



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

TESIS

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR
COSTOS EN EL AREA DE ELECTROMECAÁNICA EN
EL HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
INDUSTRIAL**

Autor:

Bach. Pérez Alegría, Julio Jesús

Asesor:

Dr. Vásquez Coronado, Manuel Humberto

Línea de Investigación:

Ingeniería de Procesos Productivos

Pimentel – Perú

2019

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL
ÁREA DE ELECTROMECÁNICA EN EL HOSPITAL REGIONAL
LAMBAYEQUE.**

Aprobación del jurado

Dr. Vásquez Coronado, Manuel Humberto

Asesor

Dr. Vásquez Coronado, Manuel Humberto

Presidente del jurado de tesis

Mg. Espinoza Guevara, Víctor Humberto

Secretario(a) del Jurado de tesis

Mg. Supo Rojas, Dante Godofredo

Vocal del Jurado de tesis

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y las fuerzas necesarias para llegar a concluir este trabajo de investigación, a mis padres y esposa que con su ejemplo, aliento, confianza y amor me alentaron y apoyaron incondicionalmente durante el desarrollo de toda mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A Dios, en primer lugar, por bendecirme y permitirme llegar a este punto. A mis madres y esposa por su apoyo incondicional en todo sentido durante la presente investigación.

Agradezco también a mis maestros de campo, es decir, los operarios y jefes de la empresa por guiarme y compartir sus conocimientos. Asimismo, agradecimiento especial a la Universidad Señor de Sipán por brindarme docentes y cursos que me permitieron ser competitivos en el ámbito profesional.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL AREA DE ELECTROMECAÁNICA EN EL HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE

Pérez Alegría, Julio Jesús¹

Resumen

Esta investigación presenta como objetivo primordial desarrollar un plan de gestión de mantenimiento que permitirá reducir los costos de mantenimiento, el cual está constituido por el costo del mano de obra del área de electromecánica, el costo de repuestos y materiales y el costo de tercerización de servicios de mantenimiento. Para lo cual se realizó un diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento, encontrándose que solo se realiza mantenimiento correctivo. Para ayudar a la solución de los objetivos planteados y a la veracidad de la investigación se realizó la aplicación de instrumentos de recolección de información como lo es la entrevista que fue dirigida al encargado de mantenimiento. Preciséndose como resultado, que la empresa no lleva un control o programación de los mantenimientos que realiza la empresa evitando paradas no programadas, la generación de fallos urgentes y la generación de costos considerables. Se identificaron las máquinas críticas y semicríticas, obteniendo 1 y 20 máquinas respectivamente. Para la mejora de la problemática se determinó el uso de la herramienta RCM que se basa en el cumplimiento y seguimiento de las siete fases, el cual tiene como resultado un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad y se obtuvo una reducción de costos asciende a 97,648.00 soles anuales. Para finalizar se detalló el beneficio - costo, lo cual se obtuvo como resultado que por cada sol invertido en esta propuesta se obtiene 0,53 soles de ganancia.

Palabras Claves: RCM, hospital, calderos, bombas.

¹ Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, palegriajulio@crece.uss.edu.pe, Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2557-3430>

MAINTENANCE MANAGEMENT TO REDUCE COSTS IN THE AREA OF ELECTROMECHANICS AT LAMBAYEQUE REGIONAL HOSPITAL

Pérez Alegría, Julio Jesús²

Abstract

This research presents as a primary objective the development of a maintenance management plan based on RCM that will allow to reduce maintenance costs, which is constituted by the cost of labor in the area of electromechanics, the cost of spare parts and materials and the cost of outsourcing maintenance services. For this purpose, a diagnosis was made of the current state of maintenance management, finding that only corrective maintenance is performed. In order to help with the solution of the proposed objectives and the veracity of the research, information gathering tools such as the interview addressed to the head of maintenance were applied. As a result, the company does not control or schedule the maintenance carried out by the company, avoiding unplanned stops, generating urgent failures and generating considerable costs. Critical and semi-critical machines were identified, obtaining 1 and 20 machines respectively. For the improvement of the problem was determined the use of the RCM tool that is based on compliance and monitoring of the seven phases, which results in a maintenance plan based on reliability and obtained a cost reduction of 97,648 soles per year. Finally the benefit was detailed - cost, which was obtained as a result that for each sun invested in this proposal is obtained 0.53 suns of gain.

Key Word: RCM, hospital, cauldrons, bombs.

² Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, palegriajulio@crece.uss.edu.pe, Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2557-3430>

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad Problemática	12
1.1.1. Nivel Internacional.	12
1.1.2. Nivel Nacional.	13
1.1.3. Nivel Local.	13
1.2. Trabajos previos	14
1.2.1. Internacional.	14
1.2.2. Nacional.	15
1.2.3. Local.	17
1.3. Teorías relacionadas al tema	18
1.3.1. Gestión del mantenimiento	18
1.3.1.1. Evolución histórica del mantenimiento	18
1.3.1.2. Definición de mantenimiento	18
1.3.1.3. Tipos de mantenimiento	19
1.3.1.3.1. Mantenimiento preventivo	20
1.3.1.4. Confiabilidad	20
1.3.1.5. Indicadores del mantenimiento	23
1.3.1.6. Los repuestos y materiales de mantenimiento	24
1.3.1.7. Sistema RCM	24
1.3.1.8. Objetivo del RCM	24
1.3.1.9. Importancia del RCM	24
1.3.1.10. Beneficios del RCM	25
1.3.1.11. Como aplicar el RCM en la industria	25
1.3.1.12. Gestión del mantenimiento del RCM	26
1.3.1.13. Análisis de criticidad de los equipos	26
1.3.1.14. Overall Equipment Effectiveness (OEE).	29
1.3.1.15. Análisis del Modo y Efectos de Fallas (AMEF)	30
1.3.1.16. Hoja de trabajo de información	33
1.3.1.17. Hoja de trabajo de decisión	33
1.3.2. Costos	34
1.3.2.1. Tipo de costos	34

1.3.2.2. Costos asumidos por el hospital	35
1.4. Formulación del Problema	36
1.5. Justificación e importancia	36
1.5.1. Justificación Teórica	37
1.5.2. Justificación Práctica	37
1.5.3. Justificación Metodológica	37
1.6. Hipótesis	37
1.7. Objetivos	37
1.7.1. General.	37
1.7.2. Objetivos específicos.	37
II. MATERIAL Y MÉTODO	38
2.1. Tipo y diseño de la investigación	38
2.1.1. Tipo de investigación	38
2.1.2. Diseño de investigación	38
2.2. Población y muestra	38
2.2.1. Población	38
2.2.2. Muestra	38
2.3. Variables, Operacionalización	39
2.3.1. Operacionalización de variables	40
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	40
2.4.1. Técnicas.	40
2.4.2. Instrumentos.	41
2.4.3. Validez y confiabilidad	41
2.5. Procedimiento de análisis de datos	42
2.6. Aspectos éticos	42
2.7. Criterios de rigor científico	42
III. RESULTADOS	43
3.1. Diagnóstico de la empresa	43
3.1.1. Información general	43
3.1.2. Descripción del proceso de mantenimiento	46
3.1.3. Análisis de la problemática	50
3.1.3.1. Resultados de la aplicación de instrumentos	50
3.1.3.2. Herramientas de diagnóstico	53
3.1.4. Situación actual de la variable de los costos de mantenimiento	58

3.2. Propuesta una Gestión de Mantenimiento para reducir costos del área electromecánica en el Hospital Regional Lambayeque.	62
3.2.1. Fundamentación	62
3.2.2. Objetivos de la propuesta	62
3.2.3. Desarrollo de la propuesta	62
3.2.4. Situación de los costos de mantenimiento con las propuestas de mejora	147
3.2.5. Análisis Costo – Beneficio de las propuestas.	154
3.2.5.1. Beneficios de las propuestas.	154
3.2.5.2. Costos de las propuestas.	154
3.3. Discusión de resultados	157
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
4.1. Conclusiones	159
4.2. Recomendaciones	160
V. REFERENCIAS	161
ANEXOS	164
ANEXO A: Entrevista de investigación para el Jefe del departamento de Mantenimiento Hospital Regional Lambayeque	164
ANEXO B: Entrevista de investigación para el Jefe de Mantenimiento del área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque	165
ANEXO C: Lista de Cotejo de Análisis Documentario.	168
ANEXO D: Cotizaciones de empresas tercerizadoras de mantenimiento	169

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1DESCOMPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS EN SUBGRUPOS.....	20
TABLA 2FRECUENCIA DE FALLAS	27
TABLA 3FACTORES DE LA METODOLOGÍA DE CRITICIDAD	28
TABLA 4CLASIFICACIÓN DEL INDICADOR OEE	30
TABLA 5 TABLA DE ÍNDICES DE GRAVEDAD.....	31
TABLA 6 TABLA DE ÍNDICES DE OCURRENCIA	32
TABLA 7 TABLA DE ÍNDICES DE DETECCIÓN	32
TABLA 8 CLASIFICACIÓN DE FALLAS SEGÚN NPR.....	33
TABLA 9RELACIÓN DE EQUIPOS EN LA CASA DE FUERZA DEL H. R.L.....	39
TABLA 10OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	40
TABLA 11 MAQUINARIA DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	47
TABLA 12 CORTEJO DE DOCUMENTOS DEL H.R.L.	52
TABLA 13 ANÁLISIS DE DIAGRAMA DE PARETO PARA LOS FALLOS ENCONTRADOS EN EL 2018.....	56
TABLA 14 COSTO DE MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO	58
TABLA 15 COSTOS DE REPUESTOS E INSUMOS	59
TABLA 16 COSTOS DE MANTENIMIENTO TERCERIZADO.....	61
TABLA 17 COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	62
TABLA 18 CONFIABILIDAD DE LA MAQUINARIA	65
TABLA 19 DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA	69
TABLA 20 TABLA DE MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA	74
TABLA 21 OEE.....	78
TABLA 22 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	82
TABLA 23 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DEL CALDERO.....	90
TABLA 24 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA DE CALDERO.....	93
TABLA 25 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA DE AGUA DURA.....	94
TABLA 26 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA DE AGUA BLANDA	95
TABLA 27 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA DE ABLANDADOR	97
TABLA 28 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA CALENTADORA.....	99
TABLA 29 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DE LA BOMBA TERMOTANQUE.....	100
TABLA 30 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DEL CALENTADOR	102
TABLA 31 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS DEL INCINERADOR PIROLÍTICO	103
TABLA 32 HOJA DE INFORMACIÓN RCM	123
TABLA 33 HOJA DE DECISIÓN DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	131
TABLA 34 PLAN DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE.....	141
TABLA 35 COSTO DE MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	147
TABLA 36 COSTO DE MATERIALES E INSUMOS DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LA	148
TABLA 37 COSTO DE SERVICIOS TERCERIZADOS DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	150
TABLA 39 COSTO TOTAL PROPUESTO DE MANTENIMIENTO	153
TABLA 40 COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	153
TABLA 41 BENEFICIOS DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	154
TABLA 42 COSTOS DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	155
TABLA 43 BENEFICIOS DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	155

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO	18
FIGURA 2 SISTEMAS Y SUB-SISTEMAS DE MANTENIMIENTO.	19
FIGURA 3 TIPOS DE MANTENIMIENTOS	19
FIGURA 4 RELACIÓN DE MTTF Y MTTR	22
FIGURA 5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS PUNTOS.....	29
FIGURA 6. ORGANIGRAMA GENERAL DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	44
FIGURA 7. ORGANIGRAMA DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	45
FIGURA 8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DEL HRL	49
FIGURA 9 FOTOS DE LA ENTREVISTA REALIZADA AL JEFE DE MANTENIMIENTO.....	50
FIGURA 10 DIAGRAMA ISHIKAWA DE LOS ALTOS COSTOS DE MANTENIMIENTO	54
FIGURA 11 DIAGRAMA DE PARETO DE LAS MÁQUINAS CON MAYOR FRECUENCIA DE FALLAS	57
FIGURA 12 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PROPUESTO	63
FIGURA 13 FICHA TÉCNICA DE CALDERO 1,2 Y 3	84
FIGURA 14 FICHA TÉCNICA DE BOMBAS DE CALDERO 1, 2 Y 3	85
FIGURA 15 FICHA TÉCNICA DE BOMBAS DE AGUA DURA 1, 2 Y 3.....	86
FIGURA 16 FICHA TÉCNICA DE BOMBAS DE AGUA BLANDA 1 Y 2	87
FIGURA 17 FICHA TÉCNICA DE BOMBAS PARA ABLANDADOR AUTOMÁTICO 1 Y 2	87
FIGURA 18 FICHA TÉCNICA DE LOS CALENTADORES 1 Y 2	88
FIGURA 19 FICHA TÉCNICA DEL INCINERADOR PIROLÍTICO	89
FIGURA 20 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	105
FIGURA 21 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	106
FIGURA 22 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	106
FIGURA 23 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	107
FIGURA 24 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	108
FIGURA 25 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	108
FIGURA 26 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	109
FIGURA 27 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	110
FIGURA 28 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	110
FIGURA 29 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	111
FIGURA 30 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	112
FIGURA 31 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	112
FIGURA 32 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	113
FIGURA 33 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	114
FIGURA 34 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	114
FIGURA 35 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	115
FIGURA 36 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	116
FIGURA 37 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	116
FIGURA 38 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	117
FIGURA 39 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	118
FIGURA 40 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	118
FIGURA 41 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	119
FIGURA 42 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	120
FIGURA 43 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	120
FIGURA 44 CATEGORÍA DE FRECUENCIAS	121
FIGURA 45 CATEGORÍA DE IMPACTO.....	122
FIGURA 46 TABLA DE JERARQUÍA DE CRITICIDAD.....	122
FIGURA 47 DIAGRAMA DE DECISIONES RCM.....	129

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Nivel Internacional.

De Miranda (1967), menciona que los hospitales latinoamericanos por lo general no están considerados como empresas, por lo que, difícilmente tienen en su organización el área de ingeniería de mantenimiento, es decir, los administradores no tienen definido que un hospital debe ser dirigido en base a principios administrativos y que los servicios de mantenimiento tienen incidencia en la eficiencia de su desempeño y consecuencias significativas en el aspecto económico.

Instituto Nacional de Salud (1990), refiere que en el Perú y en los Estados Unidos, se han organizado cursos sobre ingeniería hospitalaria, mediante los que se tratan de incentivar el interés por esta especialidad, además se ofrecen publicaciones de literatura técnica, estimulando la investigación y la organización de nuevos cursos. En la aplicación del mantenimiento preventivo y correctivo se incluye una variedad de medidas de control de usos y consumos, así como también seguridad para operadores de equipos y su adiestramiento. Un jefe de mantenimiento debe tener gran habilidad para efectuar sus labores, así mismo debe contar con personal versátil que pueda adaptarse a las necesidades de la organización.

Venezuela no es ajena al problema de mantenimiento en instituciones hospitalarias, pues en su mayoría los gerentes de los hospitales no le dan la debida importancia que merece, en todo caso no cuentan con el presupuesto necesario para la gestión de soluciones. (Castillo, 2011).

En Israel, las organizaciones de mantenimiento de la salud (HMO) invierten entre el 3-4% de su presupuesto anual en post del desarrollo de su cartera existente de clínicas. Los factores que inciden en la gestión del mantenimiento en los hospitales públicos y privados de Ammán – Jordania. A través de este trabajo se identificaron y evaluaron los factores que afectan al desempeño de la gestión del mantenimiento, llegando a identificarse hasta 70 elementos, en base a la revisión bibliográfica, asimismo se realizó un análisis descriptivo para evaluar las prácticas de ambos sectores, además la comparación entre hospitales públicos y privados se efectuó mediante un Mann-Whitney U-test.

1.1.2. Nivel Nacional.

Aliaga (2018), menciona que, en el Perú, el presupuesto como porcentaje del PBI designado al sector salud es de 5,4%, una cifra bastante inferior a la de otros países como Colombia (7%), Brasil (8%), y Argentina (9%). Para Flor de Maria Philipps, directora del MBA en Salud de la Universidad de Ciencias Aplicadas (UPC), esto se debe al atraso económico por el que atraviesa el país en comparación a sus pares de la región. “Somos países diferentes, con naturalezas y realidades diferentes”, destacó. Así, en el sistema de salud peruano, las personas pobres y vulnerables están aseguradas por el Seguro Integral de Salud (SIS), mientras que para los trabajadores del sector formal existe el seguro social Essalud. Del mismo modo, tenemos las sanidades de los institutos armados y la policía, a las que se suman los múltiples seguros privados y las EPS.

Según Villena (2017), la gestión del mantenimiento permite mejorar la disponibilidad y rendimiento de las máquinas, de tal manera que se cumpla con las funciones operativas de manera eficiente. Todas las mejoras que se desarrollan con respecto al mantenimiento son consideradas como innecesarias.

“La mayoría de las empresas solo tienen en cuenta los costos directos de mantenimiento, sin embargo, no visualizan los costos indirectos de una mala gestión de mantenimiento y las consecuencias que traen a la empresa” (Villena, 2017).

1.1.3. Nivel Local.

El Hospital Regional de Lambayeque carece de un plan de control y monitoreo del funcionamiento óptimo de los equipos electromecánicos instalados, pues no cuenta con presupuesto específico para tal fin. Debido a ello, cuando se presentan averías en los equipos y herramientas, se demanda largos periodos de tiempo para su reparación, ocasionando excesivos gastos para la contratación de personal externo para poner operativas estas máquinas.

Ante este panorama formulamos nuestro problema: ¿Qué sistema de gestión del mantenimiento permitirá reducir costos en el área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque? y planteamos la alternativa de solución mediante una Hipótesis la cual se fundamenta en: “La implementación de la gestión del mantenimiento en el Área de Electromecánica la misma que permitirá reducir costos en dicha área. El Objetivo General considera “Elaborar una propuesta de Gestión de

Mantenimiento que permitirá reducir costos en el Área Electromecánica del Hospital Regional Lambayeque” y los Objetivos específicos son propuestos, diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento en relación a los costos del Área Electromecánica del Hospital Regional Lambayeque, definir la criticidad de las máquinas, elaborar una propuesta de gestión de Mantenimiento para reducir costos del área electromecánica en el Hospital Regional Lambayeque, determinar el beneficio/costo de la propuesta.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Internacional.

Telenchana, (2017), en su trabajo titulado “Diseño e implementación de un modelo de gestión integral de mantenimiento para el hospital básico de la brigada blindada galápagos, aplicando el estatuto orgánico del ministerio de salud pública”, valiéndose de la norma COVENIN 2500, se pudo evaluar el sistema de gestión de mantenimiento del hospital básico de la brigada de caballería blindada N° 11 “Galápagos”, obteniendo como resultado que el sistema en mención presenta un cumplimiento del 45,2%, lo que refleja las deficiencias del departamento de mantenimiento; identificando que en la planificación y control de la ejecución del mantenimiento preventivo, deficiencia en los trabajadores encargados de realizar el mantenimiento, respecto de sus conocimientos y motivación para velar por los activos, casi nulo apoyo para dirigir y validar acciones de inversión, que a su vez permita ejecutar mantenimientos eficientes. Se pudo determinar la brecha existente entre la actual situación y lo que se desea lograr, teniendo como base al ESTATUTO ORGANICO del Ministerio de Salud, brecha que fue del 54,8%, pudiéndose establecer un plan estratégico necesario y que fue implementado para mitigar los valores de la brecha al optimizar la gestión de mantenimiento, mejorando la eficiencia y eficacia en cuanto al mantenimiento en equipos biomédicos.

Gallegos, (2018), en su investigación denominada “Mejora a plan de mantenimiento preventivo equipos central térmica hospital regional Dr. Guillermo Grant Benavente”, indica que se pudo observar que por el propósito de la instalación; los equipos presentan un alto grado de eficiencia, ya que en las bombas de calor, es de 400%, es decir que por 1kw consumido se produce 4kw de energía térmica y para las calderas de condensación es de 109,8%, debido a que usan el poder calorífico superior del vapor de agua producido

durante la combustión, y en su mayoría aprovechado para transferir calor y reducir la temperatura de los gases de salida hacia el medio ambiente.

El cambio de calderas de vapor mermó en un 57%, reemplazándose por las bombas de calor y calderas de condensación, equipos que también producen agua caliente y con esto el consumo de combustible para la producción de vapor, se redujo, descartando usar carbón.

Respecto del mal montaje y calibración, las calderas de vapor presentan un 21,3%, las calderas de condensación un 18,20% y las bombas de calor un 29,15%. En cuanto a las incrustaciones, los valores son 12,8%, 13,63% y 16,6%, respectivamente.

Cano, et al. (2017), en su artículo titulado “Análisis del estado actual de la Ingeniería Clínica en las instituciones hospitalarias de Cali”, refieren que entre los indicadores de gestión utilizados con más frecuencia está el del cumplimiento del plan de mantenimiento, seguido por la eficacia en el mantenimiento correctivo; indicadores, que las instituciones encuestadas afirmaron usar, lo que refleja un creciente interés en la sistematización de la evaluación de los procesos de mantenimiento.

El análisis realizado en esta investigación muestra que la tendencia actual parece dirigirse hacia la interiorización de los procesos de mantenimiento, puesto que, tanto el preventivo (43%) como el correctivo (37%) son cumplidos por el personal de la institución, lo que contrasta con lo hallado hace 11 años, donde el mismo indicador evaluado no pudo superar el 4% para ambos mantenimientos juntos. Lo cual nos indica que en la última década las instituciones hospitalarias, se han enfocado en la creación y el fortalecimiento de los departamentos de IC al interior de la misma organización.

1.2.2. Nacional.

Astete, y Palomino, (2016), en su tesis titulada “Plan de mantenimiento preventivo bajo los lineamientos de la OMS de los equipos biomédicos de las unidades críticas del hospital regional del Cusco 2016”, indica que los equipos biomédicos de las áreas críticas del hospital regional del Cusco no cubren los estándares de la OMS; respecto de los equipos biomédicos, estos tienen el 13.94% de mantenibilidad, siendo el estándar máximo del 5% de la OMS, el 88.05 de confiabilidad, estando por debajo del estándar del 95% de la OMS, el 88.50% de disponibilidad, el cual está por debajo del estándar mínimo del

98% d la OMS. Con lo que se concluye que los equipos biomédicos no cubren los estándares mínimos de la OMS, por tanto, su funcionamiento no es el óptimo.

García, (2014), en su tesis denominada “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de una clínica particular en la ciudad de Lima”, menciona que, para poder calcular el gasto total anual incurrido por el mantenimiento preventivo y el mantenimiento reactivo, se valorizaron los días inactivos en los que se ejecutaron dichos mantenimientos.

Considerando un escenario con factor de corrección del 20%, el ahorro respecto al año 2013 sería de S/.169,966 lo que equivale al 5,5%. Para el 30% sería S/.471,291, lo que sería un poco más del 15%. Para el 50% sería S/.772,616, siendo este el 25%. Este ahorro puede incrementarse en la medida que estos controles ayuden a generar las bases para su óptima aplicación teniendo en cuenta la experiencia y continuidad de las mismas.

Marrufo, (2017), en su tesis que lleva por título “Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos biomédicos en el departamento de diagnóstico por imágenes del hospital regional de Cajamarca”, indica que su investigación se realizó en el Hospital Regional de Cajamarca, en el Departamento de Diagnóstico por Imágenes, que se dedica a atender pacientes de la región para detectar enfermedades. En la actualidad este hospital carece de un sistema de mantenimiento preventivo establecido para esta área, pues los trabajos que se realizan son de mantenimiento correctivo; lo que incide en la calidad de servicio que se ofrece.

El objetivo principal de este estudio es contar con una adecuada operatividad de los equipos, mejor disponibilidad, mayor productividad, incrementando la satisfacción de los pacientes que requieran de los equipos en el departamento de diagnóstico por imágenes del hospital regional de Cajamarca. La limitada disponibilidad de los equipos biomédicos exige proponer la implementación de un sistema de mantenimiento, teniendo como hipótesis que implementar un sistema de gestión de mantenimiento preventivo de equipos biomédicos en el Departamento de Diagnóstico por Imágenes del Hospital Regional de Cajamarca, se incrementará significativamente la disponibilidad de estos.

Establecidos los indicadores de mantenimiento preventivo, permitió analizar el sistema de mantenimiento en general. En la primera fase del diagnóstico se determinó la

medida de los indicadores establecidos utilizando técnicas y diagramas Ishikawa, Check list, Matriz AMFE, observación directa, entrevistas y fórmulas propias para calcular indicadores MTBF y MTTR, lo que permite el cálculo de la disponibilidad siendo del 63%.

Concluyendo que la implementación de un plan de mantenimiento sería viable, pues la mejora de los indicadores de mantenimiento es considerable y que se mejoró la disponibilidad de los equipos en un promedio de 23%, incrementando la disponibilidad en un 83% implementado el sistema. Además, el presente proyecto tuvo los siguientes indicadores económicos: VAN= S/.28 323.22, TIR= 25%, de darse la ejecución de este.

1.2.3. Local.

Altamirano, y Zavaleta, (2016), en su tesis titulada “Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa Naylamp – Chiclayo 2016”, refiere que el mantenimiento preventivo actualmente constituye una necesidad en las empresas de nuestro país, pues representa una exigencia para ser competitivas. El presente trabajo de investigación demuestra que es necesario implementar un plan de gestión de mantenimiento preventivo que pueda contribuir significativamente en mejorar la productividad de la empresa Destilería Naylamp, mediante esta gestión se reducirán los costos por mantenimiento, generando mayores utilidades para la empresa.

Para este trabajo de investigación del tipo aplicada descriptiva con diseño no experimental, se contó con una población de 39 máquinas y equipos de la empresa, con una muestra probabilística por conveniencia, conformada por las máquinas y equipos del área de producción. Se utilizó técnicas de análisis documental, observación y entrevista; adicionalmente se utilizaron fichas técnicas, guías de observación y fecha de registro, usando los formatos correspondientes. Se dio inicio desarrollando un diagnóstico para determinar de qué manera el mantenimiento preventivo nos permita mayor confiabilidad en las maquinarias para incrementar su productividad, llegando a definir que la empresa pierde 7,449 litros de alcohol cada mes.

Concluyendo que tener equipos funcionando correctamente, mejora la productividad de la línea de producción y recomendar a la empresa desarrollar jornadas de capacitación

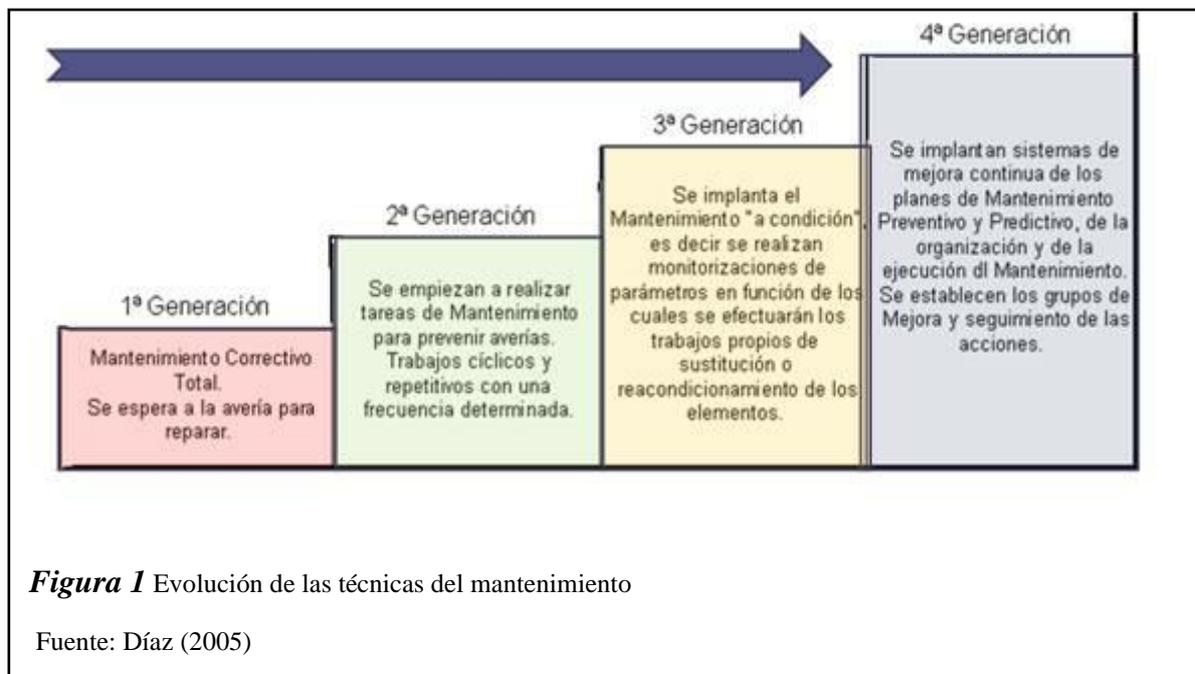
para el personal del área de mantenimiento, ya que un mejor conocimiento permite minimizar fallas en los equipos.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Gestión del mantenimiento

1.3.1.1. Evolución histórica del mantenimiento

Para Díaz, (2005), al largo del tiempo el concepto de mantenimiento ha tomado mayor importancia, ya que juega un papel fundamental en el proceso productivo y su repercusión en la productividad de la empresa. Hoy en día el área de mantenimiento es mucho más relevante, buscando siempre mantener un buen desempeño a través de técnicas de mejora, para optimizar costos, pero sin afectar la productividad.



1.3.1.2. Definición de mantenimiento

Para Duffua, (2009), es el conjunto de actividades empleadas con la finalidad de mantener y restablecer un activo fijo; esto conlleva a su buen funcionamiento y a la vez sin poner en riesgo la seguridad tanto del producto como la de los trabajadores. Por otro lado, se debe buscar mantener un grado de confiabilidad alto para que así no existan paradas no planificadas que interrumpan la producción de la empresa

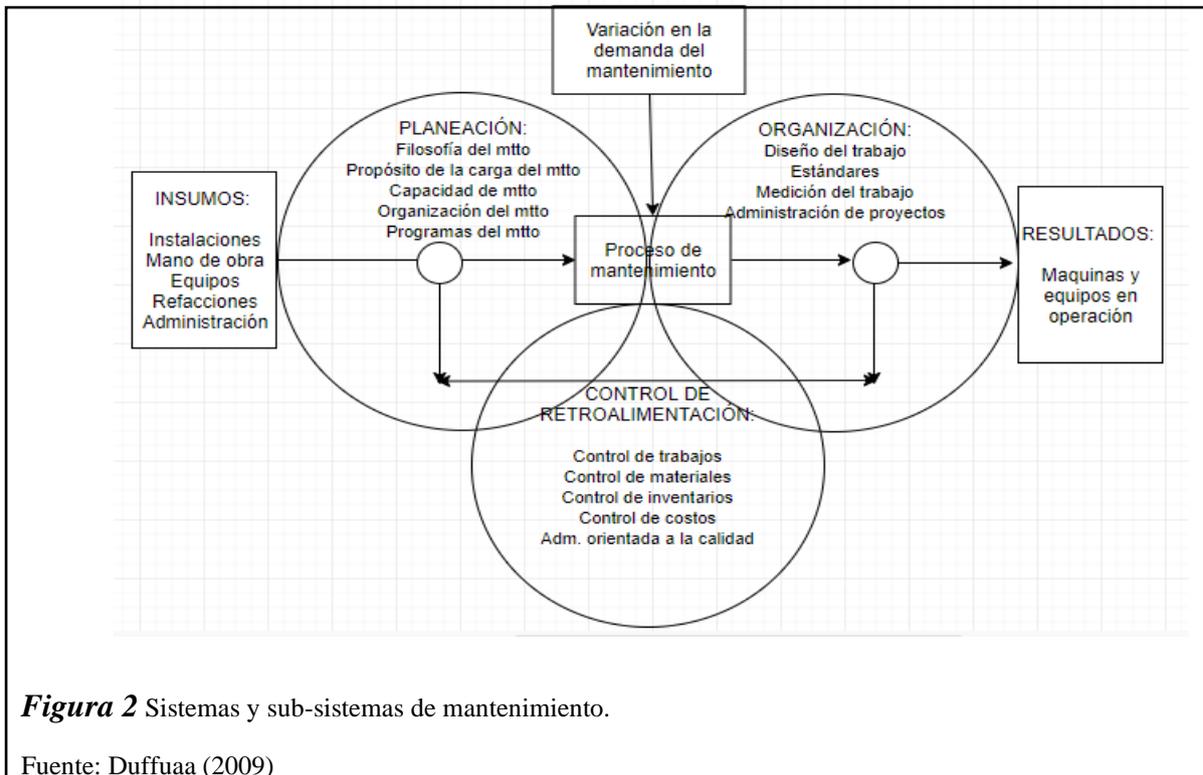


Figura 2 Sistemas y sub-sistemas de mantenimiento.

