estudio y objetivos formulados en los que se refieren los principales impulsores del progreso en la gestión del mantenimiento.

El segundo capítulo proporciona un marco teórico que cubre la base científica en libros, revistas y artículos que respaldarán un proyecto de investigación basado en la declaración de su problema. Con un enfoque en la identificación de tipos de mantenimiento efectivos, planes de mantenimiento, modos de falla, frecuencia y optimización del mantenimiento programado.

El tercer capítulo analiza los métodos de investigación, los métodos de recopilación de datos y las herramientas utilizadas para analizar e interpretar la información. Alcanzar los objetivos definidos en la metodología de optimización del mantenimiento programado que permite la jerarquización de los sistemas en función de su impacto dentro de la línea de producción de cilindros de gas doméstico.

El cuarto capítulo muestra el análisis detallado de la implementación del sistema PMO para la línea de producción de cilindros de GLP, se basa en una consistente metodología que incluye análisis estadísticos y demostración de hipótesis. Los resultados obtenidos comprueban que la implementación del Optimización del Mantenimiento Planeado es altamente eficaz para reducir el número de fallas y aumentar la producción. En general, este capítulo proporciona una evaluación absoluta de los beneficios del sistema PMO y su repercusión en la línea de producción de cilindros de GLP.

1.1. Determinación del Problema

En Ecuador, el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una necesidad básica, su demanda promedia se encuentre entre los 11.4 millones de barriles de GLP en los 10 últimos años. Para el año 2020 la Producción, importación y consumo nacional se situó en 13,9 millones de barriles de GLP, de estos se desglosan 12,4 millones de barriles importados y 1,9 millones de barriles producidos en el país. Mismo que es utilizado tanto en los hogares, así como en los procesos industriales y comerciales. (Ecuador, AIHE – Asociación Industrial Hidrocarburífera del Ecuador;, 2021)

La constitución del Ecuador en su Artículo 68 de la Ley de Hidrocarburos señala que, “...el almacenamiento, distribución y venta al público en el país, o una de estas actividades, de los derivados de los hidrocarburos será realizada por la EP PETROECUADOR o por personas naturales o por empresas nacionales o extranjeras, de reconocida competencia en esta materia y legalmente establecidas en el país”. (Hidrocarburífero, 2016)

Actualmente en el país existen 19 plantas autorizadas para la comercialización de gas licuado de petróleo, de las cuales solo en la provincia del Guayas se distribuyen cilindros para uso domésticos e industriales a distintas empresas que entre ellas están; Duragas, Congas, Gasito y Petro Comercial quienes a su vez distribuyen el GLP a distintas provincias como Guayas, Los Ríos, Santa Elena, El Oro y Galápagos.

Basado en los datos oficiales del Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2008), el incremento anual de la población se sitúa en el 1.10%. Siendo el GLP un insumo de primera necesidad cuyo incremento de demanda es aproximadamente del 3.5% anual con respecto al consumo de cilindros domésticos en el país, la conservación de esta matriz productiva se constituye algo primordial. Por ello, uno de los centros operativos más importante del país, que es responsable directo de brindar servicio de abastecimiento a las comercializadoras a través de envasado de cilindros de uso domésticos de 15 Kg e industriales de 16 y 45 Kg, por medio de unidades de abastecimiento compuesto esencialmente por carruseles, cadenas transportadoras, balanzas, equipos de control, motores eléctricos, etc., que combinados con estaciones reductores son trasladados a los carruseles y/o balanzas estacionarias, donde luego se conecta el cabezal de llenado a la válvula del cilindro mediante un sistema automático que trabaja de forma neumática con la que inyecta al cilindro de 15 kg de gas licuado de petróleo. Una vez concluido el ciclo de carga el cilindro automáticamente se desacopla el cabezal de llenado, para luego pasar por las maquinas verificadoras de control de peso, control de fugas de gas, cauchos O-Ring, para finalmente proceder a sellar y embarcar a los respectivos vehículos repartidores de las comercializadoras.

Este centro operativo en sus inicios contaba con dos carruseles para envasar cilindros de 15kg y uno para cilindros de 45kg, marca Kossan Crisplant, luego con la finalidad de cumplir con las programaciones de despacho a las diferentes comercializadoras, se instaló un cuarto carrusel, repotenciando uno de los que existían en un antiguo centro de distribución de GLP que es de la marca Siraga, para aumentar el envasado de cilindros de 15 Kg.

También como acción subsecuente se repotencio los dos carruseles Kossan Crisplant, cambiando los brazos de las balanzas y el cabezal de llenado para lograr un mejor llenado de cilindros logrando alcanzar una capacidad de envasado máxima de 700 toneladas en una jornada de trabajo de 22 Horas.

Uno de los principales problemas que afronta la planta de GLP son los tiempos improductivos que merman la productividad y por consiguiente ocasionan perdidas en tiempo y dinero a la empresa, tomando en cuenta que el cilindro de GLP pasa por varios procesos antes de convertirse en producto final, listo para ser vendido al cliente.

Los indicadores de utilización y eficiencia de los equipos, nos indican que las paradas por mantenimiento influyen en gran porcentaje en el aseguramiento de la producción, tal como se observa en la Figura No 1.

Figura 1. Indicadores de utilización y eficiencia de los equipos

TIEMPO TOTAL = 365 días x 24 horas				
Tiempo programado				Tiempo No-programado
Tiempo disponible			Paros programados	
Tiempo operación		Paros no-programados		
Tiempo operación		Fallos	Esperas	Retraso Línea
Salida Teórica				
Salida Real		Velocidad reducida	Paros menores	
Salida OK!	No-conformes	Re-procesos		

Fuente: Adaptada a investigación realizada por Mishelle Montenegro / Patricio Peñaherrera

El presente proyecto busca demostrar la aplicación de la metodología PMO mantenimiento potenciara al existente plan de mantenimiento del sistema de llenado automático de botellas de 15 kg de GLP de las líneas de producción. El proceso de desarrollo de optimización del plan de mantenimiento bajo la metodología PMO debe cumplir con lo establecido en las normas SAE JA 1011 y SAE JA1012 por su similitud a la metodología RCM.

Actualmente, el plan de mantenimiento es insuficiente para suplir todas las necesidades requeridas por el área operativa. El personal de mantenimiento se basa en las recomendaciones del fabricante, plan de mantenimiento existente, experiencia adquirida y los requerimientos del área de producción. Sin embargo, a menudo surge la pregunta: ¿La actividad y la frecuencia de mantenimiento son suficientes para que los equipos sigan cumpliendo su función? y ¿Cuesta más de lo necesario mantener el activo cumpliendo su función?

De esta forma, la metodología PMO enfoca las actividades de mantenimiento en los eventos que provocan la pérdida de la funcionalidad de los activos, lo que permite analizar el impacto de las fallas y desarrollar estrategias de mantenimiento basadas en las causas de las fallas de los activos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿La optimización del plan de mantenimiento preventivo mejora la producción de la línea de envasado en una planta de GLP, garantiza la disponibilidad de las máquinas y la seguridad en el proceso?

1.2.2. Problema específico

- a) ¿En qué medida el sistema de gestión del mantenimiento que la empresa tiene actualmente incide en la productividad de la línea de envasado de GLP?
- b) ¿En qué medida se puede disminuir el número de fallas y mejorar la productividad de los equipos?
- c) ¿Cómo la implementación de la Optimización del Mantenimiento Planeado PMO podrá mejorar el proceso de producción?

1.3. Justificación de la investigación

Justificación Teórica

La investigación permitirá utilizar conocimientos y teorías respecto a las técnicas de Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) y su relación existente con la Productividad, para su aplicación en una empresa dedicada a la producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg respectivamente de GLP.

El estudio es importante porque permitirá verificar que mediante la implementación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) se logrará la disminución de las fallas en los equipos, lo que influyen directamente en las dimensiones de los indicadores, logrando así la mejora continua en el proceso de producción.

Justificación Metodológica

La investigación se justifica porque permitirá la creación y uso de una serie de metodologías, técnicas e instrumentos aplicados a los sistemas de mantenimiento preventivo para disminución de las fallas en los equipos, mejorar los indicadores de la línea de producción de cilindros de uso domésticos e industriales de GLP.

Este estudio explica las variables en la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) y la mejora del índice y utiliza un diseño de investigación No experimental de corte transversal para ayudar a probar la relación causal entre las variables.

Justificación Práctica

Como en la mayoría de las empresas dedicadas a la producción de cilindros de GLP de uso domésticos o industriales, los sistemas de llenados se constituyen de equipos sumamente críticos (conformados por carruseles, balanzas de llenado, balanzas de comprobación, líneas de transportación y equipos de control), debido a que afectan directamente sobre la producción, es importante utilizar las herramientas existentes para mejorar su confiabilidad y disponibilidad.

De acuerdo al historial de fallas del sistema de llenado de cilindros, se realizarán los análisis correspondientes para determinar la criticidad de componentes y subsistemas, que serán utilizados para la optimización y priorización de las actividades de mantenimiento a través del método PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado), mejorando así la fiabilidad y disponibilidad de todo el sistema.

La recomendación para implementar todas las estrategias es asegurar que la decisión sea basada en un análisis RCM, que relaciona al mantenimiento durante la fase de diseño de la nueva planta y la implementación de la planta en operación. Sin embargo, el PMO relaciona al Mantenimiento Preventivo (PM) para garantizar valor agregado y rentabilidad para los clientes de la organización.

La Planta de producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, está en operación desde el año 2013 lo que significa que es un centro de operaciones con poco tiempo de funcionamiento. Para efecto de minimizar el número de paradas no planificadas y fallas del sistema, la mejor opción para optimizar las tareas de mantenimiento es implementar el método PMO.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar el plan de Mantenimiento Planeado en la línea de envasado de GLP que permita disminuir el número de fallas, garantizando la disponibilidad de las máquinas,

promoviendo la seguridad de los operadores y favoreciendo la productividad.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar la situación actual del sistema de gestión del mantenimiento de la línea de envasado de GLP, para determinar el número de fallas, la disponibilidad de los equipos y la influencia que tiene en la productividad.
- b) Proponer una optimización del plan de mantenimiento preventivo para disminuir el número de fallas y mejorar la productividad de los equipos mediante la Optimización del Mantenimiento Planeado PMO
- c) Simular los procesos de producción mediante la implementación de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO

1.5. Hipótesis

Vienen a ser las guías de una investigación o estudio. Las Hipótesis dicen lo que tratamos de probar y se define como definiciones tentativas del fenómeno investigado. Se deriva de la teoría existente y deben enunciarse a manera de propósitos. De hecho, son respuestas transitorias a las preguntas de investigación (Hernandez Sampieri, 2014)

1.5.1. Hipótesis general

La optimización del mantenimiento preventivo permitirá disminuir el número de fallas entre un 30% y 40% para mejorar la productividad en un 5% de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP.

1.5.2. Hipótesis Específicos

- a) Con el mantenimiento preventivo se resuelve el 15% de las fallas encontradas en la línea de envasado de GLP y permite la continuidad de la producción cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg.
- b) La Optimización del Mantenimiento Planeado PMO disminuye el número de fallas entre un 30% y 40% y mejora la disponibilidad de los equipos.
- c) La simulación del proceso productivo con la herramienta de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO permitirá establecer un incremento en la producción que podría llegar hasta un 5%.

2. Marco Teórico Referencial

El plan de mantenimiento existente ha caído en un círculo vicioso de acciones correctivas y mantenimiento temporal, pues no se analizan ni mejoran sus resultados. Las operaciones, procedimientos y áreas competentes no se preocupan por registrar, rastrear o efectuar la trazabilidad de sus actividades. Como resultado de ello, se cuenta con un plan con falencias notables, costos de mantenimiento altos y equipos que no brindan la disponibilidad continua que requiere una planta.

El área de mantenimiento debe ir más allá de la estandarizada asistencia a los equipos, ya que actualmente las estrategias de mantenimiento deben implementarse en base a pilares en donde todos los que trabajan en el área puedan comprender fácilmente como se efectúa la inspección, planificación, programación, ejecución y mejora.

Fundamentado en ello, resulta necesario proponer una mejora continua, integrando diferentes campos de la ingeniería existentes con diferentes capacidades y adaptándose al tipo de sistema o desarrollo que se tenga.

El punto de partida para potenciar las herramientas existentes sería desarrollar una propuesta utilizando como soporte la metodología PMO (Optimización de Mantenimiento Planeado), cuyo objetivo es aumentar la eficacia y la eficiencia de las actividades de mantenimiento ya que identifica qué planes de mantenimiento son útiles y cuáles son inadecuados, de ser así, se dedica a encontrar dónde se establecen los fallos críticos en un equipo que esté fuera del programa de mantenimiento. (Ponce Mostacero, Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción, 2018)

2.1. Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades destinadas a proteger un elemento o restaurarlo a una condición en la que pueda realizar una función deseada. Estas actividades incluyen una combinación acciones técnicas adecuadas que llevan a las máquinas, equipos e instalaciones a un proceso productivo, para conservarlo en un estadooperativo para la función que fueron adquiridos.

2.1.1. Historia del mantenimiento durante el siglo XX

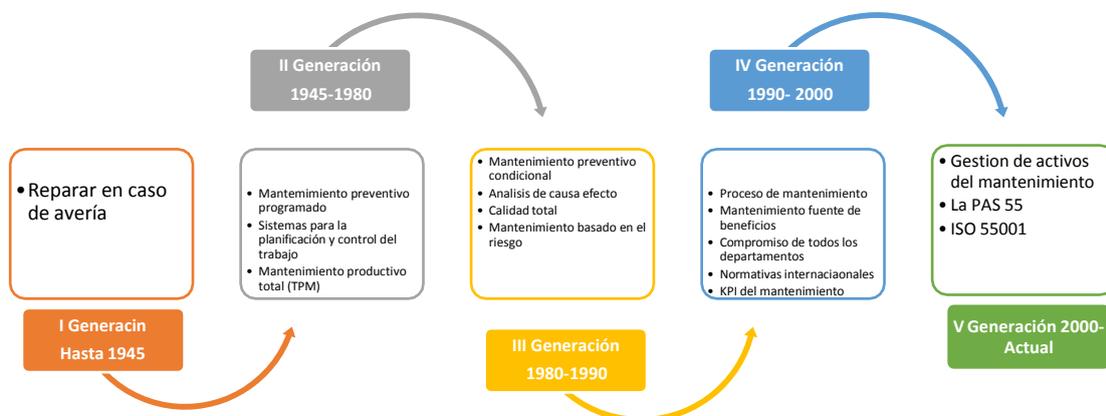
La aviación ha dado pasos interesantes en los últimos siglos. En el siglo XIII, el inglés Roger Bacon descubrió que existía como el agua. barco, el aire puede soportar el objeto. Tal vez ese es el primer paso aviación moderna. 17 de diciembre de 1903 los hermanos Wright Kitty City ha logrado importantes vuelos, sirviendo como base para el rápido desarrollo de la aviación. En 1907, Glenn Hammond voló el dirigible de Thomas Baldwin; En 1911, el francés Lou Blériot superó Canal de la Mancha 37 km en 35 minutos. El primer vuelo transcontinental lo realizó Calbraith Rogers en 1911, cruzando el Océano Atlántico Charles A. Lindbergh, ICAO e IATA de los Estados Unidos se establecieron en 1947. En este siglo, la teoría y el principio del vuelo con cohetes vinieron de los rusos Konstantin Eduardovich Ciołkowski. Entonces, en 1926, el estadounidense Robert Goddard lanza un cohete de combustible líquido. En 1957, Rusia colocó el primer satélite dedicado se llamó Sputnik.

De acuerdo con la diversa bibliografía encontrada al respecto, se puede concluir que La mayoría de los escritores distinguen tres períodos principales de este siglo o generaciones que nos dan una idea de la evolución de la tecnología e instituciones se han hecho en este siglo. Darse cuenta de se desarrolla de manera diferente en la industria, por lo que en la aviación siempre ha sido líder en las industrias, marítima y ferroviaria.

En cada rama de la ingeniería, los objetos que necesitan ser resueltos cambian. Funciona bien, pero tiene prioridad técnica de síntesis.

Podemos decir acerca de las últimas cuatro generaciones, que enumerados a continuación:

Figura 2. Generaciones de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

2.1.1.1. Primera generación:

El trabajo de mantenimiento se limita a arreglar lo que está roto, lubricar, engrasar y limpiar periódicamente.

2.1.1.2. Segunda generación:

Los sistemas de mantenimiento preventivo planificados se basan en; inspección periódica de equipos, estructuras y vehículos en general.

En el caso de aparatos mecánicos y eléctricos, se utiliza el método de la curva de la bañera que luego del período de mortalidad infantil cuando se lleva a cabo las primeras intervenciones y puesta en arranque se originan errores debido a la mala calidad en sus equipos asociados. Posterior a ello, no hay necesidad de intervenir partes o piezas más que sustituir ciertos elementos pequeños, efectuar lubricaciones, engrases e inspecciones para evitar que se generen averías. Este control periódico viene determinado para cada sector por horas operadas, horas de vuelo, kilómetros recorridos, etc. Incluye reparaciones menores en caso de avería o reparaciones programadas. La optimización en esta generación se basa en el mantenimiento preventivo, mantenimiento rutinario y no planificado, además se basa en sistemas avanzados de planificación operativa y seguimiento del trabajo realizado.

Aquí es donde la orden de trabajo juega un papel importante ya que es la respuesta y verificación de los datos contenidos en esas órdenes de trabajo. (Equipo, objeto o sistema afectado; subsistema o componente defectuoso "recomendado para los dos códigos anteriores"). Horas de intervención, tiempos muertos de equipos, repuestos usados, centros de costos, etc. (todos estos datos ahora se procesan por computadora o se estructuran a través de software para que sea más fácil para los mantenedores planificar y controlar todo este trabajo).

El mantenimiento de segunda generación en los años 80, optimizó la frecuencia y los controles periódicos de los equipos, sin embargo, tras simplificar los sistemas de planificación y control han entrado en una especie de estancamiento en términos de fiabilidad, disponibilidad y coste. Es decir, se han estabilizado, y puede darse el caso de que, si una variable mejora después de haberse estabilizado, necesariamente puede ocurrir que alguna de ellas tenga un peor desempeño o perjudique a alguna de las variables relevantes como se muestra a continuación:

Si se optimizan los costes minimizando repuestos, consumibles o mano de obra; se ha reducido la disponibilidad y/o la confiabilidad.

Si la disponibilidad se ha optimizado minimizando el tiempo de inactividad, la confiabilidad se ha degradado. Si se mejora la confiabilidad mediante más investigación y análisis de fallas repetitivas o complejas a través de revisiones de equipos o instalaciones, la disponibilidad se verá afectada.

Para minimizar la degradación de alguna de las variables, cuando alguna de ellas mejora, se empieza a mencionar el apoyo externo (Mantenimiento de tercera Generación).

2.1.1.3. Tercera generación:

Establece sus metas en base a lo dicho anteriormente, que es disponibilidad, confiabilidad y costo; pero las direcciones se complementan

La seguridad es una prioridad con tendencia a las normas, reglas, leyes, órdenes, etc. Esta cláusula cobra relevancia y define lo que se acordó como mantenimiento preventivo, legal o reglamentario. De igual manera, la calidad de los servicios de mantenimiento apareció con la norma ISO 9000 en 1984 en la versión ISO 9002; protección del medio ambiente en ISO 14000.

El mantenimiento de tercera generación debe basarse en la introducción de nuevas técnicas que tienen más probabilidades de interferir con los equipos sólo cuando sea necesario. En este nuevo enfoque del mantenimiento, se tiende a no establecer revisiones rutinarias, sino a menos que sean necesarios o no se haya demostrado que son efectivos y rentables.

Se manifiesta la aparición del mantenimiento basado en la condición (CBM, Maintenance on condition), es una técnica de mantenimiento proactivo que se realiza en función del estado del activo. La CBM no se basa en un mantenimiento programado, sino en indicadores que pueden determinar si el activo está a punto de averiarse o se ha averiado. (SafetyCulture, 2022)

En paralelo, otras técnicas como RCM (Reliability Centered Maintenance) o TPM (Total Productive Maintenance) intentan hacerse “un hueco en el mercado”.

En la tercera generación, al fabricar nuevos equipos, es necesario considerar ciertos aspectos en el diseño del equipo o estructura que permitan mejorar la confiabilidad y mantenibilidad. Para quienes están en el servicio, es necesario dedicarse a la reingeniería, refactorización, o a la modificación de los procesos del servicio desde cero.

En esta generación, el análisis de riesgos se presenta como una herramienta para estas nuevas estrategias cuando la falla del equipo no implica ningún riesgo, o si el riesgo es mínimo o aceptable, puede ser más beneficioso dejar que se rompa.

Gracias al controlador programable, ciertos eventos digitales o analógicos se almacenan para ayudar en el mantenimiento, lo que permite la descentralización del sistema de TI (sistemas de información) y el análisis técnico de los datos por parte de expertos con anticipación al realizar el pedido. El análisis de causa y efecto de falla surge no solo cuando es necesario analizar la falla sino también sus causas en un determinado contexto operacional, indicando la acción adecuada para cada falla.

En la tercera generación evolucionó el capital humano, donde en la década de 1970 los ejecutivos tenían que hacer lo que se les decía, ya partir de la década de 1980 se empezó a volcar a metodologías participativas.

El sistema de calidad japonés incluye iniciativas como equipo de calidad, equipo de mejora, etc. Esto proporciona a la empresa comodidad técnica y táctica, ya que los

gerentes y ejecutivos son corresponsables del trabajo y de las decisiones de los equipos técnicos y directivos. Esta participación, independientemente de cómo se haga, provoca cambios relaciones entre individuos.

Para el año de 1980, la subcontratación aparece en el campo del mantenimiento en términos de contratación externa u “outsourcing” (proceso mediante el cual una empresa externaliza una parte de su actividad) de actividades de mantenimiento, visto como un área de mejora obvia para reducir costos en las primeras etapas y una mayor flexibilidad en el acceso a expertos.

2.1.1.4. Cuarta generación:

El inicio de este período suele remontarse a la década de 1990, cuando las empresas estadounidenses incorporaron en su motivación el concepto de calidad total, algo que la industria japonesa venía impulsando desde la década de 1960, en todos los procesos de la organización se buscaba crear conciencia de la Gestión de Calidad Total y en las personas que trabajan en ella.

La cuarta generación corresponde a un servicio completamente eficiente, inspirado en la filosofía de origen japonés, buscando la excelencia, es decir, alcanzar el máximo con una calidad aceptable a un costo accesible, al menor costo posible, con una cobertura uniforme y completa. Para ello se realizan pequeñas tareas de mantenimiento como ajuste, inspección, reposición de piezas y se mantiene una constante interacción con el responsable de mantenimiento.

El programa se centra en el capital humano de toda la empresa, encargado de las tareas de mantenimiento preventivo para maximizar la utilización de los activos. Tiene tres principios: mantener las instalaciones en buenas condiciones, enfocarse en aumentar la productividad y el compromiso de todos los empleados.

Esta es una fase de mejora continua del sistema y se caracteriza por la implementación de equipos de mejora y el seguimiento de las actividades. El mantenimiento ahora se considera un beneficio, no un mal necesario, y se considera responsabilidad de todas las partes de una organización.

El objetivo es alcanzar la efectividad total del equipo que implica eficiencia económica a través de disponibilidad, máximo desempeño y productos de calidad.

Adicionalmente suelen implementarse otras tres herramientas: La ingeniería de riesgo que supone determinar consecuencias de fallos que son o no aceptables; el análisis de fiabilidad que se refiere a identificar tareas preventivas factibles y rentables; la mejora de la mantenibilidad que consiste en reducir los tiempos y costes de mantenimiento. (Gentile Pappalardo, 2019)

En esta etapa se han realizado cambios importantes en las normas de salud y seguridad, así como prácticas más amigables con el medio ambiente. Por esta razón, se introdujeron dispositivos de limpieza, plantas de extracción, reducción de ruido, equipos de detección, control y alarmas, control y señalización.

Hoy, los expertos en la materia argumentan que los costos de mantenimiento aumentarán gradualmente, lo que conducirá a la producción de productos más confiables y fáciles de mantener.

2.1.1.5. Quinta generación:

Mantenimiento: De la Industria 4.0 hasta el Mantenimiento de Clase Mundial.

La industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, es la tendencia de automatización y fusión de datos en la tecnología industrial actual. Incluye Internet de las cosas (IIoT), sensores inalámbricos, computación en la nube, inteligencia artificial (AI), aprendizaje automático y Big Data. El verdadero desafío en esta revolución 4.0 es encontrar formas de conectar los procesos existentes. Implica el uso de la tecnología como elemento conector entre máquinas, operaciones, equipos y personas. Con estas tecnologías 4.0, el mantenimiento se simplifica y las operaciones son más fáciles de controlar y monitorear.

Sin innovación, el departamento de mantenimiento pierde fuerza y capacidad de respuesta. Con sensores, IIoT, Big data, inteligencia artificial y otros sistemas inteligentes, puede localizar rápidamente dónde se producen los errores. Podrás conocer qué equipos están afectados, cómo estos problemas afectan la productividad de tu empresa y cuál es el mejor plan de mantenimiento preventivo para minimizar la recurrencia de estas fallas. Por ello, es importante que las empresas optimicen al máximo sus planes de mantenimiento para reducir este tipo de riesgos y desperdicios.

En Mantenimiento 4.0, con el desarrollo de nuevas tecnologías de conexión, existen

máquinas que realizan estos trabajos para maximizar la vida útil de los componentes de la máquina y evitar averías. Gracias a la tecnología de Mantenimiento 4.0, los datos son buscados por humanos, no al revés. Los procesos de mantenimiento han evolucionado de un modelo preventivo a uno predictivo. Así que ya no nos centramos en la prevención sino en la predicción. (Verano Hidalgo)

2.1.2. Mantenimiento Correctivo

Es un conjunto de tareas destinadas a eliminar las fallas del equipo que indican la necesidad de reparación o reemplazo.

Este tipo de mantenimiento corrige fallas que dependen de la intervención para volver a la funcionalidad original. Estos métodos de mantenimiento son independientes del plan de mantenimiento, por lo que existe una alta probabilidad de que las piezas no estén en stock.

Si bien es inevitable en algunos casos, el mantenimiento de reparación tiene un mayor impacto financiero en las empresas, ya que tiende a estar asociado con largos períodos de ausencia del equipo. El punto es que una proporción significativa de estas fallas se puede evitar implementando planes de mantenimiento preventivo. Sin embargo, este modelo siempre será necesario y aplicable a equipos de baja prioridad donde el fracaso no afecta los resultados de la empresa. (SUPER USER, 2020)

2.1.3. Mantenimiento Preventivo

Se trata de una intervención en la máquina para lograr su preservación mediante la realización de reparaciones que aseguran el funcionamiento normal y la fiabilidad antes de que se produzca una avería.

En la gran mayoría de las empresas latinoamericanas las empresas incluyen el mantenimiento preventivo en su concepto, pero en la práctica solo han llegado al nivel inicial de aplicación. Muchas empresas están pidiendo mantenimiento preventivo para desarrollar medidas que eviten cualquier avería sin realizar una investigación estadística y de alguna manera reducir los costos y aumentar la disponibilidad; todavía está en su infancia.

2.1.4. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa la salud de su equipo y recomienda una intervención o no basada en la condición, lo que genera ahorros masivos.

El diagnóstico predictivo de máquinas evolucionó en la industria durante la década que va desde mediados de los 80 hasta mediados de los 90. Actualmente, la filosofía de previsión se aplica a equipos críticos en empresas con una gestión óptima de activos (RCM, ISO 55001, RBM). El mantenimiento basado en la condición optimiza el mantenimiento preventivo al señalar la hora exacta de mantenimiento de cada planta.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de métodos de medición y análisis de variables que describen el estado operativo de los equipos de producción frente a posibles fallas. Su principal objetivo es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos al mínimo coste.

Las principales técnicas de **mantenimiento predictivo** y la aplicación del mismo en maquinaria industrial son:

- ✓ Análisis de vibraciones
- ✓ Ultrasonidos aplicados al mantenimiento predictivo
- ✓ Análisis de Lubricantes
- ✓ Análisis de Máquinas Alternativas
- ✓ Descargas parciales en máquinas eléctricas
- ✓ Parámetros de supervisión de grandes máquinas eléctricas
- ✓ Termografía
- ✓ Análisis de Motores Eléctricos de Inducción (ESA&MCA)

2.1.5. Mantenimiento de clase mundial – World Class Maintenance – WCM

En el año 2000, WCM se reinventó al introducir el concepto de Control de Calidad Total (TQC). Se basa en tecnologías y herramientas de fabricación que tienen como objetivo reducir el desperdicio, mejorar la calidad del producto y agilizar los flujos logísticos. Muchos de estos métodos provienen del Sistema de Producción Toyota (TPS).

Para desarrollar este nuevo modelo de excelencia, empresas de todo el mundo se han unido para formar WCM, incluidas Ariston Group, Embraco, Fiat, Royal Mail, Unilever

y Volvo Powertrain. Hoy en día, hay 166 fábricas en el mundo, divididas en 16 países, que participan activamente en esta Asociación, es decir, la implementan.

Desde entonces, se ha utilizado el acrónimo WCM para referirse a este modelo recientemente desarrollado. Entre las empresas mencionadas, el grupo Fiat es un buen ejemplo de adopción de este enfoque. En resumen, la empresa está trabajando en todo el mundo para desarrollar e implementar el programa WCM.

Podemos definir WCM (World Class Manufacturing) como un conjunto de principios, mejores prácticas y técnicas que, en el contexto actual la Industria 4.0 ayuda a alinear los procesos existentes con las nuevas tendencias. Por lo tanto, la tarea principal es optimizar la producción.

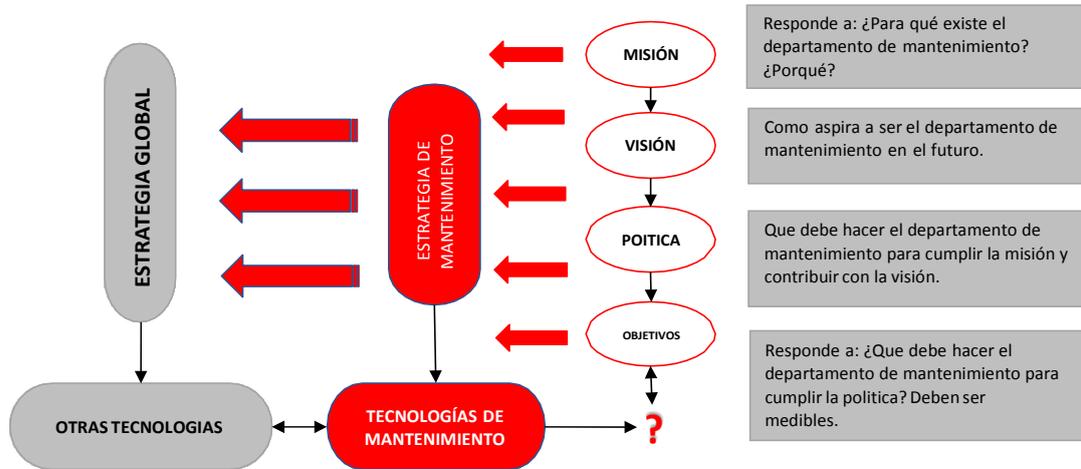
En la práctica, WCM proporciona a las organizaciones un modelo que es reconocido como el mejor de la industria en términos de excelencia operativa. Por tanto, la necesidad de mejorar la eficiencia de las empresas ha llevado al desarrollo de esta metodología como resultado de estudios realizados principalmente en empresas japonesas y alemanas.

De esta manera, la orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura en toda la organización; requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, que se soporta en un adecuado sistema gerencial de gestión de activos físicos (EAM), se orienta hacia las metas y objetivos enunciados dentro del plan estratégico del departamento de mantenimiento y lograr altos resultados, especialmente en el campo de la gestión de operaciones. (VILLACÍS BONILLA , 2017)

El mantenimiento de clase mundial no es una táctica o una estrategia, sino una combinación de todas ellas. Al momento de transformar los servicios de ingeniería en servicios de clase mundial, se deben tener en cuenta sus fundamentos, capacitación empleados enfocada en nuevas orientaciones y la sistematización del servicio.

En la Figura No.3 representa una relación entre estrategias y tecnologías

Figura 3. Relaciones entre estrategias y tecnologías



Adaptado: Tesis - Villacés Milton

Las dos tecnologías de mantenimiento más populares en la actualidad son el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM). Aunque se puede decir que la existencia de ambos se remonta a finales de los años 60. Cada uno de ellas o la combinación de uno y otro crea varias tácticas que se pueden sugerir para satisfacer las necesidades de servicio de una organización, TPM busca un campo más amplio, posicionándose como una misión inclusiva un conjunto más complejo de expectativas y requisitos. dentro de la organización.

Las tácticas y las estrategias no son lo mismo. La estrategia es la proyección de ideas, la táctica es cómo las ideas se materializan. Para que la tecnología de mantenimiento sea eficaz y eficiente, debe estar alineada con la estrategia y, por lo tanto, debe contribuir a la estrategia general de la organización.

En Figura No.4 se representa una estrategia de mantenimiento basado en la condición, que permite analizar minuciosamente a qué activos aplicar cada una de las estrategias que implantaremos para extraer el máximo rendimiento económico.

Figura 4. Pirámide de la excelencia de mantenimiento



Adaptado: Tesis - Villacís Milton

2.2. Cuadro de Mando (Balanced Score Card aplicado al Mantenimiento)

El Cuadro de Mando Integral (CMI) también conocido como Balanced Scorecard (BSC), es una herramienta de gestión empresarial que le permite traducir y efectuar la visión, misión y estrategia de una organización en objetivos medibles relacionados, utilizando un conjunto de indicadores de desempeño.

El trabajo de mantenimiento, después de ser planeado y programado utilizando los métodos más adecuados a las realidades de la empresa, se deben evaluar y controlar las desviaciones para que en un enfoque consistente las metas comerciales y los puntos de referencia puedan ser medibles a través de los indicadores de rendimiento del mantenimiento KPI. Muchos indicadores clave de rendimiento de mantenimiento de alto nivel están fundados o incluyen bases técnicas y económica en otros indicadores. Por lo tanto, es muy importante asegurarse que la organización esté recopilando los datos correctos y que los datos se agreguen o desagreguen correctamente en función del nivel de análisis de desempeño del servicio requerido.

Cuando se trata de la definición de objetivos de retención y KPI, generalmente los objetivos y estrategias operativos, así como los indicadores de rendimiento, se pueden definir mediante la introducción de un cuadro de mando integral o BSC (Balance Score Card). El BSC es específico de la organización a la que va dirigido y permite la creación

de KPIs para medir el desempeño de la gestión del mantenimiento en línea con los objetivos estratégicos de la organización.

2.2.1. Indicadores de Rendimiento (KPI'S)

Los indicadores clave de rendimiento (KPI) son métricas comerciales utilizadas por los ejecutivos de la empresa y otros gerentes para rastrear y analizar los factores que se consideran críticos para el éxito de una organización. Los KPI eficaces se centran en los procesos y funciones empresariales que la alta dirección considera más importantes para medir el progreso hacia los objetivos estratégicos y los indicadores de rendimiento.

Los KPI varían entre organizaciones según las prioridades comerciales. Por ejemplo, un KPI para una empresa pública podría ser el precio de sus acciones, mientras que un KPI para un startup privada podría ser la cantidad de nuevos clientes agregados cada trimestre. Incluso los competidores directos de la industria pueden rastrear diferentes conjuntos de KPI que se alinean con sus estrategias comerciales y filosofías de gestión individuales. (Stedman, 2021)

En resumen, los KPI de mantenimiento rastrean el éxito de una organización en el logro de sus objetivos. ¿Tiene un límite de costo y tiempo de inactividad? Los KPI muestran la verdad de su proceso de mejora continua. Como dice el dicho, " Mide lo que atesoras".

Hay varios tipos de KPI de servicio, como métricas de actuación y de resultado. Los indicadores principales señalan eventos futuros e incluyen métricas como el cumplimiento de los requisitos de mantenimiento preventivo o el rendimiento estimado frente al real. Las tasas de latencia incluyen métricas de servicio como el tiempo medio de falla (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). El seguimiento de KPI de CMMS/ GMAO más completo incluye una combinación de métricas de avance y retroceso.

Algunos ejemplos comunes de KPI de mantenimiento son:

- ✓ Reducir los costos
- ✓ Reduciendo las fallas
- ✓ Reducir el tiempo de inactividad
- ✓ Aumentar la identificación del trabajo
- ✓ Aumentar la planificación del trabajo

- ✓ Programación de trabajo más eficaz
- ✓ Ejecución de trabajo más eficaz

Las métricas de desempeño del mantenimiento son otro factor importante a considerar al lograr sus objetivos. Si bien los KPI brindan una medida objetiva del progreso hacia sus objetivos más importantes, prestar atención a las métricas de rendimiento del servicio lo preparará para el éxito. Las métricas de desempeño del servicio rastrean cómo los empleados, las máquinas, las actividades y el inventario impactan en sus objetivos. (eMaint , 2022)

2.2.1.1. Retraso en el mantenimiento

Los retrasos en el mantenimiento son retrasos en el mantenimiento que indican lo que se debe hacer para mantenerlo seguro o evitar problemas. Este KPI es importante porque cuanto más tiempo permanezca sin terminar el trabajo, más probable es que conduzca a un incidente grave y costoso.

El propósito es controlar los retrasos durante la operación normal y durante las emergencias. Si no se realiza un seguimiento de este KPI para el rendimiento del mantenimiento, se producirá un trabajo en curso de forma invisible. Esto puede conducir a problemas de personal, incendios y falta de priorización.

2.2.1.2. Disponibilidad

Según la norma UNE-EN 13306 de febrero 2002, podemos definir Disponibilidad como *"la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos"*.

$$DISP = \frac{\text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempo de Parada}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

2.2.1.3. Tiempo medio de reparación (MTTR)

MTTR significa Mean Time to Repair o Tiempo medio de reparación en español. También se conoce como el Tiempo Medio de Mantenimiento Correctivo y es el tiempo promedio que lleva solucionar el problema y hacer que su equipo vuelva a funcionar con normalidad.

MTTR es una medida de mantenibilidad (mide la facilidad con la que se puede reparar un dispositivo). Un tiempo de reparación promedio alto puede indicar que reemplazar una propiedad en particular será más barato o mejor que repararla. Por otro lado, un MTTR más bajo podría significar que usar hasta averiar no es una mala opción para ese equipo.

Por otro lado, un MTTR aumentado puede indicar ineficacia. Quizás las mediciones toman demasiado tiempo o el equipo necesita agregar detalles más importantes. Saber cómo reducir el MTTR es esencial para evitar o minimizar el tiempo de inactividad y el daño que puede causar a su negocio.

Para calcular el MTTR, divide el tiempo total de mantenimiento correctivo durante un determinado periodo por el número de acciones de mantenimiento correctivo realizadas.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

Para reducir el MTTR *se necesita evaluar e intentar reducir los dos factores que componen la fórmula. Aunque matemáticamente la simple reducción del número de reparaciones no conlleva la reducción directa del MTTR (si el numerador se mantiene inalterado), en realidad, cualquier acción que signifique una disminución del número de reparaciones conducirá también a una disminución del tiempo gastado en mantenimiento correctivo.* (Infraspeak, 2021)

2.2.1.4. Tiempo medio entre fallos (MTBF)

El MTBF es un indicador de mantenimiento relevante para cualquier empresa que desee llevar el control de sus activos, equipos, maquinaria, cuyas siglas en inglés significan Mean Time Between Failures o en español Tiempo Medio Entre Fallos.

Como sugiere el nombre, MTBF se puede definir como una métrica o KPi que mide el tiempo promedio entre dos fallos o de manera equivalente, el tiempo promedio transcurre entre dos averías. Cada una de estas definiciones se puede utilizar para comprender el significado de MTBF.

Para calcular el MTBF debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{(\text{Tiempo Total Disponible} - \text{Tiempo de inactividad})}{\text{Número de Paradas}}$$

El MTBF *es un indicador de mantenimiento clave importantísimo para hacer un seguimiento de la excelencia en la operatividad de nuestro departamento de mantenimiento y para valorar el rendimiento de los equipos. En especial debemos llevar un control del MTBF para los equipos que se consideren críticos para la producción.* (Eurofins Envira Ingenieros Asesores, 2021)

2.2.1.5. Tiempo medio hasta el fallo (MTTF)

El tiempo medio entre fallas (MTTF) mide la confiabilidad del equipo y el tiempo transcurrido entre falla y falla. Este es el tiempo promedio esperado para que un mecanismo o componente falle y necesite reemplazo. El MTTF solo se aplica a activos no reparables, es decir, equipos que no pueden o no pueden repararse, como las bombillas.