Fuente: Duffuaa (2009)

1.3.1.3. Tipos de mantenimiento

Las empresas buscan en la actualidad mantener una mejor rentabilidad, por lo que es primordial tener un correcto funcionamiento del área de mantenimiento, ya que es la encargada de asegurar la continuidad y calidad de sus productos en el mercado actual.

(Padilla, E., 2011). Los tipos son:

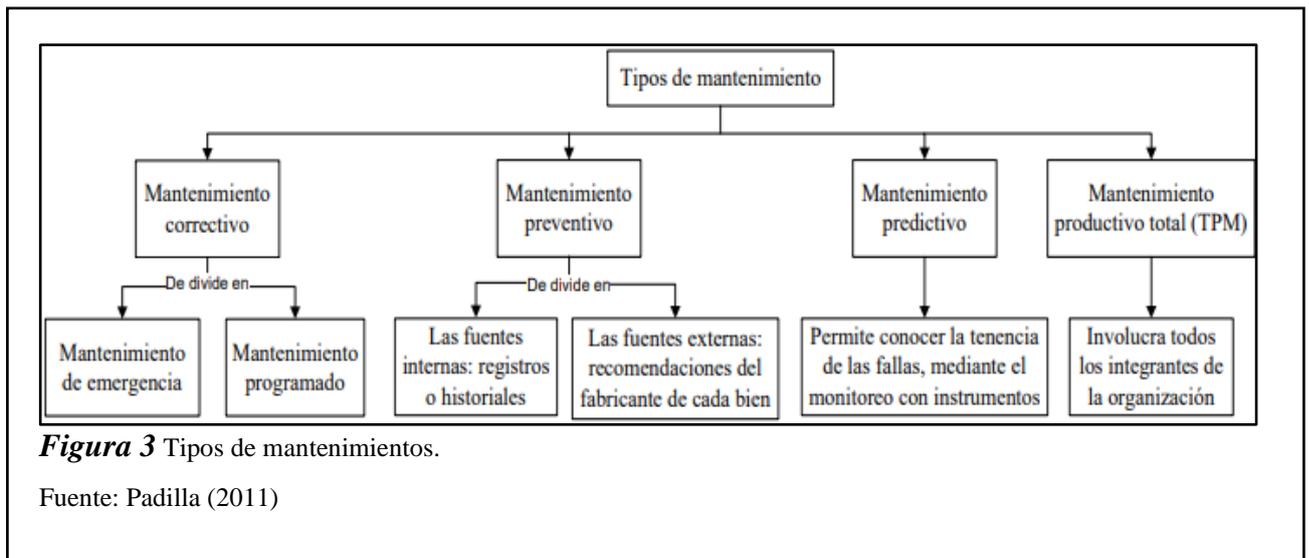


Figura 3 Tipos de mantenimientos.

Fuente: Padilla (2011)

1.3.1.3.1. Mantenimiento preventivo

Según Pascual, (2011), se encarga de realizar actividades preventivas a las fallas, este tipo de mantenimiento radica en las fuentes a estudiar para poder realizar un buen plan, las cuales son fuentes internas compuestas por datos históricos de las fallas u fuentes externas, que están dadas por recomendaciones de proveedores u otras entidades. Cabe señalar que una de las tareas o actividades en este tipo de mantenimientos es la de realizar un análisis de los ciclos de vida de la maquinaria, con el fin de detallar los registros de fallas y los costos incurridos en dicho mantenimiento, lo que facilita la identificación de los componentes o piezas de reemplazo.

Tabla 1
Descomposición de los equipos en subgrupos

Clase	Tipo	Componentes
Mecánica	Reemplazo	Aceite
		Filtros piezas de desgaste, frenos
		Filtros
		Rodamientos
		Juntas
	Regulación	Resortes
		Juegos/interferencias
		Presión
	Chequeo	Bloqueos
		Niveles
Eléctrica	Reemplazo	Contactos
		Componentes asociados a fallas técnicas
		Capacitancias
	Regulación	Impedancias en circuitos, potenciómetros
	Chequeo	Valores de aislación
Valores de capacitancia		

Fuente: Pascual (2011)

1.3.1.4. Confiabilidad

Se define, según García, (2003), como la probabilidad de que la maquina no falle, es decir, que funcione satisfactoriamente dentro de los rangos de desempeño establecidos en su diseño y en una determinada etapa de su vida útil, así como para un tiempo de operación estimado, teniendo en consideración que la maquina se utiliza para el fin y con la carga de trabajo para la cual fue diseñada.

A. El tiempo total de operación (TTO)

El tiempo total de operación se determina restando el tiempo programado menos el tiempo de una falla.

Tiempo total de operación (TTO)=Tpp-Tiempo de fallas

Donde:

Tpp: Tiempo programado para producir (minutos)

Tf: Tiempo de fallas (minutos)

TTO: Tiempo total de operación (minutos)

B. Tasa de Fallos del Producto (Fr)

Es una unidad de medida básica de la confiabilidad:

Donde el número de horas de tiempo funcionando, se refiere a la cantidad de horas en las que los equipos trabajaron antes de efectuarse la falla. (Pascual, 2011).

Se obtiene dividiendo el tiempo total de operación entre el número de paros o fallos.

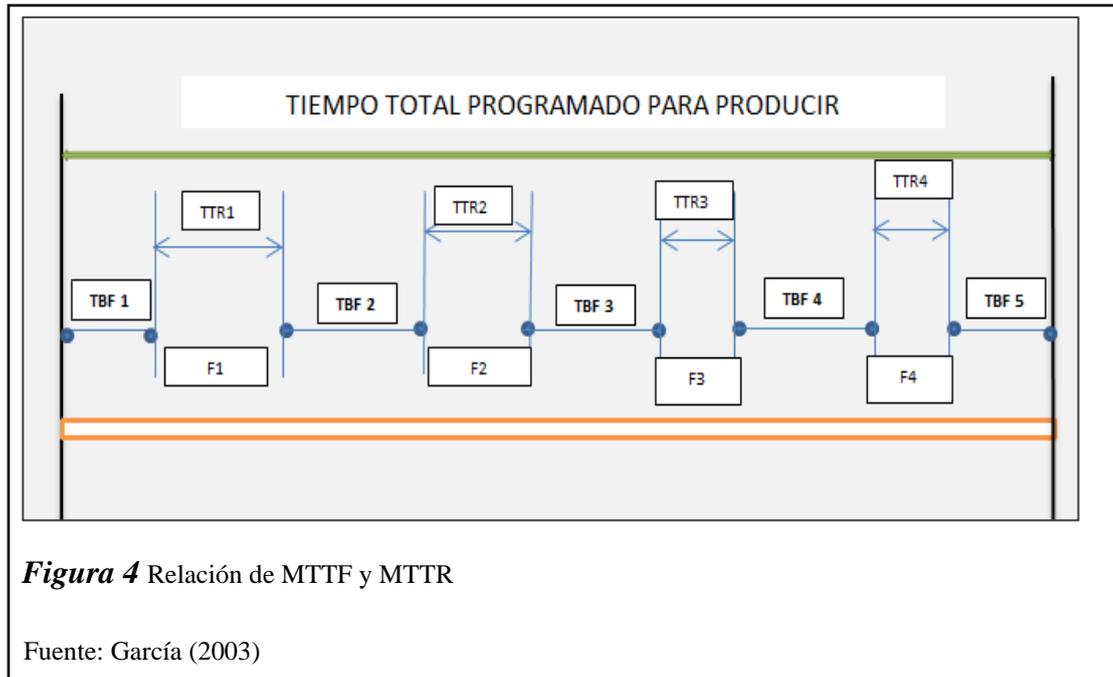
$$MTTF(\%) = \frac{TTO}{Tpp} \times 100$$

Donde:

TTO: Tiempo total de operación (minutos)

Tpp: Tiempo programado para producir (minutos)

MTTF: Tiempo medio entre fallas (%)



El tiempo de fallas es la suma del tiempo de la reparación de la falla más el tiempo de la demora en contactar a la mano de obra tercerizada.

$$TF = TR + TD$$

Donde:

TF: Tiempo de fallas (minutos)

TR: Tiempo de reparación (minutos)

TD: Tiempo de demora en contactar al personal externo para la realización del mantenimiento (minutos)

C. Tiempo medio para reparar (MTTR)

El tiempo medio para reparar se calcula dividiendo el tiempo para reparar sobre el número de fallas ocurridas.

$$\text{Tiempo medio para reparar (MTTR)} = \frac{TTR}{N^{\circ} \text{ fallas}}$$

Donde:

MTTR: Tiempo medio para reparar (minutos/falla)

TTR: Tiempo para reparar (minutos)

NF: Número de fallas

D. Tiempo medio entre fallas (MTTF)

El tiempo medio entre fallas se calcula dividiendo el tiempo programado sobre el número de fallas.

$$\text{Tiempo medio entre fallas (MTTF)} = \frac{T_{pp}}{N^{\circ} \text{ fallas}}$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas (minutos/falla)

Tpp: Tiempo programado para producir (minutos)

NF: Número de fallas

1.3.1.5. Indicadores del mantenimiento

Permiten tener una medición de la eficacia de algún proceso o sistema, por lo que es muy importante, ya que algo que no se puede medir no se puede controlar. (Gutiérrez, D., 2016)

A. Disponibilidad

Está dada por la proporción de tiempo en que un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TTo}{Tpp} * 100\%$$

B. Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo o un sistema, cumpla su misión bajo condiciones de tiempo y periodo determinado. Es por tanto el complemento de la probabilidad de falla.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{MTTF}{MTTR+MTTF}$$

C. Mantenibilidad

Es la propiedad de un sistema de representar la cantidad de esfuerzo requerido para conservar su normal funcionamiento y para sustituirlo una vez se haya producido un evento de falla

$$\text{Mantenibilidad } (M) = \frac{1}{MTTR}$$

1.3.1.6. Los repuestos y materiales de mantenimiento

La logística de los materiales es primordial en el año del mantenimiento preventivo, ya que en cuando ocurra se deben detallar los repuestos y materiales que serán necesarios para las actividades programadas durante alguna falla no prevista. (García, 2003).

Para tener un buen plan de reaprovisionamiento de materiales se recomienda realizar un estudio de la maquinaria y los repuestos necesarios para los casos de recambio o arreglo de estos y reportes históricos de repuestos.

1.3.1.7. Sistema RCM

Según Moubray (s/f), el RCM es un proceso que debe ser utilizado para determinar lo que se debe hacer con el fin de asegurar que cualquier activo continúe, haciendo lo que los usuarios desean que se logre en su contexto operacional actual.

1.3.1.8. Objetivo del RCM

García, (2009) refiere que el objetivo principal que pretende, el RCM en el mercado, es el de incrementar la fiabilidad de las instalaciones, en otras palabras, disminuir el tiempo de paradas, por imperfectos, no previstas por la empresa y que a su vez influye en el incumplimiento de la producción requerida.

1.3.1.9. Importancia del RCM

Para Juan, (2007), radica en que el RCM permite que los equipos funcionen de manera óptima, segura y confiable haciendo que se minimicen los costos, ya que no existirán paradas no programadas por otra dado que se mejora la calidad del producto, además se deben cumplir las normas de seguridad y medio ambiente.

1.3.1.10. Beneficios del RCM

Para Sigüenza, (2008) los principales beneficios son:

- a) Mayor grado de confiabilidad operacional de los equipos.
- b) Reducción de costos total de mantenimiento.
- c) Mayor grado de seguridad del personal y del medio ambiente.
- d) Incremento en la vida útil de los activos.
- e) Obtención de un plan de mantenimiento óptimo y bien documentado.
- f) Mejor efectividad financiera de los recursos invertidos en mantenimiento.

1.3.1.11. Como aplicar el RCM en la industria

Layme, (2014), indica si queremos aplicar el RCM debemos tener en cuenta que se basa en preguntas.

- a) ¿Cuáles son las funciones y estándares de operación en cada sistema, tomando en cuenta el contexto operacional?
- b) ¿Respecto a sus funciones inherentes, como falla cada equipo?
- c) ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- d) ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- e) ¿Cuál es el impacto real de cada falla?
- f) ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
- g) ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?

Se procede a analizar las respuestas para tener un panorama claro de los objetivos propuestos, así como de las metas que la empresa desea lograr. El RCM tiene un largo alcance, por lo que es una fuerte herramienta, pero si es mal usada conlleva una carga insostenible, en teoría la importancia de su aplicación es lograr que los equipos no fallen y minimizar paradas imprevistas que producen cuantiosas pérdidas, pero hay algunos equipos que es mejor esperar a que dejen de funcionar antes de aplicar un plan de mantenimiento basado en el RCM. Por consiguiente, no se debe olvidar el objetivo de producir dinero y si el RCM ha sido bien recibido en la industria es porque reduce costos innecesarios y aumenta la confiabilidad de los equipos; traducándose en un considerable aumento del capital de la empresa.

1.3.1.12. Gestión del mantenimiento del RCM

Para Layme, (2014), la gestión de mantenimiento nace de la urgencia de darle mantenimientos de manera periódica a los equipos con la finalidad de anticipar cualquier tipo de paradas en la producción que a su vez conllevan incrementar las pérdidas de la empresa. Por lo tanto, la aplicación correcta de la gestión de mantenimiento ayuda a cubrir los nuevos retos que la industria requiere.

Layme, (2014), indica que son 7 fases en las que se aplica el RCM, tal que:

- a) Primera fase: Definición de indicadores claves
- b) Segunda fase: Listado y codificación de equipos.
- c) Tercera fase: Listado de funciones y especificaciones.
- d) Cuarta fase: Determinación de modos de fallos
- e) Quinta fase: Estudio de criticidad de fallo
- f) Sexta fase: Realizar la hoja de decisiones del mantenimiento
- g) Séptima fase: Determinación el plan de mantenimiento

1.3.1.13. Análisis de criticidad de los equipos

A través de un proceso sistemático, permite determinar cuáles son los equipos con mayor a menor criticidad, siendo un valioso instrumento que ayudaría en la toma de decisiones de la empresa, dado que equipo con mayor criticidad tiene mayor relevancia, porque añaden mayor valor e incrementan la rentabilidad. (Gutiérrez, D., 2016).

Gutiérrez, (2016), menciona que ayuda a enfocarse en los equipos que brinden mayor confiabilidad en el proceso de producción.

$$\begin{aligned} \text{Criticidad} = & \text{Frecuencia de fallas} \times [\text{Nivel de producción} \\ & + \text{tiempo promedio para reparar} + \text{Costo reparación} \\ & + \text{Impacto en la seguridad} + \text{Impacto ambiental}] \end{aligned}$$

Tabla 2*Frecuencia de fallas*

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Fuente: Gutiérrez, (2016)

Tabla 3

Factores de la metodología de criticidad

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Fuente: Gutiérrez, (2016)



Figura 5 Metodología de análisis de criticidad de los puntos.

Fuente: Gutiérrez, (2016)

1.3.1.14. Overall Equipment Effectiveness (OEE).

Traducida al español es la efectividad de los equipos (OEE), es un indicador de medida que calcula la eficiencia de los equipos, analizando su rendimiento, disponibilidad y calidad. Su finalidad es disminuir las actividades innecesarias por no añadir valor al producto y/o servicio. Además, se le considera un indicador de la productividad de la maquinaria, debido a los datos de alta precisión que se consiguen respecto de si la maquinaria tuvo alguna parada y por cuanto tiempo fue, además de calcular las unidades defectuosas que se produjeron. (Cruelles, 2010).

Su valor depende de calcular primero tres dimensiones, para luego obtener su producto:

La disponibilidad: es el tiempo que estuvo operativa.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo planificado}} \times 100$$

El rendimiento: es la cantidad de unidades producidas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Total de unidades planificadas}} \times 100$$

La calidad: es la cantidad de unidades no defectuosas producidas.

$$Calidad = \frac{Unidades\ producidas\ sin\ defectos}{Total\ de\ unidades\ producidas} \times 100$$

Cálculo del OEE:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Tabla 4

Clasificación del indicador OEE

OEE	CALIFICATIVO	CONSECUENCIAS
OEE < 65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad.
65% < OEE < 75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si está en proceso de mejora.
75% < OEE < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% < OEE < 95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en los valores del "World Class".
OEE > 99%	Excelente	Competitividad excelente.

Fuente: Cruelles, (2010)

1.3.1.15. Análisis del Modo y Efectos de Fallas (AMEF)

El AMEF es un procedimiento organizado que identifica las formas de posible falla de un producto o proceso, y crear una manera para prevenir dichas fallas.

El AMEF comprende:

- 1) Determinar el producto o proceso a analizar.
- 2) Determinar los posibles modos de falla.
- 3) Listar los efectos de cada potencial modo de falla.
- 4) Asignar el grado de severidad de cada efecto
- 5) Asignar el grado de ocurrencia de cada modo de falla
- 6) Asignar el grado de detección de cada modo de falla

7) Calcular el NPR (Numero Prioritario de Riesgo) de cada efecto
 $NPR = Severidad * Ocurrencia * detección$

8) Priorizar los modos de falla

9) Tomar acciones para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla

10) Calcular el nuevo resultado del NPR para revisar si el riesgo ha sido eliminado o reducido.

Para cada modo se determinó los efectos potenciales de cada falla, por lo tanto, se analizó todas las posibles consecuencias de las fallas que afectan directa e indirectamente el nivel de servicio al cliente. Se tomó en cuenta que cada falla puede tener diversos efectos potenciales y la pregunta a responder es ¿Qué sucede cuando ocurre ese modo de falla?

Luego se analizaron cuáles son las posibles causas de las fallas identificadas anteriormente, y cuáles son los sistemas de controles actuales de detección y prevención de las posibles fallas potenciales que se manejan en el proceso, esta información se obtiene a través del análisis detallado del proceso.

Se asignó un índice de gravedad al efecto de la falla, esto dependerá de cómo la falla repercute en el cliente, tanto interno como externo. Los criterios de asignación de índices de gravedad se explica en la tabla 5.

Tabla 5

Tabla de Índices de Gravedad

ÍNDICES	DESCRIPCIÓN
1	Menor: Es probable que el cliente no se percate de la falla.
02 – 03	Bajo: El cliente tiene una incomodidad leve, debido a la débil consecuencia de la falla.
04 – 06	Moderado: Algunas insatisfacciones en el cliente esto ocasionan moderada gravedad que causaría, lo cual puede producir reprocesos.
07 – 08	Alto: Debido a la naturaleza se produce alto grado de insatisfacción del cliente, pero no hay problemas de seguridad y puede provocar reprocesos mayores.
09- 10	Muy alto: La seguridad se ve en riesgo, es por ello que la incomodidad del cliente es alta.

Fuente: Álvarez (2017)

Se determinó un índice de ocurrencia, en el cual se evalúa la probabilidad o la frecuencia de que se produzca una falla por cada causa determinada, para asignación de un índice de

ocurrencia se tendrá en cuenta los controles actuales que la empresa ha implementado para evitar las fallas. En la tabla 6 se establecen los índices de Ocurrencias a tomar en cuenta.

Tabla 6

Tabla de índices de ocurrencia

ÍNDICES	DESCRIPCIÓN
1	Probabilidad remota de ocurrencia (1/100000)
02 - 05	Probabilidad baja ocurrencia, proceso bajo control estadístico (1/5000 - 1/500)
06 - 07	Probabilidad moderada de ocurrencia, proceso bajo control con algunas ocurrencias de fallas (1/200 - 1/20)
08 - 09	Probabilidad alta de ocurrencia, proceso bajo control pero con frecuentes ocurrencias de fallas (1/100 - 1/20)
10	Probabilidad muy alta de ocurrencia, fallas muy frecuentes (>1/10)

Fuente: Álvarez (2017)

Se determinó el índice de detección, el cual va a evaluar la probabilidad de detectar cada causa de falla antes de que llegue al cliente. En la tabla 7 se detallan los índices de detección con su descripción.

Tabla 7

Tabla de índices de detección

ÍNDICES	DESCRIPCIÓN
1	Muy alto: Los controles actuales de la empresa detectan la existencia de fallas.
02 - 05	Alto: La posibilidad de detectar la falla es buena mediante los controles de la empresa.
05 - 08	Moderado: Los controles pueden detectar algún defecto.
09	Bajo: La posibilidad de detectar un defecto es baja.
10	Muy bajo: Los controles no detectan los defectos.

Fuente: Álvarez (2017)

En este paso se calcula el RPN (Risk Priority Number) el cual determina un indicador de la importancia de la falla, y con ello dar prioridad dependiendo del riesgo. Este indicador se determina multiplicando los índices de Gravedad X Ocurrencia X Detección, en la tabla 8 se establecen los criterios de importancia de riesgo.

Tabla 8

Clasificación de fallas según NPR

INDICADORES	CRITERIOS
$NPR \leq 125$	Falla aceptable
$125 \leq NPR \leq 200$	Falla reducible a aceptable
$NPR \geq 200$	Falla indeseable

Fuente: Álvarez (2017)

Una vez que se tiene la clasificación de fallas según NPR, se propuso las soluciones de mejora, estas acciones se han establecido como medidas preventivas, se tomó en cuenta que es mejor eliminar las causas de las fallas, y con ello se obtiene una mejor solución sin correr el riesgo de la ocurrencia de falla, o caso contrario reducir la gravedad de la falla.

1.3.1.16. Hoja de trabajo de información

Se refiere a la información necesaria para realizar un análisis. La misma que debe contar con:

Elemento por estudiar.

Funciones que realiza.

Fallos de dichas funciones.

Modo de fallo (Causa del fallo).

Efectos de los fallos (Qué sucede cuando falla).

El éxito de esta metodología está fundamentado en contar con las hojas de decisión perfectamente cumplimentadas, antes de seguir a la fase siguiente.

Es primordial el aporte del personal de operación, mantenimiento y de los técnicos de los fabricantes de los equipos.

1.3.1.17. Hoja de trabajo de decisión

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas.

Las columnas F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de Información y las Hojas de Decisión.

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del Diagrama de Decisión, de manera que:

Las columnas tituladas H, S, E, O, y N son utilizadas para registrarlas respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla. Donde H significa consecuencias de una falla oculta, la S significa consecuencias del medio ambiente, la O significa consecuencias Operacionales y la N significa consecuencias No operacionales.

Las tres columnas siguientes (tituladas H 1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, qué tipo de tarea.

Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas "a falta de", las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4 son las que permiten registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla. La columna de "Tarea Propuesta" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

1.3.2. Costos

Valdivieso, (2011), menciona que para todas las empresas estos costos son un punto relevante con respecto a los costos totales de la misma, por lo que, en la actualidad se planifican para evitar las fallas imprevistas que a su vez generan costos elevados. Su planificación anual debe realizarse por el personal de gestión encargado del área y que además debe tener conocimiento de datos históricos y técnicos, para que no existan inconvenientes. Su costo oscila entre el 5% al 10% del precio de salida por cada unidad producida.

1.3.2.1. Tipo de costos

El mantenimiento involucra diferentes costos:

Costos directos, Están relacionados con el rendimiento de la empresa y son menores si la conservación de los equipos es mejor, influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que requiere; estos costos son fijados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos.

Costos indirectos, Son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, etc.

Costo de tiempos perdidos, Son aquellos que aunque no están relacionados directamente con mantenimiento pero si están originados de alguna forma por éste como la paradas de la producción, los desperdicios de los materiales, la calidad de los productos, entre otros.

Gastos generales, son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo o de funciones no propiamente productivas.

1.3.2.2. Costos asumidos por el hospital

Para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, y teniendo presente que para la toma de decisiones es importante minimizar los costos, entonces para la presente investigación se tomarán en cuenta los siguientes ítems:

$$CT = CR + CMO + CT$$

Donde:

CR: Costo de repuestos (soles)

CMO: Costo de mano de obra (soles)

CT: Costo de tercerización (soles)

CT: Costo total del mantenimiento

a) Costo de repuestos

El costo de repuestos es un costo fijo, siendo el costo de los materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo, hard time, así como todo gasto originado por el engrase de las máquinas o mantenimiento.

b) Costo de mano de obra

El costo de mano de obra del mantenimiento es un costo fijo, el cual el hospital desembolsa para asegurar el mantenimiento y la vida útil de la maquinaria a mediano y largo plazo. Este costo comprende el pago de los honorarios del área de mantenimiento.

c) Costo de tercerización

El costo de tercerización es un costo variable, el cual es necesario para el mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo será consecuencia de las averías imprevistas en la maquinaria, como de las reparaciones programadas por otros tipos de mantenimiento a la maquinaria.

d) Costo total del mantenimiento

El costo total es el resultante de la suma de los tres costos anteriormente descritos. Este costo nos da una idea más global de la gestión de mantenimiento que el análisis de cualquiera de los costos que la componen.

1.4. Formulación del Problema

¿Una propuesta de gestión del mantenimiento permitirá reducir costos en el área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque?

1.5. Justificación e importancia

Actualmente el Hospital Regional Lambayeque ofrece 32 especialidades y trabaja con equipos ultramodernos, además tiene instalado un sistema de calderas, bombas periféricas, sistema de refrigeración, central de aire medicinal, central de vacío, entre otros.

Sin embargo, carece deficientemente del mantenimiento constante de sus equipos instalados, generando atrasos e inconvenientes que comprometen áreas internas primordiales para el funcionamiento del Hospital (Lavandería, esterilización, cocina, laboratorios, servicios básicos, entre otros).

1.5.1. Justificación Teórica

Esta investigación es importante porque contribuirá a establecer el conocimiento sobre las bases teóricas presentadas y con unos aportes presentes de acuerdo con la ocasión.

1.5.2. Justificación Práctica

Esta investigación ayuda a resolver problemas de pérdida de disponibilidad, confiabilidad de los equipos a través de indicadores confiables del RCM.

1.5.3. Justificación Metodológica

En esta investigación se propone un nuevo método de mantenimiento como es el RCM, mantenimiento centrado en la confiabilidad de la maquinaria, el mismo que generará nuevos conocimientos confiables, diseñadas a mejorar el área donde se aplique.

1.6. Hipótesis

Una propuesta de Gestión de Mantenimiento si permite reducir costos en el área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque.

1.7. Objetivos

1.7.1. General.

Elaborar una propuesta de Gestión de Mantenimiento que permitirá reducir costos en el Área Electromecánica del Hospital Regional Lambayeque.

1.7.2. Objetivos específicos.

- a) Diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento en relación a los costos del Área Electromecánica del Hospital Regional Lambayeque.
- b) Definir la criticidad de las máquinas.
- c) Elaborar una propuesta de gestión de Mantenimiento para reducir costos del área electromecánica en el Hospital Regional Lambayeque.
- d) Determinar el beneficio/costo de la propuesta.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de la investigación

2.1.1. Tipo de investigación

Aplicada. Porque se aplica conocimientos y teorías para la solución al diseño planteado (Murillo, 2008).

Descriptiva. Pues describe los fenómenos observados, estableciendo dimensiones diferentes del problema (Murillo, 2008).

2.1.2. Diseño de investigación

No experimental. Pues se realiza una observación de los fenómenos en su ambiente, estudiando lo existente, sin manipular las variables.

Cuantitativa ya que se utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis basándose a mediciones numéricas y análisis estadísticos (Hernández et. al., 2010, p. 4).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Se están considerando todos equipos y personal del Hospital Regional de Lambayeque.

2.2.2. Muestra

La muestra será los 21 equipos y el personal que forman parte básica para el funcionamiento del área de electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque.

Tabla 9*Relación de equipos del área de electromecánica del H. R.L*

EQUIPO	MARCA	ANTIGÜEDAD	ESTADO
CALDERO N°01	CIMELCO	8 AÑOS	OPERATIVO
CALDERO N°02	CIMELCO	8 AÑOS	OPERATIVO
CALDERO N°03	CIMELCO	8 AÑOS	INOPERATIVO
BOMBA DE CALDERO N° 01	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE CALDERO N° 02	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE CALDERO N° 03	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA AGUA DURA N° 01	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA AGUA DURA N° 02	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA AGUA DURA N° 03	GRUNDFOS	10 AÑOS	INOPERATIVO
BOMBA AGUA DURA N° 04	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA AGUA PARA ABLADOR N°01	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA AGUA PARA ABLADOR N°02	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	GRUNDFOS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE CALENTADOR N°01	SALMSON	10 AÑOS	INOPERATIVO
BOMBA DE CALENTADOR N°02	SALMSON	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	FORAS	10 AÑOS	OPERATIVO
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	FORAS	10 AÑOS	OPERATIVO
CALENTADOR N° 01	ET	8 AÑOS	OPERATIVO
CALENTADOR N° 02	ET	8 AÑOS	OPERATIVO
INCINERADOR PIROLITICO K100/H	CIMELCO	8 AÑOS	INOPERATIVO

Fuente: Hospital Regional de Lambayeque

2.3. Variables, Operacionalización

Variable Independiente: Gestión de Mantenimiento

Variable Dependiente: Costos

2.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 10

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE	Disponibilidad de los equipos	$\text{Disponibilidad} = \frac{TTo}{Tpp} * 100\%$ <p>TTo= Tiempo Total de operación Tpp = Tiempo promedio de producción</p>	Análisis de documentos	Ficha de registro
		$\text{Confiabilidad} = \frac{MTTF}{MTTR+MTTF}$ <p>MTTF = Tiempo Total De Operación/Numero de Fallos MTTR = Total de horas de Reparación /Numero de Fallos</p>	Observación	Guía de observación
Gestión del mantenimiento	Confiabilidad de los equipos		Entrevista	Cuestionarios
DEPENDIENTE	Costos de mano de obra	Costo de personal de mantenimiento del área de electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque	Análisis de documentos	Ficha de registro
	Costos de repuestos y materiales	Costos de repuestos y materiales usados para el mantenimiento	Observación	Guía de observación
	Costos de tercerización	Costos por empresas externas especialistas en mantenimiento		
	Costos de mantenimiento	$CT = CR + CMO + CT$	Entrevista	Cuestionario

Fuente: Elaboración propia

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas.

2.4.1.1. Entrevista

Se usará para intercambiar ideas a través de una guía de entrevista.

2.4.1.2. Observación

Observar a los colaboradores en el desempeño de sus actividades laborales, determinando fallas que normalmente el analista no obtendría. Esta técnica se realizará para obtener datos claves, identificando las causalidades mediante la observación de los fenómenos dados.

2.4.1.3. Análisis documental

Es una técnica muy confiable en el estudio de los documentos del hospital, necesarios para el presente estudio, utilizando una hoja de registro.

2.4.2. Instrumentos.

2.4.2.1. Cuestionario

Es un formato de preguntas que se le harán al jefe de mantenimiento, con el fin de recolectar datos que permitan resolver la problemática existente en el hospital.

2.4.2.2. Guía de observación

Anotar información en el mismo momento en que se realizan las labores, sirviendo para el registro de datos relevantes evidenciando los problemas.

2.4.2.3. Ficha de registro

Formato para recolectar datos de las fuentes consultadas, tomados como base para el desarrollo de nuestro estudio.

2.4.3. Validez y confiabilidad

“Grado en que un instrumento mide la variable” (Hernández et al, 2006, p. 199). Además, el autor menciona que la validez puede presentar distintivos tipos de evidencia.

“La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales” (Hernández et al, 2006, p. 200). Para la investigación se considerará como evidencia, el juicio de expertos que consiste en someter al instrumento entrevista a revisión de expertos cualificados en el tema.

Nombre del experto: Castro Torres Melisa

Nombre del experto: Larrea Colchado Luis

Nombre del experto: Solano Cornejo Miguel

2.5. Procedimiento de análisis de datos

El método de análisis de la información obtenida será tabulado en tablas estadísticas, con sus respectivos gráficos, que resumen los estadígrafos más relevantes y representativos luego de aplicar la prueba. En la investigación emplearán fórmulas de estadística descriptiva trabajadas mediante el Programa SPSS y Excel.

2.6. Aspectos éticos

El avance de esta investigación presenta la aceptación y aprobación de Hospital Regional de Lambayeque ya que cuando se comience a desarrollar la investigación es importante la recolección de datos que ayuden a profundizar la situación problemática que presenta y así poder realizar la propuesta que permita mejorar la situación actual del área de electromecánica. Por ello se debe realizar un compromiso de ambas partes, tanto de la gestión del hospital y del tesista con la finalidad de que los datos brindados por la organización no se tomen para otros fines.

2.7. Criterios de rigor científico

Validez

En el estudio se plantea la recopilación de información y los datos obtenidos por la entrevista y por la guía de observación, los cuales fueron analizados por el programa Microsoft Excel para su mejor análisis.

Confiabilidad

Consiste en mantener una documentación ordenada y confiable que permitan lograr los objetivos del proyecto.

III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de la empresa

3.1.1. Información general

Reseña histórica

El 09 de mayo de 2011, se crea el Hospital regional Lambayeque, mediante Resolución de Dirección Regional Sectorial N° 727-2011-GR. LAMB/DRSAL. El 01 de agosto del 2013, mediante Resolución Gerencial Regional N°577-2013- GR. LAMB/GERESA se le otorga la Categoría III – 1 Hospital de Atención General, para brindar servicios de salud integral y especializada con eficiencia y oportunidad teniendo como ámbito referencial mayor a un millón de habitantes.

Misión

Somos el Hospital Regional Lambayeque de alta complejidad que brinda servicios integrales de salud, con calidad, equidad y eficiencia, con personal calificado, competente y comprometido, desarrollando investigación y Docencia, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas.

Visión

Ser al 2019 un Hospital docente y de investigación, líder, competitivo y reconocido a nivel nacional e internacional, que satisface las necesidades de salud de las personas.

Ubicación del hospital

El Hospital Regional Lambayeque (HRL) se encuentra en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo, distrito de Chiclayo, ubicado en la vía de Evitamiento Norte con Av. Progreso, en la ciudad de Chiclayo, su área de influencia está circunscrita a la jurisdicción de la Dirección Regional de Salud Lambayeque, que abarca a toda la región lambayecana.

Organización

La estructura organizacional de la empresa se observa en la Figura 6, donde la dirección es el cabeza, seguido de la subdirección, planeamiento y la administración, la cual tiene a cargo el área de mantenimiento, logística y patrimonio.

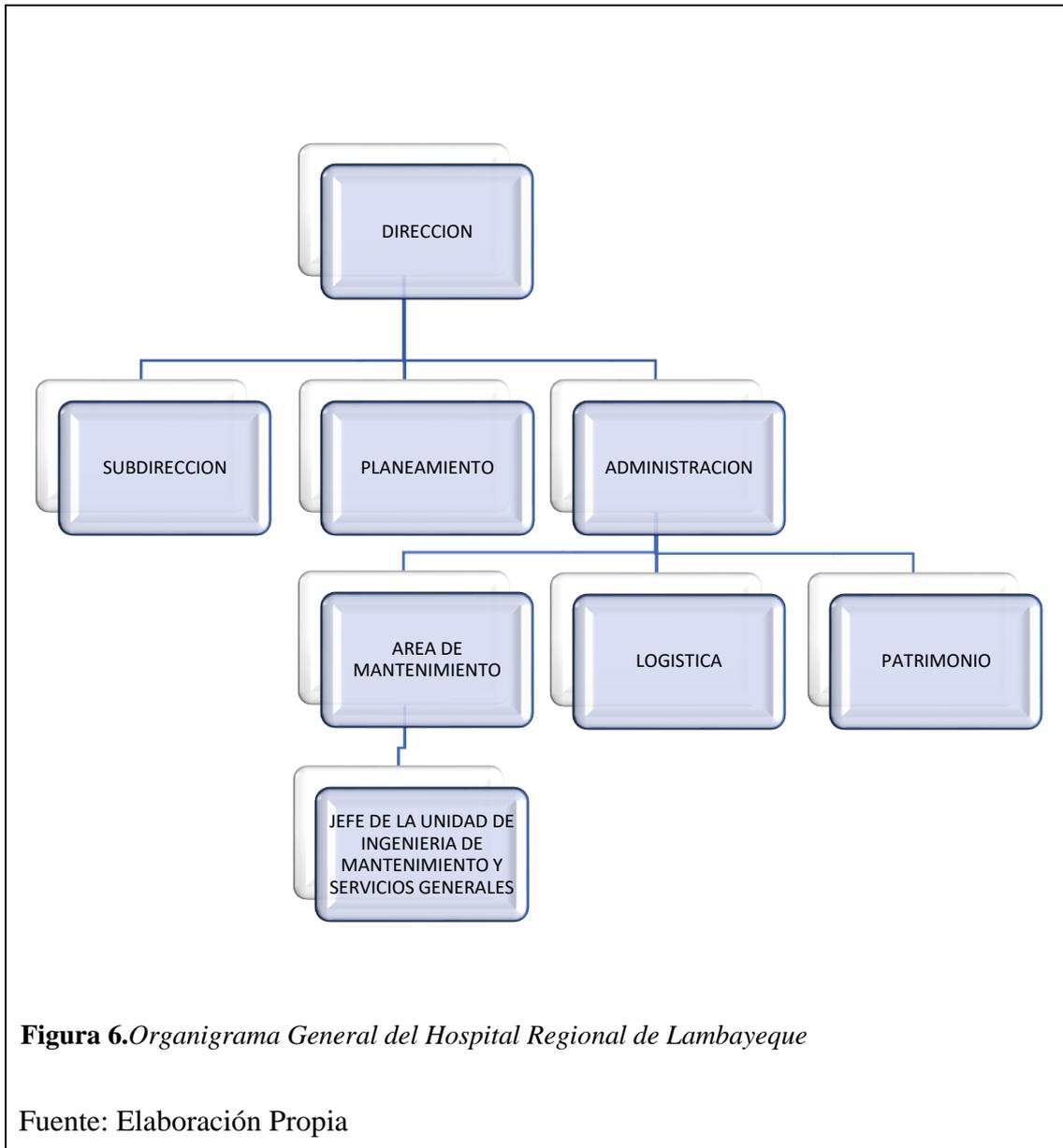


Figura 6. Organigrama General del Hospital Regional de Lambayeque

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 7, se puede visualizar el organigrama del área de mantenimiento y servicios generales del Hospital Regional Lambayeque, el cual cuenta con un total de 57 operarios.

El área en estudio es el de electromecánica ya que hay 10 operarios que se

encargan de los sistemas de vapor, agua caliente, aire acondicionado, oxígeno medicinal, sistema vacío, sistema de aire comprimido medicinal, sistema de glp, equipo electromecánico, sistema contra incendio. Y éstos no abastecen sus labores, por lo que se contrata personal externo, lo cual demanda excesivos gastos.

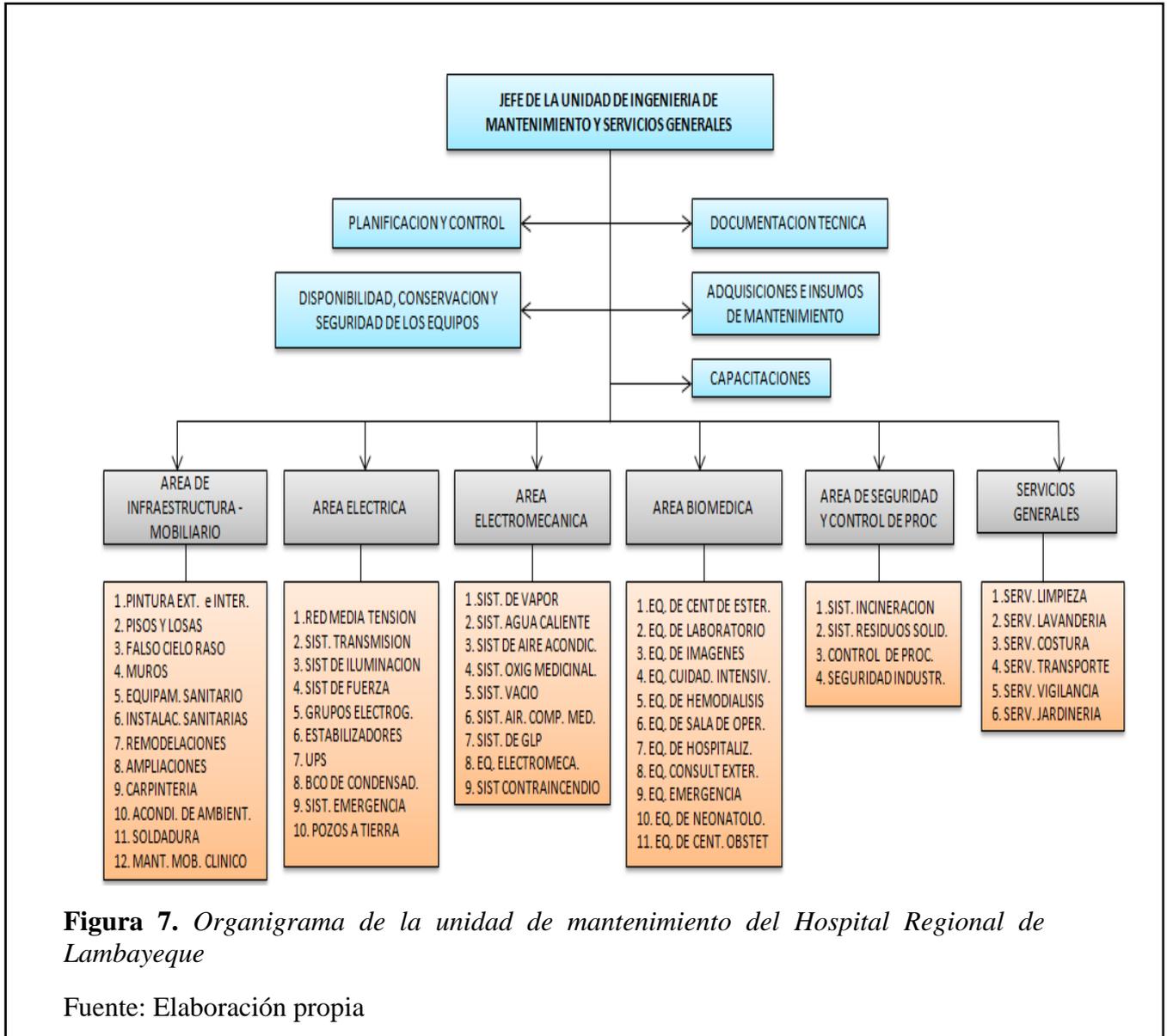


Figura 7. Organigrama de la unidad de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque

Fuente: Elaboración propia

Personal del Área de Mantenimiento

Área Biomédica

- 1 ingeniero electrónico (responsable)
- 5 técnicos electrónicos/electrotecnia

Área Infraestructura - Mobiliario

1 arquitecto (responsable)

4 técnicos (1 albañil, 1 soldador, 1 carpintero, 1 sanitario)

Área Eléctrica

1 ingeniero mecánico electricista (responsable)

2 técnicos electricistas/ electrotecnia

Área Electromecánica

1 ingeniero mecánico electricista (responsable)

9 técnicos (5 calderistas, 3 refrigeración, 1 mecánica de producción)

Área De Seguridad Y Control De Procesos

1 ingeniero industrial (responsable)

8 operarios

Área De Servicios Generales

1 ingeniero químico (responsable).

5 técnicas de costura.

10 operarios de lavandería.

8 técnicos de transporte.

3.1.2. Descripción del proceso de mantenimiento

En el área de electromecánica se encuentra a cargo de sub áreas como (cuarto de máquinas o calderos, central de vacío, aire comprimido, aire medicinal, central oxígeno, central de esterilización, lavandería, incinerador piro lítico y cocina) todos los equipos electromecánicos que existan en dichas áreas se eligen 21 ubicados del cuarto de máquinas e incinerador pirolítico.

Tabla 11*Maquinaria del área de electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque*

MAQUINARIA			
N°	EQUIPO	MARCA	CODIGO
1	CALDERO N°01	CIMELCO	SV-CA-01
2	CALDERO N°02	CIMELCO	SV-CA-02
3	CALDERO N°03	CIMELCO	SV-CA-03
4	BOMBA DE CALDERO N° 01	GRUNDFOS	SV-BCA-01
5	BOMBA DE CALDERO N° 02	GRUNDFOS	SV-BCA-02
6	BOMBA DE CALDERO N° 03	GRUNDFOS	SV-BCA-03
7	BOMBA AGUA DURA N° 01	GRUNDFOS	SV-BAD-01
8	BOMBA AGUA DURA N° 02	GRUNDFOS	SV-BAD-02
9	BOMBA AGUA DURA N° 03	GRUNDFOS	SV-BAD-03
10	BOMBA AGUA DURA N° 04	GRUNDFOS	SV-BAD-04
	BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR		
11	N°01	GRUNDFOS	SV-BAA-01
	BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR		
12	N°02	GRUNDFOS	SV-BAA-02
13	BOMBA DE AGUA BLANDA 01	GRUNDFOS	SV-BAB-01
14	BOMBA DE AGUA BLANDA 02	GRUNDFOS	SV-BAB-E02
15	BOMBA DE CALENTADOR N°01	SALMSON	SV-BC-S01
16	BOMBA DE CALENTADOR N°02	SALMSON	SV-BC-S02
17	BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	FORAS	SV-BTT-01
18	BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	FORAS	SV-BTT-02
19	CALENTADOR N° 01	ET	SV-C-01
20	CALENTADOR N° 02	ET	SV-C-02
	INCINERADOR PIROLITICO DE		
21	100KGH	CIMELCO	RS-IP

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

El proceso de mantenimiento se desarrolla de la siguiente manera:

El personal del hospital percibe una parada en la maquinaria, luego informa a su jefe inmediato sobre la falla.

El jefe inmediato realiza una inspección ocular de la maquinaria y llama al área de mantenimiento.

El jefe del área de mantenimiento redirige el llamado al encargado del área de electromecánica.

El encargado de electromecánica agenda la inspección in situ de la maquinaria. Se dirige al área donde la maquinaria se encuentra parada debido a la falla e inspecciona la maquinaria.

Agenda un mantenimiento de acuerdo con el técnico de la especialidad.

El técnico realiza el mantenimiento.

Cuando termina de realizar los trabajos de mantenimiento, realiza una prueba de funcionamiento.

En el caso no funcione la maquinaria, se da aviso al encargado de electromecánica, y este a su vez al jefe de mantenimiento.

El jefe de mantenimiento realiza cotizaciones para que empresas mercerizadoras realicen el trabajo.

Se aprueba la cotización, y se planifica el trabajo.

La empresa tercera realiza el mantenimiento especializado, y entrega la maquinaria en funcionamiento.

El jefe del área envía un correo dando el visto bueno del mantenimiento tercerizado.

PROCESO DE MANTENIMIENTO DEL HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE

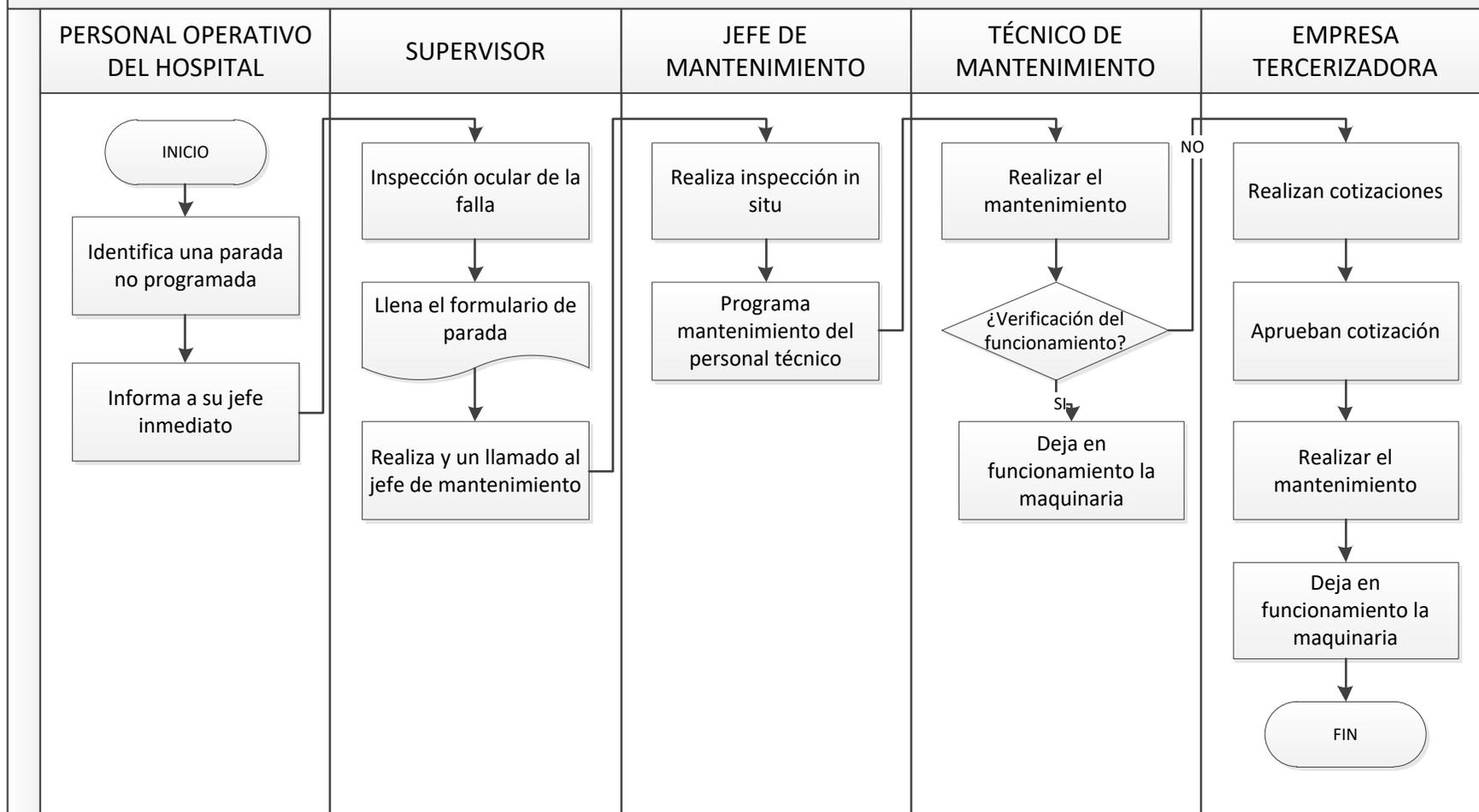


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento del HRL

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Análisis de la problemática

3.1.3.1. Resultados de la aplicación de instrumentos

3.1.3.1.1. Resultado de la entrevista

USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ANEXO A: Entrevista de investigación para el Jefe del departamento de Mantenimiento Hospital Regional Lambayeque
Objetivo: Conocer y analizar los factores que afectan la gestión integral de mantenimiento.

Fecha: 24, 05, 18

- ¿Conoce si el responsable de mantenimiento, del área electromecánica tiene un plan de mantenimiento de las máquinas y equipos?
SI NO
- ¿La producción del hospital se detiene por fallas de las máquinas del área electromecánica?
SI NO
- ¿Las fallas de las máquinas, en el área electromecánica son frecuentes, cuantas fallas en una semana?
SI N° 10% NO
- ¿La respuesta del área de mantenimiento, es inmediata, en qué %?
SI %----- NO
- ¿Considera que luego de reparar una máquina o equipo del área electromecánica su funcionamiento es confiable, en qué %?
SI % 80% NO
- ¿Las tareas de mantenimiento de máquinas se desarrollan dentro de la jornada laboral, en qué %?
SI % 100% NO
- ¿Considera que las máquinas están disponibles en un 100% o menos?
SI % 70% NO
- ¿Considera que el personal de mantenimiento está preparado adecuadamente, en qué %?
SI % 50% NO
- ¿Considera que el personal de mantenimiento cuenta con las herramientas adecuadas para hacer sus actividades, en qué %?
SI % 50% NO

GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
GERENCIA REGIONAL LAMBAYEQUE
HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE

Luis A. Ramos Martínez
Ing. Luis A. Ramos Martínez
JEFE UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Figura 9 Fotos de la entrevista realizada al jefe de mantenimiento
Fuente: Datos de la empresa

Las entrevistas realizadas al jefe de mantenimiento y jefe del área electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque ver en anexo A, anexo B, se ejecutó con la finalidad de saber la situación actual del mantenimiento en la empresa, y según la entrevistas realizada se puede concluir que sí existe un plan de mantenimiento pero se cumple en un 55%, debido a la falta de repuestos y materiales, personal no capacitado y ausencia de herramientas adecuadas, así mismo recalco que la falta de capacitación en el uso equipos de seguridad y mantenimiento es de un 60%, lo cual genera que no sean registradas toda la data de fallas de las máquinas y su mantenimiento.

3.1.3.1.2. Resultado de la observación

Se aplicó una lista de cotejo documentario y observación para identificar con qué documentos cuenta el Hospital Regional Lambayeque y si son ejecutados, los cuales se pueden observar en la Tabla 12. Cabe recalcar que no cuentan con un procedimiento de las actividades de mantenimiento para las máquinas y no se actualiza los siguientes documentos: Inventario de herramientas e instrumentos de mantenimiento, historial de máquinas, ficha de registro de desarrollo de actividades, requerimientos de materiales, insumos y repuestos, inventario de actividades de mantenimiento por máquina, lista de materiales, insumos y herramientas por cada actividad de mantenimiento y manuales de los equipos de la empresa.

Tabla 12*Cotejo de documentos del H.R.L. del año 2018*

Documento	Existe		Se Actualiza		Observación
	Si	No	Si	No	
1. Plan de mantenimiento	X		X		No ejecuta
2. Inventario de herramientas e instrumentos de mantenimiento	X			X	No renueva
3. Inventario de las máquinas de la empresa	X		X		Confidencial
4. Historial de las máquinas	X			X	Deficiente
5. Ficha de registro de desarrollo de actividades	X			X	Deficiente
6. Requerimientos de materiales, insumos y repuestos	X			X	Deficiente
7. Inventario de actividades de mantenimiento por máquina	X			X	Encarpetado
8. Lista de materiales, insumos y herramientas por cada actividad de mantenimiento	X			X	Improvisan
9. Manuales de las máquinas de la empresa	X			X	Encarpetados
10. Procedimientos de las actividades de mantenimiento.		X		X	No existe

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2. Herramientas de diagnóstico

Diagrama de Ishikawa

Con la ayuda de la entrevista observación directa permitió encontrar cuales son las causas raíces de los sub problema.

En la figura 10, se muestra el diagrama de Ishikawa el cual tiene como principal problema los altos costos de mantenimiento y las causas que lo generan son la falta de repuestos, falta de capacitación, reparaciones incompletas a la maquinaria, ausencia de control de mantenimiento, plan de mejora, reporte de fallas y plan de gestión, deficiencia de mantenimiento autónomo, maquinaria inoperativa y falta de mantenimiento. Cabe recalcar que, debido a la falta de mantenimiento en las máquinas, se han realizado paradas en el proceso, el personal se muestra desmotivado, compra de repuestos, costos innecesarios que pueden ser evitados si las fallas fueran identificadas y controladas a tiempo. Es por ello, que es importante determinar los fallos que se presenten en la maquinaria con el fin de considerar las mejoras que favorezcan el correcto funcionamiento de cada una de las máquinas que lo presentaban.

Estas causas raíces fueron divididas por el impacto que tenían en los siguientes puntos:

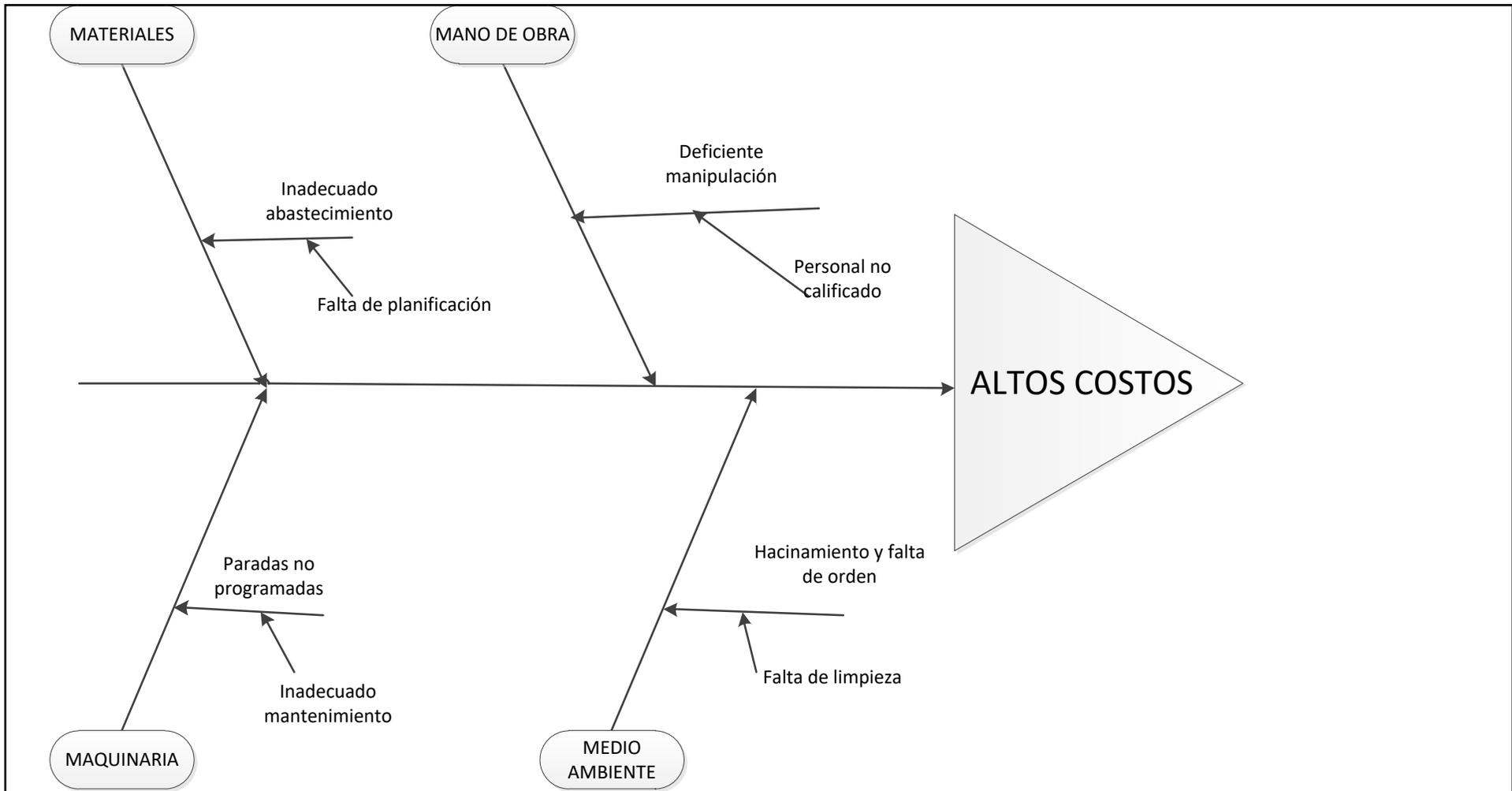


Figura 10 Diagrama Ishikawa de los altos costos de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Para ello se da un análisis mediante el diagrama de Pareto, como se puede observar en la tabla 13 y figura 11.

En la figura 11, se ha realizado el Diagrama de Pareto para identificar las máquinas que tienen una mayor frecuencia de fallas, las cuales deben tener un mantenimiento preventivo para aumentar la productividad del Hospital Regional de Lambayeque.