El aumento de MTTF puede tener un impacto significativo en los resultados financieros, minimizando las interrupciones operativas, maximizando los ciclos de vida de los activos y permitiendo mejores decisiones operativas y de mantenimiento. Del mismo modo, un período MTTF más corto puede provocar la pérdida de pedidos, la imposibilidad de alcanzar los objetivos comerciales o el daño a la reputación de una organización.

Calcule el tiempo medio hasta el fallo (tiempo medio hasta el fallo) dividiendo el número total de horas de operaciones por el número total de máquinas en uso. (eMaint by Fluke Corporation , 2022)

$$MTTF = \frac{\text{Número total de horas}}{\text{Número total de máquinas en uso}}$$

2.3. Herramientas de análisis de Confiabilidad

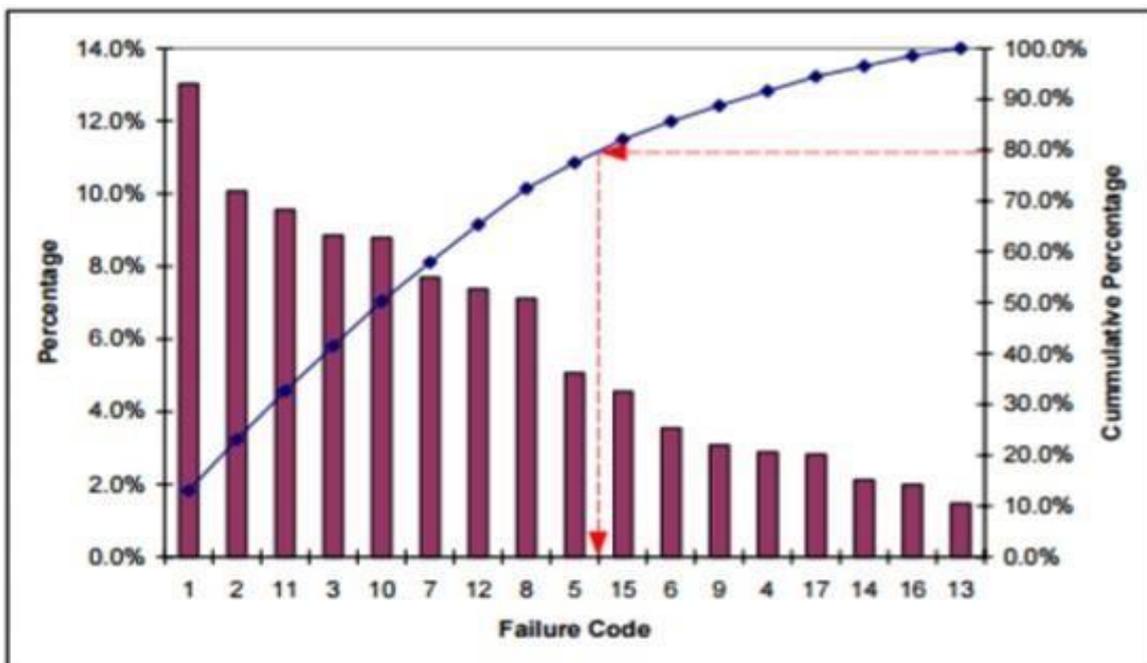
2.3.1. Análisis Pareto

Los diagramas de Pareto reflejan los conteos ordenados de frecuencia de valores de los distintos niveles de una variable categórica o nominal. Estos diagramas se basan en la regla del 80/20. Esta regla sostiene que aproximadamente el 80 % de los problemas se derivan del 20 % de las causas. Esta regla también se conoce como del “puñado esencial y la multitud trivial”. De nuevo, la idea es que podemos centrarnos en unas pocas causas fundamentales en la raíz de los problemas e ignorar muchas otras triviales. La figura 1 es un ejemplo de diagrama de Pareto. (JMP.COM, 2021)

Clasificación de acuerdo con Pareto:

- Clasificación A: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 80% del total de las fallas.
- Clasificación B: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 15% del total de las fallas.
- Clasificación C: equipamiento que pertenece al grupo correspondiente al 5% del total de las fallas.

Figura 5. Diagrama de Pareto



Fuente: Medidas de Gestión de Mantenimiento

2.3.2. Análisis Jack Knife

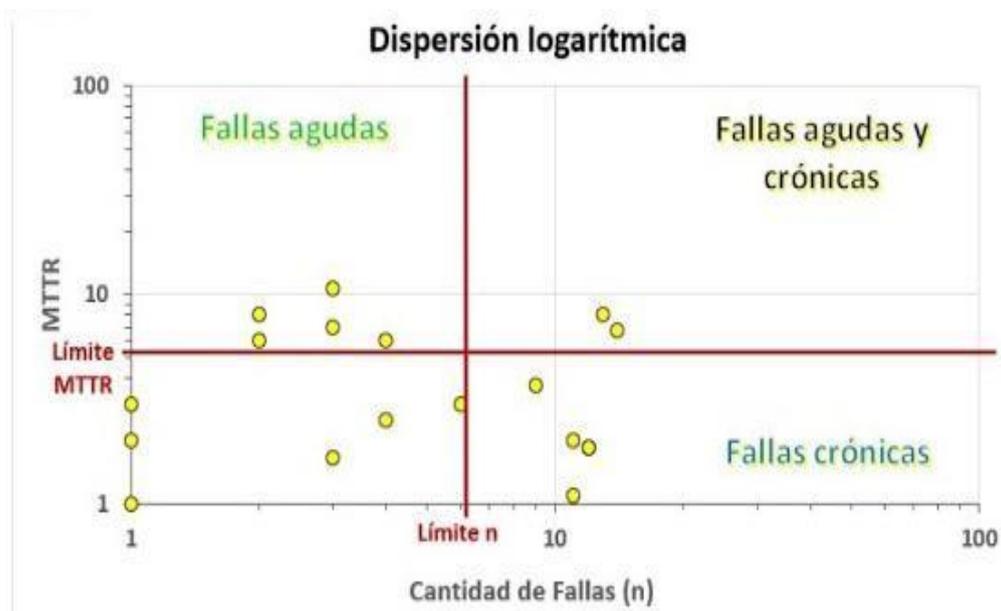
Es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los **histogramas de Pareto**, y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión puede ser dividido en cuatro cuadrantes que permitan que las fallas sean clasificadas en: agudos, crónico, agudo/crónico y bajo control.

Además, permiten fácilmente la identificación de los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema o equipos. (Ausenco Rylsones, 2016)

Análisis por cuadrante

Es importante tener presente las clasificaciones que tienen las fallas respecto a su posición en el gráfico. A continuación, se explican los cuadrantes A, B, C y D.

Figura 6. Análisis Jack Knife



Fuente: Ingenm Ltda

- Cuadrante (A): Aquí se encuentran las fallas agudas, las cuales corresponden a aquellas que se encuentran bajo control, pero mantienen al equipo fuera de servicio por un tiempo muy prolongado.
- Cuadrante (B): En este cuadrante se encuentran ubicadas las fallas crónicas, es decir, aquellas que no están controladas debido a que su ocurrencia es muy frecuente, sin embargo, tienen un tiempo de reparación muy bajo.
- Cuadrante (C): Las fallas ubicadas en este cuadrante son consideradas las más críticas, pues tienen características de ser crónicas y agudas, es decir, con un alto tiempo de reparación y con una ocurrencia muy alta.
- Cuadrante (D): Las fallas ubicadas en este cuadrante se encuentran bajo control, debido a que la frecuencia y el tiempo de reparación de estas fallas son bajos.

2.3.3. Diagrama de Ishikawa.

El propósito de este tipo de gráfico es buscar las posibles causas del problema. En el proceso de fabricación, el diagrama de Ishikawa se puede asociar con uno o más elementos (6Ms) que interrumpen cualquier proceso de producción:

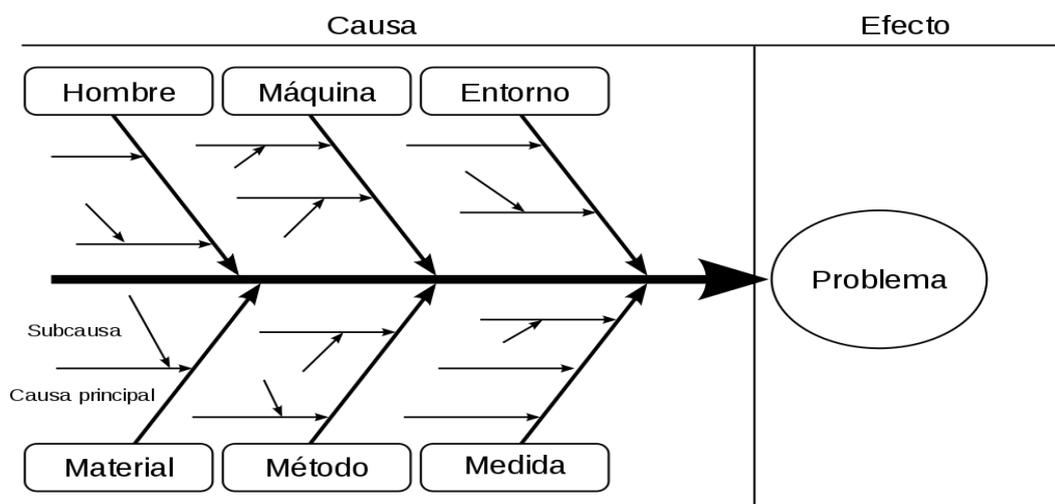
1. **Métodos:** procedimientos por usar en la realización de las actividades.
2. **Personal:** la gente que realiza las actividades.
3. **Material:** el material que se usa para producir.
4. **Medición:** los instrumentos empleados para evaluar procesos y productos.
5. **Medio ambiente:** las condiciones del lugar de trabajo.
6. **Maquinaria:** los equipos y periféricos usados para producir.

El diagrama de Ishikawa se basa en un proceso llamado “lluvia de ideas” que se puede implementar de la siguiente manera:

1. A cada miembro del equipo se le asigna analizar el tema de presentar una idea en cada ronda, de manera estructurada y sin controversias. Un miembro del equipo, designado secretario, toma notas, numerando cada idea expresada.
2. Después de la lluvia de ideas, se procede a analizar el problema.
3. Se comprueba si las ideas restantes son relevantes para el problema que se analiza.
4. Las ideas obtenidas se clasifican en el diagrama de Ishikawa.

Una forma más directa de crear diagramas es hacer una lluvia de ideas sobre diferentes ramas y publicarlas directamente allí.

Figura 7. Diagrama de causa efecto o de espina de pez - Ishikawa



Fuente: Wikipedia

2.3.4. Diagrama de flujo

Esta herramienta analítica es una representación gráfica de los pasos dados en una secuencia de acciones que afectan a un proceso o procedimiento, identificándolos mediante símbolos según su naturaleza; Además, contiene toda la información que se considera necesaria para el análisis, como la distancia recorrida, la cantidad considerada y el tiempo requerido.

Para efectos analíticos y para ayudar a la detección y eliminación de ineficiencias, es conveniente dividir las actividades que ocurren en el proceso en cinco categorías, conocidas como operaciones, transportes, inspecciones, esperas y almacenamientos que ocurren durante un proceso. Las definiciones en la figura a continuación cubren lo que significan estas categorías para la mayoría de las condiciones que se encuentran en las tareas de diagramación de procesos.

Tabla 1. Simbología empleada

ACTIVIDAD	SÍMBOLO	RESULTADO PREDOMINANTE
Operación		Se produce o se realiza algo.
Transporte		Se cambia del lugar o se mueve un objeto.
Inspección		Se verifica la calidad o la cantidad del producto.
Demora		Se interfiere o se retrasa el paso siguiente.
Almacenaje		Se guarda o se protege el producto o los materiales.

Fuente: Elaboración propia

2.4. Herramientas Informáticas

2.4.1. Software MAXIMO IBM

MAXIMO es un software de gestión diseñado para ayudar a una organización a

administrar sus activos, este software de mantenimiento nos permite extraer los registros históricos de órdenes de trabajo ejecutadas.

El plan de mantenimiento se procesa mediante un sistema informático EAM (Enterprise Asset Management) de Máximo Oil&Gas, software moderno sistema de gestión de activos empresariales, desarrollado y utilizado por IBM para operar, mantener y administrar los activos de la empresa.

En el sistema Máximo, tanto la jerarquía como la clasificación se definen de acuerdo con la norma ISO 14224 (Intercambio de datos sobre confiabilidad y mantenimiento de equipos en la industria petrolera).

Figura 8. Beneficios del Sistema Máximo



Fuente: IBM Maximo

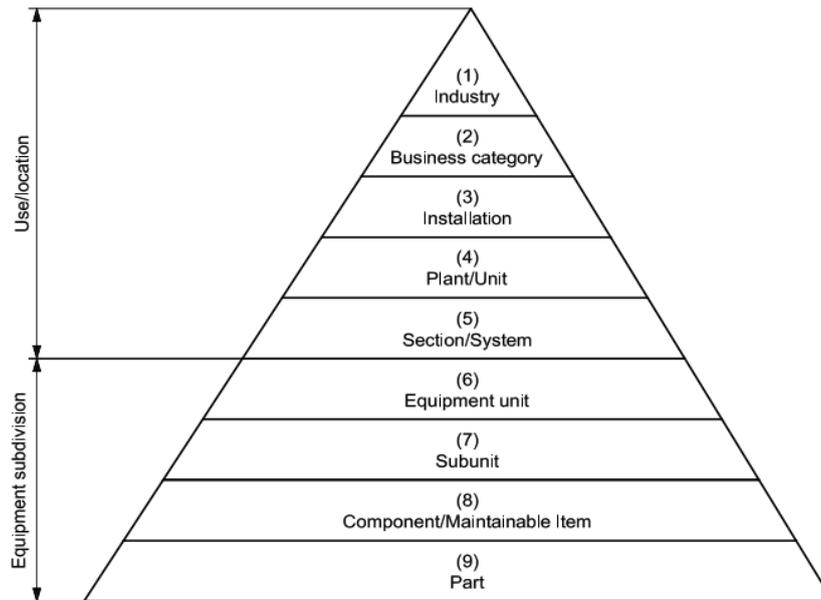
La norma ISO 14224 ofrece una pirámide jerárquica de clasificación taxonómica con 9 niveles, siendo el nivel 1 el más alto, el cual representa el tipo de industria, y el nivel 9 el más bajo, representando una parte o pieza.

Para este caso la línea de línea de envasado de GLP, la taxonomía se define de la siguiente manera:

1. Industria: P= Petróleo
2. Categoría de negocio: Mantenimiento
3. Instalación: Terminal de GLP
4. Planta/Unidad: Nave de envasado
5. Grupo: Sistema de llenado de GLP

6. Equipo Padre: Carrusel
7. Equipo hijo: Balanzas, Sistemas de transportación, Equipos de control.
8. Componente: Tabuladora, Transportadores, Probadora de Fugas, Toroide, Termoselladora, Compresor, Comprobadora de peso, etc.
9. Elemento: Mangueras, sensores, switch, cable. Tarjeta electrónica, etc.

Figura 9. Pirámide de taxonomía de locaciones, sistemas, equipos y componente



Fuente: Norma ISO 14224

Esta taxonomía puede variar en función de la complejidad del sistema y del equipo, para línea de envasado de GLP puede quedar de la siguiente manera.

Tabla 2. Componentes de línea de envasado de GLP

LÍNEA DE ENVASADO DE GLP	
COMPONENTE	CÓDIGO
Tabuladora	TB
Transportadores	TPD
Repesado	RD
Detectora de Fugas	DTF
Detectora de Caucho Toroide	DTO
Termosellado	TSD
Suministro GLP	SGLP
Suministro Energía Eléctrica	SEE
Suministro Aire Comprimido	SAC
Carrusel	CR
Balanzas	BZ

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Software Minitab

Este software dispone de multitud de opciones precisas y muy intuitivas que permiten a numerosas empresas de todo el mundo controlar y mejorar los resultados de sus procesos de producción, permitiendo visualizar los resultados obtenidos mediante gráficos, tablas, diagramas, histogramas, pruebas de hipótesis..., básicamente, MINITAB permite hacer un uso adecuado de la información, es por ello por lo que se utiliza muy habitualmente en el control de Calidad.

El programa fue desarrollado en la Universidad del Estado de Pensilvania por los investigadores Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr. y Brian L. Joiner en el año 1972.

¿Para qué sirve?

Minitab es un paquete que incluye todos los análisis estadísticos necesarios para la aplicación de la Estadística General, por ello es utilizado en sectores de todo tipo. (TCMetrologia, 2022)

Entre sus funciones incluye:

- ✓ Estadística básica y avanzada
- ✓ Contrastes de hipótesis
- ✓ Regresión Lineal y no lineal
- ✓ ANOVA
- ✓ Control Estadístico de Procesos SPC
- ✓ DOE – Análisis de Varianza y Diseño de Experimentos
- ✓ Análisis de los Sistemas de Medida MSA - R&R

2.5. Gestión de activos

La gestión de activos es una disciplina que tiene como objetivo gestionar todo el ciclo de vida de los activos físicos de una organización para maximizar su valor. Incluye procesos como diseño, construcción, operación, mantenimiento y reposición de activos e infraestructura. "Empresarial" se refiere a la gestión de activos a pesar de que se encuentran en diferentes departamentos, ubicaciones, instalaciones y, en algunos casos, incluso en diferentes unidades de negocio. La gestión de activos puede mejorar el

rendimiento de los activos, reducir los costos, extender la vida útil de los activos y mejorar el retorno de la inversión.

El éxito de la empresa depende tanto de la calidad de sus procesos como del eficaz funcionamiento de los elementos que los soportan.

Para optimizar los procesos de manera sustentable, es necesario asegurar que los recursos físicos y todos los factores que influyen en su comportamiento sean CONFIABLES, de modo que tanto las decisiones como las acciones que se implementen se organicen y sistematicen de manera razonable.

El sistema de gestión de activos brinda la oportunidad de definir actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales los activos tangibles y sus indicadores de rendimiento, riesgos y gastos relacionados se gestionan de manera óptima y sostenible a lo largo de su ciclo de vida de acuerdo con los planes estratégicos de la organización. Los sistemas de gestión de activos tangibles son fundamentales para las organizaciones que dependen de la operación y el rendimiento de los activos tangibles, así como de la implementación adecuada de servicios y productos.

“El sistema de gestión de activos permite manejar de manera óptima y sustentable sus activos físicos, su performance asociada, riesgos y gastos a lo largo de todo el ciclo de vida del activo” (Ellmann, Sueiro y Asociados, 2008)

Si desea optimizar de manera sostenible un conjunto de procesos comerciales, debe realizar un análisis integral de la cadena de valor, teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la tecnología requerida para optimizar los equipos y procesos, así como los requisitos culturales relacionados. Interacción con recursos humanos y otros procesos que afectan la gestión de activos físicos.

Para ello, se recomienda realizar un estudio para determinar las diferencias entre las prácticas actuales de gestión de activos físicos y los requisitos de la Norma ISO 55000. (Ellmann, Sueiro y Asociados, 2019)

La norma ISO 55000 se incluye los beneficios de la gestión de activos:

Figura 10. Beneficios de la gestión de activos



Fuente: Adaptación ISO 55000

2.6. Modelo de Gestión de Mantenimiento

El modelo de gestión de mantenimiento debe ser eficiente, eficaz y oportuno, es decir, debe estar alineado con los objetivos en función de las necesidades del negocio y reducir los costos indirectos de mantenimiento (asociados con las pérdidas de producción). Al mismo tiempo, debe ser capaz de operar, producir y lograr objetivos al mínimo costo (minimizar los costos directos de mantenimiento), dando como resultado acciones que mejoren los principales indicadores de los procesos de mantenimiento relacionados con el mantenimiento y la confiabilidad. Se deben tener en cuenta factores relacionados con la disponibilidad de recursos y su respectiva gestión para establecer modelos de mantenimiento robustos y efectivos.

El análisis del modelo de optimización de la gestión del mantenimiento técnico puede basarse en los conceptos de RCM (Reliability Centered Maintenance) y PMO (Planned Maintenance Optimization), así como la posible aplicación de TPM (Total Productive Maintenance) teniendo como principio rector el plan estratégico para la dirección de mantenimiento de la planta de despacho de GLP de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador.

Los métodos estadísticos, la documentación adecuada y una buena gestión del mantenimiento preventivo (PM) son la base de los modelos antes mencionados, que tienen como objetivo determinar el comportamiento de los equipos y su frecuencia óptima de intervención para lograr el menor costo total de mantenimiento, lo que se logra

utilizando métodos organizacionales. Esto se logra utilizando sistema informático de gestión como el EAM Máximo, que permite el ingreso de registros de errores, tiempos muertos, contadores de horas y toda la información necesaria para lograr los objetivos del departamento.

Figura 11. Beneficios de la gestión de activos



Fuente: *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex System Maintenance*

2.6.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

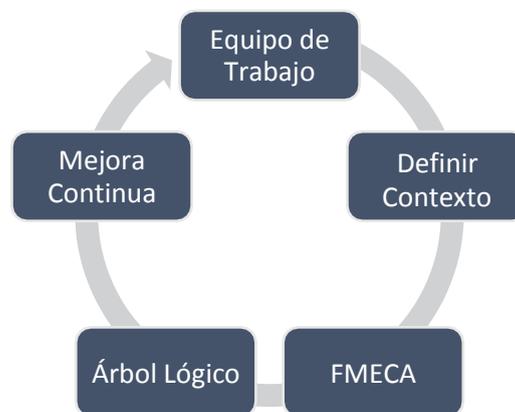
El mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM es un marco técnico que permite la definición de escenarios completos de mantenimiento. Considera el mantenimiento como un medio para proteger la funcionalidad de la máquina que los usuarios pueden necesitar en un entorno operativo determinado. Como disciplina, permite a las partes interesadas de las instalaciones monitorear, evaluar, predecir y, en general, comprender el rendimiento de sus activos físicos. Esto se refleja en la parte inicial del proceso RCM, determinando el entorno operativo de la instalación y escribiendo un Análisis de Criticidad y Efectos de Modo de Falla (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA*). La segunda parte del análisis es la aplicación de la "lógica RCM", que ayuda a determinar las tareas de mantenimiento apropiadas para los modos de falla identificados en FMECA. Una vez que se completa la lógica de todos los elementos FMECA, el

manifiesto de mantenimiento resultante se "empaqueta", agilizando la periodicidad de las tareas a llamar en paquetes de trabajo; es importante no comprometer la capacidad de servicio en esta etapa. Finalmente, RCM permanece activo durante toda la vida "útil" de la máquina, revisando y ajustando continuamente la eficacia del mantenimiento en función de la experiencia.

El RCM se puede utilizar para crear estrategias de mantenimiento rentables que aborden las causas fundamentales de las fallas. Este es un enfoque sistemático para establecer un programa de mantenimiento de rutina que consta de tareas rentables que preservan la funcionalidad importante. Identificar las funciones importantes (del equipo) que deben preservarse para el mantenimiento de rutina, determinar los principales tipos y causas de falla y determinar las consecuencias de la falla. A las consecuencias de la falla se les asignan severidades. Algunas funciones no son críticas y no pueden "funcionar", mientras que otras deben preservarse a toda costa. Elija tareas de mantenimiento que aborden la causa raíz de la falla. Este proceso elimina directamente los errores de mantenimiento prevenibles. Errores causados por eventos improbables, comportamiento natural impredecible, etc. Siempre que su riesgo (combinación de gravedad y frecuencia) sea insignificante (o al menos tolerable), por lo general no reciben ninguna medida. Si el riesgo de tales errores es muy alto, RCM alienta (ya veces obliga) a los usuarios a considerar realizar cambios para reducir el riesgo a un nivel aceptable.

El resultado es un programa de mantenimiento que enfoca los escasos recursos financieros en proyectos que causarán el mayor daño si fallan. Además de las medidas preventivas tradicionales, RCM también enfatiza el uso de técnicas de Mantenimiento Predictivo (PdM). (Wikipedia, 2020)

Figura 12. Flujo del proceso del RCM



Fuente: Adaptada Campbel. et. al.2011

Como toda herramienta de calidad, se basa en principios, exhaustividad, priorización, especificación, seguimiento continuo y objetividad; Para llevar a cabo una implementación de RCM, debe hacerse las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva?

También se pueden tomar varias medidas clave para ver cómo está funcionando el sistema, dentro de las que podemos destacar se encuentran; número de errores, número de piezas dañadas, costes de mantenimiento.

Por lo tanto, siempre estamos buscando formas de mejorar el proceso de mantenimiento porque podemos estar usando el concepto equivocado. Para iniciar el análisis RCM, debe desglosar actividades/funciones, pero también debe buscar la posibilidad de funciones relacionadas con la función principal. Una vez definida una función, es necesario clasificar la posible falla de la función y distinguir entre el efecto y la consecuencia de la falla, es decir, el efecto es la descripción de la ocurrencia de la falla y la consecuencia es el efecto de la falla. la falla.

Durante este proceso podemos detectar las averías ocultas que son provocadas por los sistemas de prevención de averías, quizás en el caso de los fusibles, que siempre hay que realizar una trazabilidad hacia atrás para cubrir todas las posibilidades. (PDCA Home, 2012)

Entonces, una vez que hemos descrito el problema, debemos probar qué solución es la mejor, por lo que podemos elegir entre varios tipos diferentes de mantenimiento:

Acción predictiva: que se enfoca en buscar signos o síntomas potenciales que podrían provocar fallas en el sistema.

Acción preventiva: se refiere a las comprobaciones periódicas de la funcionalidad.

Acción correctiva: donde se busca una solución en caso de falla, debe realizarse con cuidado, ya que las consecuencias graves pueden ser pérdidas económicas mayores y significativas.

Acción detectiva: implica probar diferentes piezas del equipo para ver dónde pueden fallar y descubrir las posibles fuentes de falla con anticipación.

Tabla 3. Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumento de la disponibilidad en un 80%	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.	Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%.	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso.
Elimina las fallas crónicas y las causas raíces.	Disminuye las paradas imprevistas.	Optimiza los programas de mantenimiento.	Aumenta los tiempos medios de funcionalidad del equipo al menos en un 150%.	Las fallas con consecuencias al ambiente o la seguridad son las más se atacan y eliminan.
Aumenta la flexibilidad operacional	Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor del análisis de fallas	Reduce los costos de mantenimiento al menos en un 40%.	Reduce o elimina tiempos de demora en repuestos y consumibles	Reduce al mínimo las fallas en cadena o superpuestas.
La programación de mantenimiento se basa en hechos reales		Alarga la vida útil de los equipos	Prioriza actividades de mantenimiento, reduciendo tiempos de intervención.	Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.
Proporciona completo conocimiento de las fallas reales y no reales, así como sus causas		Todas las actividades se analizan en un contexto de costo/beneficio.		

Fuente M Villacís, 2015

2.6.2. Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)

La metodología PMO está diseñada principalmente para revisar los requerimientos actuales de mantenimiento, identificar el análisis histórico de las fallas de los equipos descritos como críticos que causan mayor tiempo de inactividad, determinando sus modos de falla y enfocarse en eliminar la causa de la falla. Con base a este principio se puede definir el plan de mantenimiento óptimo, mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir fallas no planificadas y reducción de costos. Sin hacer un análisis de la totalidad de funciones principales, secundarias y fallas funcionales como demanda un proceso RCM, reduciendo el tiempo de inactividad de mantenimiento asociado. Por lo tanto, la principal ventaja de una PMO es que las tareas de mantenimiento agregan valor y el sistema conduce a mejoras en muchos aspectos de la gestión de activos empresariales. (CMMS, 2019)

La teoría básica del PMO no es aplicada en la fase de diseño inicial de los activos, es una metodología desarrollada para un activo físico en servicio para que la organización de mantenimiento no caiga en un Ciclo Reactivo del Mantenimiento lleno de reparaciones temporales que a largo plazo se convierten en definitivas, y si ya está en este círculo, inicie el proceso de salida. Figura No.8

Figura 13. Ciclo Vicioso del Mantenimiento Reactivo



Fuente: OMCS Internacional 2010

El problema es que los responsables de las actividades de mantenimiento no cuentan con los recursos suficientes para mantener de manera efectiva los equipos y enfocarse en mejorar la confiabilidad, en cuyo caso, los pocos recursos destinados al mantenimiento preventivo se utilizan para fallas en los equipos. El mantenimiento preventivo limitado da como resultado un tiempo de inactividad inevitable y una productividad reducida debido a la necesidad de un mantenimiento provisional. Estas reparaciones crean trabajo adicional para corregir fallas, o en muchos casos, las fallas ocurren antes de que se corrijan, la dotación de personal a menudo se reduce, pero no el tiempo de inactividad, mientras que la moral de los empleados y las normas y estándares preestablecidos se desploman y los retrasos del departamentales son inevitables.

Para salir del círculo vicioso del mantenimiento reactivo, se desarrolló la metodología del PMO, un enfoque revolucionario para mejorar la eficacia de la planificación y las estrategias de mantenimiento. El PMO primero analiza los programas de mantenimiento existentes de la empresa, trabajando con equipos funcionales en todas las instalaciones para determinar qué está funcionando y qué no está en el plan actual. El equipo identifica causas críticas y sus causas en el historial de fallas, determina qué errores pueden resolverse mediante acciones de mantenimiento proactivas.

Si se implanta un sistema de prevención integral y se registra su control en la instalación, el proceso de optimización del mantenimiento planificado ayuda a crear un sistema racional y rentable. Esto significa buena experiencia en mantenimiento programado. A partir de ahí, se pueden realizar grandes mejoras mediante la asignación adecuada de recursos; y el personal de mantenimiento puede concentrar sus habilidades en los temas más importantes del diseño, la operación y el mantenimiento de la planta. (García Palencia, 2007)

Para poder conocer mejor el proceso de PMO se detallará las ventajas y desventajas del mismo a continuación:

2.6.2.1. Ventajas y Desventajas de la Metodología PMO

Ventajas

- ✓ El enfoque de PMO produce una gran cantidad de evidencia documental sobre la base utilizada para desarrollar planes de mantenimiento. Con esta estrategia se obtiene un registro físico de todas las intervenciones a los activos. Este enfoque nos ayuda a dar cuenta de los modos de falla de los activos analizados mediante la evaluación del historial del equipo. Sin embargo, PMO no muestra todos los modos de falla, se enfoca en aquellos que tienen más probabilidades de ocurrir. Por lo tanto, esta metodología tiene un medio registro de auditoría.
- ✓ El PMO, al igual que la RCM, registra mucha información en su base de datos, por lo que tiene menor impacto en el movimiento de personas.
- ✓ La implementación de PMO no requiere el uso de modelos matemáticos complejos en su metodología, solo se requiere un análisis racional y cuidadoso de las tareas de mantenimiento de un objeto específico. Facilita la creación de equipos de trabajo, ya que no requiere conocimientos profundos en herramientas matemáticas.
- ✓ No es necesario seguir ninguna regla, por lo que no es necesaria la presencia de un coordinador, lo que significa bajos costos de inversión.
- ✓ Como herramienta analítica, PMO no utiliza muchos recursos. Se requiere un equipo de trabajo conformador por Mecánicos, electricistas, operadores de instrumentos musicales, etc. Sin embargo, los participantes no son necesariamente expertos en todas las áreas, por lo que solo la mitad de la población utiliza este

método.

- ✓ El PMO es seis veces más rápido que RCM en la generación de beneficios, por lo que lleva muy poco tiempo producir resultados.
- ✓ PMO basa su enfoque en las tareas realizadas por los técnicos de planta y el conocimiento de los empleados sobre los activos que se analizan. La PMO utiliza como pilares las fortalezas de las tareas realizadas y la experiencia del personal de planta, lo que motiva la participación activa del técnico de planta.
- ✓ Una de las principales ventajas de PMO es la alta compatibilidad de la tecnología con los sistemas operativos. Utiliza el historial de trabajos de mantenimiento y equipos realizados en la instalación, como lo es para equipos y sistemas que ya han entrado en operación comercial.

Desventajas

- ✓ El enfoque de PMO requiere la cantidad alta de información disponible sobre fallas de activos de su fase operativa para crear una lista de estados de falla, por lo que tiene un requisito de información histórica moderado.
- ✓ No se cuenta con normativa propia, se rige bajo la misma normativa de gestión documental diseñada para el RCM, así que es una metodología que presenta un medio cumplimiento de estándares internacionales.

2.6.2.2. Diferencias entre RCM y PMO

Diferencias Funcionales entre RCM y PMO

RCM y PMO son dos técnicas completamente diferentes con el mismo propósito; definir los requerimientos de mantenimiento de los equipos. Pero los administradores de activos deben comprender que están destinados a ser utilizados en situaciones completamente diferentes. RCM está diseñado para desarrollar un plan de mantenimiento inicial durante la fase de diseño del ciclo de vida de un activo (Moubray 1997), mientras que PMO está diseñado para usarse después de que el activo se haya puesto en servicio.

Por lo tanto, PMO es un método de revisión, mientras que RCM es un proceso de fundación. Aunque se desarrolla el mismo plan de mantenimiento en ambos casos, PMO es un análisis más eficiente y flexible que RCM porque comienza con un plan de mantenimiento razonablemente bueno y tiene en cuenta la experiencia operativa y las

características de falla del equipo.

Diferencias Metodológicas entre RCM y PMO

La principal diferencia entre RCM y PMO es la generación de condiciones de modos de Falla.

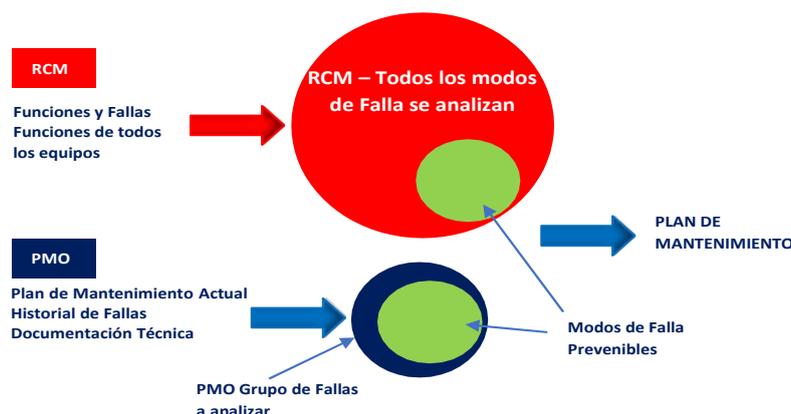
Después de evaluar todas las fallas posibles, RCM genera una lista de modos de falla analizando minuciosamente todas las funciones y evalúa los modos de falla asociados con cada falla. RCM está diseñado para analizar todas las condiciones de falla para cada dispositivo en el sistema que se analiza.

El PMO genera una lista de condiciones de falla en función de los planes de mantenimiento actuales, las evaluaciones del historial de fallas y la documentación técnica (por lo general, una revisión de los diagramas de tuberías e instrumentación P&IDs)

La diferencia entre estos dos enfoques es que PMO maneja una cantidad mucho menor de modos de falla que RCM y puede saltar a los modos de falla más rápidamente. La experiencia de la industria nuclear estadounidense muestra que las PMO producen resultados en promedio seis veces más rápido que las RCM.

Las diferencias metodológicas entre PMO y RCM se ilustran en la Figura No.14

Figura 14. Diferencias entre PMO y RCM



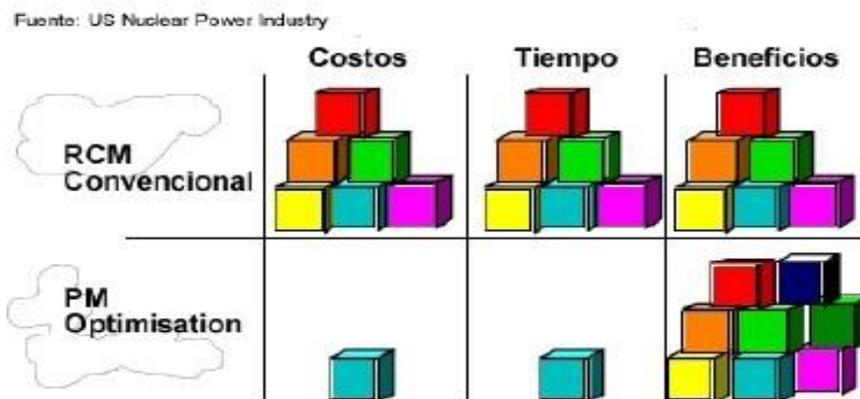
Adaptado: OMCS Internacional 2009

Como resultado el PMO es un método de revisión, mientras que RCM es un proceso de fundación. Aunque ambos generan el mismo plan de mantenimiento, PMO es un método

de análisis más eficiente y flexible que RCM porque opera desde un programa de mantenimiento ya establecido razonablemente bueno y teniendo en cuenta la experiencia operativa y las características de falla del equipo.

1. PMO no analiza modos de falla triviales, mientras que RCM analiza todos los modos de falla posibles.
2. Con el enfoque de PMO, los múltiples modos de falla se agrupan y analizan juntos, mientras que RCM analiza cada modo de falla por separado.
3. Con PMO, el análisis detallado de la funcionalidad es un paso opcional. La funcionalidad del equipo se determina en el análisis de las consecuencias del fallo, ya que la posible pérdida de funcionalidad es consecuencia de cualquier fallo.

Figura 15. Relación costo-tiempo-beneficio del RCM y PMO



Fuente: US Nuclear Power Industry, 2009

Algunos beneficios de la implementación son:

- ✓ Mejorar la disponibilidad del equipo
- ✓ Reducir las horas de trabajo
- ✓ Implementado en una sexta parte del tiempo, RCM inicia planes de mantenimiento, historial de fallas e información técnica.

2.6.3. Proceso de implementación del PMO

El proceso de implementación del PMO se basa en la importancia de los activos físicos y los sistemas en la instalación. La criticidad se puede obtener observando la jerarquía del equipo o su prioridad en la planificación del trabajo. Una vez que se identifica y mide la materialidad de los activos físicos y los sistemas, el proyecto se enfoca en lograr las metas estratégicas de la organización.

Los sistemas críticos son aquellos que afectan a la organización, creando un alto riesgo para la seguridad y el medio ambiente, lo que implica un impacto relevante en el costo y producción de la instalación, así como el consumo de mano de obra excedente para la operación y mantenimiento. Después de una investigación crítica, se establece una base para priorizar los sistemas de análisis y la importancia de cada análisis individual. (Ponce Mostacero, Proceso de implementación del PMO , 2018)

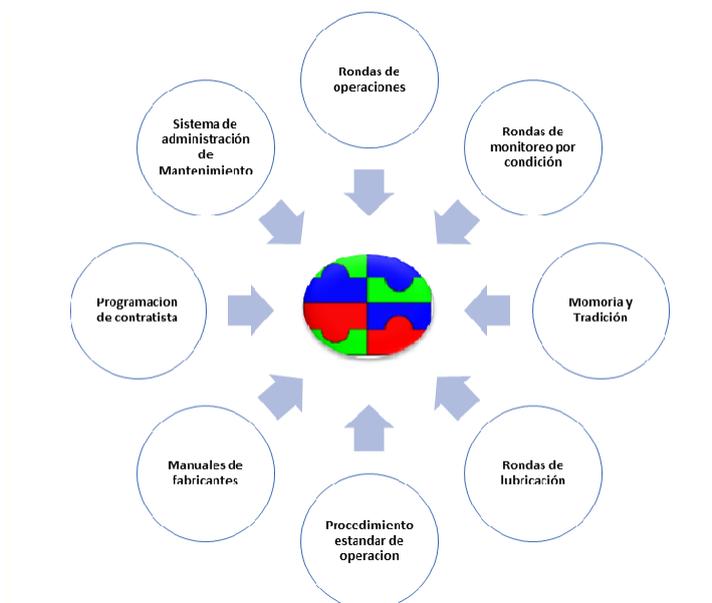
Según Steve Turner, una vez que se ha determinado la criticidad de un activo fijo, la PMO debe pasar por nueve pasos.

Paso 1: Recopilación de tareas

El enfoque de PMO comienza con la recopilación de información del plan de mantenimiento existente, formal o informal, documentando el plan y agrupando todo en una base de datos que facilitará el acceso a los datos.

En la mayoría de los casos no existe documentación oficial y los planes existentes son realizados por el propio personal de la instalación, como los técnicos de mantenimiento. Cuando se trata de un caso de esta magnitud todas las acciones realizadas por el mantenedor deben estar documentadas por los ejecutantes de las tareas.