Tabla 13

Análisis de diagrama de Pareto para los fallos encontrados en el año 2018

MÁQUINARIA	MESES												TOTAL	PROCENTAJE
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
CALDERO N°01	0	2	3	2	4	0	1	1	2	1	0	3	19	7.7%
CALDERO N°03	1	2	1	1	3	1	2	0	0	3	1	2	17	6.9%
BOMBA DE CALDERO N° 01	0	2	1	3	1	0	3	0	0	2	1	2	15	6.0%
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	1	2	1	2	0	2	1	2	0	1	2	1	15	6.0%
INCINERADOR PIROLITICO DE 100KGH	1	2	0	1	3	0	1	2	1	1	2	1	15	6.0%
BOMBA AGUA DURA N° 02	0	2	1	2	0	1	0	3	0	1	1	2	13	5.2%
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	0	1	2	1	1	1	2	0	1	1	1	2	13	5.2%
BOMBA DE CALENTADOR N°01	3	1	0	2	0	0	1	0	2	1	1	2	13	5.2%
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	2	0	1	2	1	0	0	2	1	1	0	3	13	5.2%
BOMBA AGUA DURA N° 04	2	0	1	2	0	0	1	3	0	2	0	1	12	4.8%
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	0	2	0	1	0	1	1	2	1	1	2	1	12	4.8%
BOMBA DE CALDERO N° 02	1	0	1	2	1	0	0	0	2	1	1	2	11	4.4%
BOMBA AGUA DURA N° 01	0	2	0	1	0	3	0	0	1	1	1	2	11	4.4%
BOMBA DE CALENTADOR N°02	0	0	1	0	2	0	1	2	1	1	1	2	11	4.4%
BOMBA AGUA DURA N° 03	0	0	2	0	1	0	0	3	1	0	2	1	10	4.0%
CALENTADOR N° 01	0	1	2	1	0	2	0	0	2	0	1	1	10	4.0%
BOMBA DE CALDERO N° 03	0	0	3	0	0	1	2	0	2	0	0	1	9	3.6%
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01	1	2	1	0	2	0	0	0	0	1	2	0	9	3.6%
CALDERO N°02	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	7	2.8%
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02	0	0	1	0	2	0	0	2	0	2	0	0	7	2.8%
CALENTADOR N° 02	0	0	1	0	0	1	0	0	1	2	0	1	6	2.4%
TOTAL	15	21	23	25	21	13	16	22	18	23	21	30	248	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

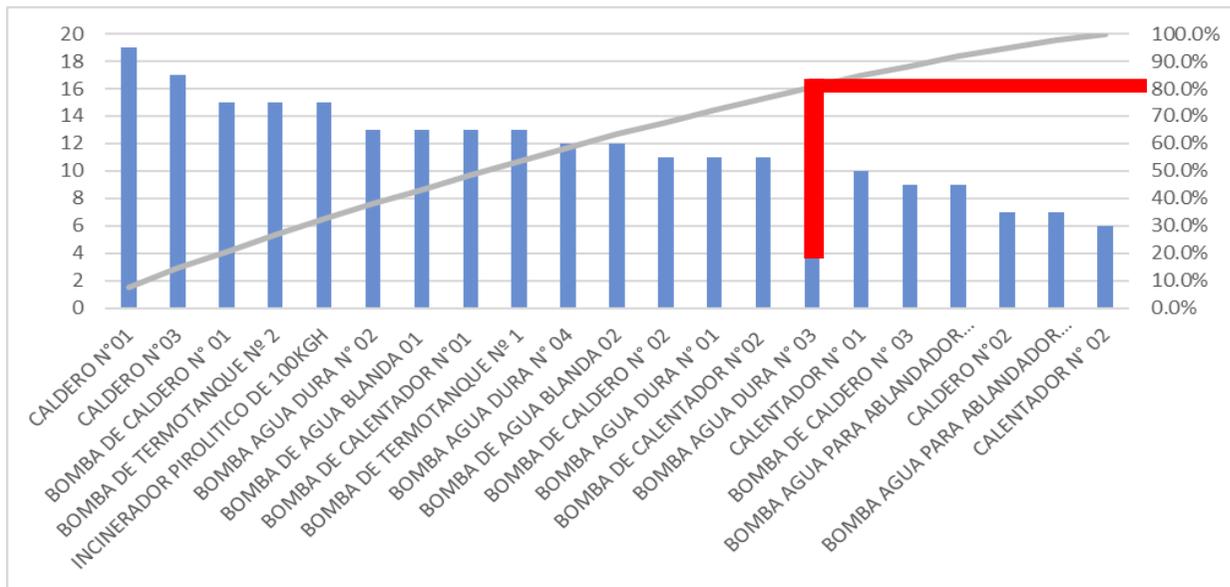


Figura 11 Diagrama de pareto de las máquinas con mayor frecuencia de fallas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se observa que las máquinas que requieren un mantenimiento preventivo con urgencia son el caldero N° 1, caldero N° 3, Bomba de caldero N° 1, Bomba de termotanque N°2 e incinerador pirolítico de 100KGH, ya que tienen mayor frecuencia de fallas.

3.1.4. Situación actual de la variable de los costos de mantenimiento

Costos actuales de la mano de obra del mantenimiento

En la siguiente tabla 14, podemos observar el costo de mano de obra del área de mantenimiento del año 2018, donde se toma en cuenta el costo de mano de obra del jefe de mantenimiento, jefe de electromecánica, técnico mecánica y operario, teniendo un pago total anual que asciende a S/ 340,165.28, en este pago se toma en cuenta las vacaciones, CTS, gratificaciones y salud cumpliendo con la normativa peruana de los derechos del trabajador. Estos datos fueron brindados por el hospital

Tabla 14

Costo anual de mano de obra de mantenimiento del año 2018 –Antes de la propuesta

OPERARIOS	PAGO ANUAL (S/)	VACACIONES (S/)	CTS (S/)	GRATIFICACIONES (S/)	ESSALUD (9%)	PAGO ANUAL (S/)	CANTIDAD	PAGO ANUAL TOTAL(S/)
Jefe de mantenimiento	S/ 30,000.00	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00	S/ 5,000.00	S/ 2,700.00	S/ 42,700.00	1	S/ 42,700.00
Jefe de electromecánica	S/ 24,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 4,000.00	S/ 2,160.00	S/ 34,160.00	1	S/ 34,160.00
Técnico mecánico	S/ 20,688.00	S/ 1,724.00	S/ 1,724.00	S/ 3,448.00	S/ 1,861.92	S/ 29,445.92	5	S/ 147,229.60
Operario	S/ 20,388.00	S/ 1,699.00	S/ 1,699.00	S/ 3,398.00	S/ 1,834.92	S/ 29,018.92	4	S/ 116,075.68
								S/ 340,165.28

Fuente: Hospital Regional de Lambayeque

Costo de insumos y repuestos del mantenimiento

En la siguiente tabla 15, se observa el costo de materiales e insumos del año 2018, donde se toma en cuenta el costo del disolvente, silicona, soldemix, trapo industrial, limpiacontactos, grasa industrial, teflón, lijas variadas, set de herramientas manuales, petróleo, afloja todo, escobillas de acero, cascos, zapatos, guantes y lentes, teniendo un pago total anual de S/ 24,526. Estos datos fueron brindados por el hospital.

Tabla 15

Costos anuales de insumos y repuestos del año 2018 –Antes de la propuesta

INSUMOS Y REPUESTOS MANTENIMIENTO HRL				
Ítem	Descripción	Precio	Cantidad	Costo
1	Disolventes	9.00	10	90.00
2	Silicona	15.00	10	150.00
3	Soldemix	7.00	6	42.00
4	Trapo Industrial	6.00	200	1,200.00
5	Limpiacontactos	62.00	9	558.00
6	Grasa Industrial	18.00	7	126.00
7	Teflon	5.00	15	75.00
8	Lijas Variadas	4.50	20	90.00
9	Set Herramientas Manuales	930.00	1	930.00
10	Petróleo	12.00	12	144.00
11	Afloja Todo	19.00	6	114.00
12	Escobillas de Acero	10.00	14	140.00
13	Cascos y Zapatos	200.00	7	1,400.00
14	Guantes y Lentes	40.00	21	840.00
15	Aceite a Granel	250.00	24	6,000.00
16	Aceite Sae64	150.00	5	750.00
17	Alambre de rebobinar	200.00	2	400.00
18	Antorcha tíg	150.00	2	300.00
19	Bomba y cañería	1,700.00	1	1,700.00
20	Cables eléctricos	50.00	5	250.00
21	Carbones	12.00	13	156.00
22	Carneros	6,000.00	1	6,000.00
23	Chuck universal	2,000.00	1	2,000.00
24	Espárrago	200.00	6	1,200.00
25	Finales de carrera	100.00	2	200.00
26	Pinzas de acero	100.00	1	100.00
27	Guías de soporte de mordaza	1,000.00	1	1,000.00
28	Malla	50.00	2	100.00
29	Pernos y tuercas de varias medidas	100.00	12	1,200.00
30	Placas de acero	100.00	6	600.00
31	Resortes	50.00	5	250.00

32	Retenes de cilindro	100.00	6	600.00
33	Rodamientos	100.00	12	1,200.00
34	Tips	10.00	10	100.00
35	Tobera	60.00	6	360.00
36	Tuercas frenadas y contratuercas	10.00	6	60.00
				<u>24,526.00</u>

Fuente: Hospital Regional de Lambayeque

Costos de servicios tercerizados de mantenimiento

En la siguiente tabla 16, se observa el costo de mantenimiento tercerizado del año 2018, donde se toma en cuenta las empresas que nos brindan sus servicios para el mantenimiento de la maquinaria, las cuales son: Inversiones Procaltex S.A.C, Japache Ingenieros S.A.C., Famide S.R.L., teniendo un pago total anual de S/ 555,000. Estos datos fueron brindados por el hospital

Tabla 16

Costos anuales de mantenimiento tercerizado del año 2018 –Antes de la propuesta

EMPRESAS	EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO
INVERSIONES PROCALTEX SAC	Calderos	8	S/ 79,000.00
	Bombas	11	S/ 68,000.00
	Calentadores	13	S/ 75,000.00
JAPACHE INGENIEROS SAC	Calderos	9	S/ 51,000.00
	Bombas	17	S/ 65,000.00
	Calentadores	16	S/ 74,000.00
FAMINDE SRL	Incinerador pirolítico	16	S/ 143,000.00
TOTAL		93	S/ 555,000.00

Fuente: Hospital Regional de Lambayeque

Para hallar el costo total de mantenimiento se aplicó la siguiente fórmula:

Costo total de mantenimiento

= Costo de m. o del área de mantenimiento (Cmo)

+ Costo de mantenimiento tercerizado(Cmt)

+ Costo de insumos y repuestos(Cir)

De las tablas 14, 15 y 16 se sumó el costo total de mantenimiento, los datos podemos visualizarlos en la tabla 17, obteniendo un costo anual que asciende a S/ 969,691.28.

Tabla 17

Costo total anual de mantenimiento del año 2018 –Antes de la propuesta

Variable	Costo total de mantenimiento
Costo de mano de obra de mantenimiento	S/. 340,165.28
Costo de repuesto e insumos	S/. 24,526.00
Costo de mantenimiento tercerizado	S/. 555,000.00
	S/. 919,691.28

Fuente: Elaboración propia

3.2. Propuesta una Gestión de Mantenimiento para reducir costos del área electromecánica en el Hospital Regional Lambayeque.

3.2.1. Fundamentación

La principal fundamentación en esta investigación es la económica, debido a que las propuestas pretenden reducir los costos del hospital. Estas propuestas de mejora en la gestión del mantenimiento se fundamentan en que es una metodología mundialmente comprobada con resultados positivos para otros hospitales. Esto ayudará a que el Hospital Regional de Lambayeque otorgue un nivel de servicio óptimo al paciente.

3.2.2. Objetivos de la propuesta

El objetivo general de esta investigación es la reducción de los costos en el Hospital Regional de Lambayeque. Por lo que se realizó un diagnóstico del proceso actual del mantenimiento del hospital, identificándose que existen problemas por un inadecuado abastecimiento, una deficiente manipulación, paradas no programadas y hacinamiento y falta de orden en los materiales.

3.2.3. Desarrollo de la propuesta

Se hace una propuesta de investigación teniendo en cuenta el número de fallas que presentan los equipos del área de electromecánica según el resultado del diagrama de Pareto que se encuentra diagramado en la figura 12.

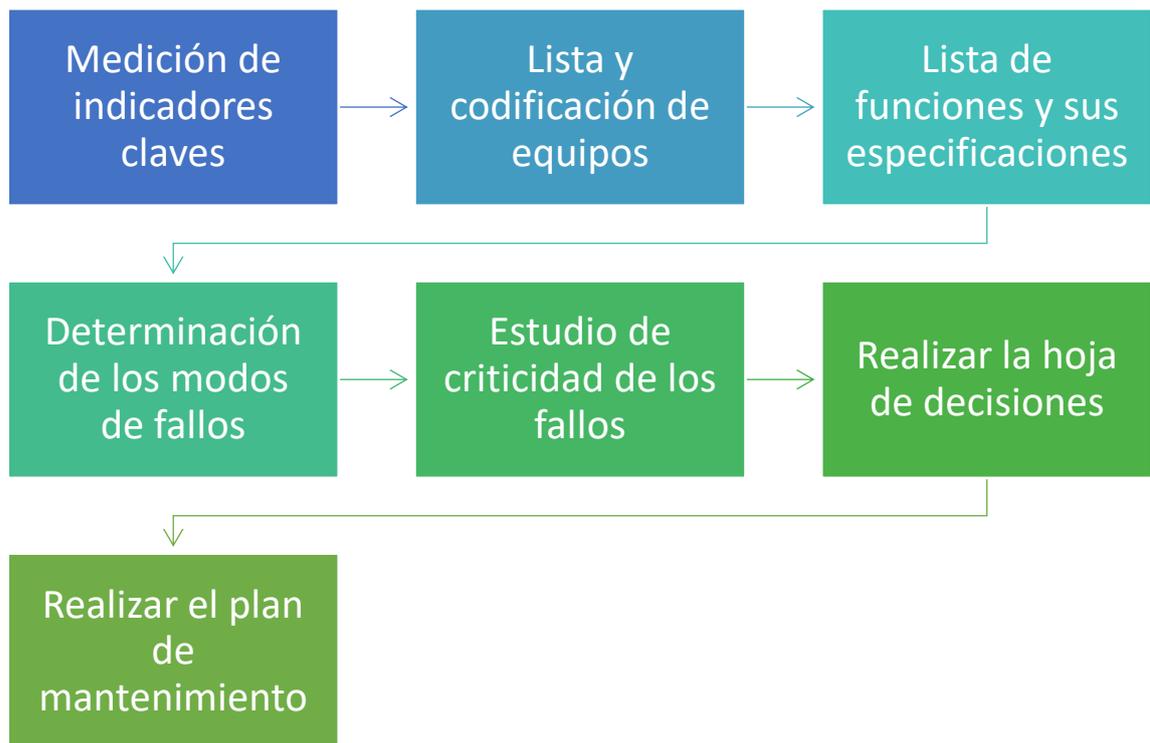


Figura 12 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad propuesto

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Medición de indicadores clave

En la tabla 18, se calculó el porcentaje de confiabilidad de las maquinarias del año 2018. el valor máximo es de 96.1% de la bomba de agua blanda 01 y el valor mínimo es de 78.9% de bomba de caldera N° 03.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{MTTF}{MTTR + MTTF}$$

$$MTTF = \frac{Tpp}{NF}$$

$$MTTR = \frac{TTR}{NF}$$

Dónde:

MTTR: Tiempo total de reparación

MTTF: Tiempo total de falla

NF: Numero de fallas

TTR: Tiempo de falla

Tpp: Tiempo programado de producción

Para el caldero 1 en el total del año 2018, se tiene una confiabilidad del 84.8%.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{MTTF}{MTTR + MTTF} = \frac{\frac{Tpp}{NF}}{\frac{TTR}{NF} + \frac{Tpp}{NF}} = \frac{\frac{Tpp}{NF}}{\frac{TTR + Tpp}{NF}} = \frac{\frac{8760}{19}}{\frac{461}{19} + \frac{8760}{19}} = 84.8\%$$

Tabla 18

Confiabilidad de la maquinaria del año 2018 –Antes de la propuesta

MÁQUINARIA		EN	FE	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	CONFIABILIDAD
TOTAL	Tpp	744.00	490.00	504.00	576.00	675.00	720.00	686.00	711.00	527.00	695.00	720.00	462.00	7510.00	83.5%
	NF	47	50	63	62	50	36	39	39	29	54	57	71	597	
	TTR	15.83	9.80	8.00	9.29	13.50	20.00	17.59	18.23	18.17	12.87	12.63	6.51	12.58	
CALDERO N°01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	84.8%
	NF	0	2	3	2	4	0	1	1	2	1	0	3	19	
	TTR	0.00	90.00	120.00	72.00	32.00	0.00	27.00	15.00	95.00	24.00	0.00	141.00	461.05	
CALDERO N°03	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	78.9%
	NF	8	5	6	8	9	6	7	0	0	8	6	7	70	
	TTR	656.00	484.00	678.00	693.00	561.00	683.00	651.00	744.00	720.00	527.00	638.00	560.00	125.14	
BOMBA DE CALDERO N° 01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	81.7%
	NF	6	8	7	9	8	0	5	0	0	4	7	6	60	
	TTR	124.00	84.00	106.29	80.00	93.00	0.00	148.80	0.00	0.00	186.00	102.86	124.00	146.00	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	81.3%
	NF	5	5	8	9	0	4	5	6	0	6	7	7	62	
	TTR	148.80	134.40	93.00	80.00	0.00	180.00	148.80	124.00	0.00	124.00	102.86	106.29	141.29	
INCINERADOR PIROLITICO DE 100KGH	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	84.5%
	NF	6	8	0	7	4	0	5	5	8	4	8	5	60	
	TTR	124.00	84.00	0.00	102.86	186.00	0.00	148.80	148.80	90.00	186.00	90.00	148.80	146.00	
BOMBA AGUA DURA N° 02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	81.9%
	NF	0	8	6	5	0	8	0	6	0	7	5	9	54	
	TTR	0.00	84.00	124.00	144.00	0.00	90.00	0.00	124.00	0.00	106.29	144.00	82.67	162.22	
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	96.1%
	NF	0	1	2	1	1	1	2	0	1	1	1	2	13	
	TTR	0.00	672.00	372.00	720.00	744.00	720.00	372.00	0.00	720.00	744.00	720.00	372.00	673.85	

Tabla 18

Confiabilidad de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

MÁQUINARIA		EN	FE	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	CONFIABILIDAD
BOMBA DE CALENTADOR N°01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	95.4%
	NF	3	1	0	2	0	0	1	0	2	1	1	2	13	
	TTR	248.00	672.00	0.00	360.00	0.00	0.00	744.00	0.00	360.00	744.00	720.00	372.00	673.85	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	95.2%
	NF	2	0	1	3	1	0	0	2	1	1	0	3	14	
	TTR	372.00	0.00	744.00	240.00	744.00	0.00	0.00	372.00	720.00	744.00	0.00	248.00	625.71	
BOMBA AGUA DURA N° 04	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	94.2%
	NF	2	0	3	2	0	0	1	3	0	2	0	1	14	
	TTR	372.00	0.00	248.00	360.00	0.00	0.00	744.00	248.00	0.00	372.00	0.00	744.00	625.71	
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	95.1%
	NF	0	3	0	3	0	1	1	2	1	1	2	1	15	
	TTR	0.00	224.00	0.00	240.00	0.00	720.00	744.00	372.00	720.00	744.00	360.00	744.00	584.00	
BOMBA DE CALDERO N° 02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	90.7%
	NF	1	0	3	2	4	0	0	0	2	3	2	2	19	
	TTR	744.00	0.00	248.00	360.00	186.00	0.00	0.00	0.00	360.00	248.00	360.00	372.00	461.05	
BOMBA AGUA DURA N° 01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	91.7%
	NF	0	2	0	3	0	3	0	0	3	3	3	2	19	
	TTR	0.00	336.00	0.00	240.00	0.00	240.00	0.00	0.00	240.00	248.00	240.00	372.00	461.05	
BOMBA DE CALENTADOR N°02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	91.4%
	NF	0	0	3	0	4	0	1	3	2	3	2	2	20	
	TTR	0.00	0.00	248.00	0.00	186.00	0.00	744.00	248.00	360.00	248.00	360.00	372.00	438.00	
BOMBA AGUA DURA N° 03	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	92.3%
	NF	0	0	4	0	3	0	0	5	1	0	2	1	16	
	TTR	0.00	0.00	186.00	0.00	248.00	0.00	0.00	148.80	720.00	0.00	360.00	744.00	547.50	

Tabla 18*Confiabilidad de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta*

MÁQUINARIA		EN	FE	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	CONFIABILIDAD
CALENTADOR N° 01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	85.5%
	NF	0	3	2	3	0	5	0	0	2	0	4	9	28	
	TTR	0.00	224.00	372.00	240.00	0.00	144.00	0.00	0.00	360.00	0.00	180.00	82.67	312.86	
BOMBA DE CALDERO N° 03	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	80.8%
	NF	0	0	7	0	0	8	9	0	2	0	0	7	33	
	TTR	0.00	0.00	106.29	0.00	0.00	90.00	82.67	0.00	360.00	0.00	0.00	106.29	265.45	
BOMBA AGUA PARA ABLADADOR N°01	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	89.3%
	NF	6	4	2	0	3	0	0	0	0	3	2	0	20	
	TTR	124.00	168.00	372.00	0.00	248.00	0.00	0.00	0.00	0.00	248.00	360.00	0.00	438.00	
CALDERO N°02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	89.2%
	NF	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	14	
	TTR	93.00	0.00	0.00	240.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	240.00	0.00	625.71	
BOMBA AGUA PARA ABLADADOR N°02	Tpp	744.00	672.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	744.00	720.00	744.00	8760.00	89.8%
	NF	0	0	3	0	5	0	0	3	0	3	0	0	14	
	TTR	0.00	0.00	248.00	0.00	148.80	0.00	0.00	248.00	0.00	248.00	0.00	0.00	625.71	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se calculó el porcentaje de disponibilidad de las maquinarias del año 2018. El valor máximo es de 91.7% de la bomba de agua blanda 02 y el valor mínimo es de 86.7% de caldero N° 03.

$$TTO = Tpp - TF - TR$$

$$Disponibilidad = \frac{TTO}{Tpp}$$

Dónde:

TTO: Tiempo total de operación

TPP: Tiempo programado de producción

TF: Tiempo de falla

TR: Tiempo de reparación

Para el caldero 1 en el total del año 2018, se tiene un tiempo total de operación de 7879 horas y una disponibilidad del 89.9%.

$$TTO = Tpp - TF - TR$$

$$TTO = 8760 - 442 - 439 = 7879 \text{ horas}$$

$$Disponibilidad = \frac{TTO}{Tpp}$$

$$Disponibilidad = \frac{7879 \text{ horas}}{8760 \text{ horas}} = 89.9\%$$

Tabla 19

Disponibilidad de la maquinaria del año 2018 –Antes de la propuesta

TIEMPO PROGRAMADO		744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	
MÁQUINARIA		ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO	ABR IL	MA YO	JUN IO	JUL IO	AGOS TO	SETIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	TOT AL	DISPONIBIL IDAD
TOTAL	TF	0	92	120	72	37	0	31	18	98	25	0	141	634	
	TR	0	90	120	72	32	0	27	15	95	24	0	141	616	85.7%
	TTO	744	490	504	576	675	720	686	711	527	695	720	462	7510	
CALDERO N°01	TF	146	0	0	157	0	0	0	0	0	0	139	0	442	
	TR	146	0	0	154	0	0	0	0	0	0	139	0	439	89.9%
	TTO	452	672	744	409	744	720	744	744	720	744	442	744	7879	
CALDERO N°03	TF	45	94	35	16	93	21	48	0	0	111	41	92	596	
	TR	43	94	31	11	90	16	45	0	0	106	41	92	569	86.7%
	TTO	656	484	678	693	561	683	651	744	720	527	638	560	7595	
BOMBA DE CALDERO N° 01	TF	0	88	34	57	44	0	108	0	0	72	25	78	506	
	TR	0	83	33	56	41	0	108	0	0	71	22	75	489	88.6%
	TTO	744	501	677	607	659	720	528	744	720	601	673	591	7765	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	TF	69	0	75	85	49	0	0	0	68	59	47	54	506	
	TR	66	0	74	80	46	0	0	0	63	59	46	52	486	88.7%
	TTO	609	672	595	555	649	720	744	744	589	626	627	638	7768	
INCINERADOR PIROLITICO DE 100KGH	TF	0	0	57	0	0	94	105	0	98	0	0	106	460	
	TR	0	0	56	0	0	90	102	0	52	0	0	102	402	90.2%
	TTO	744	672	631	720	744	536	537	744	612	744	720	536	7898	
BOMBA AGUA DURA N° 02	TF	0	82	0	94	0	88	0	0	32	38	94	54	482	
	TR	0	80	0	92	0	84	0	0	30	38	90	53	467	89.2%
	TTO	744	510	744	534	744	548	744	744	658	668	536	637	7811	

Tabla 19

Disponibilidad de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

TIEMPO PROGRAMADO	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	TIEMPO PROGRAMADO	
MÁQUINARIA	ENE RO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	DISPONIBILIDAD	MÁQUINARIA
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	TF	0	62	58	64	0	33	78	72	0	68	94	76	605	89.0%
	TR	0	61	15	32	0	31	0	71	0	64	15	71	360	
	TTO	744	549	714	654	744	656	744	601	720	612	689	597	7795	
BOMBA DE CALENTADOR N°01	TF	0	0	64	0	94	0	0	86	68	0	92	76	480	89.7%
	TR	0	0	63	0	91	0	0	44	65	0	87	73	423	
	TTO	744	672	617	720	559	720	744	655	587	744	541	595	7857	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	TF	94	0	94	70	0	0	94	93	0	68	0	16	529	89.3%
	TR	93	0	89	66	0	0	30	89	0	30	0	14	411	
	TTO	557	672	561	584	744	720	682	562	720	684	720	714	7820	
BOMBA AGUA DURA N° 04	TF	94	105	49	0	61	0	0	0	0	67	94	0	470	89.4%
	TR	92	105	47	0	58	0	0	0	0	67	93	0	462	
	TTO	558	462	648	720	625	720	744	744	720	610	533	744	7828	
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	TF	0	0	98	0	87	0	0	84	0	97	0	0	366	91.7%
	TR	0	0	96	0	87	0	0	80	0	97	0	0	360	
	TTO	744	672	550	720	570	720	744	580	720	550	720	744	8034	
BOMBA CALDERO N° 02	TF	0	87	76	56	41	31	82	0	64	33	20	58	548	87.8%
	TR	0	85	71	53	36	28	81	0	62	29	20	54	519	
	TTO	744	500	597	611	667	661	581	744	594	682	680	632	7693	

Tabla 19

Disponibilidad de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

TIEMPO PROGRAMADO	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	TIEMPO PROGRAMADO	
MÁQUINARIA	ENE RO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	DISPONIBILIDAD	MÁQUINARIA
BOMBA AGUA DURA N° 01	TF	0	36	0	39	0	54	67	68	79	49	46	38	476	89.3%
	TR	0	33	0	34	0	53	65	66	77	49	42	38	457	
	TTO	744	603	744	647	744	613	612	610	564	646	632	668	7827	
BOMBA CALENTADOR N°02 DE	TF	57	74	0	86	0	0	33	0	84	30	64	38	466	89.5%
	TR	57	72	0	85	0	0	30	0	84	28	64	34	454	
	TTO	630	526	744	549	744	720	681	744	552	686	592	672	7840	
BOMBA AGUA DURA N° 03	TF	0	0	38	0	94	0	54	98	48	19	68	58	477	89.4%
	TR	0	0	37	0	90	0	49	94	48	14	67	56	455	
	TTO	744	672	669	720	560	720	641	552	624	711	585	630	7828	
CALENTADOR N° 01	TF	96	0	25	98	38	0	0	86	67	25	0	117	552	87.7%
	TR	94	0	23	94	34	0	0	83	66	22	0	113	529	
	TTO	554	672	696	528	672	720	744	575	587	697	720	514	7679	
BOMBA DE CALDERO N° 03	TF	0	0	94	0	92	0	84	96	32	79	69	38	584	86.8%
	TR	0	0	90	0	89	0	80	96	31	77	68	38	569	
	TTO	744	672	560	720	563	720	580	552	657	588	583	668	7607	
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01	TF	58	0	17	90	84	0	0	84	49	24	0	81	487	89.1%
	TR	58	0	14	89	83	0	0	79	44	22	0	81	470	
	TTO	628	672	713	541	577	720	744	581	627	698	720	582	7803	

Tabla 19

Disponibilidad de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

TIEMPO PROGRAMADO	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	TIEMPO PROGRAMADO	
MÁQUINARIA	ENE RO	FEBR ERO	MAR ZO	AB RIL	MA YO	JUN IO	JUL IO	AGO STO	SETIE MBRE	OCTU BRE	NOVIE MBRE	DICIE MBRE	TOT AL	DISPONIBILIDAD	MÁQUINARIA
CALDERO N°02	TF	46	98	42	49	0	96	40	92	0	25	36	41	565	87.5%
	TR	43	93	42	45	0	92	35	87	0	20	35	38	530	
	TTO	655	481	660	626	744	532	669	565	720	699	649	665	7665	
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02	TF	0	16	50	95	0	106	0	0	82	0	68	94	511	88.5%
	TR	0	15	49	90	0	105	0	0	79	0	67	94	499	
	TTO	744	641	645	535	744	509	744	744	559	744	585	556	7750	

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 20, se calculó el porcentaje de mantenimiento de las maquinarias del año 2018. El valor máximo es de 4.3% del caldero N° 1 y el valor mínimo es de 1.3% de caldero N° 02.

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{1}{MTTR}$$

$$MTTR = \frac{TTR}{NF}$$

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{NF}{TTR}$$

Dónde:

MTTR: Tiempo total de reparación

NF: Tiempo programado de producción

TTR: Tiempo de falla

Para el caldero 1 en el total del año 2018, se tiene un tiempo total de operación de 23.1 horas y una mantenibilidad del 4.3%.

$$MTTR = \frac{TTR}{NF} = \frac{439}{19} = 23.1$$

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{NF}{TTR} = \frac{19}{23.1} = 4.3\%$$

Tabla 20

Tabla de mantenimiento de la maquinaria del año 2018 –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE RO	FEBR ERO	MAR ZO	ABR IL	MA YO	JUN IO	JUL IO	AGOS TO	SETIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	TOT AL	% MANTENIBILI DAD
TOTAL	TTR	0	90	120	72	32	0	27	15	95	24	0	141	616	2.7%
	NF	15	21	23	25	21	13	16	22	18	23	21	30	248	
	MTTR	0	4.2	5.2	2.8	1.5	0	1.6	0.6	5.2	1.0	0	4.7	2.4	
CALDERO N°01	TTR	146	0	0	154	0	0	0	0	0	0	139	0	439	4.3%
	NF	0	2	3	2	4	0	1	1	2	1	0	3	19	
	MTTR	0.0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	23.1	
CALDERO N°03	TTR	43	94	31	11	90	16	45	0	0	106	41	92	569	3.0%
	NF	1	2	1	1	3	1	2	0	0	3	1	2	17	
	MTTR	43	47	31	11	30	16	22.5	0	0	35.3	41	46	33.5	
BOMBA DE CALDERO N° 01	TTR	0	83	33	56	41	0	108	0	0	71	22	75	489	3.1%
	NF	0	2	1	3	1	0	3	0	0	2	1	2	15	
	MTTR	0	41.5	33	18.7	41	0	36	0	0	35.5	22	37.5	32.6	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	TTR	66	0	74	80	46	0	0	0	63	59	46	52	486	3.1%
	NF	1	2	1	2	0	2	1	2	0	1	2	1	15	
	MTTR	66	0	74	40	0	0	0	0	0	59	23	52	32.4	
INCINERADOR PIROLITICO 100KGH	TTR	0	0	56	0	0	90	102	0	52	0	0	102	402	3.7%
	NF	1	2	0	1	3	0	1	2	1	1	2	1	15	
	MTTR	0	0	0.0	0	0	0	102	0	52	0	0	102	26.8	
BOMBA AGUA DURA N° 02	TTR	0	80	0	92	0	84	0	0	30	38	90	53	467	2.8%
	NF	0	2	1	2	0	1	0	3	0	1	1	2	13	
	MTTR	0	40	0	46	0	84	0	0	0	38	90	26.5	35.9	

Tabla 20

Tabla de mantenimiento de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	% MANT
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	TTR	0	61	15	32	0	31	0	71	0	64	15	71	360	3.6%
	NF	0	1	2	1	1	1	2	0	1	1	1	2	13	
	MTRR	0	61	7.5	32	0	31	0	0.0	0	64	15	35.5	27.7	
BOMBA DE CALENTADOR N°01	TTR	0	0	63	0	91	0	0	44	65	0	87	73	423	3.1%
	NF	3	1	0	2	0	0	1	0	2	1	1	2	13	
	MTRR	0	0	0	0	0	0	0	0.0	32.5	0	87	36.5	32.53	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	TTR	93	0	89	66	0	0	30	89	0	30	0	14	411	3.2%
	NF	2	0	1	2	1	0	0	2	1	1	0	3	13	
	MTRR	46.5	0	89	33	0	0	0	44.5	0	30	0	4.7	31.6	
BOMBA AGUA DURA N° 04	TTR	92	105	47	0	58	0	0	0	0	67	93	0	462	2.6%
	NF	2	0	1	2	0	0	1	3	0	2	0	1	12	
	MTRR	46	0	47	0	0	0	0	0	0	33.5	0	0	38.5	
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	TTR	0	0	96	0	87	0	0	80	0	97	0	0	360	3.3%
	NF	0	2	0	1	0	1	1	2	1	1	2	1	12	
	MTRR	0	0	0	0	0	0	0	40	0	97	0	0	30.0	
BOMBA DE CALDERO N° 02	TTR	0	85	71	53	36	28	81	0	62	29	20	54	519	2.1%
	NF	1	0	1	2	1	0	0	0	2	1	1	2	11	
	MTRR	0	0	71	26.5	36	0	0	0	31	29	20	27	47.2	
BOMBA AGUA DURA N° 01	TTR	0	33	0	34	0	53	65	66	77	49	42	38	457	2.4%
	NF	0	2	0	1	0	3	0	0	1	1	1	2	11	
	MTRR	0	16.5	0	34	0	17.7	0	0	77	49	42	19	41.5	
BOMBA DE CALENTADOR N°02	TTR	57	72	0	85	0	0	30	0	84	28	64	34	454	2.4%
	NF	0	0	1	0	2	0	1	2	1	1	1	2	11	
	MTRR	0	0	0	0	0	0	30	0	84	28	64	17	41.3	

Tabla 20

Tabla de mantenimiento de la maquinaria del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	% MANT
BOMBA AGUA DURA N° 03	TTR	0	0	37	0	90	0	49	94	48	14	67	56	455	2.2%
	NF	0	0	2	0	1	0	0	3	1	0	2	1	10	
	MTTR	0	0	18.5	0	90	0	0	31.3	48	0	33.5	56	45.5	
CALENTADOR N° 01	TTR	94	0	23	94	34	0	0	83	66	22	0	113	529	1.9%
	NF	0	1	2	1	0	2	0	0	2	0	1	1	10	
	MTTR	0	0	11.5	94	0	0	0	0	33	0	0	113.0	52.9	
BOMBA DE CALDERO N° 03	TTR	0	0	90	0	89	0	80	96	31	77	68	38	569	1.6%
	NF	0	0	3	0	0	1	2	0	2	0	0	1	9	
	MTTR	0	0	30	0	0	0	40	0	15.5	0	0	38	63.2	
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01	TTR	58	0	14	89	83	0	0	79	44	22	0	81	470	1.9%
	NF	1	2	1	0	2	0	0	0	0	1	2	0	9	
	MTTR	58	0	14	0	41.5	0	0	0	0	22	0	0	52.2	
CALDERO N°02	TTR	43	93	42	45	0	92	35	87	0	20	35	38	530	1.3%
	NF	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	7	
	MTTR	14.3333	0	0	22.5	0	0	0	0	0	0	17.5	0	75.7	
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02	TTR	0	15	49	90	0	105	0	0	79	0	67	94	499	1.4%
	NF	0	0	1	0	2	0	0	2	0	2	0	0	7	
	MTTR	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.3	

Fuente: Elaboración propia

Se analizó el OEE, el cual es un indicador que mide la eficacia de la maquinaria industrial, y que se utiliza como herramienta clave dentro de la cultura de mejora continua. En la tabla 21, se calculó el OEE de las maquinarias del año 2018, donde el valor máximo es de 79.4% de la bomba de agua blanda 01 y el valor mínimo es de 71.8% de calentador N° 01.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Para la maquinaria caldero 1 el total del año 2018 en disponibilidad es 88.3%, rendimiento es 95.3% y calidad es 90.9%, con lo cual se obtiene un OEE de 76.8%, siendo de rango aceptable.

$$OEE = 88.3\% \times 95.7\% \times 90.9\% = 76.8\%$$

Tabla 21

OEE del año 2018 –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	OEE
TOTAL	DISP.	100.0%	72.9%	67.7%	80.0%	90.7%	100.0%	92.2%	95.6%	73.2%	93.4%	100.0%	62.1%	85.7%	72.9%
	REND.	100.0%	84.5%	80.8%	88.9%	95.5%	100.0%	96.2%	97.9%	84.7%	96.7%	100.0%	76.6%	91.8%	
	CAL.	100.0%	86.3%	83.9%	90.0%	95.0%	100.0%	95.8%	97.6%	86.4%	96.6%	100.0%	81.0%	92.7%	
CALDERO N°01	DISP.	60.8%	90.3%	100.0%	55.0%	100.0%	96.8%	100.0%	100.0%	96.8%	100.0%	59.4%	100.0%	88.3%	76.8%
	REND.	100.0%	89.7%	100.0%	72.6%	100.0%	93.4%	100.0%	100.0%	92.1%	100.0%	100.0%	100.0%	95.7%	
	CAL.	60.8%	100.0%	100.0%	75.7%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	95.4%	100.0%	59.4%	100.0%	90.9%	
CALDERO N°03	DISP.	88.2%	65.1%	91.1%	93.1%	75.4%	91.8%	87.5%	100.0%	96.8%	70.8%	85.8%	75.3%	85.1%	72.1%
	REND.	93.8%	83.7%	95.6%	98.4%	86.2%	97.7%	93.5%	100.0%	97.0%	83.3%	94.0%	85.9%	92.4%	
	CAL.	94.0%	77.7%	95.3%	94.6%	87.5%	94.0%	93.5%	100.0%	99.8%	85.1%	91.3%	87.6%	91.7%	
BOMBA DE CALDERO N° 01	DISP.	100.0%	67.3%	91.0%	81.6%	88.6%	96.8%	71.0%	100.0%	96.8%	80.8%	90.5%	79.4%	87.0%	74.3%
	REND.	100.0%	85.8%	95.4%	91.6%	94.1%	93.4%	83.0%	100.0%	92.8%	89.4%	96.8%	88.7%	92.6%	
	CAL.	100.0%	78.5%	95.4%	89.1%	94.1%	95.8%	85.5%	100.0%	95.4%	90.3%	93.4%	89.5%	92.3%	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2	DISP.	81.9%	90.3%	80.0%	74.6%	87.2%	96.8%	100.0%	100.0%	79.2%	84.1%	84.3%	85.8%	87.0%	73.5%
	REND.	90.2%	86.7%	88.9%	87.4%	100.0%	85.2%	100.0%	100.0%	100.0%	91.4%	93.2%	92.5%	93.0%	
	CAL.	90.7%	87.3%	89.9%	85.3%	87.2%	95.7%	100.0%	100.0%	79.2%	92.1%	90.5%	92.7%	90.9%	
INCINERADOR PIROLITICO DE 100KGH	DISP.	100.0%	90.3%	84.8%	96.8%	100.0%	72.0%	72.2%	100.0%	82.3%	100.0%	96.8%	72.0%	88.9%	75.2%
	REND.	100.0%	82.3%	100.0%	88.2%	100.0%	100.0%	84.0%	100.0%	92.2%	100.0%	87.5%	84.0%	93.2%	
	CAL.	100.0%	89.7%	84.8%	89.6%	100.0%	72.0%	85.9%	100.0%	89.2%	100.0%	91.6%	85.8%	90.7%	

Tabla 21

OEE del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	OEE
BOMBA AGUA DURA N° 02	DISP.	100.0%	68.5%	100.0%	71.8%	100.0%	73.7%	100.0%	100.0%	88.4%	89.8%	72.0%	85.6%	87.5%	76.2%
	REND.	100.0%	86.4%	100.0%	85.3%	100.0%	86.7%	100.0%	100.0%	100.0%	94.6%	85.6%	92.3%	94.3%	
	CAL.	100.0%	79.3%	100.0%	84.1%	100.0%	84.9%	100.0%	100.0%	88.4%	94.9%	84.1%	92.7%	92.4%	
BOMBA DE AGUA BLANDA 01	DISP.	100.0%	73.8%	96.0%	87.9%	100.0%	88.2%	100.0%	80.8%	96.8%	82.3%	92.6%	80.2%	89.9%	79.4%
	REND.	100.0%	90.0%	97.9%	95.3%	100.0%	95.5%	100.0%	100.0%	85.3%	90.5%	97.9%	89.4%	95.2%	
	CAL.	100.0%	82.0%	98.0%	92.2%	100.0%	92.3%	100.0%	80.8%	93.7%	90.9%	94.6%	89.8%	92.9%	
BOMBA DE CALENTADOR N°01	DISP.	100.0%	90.3%	82.9%	96.8%	75.1%	96.8%	100.0%	88.0%	78.9%	100.0%	72.7%	80.0%	88.5%	75.2%
	REND.	100.0%	86.7%	100.0%	84.5%	100.0%	85.5%	100.0%	100.0%	90.0%	100.0%	86.1%	89.1%	93.5%	
	CAL.	100.0%	94.8%	82.9%	94.6%	75.1%	93.1%	100.0%	88.0%	87.6%	100.0%	84.4%	89.8%	90.9%	
BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1	DISP.	74.9%	90.3%	75.4%	78.5%	100.0%	96.8%	91.7%	75.5%	96.8%	91.9%	96.8%	96.0%	88.7%	74.6%
	REND.	85.7%	86.7%	86.3%	89.8%	100.0%	86.7%	100.0%	86.3%	88.5%	95.8%	87.9%	98.1%	91.0%	
	CAL.	87.4%	94.6%	87.4%	87.4%	100.0%	91.6%	91.7%	87.5%	96.1%	96.0%	91.1%	97.8%	92.4%	
BOMBA AGUA DURA N° 04	DISP.	75.0%	62.1%	87.1%	96.8%	84.0%	96.8%	100.0%	100.0%	96.8%	82.0%	71.6%	100.0%	87.7%	72.5%
	REND.	85.8%	100.0%	93.2%	84.8%	100.0%	84.8%	100.0%	100.0%	84.9%	90.1%	100.0%	100.0%	93.6%	
	CAL.	87.4%	62.1%	93.4%	87.9%	84.0%	86.5%	100.0%	100.0%	95.9%	91.0%	71.6%	100.0%	88.3%	
BOMBA DE AGUA BLANDA 02	DISP.	100.0%	90.3%	73.9%	96.8%	76.6%	96.8%	100.0%	78.0%	96.8%	73.9%	96.8%	100.0%	90.0%	75.1%
	REND.	100.0%	94.7%	100.0%	84.7%	100.0%	85.7%	100.0%	87.9%	84.5%	85.0%	85.5%	100.0%	92.3%	
	CAL.	100.0%	95.4%	73.9%	87.5%	76.6%	94.8%	100.0%	88.7%	94.8%	87.0%	85.9%	100.0%	90.4%	

Tabla 21

OEE del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	OEE
BOMBA DE CALDERO N° 02	DISP.	100.0%	67.2%	80.2%	82.1%	89.7%	88.8%	78.1%	100.0%	79.8%	91.7%	91.4%	84.9%	86.2%	74.3%
	REND.	100.0%	100.0%	89.4%	92.0%	94.9%	100.0%	100.0%	100.0%	90.5%	95.9%	97.1%	92.1%	96.0%	
	CAL.	100.0%	67.2%	89.8%	89.2%	94.5%	88.8%	78.1%	100.0%	88.2%	95.6%	94.1%	92.2%	89.8%	
BOMBA AGUA DURA N° 01	DISP.	100.0%	81.0%	100.0%	87.0%	100.0%	82.4%	82.3%	82.0%	75.8%	86.8%	84.9%	89.8%	87.7%	76.8%
	REND.	100.0%	94.8%	100.0%	95.0%	100.0%	92.0%	100.0%	100.0%	88.0%	92.9%	93.8%	94.6%	95.9%	
	CAL.	100.0%	85.5%	100.0%	91.5%	100.0%	89.5%	82.3%	82.0%	86.2%	93.4%	90.6%	94.9%	91.3%	
BOMBA DE CALENTADOR N°02	DISP.	84.7%	70.7%	100.0%	73.8%	100.0%	96.8%	91.5%	100.0%	74.2%	92.2%	79.6%	90.3%	87.8%	75.9%
	REND.	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	86.5%	95.8%	100.0%	86.8%	96.1%	90.2%	95.2%	95.9%	
	CAL.	84.7%	70.7%	100.0%	73.8%	100.0%	91.8%	95.6%	100.0%	85.5%	96.0%	88.2%	94.9%	90.1%	
BOMBA AGUA DURA N° 03	DISP.	100.0%	90.3%	89.9%	96.8%	75.3%	96.8%	86.2%	74.2%	83.9%	95.6%	78.6%	84.7%	87.7%	73.3%
	REND.	100.0%	78.6%	94.8%	84.9%	86.2%	84.8%	100.0%	85.4%	92.9%	100.0%	89.7%	91.8%	90.8%	
	CAL.	100.0%	95.4%	94.9%	100.0%	87.4%	89.6%	86.2%	86.8%	90.3%	95.6%	87.6%	92.2%	92.2%	
CALENTADOR N° 01	DISP.	74.5%	90.3%	93.5%	71.0%	90.3%	96.8%	100.0%	77.3%	78.9%	93.7%	96.8%	69.1%	86.0%	71.8%
	REND.	100.0%	95.6%	96.8%	84.9%	100.0%	86.4%	100.0%	100.0%	89.9%	100.0%	87.5%	82.0%	93.6%	
	CAL.	74.5%	94.5%	96.6%	83.6%	90.3%	92.7%	100.0%	77.3%	87.8%	93.7%	95.7%	84.3%	89.2%	
BOMBA DE CALDERO N° 03	DISP.	100.0%	90.3%	75.3%	96.8%	75.7%	96.8%	78.0%	74.2%	88.3%	79.0%	78.4%	89.8%	85.2%	72.6%
	REND.	100.0%	100.0%	86.2%	100.0%	87.6%	100.0%	87.9%	100.0%	91.7%	100.0%	100.0%	94.6%	95.7%	
	CAL.	100.0%	90.3%	87.4%	96.8%	86.4%	96.8%	88.7%	74.2%	96.3%	79.0%	78.4%	94.9%	89.1%	

Tabla 21*OEE del año 2018 (Continuación) –Antes de la propuesta*

MAQUINARIA		ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	OEE
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01	DISP.	84.4%	90.3%	95.8%	72.7%	77.6%	96.8%	100.0%	78.1%	84.3%	93.8%	96.8%	78.2%	87.4%	75.8%
	REND.	97.8%	100.0%	98.1%	100.0%	87.4%	100.0%	100.0%	84.8%	100.0%	87.5%	100.0%	100.0%	96.3%	
	CAL.	86.3%	90.3%	97.7%	72.7%	88.7%	96.8%	100.0%	92.1%	84.3%	97.5%	96.8%	78.2%	90.1%	
CALDERO N°02	DISP.	88.0%	64.7%	88.7%	84.1%	100.0%	71.5%	89.9%	75.9%	96.8%	94.0%	87.2%	89.4%	85.9%	73.0%
	REND.	86.7%	85.5%	100.0%	84.8%	100.0%	100.0%	88.4%	92.4%	100.0%	100.0%	87.4%	100.0%	93.8%	
	CAL.	98.7%	75.6%	88.7%	99.2%	100.0%	71.5%	91.8%	82.2%	96.8%	94.0%	99.8%	89.4%	90.6%	
BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02	DISP.	100.0%	86.2%	86.7%	71.9%	100.0%	68.4%	100.0%	100.0%	75.1%	100.0%	78.6%	74.7%	86.8%	74.9%
	REND.	100.0%	100.0%	84.7%	100.0%	100.0%	85.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	97.6%	
	CAL.	100.0%	86.2%	95.2%	71.9%	100.0%	79.6%	100.0%	100.0%	75.1%	100.0%	78.6%	74.7%	88.5%	

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Lista y codificación de equipos

El área de electromecánica cuenta con 21 máquinas. El objetivo de codificarlas es para facilitar localización y mantener el orden durante el empleo de cada una de ellas. Además, es fundamental para lograr un mantenimiento preventivo ordenado y registrable.

Para una adecuada codificación, primero se debe definir una estructura de código, la cual básicamente consta de 4 dígitos, los 2 primeros definen el grupo y los 2 restantes definen la descripción de lo que se está codificando, en este caso, las máquinas. A continuación, en la tabla 22 se puede observar la codificación de las máquinas.

Tabla 22

Codificación de equipos

CÓDIGO	MÁQUINAS
CAL01	CALDERO N°01
CAL02	CALDERO N°02
CAL03	CALDERO N°03
BCA01	BOMBA DE CALDERO N° 01
BCA02	BOMBA DE CALDERO N° 02
BCA03	BOMBA DE CALDERO N° 03
BAD01	BOMBA AGUA DURA N° 01
BAD02	BOMBA AGUA DURA N° 02
BAD03	BOMBA AGUA DURA N° 03
BAD04	BOMBA AGUA DURA N° 04
BAA01	BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01
BAA02	BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02
BAB01	BOMBA DE AGUA BLANDA 01
BAB02	BOMBA DE AGUA BLANDA 02
BCL01	BOMBA DE CALENTADOR N°01
BCL02	BOMBA DE CALENTADOR N°02
BTT01	BOMBA DE TERMOTANQUE N° 1
BTT02	BOMBA DE TERMOTANQUE N° 2
CLR01	CALENTADOR N° 01
CLR02	CALENTADOR N° 02
IPR01	INCINERADOR PIROLITICO DE 100KGH

Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Lista de funciones y sus especificaciones

El hospital Regional de Lambayeque brinda servicios de salud, para esto es fundamental que cuente con todos los recursos para que se facilite el cumplimiento de la producción que se programa para abastecer los requerimientos contratados.

Para conocer las máquinas principales con las que cuenta el hospital, se presenta la ficha técnica y se describen a continuación:

- a) **Sistema de Vapor**, que incluye tres (03) calderos piro tubular de 80 BHP de capacidad cada uno, los cuales poseen iguales características los mismos producen Vapor a 100 PSI de presión a un volumen de 2760 libras/hora y darán servicio al área de cocina, lavandería, central esterilizadores y termo calentadores. Los calderos suministrados de procedencia nacional de la marca CIMELCO, Modelo CH-80. Complementan el Sistema de Vapor, las Bombas de alimentación de agua a los Calderos, las redes de suministro y retorno de Vapor (la conducción y distribución del vapor y condensado se hace con tubos de Acero al Carbono (Hierro Negro), cédula 40, sin costura, en sus diferentes diámetros ($\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", 1", $1\frac{1}{2}$ ", $1\frac{1}{4}$ " y 2") y con sus respectivos accesorios de acero clase C-300, así mismo el sistema cuenta con Estaciones Reductoras de Presión, Estaciones Finales de Línea, Válvulas tipo Compuerta, Válvulas tipo Globo, Válvulas de Seguridad, Trampas Termostáticas y Termodinámicas, Filtros de Vapor, Eliminadores de Aire y Juntas de Expansión para su funcionamiento usan como combustible el gas licuado de petróleo GLP a razón 3,080,000 BTU por hora, en la actualidad se encuentra operativo solo un caldero los otros 2 llevan como tres meses inoperativos por la falta de mantenimiento. A continuación, en la figura 13, se puede observar la ficha técnica del caldero 1,2 y 3.

FICHA TECNICA							
DATOS DEL EQUIPO	CALDERO N°01			CODIGO	SV-CA-01		
EQUIPO	CALDERO	MODELO	CH-80	SERIE	CI-0141		
FABRICANTE	CIMELCO	AÑO FAB.	2011	POTENCIA	80 BHP		
PESO TOTAL (kg)	LARGO (m)	3.5	ANCHO (m)	1.6	ALTO (m)	1.6	
TRABAJO							
CRÍTICO	TURNO	EXPORÁDICO		INTERMITENTE			
ESTADO ACTUAL	INOPERATIVO						
SISTEMAS							
ELÉCTRICO	X	VOLTAJE (V)	220/110	POTENCIA (HP)	1	FRECUENCIA (Hz)	60
MECÁNICO	X	TIPO	válvulas: sobre presión, purga. control de nivel de agua				
VAPORIZACIÓN	X		sistema pirotubular para el proceso de evaporación				
NEUMÁTICO							
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA							
producción de vapor desde 212° F	presión de diseño	presión de trabajo	superficie de calefacción	tipo de combustible	consumo de combustible	fuerza electromotriz	presión de prueba hidrostática
2760 LBS/H	150 PSI	100 PSI	415 P ²	GLP	3,080,000 BTU/H	380 V. 3F. 60 HZ	350 PSI

Figura 13 Ficha técnica de caldero 1,2 y 3

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

b) Bombas de caldero. Una bomba hidráulica es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, la misma que mueve el agua.

En el área de cuarto de máquinas los calderos cuentan con tres bombas de iguales características instaladas en serie con cada caldero según los requerimientos del proceso de generación de vapor, estas bombas permiten inyectar agua blanda pre calentada a 70°C desde el tanque de retorno de condensado a cada uno de los calderos de forma independiente y automatizada manteniendo siempre el nivel óptimo del requerimiento. A continuación, en la figura 14 podemos observar la ficha técnica de la bomba de caldero 1,2 y 3.

FICHA TÉCNICA							
DATOS DEL EQUIPO	BOMBA DE CALDERO N° 01				CODIGO	SV-BCA-01	
EQUIPO	BOMBA CENTRIFUGA	MODELO	P-11036	TIPO	CR3-12 A-FGJ-A-E-HQQE		
FABRICANTE	GRUNDFOS	AÑO FAB.	xxxx	POTENCIA	2,2 KW		
PESO TOTAL		LARGO	xxx	ANCHO	xxx	ALTO	xxx
TRABAJO							
CRÍTICO		TURNO		EXPORÁDICO		INTERMITENTE	
ESTADO ACTUAL	INOPERATIVO						
SISTEMAS							
ELÉCTRICO	X	VOLTAJE	380 (V)	POTENCIA	2,2 KW	FRECUENCIA	60 HZ
MECÁNICO		TIPO	bombas tipo CR verticales, multietapa y centrifugas utilizadas en líquidos de alta presión, calientes, peligrosos, inflamables y/o				
HIDRÁULICO	x						
REFRIGERACIÓN							
LUBRICACIÓN							
NEUMÁTICO							
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA							
rpm (n)	Caudal (Q)	Altura max	Altura bomba	I max. (A)	Motor		
3501	3,5 m ³ /H	115.5	87.8	8.45	MG 90LC2-24FT115		

Figura 14 Ficha técnica de bombas de caldero 1, 2 y 3

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

- c) **Bombas de agua dura.** En el área de cuarto de máquinas también existen cuatro bombas de iguales características instaladas en paralelo a un solo pull en la actualidad está operativa solo una. Estas bombas tienen por finalidad abastecer de agua al sistema desde una cisterna de almacenamiento de 220,000 litros impulsan el agua a todos los sistemas del hospital como laboratorios, área de rehabilitación, cocina, baños, parques y jardines las mismas que hacen circular un promedio de 115 mil litros por día. A continuación, podemos observar en la figura 15, la ficha técnica de la bomba de agua dura 1,2,3 y 4.

FICHA TÉCNICA BOMBAS DE AGUA DURA							
DATOS DEL EQUIPO	BOMBA AGUA DURA N° 01				CODIGO	SV-BAD-01	
EQUIPO	BOMBA CENTRIFUGA	MODELO	P31117	TIPO	CR15-03-AFA-E-HQQE		
FABRICANTE	GRUNDFOS	AÑO FAB.	xxxx	POTENCIA	4 KW		
PESO TOTAL		LARGO	xxx	ANCHO	xxx	ALTO	xxx
TRABAJO							
CRÍTICO		TURNO		EXPORÁDICO		INTERMITENTE	X
ESTADO ACTUAL	OPERATIVO						
SISTEMAS							
ELÉCTRICO	X	VOLTAJE	380 (V)	POTENCIA	4 KW	FRECUENCIA	60 HZ
MECÁNICO		TIPO	bombas tipo CR verticales, multietapa y centrífugas utilizadas en líquidos de alta presión, calientes, peligrosos, inflamables y/o				
HIDRÁULICO	X						
LUBRICACIÓN							
NEUMÁTICO							
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA							
rpm (n)	Caudal (Q)	Altura max	Altura bomba	I max. (A)	Motor		
3520	20,5 m ³ /H	61.5	47.9	7.8	MG 112MC2-28FT130-H4		

Figura 15 Ficha técnica de bombas de agua dura 1, 2 y 3

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

d) Bombas de agua blanda. En el área de cuarto de máquinas también cuenta con dos bombas de iguales características instaladas en paralelo para impulsar agua blanda la mismas que se encargan de abastecer desde una cisterna de 50,000 litros al sistema de agua blanda que lo conforman el tanque de retorno de condensado, todos los laboratorios químicos y central de osmosis inversa. A continuación, en la figura 16, se puede observar la bomba de agua blanda 1 y 2.

FICHA TECNICA BOMBAS DE AGUA BLANDA									
DATOS DEL EQUIPO		BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°01			CODIGO		SV-BAA-01		
EQUIPO		BOMBA CENTRIFUGA	MODELO	P 31117	TIPO		CR5-4-AFG3-AE-HQQE		
FABRICANTE		SALMSON		AÑO FAB.	xxxx	POTENCIA		1,1 KW	
PESO TOTAL		LARGO	xxx	ANCHO	xxx	ALTO	xxx		
TRABAJO									
CRÍTICO		TURNO		EXPORÁDICO		INTERMITENTE	X		
ESTADO ACTUAL		OPERATIVO							
SISTEMAS									
ELÉCTRICO		X	VOLTAJE	380 (V)	POTENCIA	1,1 KW	FRECUENCIA	60 HZ	
MECÁNICO			TIPO	bombas tipo CR verticales, multietapa y centrífugas utilizadas en líquidos de alta presión, calientes, peligrosos, inflamables y/o					
HIDRÁULICO		X							
LUBRICACIÓN									
NEUMÁTICO									
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA									
rpm (n)	Caudal (Q)	Altura max	Altura bomba	I max. (A)	Motor				
3453	5,9 m ³ /H	41.3	28	4.65	MG 80B2-19FT-100-D1				

Figura 16 Ficha técnica de bombas de agua blanda 1 y 2

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

- e) **Bombas para ablandador automático.** En el cuarto de máquinas existen dos bombas de iguales características instaladas en paralelo a un pull en la actualidad está operativa una de ellas la misma que se tienen por función impulsar el agua por el sistema de ablandadores automáticos hasta la cisterna de almacenamiento de agua blanda. A continuación, en la figura 17, se puede observar la ficha técnica de las bombas para ablandador automático 1 y 2.

FICHA TECNICA									
DATOS DEL EQUIPO		BOMBA AGUA PARA ABLANDADOR N°02			CODIGO		SV-BAA-02		
EQUIPO		BOMBA CENTRIFUGA	MODELO	P 31117	TIPO		CR5-4-AFG3-AE-HQQE		
FABRICANTE		SALMSON		AÑO FAB.	xxxx	POTENCIA		1,1 KW	
PESO TOTAL		LARGO	xxx	ANCHO	xxx	ALTO	xxx		
TRABAJO									
CRÍTICO		TURNO		EXPORÁDICO		INTERMITENTE	X		
ESTADO ACTUAL		OPERATIVO							
SISTEMAS									
ELÉCTRICO		X	VOLTAJE	220	POTENCIA	1,1 KW	FRECUENCIA	60 HZ	
MECÁNICO			TIPO	bombas tipo CR verticales, multietapa y centrífugas utilizadas en líquidos de alta presión, calientes, peligrosos, inflamables					
HIDRÁULICO		X							
LUBRICACIÓN									
NEUMÁTICO									
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA									
rpm (n)	Caudal (Q)	Altura max	Altura bomba	I max. (A)	Motor				
3453	5,9 m ³ /H	41.3	28	4.65	MG 80B2-19FT-100-D1				

Figura 17 Ficha técnica de bombas para ablandador automático 1 y 2

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

f) **Calentador.** En el cuarto de máquinas existen dos calentadores de iguales características instaladas en paralelo en la actualidad está operativa una de ellas la misma que se tienen por función calentar el agua para distintos servicios. A continuación, en la figura 18, se puede observar la ficha técnica de los calentadores 1 y 2.

Modelo:	GSL8419-6L	GSL8419-2BT
*Capacidad de Calentamiento con ΔT mínimo de 25°C	4.5 L/min.	7 L/min.
Incremento de temperatura mínimo (ΔT 25 °C)	25°C	25.4°C
Emisión de calor	36 MJ/H	36 MJ/H
Carga Térmica	7.85 kW	13.23 kW
Presión de Agua	30 kPA Min. - 500 kPA Max.	30 kPA Min. - 500 kPA Max.
Presión de Gas	2.74 kPa (11" W.C.)	2.74 kPa (11" W.C.)
Presión Máxima	0.45 MPa	0.752 MPa
Presión Hidrostatica requerida	0.019 MPa (193 g/cm ²) Minimo	0.019 MPa (193 g/cm ²) Minimo
Conexión de Agua	Tubería de 1.27cm, (½")	Tubería de 1.905 cm, (¾")
Conexión de Gas	Manguera de Gas 9.5mm (⅜")	Manguera de Gas 9.5mm (⅜")
Sensor de Termopar	Valor de encendido abajo de los 45° C	Valor de encendido abajo de los 45° C

Figura 18 Ficha técnica de los calentadores 1 y 2

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

g) **Incinerador pirolítico.** En el hospital existe un incinerador pirolítico el cual funciona para la eliminación de desperdicios tóxicos, patológicos y contaminantes. A continuación, en la figura 19, se puede observar la ficha técnica del incinerador pirolítico.

FICHA TÉCNICA						
DATOS DEL EQUIPO		INCINERADOR PIROLÍTICO			CODIGO	RS-IP
EQUIPO	INCINERADOR	MODELO	ECO TERMO - PV-A-100	SERIE	CI - 0137	
FABRICANTE	CIMELCO	AÑO FAB.	2011	CAPACIDAD	100 KG/H	
PESO TOTAL (kg)	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)			
TRABAJO						
CRÍTICO	x	TURNO	EXPORÁDICO	INTERMITENTE		
ESTADO ACTUAL	OPERATIVO					
SISTEMAS						
ELÉCTRICO	x	VOLTAJE (V)	380	POTENCIA (HP)	FRECUENCIA (Hz)	60
MECÁNICO		TIPO	122			
INCINERACION	x		incineracion de residuos hospitalarios e dos cámaras			
NEUMÁTICO						
CARACTERÍSTICAS TÉCNICA						
QUEMADOR	ENTRADA MAX.	MOTOR DE QUEMADOR	VOLTAJE (V)	CORRIENTE		
CARLIN	399.000 BTU/H	1/4 HP	120.00	2.7 A		

Figura 19 Ficha técnica del incinerador pirolítico

Fuente: Hospital Regional Lambayeque

Paso 4: Determinación de los modos de fallos

Si bien es fundamental identificar los fallos que se ocasionan, es necesario detallar las causas que pueden ocasionarlas.

Aquí se detalla los modos conociéndose como cualquier evento que puede causar la falla funcional. Cada uno de estos debe tener con sumo detalle, de tal forma que permita la identificación, desarrollo y ejecución de estrategias adecuadas que permitan manejar el fallo.

Para realizar un análisis de los modos de fallo es necesario tener en cuenta lo siguiente:

a. **Modo de fallo**

Se determina el modo en que falla la maquinaria, identificando el sistema, elemento o parte de la maquinaria.

b. **Efectos del fallo**

Aquí se precisa los efectos de los fallos, si estos pueden llegar a generar afecciones leves o graves, tanto al personal, empresa o medio ambiente.

c. **Causas del fallo**

Se identifican las causas de las fallas, estas causas van a permitir proponer acciones de mejora para reducir las fallas.

Considerando el análisis realizado durante el diagnóstico situacional se puede determinar los modos de fallos de las máquinas, los cuales se observan en las tablas 23,24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 y las máquinas que tienen estos fallos son: El caldero, bomba de caldero, bomba de agua dura, bomba de agua blanda, bomba de ablandador, bomba calentadora, bomba termotanque, calentador e incinerador pirolítico.