Figura 16. Paso 1 del PMO



Adaptado: OMCS Internacional 2009

Paso 2: Análisis de modo de falla y sus Efectos (AMEF)

El análisis de modos de fallas y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es un

método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizarán para inhibir las fallas.

El modo de fallas está relacionado con el hecho de como un proceso puede ser llevado a operar de manera deficiente y estar compuesto por tres elementos: Efecto, causa y detección. El efecto es la consecuencia de lo que la falla puede causar al cliente; la causa es lo que indica la razón por la que se produjo el error y la detección es la forma utilizada en el control del proceso para evitar las posibles fallas. (Meire, 2018)

El AMEF tiene como objetivo identificar, definir y describir las no conformidades (condiciones de falla) provocadas por el proceso, sus consecuencias y causas, así como reducirlas o eliminarlas tomando acciones preventivas.

Paso 3: Racionalización y revisión del análisis de modos de falla

Una vez que la información está organizada por modo de falla, se vuelve mucho más fácil identificar tareas repetitivas que pueden ocurrir cuando diferentes disciplinas aplican múltiples rutinas de planificación de mantenimiento al mismo modo de falla.

Este es el paso donde el equipo multidisciplinario revisa los resultados de cada análisis de modo de falla y agrega los modos de falla faltantes. Crea una lista de modos de falla basada en el historial de fallas, la documentación proporcionada por los expertos en mantenimiento o la experiencia del grupo de trabajo.

Paso 4: Análisis funcional de fallas y riesgos

Por cada falla, los activos disminuyen su funcionalidad, que se define en este paso. Es este paso se define y se justifica donde se requiere un análisis de equipos muy crítico o muy complejo, donde es esencial detallar de todas las funciones del equipo para garantizar un plan de mantenimiento confiable. Para equipos menos críticos o sistemas simples, la identificación de las funciones agrega tiempo y costo sin beneficio palpables.

El método de Fine es un procedimiento originalmente previsto para el control de los riesgos cuyas medidas usadas para la reducción de los mismos eran de alto costo. Este método probabilístico, permite calcular el grado de peligrosidad de cada riesgo identificado, a través de una fórmula matemática que vincula la probabilidad de

ocurrencia, las consecuencias que pueden originarse en caso de ocurrencia del evento y la exposición a dicho riesgo. (Carlos, 2017)

Tabla 4. Método Fine

PROBABILIDAD				
OCURRENCIA			EXPOSICIÓN	
Muy posible	$30 \geq MTBF$ 12 o más fpa	10	20 - 24 h	10
Posible	$90 \geq MTBF > 30$ 4 a 11 fpa	8	15 - 20 h	6
Poco posible	$180 \geq MTBF > 90$ 2 a 3 fpa	5	10 - 15 h	3
Remota	$360 > MTBF \geq 180$ DÍAS 1 fpa	3	5 - 10 h	2
Casi imposible	$MTBF > 360$ DIAS (menos de una falla por año fpa)	1	< 5 h	1

Modificado: Método de William Fine

La fórmula de la **Magnitud del Riesgo** o **Grado de Peligrosidad** es la siguiente:

$$GP = C \times E \times P$$

En donde:

- Las Consecuencias (C)
- La Exposición (E)
- La Probabilidad (P)

De acuerdo con el número de prioridad de riesgo (del análisis de efectos y modos de falla), El Número de Prioridad de Riesgo, o RPN, es una evaluación numérica del riesgo asignado a un proceso, o pasos en un proceso, como parte del Análisis de Efectos y Modos de Falla (FMEA), en el que un equipo asigna a cada modo de falla valores numéricos que cuantificar la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de detección y la gravedad del impacto. (Institute for Healthcare Improvement, 2013)

Paso 5: Evaluación de competencias

En este paso, se analiza cada modo de falla para determinar si las fallas son ocultas o evidentes, y si lo es, se realiza un análisis de riesgo y consecuencias operativas.

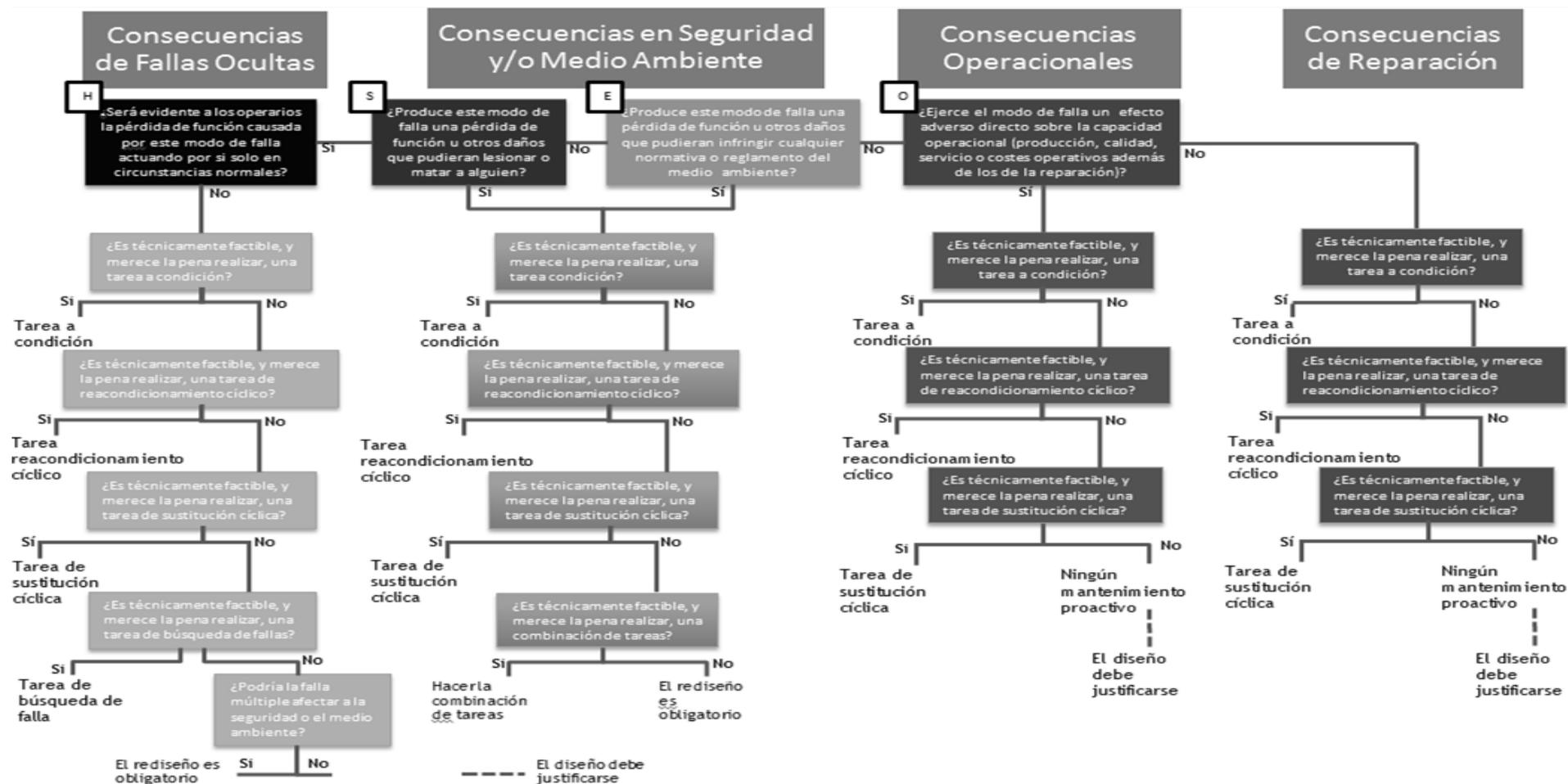
Paso 6: Definición de la política de mantenimiento

En este paso, cada modo de falla se analiza de acuerdo con los principios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y se desarrolla una estrategia de mantenimiento nueva en la que se debe destacar lo siguiente:

- ✓ Los elementos que no son rentables en el plan de mantenimiento actual deben eliminarse.
- ✓ Que las tareas serían más efectivas y menos costosas si fuesen basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla y serían mucho más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas que las tareas que no aportan beneficios, las cuales deben ser eliminadas del programa.
- ✓ Las fallas se pueden disminuir notablemente utilizando métodos tecnológicos avanzados o simples.
- ✓ Qué tipo de información se debe recopilar para predecir mejor cómo funcionará el dispositivo durante su ciclo de vida.
- ✓ Qué fallas deben corregirse mediante el análisis de causa raíz.

Para este paso se requiere hacer una hoja de decisiones del RCM (Moubray) para identificar cuáles son las tareas a realizar para cada falla por lo cual se requiere del árbol de decisión como se muestra en la figura

Figura 17. Hoja de decisiones del RCM (Moubray)



Tomado de: Tesis Aplicación de herramientas RCM - Andrés Mauricio Romero Sánchez 2013

Paso 7: Agrupación y revisión

Después de completar el análisis de tareas, el grupo de trabajo interdisciplinario determina la forma más eficaz de gestionar el mantenimiento del activo, teniendo en cuenta las limitaciones de producción y otros factores.

En este paso, hay una transferencia de responsabilidad entre los especialistas de mantenimiento y los operadores en la realización de tareas de planificación de mantenimiento para lograr productividad y rentabilidad.

Paso 8: Aprobación e Implementación

Este paso se muestran los resultados del análisis para su revisión y comentarios.

El equipo de trabajo realiza la presentación usando el reporte automático generado por un software especial, dicho software muestra de forma detallada los cambios a implementar y su justificación. Una vez que se aprobó el programa, inicia la etapa más importante, su implantación, etapa que consume más tiempo y en que se pueden presentar más dificultades. Es importante ejercer liderazgo y estar atento a los detalles para hacer de la implantación un éxito. (Steve Turner, 2009)

Las dificultades en la implementación se incrementan considerablemente en organizaciones que cuentan con muchos turnos de trabajo y en aquellas organizaciones conservadoras.

Paso 9: Programa dinámico

El "Programa dinámico" integra los planes de mantenimiento, sustituyendo el mantenimiento correctivo por planes de mantenimiento programado y se toma el control de los activos.

A partir de ahí, las mejoras se pueden acelerar rápidamente y los recursos liberados se pueden dirigir para abordar fallas de diseño o limitaciones operativas inherentes. A medida que aumenta el ritmo de mejora, los procesos clave de gestión de activos se pueden afinar:

- ✓ Estrategia de producción y mantenimiento

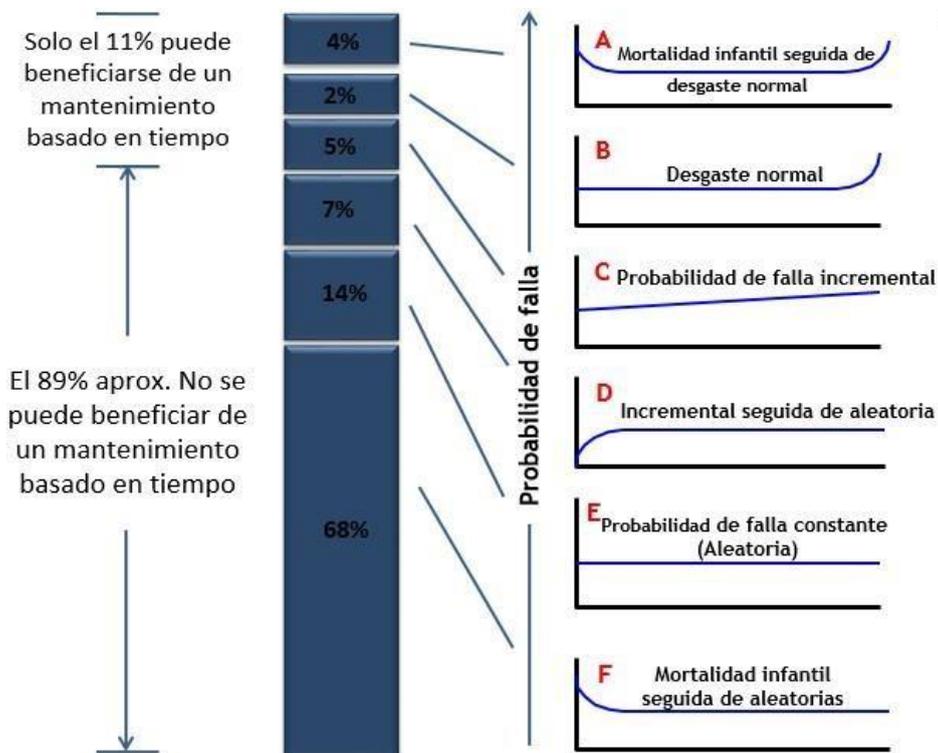
- ✓ Medición del rendimiento
- ✓ Notificación y reparación de defectos
- ✓ Planificación y programación
- ✓ Gestión de inventario.
- ✓ Workshops y Prácticas de Mantenimiento

El objetivo del último paso es crear una organización en constante búsqueda de mejora, cuyo funcionamiento requiere concienciar a las personas sobre la importancia de evaluar la seguridad de todas las tareas y disminuir en lo posible el número de fallos no planificados. (Steve Turner, 2009)

2.6.4. Patrones de fallas

Como se puede en la Figura N°14 se identifican todos los patrones de fallas que le puede ocurrir a un componente o equipo, el 11% se centra en mantenimiento basada en el tiempo mientras que el 89% aproximadamente no puede beneficiarse por un mantenimiento basada en el tiempo lo cual se quieren otros tipos de mantenimiento basado en su condición.

Figura 18. Patrones de falla



Tomado de: Reliability Centered Maintenance. United Airlines, 1978.

2.7. Planta de envasado

Una planta de llenado de GLP es una instalación industrial con centros de almacenamiento (tanques de GLP), tanques contra incendios, bombas, compresores, accesorios, tuberías y todo el equipo relacionado y necesario para recibir, transferir, almacenar, llenar y procesar contenedores de GLP.

La instalación donde se realizó este estudio tenía una capacidad de envasado de 3.000 cilindros por hora. Los cilindros de acero descargados ingresan a la primera área de descarga y clasificación para separar los cilindros de acero defectuosos de los buenos. La fábrica cuenta con un moderno sistema de extinción de incendios, cuartos a prueba de explosiones en la parte industrial, marquesinas con buena ventilación para empaques y modernos equipos de bombeo de gas licuado de petróleo.

La planta ha sido diseñada en base a las siguientes normas técnicas:

<i>NTE INEN 1 536 98:</i>	<i>Prevención de Incendios, Requisitos de Seguridad en Plantas de Almacenamiento y Envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP).</i>
<i>Registro Oficial 116:</i>	<i>Reglamento Técnico para La Comercialización del Gas Licuado De Petróleo.</i>
<i>NFPA 58:</i>	<i>Norma para el Almacenamiento y Manejo de Gases Licuados de Petróleo. Edición 1995</i>
<i>NFPA 59</i>	<i>Código Para Plantas de Gas Licuado de Petróleo.</i>
<i>API 500</i>	<i>Prácticas Recomendadas para la Clasificación de las ubicaciones para Instalaciones Eléctricas en Plantas Petrolíferas clasificadas como Clase 1, División 1 y División 2.</i>
<i>API 2510</i>	<i>Diseño y Construcción de Instalaciones para GLP. Octava Edición, mayo 2001</i>
<i>API 2510A</i>	<i>Consideraciones para Protección Contra Incendios para el Diseño y Operación de Plantas de Almacenamiento de Gas Licuado Petróleo. Segunda Edición. (Vélez, 2007)</i>

2.7.1. Descripción de las instalaciones industriales

Las operaciones de envasado se realizan mediante una plataforma giratoria diseñada para instalación estacionaria para agilizar el proceso de llenado de cilindros de GLP, con básculas prolijamente dispuestas en todo su perímetro de la marca Kosan Crisplant, el sistema de llenado de carruseles cuenta también con una línea transportadora que brinda versatilidad y seguridad en el manejo de cilindros.

Figura 19. Carrusel de envasado de cilindros de GLP de 15 Kg



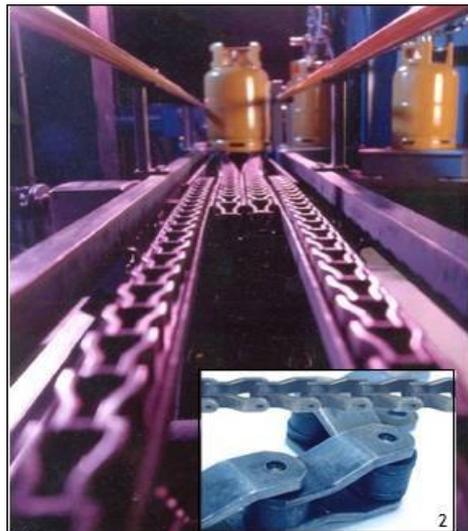
Tomado de: Línea de producción de cilindros de 15 Kg de GLP. Empresa Publica del Ecuador

Los equipos de la línea de envasado son modernos, cuentan con control de peso automático, lo que garantiza cantidades constantes durante el proceso de envasado.

2.7.1.1. Sistema de transportación de cilindros de GLP

El sistema transportador está diseñado para transportar de manera eficiente y razonable las botellas de GLP desde la descarga hasta la carga, pasando por diferentes puntos de procesamiento.

Figura 20. Sistema de transportación de cilindros de GLP tipo cadena



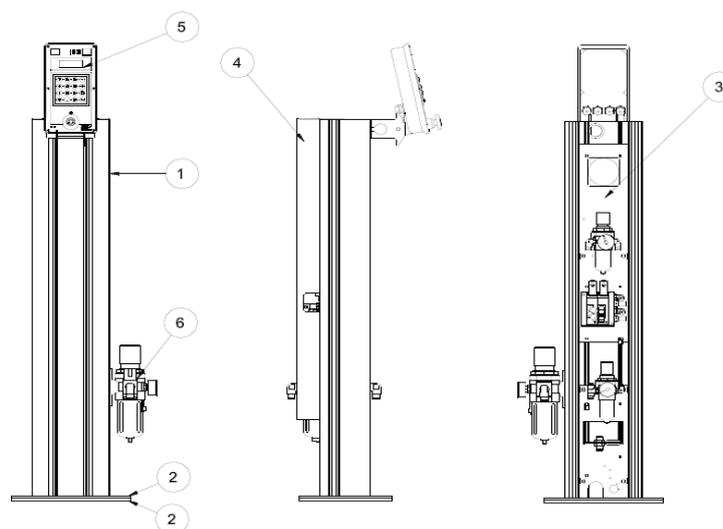
Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.2. Puesto de tarado

Luego de que los cilindros avancen a lo largo de la banda transportadora llegan al verificador de registro de datos del cilindro. En él se registra el peso del GLP que se despachará en cada bombona de acuerdo a su tamaño, sumado al valor de la tara, función que se la realiza a través de un Controlador. HMI/CUC (Crisplant Universal Controller).

Una vez registrada el valor de la tara llegara hasta el sistema de entrada y salida donde ingresan a través de un sistema de sensores ser depositado en una balanza que se encuentre disponible para su proceso de envasado.

Figura 21. Soporte con registrador de datos de ingreso de cilindros (tara de ingreso)



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.3. Admisión Neumática

La unidad de entrada de conexión neumática tipo HRS está diseñada para permitir el ingreso de cilindro de GLP desde el transportador de cadena hasta la rueda dinámica de llenado. El accionamiento de la banda transportadora también da como resultado un dispositivo receptor que asegura que el movimiento esté sincronizado con la velocidad de la cinta transportadora. Además, la unidad de control neumático está dispuesta de manera que no es posible transferir el cilindro a la máquina llenadora si en ese momento el cilindro está en la báscula.

Figura 22. Dispositivo de entrada HRS para entrada radial

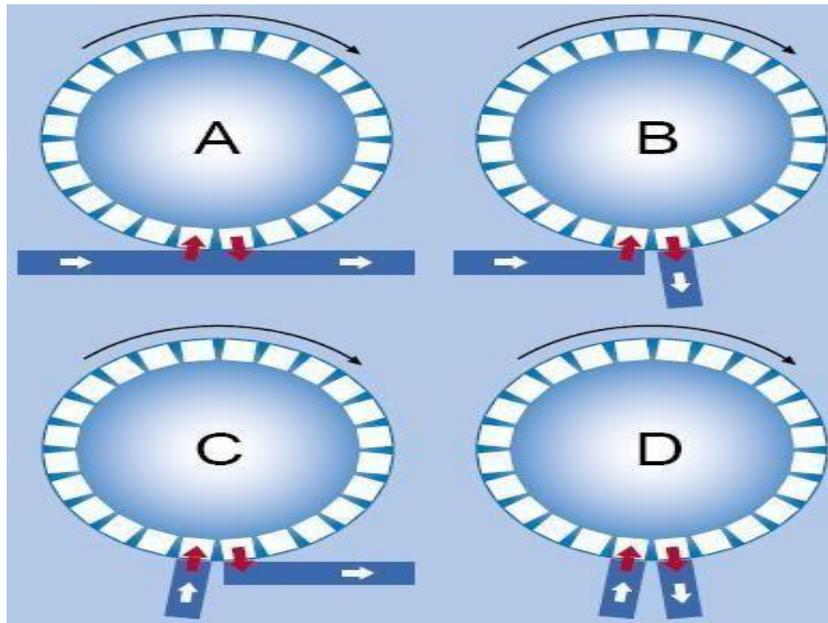


Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.4. Funcionamiento del carrusel de envasado

La planta dispone de cuatro carruseles de envasado, dos de 24 puestos para despacho de cilindros de 15 Kg, uno de 16 puesto para despacho de cilindros de 15, 16 y 45 Kg respectivamente y uno de 18 puestos para despacho de cilindros de GLP de 15 Kg, cada uno de ellos posee una balanza electrónica para el cumplimiento del proceso de envasado.

Figura 23. Tipos de admisión de cilindros en carruseles de envasado de GLP



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

A.- Entrada y Salida Tangencial

B.- Entrada Tangencial y salida Radial.

C.- Entrada Radial y Salida Tangencial

D.- Entrada y Salida Radial

La Figura No. 23 muestra combinaciones de alimentación de cuatro cilindros para un transportador alimentador automático. La elección del tipo de tolerancia dependerá de los requisitos de la línea de productos, las limitaciones de espacio y la ubicación del equipo en el área de empaque. Para la instalación en estudio se cuenta con dos transportadores automáticos de carga de cilindros Kosan Crisplant y un transportador marca Siraga, con entradas y salidas radiales, optimizando el espacio de la planta y la movilidad del personal. Y un carrusel con entradas y salidas tangenciales.

2.7.1.5. Balanzas de llenado

La máquina electrónica de llenado tipo UFM (Type Filling Machine) es una unidad que está diseñada para instalarse en un sistema de llenado por carrusel con módulos de ingreso y salida automáticas, cuya función se basa automáticamente en la provisión de GLP en cilindros con válvulas de centro. La tara de cada cilindro la efectúa un operador desde el HMI/CUC antes del ingreso al carrusel y la máquina llena el cilindro hasta alcanzar el

peso calculado por la computadora (la tara más el contenido de gas)

Al llenar cilindros con la misma tara, el operador puede codificar un valor constante en todas las máquinas de llenado, posterior a ello el operario sólo necesita conectar el cabezal de llenado y pulsar el botón de inicio.

Todos los datos (valores codificados, estado de procesamiento, resultados de llenado, texto de ayuda, mensajes de error, etc.) se muestran en la pantalla.

El botón de inicio/parada se puede utilizar para detener el proceso de llenado o reanudar el proceso después de una pausa.

Figura 24. Balanza electrónica



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.6. Expulsión Neumática.

El expulsador neumático es un dispositivo autónomo instalado en la parte de la banda transportadora junto al carrusel de llenado para efectuar la salida los cilindros de GLP cargados de vuelta al transportador de cadena.

La unidad de expulsión está compuesta por un dispositivo de expulsión con brazo y cilindro neumático, una cabina con componentes neumáticos y unidad de servicio de aire para conexión a las instalaciones de aire comprimido.

2.7.1.7. Báscula Electrónica de Control de peso.

En este proceso se verifica el peso despachado siempre y cuando el cilindro cumpla con la norma establecido por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero ARCH para los cilindros de 15 kg no pueden exceder el rango de $\pm 3.5\%$ del volumen despachado (Para efecto del cumplimiento de esta norma, la planta de envasado mantiene una tolerancia de $\pm 3\%$).

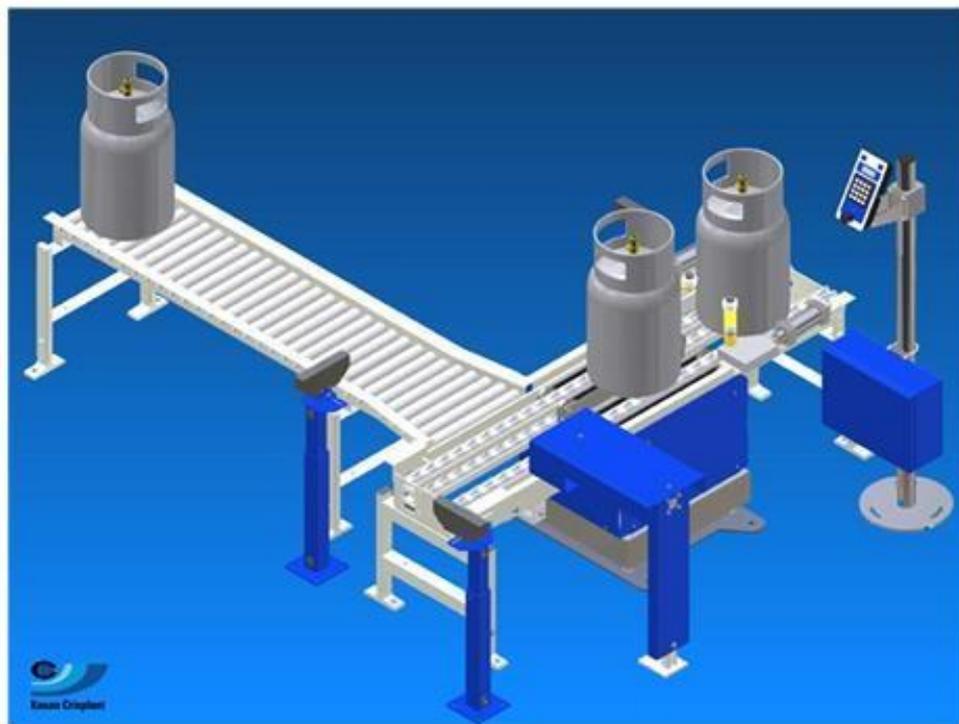
Figura 25. Sistema automático ECS de control del peso



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

Una vez comprobado el peso si cumple con lo establecido por el organismo de control continua por la banda transportadora, caso contrario debe ser redirigida a una maquina completadora / evacuadora para mantener los estándares del $\pm 3\%$ del volumen despachado de GLP.

Figura 26. Corregidor de peso Kosan Crisplant



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.8. Comprobador Electrónico de Fugas.

Posible fuga de cilindros en área de válvulas, los sistemas manuales utilizan agua jabonosa para detectarlo la presencia de fugas, sin embargo, la planta de envasado objeto del proyecto cuenta con un sistema automatizado, módulo de una/dos estaciones de detector de gases basado en cabezal de prueba CIR.

El detector de fugas electrónico modelo ET2/ ET1-GD-CIR es un módulo de detección de fugas para las botellas de GLP integrado en los mecanismos de clasificación, centrado y control de flujo de botellas.

Los módulos detectores de fugas modelo ET2/ ET1-GD-CIR se configuran con estaciones de una o dos estaciones de detector de fugas basadas en el cabezal de prueba CIR (Crisplant Infrared, infrarrojos de Crisplant). El cabezal de prueba CIR es capaz de detectar fugas en las botellas de GLP provocadas por mecanismos de la válvula defectuosos y juntas roscadas imperfectas entre la botella y el mecanismo de la válvula.

El detector de fugas electrónico está diseñado como un conjunto modular que puede integrarse en línea con un sistema de transportador de cadena estándar en una

disposición de planta de llenado determinada.

El módulo de detector de fugas está diseñado para funcionar en áreas peligrosas catalogadas como Zona 1, según se define en el esquema de clasificación de la UE. (Kosan, Crsiplant;, 2020)

Figura 27. Detector de fugas electrónico ETI-GD-CIR



Fuente: Catálogo Kosan Crsiplant

2.7.1.9. Probadores de válvulas

El comprobador de válvulas es un módulo diseñadas para control seguro y eficiente de cualquier tipo de cilindro de GLP, su función es la detección de anomalías existentes en las válvulas a través de un medidor de flujo neumático que efectúa una diferencial de presión de aire. Cuando la diferencia presión es igual a cero significa que la válvula se encuentra en buen estado, caso contrario se rechaza.

Figura 28. Comprobador automático de válvula ET-PT



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.10. Máquina de termosellado

Una termoselladora es una máquina de envasado al vacío que utiliza calor para crear una película de vacío en la bandeja, esto asegura un sellado perfecto. La termoselladora puede sellar materiales en forma de monocapas o múltiples capas de termoplásticos homogéneos. Se requiere temperatura, tiempo y presión para lograr una buena estanqueidad.

Figura 29. Termoselladora automática



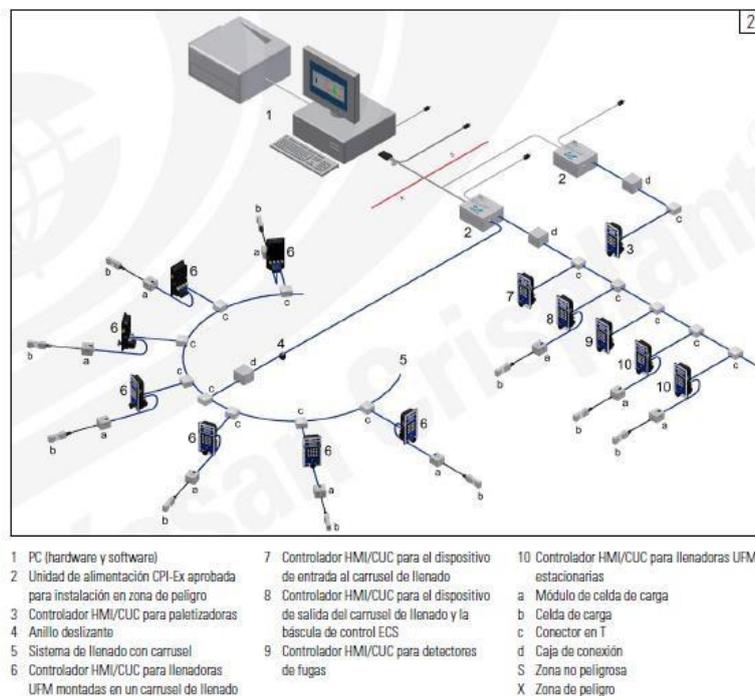
Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

2.7.1.11. Red de Alimentación de Datos.

La red de datos del CUC de Kosan Crisplant está diseñada para proporcionar energía intrínsecamente segura a las máquinas controladas por el CUC y para intercambiar datos entre ellas.

Las ventajas de este sistema son el bajo costo de instalación, la conexión y el cableado simples y convenientes para el suministro de energía y la transmisión de datos. Control por HMI/CUC de cualquier máquina en red, este software viene preinstalado además de otras características generales. Los ingredientes son los mismos.

Figura 30. Esquema de red de datos



Fuente: Catálogo Kosan Crisplant

Los controladores HMI/CUC están disponibles con varias configuraciones de E/S (E/S), hasta 16 salidas y 32 entradas. Equipado con UPS (Fuente de alimentación irrompible) para PC y fuente de alimentación CPI-Ex para garantizar el apagado adecuado de la PC y guardar los datos de carga. Una computadora puede recopilar y administrar simultáneamente datos de 10 transportadores de llenado y puede conectarse hasta 500 metros desde la plataforma de llenado.

La protección contra sobretensiones transitorias está integrada en la fuente de alimentación CPI-Ex. La señal de entrada de CPI-Ex varía de 85 a 264 VAC/47.

3. Metodología

Se lo efectuó mediante el análisis de documentación, investigando de una variedad de fuentes y la información específica sobre de la línea de envasado de cilindros de GLP y sus equipos que forman parte del sistema de llenado. Además, se tomaron en consideración los estudios de grado y título estrechamente relacionados con la investigación, su adecuado análisis para comprender los modelos propuestos y comenzar a trabajar en la propuesta final.

Para el desarrollo del primer objetivo “*Evaluar la situación actual del sistema de gestión del mantenimiento de la línea de envasado de GLP, para determinar el número de fallas, la disponibilidad de los equipos y la influencia que tiene en la productividad*”, Se efectúan las siguientes actividades:

- ✓ Recopilar información sobre planes actuales de mantenimiento de la línea de producción de cilindros de 15 kg, historial de fallas, órdenes de trabajo, informes de mantenimiento preventivos, entrevistas, responsabilidades de los empleados en el proceso.
- ✓ Revisar y analizar la información recopilada para determinar posibles mejoras.
- ✓ Consolidar observaciones obtenidas mediante la revisión y el análisis de la información.

El segundo objetivo “*Proponer una optimización del plan de mantenimiento preventivo para disminuir el número de fallas y mejorar la productividad de los equipos mediante la Optimización del Mantenimiento Planeado PMO*”, se cumple con lo siguiente:

- ✓ Investigar las estrategias y funcionalidades de mantenimiento disponibles más usadas en la actualidad.
- ✓ Analizar y proponer los métodos necesarios para mejorar el plan de mantenimiento y adaptarlo a la disponibilidad de los activos.

Para cumplir con el tercer objetivo “*Simular los procesos de producción mediante la implementación de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO*”, fue necesario lo siguiente:

- ✓ Analizar qué métricas son las más adecuadas para medir el resultado de la

estrategia propuesta.

- ✓ Proponer y documentar indicadores de gestión de mantenimiento donde incluyan objetivos, tipos de indicadores, fórmulas, objetivos, fuentes de medida y responsables.

3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es descriptiva ya que identifica y describe el estado actual de las líneas de envasado de GLP y ha desarrollado las tácticas adecuadas para incrementar su productividad, de acuerdo con los conceptos básicos de este tipo de investigación la publicación (¿Qué es el diseño de investigación?, 2020) se afirma que *“El diseño de la investigación es el marco de los métodos y técnicas de investigación elegidos por un investigador. El diseño permite a los investigadores perfeccionar los métodos de investigación que son adecuados para el tema en cuestión y preparar sus estudios para el éxito”*.

Primero, analizaremos el volumen de reportes histórico, que se utilizará para pronosticar las fallas a futuro, ya que se desarrollará un plan de producción general para planificar la disponibilidad de mano de obra para satisfacer la demanda. Finalmente, se evaluará el actual sistema de planificación de mantenimiento para determinar su eficacia y mejorar la productividad.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental cuantitativa debido a que las variables independientes no han sido manipuladas intencionalmente. También es transversal porque los datos se recopilaron en visitas a campo comunicaciones con las partes interesadas, con la finalidad de estudiar la población en un solo punto en el tiempo y para examinar la relación entre variables de interés.

La investigación cuantitativa es un método estructurado de recopilación y análisis de información que se obtiene a través de diversas fuentes. Este proceso se lleva a cabo con el uso de herramientas estadísticas y matemáticas con el propósito de cuantificar el problema de investigación.

3.1.3. Nivel de la investigación

Esta investigación indica que es de nivel aplicativo, ya que tiene como objetivo brindar a la empresa a través del enfoque PMO, sugerencias para mejorar la disponibilidad de sus activos, agilizar el proceso de producción, reducción del tiempo de mantenimiento y brindar la posibilidad de minimizar tareas innecesarias.

3.2. Método de investigación

El método a utilizar será el inductivo, ya que su aplicación está comprendida de etapas de observar los pasos, formulación de hipótesis, pruebas, leyes y teorías; como investigador se hará las observaciones por inducción, se formarán y propondrán hipótesis. Elaborar y sacar conclusiones lógicas si están de acuerdo con sus conocimientos, se aceptan, se realizan pruebas, y si se aceptan o rechazan.

3.3. Determinación de la muestra

3.3.1. Población

La población objeto de nuestro trabajo de investigación es la línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP del sistema de envasado que está compuesto por cuatro carruseles, dos carruseles para envasar cilindros de 15kg, uno para cilindros de 45kg, marca Kossan Crisplant; y uno para envasar cilindros de 15kg, marca Siraga.

La línea de producción de cilindros, cuenta sistemas auxiliares, sistema de ingreso o registro (tara), sistema repesado, sistema de detección de fuga, sistema de control de toroides (O-ring), sistema de termosellado, así como también el sistema de transportación que es efectuado por unidades motrices en conjuntos con cajas de reducción de velocidad.

Para la medición de los indicadores de la presente investigación se tomó el envasado de cilindros en 6 meses de la Empresa de distribución cilindros de 15 kg de GLP, los datos han sido tomados de forma diaria, considerando un trabajo de 2 turnos al día de 12 horas cada uno (24 horas por día) y sin considerar los días domingo que por lo regular está destinado al mantenimiento de la planta.

3.3.2.

Muest

ra

La muestra corresponde a la línea de envasado de una Empresa de distribución cilindros de 15 kg de GLP, su infraestructura, procesos desarrollados, tecnologías, materiales y 42 trabajadores involucrados en el proceso de envasado de 6 meses (enero a junio de 2022).

Para (Valderrama Mendoza, 2002) la muestra como “un subconjunto representativo de un universo o población”. Por lo tanto, necesitamos encontrar una muestra cuantitativamente representativa de una población conocida (4 unidades envasado de cilindros) usando la siguiente función:

$$n = \frac{Z^2 \times N \times p \times q}{e^2(N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Representa el valor correspondiente al nivel de confianza, 1.96 para un nivel de confianza del 95%

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (50%)

q = (1 - p) Probabilidad de que NO ocurra el evento estudiado

e = Error de estimación máximo aceptado, 5%

$$n = \frac{1,96^2 \times 522 \times 0,5 \times (1 - 0,5)}{0,05^2(120 - 1) + 1,96^2 \times 0,5 \times (1 - 0,5)} = 350,75$$

n = 350,75 eventos ocurridos en la línea de producción

3.4. Técnicas, Métodos e Instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección

Consiste en una herramienta que utiliza el investigador para obtener información que le

permita desarrollar su proyecto de investigación. Su función principal es obtener o generar datos directos sobre la población o fenómeno que se quiere comprender. A su vez, deben ser sistemáticas y organizadas, características fundamentales que guardan estrecha relación con la utilidad y confiabilidad de la información recolectada para su posterior análisis.

Las técnicas de recolección de datos son:

- ✓ Observación.
- ✓ Focus group.
- ✓ Entrevistas.
- ✓ Formularios de contacto.
- ✓ Fuentes abiertas.
- ✓ Monitoreo.
- ✓ Análisis del sitio web.
- ✓ Documentos técnicos

3.4.2. Materiales

- Computador portátil / Escritorio
- Usuario Interno
- Licencia IBM máximo
- Licencia A Office (Outlook, Word, Excel, PowerPoint, Minitab, OneDrive)
- Licencia a Pi (Base de datos interna de Empresa de hidrocarburos)
- Utilices de escritorio: Hojas bond A4, A3, lapiceros, tablillas, plumones, post it
- Elementos de protección personal
- Cámara fotográfica

3.4.3. Instrumentos

Tabla 5. Matriz de técnicas de instrumentos

Técnica	Justificación	Instrumento	Aplicación en:
Revisión documental	Recopilar información respecto a la metodología vinculada al mantenimiento de la línea de envasado de cilindros de GLP y sus equipos que forman parte del sistema de llenado. Identificar los factores críticos que determinan la disponibilidad de sus activos.	Excel Minitab Históricos de fallas	Registros: Información histórica registrada en formatos de personal técnico y supervisión Base de datos de software IBM MAXIMO Registro de información de proyectos referido a línea de envasado de cilindros de GLP

Fuente: Elaboración propia

3.5. Diagnóstico de incidencia de fallas en la producción

Para analizar la situación actual, como paso previo a cualquier acción, se requiere una evaluación inicial o actual en cuanto a la gestión del mantenimiento.

Las técnicas utilizadas para este análisis se basaron en la recolección de datos registros de fallas referidos en bitácoras, MAXIMO y reportes presentados por las comercializadoras de la producción.

Los datos fueron analizados mediante herramientas informáticas como Microsoft Excel y Minitab que permitió ordenar, filtrar la información y posteriormente realizar cálculos aritméticos para las predicciones que se pretenden efectuar.

Tabla 6. Lista de sistemas

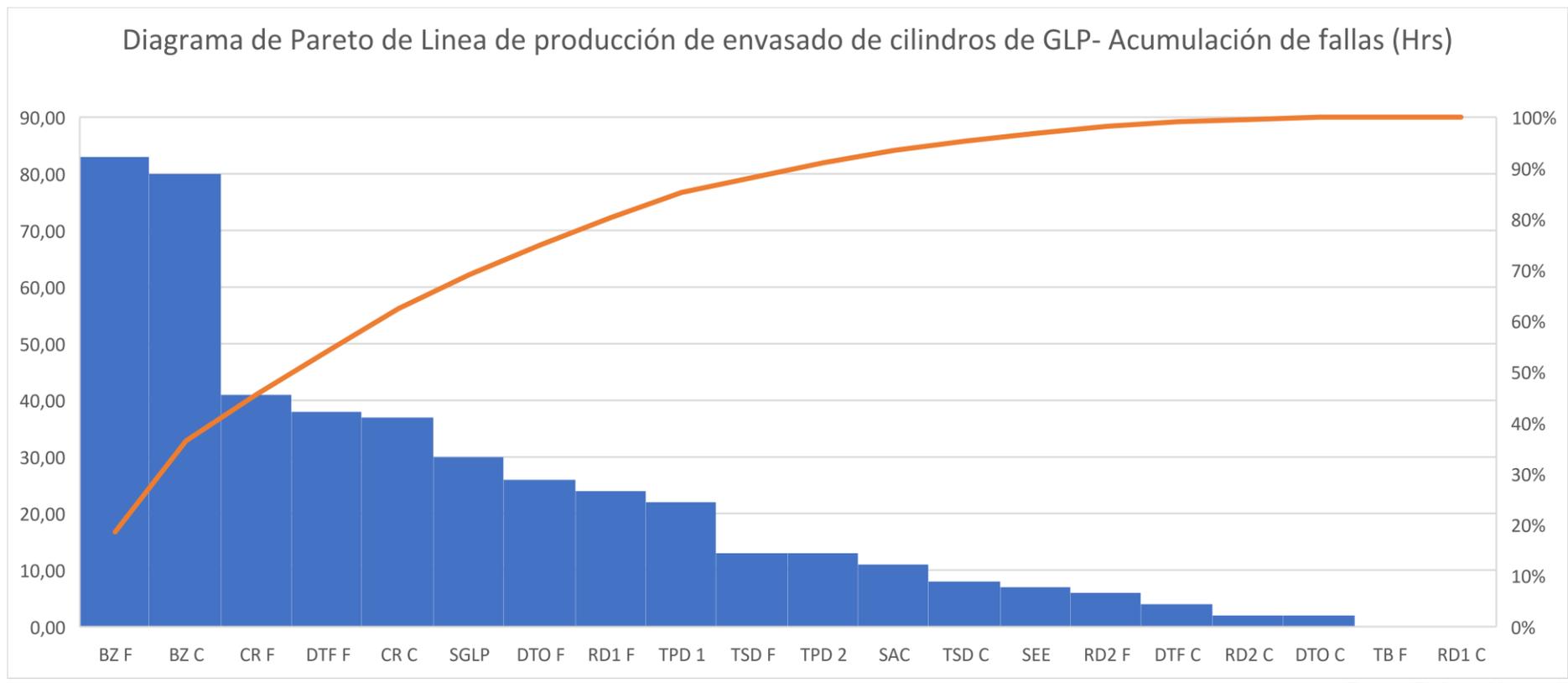
CODIGO	LISTA DE SISTEMAS	EVENTOS
TPD 1	Transportadores 1 Fallas Técnicas	38
RD Fallas	Repesado Fallas Técnicas	25
DTF Fallas	Detectora de Fugas Fallas Técnicas	38
DTO Fallas	Detectora de Caucho Toroide Fallas Técnicas	26
TSD Fallas	Termosellado Fallas Técnicas	13
TSD Calibración	Termosellado Ajustes/Calibraciones	28
TPD 2	Transportadores X a Y Fallas Técnicas	40
SGLP	Suministro GLP a envasado Fallas Técnicas	36
SEE	Suministro Energía Eléctrica (Generadores)	17
SAC	Suministro Aire Comprimido	11
CR Fallas	Carrusel Fallas Técnicas	37
BZ Fallas	Balanzas Fallas Técnicas	82
CR Calibración	Carrusel Ajustes/Calibraciones	37
BZ Calibración	Balanzas Ajustes/Calibraciones	80

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Análisis de Pareto de Mantenimiento

Se efectúa un análisis de las principales actividades de mantenimiento y se utilizará el método de análisis de Pareto con una base de datos periodo comprendido enero - junio 2022. La base de datos de las fallas representa el porcentaje total de fallas de los equipos instalados en los sistemas de la línea de envasado de GLP.

Gráfico 1. Diagrama de Pareto de Línea - Acumulación de fallas (Hrs)



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1. Fallas ocasionadas en los equipos

De acuerdo con los reportes de mantenimiento sistemas de llenado de cilindros de GLP de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador registraron 520 fallas durante el proceso de producción en los 6 primeros meses del año 2022, tal como se encuentra representado en la Tabla.

Tabla 7. Histórico de fallas de sistemas de llenado de cilindros de GLP

Equipo	Cant.	Turno	Tiempo Medio para Reparar (hora)					
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tabuladora	0	Dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fallas Técnicas	0	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Transportadores 1	24	Dia	2.3	2.1	1.0	1.1	1.7	0.6
Fallas Técnicas	14	Noche	1.1	1.2	0.4	0.7	1.1	0.2
Repesado 1	14	Dia	0.4	1.5	2.0	3.3	2.2	0.5
Fallas Técnicas	11	Noche	0.2	0.9	0.9	1.9	1.4	0.2
Repesado 1	0	Dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ajustes/Calibraciones	0	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Repesado 2	3	Dia	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0
Fallas Técnicas	3	Noche	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
Repesado 2	0	Dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ajustes/Calibraciones	0	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Detectora de Fugas	22	Dia	1.3	1.9	1.8	0.5	1.1	0.7
Fallas Técnicas	16	Noche	0.7	1.1	0.8	0.3	0.7	0.3
Detectora de Fugas	2	Dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
Ajustes/Calibraciones	2	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Detectora de Caucho	16	Dia	0.8	0.8	0.6	0.5	0.2	0.1
Toroide	10	Noche	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.0
Detectora de Caucho	1	Dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Toroide	1	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Ajustes/Calibraciones	1	Noche	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Termosellado	7	Dia	0.9	0.5	0.5	0.0	3.5	1.9
Fallas Técnicas	6	Noche	0.4	0.3	0.2	0.0	2.3	0.8
Termosellado	17	Dia	1.3	1.5	2.9	3.9	2.2	4.1
Ajustes/Calibraciones	11	Noche	0.7	0.8	1.3	2.3	1.5	1.8
Transportadores X a Y	23	Dia	4.8	6.7	2.6	0.3	4.7	6.3
Fallas Técnicas	17	Noche	2.4	3.8	1.1	0.2	3.1	2.7
Suministro GLP a envasado	24	Dia	7.1	4.8	7.7	3.9	4.9	8.3
Suministro Energía Eléctrica (Generadores)	12	Noche	3.5	2.7	3.3	2.3	3.3	3.6
Suministro Energía Eléctrica (Generadores)	11	Dia	1.2	1.4	1.2	0.7	1.2	1.2
Suministro Aire Comprimido	6	Noche	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.5
Suministro Aire Comprimido	7	Dia	1.3	1.3	1.2	0.0	0.7	0.0
Suministro Aire Comprimido	4	Noche	0.7	0.7	0.5	0.0	0.4	0.0
Suministro Aire Comprimido	23	Dia	1.6	1.6	3.7	0.2	1.5	1.9

Carrusel Fallas Técnicas	14	Noche	0.8	0.9	1.6	0.1	1.0	0.8
Balanzas Fallas Técnicas	48	Día	4.5	3.8	3.0	3.3	4.2	3.4
Carrusel Ajustes/Calibraciones	34	Noche	2.2	2.1	1.3	1.9	2.8	1.5
Balanzas Ajustes/Calibraciones	22	Día	0.4	0.8	1.2	0.2	0.9	1.1
Balanzas Ajustes/Calibraciones	15	Noche	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	0.5
Balanzas Ajustes/Calibraciones	53	Día	0.4	0.9	2.6	2.8	0.9	3.2
Balanzas Ajustes/Calibraciones	27	Noche	0.2	0.5	1.1	1.6	0.6	1.4

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Índice de producción

A continuación, mostramos el proceso de involucrar a la producción y al equipo en esta área problemática:

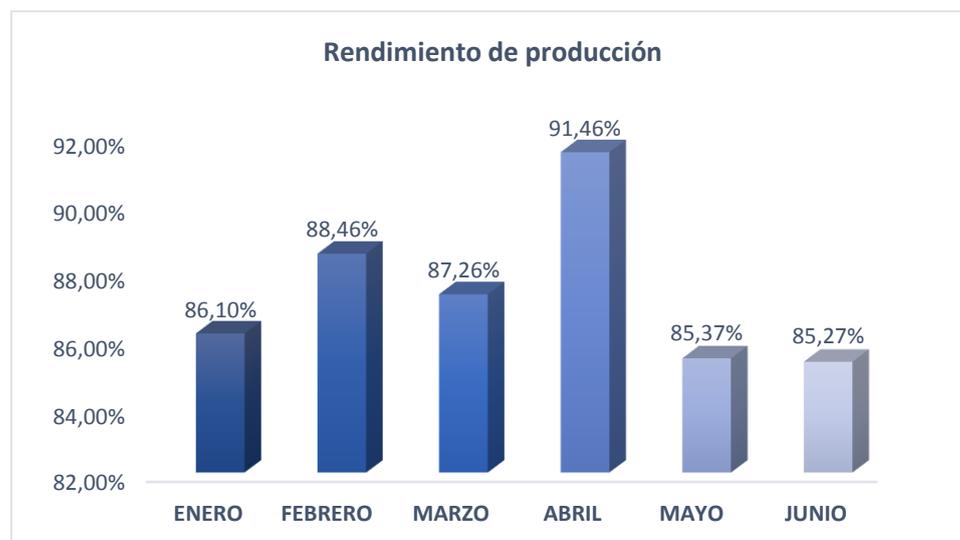
Producción

Tabla 8. Parámetros de consideración en producción

Instrumento para la recolección de datos / Antes de la implementación	
Empresa	Empresa de distribución cilindros de 15 kg de GLP
Responsable de recolección de datos	David Valencia Valencia
Unidad de negocio	Nave de envasado de cilindros
Producto	GLP
Dimensión	Unidades despachadas en Línea de Producción
Inicio de recolección de datos	Enero 2022
Fin de recolección de datos	Junio de 2022
Numero de muestra	350
Dias programados	181

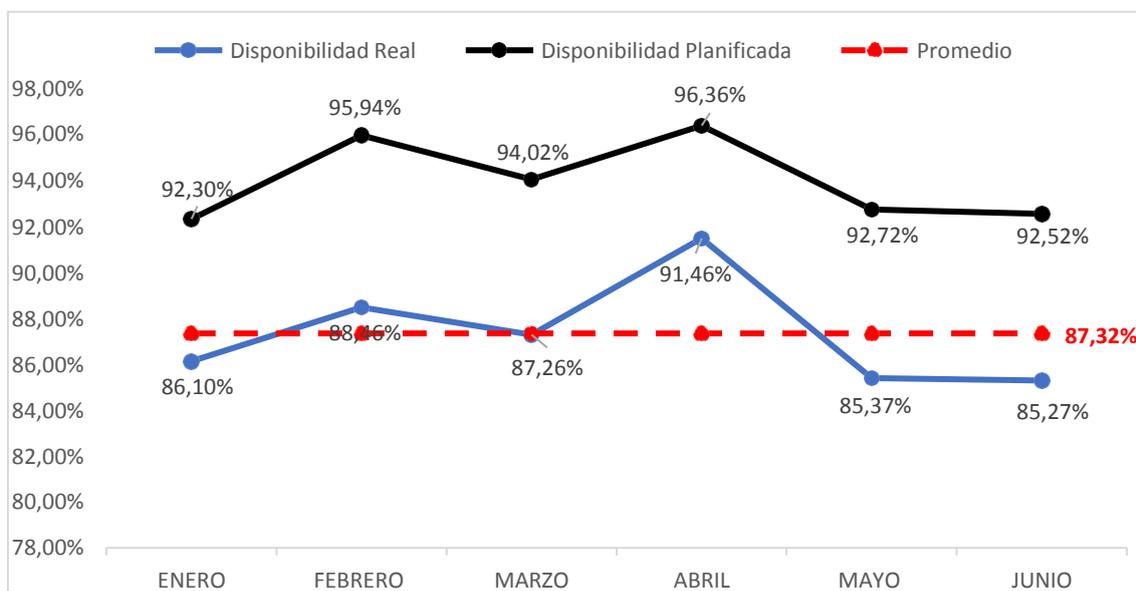
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Porcentaje de producción Enero - junio de 2022



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Disponibilidad periodo Enero - junio 2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Disponibilidad periodo Enero - junio 2022

Mes	Planificación de Producción	Cumplimiento de Rendimiento	Planif Prod. – Cump. Rend
Enero	92,30%	86,10%	6,20%
Febrero	95,94%	88,46%	7,48%
Marzo	94,02%	87,26%	6,76%
Abril	96,36%	91,46%	4,90%
Mayo	92,72%	85,37%	7,35%
Junio	92,52%	85,27%	7,25%
Promedio	93,98%	87,32%	6,65%

Fuente: Elaboración propia

En el grafico podemos apreciar que con el tiempo neto de producción se alcanza un margen disponibilidad de los equipos de la línea de envasado de cilindros de 15 kg. Como resultado tenemos un promedio de 87,29%, máximo de 91,46% y el mínimo de 85,27%

de la producción cumplida frente al 93,98% de la Planificación de la producción. Es por ello que, el presente estudio se lo realiza con la finalidad de conocer la situación actual de la línea de producción y adoptar un enfoque de gestión de mantenimiento que permita incrementar la eficiencia en los equipos y esto incida directamente en la mejora de la productividad.

3.5.3. Tiempo neto de producción

Tabla 10. Parámetros de consideración en tiempos de fallas

Instrumento para la recolección de datos / Antes de la implementación	
Empresa	Empresa de distribución cilindros de 15 kg de GLP
Responsable de recolección de datos	David Valencia Valencia
Unidad de negocio	Nave de envasado de cilindros
Producto	GLP
Dimensión	Unidades despachadas en Línea de Producción
Inicio de recolección de datos	Enero 2022
Fin de recolección de datos	Junio de 2022
Numero de muestra	350
Horas programadas	3.982

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Tiempo neto de producción Enero - junio de 2022



Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Gestión de Mantenimiento

En la recolección de datos señalados en la Tabla No. 7, tenemos un registro de fallas donde cada elemento que compone la línea de producción produce una paralización no programada, lo que involucra que se emplee un determinado tiempo en labores de mantenimiento.

Del registro de datos obtenidos se ha efectuado una agrupación y se ha determinado la de mayor incidencia en el proceso de envasadora envasado de cilindros de 15 kg de GLP

Gráfico 5. Registro de Fallos - Espera - Retrasos Enero - junio de 2022

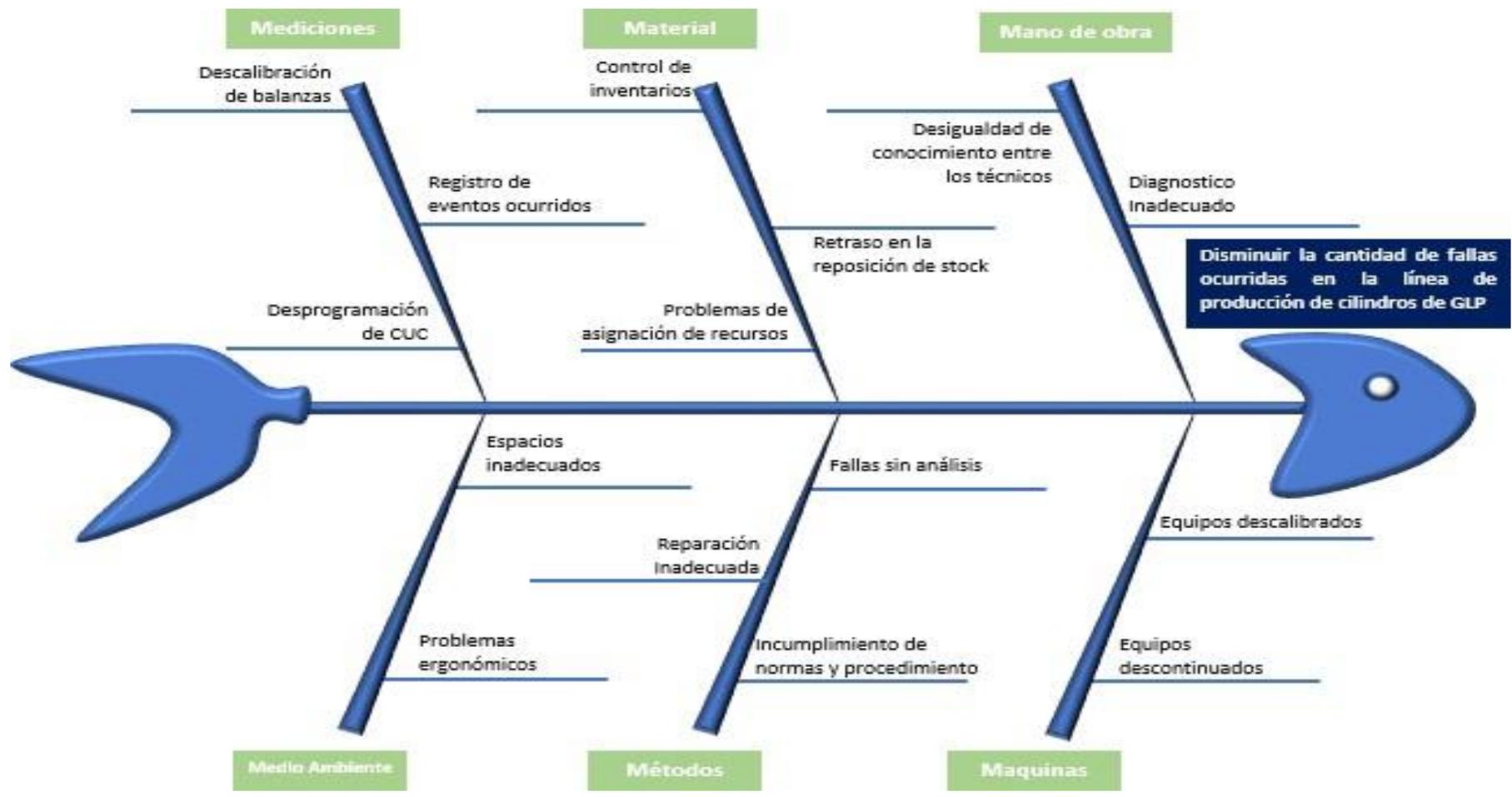


Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Diagrama de Ishikawa de baja productividad

Esta herramienta se utiliza para identificar, a través de posibles lluvias de ideas, problemas en cada etapa del proceso de despacho de la línea de envasado de cilindros de GLP. Esto se hizo en una reunión de trabajo entre el personal operativo y de mantenimiento y se tomó una decisión como se muestra en gráfico 6.

Gráfico 6. Diagrama de Ishikawa de baja productividad



Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Análisis de ineficiencia mecánica operacional

En el presente análisis diferenciaremos tres tipos de eficiencias relacionadas con las paradas internas, paradas externas y las paradas programadas. A continuación, se explicará la diferencia entre cada una de ellas:

Eficiencia de línea

La eficiencia de línea ($E_{línea}$), es el resultado obtenido al sustraer del total de tiempo operativo (t_{oper}), el tiempo atribuido como paradas internas ($tp.int$), entendiéndose por paradas internas aquellas que están imputadas en el sistema como paradas no operacionales ($tp.no\ oper$), y paradas operacionales ($tp.oper$).

$$E_{línea} = t_{oper} - tp.int$$

El tiempo atribuible como paradas no operacionales sumado con el tiempo que se imputa como parada operacional se conoce como paradas internas.

$$tp.int = tp.no\ oper - tp.oper$$

Se conoce como paradas no programadas aquellas que son consecuencia de fallas relacionadas a problemas eléctricos, Mecánicos, de automatización e instrumentación los cuales deben ser resueltos por técnicos de mantenimiento. Se conoce como paradas operacionales son aquellos eventos inherentes de la operación por los cuales el equipo deja de realizar una actividad productiva porque incurre en otra que lo inhabilita.

En donde se realizarán acciones orientadas a mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas. Tiene métricas que podemos cuantificar y evaluar objetivamente, este estudio se utiliza las siguientes métricas: Tiempo medio entre fallos (MTBF), Tiempo medio hasta haber reparado la avería (MTTR) e Índice de eficiencia global de equipos que son las más relevantes.

El mantenimiento habitualmente se define como “el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (García, 2003)

Variable dependiente (VD): Productividad

Quién será influenciado por los cambios realizados para aumentar la producción y reducir horas programadas. Para medir objetivamente la productividad de una planta de llenado de GLP, se debe determinar la eficiencia para determinar la productividad.

De acuerdo con el concepto de (Gutiérrez, 2010) *“la productividad tiene que ver con los resultados que se obtienen en un proceso o un sistema, por lo que incrementar la productividad es lograr mejores resultados considerando los recursos empleados para generarlos”*

Para (Prokopenko, 1989) *“La productividad es actualmente mucho más que la sola productividad del trabajo y debe tener en cuenta el aumento del costo de la energía y de las materias primas, junto con la mayor preocupación por el desempeño y la calidad de la vida de trabajo”*.

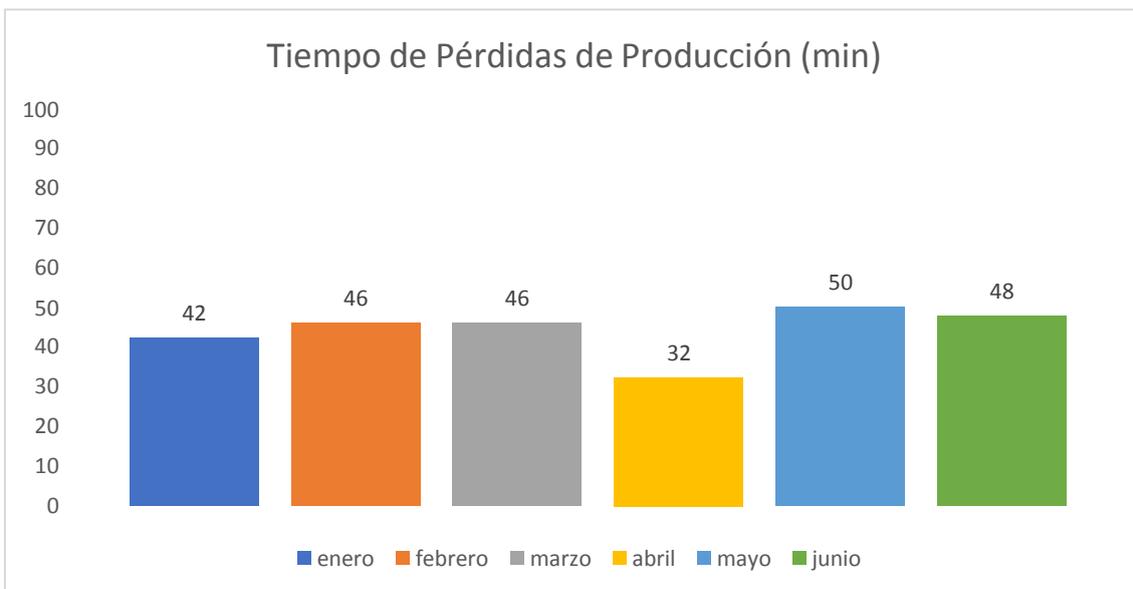
3.6. Cálculo de indicadores del sistema de mantenimiento

Como parte de la gestión del mantenimiento y el plan estratégico de empresarial, actualmente se están calculando una serie de indicadores a partir de los cuales analizaremos aquellos que guarden relación con el objeto del tema de investigación.

3.6.1. Pérdidas de Producción 2022

Este índice se refiere a las pérdidas de producción asociadas con los eventos de fallas de los equipos instalados en la línea de envasado de GLP, es decir, a los carruseles y todos sus componentes ubicados en la nave de envasado, componentes que se encuentran en estado de funcionamiento o en by-pass por algún motivo asociado a mantenimiento o falla funcional.

Gráfico 7. Indicador de pérdida de producción por fallas

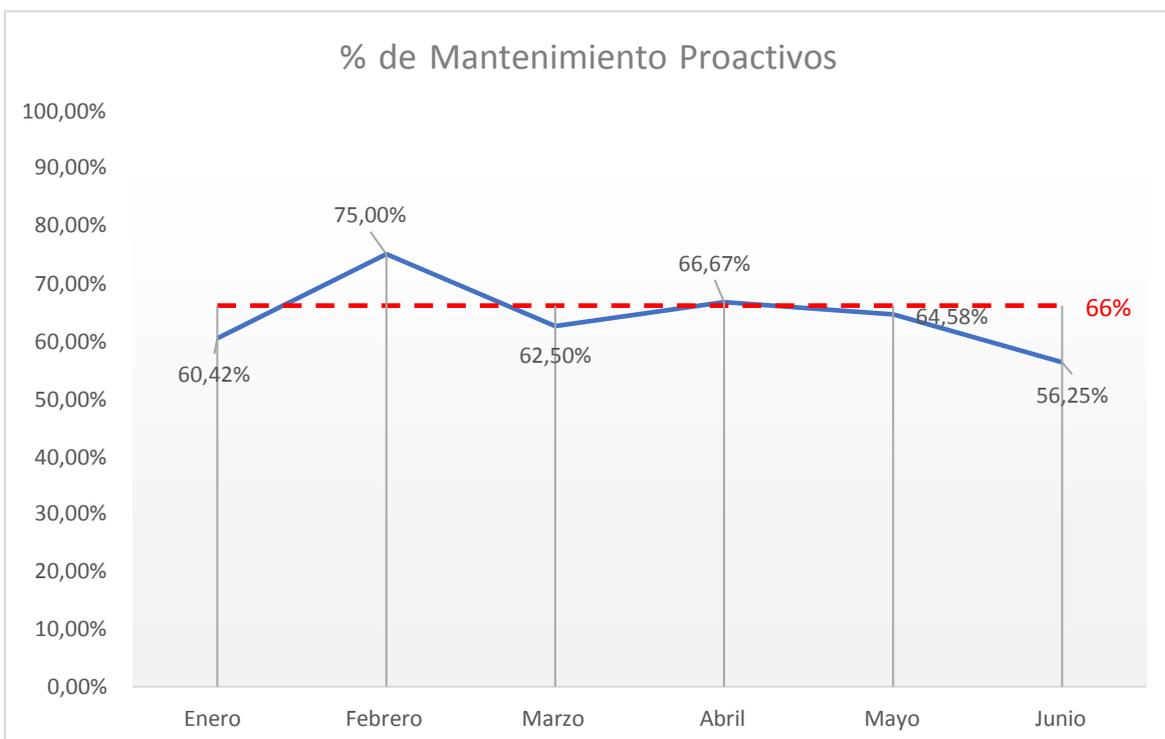


Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Porcentaje de mantenimientos proactivos

Este indicador es igual al número de mantenimientos efectuados para la línea de envasado de GLP en comparación con el número total de reparaciones realizadas en el primer semestre. La alta dirección fijó una meta del 66%.

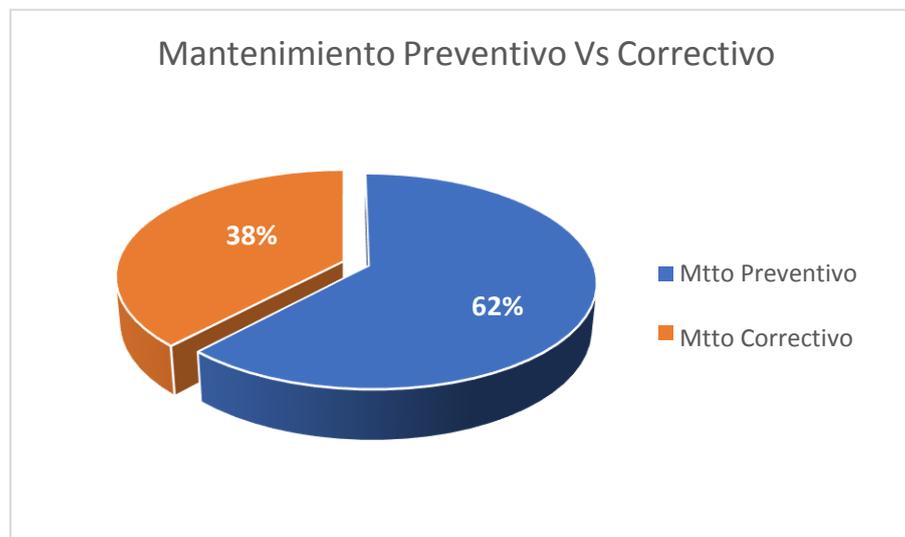
Gráfico 8. Indicador de Mantenimientos Proactivos



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Disponibilidad Operativa

Gráfico 9. Tareas de mantenimiento primer semestre 2022



Fuente: Elaboración propia

La Disponibilidad se muestra como indicador clave de desempeño, estos valores se calculan en base a las fórmulas estudiadas en el capítulo 2. En este caso, se indica que el 62% de los mantenimientos son preventivos y el 38% son correctivos. Si la mayoría de los mantenimientos son preventivos, es probable que se esté realizando un mantenimiento proactivo para evitar que ocurran fallas en la línea de producción. Esto debería tener un impacto positivo en la disponibilidad operativa, ya que se están tomando medidas para mantener el equipo en buen estado de funcionamiento y reducir la probabilidad de fallas.

Sin embargo, aunque la mayoría de los mantenimientos sean preventivos, el 32% de los mantenimientos son correctivos, lo que sugiere que todavía hay fallas en la línea de producción que requieren reparaciones. Esto puede afectar la disponibilidad operativa debido al tiempo de inactividad no planificado asociado con las reparaciones.

En consecuencia, aunque el 62% de los mantenimientos sean preventivos da una buena señal para la disponibilidad operativa de la línea de producción de cilindros de GLP de 15 kilogramos para uso doméstico. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquier mantenimiento correctivo o tiempo de inactividad no planificado puede tener un impacto negativo en la disponibilidad operativa. Por lo tanto, se deben seguir implementando prácticas de mantenimiento preventivo efectivas para reducir la frecuencia y duración de las fallas y maximizar la disponibilidad operativa de la línea de producción.

Tabla 11. Indicadores Técnicos de Mantenimiento primer semestre 2022

	HRS. OP	HRS. STOP	HRS. RES	TOTAL	No. Fallas	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
TPD 1	3968,38	13,62	3954,77		38,00	104,07	0,36	98,25%
RD Fallas	3966,53	15,47	3951,07		25,00	158,04	0,62	99,60%
DTF Fallas	3970,89	11,11	3959,79		38,00	104,20	0,29	98,57%
DTO Fallas	3977,51	4,49	3973,02		26,00	152,81	0,17	99,42%
TSD Fallas	3970,48	11,52	3958,97		13,00	304,54	0,89	99,71%
TSD Calibración	3957,83	24,17	3933,67		28,00	140,49	0,86	99,38%
TPD 2	3943,31	38,69	3904,61		40,00	97,62	0,97	99,00%
SGLP	3926,49	55,51	3870,99		36,00	107,53	1,54	85,72%
SEE	3973,03	8,98	3964,05		17,00	233,18	0,53	99,77%
SAC	3974,00	8,00	3966,00		11,00	360,55	0,73	99,82%
CR Fallas	3966,22	15,78	3950,43		37,00	106,77	0,43	97,97%
BZ Fallas	3948,10	33,90	3914,20		82,00	47,73	0,41	91,28%
CR Calibración	3974,95	7,05	3967,89		37,00	107,24	0,19	99,09%
BZ Calibración	3965,66	16,34	3949,32		80,00	49,37	0,20	97,90%

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Análisis de Fiabilidad

Para analizar la fiabilidad de la línea de producción de cilindros de GLP de 15 kilogramos para uso doméstico, es necesario utilizar los datos de los tiempos de fallos y los tiempos de operación.

Tabla 12. Datos tiempos de operación y reparación

Tiempos fallos horas						
3,41	3,25	1,47	1,82	2,87	0,79	
0,53	2,42	2,92	5,25	3,60	0,75	
1,99	3,01	2,52	0,77	1,82	0,99	
1,16	1,18	0,82	0,82	0,38	0,12	
1,33	0,75	0,75	0,10	5,80	2,78	
2,00	2,33	4,17	6,17	3,67	5,83	
7,18	10,51	3,70	0,50	7,85	8,95	
10,65	7,55	10,99	6,15	8,25	11,91	
1,65	1,80	1,65	0,73	1,47	1,68	
1,99	2,03	1,78	0,50	1,10	0,60	
2,32	2,57	5,33	0,31	2,51	2,73	
6,66	5,90	4,24	5,17	7,07	4,86	
0,55	1,32	1,76	0,27	1,55	1,62	
0,65	1,44	3,69	4,40	1,55	4,60	
Horas de operación antes de la falla						
678,59	612,75	680,53	658,18	679,13	659,21	
681,47	613,58	679,08	654,75	678,40	659,25	

680,01	612,99	679,48	659,23	680,18	659,01
680,84	614,82	681,18	659,18	681,62	659,88
680,67	615,25	681,25	659,90	676,20	657,22
680,00	613,67	677,83	653,83	678,33	654,17
674,82	605,49	678,30	659,50	674,15	651,05
671,35	608,45	671,01	653,85	673,75	648,09
680,35	614,20	680,35	659,28	680,53	658,32
680,01	613,97	680,22	659,50	680,90	659,40
679,68	613,43	676,67	659,69	679,49	657,27
675,34	610,10	677,76	654,83	674,93	655,14
681,45	614,68	680,24	659,73	680,45	658,38
681,35	614,56	678,31	655,60	680,45	655,40

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos, se puede calcular la tasa de fallas, que es el número de fallas por unidad de tiempo. En este caso, la tasa de fallas es de 0.0324 fallas por hora, lo que significa que se espera una falla cada 30.86 horas.

También se puede calcular la fiabilidad utilizando herramientas estadísticas como el MINITAB, que mediante la aplicación del análisis de modelo distribución se puede determinar y estimar la ocurrencia de fallas.

Al integrar cálculos de confiabilidad, el MTBF con análisis de disponibilidad nos permite obtener una visión holística de la función de mantenimiento, facilita y respalda las decisiones técnicas y financieras relacionadas con la propiedad.

Desde el punto de vista de la gestión de activos de producción y la confiabilidad nos permite administrar una estructura que requiere de mucho tiempo, lo que conlleva a maximizar la eficiencia de la utilización de activos.

3.6.4.1. Identificación del mejor Modelo de Distribución

Es importante destacar que la elección de un modelo de distribución adecuado es fundamental para poder aplicar técnicas de mantenimiento efectivas en los equipos instalados en la línea de distribución de GLP.

Por ello, para la identificación del mejor modelo de distribución se utilizó el software Minitab, que por medio de la función "Distribución ID" que proporciona este software se describe su identificación basado en los datos proporcionados y la teoría estadística para adaptarse a los diferentes modelos de distribución existentes.

Con base a los datos de “*Horas de operación antes de la falla*” referidos en el punto 3.6.4. *Análisis de Fiabilidad*, encontraremos la estadística de calidad adecuada que nos permitirá decidir qué modelo de distribución escoger. Haciendo la demostración obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 13. Bondad de ajuste

Distribución	Anderson-Darling (ajust.)
Weibull	3,678
Lognormal	5,132
Exponencial	34,506
Normal	4,833

Fuente: Elaboración generada por Minitab

Para seleccionar el mejor modelo de distribución para la gestión del mantenimiento, debemos considerar los valores de la estadística Anderson-Darling (A-D) para cada modelo. La estadística de Anderson-Darling se utiliza para medir la bondad de ajuste de un modelo de distribución a un conjunto de datos. Los valores más bajos de la estadística A-D indican un mejor ajuste del modelo a los datos.

De los datos presentados, podemos observar que la distribución Weibull tiene el valor más bajo de la estadística A-D (3,678). Por lo tanto, podemos concluir que la distribución Weibull es el mejor modelo de distribución para aplicar a la gestión del mantenimiento.

Tabla 14. Percentiles

Distribución	Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC normal de 95%	
				Inferior	Superior
Weibull	1	561,122	9,68013	542,466	580,419
Lognormal	1	568,180	6,64187	555,310	581,348
Exponencial	1	6,50955	0,710250	5,25626	8,06166
Normal	1	566,846	7,29975	552,539	581,153
Weibull	5	595,053	7,09493	581,308	609,122
Lognormal	5	590,144	5,49671	579,468	601,016
Exponencial	5	33,2224	3,62486	26,8261	41,1438
Normal	5	590,530	5,81632	579,130	601,930
Weibull	10	610,684	5,89109	599,246	622,340
Lognormal	10	602,197	4,93482	592,602	611,947
Exponencial	10	68,2414	7,44575	55,1029	84,5127

Normal	10	603,156	5,11724	593,127	613,186
Weibull	50	653,562	3,01165	647,686	659,492
Lognormal	50	646,717	3,92708	639,065	654,460
Exponencial	50	448,948	48,9842	362,512	555,993
Normal	50	647,695	3,79191	640,263	655,127

Fuente: Elaboración generada por Minitab

Tabla 15. Datos de MTBF

Distribución	Media	Error estándar	IC normal de 95%	
			Inferior	Superior
Weibull	649,301	3,1813	643,096	655,567
Lognormal	647,719	3,9362	640,050	655,480
Exponencial	647,695	70,6693	522,994	802,128
Normal	647,695	3,7919	640,263	655,127

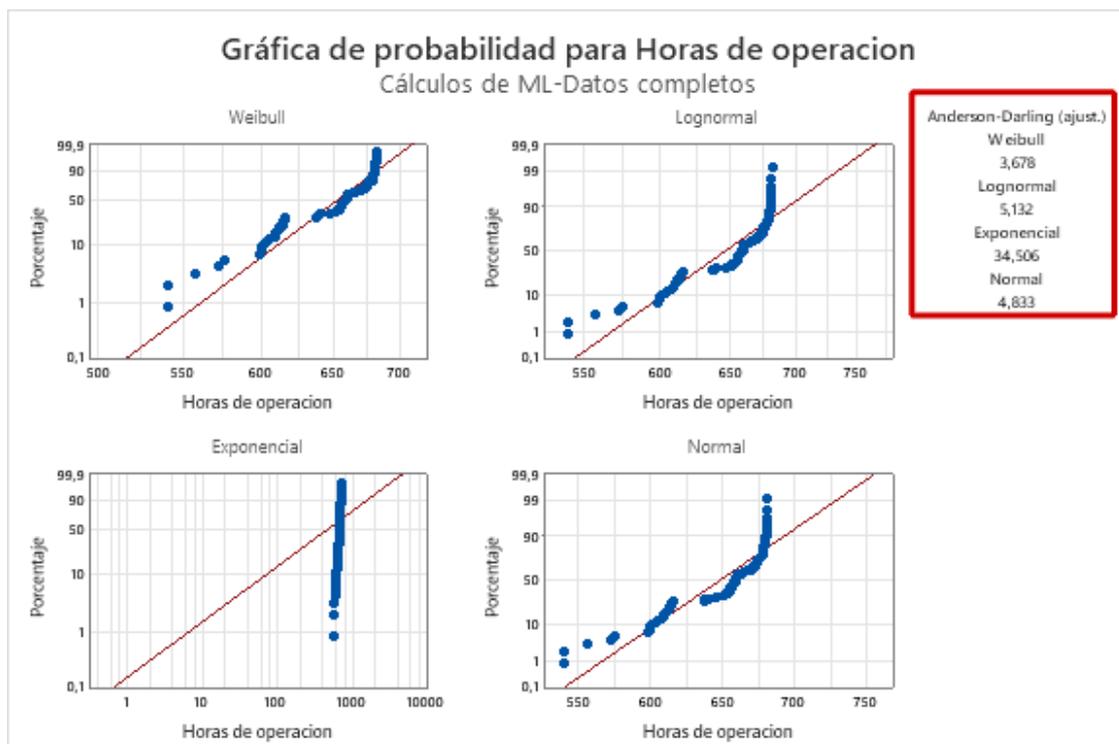
Fuente: Elaboración generada por Minitab

Después de completar el análisis de distribución en Minitab, es posible ver que el modelo de distribución recomendado para el análisis de los datos es la distribución de Weibull, porque proporciona un mejor ajuste a los datos que otros modelos de distribución, como la distribución exponencial.