Tabla 23

Análisis de modos y efectos de fallos del caldero

MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería del interruptor	Falla en el encendido y apagado	Contactador quemado	Visual	3	9	8	216	Falla indeseable
Avería de la fotocelda	Caldera no logra arrancar	Humedad en fotocelda	Visual	6	8	6	288	Falla indeseable
	Apagado intermitente	Bobinas quemadas	Visual	3	9	6	162	Falla reducible
Avería en el transformador de energía	No enciende la llama del piloto	Sobrecarga eléctrica	Visual	5	10	8	400	Falla indeseable
		Incrustaciones de electrodos	Visual	5	9	7	315	Falla indeseable
Avería de los electrodos	No existe llama piloto	Electrodos mal posicionados	Visual	2	8	8	128	Falla reducible
		Electrodos soldados entre si	Visual	4	9	5	180	Falla reducible

Tabla 23

Análisis de modos y efectos de fallos del caldero (Continuación)

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NP R	ESTADO
Avería en el aislante de porcelana	Problemas en el encendido de la llama	Fugas en conexiones	Visual	6	10	7	420	Falla indeseable
	Pérdida de presión	Tubería rota	Visual	5	8	8	320	Falla indeseable
		Corrosión	Visual	6	9	7	378	Falla indeseable
Avería en la tubería de gas	Fugas de gas	Desgaste de elementos internos	Visual	6	8	7	336	Falla indeseable
	Poca alimentación de gas al sistema	Obstrucción por incrustaciones y sedimentos	Visual	5	9	6	270	Falla indeseable
Avería del selenoide	No hay presencia de llama piloto	Solenoides dañados	Visual	2	8	8	128	Falla reducible
		Contractores desgastados	Visual	3	8	6	144	Falla reducible

Tabla 23

Análisis de modos y efectos de fallos del caldero (Continuación)

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
		Resorte desgastado	Visual	5	9	6	270	Falla indeseable
Avería en la válvula de globo	Falta de estanqueidad	Obstrucción interna	Visual	4	8	7	224	Falla indeseable
		Desgaste de empalmes	Visual	2	9	7	126	Falla reducible
Avería en la válvula de control	No existe retorno de combustible	Válvula dañada	Visual	5	8	8	320	Falla indeseable
	Mala combustión	Motor modulador dañado	Visual	6	8	7	336	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de caldero

MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería en el motor eléctrico	Disminución del caudal y la presión eléctrica	Disminución de revoluciones	Visual	4	8	8	256	Falla indeseable
		Mal estado de cojinetes	Visual	5	8	6	240	Falla indeseable
		Excentricidad entre el rotor y el extractor	Visual	4	9	8	288	Falla indeseable
		Pérdida de aislamiento	Visual	6	8	8	384	Falla indeseable
	Vibraciones	Falta de sujeción del equipo	Visual	3	8	6	144	Falla reducible
	Calentamiento excesivo del motor	Tensiones anormales en los bornes	Visual	5	10	6	300	Falla indeseable
No arranca el motor	Ausencia de rotación	Fusibles quemados	Visual	5	9	7	315	Falla indeseable
		Falsos contactos	Visual	5	8	5	200	Falla reducible
		Motor quemado	Visual	3	8	7	168	Falla reducible
		Falta de energía	Visual	2	9	7	126	Falla reducible
Paro del eje		Rotura de cojinetes	Visual	3	10	7	210	Falla indeseable
		Sobrecarga del motor	Visual	6	8	6	288	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de agua dura

MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Reducción de la presión del alimentador	Disminución de la presión y del caudal del agua	Fuga d agua por sellos y empaquetaduras desgastadas	Visual	6	8	6	288	Falla indeseable
		Defectos en el rodete por incrustaciones de sólidos	Visual	6	9	8	432	Falla indeseable
		Ejes desalineados	Visual	5	8	7	280	Falla indeseable
		Deterioro de cojinetes	Visual	4	9	7	252	Falla indeseable
		Bolsa de aire en la bomba	Visual	4	10	8	320	Falla indeseable
		Mucho acople entre ejes de bomba y motor	Visual	2	9	8	144	Falla reducible
Sin alimentación de agua dura	Ruidos y vibraciones	Falta de lubricación	Visual	2	8	6	96	Falla aceptable
		Ejes desalineados	Visual	6	9	8	432	Falla indeseable
		Deterioro de cojinetes	Visual	6	9	6	324	Falla indeseable
		Falta de sujeción del equipo	Visual	4	9	6	216	Falla indeseable
Paro de bomba	No entrega agua dura a la bomba	Rotura de chaveta del eje	Visual	6	10	6	360	Falla indeseable
		Obstrucción del rodete	Visual	5	9	7	315	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de agua blanda

MODO DE FALLO	DE	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Falta de estanqueidad	de	Fugas de agua	Ataque químico	Visual	4	9	5	180	Falla reducible
			Corrosión de la válvula check	Visual	3	8	8	192	Falla reducible
			Incrustaciones impiden cierre de la válvula	Visual	3	8	6	144	Falla reducible
Avería de la válvula	de	No se abre la válvula	Falta de presión que permite el paso de la válvula	Visual	6	9	8	432	Falla indeseable
			Falla en el pasador oscilante	Visual	3	8	8	192	Falla reducible
			Desgaste del tanque	Visual	5	10	5	250	Falla indeseable
			Falta de lubricación	Visual	3	9	8	216	Falla indeseable
			Falta de sujeción del equipo	Visual	5	8	7	280	Falla indeseable
Avería de la bomba	de	Motor remordido	Mal estado de cojinetes	Visual	2	8	8	128	Falla reducible
		Reducción de la presión y caudal	Disminución de revoluciones	Visual	6	9	6	324	Falla indeseable

Tabla 26

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de agua blanda (Continuación)

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	DE GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NP R	ESTADO
Avería de la bomba	Reducción de la presión y caudal	Falta de concetricidad entre el rotor y el estator	Visual	4	10	8	320	Falla indeseable
		Defectos en el rodete	Visual	5	9	5	225	Falla indeseable
		Pérdida de aislamiento	Visual	4	8	6	192	Falla reducible
		Fuga d agua por sellos y empaquetaduras desgastadas	Visual	3	9	7	189	Falla reducible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de ablandador

MODO FALLO	DE	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería en el sistema mecánico	en el	Ruidos y vibraciones	Falta de lubricación	Visual	6	8	8	384	Falla indeseable
			Ejes desalineados	Visual	4	9	5	180	Falla reducible
			Deterioro de cojinetes	Visual	5	8	5	200	Falla reducible
			Falta de sujeción del equipo	Visual	2	9	8	144	Falla reducible
Avería en la bomba	la	Reducción de la presión y caudal	Disminución de revoluciones	Visual	4	8	7	224	Falla indeseable
			Falta de concentricidad entre el rotor y el estator	Visual	2	10	6	120	Falla aceptable
			Defectos en el rodete	Visual	5	10	7	350	Falla indeseable
			Pérdida de aislamiento	Visual	5	9	8	360	Falla indeseable
			Fuga d agua por sellos y empaquetaduras desgastadas	Visual	4	8	7	224	Falla indeseable

Tabla 27

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba de ablandador (Continuación)

MODO FALLO	DE	EFFECTO	CAUSAS	MÉTODO DETECCIÓN	DE GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NP R	ESTADO	
Avería válvula	en	la	No se abre la válvula	Incrustaciones impiden cierre de la válvula	Visual	5	10	6	300	Falla indeseable
				Falta de presión que permite el paso de la válvula	Visual	5	9	8	360	Falla indeseable
				Falla en el pasador oscilante	Visual	3	8	5	120	Falla aceptable
				Desgaste del tanque	Visual	2	9	5	90	Falla aceptable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba calentadora

MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Paro de bomba	No entrega agua dura a la bomba	Rotura de chaveta del eje	Visual	4	8	7	224	Falla indeseable
		Obstrucción del rodete	Visual	5	8	6	240	Falla indeseable
Falta de estanqueidad	Fugas de agua	Ataque químico	Visual	2	8	6	96	Falla aceptable
		Corrosión de la válvula check	Visual	6	9	8	432	Falla indeseable
Reducción de la presión del alimentador	Disminución de la presión y del caudal del agua	Fuga de agua por sellos y empaquetaduras desgastadas	Visual	4	9	8	288	Falla indeseable
		Defectos en el rodete por incrustaciones de sólidos	Visual	5	10	6	300	Falla indeseable
		Ejes desalineados	Visual	2	10	5	100	Falla aceptable
		Deterioro de cojinetes	Visual	2	9	7	126	Falla reducible
		Bolsa de aire en la bomba	Visual	2	8	6	96	Falla aceptable
		Mucho acople entre ejes de bomba y motor	Visual	2	8	5	80	Falla aceptable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba termotanque

MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NP R	ESTADO
Sin alimentación al termotanque	Ruidos y vibraciones	Falta de lubricación	Visual	4	8	6	192	Falla reducible
		Ejes desalineados	Visual	6	9	5	270	Falla indeseable
		Deterioro de cojinetes	Visual	6	8	6	288	Falla indeseable
		Falta de sujeción del equipo	Visual	6	9	5	270	Falla indeseable
No arranca el motor	Ausencia de rotación	Fusibles quemados	Visual	2	9	8	144	Falla reducible
		Falsos contactos	Visual	2	9	6	108	Falla aceptable
		Motor quemado	Visual	3	8	6	144	Falla reducible
		Falta de energía	Visual	3	9	8	216	Falla indeseable
Paro del eje		Rotura de cojinetes	Visual	6	8	5	240	Falla indeseable
		Sobrecarga del motor	Visual	2	8	8	128	Falla reducible
Falta de estanqueidad	Fugas de agua	Ataque químico	Visual	3	8	7	168	Falla reducible
		Corrosión de la válvula check	Visual	5	9	8	360	Falla indeseable

Tabla 29

Análisis de modos y efectos de fallos de la bomba termotanque (Continuación)

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería de la bomba	Reducción de la presión y caudal	Disminución de revoluciones	Visual	5	8	5	200	Falla reducible
		Falta de concentricidad entre el rotor y el estator	Visual	4	9	6	216	Falla indeseable
		Defectos en el rodete	Visual	6	9	7	378	Falla indeseable
		Pérdida de aislamiento	Visual	5	8	5	200	Falla reducible
		Fuga d agua por sellos y empaquetaduras desgastadas	Visual	6	8	8	384	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Análisis de modos y efectos de fallos del calentador

MODO FALLO	DE	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería arranque fotocelda	de en	No apertura de solenoides que encendido	hay de para Sensor dañado	Visual	4	8	8	256	Falla indeseable
			Humedad en la fotocelda	Visual	4	9	8	288	Falla indeseable
Avería en el presostato		No encendido apagado	hay ni Terminales del presostato dañado	Visual	6	9	8	432	Falla indeseable
Parada sistema	del	Variación de la presión	Asientos de válvulas dañadas	Visual	2	8	7	112	Falla aceptable
		Pérdida excesiva calor	de Deterioro de la pared metálica	Visual	5	9	7	315	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Análisis de modos y efectos de fallos del incinerador pirolítico

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	ESTADO
Avería en el sistema	Pérdida de movimiento	Disco adherido al asiento	Visual	3	8	8	192	Falla reducible
	Desgaste de la carcasa	Daño en las superficies deslizantes (eje y guías) debido a vibraciones, castañeteo o corrosión excesivos	Visual	5	9	5	225	Falla indeseable
	Apagado del sistema	Materias extrañas dentro del sombrerete que afectan al movimiento de la válvula	Visual	6	9	7	378	Falla indeseable
		Relajación del muelle (o pérdida de tensión)	Visual	5	8	8	320	Falla indeseable
		Fallo del resorte	Visual	4	9	7	252	Falla indeseable
		Tuerca de ajuste floja	Visual	5	8	6	240	Falla indeseable

Tabla 31

Análisis de modos y efectos de fallos del incinerador pirolítico (Continuación)

MODO DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN NPR	ESTADO	
Avería en la antorcha	Aumento de flama	Explosión en el sistema de la antorcha	Visual	4	9	5	180	Falla reducible
	Reducción o apagado de flama	Obstrucción en el sistema de la antorcha	Visual	5	10	8	400	Falla indeseable
	Desgaste de la carcasa	Fragilidad de las conducciones por baja temperatura	Visual	6	10	7	420	Falla indeseable
	Radiación térmica de la antorcha	Emisión de productos tóxicos en la antorcha	Visual	6	10	5	300	Falla indeseable
		Arrastre de líquido a la antorcha	Visual	5	8	7	280	Falla indeseable

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: Estudio de criticidad de los fallos

Realizada la fase 4, identificación de los modos de fallos, y detallando un análisis de estos, en la fase 5, se procede a realizar el análisis de criticidad de cada uno de ellos.

Esta fase se realiza con el fin de determinar la relevancia de las medidas de acción que se desarrollaran para poder reducirlas. Es por ello que se debe tener en cuenta los siguientes índices de evaluación:

Se realizó el análisis de criticidad de cada maquinaria:

a) Calderos:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 20 y 21 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 20 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violen regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 21 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} \\ + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} \\ + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 5 \times 7 = 35$$

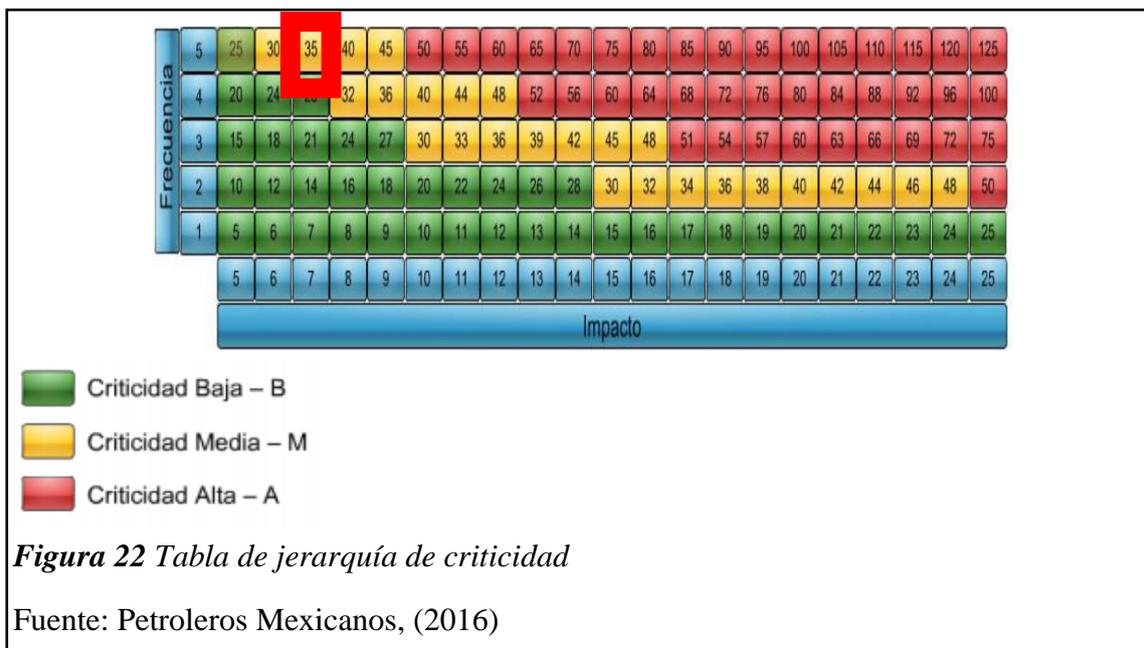


Figura 22 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que los calderos son de criticidad media como se muestra en la figura 22.

b) Bomba de calderos:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 23 y 24 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 23 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 24 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 5 \times 7 = 35$$

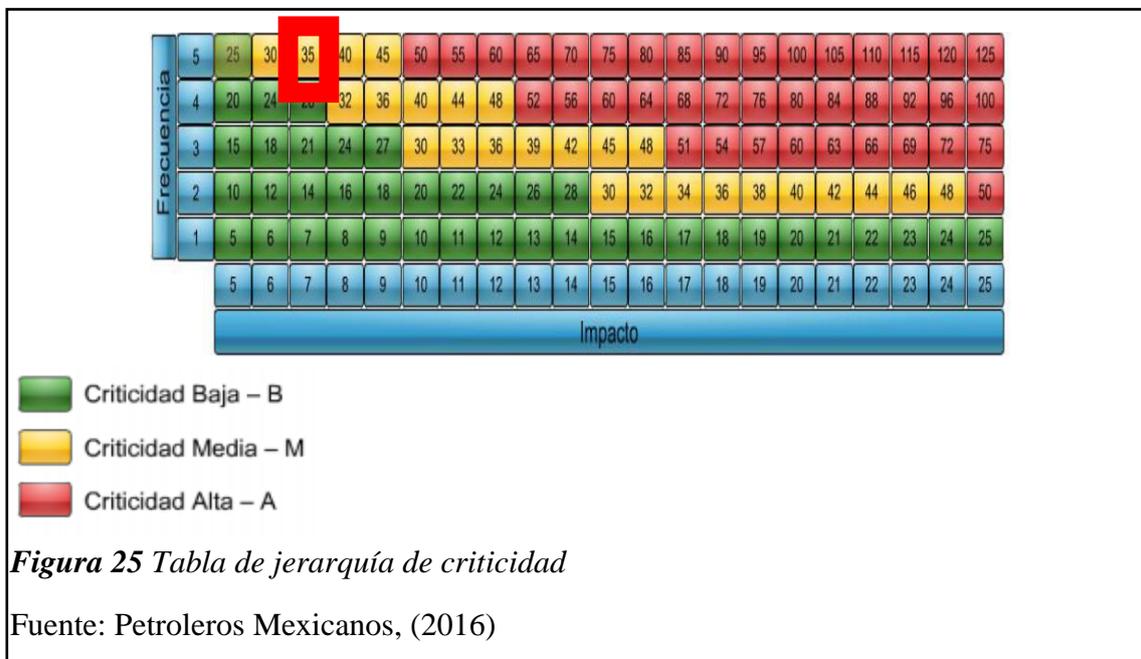


Figura 25 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de calderos son de criticidad media como se muestra en la figura 25.

c) Bomba de agua dura:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 26 y 27 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 26 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Frecuencia de falla = 5

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 27 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

Criticidad = Frecuencia de falla x Impacto total = 5 x 7 = 35

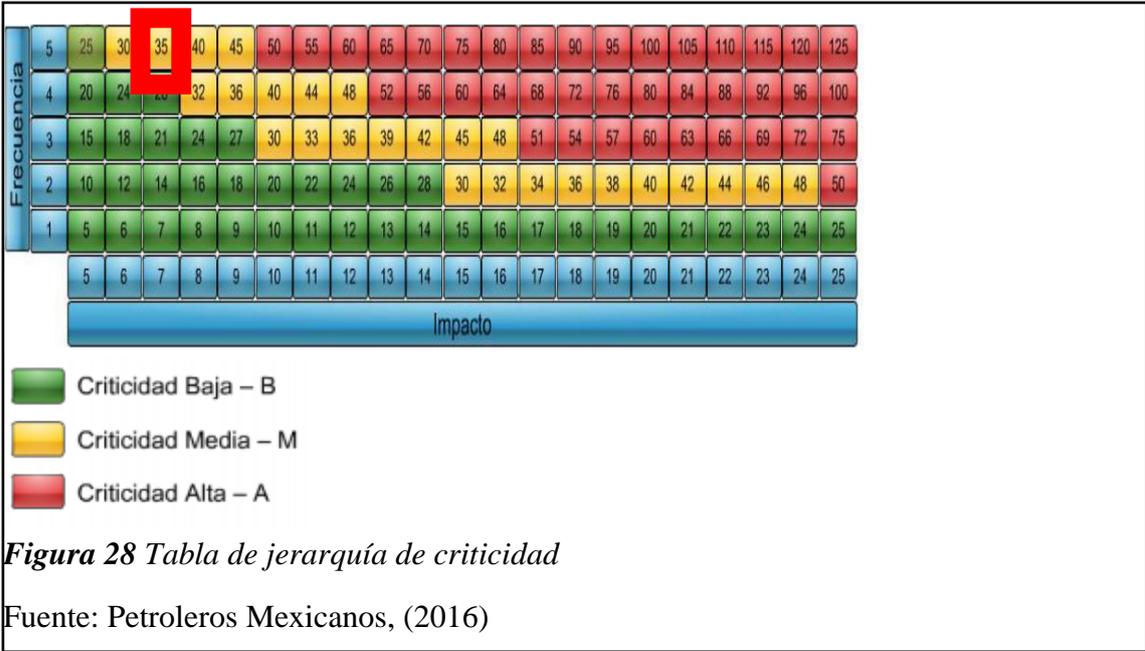


Figura 28 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de agua dura son de criticidad media como se muestra en la figura 28.

d) Bomba de agua para ablandador:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 29 y 30 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 29 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 30 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

= *Daños al personal + Efecto en la población*

+ *Impacto ambiental + Pérdida de producción*

+ *Daños a la instalación*

Impacto total = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7

Criticidad = Frecuencia de falla x Impacto total = 5 x 7 = 35

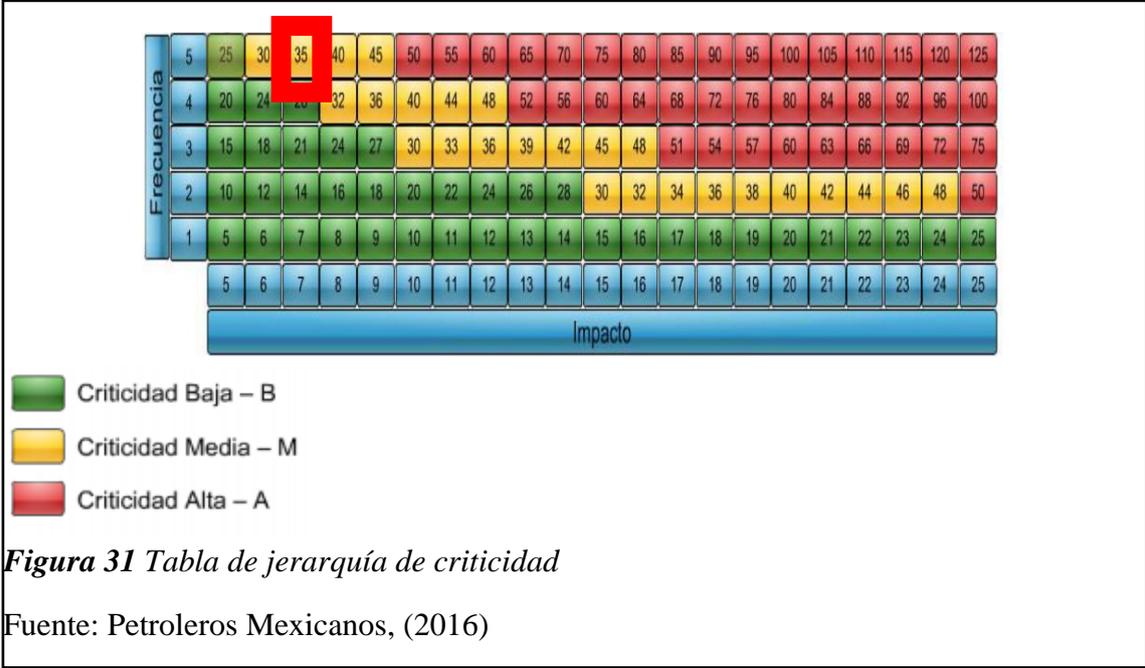


Figura 31 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de agua para ablandador son de criticidad media como se muestra en la figura 31.

e) Bomba de agua blanda:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 32 y 33 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 32 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Frecuencia de falla = 5

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 33 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$\begin{aligned}
 &= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} \\
 &+ \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} \\
 &+ \text{Daños a la instalación}
 \end{aligned}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

Criticidad = Frecuencia de falla x Impacto total = 5 x 7 = 35

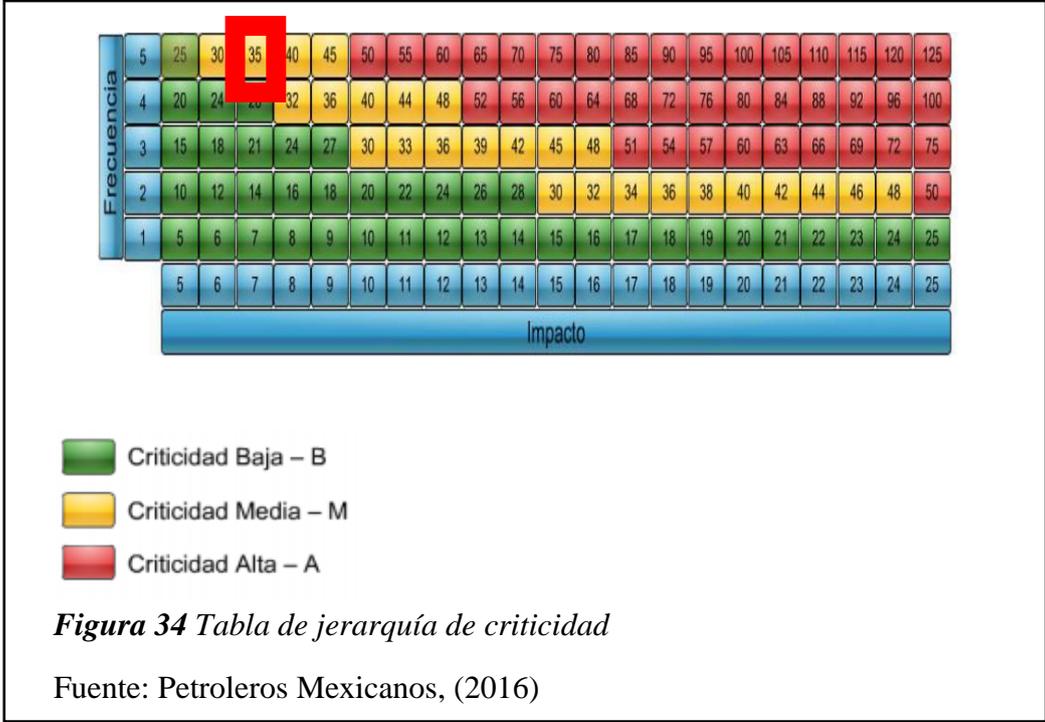


Figura 34 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de agua blanda son de criticidad media como se muestra en la figura 34.

f) Bomba de calentador:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 35 y 36 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 35 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 36 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 5 \times 7 = 35$$

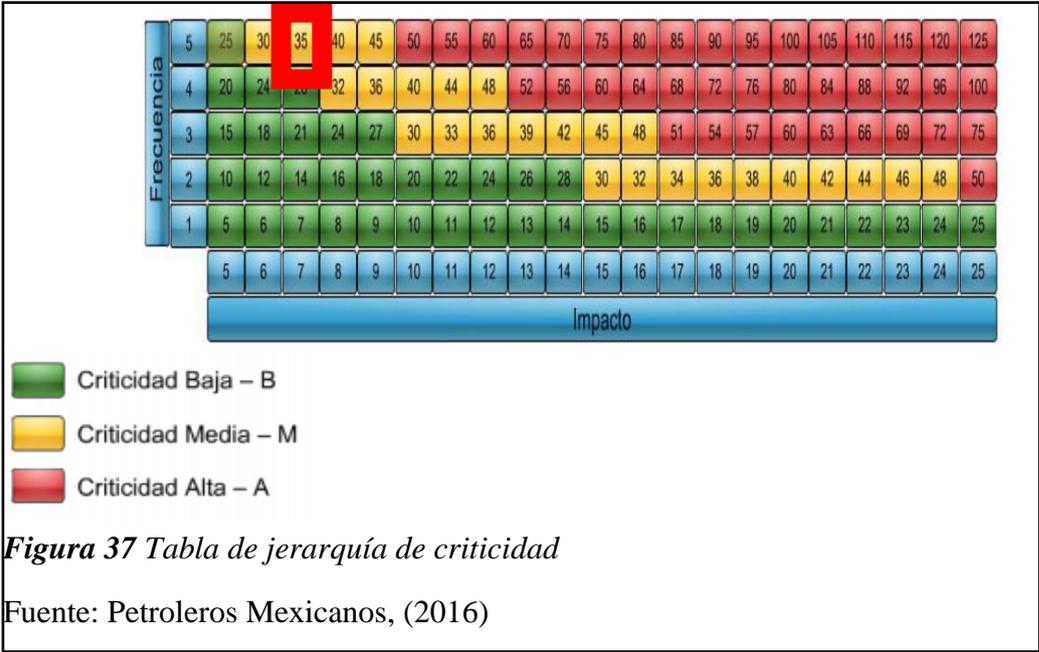


Figura 37 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de calentador son de criticidad media como se muestra en la figura 37.

g) Bomba de termotanque:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 38 y 39 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 38 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Frecuencia de falla = 5

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 39 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 = 7$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 5 \times 7 = 35$$

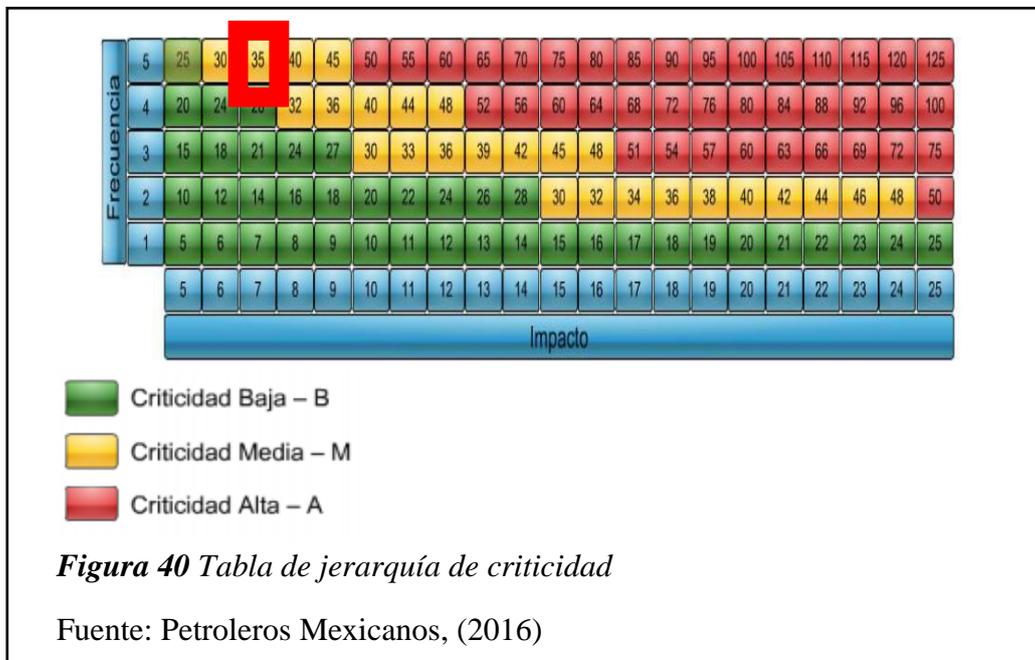


Figura 40 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que las bombas de termotanque son de criticidad media como se muestra en la figura 40.

h) Calentadores:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 41 y 42 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 41 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 2 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede recurrir algún tratamiento médico o primeros auxilios, en efecto a la población se obtuvo un valor de 1 porque no tiene efectos negativos, en el impacto ambiental se tiene un valor 1 porque los daños sería mínimos, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños a la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales reversibles sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 42 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 2 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 6 \times 7 = 30$$



Figura 43 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica los calentadores es de criticidad media como se muestra en la figura 43.

i) Incinerador pirolítico:

Con los datos antes mencionados se identifican las frecuencias de fallas y el recuadro de categorías de impactos mostrados en las figuras 44 y 45 respectivamente.