Es crucial tener en cuenta que elegir el modelo de distribución correcto es esencial para utilizar técnicas de mantenimiento efectivas en maquinaria industrial. Con una distribución de Weibull, se pueden calcular los parámetros de la distribución, como el parámetro de forma y escala, y usarlos para predecir la probabilidad de falla y programar el mantenimiento preventivo.

Como resultado, se recomienda utilizar la distribución de Weibull para modelar el tiempo entre fallas de los componentes de las máquinas de las líneas de envasado de GLP y usar esta información para aplicar técnicas de mantenimiento efectivas para mantener la disponibilidad en niveles aceptables.

Gráfico 10. Definición de modelo de fiabilidad



Fuente: Elaboración generada por Minitab

Por otra parte, al realizar un análisis gráfico de probabilidad y verificar los datos estadísticos de Anderson-Darling para los modelos de distribución normal, exponencial, Weibull y lognormal, se puede concluir lo siguiente:

- Normal: el gráfico de distribución de probabilidad muestra que los datos no se ajustan a una distribución normal. Además, el valor del estadístico de Anderson-Darling es significativo, lo que implica que la distribución estándar es insuficiente para modelar los datos.
- Weibull: el gráfico de probabilidad de Weibull muestra que los datos se ajustan razonablemente bien a una distribución de Weibull. Al mismo tiempo, el valor de la estadística de Anderson-Darling es insignificante, lo que implica que la distribución de Weibull es adecuada para modelar los datos.
- Lognormal: el gráfico de probabilidad lognormal muestra que los datos no se ajustan a una distribución lognormal, por lo que el valor de la estadística de Anderson-Darling es significativo, esto implica que la distribución lognormal es insuficiente para modelar los datos.

En base a estos resultados, se podría concluir que la distribución Weibull es la que mejor

se ajusta a los datos y, por lo tanto, es la distribución recomendada para la gestión del mantenimiento. Las recomendaciones para la aplicación de técnicas de mantenimiento podrían incluir:

Con base en estos resultados obtenidos, se podría sacar la conclusión de que la distribución de Weibull se ajusta mejor a los datos y, por lo tanto, es la recomendable para la gestión del mantenimiento.

3.6.4.2. Análisis paramétrico

Para realizar un análisis paramétrico tomamos el modelo de distribución Weibull, según el ploteo de probabilidades se determina que el valor de forma $\beta = 27,76$ y el valor de la escala $\eta = 662,24$ con la ocurrencia de fallas con un intervalo de confianza de 90%. Con los valores mencionados se determina la probabilidad de falla, es decir, que a las 662,24 horas de funcionalidad existen probabilidad de fallas aproximada al 65%.

Gráfico 11. Probabilidad de fallas en la operación



Fuente: Elaboración generada por Minitab

3.6.4.3. Disponibilidad de la línea de envasado de GLP

Los tiempos de operación de la línea de GLP brindan información valiosa para la gestión del mantenimiento. Estos datos provienen de la tasa de fallo y los tiempos de vida de los

activos. En particular, el valor del parámetro de forma señala que la tasa de fallas disminuye a medida que aumenta el tiempo de operación. Esto sugiere que la disponibilidad puede prolongarse si se someten a un adecuado mantenimiento preventivo.

Adicionalmente, el valor del parámetro de escala indica la magnitud de los tiempos de vida de los activos, lo que puede ser útil para planificar las tareas de mantenimiento y programar las paradas de producción para minimizar el impacto en la productividad.

Tabla 16. Características de distribución

	Estimación	Error estándar	IC normal de 90,0%	
			Inferior	Superior
Media (MTTF)	649,301	3,18134	644,089	654,555
Desviación estándar	29,2549	2,61205	25,2591	33,8829
Mediana	653,562	3,01165	648,627	658,535
Primer cuartil(Q1)	633,184	4,22645	626,270	640,174
Tercer cuartil(Q3)	670,086	2,63379	665,767	674,432
Rango intercuartil (IQR)	36,9015	3,38611	31,7318	42,9135

Fuente: Elaboración generada por Minitab

En general, el análisis de la distribución de horas de funcionamiento en la línea de distribución de GLP proporciona información valiosa para la Optimización del Mantenimiento Planeado y con ello mejorar la disponibilidad de la línea de producción, mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la operación.

Tabla 17. Tabla de percentiles disponibilidad de envasado

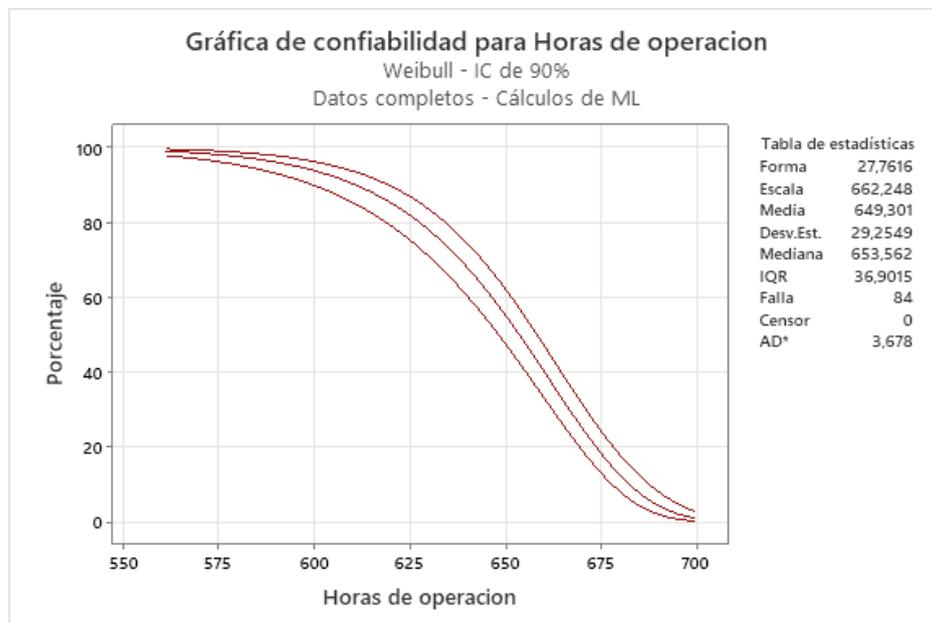
Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC normal de 90,0%	
			Inferior	Superior
1	561,122	9,68013	545,423	577,272
2	575,413	8,60246	561,436	589,738
3	583,986	7,94711	571,059	597,205
4	590,179	7,47084	578,017	602,596
5	595,053	7,09493	583,496	606,838
6	599,087	6,78356	588,032	610,349
7	602,537	6,51734	591,912	613,353
8	605,559	6,28456	595,309	615,985
9	608,251	6,07756	598,336	618,331
10	610,684	5,89109	601,070	620,451
20	627,416	4,63689	619,836	635,090
30	638,106	3,89209	631,736	644,540
40	646,416	3,37767	640,884	651,996
50	653,562	3,01165	648,627	658,535
60	660,166	2,76714	655,630	664,733
70	666,691	2,64385	662,356	671,054

80	673,698	2,66569	669,327	678,097
90	682,445	2,91570	677,666	687,258
91	683,546	2,96272	678,690	688,437
92	684,723	3,01637	679,779	689,702
93	685,995	3,07811	680,950	691,077
94	687,389	3,15001	682,227	692,589
95	688,945	3,23522	683,644	694,287
96	690,730	3,33892	685,260	696,244
97	692,863	3,47049	687,178	698,595
98	695,600	3,65025	689,621	701,630
99	699,699	3,93959	693,249	706,209

Fuente: Elaboración generada por Minitab

Teniendo en cuenta el intervalo de confianza del 90%, es posible tener un mayor nivel de confianza al interpretar los percentiles de la tabla, porque se garantiza que el intervalo de confianza de los percentiles está dentro de los límites establecidos. En este caso, la tabla proporciona información sobre los valores extremos, la dispersión, la tendencia central de los datos y además hace referencia a los datos de las horas de operación de la línea de envasado de GLP, ajustados a la distribución Weibull.

Gráfico 12. Confiabilidad del sistema



Fuente: Elaboración generada por Minitab

La gráfica de confiabilidad (también conocida como curva de vida) proporciona información valiosa sobre la disponibilidad de los activos basados en los datos de las horas de operación de la línea de envasado de GLP.

En este caso, la gráfica de confiabilidad se basa en la distribución Weibull ajustada a los datos de las horas de operación de la línea de envasado de GLP.

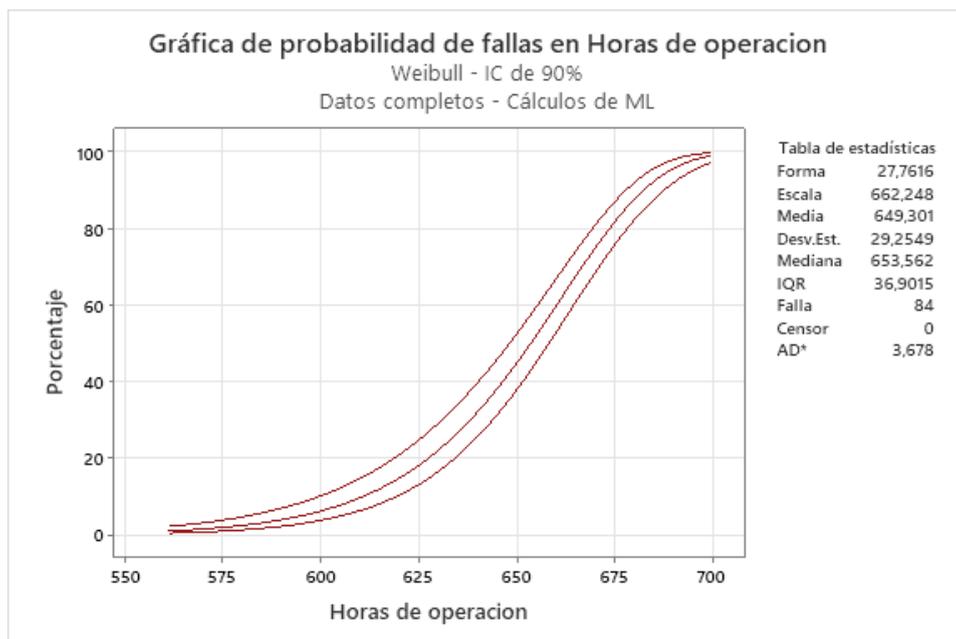
Tabla 18. Intervalos de confianza en la operación

Horas de operacion	Porcentaje	IC de 90%	
		Límite inferior	Límite superior
565	98,7905	97,4345	99,4319
573	98,2183	96,4438	99,1114
581	97,3927	95,1008	98,6202
589	96,2118	93,2949	97,8741
597	94,5385	90,8891	96,7521
605	92,1943	87,7196	95,0839
613	88,9553	83,5992	92,6386
621	84,5569	78,3295	89,1183
629	78,7163	71,7251	84,1692
637	71,1839	63,6567	77,4300
645	61,8380	54,1154	68,6442
653	50,8248	43,3040	57,8517
661	38,7131	31,7561	45,6071
669	26,5729	20,4706	33,0453
677	15,8273	10,8986	21,5857
685	7,77500	4,38985	12,4038
693	2,94285	1,18640	6,06003
701	0,783709	0,182365	2,40426
709	0,130126	0,0126731	0,729995
717	0,0114755	0,0002893	0,157350

Fuente: Elaboración generada por Minitab

Los intervalos de confianza muestran los límites de confianza superior e inferior de la gráfica de confiabilidad. Estos límites representan el intervalo de confianza de la curva de vida, que indica la precisión de la estimación de la confiabilidad del activo a lo largo del tiempo. En general, cuanto más amplio sea el intervalo de confianza, menor será la precisión de la estimación.

Gráfico 13. Fallas acumuladas



Fuente: Elaboración generada por Minitab

Tabla 19. Intervalos de confianza de probabilidad de fallas

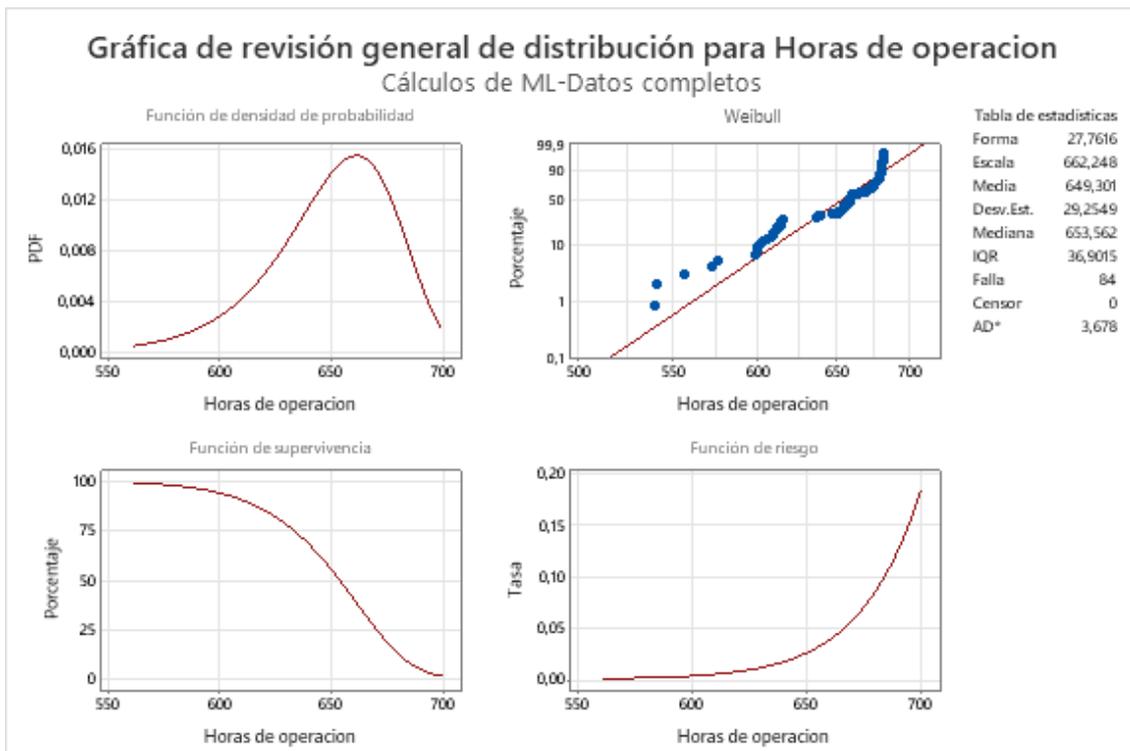
Horas de operacion	Porcentaje	IC de 90%	
		Límite inferior	Límite superior
565	1,20945	0,568080	2,56553
573	1,78175	0,888649	3,55617
581	2,60728	1,37982	4,89918
589	3,78820	2,12586	6,70512
597	5,46147	3,24793	9,11087
605	7,80567	4,91614	12,2804
613	11,0447	7,36143	16,4008
621	15,4431	10,8817	21,6705
629	21,2837	15,8308	28,2749
637	28,8161	22,5700	36,3433
645	38,1620	31,3558	45,8846
653	49,1752	42,1483	56,6960
661	61,2869	54,3929	68,2439
669	73,4271	66,9547	79,5294
677	84,1727	78,4143	89,1014
685	92,2250	87,5962	95,6102
693	97,0572	93,9400	98,8136
701	99,2163	97,5957	99,8176
709	99,8699	99,2700	99,9873
717	99,9885	99,8426	100,000

Fuente: Elaboración generada por Minitab

Estas gráficas pueden ayudar a identificar patrones de fallas y a planificar el mantenimiento adecuado. Si se observa un aumento abrupto en la tasa de fallas, puede ser una señal de que se requiere un mantenimiento correctivo inmediato. Si se observa un aumento gradual en la tasa de fallas, puede ser una señal de que se requiere un mantenimiento preventivo y predictivo para evitar fallas catastróficas. La interpretación de los intervalos de confianza también es importante para comprender la precisión de la estimación de la probabilidad de fallas y para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la sustitución de los activos.

De igual manera nos permite observar los gráficos de densidad de probabilidad, función de confiabilidad y función de riesgo

Gráfico 14. Probabilidad, confiabilidad y función de riesgo



Fuente: Elaboración generada por Minitab

Al integrar el cálculo de la Confiabilidad, el MTBF, con el análisis de Disponibilidad Operacional, nos permite tener una visión holística de la función mantenimiento, lo que facilita y soporta las decisiones de carácter técnico y financiero sobre los activos.

Desde la perspectiva Gestión del Activo Productivo, la confiabilidad nos permite realizar una gestión en la estructura de pérdidas de tiempo, permitiendo maximizar la efectividad del activo.

3.6.5. Análisis Jack Knife Mantenimiento

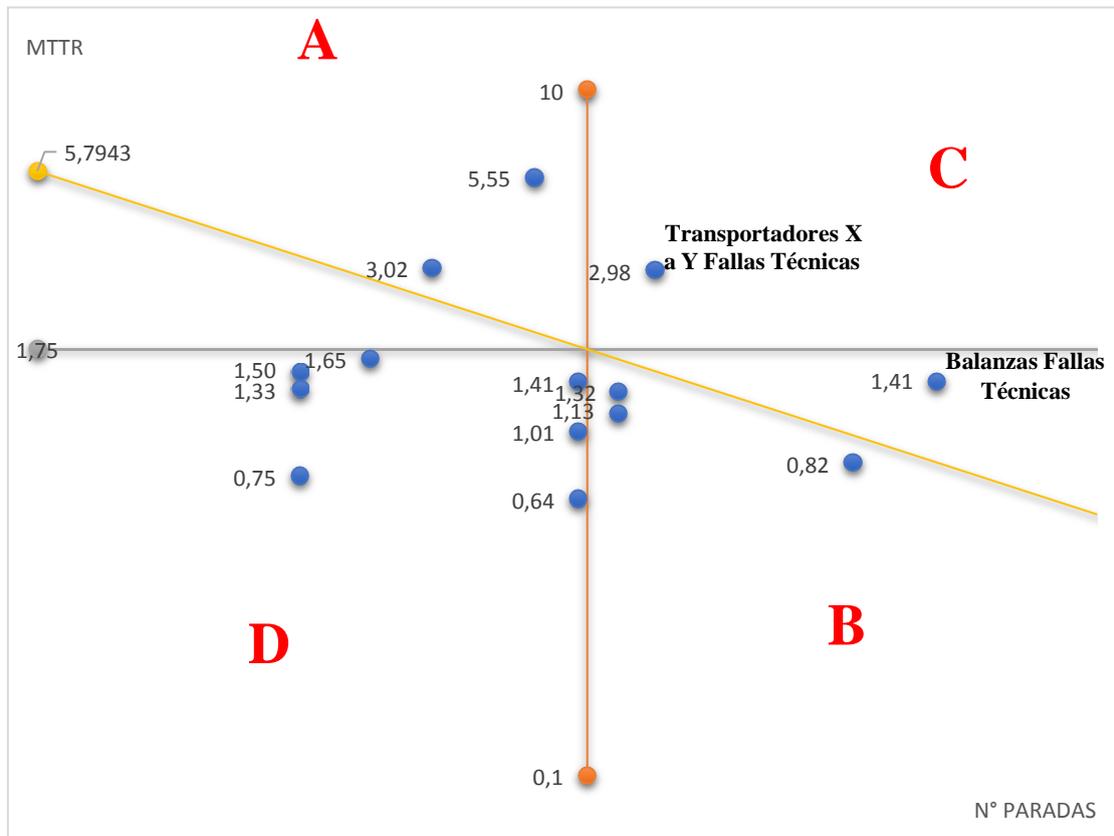
Jack Knife es una herramienta de mantenimiento diseñada para priorizar el mantenimiento. Básicamente es un gráfico de dispersión donde los puntos se trazan en función de 2 parámetros; tiempo de permanencia (Y) y número de paradas (X), este análisis ayuda a identificar oportunidades de mejora.

Se consideraron todas las fallas encontradas en el cuadrante agudo-crónico porque indicaron que eran las más severas, tenían una mayor persistencia y tenían una mayor tasa de recurrencia.

Los equipos de la línea de producción de empaques de tanques de GLP se analizarán

utilizando la base de datos de enero a junio de 2022 para identificar las fallas típicas de los equipos.

Gráfico 15. Jack Knife fallas en línea de envasado GLP



Fuente: Elaboración generada por Minitab

Del gráfico podemos notar que solo existe un punto (Transportadores X a Y Fallas Técnicas) en el cuadrante C, que es considerado el más crítico. Los dos puntos en el cuadrante A son fallas agudas y están sobre la curva de indisponibilidad. El Punto Balanzas Fallas Técnicas es una falla crónica, y también se encuentra sobre la curva de indisponibilidad. Los otros puntos del cuadrante B también son fallas crónicas y están muy cercanas a la curva de indisponibilidad. El resto de los puntos se encuentran muy cercanos o dentro del cuadrante D por lo que se les considera como fallas bajo control.

Tabla 20. Calculo del OEE

Información de producción semestral en Carruseles Envasado		
Turno	3.982	horas
Comida	10.860	Minutos
Descanso 1	5.430	Minutos
Descanso 2	5.430	Minutos
Descanso 3		Minutos
Tiempos Muertos	10.860	Minutos
Velocidad Ideal	46	Piezas/Minuto
Piezas Totales Producidas	8.977.718	Piezas
Piezas no Conformes	635.607	Piezas

"Tiempos no planeados de Producción"

"Velocidad máxima de la máquina o celda a medir. Esta velocidad la da el fabricante y no debe confundirse con la velocidad esperada"

Cálculos		
Tiempo Planeado Producción:	3.620,00	horas
Tiempo Operativo:	3.439,00	horas
Piezas Buenas:	8.342.110,97	Piezas

Estas 3.620,00 horas es el tiempo del semestre menos el tiempo de comida y descansos.

'Estas 3.439,00 horas corresponde a las horas de producción menos los Minutos de tiempos muerto"

Cálculos del OEE		
Disponibilidad:	95,0%	
Desempeño:	94,6%	
Calidad:	92,9%	
OEE:	83,5%	

Comparativa OEE		
	Clase Mundial	Mi OEE
Disponibilidad:	98,0%	95,0%
Desempeño:	95,0%	94,6%
Calidad:	99,9%	92,9%
OEE:	85,0%	83,5%

Fuente: Elaboración propia

4. Propuesta de Optimización del Mantenimiento Planificado

El propósito de este capítulo es desarrollar la formulación para mejorar los planes de mantenimiento centrándose en el tiempo de inactividad crítico que ha ocurrido durante los últimos seis meses para mejorar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento.

Una vez identificadas las fallas sistema de envasado de cilindros de GLP (ver capítulo anterior), se aplica el método de optimización del mantenimiento planificado de la PMO, el cual consta de 7 pasos, a saber:

Figura 31. Paso para la implementación del PMO



Fuente: Elaboración propia

El análisis se lo realizara hasta el paso 7, dado que los siguientes pasos 8 y 9 debería efectuárselo en la implementación en la empresa.

4.1. Recopilación de Tareas

Se han recopilado las tareas de mantenimiento realizadas a los equipos, tanto formales como informales, esto tiene como objetivo seleccionar toda la información relacionada

con todas las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y rutinario también realizadas por el equipo de investigación para un análisis particular.

Para la recolección de las tareas se consideraron los siguientes pasos, los cuales luego del análisis serán optimizados.

- ✓ Se recopilan y analizan las actividades de mantenimiento formales e informales realizadas por el personal de mantenimiento.
- ✓ Tareas de mantenimiento realizadas por el personal operativo.
- ✓ Las tareas de mantenimiento se recopilan en un formato único en un documento común.
- ✓ El personal de mantenimiento y la frecuencia deben ser los mismos para cada trabajo.
- ✓ El tipo de tarea está totalmente definido.

Tabla 21. Tareas de mantenimiento extraídas del sistema MAXIMO

ÍTEM	SECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE TAREA
1	Carrusel	Revisión de desgaste, centrado y ajuste de balanza llenadora centrado
2		Revisión de desgaste y ajuste de parte baja de balanza
3		Revisión de desgaste y cambio si es necesario de cauchos de amortiguación
4		Revisión de desgaste y ajuste de perno de ajuste o pata de balanza
5		Revisión, ajuste o alineación de celda de carga
6		Revisión y ajuste de caja de conexión de celda de carga
7		Revisión de desgaste, mantenimiento y ajuste de actuadores (stop valve)
8		Alineación y nivelación de balanza con respecto a la entrada y salida (Separación)
9		Alineación y nivelación de balanza con respecto a la entrada y salida (Altura)
10		Alineación de cabezal con respecto al cilindro o tanque
11		Calibración y balanceo de balanza llenadora
12		Revisión de desgaste y ajuste de mangueras de GLP
13		Revisión y ajuste de sistema neumático
14		Revisión de desgaste, fugas y ajuste de cilindro neumático de cabezal
15		Revisión de desgaste, fugas y ajuste de cilindro neumático de centrador
16		Revisión de desgaste y ajuste de racores
17		Revisión de desgaste, fugas y ajuste de mangueras neumáticas
18		Revisión de desgaste, fugas y ajuste de tuberías
19		Limpieza y lubricación de bases de conexión de electroválvulas
20		Revisión de filtro en unidades de mantenimiento
21		Revisión y ajuste de contacto de sistema eléctrico
22		Revisión de cableado de poder y comunicación

23		Revisión, ajuste de tornillos y limpieza de caja de conexión
24		Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX
25		Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de balanzas y eje central
26		Medición de continuidad desde fuente a eje central
27		Calibración y alineación de sensor reflectivo
28		Calibración y operación de electroválvulas, cilindros neumáticos por medio del CUC
29		Revisión de desgaste, mantenimiento y ajuste de partes de cabezal de llenado
30		Revisión de desgaste y ajuste-alineación cuchillas elevadoras de repesado
31		Revisión de desgaste y ajuste de cauchos de amortiguación
32		Revisión de desgaste y ajuste de bocines de elevación
33		Revisión de desgaste y ajuste-lubricación de Cilindro neumático
34		Revisión de desgaste y ajuste de placas de teflón y pernería
35		Revisión de cableado de poder y comunicación del equipo de repesado
36		Revisión de sensores fotoeléctricos difusos, reflectivos y cajas de unión
37		Revisión y limpieza de fuente de poder
38		Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX
39		Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores
40		Limpieza y lubricación de bases de conexión y electroválvulas en tablero electro neumático.
41	Repesadora	Ajuste, limpieza y lubricación de regletas de entradas/salidas
42		Revisión y ajuste de conectores
43		Revisión y ajuste de silenciadores, racores, uniones y cajas de unión
44		Revisión de filtro en unidades de mantenimiento
45		Revisión de fugas de aire
46		Revisión de manómetros
47		Revisión de válvula reguladora
48		Revisión de válvula ON/OFF
49		Limpieza exterior y hermeticidad del panel
50		Calibración y alineación de sensores por medio del CUC
51		Calibración y operación de electroválvulas y cilindros neumáticos por medio del CUC.
52		Revisión de CUC y limpieza externa
53		Revisión y limpieza del teclado
54		Revisión del botón paro/marcha
55	Revisión y limpieza del display	
56	Revisión condiciones del cableado, efectuar mantenimiento de ser necesario	
57	Salida de Carrusel	Limpieza del Sistema Electrónico y Neumático
58		Revisión y limpieza de unidad de mantenimiento
59		Revisión y limpieza de Bloque de válvulas
60		Revisión y limpieza de silenciadores.
61		Revisión y limpieza de regulador de A/C para presión piloto.
62		Revisión y limpieza de presostato.

63	Entrada a Carrusel	Revisión, limpieza y calibración de electroválvulas.
64		Revisión, limpieza y calibración de actuadores neumáticos.
65		Limpieza del Sistema Electrónico, Neumático e Hidráulico.
66		Revisión y limpieza de unidad de mantenimiento.
67		Revisión y limpieza de Bloque de válvulas.
68		Revisión y limpieza de silenciadores.
69		Revisión y limpieza de regulador de A/C para presión piloto.
70		Revisión y limpieza de presostato
71		Revisión, limpieza y calibración de electroválvulas
72		Revisión, limpieza y calibración de actuadores neumáticos
73		Revisión, limpieza y calibración de válvulas de escape rápido
74		Revisión, limpieza y calibración de válvula hidráulica
75		Revisión y limpieza de motor hidráulico
76		Verificación de fugas a través de mangueras, racores uniones y demás accesorios
77	Revisión, alineación y ajuste-lubricación de los 4 ejes de centrado.	
78	Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático para centrado.	
79	Revisión y ajuste-lubricación de bloque guía y ejes guías.	
80	Revisión y ajuste-lubricación de base y acople del cilindro Neumático	
81	Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático capuchón	
82	Revisión, calibración y ajuste de rodillos de cilindro neumático de parada	
83	Revisión, limpieza y ajuste de bocines de bronce.	
84	Revisión, calibración y ajuste de ejes.	
85	Revisión, calibración y ajuste de sujetadores	
86	Revisión, ajuste de base, estructura de soporte, tornillería, tuercas y arandelas.	
87	Revisión y ajuste de cabezal de censado	
88	Revisión y ajuste de mangueras neumáticas y acoples	
89	Revisión de condiciones del cableado de poder y comunicación del equipo	
90	Revisión de condiciones de sensores fotoeléctricos y cajas de unión	
91	Revisión de condiciones de sensor inductivo o presostato	
92	Revisión y limpieza de fuente de poder	
93	Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX.	
94	Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores	
95	Revisión, alineación y ajuste-lubricación de los 4 ejes de centrado	
96	Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático para centrado	
97	Revisión y ajuste-lubricación de bloque guía y ejes guías.	
98	Revisión y ajuste-lubricación de base y acople del cilindro Neumático	
99	Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático capuchón	
100	Revisión, calibración y ajuste de rodillos de cilindro neumático de parada	
101	Revisión, limpieza y ajuste de bocines de bronce.	
102	Revisión, calibración y ajuste de ejes.	
103	Revisión, calibración y ajuste de sujetadores	
104	Revisión, ajuste de base, estructura de soporte, tornillería, tuercas y arandelas	

105	Termoselladora	Revisión y ajuste de cabezal de censado
106		Revisión y ajuste de mangueras neumáticas y acoples
107		Revisión de condiciones del cableado de poder y comunicación del equipo
108		Revisión de condiciones de sensores fotoeléctricos y cajas de unión
109		Revisión de condiciones de sensor inductivo o presostato
110		Revisión y limpieza de fuente de poder
111		Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX
112		Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores
113		Verificación de condiciones de funcionamiento de cabezal de comprobación de cauchos
114		Calibración de interruptores de presión
115		Revisión de transmisor de presión
116		Revisión y ajuste de bornes, contactores y cables.
117		Revisión, limpieza y cambio de filtros.
118		Revisión y ajuste, lubricación de frenos de la termoselladora
119	Revisión fuga, ajuste y lubricación de válvulas de frenos	
120	Revisión ajuste y cambio de electroválvulas y bobinas en caso de fallas	
121	Revisión, calibración y seteo del dispositivo de seguridad	
122	Revisión y cambio de contactor de resistencia en el sistema eléctrico	

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis de modos de falla (FMA)

El objetivo del segundo paso del PMO es determinar para cada tarea el modo de falla que intenta prevenir o detectar

Tabla 22. Modos de Fallas PMO

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Tarea 1	Diario	Operador	Fallo A
Tarea 2	Diario	Operador	Fallo B
Tarea 3	6 meses	Mecánico	Fallo C
Tarea 4	6 meses	Mecánico	Fallo A
Tarea 5	Anual	Eléctrico	Fallo B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Identificación de modos de falla - Carrusel

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Revisión de desgaste, centrado y ajuste de balanza llenadora	48	Mecánico	Desalineación
Revisión de desgaste y ajuste de parte baja de balanza	12	Mecánico	Inestabilidad
Revisión de desgaste y cambio si es necesario de cauchos de amortiguación	12	Mecánico	Vibración excesiva
Revisión de desgaste y ajuste de perno de ajuste o pata de balanza	24	Mecánico	Desalineación
Revisión, ajuste o alineación de celda de carga	4	Eléctrico	Error de medición
Revisión y ajuste de caja de conexión de celda de carga	4	Eléctrico	Error de medición
Revisión de desgaste, mantenimiento y ajuste de actuadores (stop valve)	3	Mecánico	Fuga de gas, sobrepresión
Alineación y nivelación de balanza con respecto a la entrada y salida (Separación)	6	Mecánico	Desnivelación
Alineación y nivelación de balanza con respecto a la entrada y salida (Altura)	6	Mecánico	Desnivelación
Alineación de cabezal con respecto al cilindro o tanque	12	Mecánico	Desalineación
Calibración y balanceo de balanza llenadora	12	Mecánico	Error de llenado
Revisión de desgaste y ajuste de mangueras de GLP	3	Mecánico	Fuga de gas
Revisión y ajuste de sistema neumático	2	Mecánico	Fuga de aire, Presencia de condesado
Revisión de desgaste, fugas y ajuste de cilindro neumático de cabezal	4	Mecánico	Falla en cilindro, fuga de aire, desalineación
Revisión de desgaste, fugas y ajuste de cilindro neumático de centrador	4	Mecánico	Falla en cilindro, fuga de aire, desalineación
Revisión de desgaste y ajuste de racores	4	Eléctrico	Fuga de aire
Revisión de desgaste, fugas y ajuste de mangueras neumáticas	4	Eléctrico	Fuga de aire
Revisión de desgaste, fugas y ajuste de tuberías	2	Mecánico	Fuga de aire
Limpieza y lubricación de bases de conexión de electroválvulas	4	Eléctrico	Perdida de accionamiento
Revisión de filtro en unidades de mantenimiento	4	Eléctrico	Obstrucción del flujo de aire
Revisión y ajuste de contacto de sistema eléctrico	4	Eléctrico	Falla de suministro eléctrico
Revisión de cableado de poder y comunicación	4	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación

Revisión, ajuste de tornillos y limpieza de caja de conexión	4	Mecánico	Fallas en componentes
Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX	2	Eléctrico	Tuberías dobladas, quebradas
Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de balanzas y eje central	4	Eléctrico	Peligro de descargas eléctricas
Medición de continuidad desde fuente a eje central	2	Mecánico	Falla de continuidad
Calibración y alineación de sensor reflectivo	12	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Calibración y operación de electroválvulas, cilindros neumáticos por medio del CUC	12	Eléctrico	Perdida de comunicación, fallas de accionamiento
Revisión de desgaste, mantenimiento y ajuste de partes de cabezal de llenado	12	Mecánico	Desgaste, fuga de GLP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Identificación de modos de falla - Repesadora

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Revisión de desgaste y ajuste-alineación cuchillas elevadoras	4	Mecánico	Fallas de elevación
Revisión de desgaste y ajuste de cauchos de amortiguación	4	Mecánico	Fallas de amortiguación
Revisión de desgaste y ajuste de bocines de elevación	4	Mecánico	Desgaste
Revisión de desgaste y ajuste-lubricación de cilindro neumático	4	Eléctrico	Desgaste, Fuga de aire
Revisión de desgaste y ajuste de placas de teflón y pernería	4	Mecánico	Desgaste, Rotura
Revisión de cableado de poder y comunicación del equipo de repesado	4	Eléctrico	Fallas eléctricas o de comunicación
Revisión de sensores fotoeléctricos difusos, reflectivos y cajas de unión	4	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Revisión y limpieza de fuente de poder	4	Eléctrico	Falla en relación de transformación
Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX	2	Eléctrico	Tuberías dobladas, quebradas
Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores	2	Eléctrico	Peligro de descargas eléctricas
Limpieza y lubricación de bases de conexión y electroválvulas en tablero electro neumático	4	Eléctrico	Perdida de accionamiento
Ajuste, limpieza y lubricación de regletas de entradas/salidas	4	Mecánico	Tuberías dobladas, quebradas
Revisión y ajuste de conectores	4	Mecánico	Falla de suministro eléctrico
Revisión y ajuste de silenciadores, racores, uniones y cajas de unión	4	Eléctrico	Fugas de aire
Revisión de filtro en unidades de mantenimiento	4	Eléctrico	Obstrucción del flujo de aire
Revisión de fugas de aire	4	Eléctrico	Ruido excesivo
Revisión de manómetros	4	Eléctrico	Fallas en la medición
Revisión de válvula reguladora	4	Eléctrico	Variación de presión
Revisión de válvula ON/OFF	4	Eléctrico	Válvula atascada
Limpieza exterior y hermeticidad del panel	4	Eléctrico	Fallas de componentes internos

Calibración y alineación de sensores por medio del CUC	4	Eléctrico	Fallas de detección
Calibración y operación de electroválvulas y cilindros neumáticos por medio del CUC	12	Eléctrico	Perdida de comunicación, fallas de accionamiento
Revisión de CUC y limpieza externa	4	Eléctrico	Falla de parámetros
Revisión y limpieza del teclado	4	Eléctrico	Teclas atascadas
Revisión del botón paro/marcha	4	Eléctrico	Fallas de accionamiento
Revisión y limpieza del display	4	Eléctrico	Perdida de visualización
Revisión condiciones del cableado, efectuar mantenimiento de ser necesario	4	Eléctrico	Fallas eléctricas o de comunicación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Identificación de modos de falla - Salida de Carrusel

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Limpieza del Sistema Electrónico y Neumático	4	Eléctrico	Fallas de componentes
Revisión y limpieza de unidad de mantenimiento	4	Eléctrico	Suciedad en filtros, presencia de condensado
Revisión y limpieza de Bloque de válvulas	4	Eléctrico	Obstrucción de componentes, acumulación de residuos
Revisión y limpieza de silenciadores.	4	Eléctrico	Acumulación de residuos, pérdida de eficiencia
Revisión y limpieza de regulador de A/C para presión piloto.	4	Eléctrico	Falla en sistema de regulación
Revisión y limpieza de presostato.	4	Eléctrico	Falla en la regulación, ajustes de calibración
Revisión, limpieza y calibración de electroválvulas.	4	Eléctrico	Perdida de accionamiento
Revisión, limpieza y calibración de actuadores neumáticos.	4	Eléctrico	Accionamiento atascado, Fuga de aire.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Identificación de modos de falla - Entrada de Carrusel

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Limpieza del Sistema Electrónico, Neumático e Hidráulico.	4	Mecánico / Eléctrico	Fallas de accionamiento
Revisión y limpieza de unidad de mantenimiento.	4	Eléctrico	Obstrucción de componentes, acumulación de residuos
Revisión y limpieza de Bloque de válvulas.	4	Eléctrico	Obstrucción de componentes, acumulación de residuos
Revisión y limpieza de silenciadores.	4	Eléctrico	Acumulación de residuos, pérdida de eficiencia
Revisión y limpieza de regulador de A/C para presión piloto.	4	Eléctrico	Falla en sistema de regulación
Revisión y limpieza de presostato	4	Eléctrico	Falla en la regulación, ajustes de calibración
Revisión, limpieza y calibración de electroválvulas	4	Eléctrico	Perdida de accionamiento
Revisión, limpieza y calibración de actuadores neumáticos	4	Eléctrico	Accionamiento atascado, Fuga de aire.
Revisión, limpieza y calibración de válvulas de escape rápido	4	Eléctrico	Daño en los asientos, obstrucción de válvula
Revisión, limpieza y calibración de válvula hidráulica	4	Mecánico	Obstrucción de válvula
Revisión y limpieza de motor hidráulico	2	Mecánico	Perdida de succión y eficiencia
Verificación de fugas a través de mangueras, racores uniones y demás accesorios	4	Eléctrico	Fugas y daños de componentes

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Identificación de modos de falla - Detectora de fugas

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Revisión, alineación y ajuste-lubricación de los 4 ejes de centrado.	2	Mecánico	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación
Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático para centrado.	4	Mecánico	Daño en eje, Desgaste, Fuga de aire
Revisión y ajuste-lubricación de bloque guía y ejes guías.	4	Mecánico	Desgaste y falta de lubricación
Revisión y ajuste-lubricación de base y acople del cilindro Neumático	4	Mecánico	Desgaste, Rotura
Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático capuchón	4	Mecánico	Desgaste, Rotura
Revisión, calibración y ajuste de rodillos de cilindro neumático de parada	4	Mecánico	Desgaste, Fugas de aire
Revisión, limpieza y ajuste de bocines de bronce.	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, calibración y ajuste de ejes.	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, calibración y ajuste de sujetadores	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, ajuste de base, estructura de soporte, tornillería, tuercas y arandelas.	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de ajuste
Revisión y ajuste de cabezal de censado	4	Eléctrico	Acumulación de sedimentos, acumulación de partículas de GLP, falla de censado
Revisión y ajuste de mangueras neumáticas y acoples	4	Eléctrico	Fugas y daños de componentes
Revisión de condiciones del cableado de poder y comunicación del equipo	4	Eléctrico	Falla de comunicación, falla de conexiones, Fisuras, Roturas de conductores.
Revisión de condiciones de sensores fotoeléctricos y cajas de unión	4	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Revisión de condiciones de sensor inductivo o presostato	4	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Revisión y limpieza de fuente de poder	4	Eléctrico	Falla en relación de transformación
Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX.	2	Eléctrico	Roturas, fisuras, falla en los acoples
Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores	4	Eléctrico	Peligro de descargas eléctricas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Identificación de modos de falla - Detectora de Toroides

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Revisión, alineación y ajuste-lubricación de los 4 ejes de centrado	4	Mecánico	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación
Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático para centrado	4	Mecánico	Daño en eje, Desgaste, Fuga de aire
Revisión y ajuste-lubricación de bloque guía y ejes guías.	4	Mecánico	Desgaste y falta de lubricación
Revisión y ajuste-lubricación de base y acople del cilindro Neumático	4	Mecánico	Desgaste, Rotura
Revisión y ajuste-lubricación de Cilindro neumático capuchón	4	Eléctrico	Desgaste, Rotura
Revisión, calibración y ajuste de rodillos de cilindro neumático de parada	4	Eléctrico	Desgaste, Fugas de aire
Revisión, limpieza y ajuste de bocines de bronce.	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, calibración y ajuste de ejes.	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, calibración y ajuste de sujetadores	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de lubricación
Revisión, ajuste de base, estructura de soporte, tornillería, tuercas y arandelas	4	Mecánico	Desgaste, roturas, falta de ajuste
Revisión y ajuste de cabezal de censado	4	Mecánico	Acumulación de sedimentos, acumulación de partículas de GLP, falla de censado
Revisión y ajuste de mangueras neumáticas y acoples	4	Eléctrico	Fugas y daños de componentes
Revisión de condiciones del cableado de poder y comunicación del equipo	4	Eléctrico	Falla de comunicación, falla de conexiones, Fisuras, Roturas de conductores.
Revisión de condiciones de sensores fotoeléctricos y cajas de unión	4	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Revisión de condiciones de sensor inductivo o presostato	4	Eléctrico	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración
Revisión y limpieza de fuente de poder	4	Eléctrico	Falla en relación de transformación
Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX	4	Eléctrico	Roturas, fisuras, falla en los acoples
Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos y transportadores	4	Eléctrico	Peligro de descargas eléctricas
Calibración de interruptores de presión	4	Eléctrico	Mala calibración, Obstrucción en la línea de presión, Falta en limit switch
Revisión de transmisor de presión	4	Eléctrico	Falla en el transductor de presión, Falta de alimentación eléctrica, Ruido y perturbaciones eléctricas, Error de calibración

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Identificación de modos de falla - Termoselladora

TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	MODO DE FALLO
Revisión y ajuste de bornes, contactores y cables.	4	Eléctrico	Falla de contactos, Cortocircuito
Revisión, limpieza y cambio de filtros.	4	Eléctrico	Filtro obstruido, reducción de presión de trabajo
Revisión y ajuste, lubricación de frenos de la termoselladora	4	Mecánico	Desgaste, fugas de aire
Revisión fuga, ajuste y lubricación de válvulas de frenos	4	Mecánico	Desgaste, fugas de aire
Revisión ajuste y cambio de electroválvulas y bobinas en caso de fallas	4	Eléctrico	Perdida de accionamiento
Revisión, calibración y seteo del dispositivo de seguridad	2	Eléctrico	Riesgo de incremento de presión
Revisión y cambio de contactor de resistencia en el sistema eléctrico	1	Eléctrico	Daño en enclavamiento, Daños en bobinas, Daño en contactos, Sobre calentamiento

Fuente: Elaboración propia

4.3. Racionalización y revisión del FMEA

En este punto, el equipo multidisciplinario conformado por operación y mantenimiento examinó cada resultado del análisis de modo de falla y agregó los modos de falla faltantes en función del historial de fallas de los equipos. Cuando la información se organiza en función de los modos de falla, resultó mucho más fácil identificar tareas repetitivas dentro del plan de mantenimiento existente.

Tabla 30. Racionalización del FMEA

Equipo	TAREA	MODO DE FALLO	EFFECTO DE FALLA
Equipo 1	Tarea 1	Fallo A	Efecto A
Equipo 2	Tarea 2	Fallo B	Efecto B
Equipo 3	Tarea 3	Fallo C	Efecto C
Equipo 4	Tarea 4	Fallo A	Efecto A
Equipo 5	Tarea 5	Fallo B	Efecto B
Equipo 6	Tarea 6	Fallo C	Efecto C
Equipo 7	Tarea 7	Fallo C	Efecto C
Equipo 8	Tarea 8	Fallo B	Efecto B

Fuente: Elaboración propia

Este paso ayuda a identificar la duplicidad de tareas existentes en un mismo modo de falla, se le aplica varias rutinas de PM de las diferentes especialidades.

La evaluación de los modos de falla se identificará por equipo de la nave de envasado de cilindros de 15Kg de GLP, como se muestra en la tabla.

Tabla 31. Análisis de modo y efecto de falla – Carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Carrusel	Brazos centradores	Desalineación	Error de pesaje, desalineación de la balanza, obstrucción en la llenadora, variación de llenado
	Bases	Inestabilidad	Desalineación, Error de pesaje, Desnivelación e Inestabilidad de la balanza
	Celda de carga	Vibración excesiva	
		Error de medición	Inexactitud en la medición, Desconexión y fallas de comunicación
	Cabezal de llenado	Desalineación. Desgaste, fuga de GLP	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de GLP, pérdida de presión
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Pérdida de precisión,
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	
Balanzas	Unidad de control C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de mediciones	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Análisis de modo y efecto de falla – Repesadora

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Repesadora	Estructura principal de la balanza	Fallas de elevación, Fallas de amortiguación, Desgaste	Error de pesaje
	Plataforma de pesaje	Inestabilidad Vibración excesiva	Desalineación, Error de pesaje, Desnivelación e Inestabilidad de la balanza
	Celda de carga	Error de medición	Inexactitud en la medición, Desconexión y fallas de comunicación
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado
	Unidad de control C.U.C	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de lectura de mediciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Análisis de modo y efecto de falla - Salida de Carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Salida de Carrusel	Unidad de control C.U.C	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de lectura de mediciones
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Análisis de modo y efecto de falla - Entrada de Carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Entrada de carrusel	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Análisis de modo y efecto de falla - Detectora de fugas

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Detectora de fugas	Brazos y Ejes	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Pérdida de precisión,
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falta de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cabezal CIR	Falla en Emisor y Receptor, membrana satura, cabezal no detecta, Desgaste de componentes	Puede provocar mediciones inexactas y fallas en la prueba de fugas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Análisis de modo y efecto de falla - Detectora de toroides

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Detectora de toroides	Brazos y Ejes	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cabezal	Desalineación. Desgaste, fuga	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de aire, perdida de presión
	Interruptor de presión	Acumulación de suciedad, Pérdida de precisión, Contactos defectuosos	Caída de presión en el sistema

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Análisis de modo y efecto de falla – Termoselladora

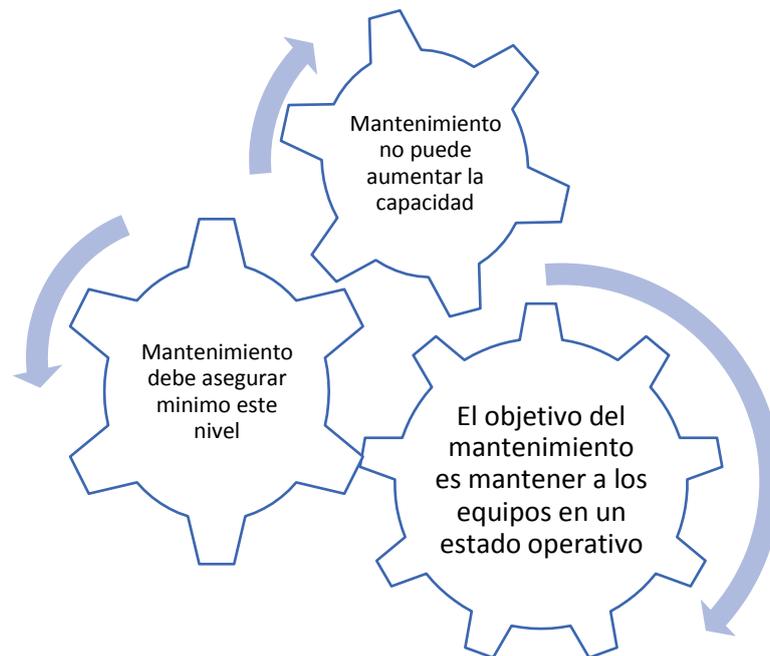
Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla
Termoselladora	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Pérdida de precisión,
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado
	Cabezal	Desalineación. Desgaste, fuga	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de aire, pérdida de presión
	Resistencia	Acumulación de suciedad, Pérdida de continuidad, Disminución del calentamiento, Parámetros eléctricos fuera de rango, Cortocircuito interno o externo, fuga de corriente eléctrica	Sobrecalentamiento, fallo en la temperatura, ineficiencia energética

Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis Funcional

El propósito de este paso es establecer los requisitos funcionales para la planta o los activos y evaluar su capacidad real para cumplir requerimiento esperados. Esto incluye identificar las tareas de mantenimiento requeridas y cómo se relacionan con la posible pérdida de funcionalidad.

Figura 32. Análisis Funcional



Fuente: Elaboración propia

Para ello, se analizarán los fallos potencialmente graves de la planta y se identificarán las funciones mayores y menores de los componentes implicados. Estas funciones se escribirán en una tabla para que tengas una idea clara de la importancia y el impacto de cada componente en el funcionamiento general del sistema.

Tabla 38. Tareas asociadas a la función de equipo

Equipo	Sub-Equipo	Modo de Falla	Efecto de Falla	Función
Carrusel	Brazos centradores	Desalineación	Error de pesaje, desalineación de la balanza, obstrucción en la llenadora, variación de llenado	Mantener las botellas de GLP en el lugar preciso para el pesaje
	Bases	Inestabilidad Vibración excesiva	Desalineación, Error de pesaje, Desnivelación e Inestabilidad de la balanza	Soporte y estabilidad de los cilindros de GLP
	Celda de carga	Error de medición	Inexactitud en la medición, Desconexión y fallas de comunicación	Medir la carga establecida dentro del cilindro para determinar su peso
	Cabezal de llenado	Desalineación. Desgaste, fuga de GLP	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de GLP, pérdida de presión	Llenar a los cilindros de GLP con la cantidad adecuada de gas
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Pérdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes
	Balanzas	Unidad de control C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de mediciones	Receptar, controlar, llenar, medir la cantidad de GLP suministrada en cada cilindro. Luego entregar al sistema de transportación la botella cargada

Repesadora	Estructura principal de la balanza	Fallas de elevación, Fallas de amortiguación, Desgaste	Error de pesaje	Proporcionar soporte y estabilidad a las balanzas
	Plataforma de pesaje	Inestabilidad Vibración excesiva	Desalineación, Error de pesaje, Desnivelación e Inestabilidad de la balanza	Estabilizar y nivelar la superficie para colocar la recepción de cilindros
	Celda de carga	Error de medición	Inexactitud en la medición, Desconexión y fallas de comunicación	Medir la carga establecida dentro del cilindro para determinar su peso
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes
	Unidad de control C.U.C	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de lectura de mediciones	Controlar y supervisar el funcionamiento del sistema

Salida de Carrusel	Unidad de control C.U.C	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Falla de programación, interrupción del proceso de llenado, error de lectura de mediciones	Controlar y supervisar el funcionamiento del sistema
	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
Entrada de carrusel	Sistema neumático	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Llenar a los cilindros de GLP con la cantidad adecuada de gas
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes

	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Brazos y Ejes	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Mover los componentes mecánicos para efectuar funciones de carga y descarga de botellas
Detectora de fugas	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema

Detectora de toroides

Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes
Cabezal CIR	Falla en Emisor y Receptor, membrana satura, cabezal no detecta, Desgaste de componentes	Puede provocar mediciones inexactas y fallas en la prueba de fugas	Detectar las PPM y corregir posibles fugas de gas
Brazos y Ejes	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Saturación de red neumática, exceso de presión, exceso de condensado, ruido constante, desperdicio de energía	Mover los componentes mecánicos para efectuar funciones de carga y descarga de botellas
Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes
Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes
Cabezal	Desalineación. Desgaste, fuga	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de aire, perdida de presión	Verificar la condición de la válvula, cauchos y pruebas de fugas en válvulas.

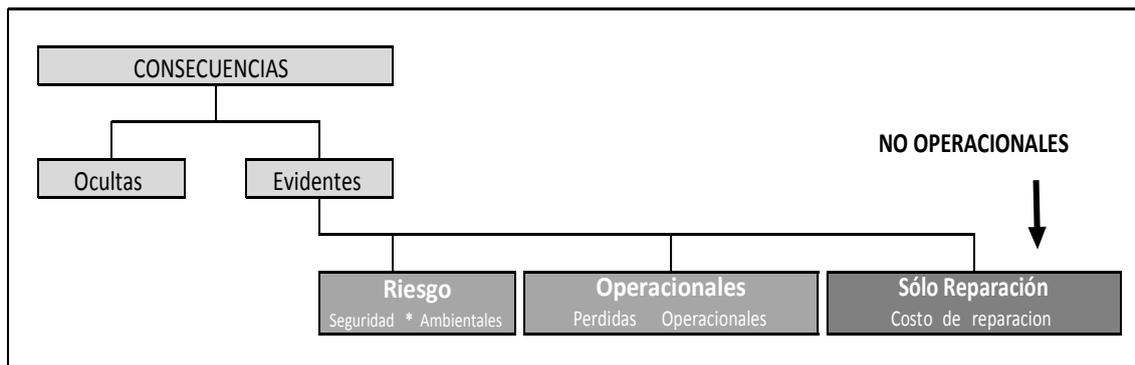
Termoselladora	Interruptor de presión	Acumulación de suciedad, Pérdida de precisión, Contactos defectuosos	Caída de presión en el sistema	Detectar cambios en la presión del sistema y detener el funcionamiento si es necesario
	Sistema eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Contactos mal ajustados o corroídos, Daño de acometidas, Daño de electroductos, Falla de componentes de accionamiento, Daños de equipos por falta de protección de descarga a tierra	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes
	Cilindros y Actuadores	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Pérdida de fuerza, aumento de fricción, Golpes excesivos, Perdida de precisión,	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.
	Electroválvulas	Perdida de accionamiento	Daños en bobina lo que impide la funcionalidad del bloque neumático. Problemas de regulación ocasionada por la excesiva presión en el sistema.	Controlar el flujo de energía en el sistema
	Sensores	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Falla de detección que impide efectuar la sincronización del funcionamiento del sistema de envasado	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes
	Cabezal	Desalineación. Desgaste, fuga	Falla de funcionamiento del cabezal, fuga excesiva de aire, perdida de presión	Efectuar el proceso de sellado de tapas retráctil
	Resistencia	Acumulación de suciedad, Pérdida de continuidad, Disminución del calentamiento, Parámetros eléctricos fuera de rango, Cortocircuito interno o externo, fuga de corriente eléctrica	Sobrecalentamiento, fallo en la temperatura, ineficiencia energética	Generar temperatura hasta alcanzar niveles de evaporación

Fuente: Elaboración propia

4.5. Evaluación de Consecuencias

La Evaluación de Consecuencias es una herramienta fundamental en la Optimización del Mantenimiento Planeado. Esta técnica permite identificar los riesgos asociados a cada componente del sistema y clasificarlos en función de la Severidad, Probabilidad y Riesgo.

Gráfico 16. Clasificación de Consecuencias - Evidentes



Fuente: Elaboración propia

La Severidad refleja el nivel de daño que puede provocar una falla, mientras que la Probabilidad mide la frecuencia con que puede ocurrir. El Riesgo es el resultado de la interacción entre la Severidad y la Probabilidad. De esta manera, el PMO puede priorizar los componentes y realizar un mantenimiento preventivo efectivo y eficiente.

La clasificación de un riesgo como bajo, medio o alto depende de la escala que se utilice para definir los valores de severidad, probabilidad y riesgo. En general, se pueden utilizar las siguientes clasificaciones como referencia; Bajo riesgo: Riesgo menor o igual a 3; Riesgo medio: Riesgo entre 4 y 12; Alto riesgo: Riesgo mayor a 12.

Para interpretar los valores de Severidad y Probabilidad, se puede utilizar una tabla de valores similar a la anterior:

Tabla 39. Ponderación de consecuencia

Nivel	Valor
Bajo	0-5
Medio	6-10
Alto	11-20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Cuadro de identificación de consecuencias

Frecuencia	Responsable	Modo de Falla	Función	Consecuencias		
				Severidad	Probabilidad	Riesgo
Mensual	Mecánico	Desalineación	Mantener las botellas de GLP en el lugar preciso para el pesaje	3	2	6
Mensual	Mecánico	Inestabilidad Vibración excesiva	Soporte y estabilidad de los cilindros de GLP	4	2	8
Trimestral	Eléctrico	Error de medición	Medir la carga establecida dentro del cilindro para determinar su peso	5	3	15
Mensual	Mecánico	Desalineación. Desgaste, fuga de GLP	Llenar a los cilindros de GLP con la cantidad adecuada de gas	5	3	15
Mensual	Instrumentación	Fuga de aire, Presencia de condesado, Obstrucción del flujo de aire	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.	5	3	15
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6
Mensual	Mecánico	Unidad de control C.U.C, Fallo de alimentación,	Receptar, controlar, llenar, medir la cantidad de GLP suministrada en cada cilindro. Luego entregar al sistema de transportación la botella cargada	5	3	15
Trimestral	Mecánico	Fallas de elevación, Fallas de amortiguación, Desgaste	Proporcionar soporte y estabilidad a las balanzas	4	2	8
Trimestral	Mecánico	Inestabilidad Vibración excesiva	Estabilizar y nivelar la superficie para colocar la recepción de cilindros	4	2	8
Trimestral	Eléctrico	Error de medición	Medir la carga establecida dentro del cilindro para determinar su peso	5	3	15

Mensual	Instrumentación	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.	5	3	15
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6
Mensual	Instrumentación	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Controlar y supervisar el funcionamiento del sistema	5	3	15
Mensual	Instrumentación	HMI/C.U.C, Fallo de alimentación,	Controlar y supervisar el funcionamiento del sistema	5	3	15
Mensual	Instrumentación	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Proporciona energía neumática necesaria para todos puntos de consumo de la línea de producción.	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes.	5	3	15
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fuga de aire, Presencia de condensado, Obstrucción del flujo de aire	Llenar a los cilindros de GLP con la cantidad adecuada de gas	4	2	8
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6

Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes	5	3	15
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Trimestral	Mecánico	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Mover los componentes mecánicos para efectuar funciones de carga y descarga de botellas	4	3	12
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6
Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes	5	3	15
Mensual	Instrumentación	Falla en Emisor y Receptor, membrana satura, cabezal no detecta, Desgaste de componentes	Detectar las PPM y corregir posibles fugas de gas	3	2	6
Trimestral	Mecánico	Desalineación, Desgaste, Falta de lubricación, Roturas	Mover los componentes mecánicos para efectuar funciones de carga y descarga de botellas	4	3	12
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6

Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes	5	3	15
Mensual	Mecánico	Desalineación. Desgaste, fuga	Verificar la condición de la válvula, cauchos y pruebas de fugas en válvulas.	5	3	15
Mensual	Eléctrico	Acumulación de suciedad, Pérdida de precisión, Contactos defectuosos	Detectar cambios en la presión del sistema y detener el funcionamiento si es necesario	3	3	9
Semestral	Eléctrico	Fallos en la conexión eléctrica o de comunicación, Peligro de descargas eléctricas	Suministro los niveles adecuados de energía para la funcionalidad de todos sus componentes	5	3	15
Semestral	Instrumentación	Fuga de aire, Obstrucción del flujo de aire, Desgaste, Corrosión, Oxidación, Roturas	Mueva piezas mecánicas para realizar diversas funciones, como apertura y cierre de componentes.	4	3	12
Trimestral	Instrumentación	Perdida de accionamiento	Controlar el flujo de energía en el sistema	4	2	8
Semestral	Instrumentación	Perdida de lectura, Desalineación, Descalibración	Detectar cambios en el sistema, como la presión o la posición de los componentes	3	2	6
Mensual	Mecánico	Desalineación. Desgaste, fuga	Efectuar el proceso de sellado de tapas retráctil	3	3	9
Semestral	Eléctrico	Acumulación de suciedad, Pérdida de continuidad, Disminución del calentamiento, Parámetros eléctricos fuera de rango, Cortocircuito interno o externo, fuga de corriente eléctrica	Generar temperatura hasta alcanzar niveles de evaporación	4	3	12

Fuente: Elaboración propia

4.6. Definición de la Política de Mantenimiento

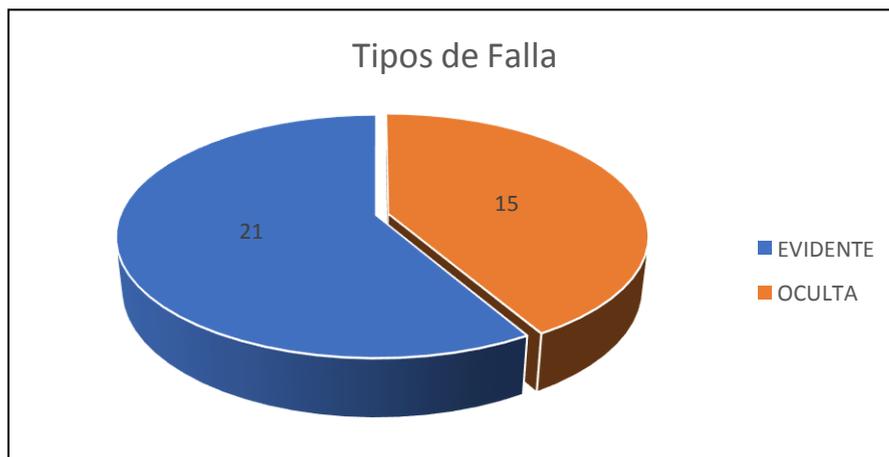
El paso 6 del PMO se centra en definir estrategias de gestión de fallas y establecer una nueva política basada en la selección de tareas, como lo señala la norma ISO 14224. Que bajo principio establece una ayuda para recopilar y analizar datos de fallas para tomar decisiones informadas sobre la implementación de estrategia de mantenimiento.

Tabla 41. Modos de fallas recurrentes

ITEM	MODO DE FALLA	TIPOS DE FALLA	
		EVIDENTE	OCULTA
1	Desalineación	1	
2	Inestabilidad		1
3	Vibración excesiva	1	
4	Error de medición	1	
5	Desgaste		1
6	Fuga de GLP	1	
7	Fuga de aire	1	
8	Presencia de condesado		1
9	Obstrucción del flujo de aire		1
10	Fallos en la conexión eléctrica		1
11	Fallos en la conexión de comunicación		1
12	Peligro de descargas eléctricas		1
13	Corrosión	1	
14	Oxidación	1	
15	Roturas	1	
16	Perdida de accionamiento	1	
17	Perdida de lectura		1
19	Descalibración		1
20	Fallo de alimentación	1	
21	Fallas de elevación		1
22	Fallas de amortiguación	1	
25	Falla en Emisor		1
26	Falla en Receptor		1
27	Membrana saturada		1
28	Cabezal no detecta	1	
29	Desgaste de componentes		1
30	Falta de lubricación	1	
32	Pérdida de precisión	1	
33	Contactos defectuosos	1	
34	Pérdida de continuidad		1
35	Disminución del calentamiento	1	
36	Parámetros eléctricos fuera de rango	1	
37	Cortocircuito interno	1	
38	Cortocircuito externo	1	
39	Fuga de corriente eléctrica	1	
40	Acumulación de suciedad	1	
TOTAL		21	15

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 17. Tipos de falla



Fuente: Elaboración propia

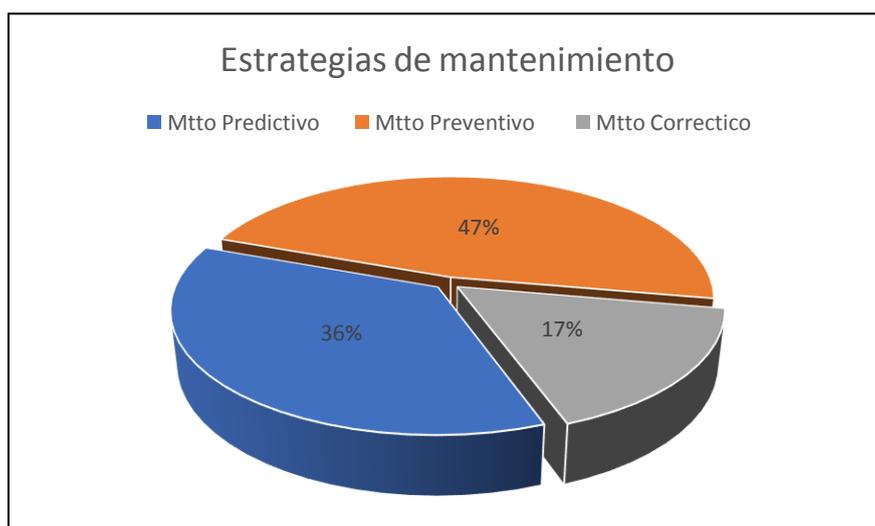
La grafica muestra que, de las 36 actividades agrupadas, 15 son imputadas a fallas ocultas y 21 a fallas evidentes.

Existen tres estrategias de mantenimiento para mitigar o eliminar los modos de falla evidentes:

1. Tarea a condición (Mantenimiento Predictivo)
2. Reacondicionamiento Cíclico (Reparación Programada)
3. Sustitución Cíclica (Reemplazo programado)

Tarea a condición (Mantenimiento Predictivo)

Gráfico 18. Tareas de mantenimiento a condición



Fuente: Elaboración propia

Como muestra el gráfico, la implementación de un método conocido como mantenimiento a condición puede afectar aproximadamente al 36 % de las diferentes actividades de mantenimiento. Esto significa realizar tareas de mantenimiento en base al estado y funcionamiento real del equipo, teniendo en cuenta la información obtenida a partir de mediciones periódicas de parámetros como vibración, temperatura, presión, etc. Esto permite la detección temprana de anomalías o desgastes y la prevención de posibles averías, permitiendo realizar las tareas de mantenimiento correctivo o preventivo adecuadas.

Reacondicionamiento Cíclico (Reparación Programada)

Tabla 42. Componentes reemplazables a corto y mediano plazo

PARTES REEMPLAZABLES A CORTO PLAZO (50-60%)	PARTES REEMPLAZABLES A MEDIANO PLAZO (30-40%)	PARTES NO REEMPLAZABLES A CORTO O MEDIANO PLAZO (10-20%)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cilindro neumático ✓ Sensores de peso y presión ✓ Válvulas neumáticas ✓ Mangueras y conexiones neumáticas ✓ Correas y poleas ✓ Banda del carrusel ✓ Rodamientos y bujes de las balanzas ✓ Filtros de aire comprimido ✓ Interruptores de seguridad eléctricos ✓ Componentes de control 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de la cadena del transportador ✓ Componentes eléctricos de control del sistema de pesaje ✓ Elementos de sujeción y anclaje de las balanzas ✓ Componentes del panel de control eléctrico ✓ Sellos y empaquetaduras de las válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estructura principal del carrusel de balanzas ✓ Tuberías principales ✓ Componentes de acero inoxidable y otros materiales de alta resistencia

Fuente: Elaboración propia

La estrategia de reacondicionamiento cíclico identifica qué piezas deben reemplazarse a corto o mediano plazo en un sistema de envasado con carrusel de balanzas de 15 Kg de GLP. En este caso, la mayoría de los componentes mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos pueden ser reemplazados a corto plazo, mientras que algunos pueden ser reemplazados a mediano plazo y otros no. Es necesaria una evaluación detallada de cada elemento para determinar la vida útil y posibles fallas.

Sustitución Cíclica (Reemplazo programado)

El reemplazo programado es una estrategia de mantenimiento que reemplaza una pieza a intervalos definidos, independientemente de su estado aparente. Esta estrategia se usa

cuando se sabe que una pieza tiene una vida útil limitada y la falla puede afectar en gran medida el proceso de fabricación. La frecuencia de reemplazo está determinada por la vida útil del componente, las condiciones de funcionamiento y la importancia del componente en el proceso de fabricación.

A continuación, se presenta una lista de algunos componentes que se encuentran sujetas a la estrategia de sustitución cíclica en el sistema de envasado de cilindros de 15 Kg de GLP:

- ✓ Sensores de proximidad
- ✓ Motores eléctricos
- ✓ Elementos neumáticos
- ✓ Celdas de carga
- ✓ Válvulas solenoides
- ✓ Controladores de peso (Cauchos y Pernos)
- ✓ Rodamientos
- ✓ Piñones
- ✓ Cadenas
- ✓ Filtros de aire

Es importante destacar que la selección de los componentes para esta estrategia ha sido cuidadosamente seleccionada y basada en la evaluación detallada de cada parte o pieza.

4.7. Revisión y agrupación

El objetivo de este paso es asegurar que la política de mantenimiento se alinee con los objetivos de producción. Para lograr esto, se proponen tareas específicas para incluir en el cronograma de mantenimiento de la línea de producción de cilindros de gas doméstico. Al planificar estas tareas en los tiempos de parada o bajo las frecuencias establecidas, se pueden mejorar la confiabilidad de los equipos y evitar costosos tiempos de inactividad no planificados. Este enfoque garantiza la máxima eficiencia y efectividad en la implementación de la política de mantenimiento.

Tabla 43. Plan de mantenimiento - Carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable	Tiempo estimado
Carrusel	Brazos centradores	Ajuste, centrado y corrección de desgaste en brazos centradores y sus componentes	Mensual	Mecánico	00:30 Hora
	Bases	Regulación, nivelación y cambio de ser necesario en cauchos y pernos	Semanal	Mecánico	00:30 Hora
	Celda de carga	Verificación de valores de medición, ajuste de parámetros y fijación de base de sujeción	Trimestral	Eléctrico	01:00 Hora
	Cabezal de llenado	Alineación, corrección de fugas de GLP, verificación y corrección de funcionamiento de componentes internos	Mensual	Mecánico	01:00 Hora
	Sistema neumático	Eliminación de fugas, condensados y regulación de niveles de presión operativa	Mensual	Mecánico	02:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Balanzas	Calibración y ajuste de parámetros de despacho	Semanal	Mecánico	00:15 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Plan de mantenimiento - Balanzas de llenado y Repesadora

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable	Tiempo estimado
Balanzas de llenado y Repesadora	Estructura principal de la balanza	Estabilización de la estructura de elevación, corrección de amortiguación y desgaste	Trimestral	Mecánico	02:30 Hora
	Plataforma de pesaje	Regulación, nivelación y cambio de ser necesario en cauchos y pernos	Trimestral	Mecánico	01:30 Hora
	Balanzas	Calibración y ajuste de parámetros de despacho	Semanal	Mecánico	00:15 Hora
	Celda de carga	Verificación de valores de medición, ajuste de parámetros y fijación de base de sujeción	Trimestral	Eléctrico	01:00 Hora
	Sistema neumático	Eliminación de fugas, condensados y regulación de niveles de presión operativa	Mensual	Mecánico	02:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Unidad de control C.U.C	Ajustes de parámetros, ajuste de conexiones y cambio de display de ser necesario	Mensual	Eléctrico	00:15 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Plan de mantenimiento - Salida de Carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable	Tiempo estimado
Salida de Carrusel	Unidad de control C.U.C	Ajustes de parámetros, ajuste de conexiones y cambio de display de ser necesario	Mensual	Eléctrico	00:15 Hora
	Sistema neumático	Eliminación de fugas, condensados y regulación de niveles de presión operativa	Mensual	Mecánico	02:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Plan de mantenimiento - Entrada de carrusel

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable	Tiempo estimado
Entrada de carrusel	Sistema neumático	Eliminación de fugas, condensados y regulación de niveles de presión operativa	Mensual	Mecánico	02:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Plan de mantenimiento - Detectora de fugas

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable	Tiempo estimado
Detectora de fugas	Brazos y Ejes	Ajuste, fijación de tuercas y componentes de impacto. Regulación y calibración de brazos	Trimestral	Mecánico	01:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cabezal CIR	Limpieza de membrana separadora y cristales de detección. Corrección de fugas y ajustes de parámetros de medición.	Mensual	Eléctrico	1:00 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Plan de mantenimiento - Detectora de toroides

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Modo de Falla	Efecto de Falla	Función
Detectora de toroides	Brazos y Ejes	Ajuste, fijación de tuercas y componentes de impacto. Regulación y calibración de brazos	Trimestral	Mecánico	01:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cabezal	Alineación, corrección de fugas, verificación y corrección de funcionamiento de componentes internos	Mensual	Mecánico	1:00 Hora
	Interruptor de presión	Comprobación de precisión, ajuste de contactos, limpieza de residuos y calibración de rango de apertura	Mensual	Eléctrico	1:00 Hora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Plan de mantenimiento – Termoselladora

Equipo	Sub-Equipo	Actividad	Modo de Falla	Efecto de Falla	Función
Termoselladora	Sistema eléctrico	Ajuste de conexiones, medición de niveles eléctricos óptimos para la operación	Trimestral	Eléctrico	03:00 Hora
	Cilindros y Actuadores	Corrección de desgaste, oxidación y fugas. Reemplazo de sellos, ajuste, alineación de eje, lubricación y pruebas de carrera	Trimestral	Mecánico	1:00 Hora
	Electroválvulas	Limpieza, lubricación y reemplazo de sellos neumáticos. Limpieza de bobinas y eliminación de condensado	Trimestral	Instrumentista	1:00 Hora
	Sensores	Limpieza de cristal, ajuste de conexiones y regulación del rango de medición	Trimestral	Instrumentista	00:15 Hora
	Cabezal	Alineación, corrección de fugas, verificación y corrección de funcionamiento de componentes internos	Mensual	Mecánico	1:00 Hora
	Resistencia	Limpieza de superficie, eliminación de acumulación de sedimentos, verificar puntos de conexiones y revisión de parámetros eléctricos	Semestral	Eléctrico	03:00 Hora

Fuente: Elaboración propia

4.7.1. Demostración de resultados

4.7.1.1. Análisis de Indicadores

Una vez establecido los nuevos Job plan y tareas, se evalúan los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad más recientes, obteniendo los valores mostrados en la Tabla No. 51 donde se muestra que los indicadores han mejorado en comparación con el semestre anterior.

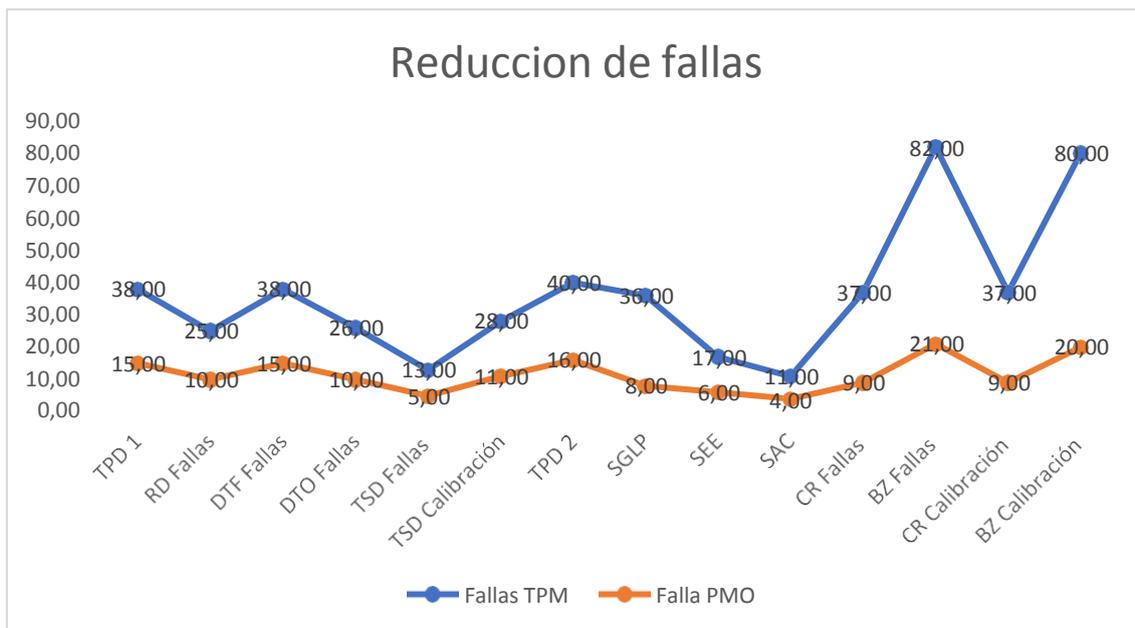
Tabla 50. Indicadores Técnicos de Mantenimiento segundo semestre 2022

	HRS. OP	HRS. STOP	HRS. RES	TOTAL	No. Fallas	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
TPD 1	4040,40	7,60	4032,81		15,00	268,85	0,51	98,63%
RD Fallas	4039,44	8,56	4030,88		10,00	403,09	0,86	99,69%
DTF Fallas	4041,34	6,66	4034,67		15,00	268,98	0,44	98,89%
DTO Fallas	4045,31	2,69	4042,61		10,00	404,26	0,27	99,55%
TSD Fallas	4042,25	5,75	4036,50		5,00	807,30	1,15	99,77%
TSD Calibración	4036,86	11,14	4025,72		11,00	365,97	1,01	99,51%
TPD 2	4037,07	10,93	4026,15		16,00	251,63	0,68	99,22%
SGLP	4034,12	13,88	4020,25		8,00	502,53	1,73	92,86%
SEE	4042,62	5,39	4037,23		6,00	672,87	0,90	99,82%
SAC	4043,20	4,80	4038,40		4,00	1009,60	1,20	99,86%
CR Fallas	4044,05	3,95	4040,11		9,00	448,90	0,44	98,98%
BZ Fallas	4039,52	8,48	4031,05		21,00	191,95	0,40	95,64%
CR Calibración	4046,24	1,76	4044,47		9,00	449,39	0,20	99,55%
BZ Calibración	4039,35	8,65	4030,69		20,00	201,53	0,43	98,38%

Fuente: Elaboración propia

En la Grafica No. 20 se muestran la comparación de los valores de disponibilidad entre el primer y segundo semestre del año 2022, donde se observa que la inclusión de las nuevas tareas ha contribuido a mejorar este indicador. En promedio, se observa una relación que nos muestra una reducción del 68,70% en el número de fallas.

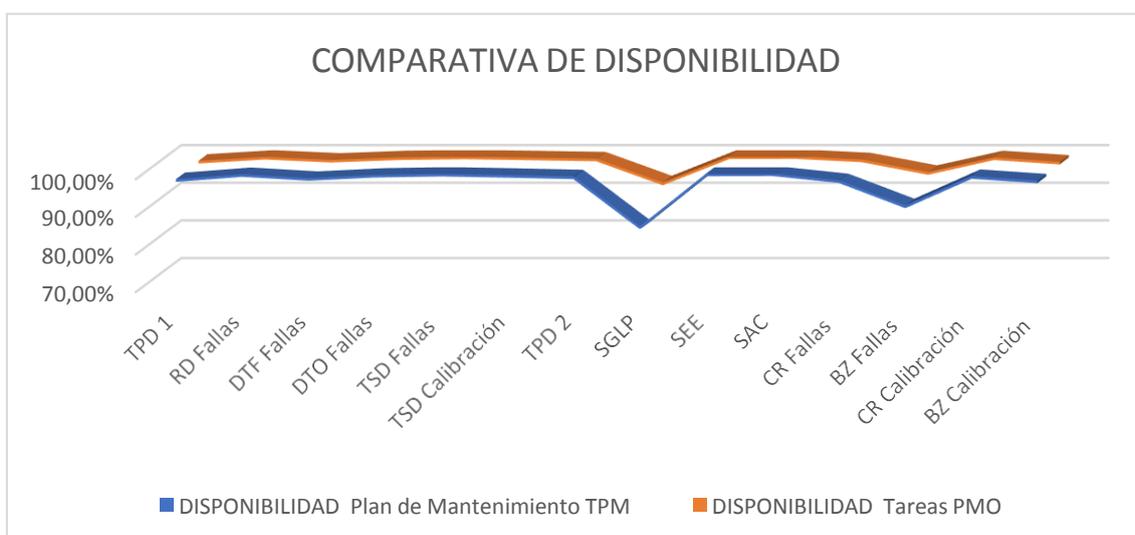
Gráfico 19. Reducción de fallas



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica No. 21 se muestra la disponibilidad porcentual de cada uno de los sistemas de la línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP. En ella se puede apreciar el incremento en los indicadores a partir de la implementación de las estrategias PMO, en comparación con los valores evaluados en el capítulo 3. Esto demuestra la eficacia de dichas técnicas en la optimización del mantenimiento que muestra que con el mejoramiento de la disponibilidad de los activos se puede alcanzar la capacidad máxima de eficiencia de los equipos y con ellos mejorar directamente en los niveles de proceso productivo y la obtención de mejores resultados.