Categoría	Tiempo medio entre fallas TPEF, en años	Tasa de fallas por año λ	Interpretación de probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurra varias veces en un año
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra algunas veces en 100 años, pero poco probable que ocurra en 10 años
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es poco probable que ocurra en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años

Figura 44 Categoría de frecuencias

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Frecuencia de falla = 5

Se ha tomado una frecuencia de falla de 5 porque ocurren varias veces en un año, de igual forma para los daños personales, se tomó un valor de 4 porque si ocurre algún daño el personal afectado puede ocasionar alguna incapacidad parcial, en efecto a la población se obtuvo un valor de 5 porque puede ocasionar muerte o incapacidad total, en el impacto ambiental se tiene un valor 4 porque los daños serían irreversibles, en pérdidas económicas se obtiene un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares y en daños la instalación se obtuvo un valor 1 porque puede llegar hasta 500 mil dólares.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violen regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Figura 45 Categoría de impacto

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

Impacto total

$$= \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la población} \\ + \text{Impacto ambiental} + \text{Pérdida de producción} \\ + \text{Daños a la instalación}$$

$$\text{Impacto total} = 4 + 5 + 4 + 1 + 1 = 15$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto total} = 5 \times 15 = 75$$

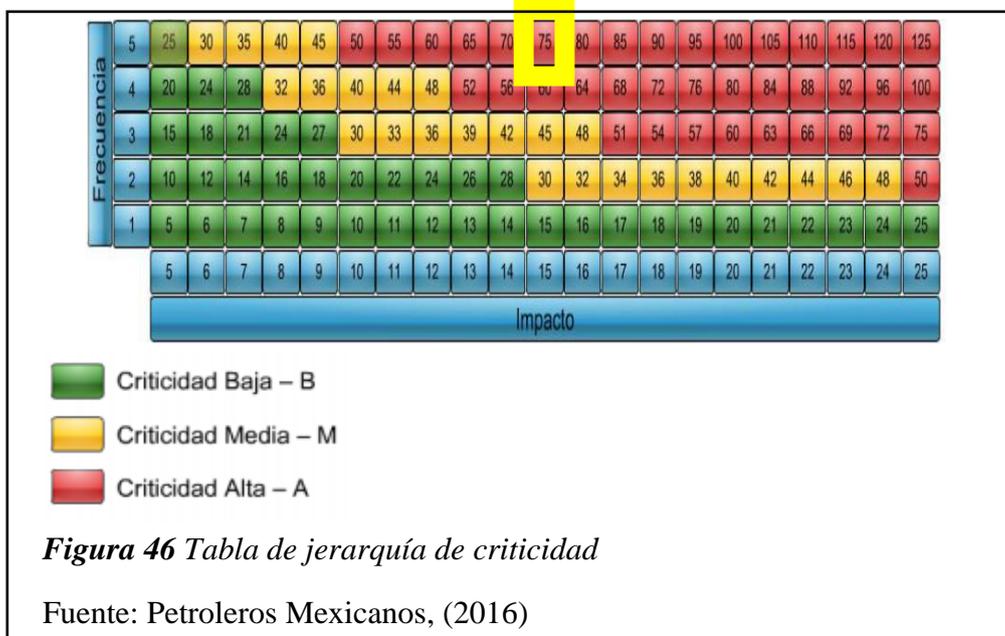


Figura 46 Tabla de jerarquía de criticidad

Fuente: Petroleros Mexicanos, (2016)

En la tabla de jerarquía del análisis de la criticidad, indica que el incinerador pirolítico es de criticidad alta como se muestra en la figura 46.

Paso 6: Realizar la hoja de decisiones

Hoja de información

Toda la información obtenida en el Análisis del modo y los efectos de las fallas (AMEF) de cada maquinaria, debe ser codificada y registrada en la hoja de información RCM mostrada en la tabla 32. Las funciones del desempeño se enumeran, los modos de fallas nombran con el alfabeto y las causas de las fallas se enumeran.

Tabla 32

Hoja de información RCM

FUNCIÓN DEL DESEMPEÑO (F)	MODO DE FALLO (FF)	CAUSAS DEL FALLO (FM)
1	Poner en marcha y parar el funcionamiento del caldero A	Avería del interruptor 1
2	Detectar la presencia de llama y permitir la apertura de la válvula selenoide B	Avería de la fotocelda 2
3	Proporciona el voltaje necesario para el encendido de la llama piloto C	Avería en el transformador de energía 3
4	Cerrar el arco para encender la chispa e iniciar el proceso de ignición D	Avería de los electrodos 4
5	Aislar y proteger de alto voltaje usado en los electrodos E	Avería en el aislante de porcelana 5
6	Direccionar el gas utilizado en el proceso de encendido de llama piloto F	Avería en las tuberías de gas 6
7	Control el flujo de gas para el proceso de ignición. G	Avería selenoide del 7
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Tabla 32

Hoja de información RCM (Continuación)

FUNCIÓN DEL DESEMPEÑO (F)		MODO DE FALLO (FF)	CAUSAS DEL FALLO (FM)
16	Se opera manualmente para la apertura y cierre de la línea de gas	P	Avería en la válvula de globo
17		Q	
18	Regular el retorno según la calibración del motor regulador	R	Avería en la válvula de control
19		S	
20		T	
21	Da impulso a la bomba	U	Avería en el motor eléctrico
22		V	
23		W	
24		X	
25		Y	
26	Proporcionar fluido a los calderos	Z	No arranca el motor
27		AA	
28		AB	
29		AC	
30	Enviar fluido a los tanques	AD	Paro del eje
31		AE	
32	Dar impulso a la bomba	AF	Reducción de la presión alimentador del
33		AG	
34		AH	
35		AI	
36		AJ	
37		AK	
38		AL	
39	Proporcionar fluido	AM	Sin alimentación de agua dura
40		AN	
41		AO	
42	Enviar fluido a los tanques	AP	Paro de bomba
43		AQ	
44	Eliminar sedimentos	AR	Falta de estanquedad
45		AS	

Tabla 32

Hoja de información RCM (Continuación)

FUNCIÓN DESEMPEÑO (F)	DEL	MODO DE FALLO (FF)	CAUSAS DEL FALLO (FM)
46		AT	46 Incrustaciones impiden cierre de la válvula
47	Controlar el flujo	AU	47 Falta de presión que permite el paso de la válvula
48		AV	48 Falla en el pasador oscilante
49		AW	49 Desgaste del tanque
50		AX	50 Falta de lubricación
51		AY	51 Falta de sujeción del equipo
52		AZ	52 Mal estado de cojinetes
53		BA	53 Disminución de revoluciones
54	Proporcionar fluido	BB	54 Falta de concentricidad entre el rotor y el estator
55		BC	55 Defectos en el rodete
56		BD	56 Pérdida de aislamiento
57		BE	57 Fuga de agua por sellos y empaquetaduras desgastadas
58	Sin alimentación de combustible	BF	58 Falta de lubricación
59		BG	59 Ejes desalineados
60		BH	60 Deterioro de cojinetes
61		BI	61 Falta de sujeción del equipo
62		BJ	62 Disminución de revoluciones
63	Proporcionar fluido	BK	63 Falta de concentricidad entre el rotor y el estator
64		BL	64 Defectos en el rodete
65		BM	65 Pérdida de aislamiento
66		BN	66 Fuga de agua por sellos y empaquetaduras desgastadas
67		BO	67 Incrustaciones impiden cierre de la válvula
68	Controlar el flujo	BP	68 Falta de presión que permite el paso de la válvula
69		BQ	69 Falla en el pasador oscilante
70		BR	70 Desgaste del tanque
71	Enviar fluido a los tanques	BS	71 Rotura de chaveta del eje
72		BT	72 Obstrucción del rodete
73	Eliminar sedimentos	BU	73 Ataque químico
74		BV	74 Corrosión de la válvula check

Tabla 32

Hoja de información RCM (Continuación)

FUNCIÓN DEL MODO DE FALLO		DESEMPEÑO (F)	(FF)	CAUSAS DEL FALLO (FM)
75			BW	75 Fuga de agua por sellos y empaquetaduras desgastadas
76			BX	76 Defectos en el rodete por incrustaciones de sólidos
77	Dar impulso a la bomba		BY	77 Ejes desalineados
78			BZ	78 Deterioro de cojinetes
79			CA	79 Bolsa de aire en la bomba
80			CB	80 Mucho acople entre ejes de bomba y motor
81			CC Sin	81 Falta de lubricación
82	Proporcionar fluido		CD	82 Ejes desalineados
83			CE	83 Deterioro de cojinetes
84			CF	84 Falta de sujeción del equipo
85			CG	85 Fusibles quemados
86	Puesta en marcha a la bomba		CH	86 Falsos contactos
87			CI	87 Motor quemado
88			CJ	88 Falta de energía
89	Enviar fluido a los tanques		CK	89 Rotura de cojinetes
90			CL	90 Sobrecarga del motor
91	Eliminar sedimentos		CM	91 Ataque químico
92			CN	92 Corrosión de la válvula check
93			CO	93 Disminución de revoluciones
94	Proporcionar fluido		CP	94 Falta de concentricidad entre el rotor y el estator
95			CQ	95 Defectos en el rodete
96			CR	96 Pérdida de aislamiento
97			CS	97 Fuga de agua por sellos y empaquetaduras desgastadas
98	Detectar la presencia de llama y permitir la apertura de la válvula		CT	98 Sensor dañado
99			CU	99 Humedad en la fotocelda
100	No enciende el calentador		CV	100 Terminales del presostato dañado
101	No otorga energía		CW	101 Asientos de válvulas dañadas
102			CX	102 Deterioro de la pared metálica

Tabla 32*Hoja de información RCM (Continuación)*

FUNCIÓN DESEMPEÑO (F)	DEL MODO DE FALLO (FF)	CAUSAS DEL FALLO (FM)
103	CY	103 Disco adherido al asiento
104	CZ	104 Daño en las superficies deslizantes (eje y guías) debido a vibraciones, castañeteo o corrosión excesivos
105	DA	105 Materias extrañas dentro del sombrerete que afectan al movimiento de la válvula
106	DB	106 Relajación del muelle (o pérdida de tensión)
107	DC	107 Fallo del resorte
108	DD	108 Tuerca de ajuste floja
109	DE	109 Explosión en el sistema de la antorcha
110	DF	110 Obstrucción en el sistema de la antorcha
111	DG	111 Fragilidad de las conducciones por baja temperatura
112	DH	112 Emisión de productos tóxicos en la antorcha
113	DI	113 Arrastre de líquido a la antorcha

Fuente: Elaboración propia

Hoja de decisiones

Los encabezados de la hoja de decisiones hacen referencia a las preguntas del diagrama de decisión de R.C.M. del siguiente modo:

Las columnas encabezadas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla.

Las siguientes tres columnas (encabezadas H1, H2, H3 etc.) registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así, el tipo de tarea.

Si fuera necesario responder a cualquier de las preguntas “a falta de”, se debe utilizar las columnas encabezadas H4 y H5, o S4 para registrar las respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hubiera), la frecuencia con que se utiliza esto y quien ha sido seleccionado para hacerlo. La columna “tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado. En la figura 47, se puede observar el diagrama de decisiones RCM.

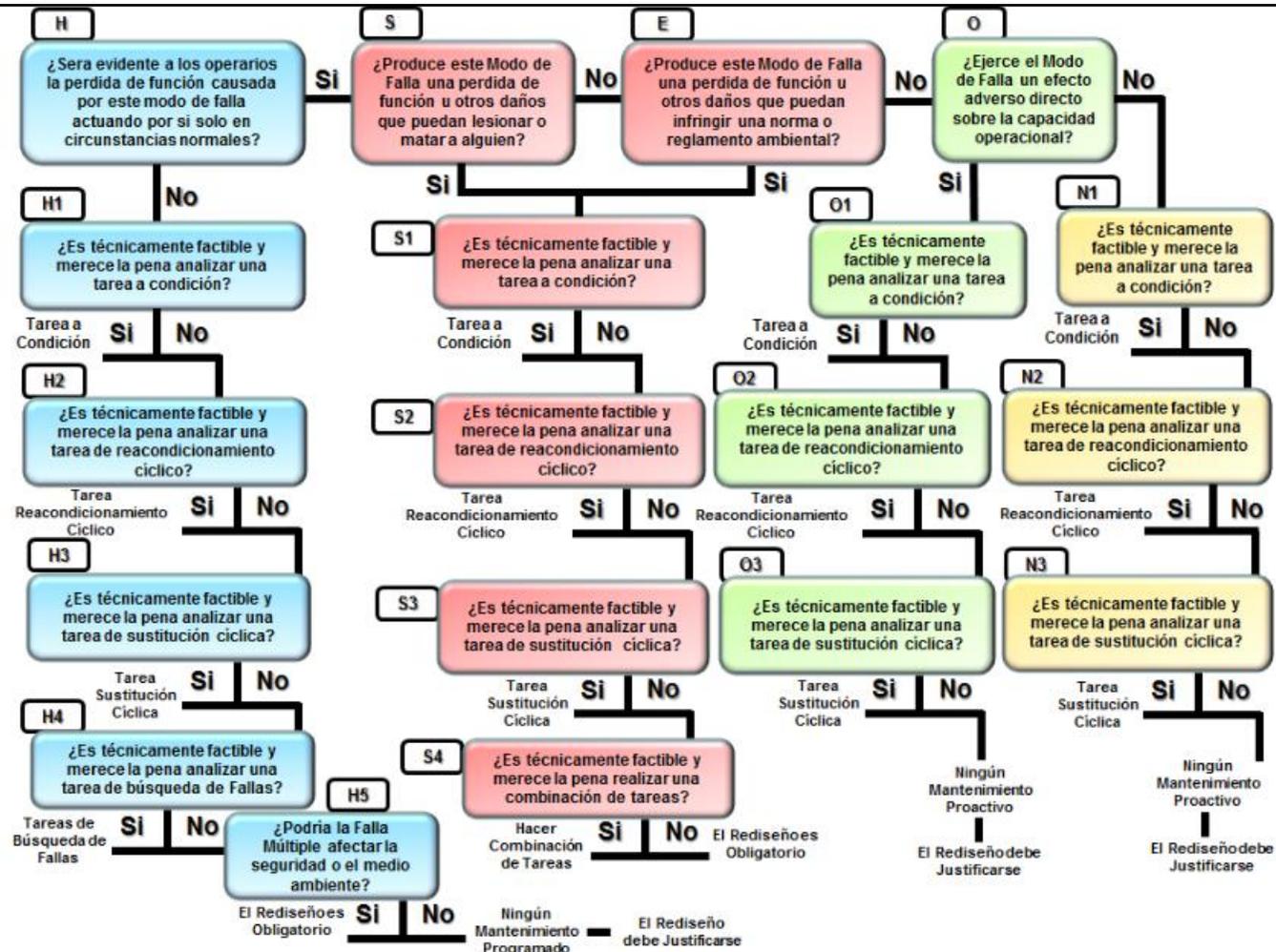


Figura 47 Diagrama de decisiones RCM

Fuente: Parra (2012)

El objetivo de la elaboración de la hoja de decisión RCM, la cual se muestra en la tabla 33, es aumentar la disponibilidad de las maquinarias y disminuir los costes de mantenimiento. Cabe recalcar que se le asignan tareas determinadas al personal encargado del área electromecánica para que esta hoja pueda desarrollarse de manera eficiente.

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque

HOJA DE DECISIÓN			HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable		
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3	a					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio quemador	de m	Responsable de electromecánica
2	B	2	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Secado fotocelda	de s	Responsable de electromecánica
3	C	3	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio bobinas	de m	Responsable de electromecánica
4	D	4	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión de las conexiones eléctricas	t	Responsable de electromecánica
5	E	5	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza electrodos	de m	Responsable de electromecánica
6	F	6	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión electrodos	de t	Responsable de electromecánica
7	G	7	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio electrodos	de t	Responsable de electromecánica
8	H	8	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Aislado electrodos	de t	Responsable de electromecánica
9	I	9	S	S	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de tubería	t	Responsable de electromecánica
10	J	10	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Tratado de tubería	s	Responsable de electromecánica
11	K	11	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de elementos internos	t	Responsable de electromecánica
12	L	12	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza de tubería	de m	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			Organización: HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable		
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3	H4				H5	S4
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
13	M	13	S	S	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio selenoide	de t	Responsable de electromecánica
14	N	14	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio contractores	de m	Responsable de electromecánica
15	O	15	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio resortes	de t	Responsable de electromecánica
16	P	16	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza interna	m	Responsable de electromecánica
17	Q	17	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio empalmes	de t	Responsable de electromecánica
18	R	18	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de válvula	t	Responsable de electromecánica
19	S	19	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de motor modulador	t	Responsable de electromecánica
20	T	20	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión del motor	t	Responsable de electromecánica
21	U	21	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio cojinetes	de t	Responsable de electromecánica
22	V	22	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión del rotor y extractor	t	Responsable de electromecánica
23	W	23	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Aislar los elementos internos	m	Responsable de electromecánica
24	X	24	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de pernos y engranajes	s	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN		HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE						Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable	
Referencia de información		Evaluación de consecuencias						S1	S2	S3	a				
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
25	Y	25	S	S	N	N	S	-	-	-	-	-	Mantenimiento de bornes	s	Responsable de electromecánica
26	Z	26	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio fusibles	t	Responsable de electromecánica
27	AA	27	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión de contactos	t	Responsable de electromecánica
28	AB	28	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de motor	t	Responsable de electromecánica
29	AC	29	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión de la energía	t	Responsable de electromecánica
30	AD	30	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica
31	AE	31	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión de las conexiones eléctricas	t	Responsable de electromecánica
32	AF	32	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de sellos y empaquetaduras	t	Responsable de electromecánica
33	AG	33	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Limpieza de rodetes	m	Responsable de electromecánica
34	AH	34	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Ejes alineados	m	Responsable de electromecánica
35	AI	35	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			Organización: HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de			Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable			
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3				H4	H5	S4
36	AJ	36	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión interna de la bomba	t	Responsable de electromecánica
37	AK	37	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de los ejes	s	Responsable de electromecánica
38	AL	38	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Lubricación	m	Responsable de electromecánica
39	AM	39	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Ejes alineados	m	Responsable de electromecánica
40	AN	40	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica
41	AO	41	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Mantenimiento de pernos y engranajes	s	Responsable de electromecánica
42	AP	42	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de chaveta de eje	m	Responsable de electromecánica
43	AQ	43	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Limpieza del rodete	m	Responsable de electromecánica
44	AR	44	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de los fluidos	s	Responsable de electromecánica
45	AS	45	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de válvula check	t	Responsable de electromecánica
46	AT	46	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza de la válvula	m	Responsable de electromecánica
47	AU	47	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Medición de presión	m	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN		HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE						Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable	
Referencia de información		Evaluación de consecuencias						S1	S2	S3	H4				H5
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
48	AV	48	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento del pasador oscilante	s	Responsable de electromecánica
49	AW	49	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza del tanque	m	Responsable de electromecánica
50	AX	50	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Lubricación	m	Responsable de electromecánica
51	AY	51	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de pernos y engranajes	s	Responsable de electromecánica
52	AZ	52	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica
53	BA	53	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión del motor	t	Responsable de electromecánica
54	BB	54	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión del rotor y extractor	t	Responsable de electromecánica
55	BC	55	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de rodete	t	Responsable de electromecánica
56	BD	56	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Aislar los elementos internos	m	Responsable de electromecánica
57	BE	57	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de sellos y empaquetaduras	t	Responsable de electromecánica
58	BF	58	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Lubricación	m	Responsable de electromecánica
59	BG	59	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Ejes alineados	m	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			Organización: HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de			Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable			
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3				H4	H5	S4
60	BH	60	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica
61	BI	61	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Mantenimiento de pernos y engranajes	s	Responsable de electromecánica
62	BJ	62	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión del motor	t	Responsable de electromecánica
63	BK	63	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión del rotor y extractor	t	Responsable de electromecánica
64	BL	64	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de rodete	t	Responsable de electromecánica
65	BM	65	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Aislar los elementos internos	m	Responsable de electromecánica
66	BN	66	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de sellos y empaquetaduras	t	Responsable de electromecánica
67	BO	67	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Limpieza de la válvula	m	Responsable de electromecánica
68	BP	68	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Medición de presión	m	Responsable de electromecánica
69	BQ	69	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento del pasador oscilante	s	Responsable de electromecánica
70	BR	70	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza del tanque	m	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de					Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable	
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3	H4	H5				S4
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
71	BS	71	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de chaveta de eje	m	Responsable de electromecánica
72	BT	72	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Limpieza del rodete	m	Responsable de electromecánica
73	BU	73	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de los fluidos	s	Responsable de electromecánica
74	BV	74	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de válvula check	t	Responsable de electromecánica
75	BW	75	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de sellos y empaquetaduras	t	Responsable de electromecánica
76	BX	76	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza de rodetes	m	Responsable de electromecánica
77	BY	77	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Ejes alineados	m	Responsable de electromecánica
78	BZ	78	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica
79	CA	79	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión interna de la bomba	t	Responsable de electromecánica
80	CB	80	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de los ejes	s	Responsable de electromecánica
81	CC	81	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Lubricación	m	Responsable de electromecánica
82	CD	82	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Ejes alineados	m	Responsable de electromecánica
83	CE	83	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable			
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3	a						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4				H5	S4	
							N1	N2	N3							
84	CF	84	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de pernos y engranajes	s	Responsable de electromecánica	
85	CG	85	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de fusibles	t	Responsable de electromecánica	
86	CH	86	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión de contactos	t	Responsable de electromecánica	
87	CI	87	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de motor	t	Responsable de electromecánica	
88	CJ	88	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión de la energía	t	Responsable de electromecánica	
89	CK	89	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de cojinetes	t	Responsable de electromecánica	
90	CL	90	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión de las conexiones eléctricas	t	Responsable de electromecánica	
91	CM	91	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Mantenimiento de los fluidos	s	Responsable de electromecánica	
92	CN	92	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de válvula check	t	Responsable de electromecánica	
93	CO	93	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Revisión del motor	t	Responsable de electromecánica	
94	CP	94	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Revisión del rotor y extractor	t	Responsable de electromecánica	

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE							Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable
Referencia de información			Evaluación de consecuencias							S1 S2 S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
95	CQ	95	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de rodete	t	Responsable de electromecánica	
96	CR	96	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de aislamientos	t	Responsable de electromecánica	
97	CS	97	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de sellos y empaquetaduras	t	Responsable de electromecánica	
98	CT	98	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de sensor	t	Responsable de electromecánica	
99	CU	99	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Secado de fotocelda	s	Responsable de electromecánica	
100	CV	100	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de presostato	t	Responsable de electromecánica	
101	CW	101	S	N	N	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de válvulas	t	Responsable de electromecánica	
102	CX	102	S	N	N	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza de la pared metálica	m	Responsable de electromecánica	
103	CY	103	S	S	S	N	S	-	-	-	-	-	Cambio de disco	t	Responsable de electromecánica	
104	CZ	104	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de ejes y guías	s	Responsable de electromecánica	
105	DA	105	S	S	S	N	S	-	-	-	-	-	Limpieza interna	m	Responsable de electromecánica	
106	DB	106	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Tensionar el muelle	s	Responsable de electromecánica	
107	DC	107	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Cambio de resorte	t	Responsable de electromecánica	

Tabla 33

Hoja de decisión del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)

HOJA DE DECISIÓN			Organización: HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE				Acción falta de				Tareas propuestas	Intervalo inicial: anual (a), semestral (s), trimestral (t), mes (m)	Responsable		
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				S1	S2	S3	H4				H5	S4
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
108	DD	108	S	S	S	N	S	-	-	-	-	-	Ajuste de tuercas	m	Responsable de electromecánica
109	DE	109	S	S	S	N	S	-	-	-	-	-	Mantenimiento de la antorcha	s	Responsable de electromecánica
110	DF	110	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Limpieza de la antorcha	m	Responsable de electromecánica
111	DG	111	S	S	S	N	S	-	-	-	-	-	Regular temperatura	t	Responsable de electromecánica
112	DH	112	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Mantenimiento de filtros	s	Responsable de electromecánica
113	DI	113	S	S	S	N	N	S	-	-	-	-	Aislar la antorcha	t	Responsable de electromecánica

Fuente: Elaboración propia

Paso 7: Realizar el plan de mantenimiento

El objetivo de realizar un plan de mantenimiento al área electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque es mejorar la efectividad de las actividades laborales, con tareas necesarias y oportunas, y de definir las frecuencias en que se realizará el mantenimiento y teniendo definido las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos para cada actividad. En la tabla 34, se puede observar el plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque.

Tabla 34

Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales	Herramientas	Periodo	Tiempo de ejecución (min)
Cambio de quemador	Empresa tercerizadora			m	
Secado de fotocelda	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de bobinas	Empresa tercerizadora			m	
Revisión de las conexiones eléctricas	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Limpieza de electrodos	Área de electromecánica		Gel industrial	m	30
Revisión de electrodos	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de electrodos	Empresa tercerizadora			t	
Aislado de electrodos	Empresa tercerizadora			t	
Cambio de tubería	Empresa tercerizadora			t	
Tratado de tubería	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de elementos internos	Empresa tercerizadora			t	

Tabla 34*Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales Herramientas	Periodo	Tiempo de ejecución (min)
Limpieza de tubería	Área de electromecánica	Aspirador de mano	m	60
Cambio de selenoide	Empresa tercerizadora		t	
Cambio de contractores	Empresa tercerizadora		m	
Cambio de resortes	Empresa tercerizadora		t	
Limpieza interna	Área de electromecánica	Paños industriales	m	60
Cambio de empalmes	Empresa tercerizadora		t	
Cambio de válvula	Empresa tercerizadora		t	
Cambio de motor modulador	Empresa tercerizadora		t	
Revisión del motor	Área de electromecánica	Caja de herramientas portatil	t	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora		t	
Revisión del rotor y extractor	Área de electromecánica	Caja de herramientas portatil	t	60
Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora		m	
Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora		s	
Mantenimiento de bornes	Empresa tercerizadora		s	
Cambio de fusibles	Empresa tercerizadora		t	
Revisión de contactos	Área de electromecánica	Caja de herramientas portatil	t	60
Cambio de motor	Empresa tercerizadora		t	
Revisión de la energía	Área de electromecánica	Caja de herramientas portatil	t	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora		t	
Revisión de las conexiones eléctricas	Área de electromecánica	Caja de herramientas portatil	t	60
Cambio de sellos y empaqueduras	Empresa tercerizadora		t	

Tabla 34*Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales	Herramientas	Periodo	Tiempo de ejecución (min)
Limpieza de rodets	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Ejes alineados	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Revisión interna de la bomba	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Mantenimiento de los ejes	Empresa tercerizadora			s	
Lubricación	Área de electromecánica	Lubricante		m	30
Ejes alineados	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de chaveta de eje	Empresa tercerizadora			m	
Limpieza del rodete	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora			t	
Limpieza de la válvula	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Medición de presión	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	20
Mantenimiento del pasador oscilante	Empresa tercerizadora			s	
Limpieza del tanque	Área de electromecánica		Paños industriales	m	60
Lubricación	Área de electromecánica	Lubricante		m	30
Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Revisión del motor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Revisión del rotor y extractor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de rodete	Empresa tercerizadora			t	

Tabla 34*Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales	Herramientas	Periodo	Tiempo de ejecución (min)
Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora			m	
Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora			t	
Lubricación	Área de electromecánica	Lubricante		m	30
Ejes alineados	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora			s	
Revisión del motor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Revisión del rotor y extractor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de rodete	Empresa tercerizadora			t	
Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora			m	
Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora			t	
Limpieza de la válvula	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Medición de presión	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	20
Mantenimiento del pasador oscilante	Empresa tercerizadora			s	
Limpieza del tanque	Área de electromecánica		Paños industriales	m	60
Cambio de chaveta de eje	Empresa tercerizadora			m	
Limpieza del rodete	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora			t	
Cambio de sellos y empaquetaduras	Empresa tercerizadora			t	
Limpieza de rodetes	Área de electromecánica		Aspirador de mano	m	30
Ejes alineados	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	60

Tabla 34*Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales	Herramientas	Periodo	Tiempo de ejecución (min)
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Revisión interna de la bomba	Área de electromecánica		Caja de herramientas portatil	t	60
Mantenimiento de los ejes	Empresa tercerizadora			s	
Lubricación	Área de electromecánica	Lubricante		m	30
Ejes alineados	Área de electromecánica		Caja de herramientas portatil	m	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de fusibles	Empresa tercerizadora			t	
Revisión de contactos	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de motor	Empresa tercerizadora			t	
Revisión de la energía	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora			t	
Revisión de las conexiones eléctricas	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora			s	
Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora			t	
Revisión del motor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Revisión del rotor y extractor	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	60
Cambio de rodete	Empresa tercerizadora			t	
Cambio de aislamientos	Empresa tercerizadora			t	
Cambio de sellos y empaqueduras	Empresa tercerizadora			t	
Cambio de sensor	Empresa tercerizadora			t	
Secado de fotocelda	Empresa tercerizadora			S	

Tabla 34*Plan de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Descripción de la actividad	Responsable	Materiales	Herramientas	Periodo	Tiempo (min)	de ejecución
Cambio de presostato	Empresa tercerizadora			t		
Cambio de válvulas	Empresa tercerizadora			t		
Limpieza de la pared metálica	Área de electromecánica		Paños industriales	m	60	
Cambio de disco	Empresa tercerizadora			t		
Mantenimiento de ejes y guías	Empresa tercerizadora			s		
Limpieza interna	Área de electromecánica		Paños industriales	m	60	
Tensionar el muelle	Empresa tercerizadora			s		
Cambio de resorte	Empresa tercerizadora			t		
Ajuste de tuercas	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	m	30	
Mantenimiento de la antorcha	Empresa tercerizadora			s		
Limpieza de la antorcha	Área de electromecánica	Solución alcalina	Cepillo de alambre	m	30	
Regular la temperatura	Área de electromecánica		Caja de herramientas portátil	t	50	
Mantenimiento de filtros	Empresa tercerizadora			s		
Aislar la antorcha	Empresa tercerizadora			t		

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Situación de los costos de mantenimiento con las propuestas de mejora

Costos de mano de obra de mantenimiento

Debido a que es una empresa que pertenece al Estado Peruano, la modificación de los puestos de trabajo debe pasar por un proceso largo y tedioso, por lo que en esta investigación el costo de la mano de obra sigue igual, no hay modificaciones, el total asciende a S/ 340,165.28 anuales.

Tabla 35

Costo de mano de obra de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque

OPERARIOS	PAGO ANUAL (S/)	VACACIONES (S/)	CTS (S/)	GRATIFICACIONES (S/)	ESSALUD (9%)	PAGO ANUAL (S/)	CANTIDAD	PAGO ANUAL TOTAL(S/)
Jefe de mantenimiento	S/ 30,000.00	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00	S/ 5,000.00	S/ 2,700.00	S/ 42,700.00	1	S/ 42,700.00
Jefe de electromecánica	S/ 24,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 4,000.00	S/ 2,160.00	S/ 34,160.00	1	S/ 34,160.00
Técnico mecánico	S/ 20,688.00	S/ 1,724.00	S/ 1,724.00	S/ 3,448.00	S/ 1,861.92	S/ 29,445.92	5	S/ 147,229.60
Operario	S/ 20,388.00	S/ 1,699.00	S/ 1,699.00	S/ 3,398.00	S/ 1,834.92	S/ 29,018.92	4	S/ 116,075.68
								<u>S/ 340,165.28</u>

Fuente: Elaboración propia

Costo de insumos y repuestos del mantenimiento

El costo de los repuestos e insumos va a tener una pequeña variación debido a que al realizar una cotización con anticipación y por volumen, las empresas ofrecen descuentos. En la tabla 36 se detalla el nuevo costo de insumos y repuestos necesarios para el mantenimiento el cual asciende a 23, 878.00 soles.

Tabla 36

Costo de materiales e insumos de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque

INSUMOS Y REPUESTOS MANTENIMIENTO HRL				
Ítem	Descripción	Precio	Cantidad	Costo
1	Disolventes	8.00	10	80.00
2	Silicona	12.00	10	120.00
3	Soldemix	5.00	6	30.00
4	Trapo Industrial	5.00	200	1,000.00
5	Limpiacontactos	60.00	9	540.00
6	Grasa Industrial	15.00	7	105.00
7	Teflon	5.00	15	75.00
8	Lijas Variadas	3.00	20	60.00
9	Set Herramientas Manuales	900.00	1	900.00
10	Petróleo	10.00	12	120.00
11	Afloja Todo	18.00	6	108.00
12	Escobillas de Acero	8.00	14	112.00
13	Cascos y Zapatos	150.00	7	1,050.00
14	Guantes y Lentes	30.00	21	630.00
15	Aceite a Granel	150.00	24	3,600.00
16	Aceite sae64	120.00	5	600.00
17	Alambre de rebobinar	125.00	2	250.00
18	Antorcha tig	100.00	2	200.00
19	Bomba y cañería	1,500.00	1	1,500.00
20	Cables eléctricos	30.00	5	150.00
21	Carbones	6.00	13	78.00
22	Carneros	5,500.00	1	5,500.00
23	Chuck universal	1,500.00	1	1,500.00
24	Cojinetes de bronce al cobre sae64	3,150.00	1	3,150.00
25	Discos de embrague	300.00	1	300.00
26	Espárrago	120.00	6	720.00
27	Finales de carrera	60.00	2	120.00
28	Guardas de motor	50.00	1	50.00
29	Guía de bancada	1,200.00	1	1,200.00
30	Pinzas de acero	80.00	1	80.00
31	Guías de soporte de mordaza	850.00	1	850.00
32	Malla	20.00	2	40.00

33	Pernos y tuercas de varias medidas	10.00	12	120.00
34	Piñón	260.00	2	520.00
35	Placas de acero	50.00	6	300.00
36	Poleas	100.00	11	1,100.00
37	Resortes	38.00	5	190.00
38	Retenes de cilindro	75.00	6	450.00
39	Rodamientos	80.00	12	960.00
40	Tips	5.00	10	50.00
41	Tobera	45.00	6	270.00
42	Tuercas frenadas y contratuercas	5.00	6	30.00
				<u>23,878.00</u>

Costos de servicios tercerizados de mantenimiento

Los costos de servicios tercerizados de mantenimiento se describen en la tabla 37, detallando la maquinaria y las actividades a realizar, con este plan el costo de servicios tercerizados de mantenimiento asciende a S/ 458,000.00 anuales. Estos costos se asignaron de acuerdo a cotizaciones con terceros, los cuales nos dieron un costo por trabajos, estas cotizaciones se encuentran en el Anexo D.

Tabla 37

Costo de servicios tercerizados de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque

Equipo	Trabajos a Realizar	Descripción de la actividad	Responsable	Costo
Caldero	Cambio	Cambio de quemador	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Secado	Secado de fotocelda	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de bobinas	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de electrodos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Aislado	Aislado de electrodos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de tubería	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Tratado	Tratado de tubería	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de elementos internos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de selenoide	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de contractores	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de resortes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de empalmes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de válvula	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Cambio	Cambio de motor modulador	Empresa tercerizadora	S/ 20,000.00
	Bomba de caldero	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora
Aislado		Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
Mantenimiento		Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
Mantenimiento		Mantenimiento de bornes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00

Tabla 37*Costo de servicios tercerizados de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Equipo	Trabajos a Realizar	Descripción de la actividad	Responsable	Costo
Bomba de caldero	Cambio	Cambio de fusibles	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de motor	Empresa tercerizadora	S/ 20,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
Bomba agua dura	Cambio	Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de los ejes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de chaveta de eje	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
Bomba agua blanda	Cambio	Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento del pasador oscilante	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de rodete	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Aislado	Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
Bomba de agua para ablandador	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de rodete	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Aislado	Aislar los elementos internos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
Bomba de calentador	Mantenimiento	Mantenimiento del pasador oscilante	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de chaveta de eje	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00

Tabla 37*Costo de servicios tercerizados de mantenimiento del Hospital Regional de Lambayeque (Continuación)*

Equipo	Trabajos a Realizar	Descripción de la actividad	Responsable	Costo
Bomba de calentador	Cambio	Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Cambio	Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de los ejes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
Bomba de termotanque	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de pernos y engranajes	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de fusibles	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de motor	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Cambio	Cambio de cojinetes	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de los fluidos	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Cambio	Cambio de válvula check	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Cambio	Cambio de rodete	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de aislamientos	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de sellos y empaquateduras	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
Calentador	Cambio	Cambio de sensor	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
	Secado	Secado de fotocelda	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de presostato	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de válvulas	Empresa tercerizadora	S/ 10,000.00
Incinerador pirolítico	Cambio	Cambio de disco	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de ejes y guías	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Tensionado	Tensionar el muelle	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Cambio	Cambio de resorte	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de la antorcha	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Mantenimiento	Mantenimiento de filtros	Empresa tercerizadora	S/ 8,000.00
	Aislado	Aislar la antorcha	Empresa tercerizadora	S/ 5,000.00
			TOTAL	S/ 458,000.00

Para hallar el costo total de mantenimiento se aplicó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} &\text{Costo total de mantenimiento} \\ &= \text{Costo de m. o del área de mantenimiento (Cmo)} \\ &+ \text{Costo de mantenimiento tercerizado (Cmt)} \\ &+ \text{Costo de insumos y repuestos (Cir)} \end{aligned}$$

De las tablas 36, 36 y 38 se sumó el costo total de mantenimiento, los datos podemos visualizarlos en la tabla 39, obteniendo un costo anual que asciende a S/ 822,043.28.

Tabla 38

Costo total propuesto de mantenimiento

Variable	Costo con la propuesta
Costo de mano de obra de mantenimiento	S/. 340,165.28
Costo de repuesto e insumos	S/. 23,878.00
Costo de mantenimiento tercerizado	S/. 458,000.00
	S/. 822,043.28

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40 se realizó un análisis comparativo de los costos, de los costos actuales del hospital con los costos con la propuesta de gestión de mantenimiento, en donde se observa que estos costos se redujeron en 97,648.00 soles anuales.

Tabla 39

Diferencia del costo total anual de mantenimiento

Variable	Costos actuales	Costo con la propuesta	Diferencia
Costo de mano de obra de mantenimiento	S/. 340,165.28	S/. 340,165.28	S/. 0
Costo de repuesto e insumos	S/. 24,526.00	S/. 23,878.00	S/. 648.00
Costo de mantenimiento tercerizado	S/. 555,000.00	S/. 458,000.00	S/. 97,000.00
	S/. 919,691.28	S/. 822,043.28	S/. 97,648.00

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Análisis Beneficio – Costo de las propuestas.

Con las propuestas de implementación desarrolladas anteriormente, se realizó un análisis económico para determinar si es viable invertir en base a los beneficios económicos que se obtendrían.

3.2.5.1. Beneficios de las propuestas.

Los beneficios de las propuestas de la gestión de inventario vienen dados por la reducción de costos de mantenimiento. En la tabla 41 se realiza la diferencia entre los costos actuales de mantenimientos y los costos con las propuestas de mantenimiento, esta diferencia asciende a S/ 97,648.00 anuales.

Tabla 40

Beneficios de la propuesta de mantenimiento

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Costo actual	S/. 919,691.28
Costo propuesto	S/. 822,043.28
Beneficio total	S/. 97,648.00

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.2. Costos de las propuestas.

En la tabla 42 se detalla el costo de las propuestas de mantenimiento, el cual se tomó en cuenta la mejora del área, las capacitaciones sobre RCM y sobre acciones preventivas y la inducción para todo el personal sobre los nuevos lineamientos de mantenimiento, este costo asciende a S/ 63,705.25 anuales.

Tabla 41*Costos de la propuesta de mantenimiento*

Descripción	CU	Cantidad	CT
Mejora del área de mantenimiento (distribución del área).	S/ 10,000	1	S/ 10,000.00
Capacitación sobre RCM	S/ 1,500	11	S/ 16,500.00
Pago al personal por asistir a la capacitación de RCM (8 horas)	S/ 85.83	11	S/ 944.16
Capacitación de acciones preventivas a los trabajadores	S/ 200	61	S/ 12,200.00
Pago al personal por asistir a la capacitación de acciones preventivas (8 horas)	S/ 85.83	61	S/ 5,235.78
Inducción al personal	S/ 200	50	S/ 10,000.00
Pago al personal por asistir a la inducción (3 horas)	S/ 16.51	50	S/ 825.31
Incentivos y material para la propuesta			S/ 8,000.00
Total			S/ 63,705.25

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el resultado de los costos de implementación y el beneficio que se determinó se obtendrá una relación que resulta necesario para la investigación.

Tabla 42*Beneficios y Costos de la propuesta de mantenimiento*

Costos	Beneficios
Mejora del área de mantenimiento (distribución del área).	Costo actual S/. 919,691.28
Capacitación sobre RCM	Costo propuesto S/. 822,043.28
Pago al personal por asistir a la capacitación de RCM (8 horas)	
Capacitación de acciones preventivas a los trabajadores	
Pago al personal por asistir a la capacitación de acciones preventivas (8 horas)	
Inducción al personal	
Pago al personal por asistir a la inducción (3 horas)	
Incentivos y material para la propuesta	
Costo total	Beneficio total S/. 97,648.00

Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned} \text{Relación Beneficio} - \text{costo} &= \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} \\ \text{Relación Beneficio} - \text{costo} &= \frac{\text{S/ } 97,648.00}{\text{S/ } 63,705.25} \\ \text{Relación Beneficio} - \text{costo} &= 1.53 \end{aligned}$$

Lo que quiere decir que por cada sol invertido el Hospital Regional de Lambayeque se obtendrá un beneficio de 0,53 soles.

3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Actualmente en el Hospital Regional de Lambayeque, se emplea el mantenimiento correctivo, es decir la reparación de las máquinas cuando estas fallan. El sólo emplear el mantenimiento correctivo, ha generado paradas de la maquinaria, desmotivación del personal, gastos en excesivos, entre otros.

Astete y Palomino (2016), en su tesis titulada “Plan de mantenimiento preventivo bajo los lineamientos de la OMS de los equipos biomédicos de las unidades críticas del hospital regional del Cusco 2016”, indica que los equipos biomédicos no cubren los estándares de la OMS; en el HRL se tiene un índice de disponibilidad del 85.7%, estando por debajo del 98% como lo indica la OMS, con respecto a la confiabilidad se tiene un índice de 83.5%, por debajo del 95%, y del índice de mantenibilidad se cuenta con un 2.7%, estando por debajo 5%. Al igual que la investigación de Astete y Palomino, el HRL no cubren los estándares mínimos de la OMS, por tanto, su funcionamiento no es el óptimo.

Fuente (2015), recalca que para mejorar la gestión de mantenimiento y reducir los costos que este generen se debe realizar un sistema que garantice la eficiencia de las máquinas es decir la implementación de este permitirá la correcta gestión en el proceso de mantenimiento ya que se planificó y se ordenó, y por ende permitió minimizar los tiempos de paradas y los costos de pérdida. Al igual que la investigación de Fuente, en el presente trabajo se realizó una propuesta para mejorar la gestión del mantenimiento, por ello se planifica con un plan de gestión y se ordenan las tareas de acuerdo a la maquinaria, lo cual también permite reducir los costos.

Barreda (2015), recalca que el mantenimiento preventivo con su respectiva programación es beneficio para la empresa ya que se evitará paradas afectando el proceso de producción esto permitirá el aumento de la fiabilidad de los equipos y también aplicando una metodología RCM permitirá analizar profundamente cada avería o falla y se podrá seleccionar el mantenimiento más adecuado. Recalca que para realizar un mantenimiento correcto se debe basar en una metodología de RCM realizando un mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad ya que permitirá disminuir los costos operativos y aumentar la confiabilidad de las máquinas y equipos de la planta. En esta investigación también se aplicó la metodología RCM, basándose en la confiabilidad

de la maquinaria, y con ello disminuyendo los costos operativos por paradas no programadas, siendo beneficioso para el hospital.

Por ello en esta investigación se aplicará un plan de gestión de mantenimiento basado en RCM, esto permitió disminuir los costos que se generan por las paradas no programadas. El RCM se basa en medir la confiabilidad de los equipos mediante un mantenimiento específico preventivo siguiendo una secuencia.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- a) En el Hospital Regional de Lambayeque en el área de mantenimiento de electromecánica se diagnosticó una deficiente gestión del mantenimiento, debido a las constantes paradas de la maquinaria por paradas no programadas. No cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, sino que ejecuta un mantenimiento correctivo.
- b) Al realizar un análisis de criticidad de las 21 maquinarias del área electromecánica del Hospital Regional de Lambayeque, se identificó que 1 en estado crítico, 20 de ellas en estado semi crítico, las principales causas de las paradas no programadas es la falta de lubricación, rotura y desgaste de piezas, falta de limpieza, entre otros.
- c) Para realizar una propuesta de la gestión del mantenimiento se realizó un Análisis de Modos y Efectos de las Falla (AMEF), donde se determinó las causas y consecuencias de cada falla. Luego se realizó una hoja de decisiones, en ella se determinó las acciones a proponer para mitigar las fallas, y en el plan de mantenimiento preventivo se detalló la periodicidad de las tareas y los responsables de cada actividad del mantenimiento.
- d) Con la propuesta de la gestión del mantenimiento (RCM) los costos se lograron reducir en 97,648 soles anuales, con mayor porcentaje de reducción en los costos de mantenimiento tercerizado.
- e) En cuanto al análisis de beneficio – costo que presenta la propuesta de mejora, se detalla los costos que se generaran y el beneficio que el hospital obtendrá con la implementación de esta mejora, el resultado obtenido es de 1.53, teniendo como ahorro anual de S/ 33,942.75 soles. Adicional, con esta propuesta de mantenimiento los equipos estarán en condiciones óptimas de funcionamiento, elevando los indicadores actuales, mejorando el servicio a las áreas internas por consecuencia beneficiando a la colectividad que usan los servicios del Hospital Regional de Lambayeque, concluyendo que la propuesta es económicamente viable.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que el encargado de mantenimiento del área de electromecánica realice un seguimiento de los resultados que conlleve el cronograma de ejecución de mantenimiento para observar si se está realizando de forma correcta.
- Mantener la disciplina en control documentario, delegando responsabilidades.
- Establecer un análisis para la elaboración de un plan de seguridad y salud en el trabajo con el objetivo de brindar un ambiente seguro y saludable a los trabajadores.

V. REFERENCIAS

- Aguilar, J., Torres, R. y Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*. 25(1). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>. [Accedido: 02-Mar-2019].
- Aliaga, R. (26 de enero de 2018). ¿Por qué es tan caótico el sistema de salud peruano? *Conexión ESAN*. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2018/01/26/por-que-es-tan-caotico-el-sistema-de-salud-peruano/>
- Altamirano, Y. y Zavaleta, M. (2016). Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa Naylamp – Chiclayo 2016 (Tesis de Ingeniería). Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_9d93cb9638e15ee16c239631529a3110
- Astete, R y Palomino, F. (2016). Plan de mantenimiento preventivo bajo los lineamientos de la OMS de los equipos biomédicos de las unidades críticas del hospital regional del Cusco 2016 (Tesis de Ingeniería). Obtenido de: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/834>
- Cano, A., Collazos, M., García, L., González, A., González, S.A y Ladino, J. (2017). Análisis del estado actual de la Ingeniería Clínica en las instituciones hospitalarias de Cali. *Revista Ingeniería Biomédica*. 9(18). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v9n18/v9n18a20.pdf>
- Castillo, T. (2011). Gestión de mantenimiento de la red hospitalaria del estado Anzoátegui, caso: Hospital Universitario "Dr. Luis Razetti". *Ciencia Ergo Sum*. 18(2). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>. [Accedido: 02-Mar-2019].
- Cruelles R., J. (2010). *La teoría de la medición del despilfarro*. Disponible en: <https://www.marcialpons.es/libros/la-teoria-de-la-medicion-del-despilfarro/9788461401116/>
- Díaz N., J. (2004). *Técnicas De Mantenimiento Industrial*. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/145762614/74732369-Tecnicas-deMantenimiento-Industrial> [Accedido: 02-Mar-2019].
- Duffuaa, S., Raouf, A. y Dixon, J. (2009). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. México: Editorial Limusa. Disponible en:

- <https://es.scribd.com/doc/145762614/74732369-Tecnicas-de-Mantenimiento-Industrial>
Gallegos, S. (2018). Mejora a plan de mantenimiento preventivo equipos central térmica hospital regional Dr. Guillermo Grant Benavente (Trabajo de titulación). Obtenido de: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/40987>
- García, C. (2014). Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de una clínica particular en la ciudad de Lima (Tesis de Ingeniería). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8335>
- García G., S. (2009 - 2012). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. Obtenido de <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
- García G., S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. España: Ediciones Díaz de Santos S.A. Disponible en: <http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/57-organizacion-y%20gestion-integral-del-mantenimiento>. [Accedido: 02-Mar-2019].
- Instituto Nacional de Salud (1990). *Organización del mantenimiento en Centros Sanitarios. Manual de planificación técnica y funcional*. Disponible en: http://www.ingesa.mscbs.gob.es/estadEstudios/documPublica/internet/pdf/Organizacion_mantenimien.pdf
- Juan, (15 de noviembre de 2007). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. [Artículo web]. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>
- Layme., R. (2014). Propuesta de mejora del plan de Mantenimiento basado en el RCM en la línea de Extrusión 1 (Tesis de Ingeniería Industrial). Obtenido de http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/336943/1/layme_rr.pdf
- Marrufo, S. (2017). Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos biomédicos en el departamento de diagnóstico por imágenes del hospital regional de Cajamarca (Tesis de Ingeniería). Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12389>
- Miranda, C. (1967). *Ingeniería y mantenimiento hospitalarios*. Disponible en: <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/12663/v63n1p44.pdf?sequence=1>
- Moubray, J. (s/f). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). RCM2. Obtenido de http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

- Navarro, L. et. Al. (1998). *Gestión integral del manteamiento*. España: Marcombo S.A 1998. Disponible en:
http://books.google.com.pe/books?id=zyYz3HkcdXoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
 [Accedido: 02-Mar-2019].
- Nobili, L. y Shohet, I. (2015). Application of key performance indicators for maintenance management of clinics facilities. *International journal of strategic property management*. 21(5). Disponible en:
<https://journals.vgtu.lt/index.php/IJSPM/article/view/1915/1529>
- Padilla, E. (2011). Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. *Los Sistemas De Mantenimiento*. Disponible en: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_06_IND01.pdf
 [Accedido: 02-Mar-2019].
- Pascual J., R. (2002). Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Chile. *Gestión moderna del mantenimiento*. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/65240309/Gestion-Moderna-Del-Mantenimiento>
- Petróleos Mexicanos, (2016) “Metodología Análisis de Criticidad”, México.
- Sigüenza, G. (2008). Porque implementar el: RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. [Diapositivas]. México: Industrial Tijuana Consultoría. Disponible en:
<http://www.industrialtijuana.com/pdf/CC08.pdf>
- Telenchana, L. (2017). Diseño e implementación de un modelo de gestión integral de mantenimiento para el hospital básico de la brigada blindada galápagos, aplicando el estatuto orgánico del ministerio de salud pública (Trabajo de titulación). Obtenido de:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6635>
- Valdivieso, V. (2017). Diseño de las obras de embalse del proyecto hidroeléctrico Machinaza (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14411/1/UPS%20-%20ST003147.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Entrevista de investigación para el Jefe del departamento de Mantenimiento Hospital Regional Lambayeque



ANEXO A: Entrevista de investigación para el Jefe del departamento de Mantenimiento Hospital Regional Lambayeque

Objetivo: Conocer y analizar los factores que afectan la gestión integral de mantenimiento.

Fecha: 24/05/18

- ¿Conoce si el responsable de mantenimiento, del área electromecánica tiene un plan de mantenimiento de las máquinas y equipos?
SI NO
- ¿La producción del hospital se detiene por fallas de las máquinas del área electromecánica?
SI NO
- ¿Las fallas de las máquinas, en el área electromecánica son frecuentes, cuantas fallas en una semana?
SI N° 10% NO
- ¿La respuesta del área de mantenimiento, es inmediata, en qué %?
SI %----- NO
- ¿Considera que luego de reparar una máquina o equipo del área electromecánica su funcionamiento es confiable, en qué %?
SI % 80% NO
- ¿Las tareas de mantenimiento de máquinas se desarrollan dentro de la jornada laboral, en qué %?
SI % 100% NO
- ¿Considera que las máquinas están disponibles en un 100% o menos?
SI % 70% NO
- ¿Considera que el personal de mantenimiento está preparado adecuadamente, en qué %?
SI % 50% NO
- ¿Considera que el personal de mantenimiento cuenta con las herramientas adecuadas para hacer sus actividades, en qué %?
SI % 50% NO

GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
GERENCIA REGIONAL LAMBAYEQUE
HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE

[Firma]
Ing. Luis A. Ramos Martínez
JEFE UNIDAD DE MANTENIMIENTO

ANEXO B: Entrevista de investigación para el Jefe de Mantenimiento del área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque



ANEXO B: Entrevista de investigación para el Jefe de Mantenimiento del área electromecánica del Hospital Regional Lambayeque

Objetivo: Conocer y analizar los factores que afectan la gestión integral de mantenimiento.

Fecha: 29 / 05 / 2018.

1. ¿Se cuenta con un plan de mantenimiento de las máquinas y equipos Para el área electromecánica, en qué %?

SI % 100 NO

2. ¿Se cumple el programa de mantenimiento, cuál es el % de avance al día de hoy?

SI % 65 NO

3. ¿Cuenta con el recurso humano preparado y calificado para garantizar un servicio de mantenimiento eficiente en el área electromecánica, en qué %?

SI % 90 NO

4. ¿Considera que el número de trabajadores del área de mantenimiento es suficiente?

SI NO

Por qué no son suficientes. No Contratan por falta de presupuesto

5. ¿Se cuenta con las herramientas suficientes para desarrollar su trabajo de mantenimiento?

SI NO

6. ¿Las herramientas que emplea en su trabajo, están en buen estado, en qué %?

SI % 100% NO

GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
GERENCIA REGIONAL LAMBAYEQUE
HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE

Ing. Luis A. Villalobos Mendoza
AREA - ELECTROMECANICA
UNIDAD DE MANTENIMIENTO

7. ¿Las tareas de mantenimiento de máquinas se desarrollan dentro de la jornada laboral en qué %?

SI % 100 NO

8. ¿Cuándo ocurre una falla y es requerido, que razones tiene para no atender la solicitud? (puede responder más de una opción)

El personal está ocupado No hay repuestos o insumos
 Personal no capacitado para atender falla Máquina en garantía
 Otro _____

9. ¿Las máquinas instaladas en el área electromecánica son adecuadas para el servicio en qué %?

SI % 100 NO % _____

10. ¿A que considera se deben las fallas de las máquinas?

Mala manipulación del operario Maquinaria deteriorada
 Operario no capacitado en el manejo Otros
 Falta de mantenimiento

11. ¿Hay un inventario de las máquinas y equipos de la empresa?

SI NO

12. ¿Cada máquina tiene una ficha donde se registra su historia de mantenimiento en qué %?

SI % 50 NO

GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
 GERENCIA REGIONAL LAMBAYEQUE
 HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE


 Ing. Luis A. Villalobos Mendoza
 ÁREA - ELECTROMECÁNICA
 UNIDAD DE MANTENIMIENTO

13. ¿Se utilizan formatos, para registrar las actividades de mantenimiento que y las tareas que se realizan en qué %?

SI % 100 NO

14. ¿Qué tipo de mantenimiento se lleva en la empresa?

Preventivo Correctivo
Predictivo Otro Todos.

15. ¿El personal de mantenimiento, utiliza la vestimenta adecuada en qué %?

SI % 100 NO

16. ¿El personal de mantenimiento, cuenta con sus EPP en que porcentaje?

SI % 100 NO

17. ¿El personal de mantenimiento, utiliza sus EPP's para hacer su trabajo en qué %?

SI % 90 NO

18. ¿El personal de mantenimiento, recibe capacitación en qué %?

SI % 50 NO

GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
GERENCIA REGIONAL LAMBAYEQUE
HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE
Ing. Luis A. Villalobos Mendoza
ÁREA - ELECTROMECÁNICA
UNIDAD DE MANTENIMIENTO

ANEXO C: Lista de Cotejo de Análisis Documentario.

LISTA DE COTEJO DE REVISIÓN DOCUMENTARIA

Objetivo: Determinar si manejan los documentos necesarios para registrar las actividades de mantenimiento de máquinas en el área electromecánica.

Documento	Existe		Se Actualiza		Observación
	Si	No	Si	No	
1. Plan de mantenimiento					
2. Inventario de herramientas e instrumentos de mantenimiento					
3. Inventario de las máquinas de la empresa					
4. Historial de las máquinas					
5. Ficha de registro de desarrollo de actividades					
6. Requerimientos de materiales, insumos y repuestos					
7. Inventario de actividades de mantenimiento por máquina					
8. Lista de materiales, insumos y herramientas por cada actividad de mantenimiento					
9. Manuales de las máquinas de la empresa					
10. Procedimientos de las actividades de mantenimiento.					

ANEXO D: Cotizaciones de empresas tercerizadoras de mantenimiento



Chiclayo, 24 de agosto del 2019

Señores

Hospital Regional de Lambayeque

Pte.-

De nuestra mayor consideración:

Nos es grato dirigirnos a Uds. con el objeto de hacerles llegar nuestra mejor propuesta económica detallada en la hoja siguiente.

Presentar la solicitud de mantenimiento con 5 días laborables anticipados.

VALIDEZ DE LA COTIZACIÓN: 50 días

FORMA DE PAGO: 50% de entrega de anticipado y 50% al culminado el trabajo

TIEMPO DE ENTREGA: 24 horas laboradas por mantenimiento de maquinaria

Atentamente,

Ernesto Benites Escudero

Gerente comercial

Tel. 951 638 486





COTIZACIONES A TERCEROS

MAQUINARIA	MANTENIMIENTO	COSTO
Caldero	Cambio de quemador	S/ 5,000.00
	Secado de fotocelda	S/ 5,000.00
	Cambio de bobinas	S/ 5,000.00
	Cambio de electrodos	S/ 5,000.00
	Aislado de electrodos	S/ 5,000.00
	Cambio de tubería	S/ 10,000.00
	Tratado de tubería	S/ 5,000.00
	Cambio de elementos internos	S/ 5,000.00
	Cambio de selenoide	S/ 5,000.00
	Cambio de contractores	S/ 5,000.00
	Cambio de resortes	S/ 5,000.00
	Cambio de empalmes	S/ 5,000.00
	Cambio de válvula	S/ 10,000.00
	Cambio de motor modulador	S/ 20,000.00
	Bomba de caldero	Cambio de cojinetes
Aislar los elementos internos		S/ 5,000.00
Mantenimiento de pernos y engranajes		S/ 8,000.00
Mantenimiento de bornes		S/ 8,000.00
Cambio de fusibles		S/ 5,000.00
Cambio de motor		S/ 20,000.00
Cambio de cojinetes		S/ 5,000.00
Bomba de termotanque	Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
	Mantenimiento de pernos y engranajes	S/ 8,000.00
	Cambio de fusibles	S/ 5,000.00
	Cambio de motor	S/ 10,000.00
	Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
	Mantenimiento de los fluidos	S/ 8,000.00
	Cambio de válvula check	S/ 10,000.00
	Cambio de rodete	S/ 5,000.00
	Cambio de aislamientos	S/ 5,000.00
	Cambio de sellos y empaquetaduras	S/ 5,000.00
Calentador	Cambio de sensor	S/ 10,000.00
	Secado de fotocelda	S/ 5,000.00
	Cambio de presostato	S/ 5,000.00
	Cambio de válvulas	S/ 10,000.00



ASSOCIADO DE MEMBRO DE
Health Cluster Portugal
 Polo de Competitividade da Saúde



EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL SIDKA S.A.



Lima, 20 de abril del 2019

Hospital Regional de Lambayeque
Lambayeque

Cordial saludo reciban ustedes.

Enviamos nuestras cotizaciones de servicios de mantenimiento, de acuerdo con lo solicitado.

Para la bomba de agua dura:

ACTIVIDADES	COSTO
Cambio de sellos y empaquetaduras	S/ 5,000.00
Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
Mantenimiento de los ejes	S/ 8,000.00
Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
Mantenimiento de pernos y engranajes	S/ 8,000.00
Cambio de chaveta de eje	S/ 5,000.00

Para la bomba de agua blanda:

ACTIVIDADES	COSTO
Mantenimiento de los fluidos	S/ 8,000.00
Cambio de válvula check	S/ 10,000.00
Mantenimiento del pasador oscilante	S/ 8,000.00
Mantenimiento de pernos y engranajes	S/ 8,000.00
Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
Cambio de rodete	S/ 5,000.00
Aislar los elementos internos	S/ 5,000.00
Cambio de sellos y empaquetaduras	S/ 5,000.00

EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL SIDKA S.A.



Para la bomba de agua para ablandador:

ACTIVIDADES	COSTO
Cambio de cojinetes	S/ 5,000.00
Mantenimiento de pernos y engranajes	S/ 8,000.00
Cambio de rodete	S/ 5,000.00
Aislar los elementos internos	S/ 5,000.00
Cambio de sellos y empaquetaduras	S/ 5,000.00
Mantenimiento del pasador oscilante	S/ 8,000.00

Para el incinerador pirolítico:

ACTIVIDADES	COSTO
Cambio de disco	S/ 5,000.00
Mantenimiento de ejes y guías	S/ 8,000.00
Tensionar el muelle	S/ 5,000.00
Cambio de resorte	S/ 5,000.00
Mantenimiento de la antorcha	S/ 8,000.00
Mantenimiento de filtros	S/ 8,000.00
Aislar la antorcha	S/ 5,000.00

Esta cotización tiene validez del 22 de julio del 2019 al 22 de diciembre del 2019, cualquier inquietud comunicarse con nuestras líneas telefónicas.

Atentamente,

Karen Cruz Bernal

Jefe de ventas

+34 93 246 30 18 - oficina

ANEXO E: fichas de opinión de expertos

Universidad Señor de Sipán

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

FICHA DE OPINIÓN DE EXPERTOS

Apellido y nombres del experto: Castro Torres Melissa

Grado Académico: Ingeniería Industrial

Cargo e Institución: Coordinadora de Prácticas Para Profesionales

Nombre del instrumento a validar: Folleto de Investigación

Autor del instrumento: Pérez Alegre Julia

Título del Proyecto de Tesis:
"Gestión de Mantenimiento para reducir costos en el Área de
Electromecánica del Hospital Regional Lambayeque"

Indicadores	Criterios	Calificación			
		Deficiente	Regular	Bueno	Muy