Gráfico 20. Comparativa porcentual de Disponibilidad

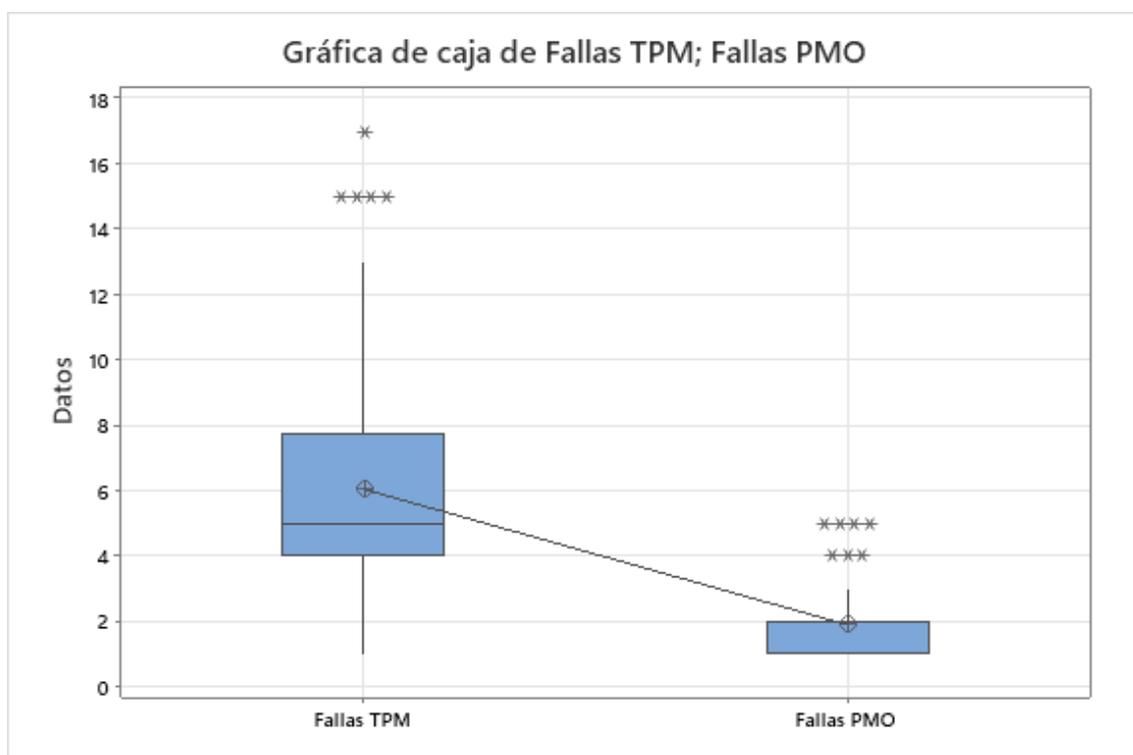


Fuente: Elaboración propia

4.7.1.2. Prueba de las muestras

El siguiente análisis proporciona datos sobre el historial de fallas de un año de una línea de producción de cilindros de GLP domésticos de 15 kg. El número de fallas de TPM se determina en un período de los seis primeros meses del 2022 y las fallas de PMO corresponden al período de julio a diciembre del mismo año. Por lo tanto, es importante capturar y analizar las fallas que ocurren en el proceso de producción para identificar oportunidades de mejora y tomar medidas preventivas para reducir la frecuencia de errores futuros. Este análisis evalúa la eficacia de las mejoras realizadas en los planes de mantenimiento para reducir las interrupciones.

Gráfico 21. Fallas registradas en dos periodos



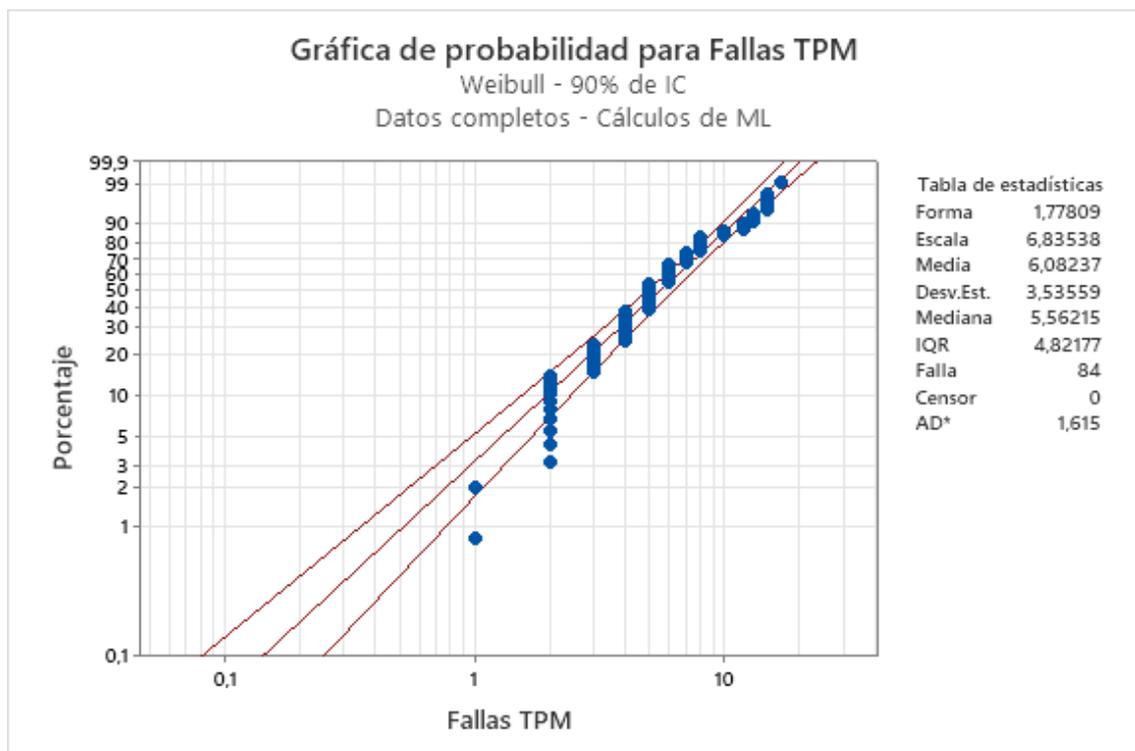
Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados muestran una reducción significativa en el número de fallas en la producción de cilindros domésticos de GLP de 15 kg en la segunda mitad del año, lo que sugiere que las mejoras implementadas en la ejecución de tareas del plan de mantenimiento han sido efectiva. Sin embargo, los resultados deben monitorearse y evaluarse para garantizar que esta reducción de fallas se mantenga en el futuro.

4.7.1.3. Análisis de distribución

Se muestran dos gráficos de probabilidad de fallas obtenidos en diferentes periodos. De acuerdo al análisis se observa que es factible tomar medidas para prevenir y reducir el número de fallas y se consideró la aplicación de prácticas de mejora continua para mantener un alto nivel de disponibilidad en la producción de cilindros domésticos de GLP.

Gráfico 22. Probabilidad de fallas plan de mantenimiento existente

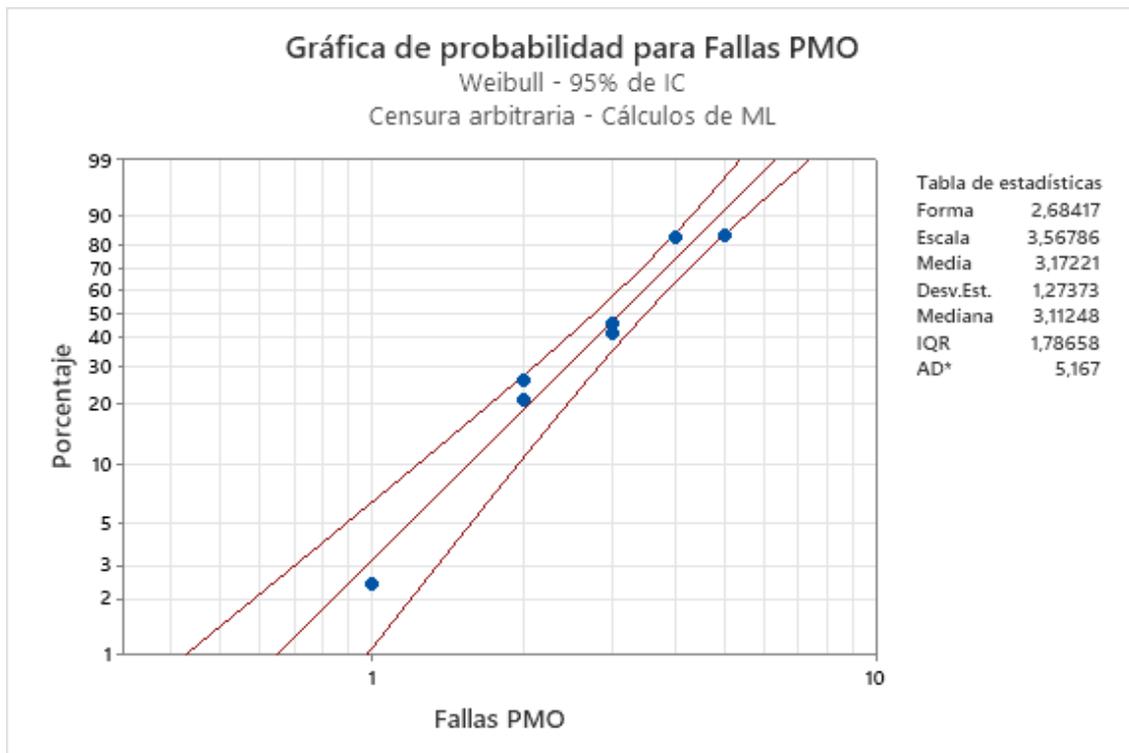


Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la primera mitad del año muestra una distribución de Weibull convexa hacia arriba, lo que significa que la tasa de falla aumenta con el tiempo. Con este tipo de distribución, la probabilidad de falla es baja al principio, pero aumenta conforme la utilización continua de los equipos. Esto sugiere que la falla del sistema de envasado de cilindros de uso domésticos de GLP de 15 kg se ha vuelto más común con el tiempo y por ende es relativamente alta en comparación con el número total de cilindros producidos durante el período de análisis.

Esto indica que se deben tomar medidas para mejorar la calidad y seguridad del sistema de envasado para reducir el número de fallas.

Gráfico 23. Probabilidad de fallas con PMO



Fuente: Elaboración propia

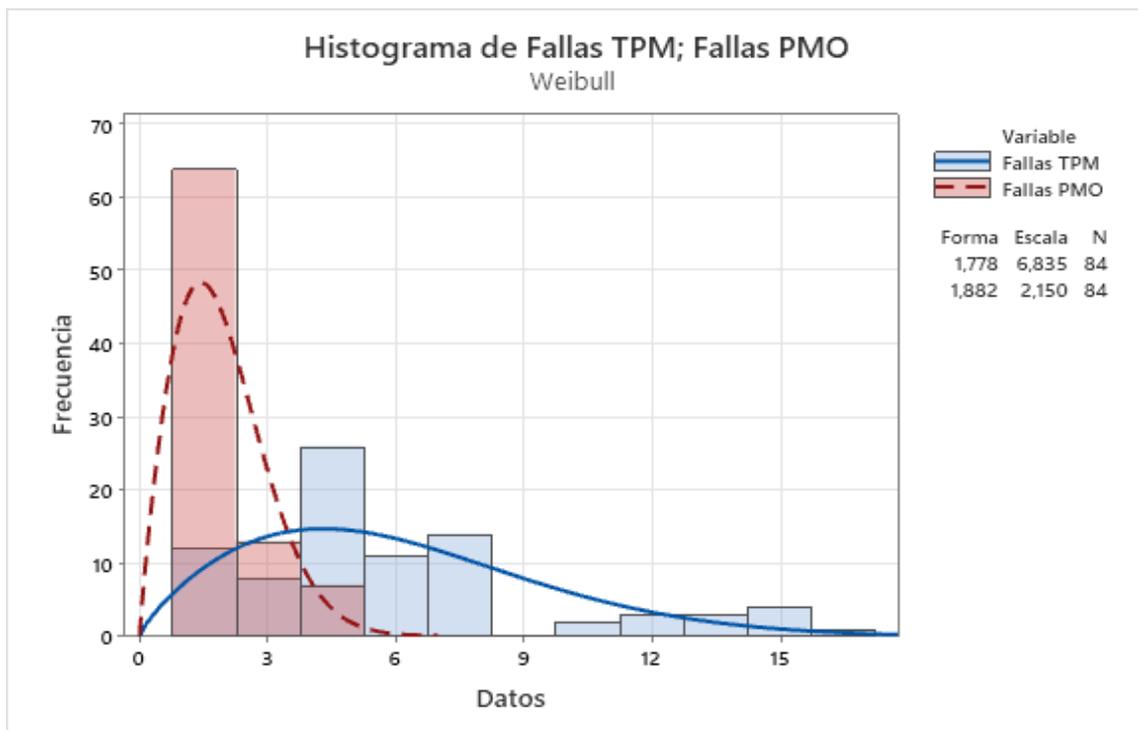
Para el segundo periodo se muestra una distribución Weibull cóncava hacia arriba, lo que indica que la tasa de fallas disminuye conforme pasa el tiempo. La probabilidad de falla disminuyó gradualmente y se logró alcanzar una disponibilidad más regular dentro de la línea de producción de cilindros de uso doméstico.

La tasa de fallas fue significativamente menor en comparación con el primer semestre, lo que indica que con la implementación del PMO (Optimización del mantenimiento planeado) se puede reducir la cantidad de fallas. Se debe continuar aplicando esta técnica para mantener la tasa de fallas en niveles bajos.

4.7.1.4. Histograma de Fallas

El histograma representará la frecuencia y distribución de las fallas ocurridas en la línea de envasado de cilindros de GLP de 15 Kg, que permite analizar e identificar áreas problemáticas y tomar medidas para corregir los problemas.

Gráfico 24. Relación Fallas TPM & PMO



Fuente: Elaboración propia

La línea continua representa las Fallas TPM que corresponde al periodo de enero a junio, donde se puede observar que la cantidad de fallas fue minorando gradualmente durante los primeros 3 meses del período analizado, con un valor de alrededor 150 fallas hasta marzo. Sin embargo, a partir de abril, el número de fallas aumentó, llegando a una cantidad de 220 fallas en junio. Esto indica que la línea de producción experimentó fallas en los equipos de la línea la producción que necesitan ser evaluados y corregidos.

Por otra parte, las Fallas PMO (línea segmentada), se observar que el número de fallas fue significativamente más bajo que en el primer periodo, con un promedio de alrededor de 35 fallas por mes. Además, la cantidad de fallas disminuyó durante el último mes analizado, con un mínimo valor de alrededor de 20 fallas. Esto gracias al desarrollo e implementación de las técnicas de Optimización de Mantenimiento Planeado que permitieron mejorar producción en la línea de envasado durante este período.

En general, la gráfica indica que la línea de producción de envasado de cilindros de GLP de uso doméstico de 15 Kg ha experimentado un nivel significativo de fallas durante el período analizado, que poco a poco disminuyeron y que para preservar los estándares de disponibilidad se debería lograr una implementación de manera efectiva del modelo PMO.

4.7.1.5. Diagnóstico y evaluación

En este proyecto, se busca evaluar la factibilidad de implementar un sistema de optimización de mantenimiento planificado (PMO) en una línea de producción de cilindros de gas licuado de petróleo (GLP) para uso doméstico e industrial. El sistema PMO permite mejorar la disponibilidad de equipos a través de la reducción de fallas en la línea de envasado de cilindros de GLP. Para ello, seguimos una estrategia que implica una combinación teórico-práctica en la que se ponen en práctica los métodos de pre-implimentación de los sistemas PMO.

Los resultados obtenidos se miden mediante herramientas como el Índice de Producción, el Tiempo Medio entre Fallas (TMEF), el Tiempo Medio hasta la Falla (TMHF) y el Índice de Efectividad Global de Equipos (OEE).

Se espera que la introducción del sistema PMO tenga un impacto positivo en la disponibilidad de los equipos de la línea de embotellado de GLP, lo que conducirá a una mayor eficiencia y productividad de la línea de producción.

Tabla 51. Indicador de cumplimiento

Equipos / Sistema	PERIODO ENERO A JUNIO			PERIODO JULIO A DICIEMBRE		
	HRS. OP	HRS. STOP	No. Fallas	HRS. OP	HRS. STOP	No. Fallas
TPD 1	3968,38	13,62	38,00	4040,40	7,60	14,00
RD F	3966,53	15,47	25,00	4039,44	8,56	10,00
DTF F	3970,89	11,11	38,00	4041,34	6,66	15,00
DTO F	3977,51	4,49	26,00	4045,31	2,69	10,00
TSD F	3970,48	11,52	13,00	4042,25	5,75	6,00
TSD C	3957,83	24,17	28,00	4036,86	11,14	10,00
TPD 2	3943,31	38,69	40,00	4037,07	10,93	14,00
SGLP	3926,49	55,51	36,00	4034,12	13,88	8,00
SEE	3973,03	8,98	17,00	4042,62	5,39	6,00
SAC	3974,00	8,00	11,00	4043,20	4,80	8,00
CR F	3966,22	15,78	37,00	4044,05	3,95	9,00
BZ F	3948,10	33,90	82,00	4039,52	8,48	20,00
CR C	3974,95	7,05	37,00	4046,24	1,76	9,00
BZ C	3965,66	16,34	80,00	4039,35	8,65	20,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Detalle anual de producción de cilindros

PRODUCCION DE COLINDROS DE 15 KG EN NAVE DE ENVASADO													
UNIDAD DE 15 KGS.													
AÑO 2022	CAPACIDAD	NUMERO DE DIAS TRABAJADOS	HORAS DE OPERACIÓN	HORAS DE FALLO (MENSUAL)	TIEMPO EFECTIVO DE PRODUCTIVIDAD	UNIDADES DESPACHADO POR DIA	CILINDROS NO PRODUCIDOS	PLANIFICACION DE PRODUCCION	PRODUCCION EJECUTADA	% DE RENDIMIENTO	% CILINDROS NO PRODUCIDOS	FALLAS + RENDIMIENTO	OTROS FACTORES
ENERO	52.800,00	31,00	682,00	42,26	639,74	45.463,00	101.426,80	1.636.800,00	1.409.358,00	86,10%	6,20%	92,30%	7,70%
FEBRERO	52.800,00	28,00	616,00	46,07	569,93	46.705,00	110.571,03	1.478.400,00	1.307.767,00	88,46%	7,48%	95,94%	4,06%
MARZO	52.800,00	31,00	682,00	46,12	635,88	46.074,00	110.699,60	1.636.800,00	1.428.295,00	87,26%	6,76%	94,02%	5,98%
ABRIL	52.800,00	30,00	660,00	32,35	627,65	48.288,00	77.646,00	1.584.000,00	1.448.664,00	91,46%	4,90%	96,36%	3,64%
MAYO	52.800,00	31,00	682,00	50,14	631,86	45.075,00	120.346,40	1.636.800,00	1.397.352,00	85,37%	7,35%	92,72%	7,28%
JUNIO	52.800,00	30,00	660,00	47,88	612,12	45.022,00	114.917,20	1.584.000,00	1.350.673,00	85,27%	7,25%	92,52%	7,48%
							635.607,03	9.556.800,00	8.342.109,00	87,32%	6,66%	93,98%	6,02%
JULIO	52.800,00	31,00	682,00	16,53	665,47	49.597,00	39.663,90	1.636.800,00	1.537.523,00	93,93%	2,42%	96,36%	3,64%
AGOSTO	52.800,00	31,00	682,00	17,89	664,11	49.414,00	42.940,56	1.636.800,00	1.531.859,00	93,59%	2,62%	96,21%	3,79%
SEPTIEMBRE	52.800,00	30,00	660,00	16,91	643,09	49.497,00	40.584,50	1.636.800,00	1.484.916,00	90,72%	2,48%	93,20%	6,80%
OCTUBRE	52.800,00	31,00	682,00	15,61	666,39	49.610,00	37.460,50	1.636.800,00	1.540.440,00	94,11%	2,29%	96,40%	3,60%
NOVIEMBRE	52.800,00	30,00	660,00	16,97	643,03	49.160,00	40.728,40	1.636.800,00	1.485.972,00	90,79%	2,49%	93,27%	6,73%
DICIEMBRE	52.800,00	31,00	682,00	16,33	665,67	49.656,00	39.181,30	1.636.800,00	1.539.338,00	94,05%	2,39%	96,44%	3,56%
TOTAL		181	3.982	100	3.717		240.559,16	9.820.800,00	9.120.048,00	92,86%	2,45%	95,31%	4,69%

Fuente: Elaboración propia

4.7.1.6. Productividad y proceso actual

La disponibilidad de equipos es un factor clave que ha incidido en la productividad de la línea de envasado de cilindros de gas licuado de petróleo (GLP), la continuidad ininterrumpida de los equipos es esencial para garantizar una producción eficiente y de alta calidad. Por esta razón, se vuelven necesarias emplear estrategias de mantenimiento que garanticen la operación de los equipos.

Luego de emplear las estrategias del PMO, se comparó la productividad en los dos periodos de tiempo, cuyos resultados mostraron una marcada diferencia. Durante el primer período (enero a junio), la línea de envasado de GLP experimentó numerosas fallas, lo que resultó en una baja utilización de los equipos y una baja productividad. Sin embargo, luego de emplear las estrategias del PMO en el segundo período (julio-diciembre), hubo una disminución en las fallas y un aumento significativo en la disponibilidad de los equipos, lo que se tradujo en un aumento de la productividad.

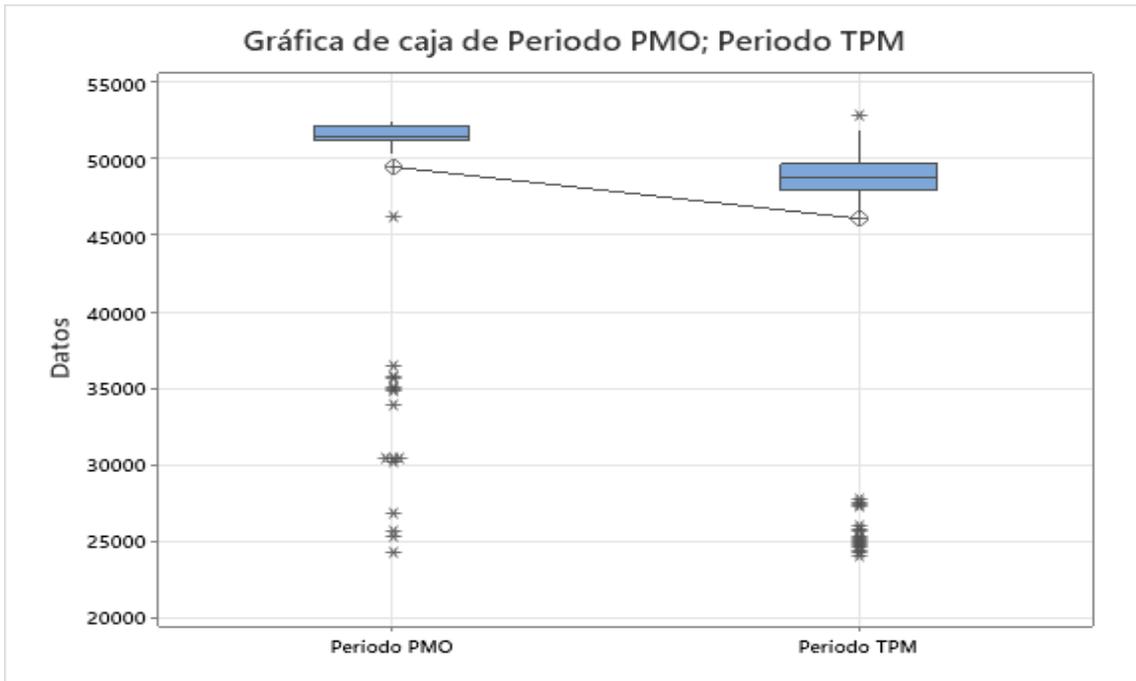
Comparando los dos períodos, encontramos una mejora promedio de la productividad del 5,54% en el segundo período con respecto al primero. Esto indica que es viable efectuar la implementación de estrategias de Optimización del Mantenimiento Planificado, ya que puede tener un impacto positivo en el uso continuo de los equipos y, por lo tanto, en la productividad de la línea envasadora de GLP.

Tabla 53. Datos de producción Enero - diciembre 2022

PERIODO	AÑO 2022	PRODUCCION EJECUTADA	%CILINDROS NO PRODUCIDOS	% DE RENDIMIENTO	% PROMEDIO POR PERIODO
PRIMERO	ENERO	1.409.358,20	6,20%	86,10%	87,32%
	FEBRERO	1.307.768,97	7,48%	88,46%	
	MARZO	1.428.295,40	6,76%	87,26%	
	ABRIL	1.448.664,00	4,90%	91,46%	
	MAYO	1.397.351,60	7,35%	85,37%	
	JUNIO	1.350.672,80	7,25%	85,27%	
SEGUNDO	JULIO	1.537.523,10	2,42%	93,93%	92,86%
	AGOSTO	1.531.859,44	2,62%	93,59%	
	SEPTIEMBRE	1.484.915,50	2,48%	90,72%	
	OCTUBRE	1.540.439,50	2,29%	94,11%	
	NOVIEMBRE	1.485.971,60	2,49%	90,79%	
	DICIEMBRE	1.539.338,70	2,39%	94,05%	

Fuente: Elaboración propia

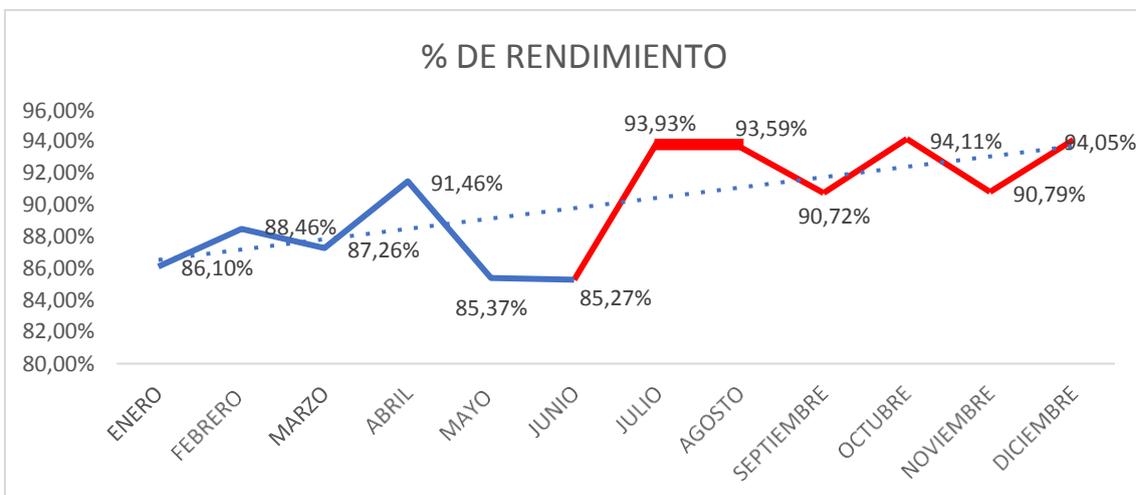
Gráfico 25. Producción de cilindros en dos periodos



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la gráfica que la disminución de los tiempos entre fallas afecta de manera positiva al período de PMO en comparación con el período de TPM. Además, en el período de PMO la distribución de los datos es más estrecha que en el período de TPM, lo que indica una mayor consistencia en la eficiencia de la línea de producción. Esto demuestra que la estrategia de PMO ha tenido un efecto positivo en la reducción del tiempo de inactividad de la línea de producción y con ello un aumento de la eficiencia y eficiencia productiva.

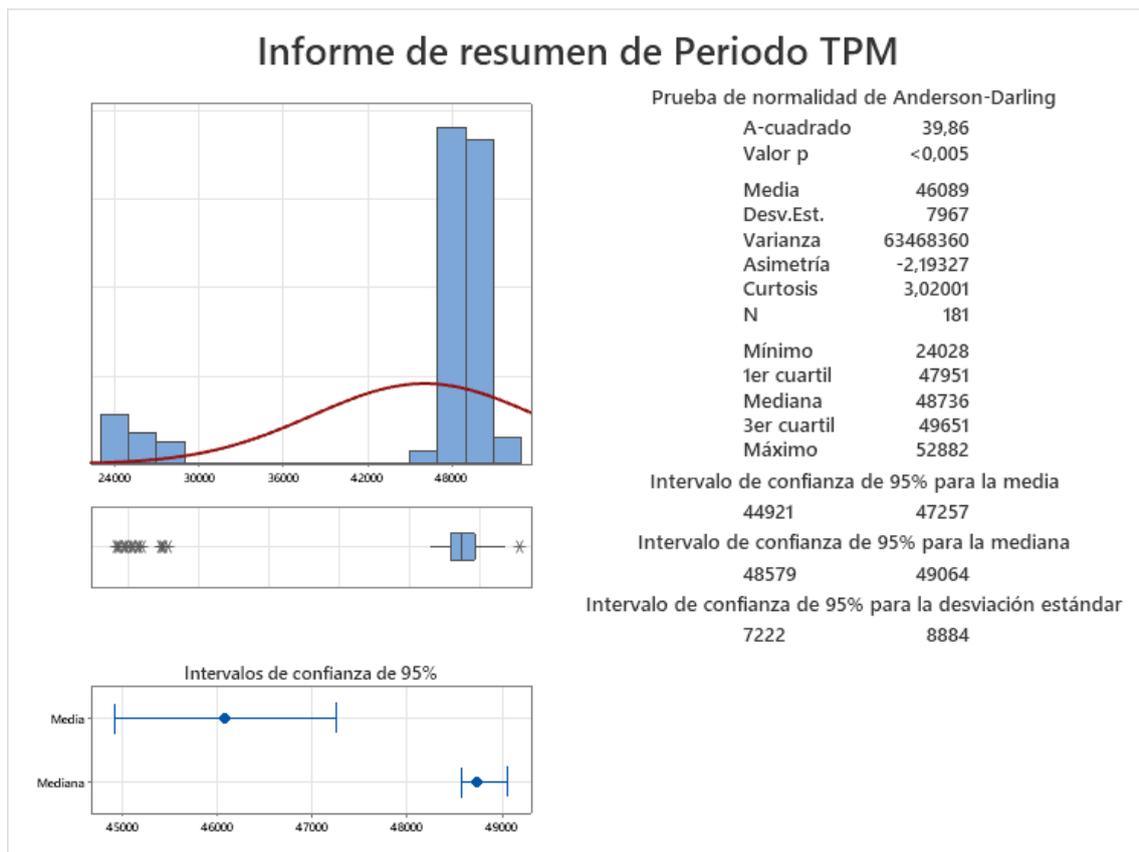
Gráfico 26. Porcentaje de producción Enero - diciembre 2022



Fuente: Elaboración propia

Al comparar la productividad de envasado de cilindros de GLP de 15, 16 y 45 KG durante dos períodos de tiempo, se determina que la estrategia de mantenimiento afecta de manera positiva la productividad. Por lo tanto, es importante que las actividades de mantenimiento cumplan con los principios de mejora para garantizar su disponibilidad y con ello lograr la mayor eficiencia en el la producción de cilindros de GLP.

Gráfico 27. Resumen de Periodo TPM

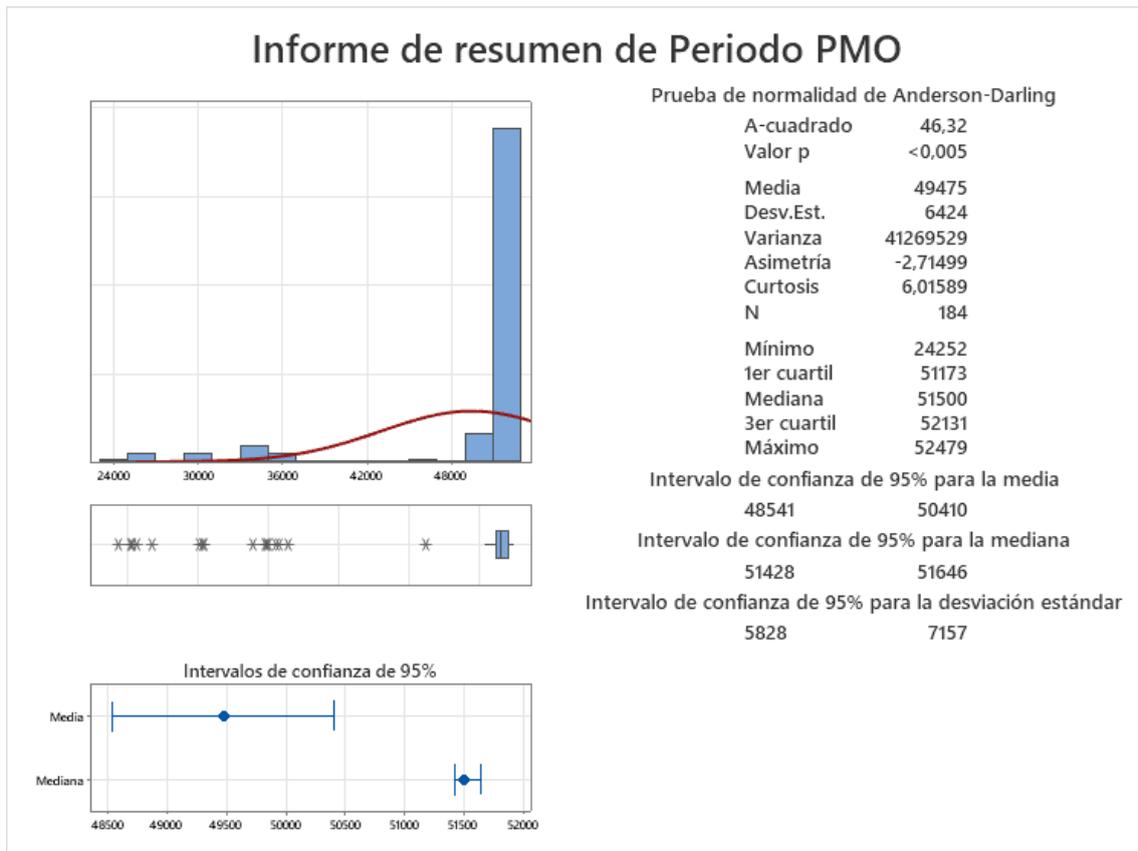


Fuente: Elaboración propia

La gráfica detallada la producción de cilindros producidos por día durante el período TPM. Los datos de producción de cilindros de gas durante el período TPM no siguen una distribución normal, además, los intervalos de confianza para la producción promedio son bastante amplios, lo que demuestra datos son bastante variables.

Los resultados demuestran que durante el período TPM existió inestabilidad considerable en la producción de cilindros de gas, por ello, los datos no siguen una distribución normal. Los datos permiten identificar las mejoras a emplear en el proceso de envasado y establecer estrategias y objetivos para incrementar la producción.

Gráfico 28. Resumen de Periodo PMO



Fuente: Elaboración propia

La producción promedio de cilindros de se incrementó significativamente después de la aplicación de las estrategias del del PMO, lo que indica que la táctica de mantenimiento tuvo un impacto positivo en la productividad de la línea de producción.

En cuanto a las pruebas de normalidad e intervalo de confianza, podemos observar de manera general que datos para el período PMO muestran una distribución más cercana a la distribución normal y tienen un intervalo de confianza más estrecho, en comparación al del Periodo TPM, esto muestra que existe una mayor consistencia de datos y menor variabilidad durante el proceso de envasado de cilindros.

4.7.1.7. Demostración de la hipótesis.

Dada la comparación de las pérdidas de producción generadas, debido a las paradas imprevistas línea de envasado de cilindros de GLP durante el periodo comprendido entre enero a junio, nace la necesidad de realizar una comprobación estadística de la hipótesis planteada en el este estudio y que se describe a continuación, aplicando “*La optimización del mantenimiento preventivo permitirá disminuir el número de fallas entre un 30% y*

40% para mejorar la productividad en un 5% de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP”.

La hipótesis se aceptará o rechazará analizando la información proporcionada en este estudio

4.7.1.8. Planteamiento de la hipótesis.

Dentro de este procedimiento se inicia con el planteamiento de la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

Hipótesis nula: H_0 = Que la aplicación de la metodología PMO reduce las pérdidas de producción en la línea de envasado de cilindros de GLP para uso doméstico e industrial.

Hipótesis alternativa: H_1 = Las fallas en la producción son mayores en el primer periodo de la investigación con relación al segundo periodo.

4.7.1.9. Nivel de significancia.

El nivel de significación α es la probabilidad de cometer un error de tipo I, es decir, rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Generalmente se acepta un nivel de significación del 5 % ($\alpha = 0,05$), lo que significa que hay un 5 % de probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Este nivel de significación se usa ampliamente en la investigación y se considera un equilibrio razonable entre los errores de tipo I y tipo II. Tenga en cuenta que el nivel de significación debe determinarse antes de realizar la prueba estadística y no después de analizar los resultados.

4.7.1.10. Análisis de datos.

Existen múltiples métodos estadísticos que se pueden emplear para determinar si la aplicación del enfoque PMO tiene un impacto significativo en la reducción de pérdidas de producción en la línea de embotellado de GLP doméstico e industrial o no.

4.7.1.11. Selección del modelo estadístico de prueba de la hipótesis.

El objetivo del estudio es probar la hipótesis relacionada con la reducción de la pérdida de producción en la línea de envasado de cilindros de GLP de uso doméstico e industriales. Para ello se utilizará un análisis estadístico como la t de Student para

comparar las medias de fallo de producción entre dos periodos.

Se eligió la prueba t de Student porque es necesario comparar las medias de dos muestras de variables cuantitativas independientes y el número de muestras es mayor a 80. Además, esta prueba es adecuada para probar hipótesis cuando se trabaja con muestras pequeñas y se supone que la población se distribuye normalmente con igual varianza.

El análisis estadístico que se utilizará para probar la hipótesis será un análisis t de Student, ya que cumple con los criterios necesarios para comparar las fallas de producción promedio entre los dos períodos. Esto permitirá obtener conclusiones precisas y confiables sobre la efectividad del método PMO para reducir las pérdidas de producción en las líneas de empaque de cilindros de GLP para uso doméstico e industrial.

4.7.1.12. Prueba de Hipótesis de fallas ocurridas

Método

μ_1 : media de población de Fallas TPM

μ_2 : media de población de Fallas PMO

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Fallas TPM	84	6,05	3,66	0,40
Fallas PMO	84	1,89	1,10	0,12

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
4,155	2,704	(3,331; 4,979)

Prueba

Hipótesis nula $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
9,96	166	0,000

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que existe una diferencia significativa entre las medias poblacionales de fallas de TPM y PMO. Debido a que el p-

valor obtenido está por debajo del nivel de significación especificado (0,05), lo que sugiere que se deba rechazar la hipótesis nula, concluyendo que la metodología PMO redujo las fallas en la producción de cilindros de GLP de uso domésticos e industrial.

Por lo tanto, se recomienda continuar utilizando la metodología PMO y realizar seguimientos periódicos para evaluar su eficacia y mantener las mejoras de productividad en las líneas de envasado. Además, se pueden considerar nuevos métodos y técnicas para mejorar aún más la eficiencia y reducir aún más el tiempo de inactividad de la producción.

4.7.1.13. Prueba de Hipótesis de Producción de cilindros

Método

μ_1 : media de población de Periodo PMO

μ_2 : media de población de Periodo TPM

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Periodo PMO	184	49475	6424	474
Periodo TPM	181	46089	7967	592

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
3386	7230	(1898; 4875)

Prueba

Hipótesis nula $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
4,47	363	0,000

Al comparar las poblaciones medias durante los períodos PMO y TPM en la producción de cilindros, las estadísticas descriptivas muestran una producción media de cilindros en el Periodo PMO es más alta que en el TPM, pero su desviación estándar más baja.

La estimación de la diferencia asume que la producción media de cilindros del período PMO con respecto al período TPM es mayor, y que el intervalo de confianza del 95 % para esta diferencia está entre 1898 y 4875.

La prueba t para diferencia de medias mostró un valor t de 4,47 con 363 grados de libertad y un valor p muy bajo de 0,000. Esto indica que la diferencia entre las medias de los dos periodos es significativa y se debe rechazar la hipótesis nula (que no hay diferencia significativa entre las medias de los dos periodos). Por lo tanto, se puede concluir que el promedio de los cilindros producidos es significativamente mayor en el período PMO que en la fase TPM.

4.7.1.14. Análisis y Decisión

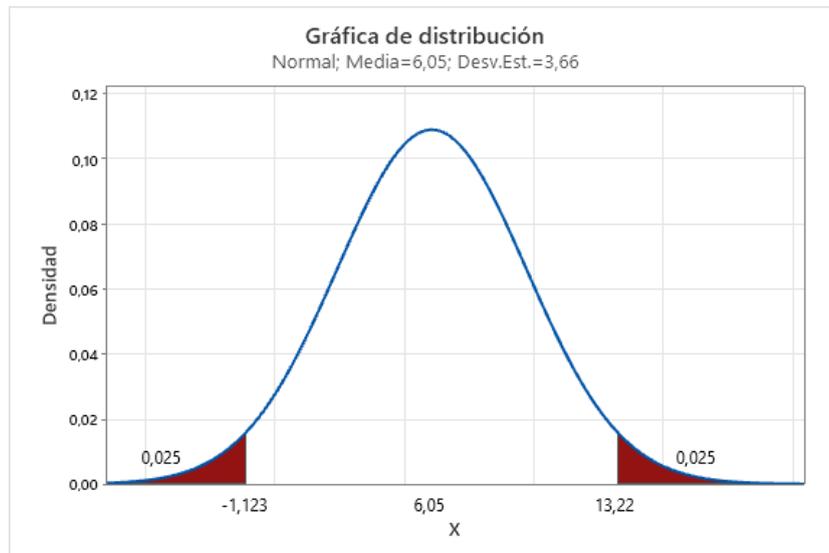
Análisis

En la prueba de hipótesis se comparó las paradas de producción de los dos períodos, uno en cual se establece mantenimiento preventivo (Fallas TPM) y otra en la que empleo estrategias PMO (paradas de PMO). Se tomó una muestra de 84 observaciones en cada período y se fijó un nivel de significancia de 0.05.

Los resultados mostraron que el número promedio de fallas durante el período sin la metodología PMO fue de 6.05 (intervalo medio entre fallas) con una desviación estándar de 3.66 y un error estándar de la media de 0.40. A diferencia para el período en donde se utilizó las estrategias del PMO que fue 1,89 con una desviación estándar de 1,10 y un error estándar de la media de 0,12.

Al realizar la prueba de hipótesis, se planteó que las diferencias de las medias de fallas de la hipótesis nula entre los dos periodos eran igual a cero, y que la hipótesis alternativa la diferencia era distinta de cero. El valor de p obtenido es 0.000, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre las dos medias. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto sugiere que la implementación del método PMO tuvo un efecto significativo en la reducción de pérdidas de producción.

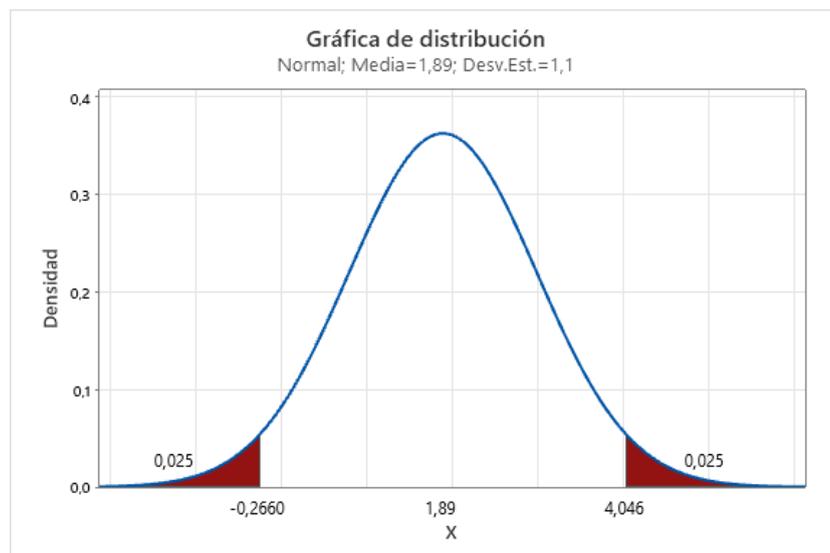
Gráfico 29. Distribuciones muestrales Fallas TPM



Fuente: Elaboración generada a través de Minitab

Se puede que el gráfico de fallas de TPM tiene una tasa de fallas significativamente mayor que el gráfico de fallas de PMO. Esto indica que las líneas de producción experimentaron más averías e interrupciones no planificadas durante los períodos en que no se utilizaron técnicas de PMO, lo que resultó en mayores pérdidas en la producción y la eficiencia. Por otro lado, la cantidad de fallas y cortes no planificados se reduce considerablemente durante el período de aplicación del método PMO, lo que da como resultado una línea de producción eficiente con bajas pérdidas.

Gráfico 30. Distribuciones muestrales Fallas PMO



Fuente: Elaboración generada a través de Minitab

Los resultados obtenidos muestran que la implementación del método PMO ha tenido un

impacto significativo en la reducción de las pérdidas de producción y el tiempo de inactividad no planificado de las máquinas en las líneas de cilindros de GLP de uso doméstico e industriales. Por lo tanto, se recomienda continúe utilizando este método e implementarlo para mejorar calidad, mantener la eficiencia y reducir las pérdidas de producción.

Decisión

Los registros de mantenimiento han determinado que los niveles de fallas se disminuyeron luego de la aplicación de las estrategias del PMO (Ver Gráfico 20), donde se observa una reducción del 68,70% de fallas en la línea de envasado de GLP del primer periodo con respecto al segundo. Por otra parte, en la Tabla 53 y 54 se puede observar el crecimiento de la producción desde el 87,32% hasta el 92,86% que deja como resultado un incremento del 5,54%.

En este sentido, se puede considerar que se ha cumplido la hipótesis general que establece que con la implementación del PMO se logra la disminución del número de fallas entre un 30% y 40% y se mejora la productividad en un 5% de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP.

Tabla 54. Producción de cilindros en nave de envasado - Primer Periodo

AÑO 2022	PLANIFICACION DE PRODUCCION	PRODUCCION EJECUTADA	% DE RENDIMIENTO
ENERO	1.636.800,00	1.409.358,20	86,10%
FEBRERO	1.478.400,00	1.307.768,97	88,46%
MARZO	1.636.800,00	1.428.295,40	87,26%
ABRIL	1.584.000,00	1.448.664,00	91,46%
MAYO	1.636.800,00	1.397.351,60	85,37%
JUNIO	1.584.000,00	1.350.672,80	85,27%
TOTAL	9.556.800,00	8.342.110,97	87,32%

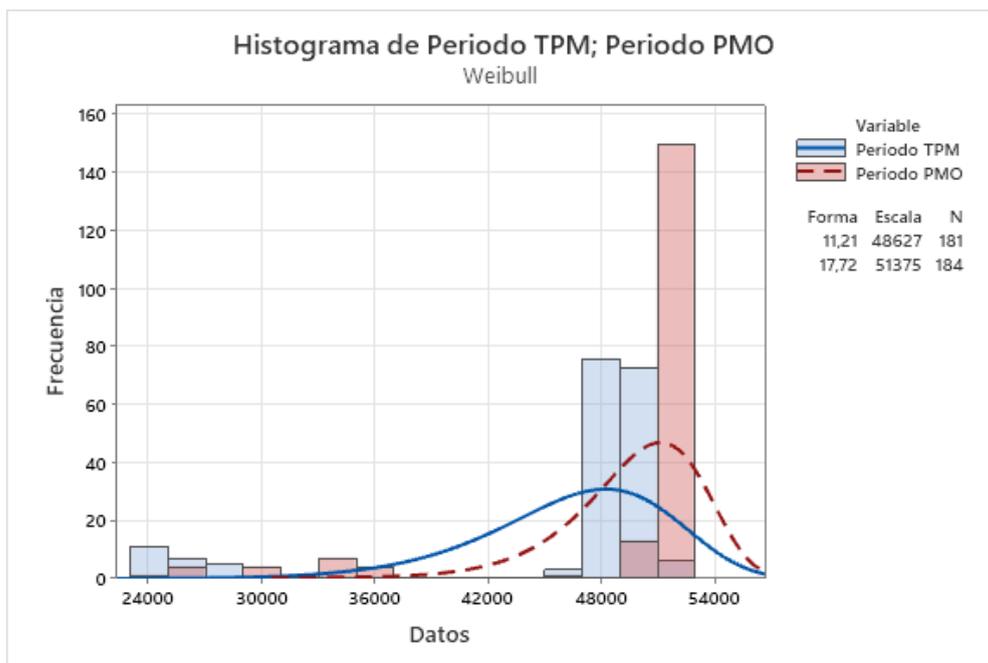
Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Producción de cilindros en nave de envasado - Segundo Periodo

AÑO 2022	PLANIFICACION DE PRODUCCION	PRODUCCION EJECUTADA	% DE RENDIMIENTO
JULIO	1.636.800,00	1.537.523,10	93,93%
AGOSTO	1.636.800,00	1.531.859,44	93,59%
SEPTIEMBRE	1.636.800,00	1.484.915,50	90,72%
OCTUBRE	1.636.800,00	1.540.439,50	94,11%
NOVIEMBRE	1.636.800,00	1.485.971,60	90,79%
DICIEMBRE	1.636.800,00	1.539.338,70	94,05%
TOTAL	9.820.800,00	9.120.047,84	92,86%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 31. Histograma de Periodo TPM; Periodo PMO



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos presentados, las estrategias del PMO parece haber sido eficaz para reducir las fallas y aumentar la productividad en la línea de producción de cilindros de GLP para uso doméstico e industrial. Los registros de mantenimiento muestran que la planta envasadora de GLP tiene un 68,70% menos de averías en el segundo período en comparación con el primer período, lo que indica una mejora significativa en la eficiencia del proceso. Además, hay un aumento de la producción del 5,54% en el segundo período en comparación con el primer período.

Conclusiones

- Las estrategias del sistema PMO aplicadas a la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, permitió disminuir el 68,70% número de fallas del segundo periodo de análisis de datos en comparación con el primer periodo. Esta disminución de fallas contribuyó al aumento de la productividad en un 5,54%, confirmando la hipótesis general.
- El mantenimiento preventivo resuelve el 38% fallas ocultas en la línea de envasado de GLP, permitiendo de esta forma la continuidad de la producción cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg
- La Optimización del Mantenimiento Planeado PMO disminuyó el número de fallas de 508 a 159 en los dos periodos de análisis, con esta reducción significativa se obtuvo una mejora la disponibilidad de los equipos
- La simulación del proceso productivo con la herramienta de optimización del mantenimiento planeado PMO permitió establecer un incremento en la producción que podría llegar hasta un 5,54

Recomendaciones

- Implementar el sistema PMO permitirá mejorar la producción de la línea de envasado y disminuir el número de fallas. Esto reduce significativamente los costos de mantenimiento correctivo y aumenta la disponibilidad del equipo.
- Brindar capacitación al personal técnico y operativo sobre la implementación del sistema PMO, la importancia que tiene la optimización del mantenimiento y su incidencia para garantizar la continuidad de la productividad.
- Inspeccionar periódicamente el cumplimiento estratégico del sistema PMO para identificar oportunidades de crecimiento y garantizar la continuidad del éxito en la reducción de la cantidad de errores y el aumento de la productividad.
- Investigar y evaluar nuevas tecnologías y herramientas que puedan complementar el sistema PMO y mejorar aún más la eficiencia y eficacia del mantenimiento preventivo en la línea de producción de cilindros de GLP.

Referencias

- PDCA Home. (17 de Junio de 2012). *RCM – Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad*. Obtenido de <https://www.pdcahome.com/rcm/>
- (14 de Octubre de 2020). Obtenido de ¿Qué es el diseño de investigación?: <https://tiposdeinvestigacion.review/que-es-el-diseno-de-investigacion/>
- Ausenco Rylsones. (16 de Noviembre de 2016). Obtenido de Jacknife vs Pareto, ¿cuál es mejor y por qué?: <https://ausencorylsones.wordpress.com/2016/11/16/jacknife-vs-pareto-cual-es-mejor-y-por-que/#:~:text=Diagrama%20Jack%20Knife,sistemas%20usando%20diagramas%20de%20dispersi%C3%B3n.>
- Carlos. (15 de Noviembre de 2017). *Qué es el método de evaluación W. Fine*. Obtenido de <https://seguridadindustrial77.blogspot.com/2017/11/metodo-de-evaluacion-w-fine.html>
- CMMS. (5 de Junio de 2019). *La optimización del mantenimiento preventivo planeado*. Obtenido de <https://cmms.pe/la-optimizacion-del-mantenimiento-preventivo-planeado/>
- Ecuador, AIHE – Asociacion Industrial Hidrocarburifera del Ecuador;. (Mayo de 2021). *EL PETROLEO EN CIFRAS 2020*. Obtenido de <https://www.aihe.org.ec/wp-content/uploads/2021/04/PETROLEO-EN-CIFRAS-2020-WEB-OK.pdf>
- Ellmann, Sueiro y Asociados. (2008). *GESTIÓN DE LOS ACTIVOS FÍSICOS PASS 55*. Obtenido de Ellmann, Sueiro y Asociados: http://ellmann.net/archivos/articulos/8/Articulo_Gestion_de_los_Activos_Fisicos_PAS_55_.pdf
- Ellmann, Sueiro y Asociados. (2019). *DIAGNÓSTICO GAF SEGÚN NORMAS ISO 55000*. Obtenido de <http://ellmann.net/es/servicio/2/gesti%C3%B3n-de-confiabilidad-de-activos-f%C3%ADsicos#ISO-55000>
- eMaint , b. (2022). *Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento (KPI)*. Obtenido de <https://www.emaint.com/es/works/cmms-kpi/#:~:text=Los%20indicadores%20clave%20de%20rendimiento,un%20seguimiento%20de%20los%20KPI.>
- eMaint by Fluke Corporation . (3 de Marzo de 2022). *MTBF, MTTF, MTTR: potentes KPI de mantenimiento*. Obtenido de <https://www.emaint.com/es/mtbf-mttf-mtr-maintenance-kpis/>
- Eurofins Envira Ingenieros Asesores. (3 de Diciembre de 2021). *¿Qué es el MTBF en mantenimiento?* Obtenido de <https://envira.es/es/mtbf/>
- García Palencia, O. (22 de Junio de 2007). Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad Operacional GMC 2007. *El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado*. Santiago de Chile, Chile.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Gentile Pappalardo, M. (3 de Diciembre de 2019). *Evolución del mantenimiento industrial: desde origen hasta la actualidad*. Obtenido de [lifeder: https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/](http://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/)
- Gutiérrez, H. (2010). *Calidad y productividad. 3ª edición*. México: MC Graw Hill.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). ¿Qué son las hipótesis? En C. F. Collado, & P. B. Lucio, *Metodología de La Investigacion Sexta edición* (pág. 104). México D.F. C.P. 01376: Punta Santa Fe.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación 6ta Edición*. México D.F.: Industria Editorial Mexicana.

- Hernandez, R., Fernandez, C., & Batista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. 6.^a ed. Colombia: Mc Graw Hill education.
- Hernandez, R. Fernandez, C & Baptista, P. (2004). *Metodologia de la investigacion*.
Obtenido de
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38911499/Sampieri.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSampieri.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190725%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-
- Hidrocarburiífero, A. d. (25 de Abril de 2016). *REGLAMENTO ACTIVIDADES DE COMERCIALIZACION*. Obtenido de
<https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-Suplemento-621-Res.-ARCH-2.pdf>
- Infraspeak. (24 de Septiembre de 2021). *Qué es el MTTR? Definición, cálculo y formas de reducirlo*. Obtenido de <https://blog.infraspeak.com/es/mtrr/>
- Institute for Healthcare Improvement. (24 de Septiembre de 2013). *Número de prioridad de riesgo (del análisis de efectos y modos de falla)*. Obtenido de Medidas:
<https://www.ihl.org/resources/Pages/Measures/RiskPriorityNumberfromFailureModesandEffectsAnalysis.aspx>
- JMP.COM. (9 de Julio de 2021). *JMP Statistical Discovery* . Obtenido de El diagrama de Pareto muestra el conteo ordenado de frecuencias de los datos:
https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/pareto-chart.html
- Kosan, Crsiplant;. (2020). Manual de Servicio . *Detectora de fugas electrónico ET2/ETI-GD-CIR*.
- Meire. (22 de Mayo de 2018). *Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA)*. Obtenido de <https://blogdelocalidad.com/analisis-de-modos-de-fallas-y-efectos-fmea/>
- Ponce Mostacero, A. (Marzo de 2018). *Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción*. Piura , Perú: Universidad de Piura.
- Ponce Mostacero, A. (Marzo de 2018). Proceso de implementación del PMO . *Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción*. Piura, Peru.
- Prokopenko, J. (1989). *La gestión de la productividad - Manual práctico*. Ginebra.
- QuestionPro. (s.f.). Obtenido de ¿Cuáles son los métodos cuantitativos de recolección de datos?: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-cuantitativos/#:~:text=Los%20m%C3%A9todos%20cuantitativos%20son%20un%20uso%20de%20datos%20estad%C3%ADsticos%20preexistentes>
- SafetyCulture. (11 de Julio de 2022). *SafetyCulture* . Obtenido de Mantenimiento basado en condición: <https://safetyculture.com/es/temas/mantenimiento-basado-en-condicion/#:~:text=El%20mantenimiento%20basado%20en%20la%20condici%C3%B3n%20tambi%C3%A9n%20conocido%20como%20CMB,averiarse%20o%20se%20ha%20averiado>.
- SENPLADES. (2008). *Ecuador hoy y en el 2025: Apuntes sobre la evolución demográfica*. Quito - Ecuador.
- Stedman, C. (Agosto de 2021). Obtenido de Indicador clave de rendimiento o KPI:
<https://www.computerweekly.com/es/definicion/Indicador-clave-de-rendimiento-o-KPI>
- Steve Turner, O. L. (2009). *PMO – Optimización del Plan de Mantenimiento*.

- SUPER USER. (28 de Septiembre de 2020). *¿Qué es el mantenimiento correctivo?*
Obtenido de <https://www.aner.com/blog/mantenimiento-correctivo.html>
- TCMetrologia. (28 de Julio de 2022). Obtenido de Minitab: ¿qué es y para qué sirve?:
<https://www.tcmetrologia.com/blog/minitab-que-es-y-para-que-sirve/#:~:text=MINITAB%20es%20un%20software%20estad%C3%ADstico,en%20el%20proceso%20de%20producci%C3%B3n>.
- Valderrama Mendoza, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Vélez, D. A. (2007). TESIS DE GRADO. *Análisis y propuesta de mejora de un sistema de control de inventario en una planta envasadora de gas licuado de Petróleo*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Verano Hidalgo, F. V. (s.f.). *5ta Generación del Mantenimiento*. Lara, Venezuela: De la industria 4.0 a la Terotecnología del Mantenimiento. El Mantenimiento de Clase Mundial.
- VILLACÍS BONILLA , M. E. (2017). *OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO (PMO) DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CUYABENO BLOQUE 58*. RIOBAMBA – ECUADOR: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Wikipedia. (24 de Agosto de 2020). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*.
Obtenido de
https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_centrado_en_la_confiabilidad

Anexos

Anexo 1. Matriz operacionalización variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Independiente Optimización de Planes de Mantenimiento PMO	Tiene como objetivo determinar las tareas de adecuadas que permitan minimizar el tiempo de inactividad del equipo y que proporcionen un uso más eficaz de los sistemas y recursos para asegurar los resultados deseados al menor costo posible, considerando todas las limitaciones.	Método diseñado mediante serie de procesos de mejora continua, que incorporan en que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, en búsqueda de optimizar la gestión planeación y control de la producción la gestión, planeación y control, de la producción industrial.	Disponibilidad	$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de trabajo} - \text{Tiempo de avería}}{\text{Número de fallos}}$ $MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de intervenciones}}$ $MTTF = \frac{\text{Horas totales de operación}}{\text{Número total de unidades}}$	Razón

Anexo 2. Matriz operacionalización variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Dependiente	Producción	Facilita la toma de decisiones relacionadas con el entorno de la operación permitiendo mejorar la eficiencia de la planta, para identificar áreas de mejora y establecer medidas correctivas que permitan aumentar la eficiencia de la planta.	Eficiencia	$Eeq = \text{Utilización de equipos}$ $\%Eeq = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo programado}} \times 100$	Razón
			Eficacia	$CP = \text{Cumplimiento del plan}$ $\%CP = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Plan de producción}} \times 100$	

Anexo 3. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MARCO TEÓRICO
GENERAL	GENERAL:	GENERAL			
¿De qué forma la optimización del plan de mantenimiento preventivo mejora la producción de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, ¿garantiza la disponibilidad de las máquinas y la seguridad en el proceso?	Optimizar el plan de mantenimiento preventivo para incrementa la productividad de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, disminuyendo el número de fallas, garantizar la disponibilidad de las máquinas y la seguridad del proceso.	La optimización del mantenimiento preventivo permitirá disminuir el número de fallas entre un 30% y 40% para mejorar la productividad en un 5% de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP.			
ESPECÍFICOS					
¿En qué medida el sistema de gestión del mantenimiento que la empresa tiene actualmente incide en la productividad de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP?	Evaluar la situación actual del sistema de gestión del mantenimiento de la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, para determinar el número de fallas, la disponibilidad de los equipos y la influencia que tiene en la productividad.	El mantenimiento preventivo resuelve el 15% de las fallas encontradas en la línea de envasado de GLP y permite la continuidad de la producción cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg.	V.I: Gestión de Mantenimiento.	Registro de Mantenimientos programados Registro de Mantenimientos no programados Tiempos empleados en reparaciones	Análisis de los datos de la empresa

			V.D: Producción	Índice de producción Tiempo neto de producción	Análisis de falla en sistema de envasado de GLP Sistema de mantenimiento para envasado de GLP
¿En qué medida se puede disminuir el número de fallas y mejorar la productividad de los equipos?	Proponer la optimización del plan de mantenimiento preventivo para disminuir el número de fallas y mejorar la productividad de los equipos mediante la implementación de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO	La Optimización del Mantenimiento Planeado PMO disminuye el número de fallas entre un 30% y 40% y mejora la disponibilidad de los equipos.	V.I: Herramienta Optimización de Planes de Mantenimiento PMO	Tiempo medio entre fallos (MTBF) Tiempo medio hasta haber reparado la avería (MTTR) Tiempo medio hasta el fallo (MTTF) Índice de eficiencia global de equipos	Optimización del Mantenimiento Planeado Procesos de mantenimiento
			V.D Tiempos de producción	Margen de utilidad operativo Satisfacción del cliente	
¿Cómo la implementación de la Optimización del Mantenimiento Planeado PMO podrá mejorar los procesos de producción?	Simular los procesos de producción mediante la implementación de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO	La simulación del proceso productivo con la herramienta de Optimización del Mantenimiento Planeado PMO permitirá establecer un incremento en la producción que podría llegar hasta un 5%.	V.I: Aplicación de herramientas Optimización del Mantenimiento Planeado a través de simulación de procesos	Índice de producción de la planta Registro de predicción de disponibilidad de equipos	Sistema de control de datos de producción Kosan Crisplant Indicadores financieros
			V.D Costo de producción	Margen de utilidad operativo Satisfacción del cliente	

Anexo 4. Desarrollo de causa-efecto Materiales

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
Materiales	Control de inventarios	Baja disponibilidad repuestos	Alta consumo de repuestos	Cantidad elevada de trabajos no planificados	Plan de mantenimiento poco eficiente	-	
	Problemas de asignación de recursos	Disponibilidad presupuestaria inadecuada	Se deriva hacia otros requerimientos	Determinación de la alta gerencia	-	-	Optimización del plan de mantenimiento
	Retraso en la reposición de stock	Tiempo de entrega extenso	La contratación requiere de un tiempo establecido	Demoras en la elaboración de requerimiento	Demora en la aprobación de proceso de contratación	Cumplimiento de procedimiento y normas	

Anexo 5. Desarrollo de causa-efecto Personal

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
Mano de obra	Desigualdad de conocimiento entre los técnicos	Ignorancia	Poca de preparación	Falta de interés o motivación	Frustración	Pensar que no se valora su criterio	Optimización del plan de mantenimiento
	Diagnostico Inadecuado	Falta de personal	Elevada carga laboral	Satisfacer necesidad operativa	Cumplimiento de producción	-	

Anexo 6. Desarrollo de causa-efecto Maquinas

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
Maquinas	Equipos descalibrados	Perdida de ajuste	Daño en elemento de soporte	Funcionalidad constate del equipo	No se permite efectuar paralizaciones	Cumplimiento de programación	Optimización del plan de mantenimiento
	Equipos descontinuados	Escasez elementos de fabricación	Toma de decisión de no fabricar más	Impacto en ventas disminuyo	Actualización de modelos	Mejorar estándares de calidad	

Anexo 7. Desarrollo de causa-efecto Métodos

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
	Fallas sin análisis	No se han identificado las oportunidades de mejora	No se han determinado las fallas potenciales	No hay indicadores	Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos	-	
Métodos	Reparación Inadecuada	Falta de análisis de todos los efectos	No se identifica las posibles causas de la falla	Calificar probabilidad de incidencia	Identificar el procedimiento a aplicar para evitar fallas futuras	Calificar la detección de falla	Optimización del plan de mantenimiento
	Incumplimiento de normas y procedimiento	No existe un mapa del proceso	Falta de conocimiento del proceso de funcionamiento	Falta de interés	-	-	

Anexo 8. Desarrollo de causa-efecto Medio Ambiente

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
Medio Ambiente	Espacios inadecuados	No fueron diseñados adecuadamente	No se realizó un análisis adecuado	No se contaba con los recursos o la capacitación necesarios	No se reconoció la importancia de este análisis para el éxito del proyecto	No fomenta la planificación y el análisis adecuados antes de la ejecución de los proyectos.	Optimización del plan de mantenimiento
	Problemas ergonómicos	Ambiente sónico	Daños de acometida neumática	Exceso de presión de aire	Falta de regulación automática	Daño en controlador	

Anexo 9. Desarrollo de causa-efecto Mediciones

Principal	Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Solución Aparente
Mediciones	Descalibración de balanzas	Fallas en base de balanzas	Daños en cauchos y pernos	Base de cilindros en mal estado	Falla de control de ingreso pasa, no pasa	Carga laboral excesiva	Optimización del plan de mantenimiento
	Desprogramación de CUC	Alteración o manipulación	Emplear valores erróneos	Ejecutado por personal no calificado	Iniciativa propia		

Anexo 10. Datos de producción año 2022

Días	Datos de Produccion											
	Primer Periodo						Segundo Periodo					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1,00	46.975,00	50.222,00	49.974,00	49.582,00	47.786,00	47.854,00	50.962,00	50.897,00	51.807,00	51.298,00	51.111,00	52.291,00
2,00	25.600,00	50.848,00	48.424,00	48.582,00	48.226,00	46.564,00	50.712,00	51.500,00	51.387,00	51.871,00	52.479,00	51.022,00
3,00	50.300,00	49.842,00	49.826,00	50.880,00	47.530,00	47.952,00	51.634,00	51.211,00	52.445,00	52.460,00	51.419,00	51.408,00
4,00	50.216,00	49.212,00	48.316,00	50.738,00	47.998,00	24.902,00	51.500,00	51.689,00	35.014,00	51.794,00	51.409,00	34.898,00
5,00	49.565,00	49.444,00	24.644,00	49.748,00	48.516,00	48.546,00	51.123,00	51.223,00	52.389,00	52.066,00	52.237,00	52.311,00
6,00	48.742,00	27.278,00	49.760,00	49.832,00	48.224,00	48.742,00	50.947,00	51.167,00	51.961,00	52.202,00	30.347,00	52.409,00
7,00	48.736,00	51.884,00	48.504,00	49.282,00	24.712,00	47.982,00	50.995,00	46.265,00	52.131,00	52.316,00	52.023,00	51.260,00
8,00	25.000,00	50.308,00	49.554,00	48.766,00	48.518,00	48.756,00	50.968,00	51.500,00	51.385,00	51.444,00	52.399,00	51.754,00
9,00	50.240,00	49.029,00	49.596,00	25.756,00	48.460,00	47.114,00	50.947,00	51.913,00	51.259,00	36.394,00	52.121,00	52.283,00
10,00	50.984,00	49.347,00	48.156,00	52.882,00	48.294,00	47.360,00	25.577,00	51.287,00	51.339,00	52.472,00	52.047,00	51.423,00
11,00	49.052,00	49.409,00	49.364,00	51.668,00	47.972,00	24.738,00	51.493,00	51.017,00	34.949,00	52.143,00	52.375,00	33.892,00
12,00	48.302,00	49.339,00	25.910,00	49.296,00	47.566,00	49.412,00	51.217,00	51.133,00	52.235,00	51.884,00	52.155,00	52.410,00
13,00	49.538,00	27.221,00	49.924,00	49.754,00	47.908,00	47.538,00	50.940,00	51.039,00	52.271,00	51.728,00	30.098,00	52.305,00
14,00	49.437,00	51.101,00	48.734,00	49.698,00	24.348,00	47.732,00	50.954,00	24.252,00	51.325,00	51.891,00	52.029,00	52.132,00
15,00	48.562,00	50.761,00	48.664,00	48.734,00	48.608,00	47.570,00	50.835,00	51.500,00	51.199,00	51.222,00	52.319,00	51.258,00
16,00	25.300,00	48.083,00	48.560,00	50.182,00	47.370,00	47.972,00	50.841,00	51.367,00	51.777,00	35.588,00	50.577,00	52.221,00
17,00	50.700,00	50.581,00	49.390,00	51.844,00	48.368,00	46.412,00	25.271,00	51.551,00	51.291,00	52.073,00	51.327,00	51.898,00
18,00	48.582,00	49.258,00	48.836,00	49.738,00	48.564,00	24.028,00	51.500,00	51.196,00	34.823,00	52.206,00	51.563,00	33.938,00
19,00	49.936,00	48.663,00	24.206,00	48.756,00	47.890,00	49.528,00	51.465,00	51.027,00	52.257,00	52.115,00	52.223,00	52.425,00
20,00	47.979,00	27.739,00	49.872,00	49.134,00	48.702,00	49.538,00	51.383,00	51.091,00	51.423,00	52.222,00	30.430,00	52.205,00
21,00	48.141,00	50.129,00	49.722,00	49.964,00	24.668,00	48.162,00	51.541,00	25.200,00	51.571,00	52.366,00	52.223,00	51.895,00
22,00	48.417,00	50.863,00	49.806,00	49.680,00	48.624,00	49.508,00	51.402,00	51.500,00	51.569,00	52.116,00	52.479,00	52.130,00
23,00	25.900,00	49.374,00	48.370,00	25.118,00	47.112,00	47.950,00	51.304,00	51.383,00	51.651,00	35.731,00	51.483,00	51.452,00
24,00	50.050,00	49.530,00	49.638,00	51.526,00	47.672,00	47.910,00	51.015,00	51.147,00	51.783,00	52.194,00	51.189,00	52.027,00
25,00	49.619,00	50.639,00	48.532,00	49.128,00	48.278,00	24.618,00	51.497,00	51.261,00	34.894,00	52.346,00	52.435,00	33.877,00
26,00	48.674,00	49.411,00	24.636,00	49.664,00	47.920,00	48.864,00	51.500,00	51.327,00	52.217,00	52.184,00	52.161,00	52.411,00
27,00	48.821,00	27.335,00	49.568,00	49.788,00	24.610,00	48.628,00	51.812,00	51.255,00	52.205,00	51.534,00	30.430,00	52.308,00
28,00	48.798,00	50.917,00	49.544,00	49.982,00	48.754,00	48.516,00	51.446,00	50.345,00	51.559,00	51.798,00	52.191,00	51.968,00
29,00	48.862,00		49.364,00	48.394,00	48.616,00	47.562,00	51.891,00	51.537,00	51.039,00	51.414,00	52.355,00	51.660,00
30,00	27.500,00		49.512,00	50.568,00	48.038,00	48.715,00	51.344,00	51.500,00	51.761,00	26.752,00	52.245,00	52.218,00
31,00	50.830,00		49.389,00		47.500,00		51.507,00	51.579,00		52.092,00	52092	51.649,00
TOTAL	1409358,00	1307767,00	1428295,00	1448664,00	1397352,00	1350673,00	1537523,00	1531859,00	1484916,00	1537916,00	1523971,00	1539338,00

Anexo 12. Plan de mantenimiento preventivo de entrada de carrusel

PROYECTO EAM MAXIMO
LEVANTAMIENTO DE PLANES DE TRABAJO

DESCRIPCION	MANTENIMIENTO EN LA ENTRADA DE CARRUSEL	
DURACION	3:00	3,00

PLANTA	TERMINALES SUR	TS
FAM ACTIVOS	CARRUSEL	
CODIGO	TRC1NE	

1

TAREAS			
N°	DESCRIPCION		DURACION
10	Coordinar con el responsable del area	0,17	0:10
20	Solicitar o tramitar el respectivo permiso de trabajo con seguridad	0,17	0:10
30	Revisión de sensores fotoelectricos y cajas de union	0,17	0:10
40	Revisión de sensor magnetico inductivo en freno de parada	0,17	0:10
50	Revisión de sensor fotoelectronico y placas Manchester	0,33	0:20
60	Revisión y limpieza de tuerca de poder	0,17	0:10
70	Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios electricos EX	0,17	0:10
80	Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra de equipos	0,17	0:10
90	Revisión de frenos neumaticos	0,17	0:10
100	Revisión, lubricación, mantenimiento y ajuste de sistema neumatico	0,33	0:20
110	Revisión de reacoeres, silenciadores, uniones, cajas de unión, manómetros, fugas de aire y valvula reguladora	0,33	0:20
120	Calibración y alineación de sensores por medio del CUC	0,17	0:10
130	Calibración y operación de electroválvulas y cilindros neumaticos por medio del CUC	0,17	0:10
140	Revisión , limpieza externa del CUC y cambio de teclado en caso de requerirlo	0,17	0:10
150	Pruebas de funcionamiento	0,17	0:10

MANO DE OBRA					
CARGO	HORAS	CODIGO	HORAS DEC	CANTIDAD	NIVEL HABILIDAD
Técnico Lider Electrico	3:00	ELECT	3,00	1	LIDER
Operador de term.	2:00	OPRTE	2,00	1	TECNICO
Operador de term.	0:30	OPRTE	0,50	1	LIDER
Supervisor de Electricidad	0:30	ELECO	0,50	1	SUPERVISOR

REPUESTOS				
DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD	ALMACEN	UNIDAD
			B12	

EQUIPOS A APLICAR PLAN DE TRABAJO			
CODIGO	DESCRIPCION		TAG ANTERIOR
TRC1NE01	TABULADOR DE INGRESO CARRUSEL 1		
TRC1NE02	TABULADOR DE INGRESO CARRUSEL 2		
TRC1NE03	TABULADOR DE INGRESO CARRUSEL 3		
TRC1NE04	TABULADOR DE INGRESO CARRUSEL 4		

FRECUENCIA	
FRECUENCIA	UNIDADES
4	MES

Anexo 17. Plan de mantenimiento preventivo de probadora de fugas

PROYECTO EAM MAXIMO
LEVANTAMIENTO DE PLANES DE TRABAJO

DESCRIPCION	MANTENIMIENTO EN DETECTORA DE FUGAS	
DURACION	1:30	1,50

PLANTA	TERMINALES SUR	TS
FAM ACTIVOS	CARRUSEL	
CODIGO	TRC1NE	

1

TAREAS			
N°	DESCRIPCION		DURACION
10	Coordinar con el responsable del area	0,08	0:05
20	Solicitar o tramitar el respectivo permiso de trabajo con seguridad	0,08	0:05
30	Revisión, mantenimiento, ajuste y lubricación de Cilindro neumático para centrado, parada y expulsión	0,08	0:05
40	Revisión, mantenimiento y ajuste de mangueras neumáticas y acoples	0,08	0:05
50	Revisión del cableado de poder y comunicación del equipo	0,08	0:05
60	Revisión de sensores fotoeléctricos y cajas de unión	0,08	0:05
70	Revisión de sensor inductivo o presostato	0,08	0:05
80	Revisión y limpieza de fuente de poder	0,08	0:05
90	Calibración y alineación de sensores x medio del CUC	0,08	0:05
100	Calibración y operación de electro válvulas y cilindros neumáticos x medio del CUC	0,25	0:15
110	Alineación de cabezal, elemento de centrado y tanque de prueba	0,08	0:05
120	Ajuste y revisión de condiciones de tuberías y accesorios eléctricos EX	0,08	0:05
130	Ajuste y revisión de conductores de puesta a tierra	0,08	0:05
140	Pruebas de funcionamiento	0,08	0:05
			1:20

MANO DE OBRA					
CARGO	HORAS	CODIGO	HORAS DEC	CANTIDAD	NIVEL HABILIDAD
Técnico Líder Eléctrico	1:30	ELECT	1,50	1	LIDER
Operador de term.	1:00	OPRTE	1,00	1	TECNICO
Operador de term.	0:30	OPRTE	0,50	1	LIDER
Supervisor de Electricidad	0:30	ELECO	0,50	1	SUPERVISOR
REPUESTOS					
DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD	ALMACEN	UNIDAD	
			B12		

EQUIPOS A APLICAR PLAN DE TRABAJO			
CODIGO	DESCRIPCION		TAG ANTERIOR
TRC1NE01	CARRUSEL 1		
TRC1NE02	CARRUSEL 2		
TRC1NE04	CARRUSEL 4		

FRECUENCIA	
FRECUENCIA	UNIDADES
4	MES

Anexo 18. Plan de mantenimiento preventivo en probadora de toroides

PROYECTO EAM MAXIMO
LEVANTAMIENTO DE PLANES DE TRABAJO

DESCRIPCION	MANTENIMIENTO EN DETECTORA DE CAUCHOS TOROIDES	
DURACION	1:00	1,00

PLANTA	TERMINALES SUR	TS
FAM ACTIVOS	CARRUSEL	
CODIGO	TRC1NE	

1

TAREAS		
N°	DESCRIPCION	DURACION
10	Coordinar con el responsable del area	0,08 0:05
20	Solicitar o tramitar el respectivo permiso de trabajo con seguridad	0,08 0:05
30	Revisión, mantenimiento, ajuste y lubricación de Cilindro neumático para centrado, parada y expulsión	0,08 0:05
40	Revisión, mantenimiento y ajuste de mangueras neumaticas y acoples	0,08 0:05
50	Revisión del cableado de poder y comunicación del equipo	0,08 0:05
60	Revisión de sensores fotoelectricos y cajas de union	0,08 0:05
70	Revisión de sensor inductivo o presostato	0,08 0:05
80	Revisión y limpieza de fuente de poder	0,08 0:05
90	Calibración y alineación de sensores x medio del CUC	0,08 0:05
100	Calibración y operación de electro valvulas y cilindros neumaticos x medio del CUC	0,08 0:05
110	Calibración y seteo de sensor de presión para detección de estanqueidad	0,08 0:05
120	Pruebas de funcionamiento	0,08 0:05

1:00

MANO DE OBRA					
CARGO	HORAS	CODIGO	HORAS DEC	CANTIDAD	NIVEL HABILIDAD
Técnico Líder Eléctrico	1:00	ELECT	1,00	1	LIDER
Operador de term.	1:00	OPRTE	1,00	1	TECNICO
Operador de term.	0:30	OPRTE	0,50	1	LIDER
Supervisor de Electricidad	0:30	ELECO	0,50	1	SUPERVISOR
REPUESTOS					
DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD	ALMACEN	UNIDAD	
			B12		

EQUIPOS A APLICAR PLAN DE TRABAJO		
CODIGO	DESCRIPCION	TAG ANTERIOR
TRC1NE01	CARRUSEL 1	
TRC1NE02	CARRUSEL 2	

FRECUENCIA	
FRECUENCIA	UNIDADES
4	MES

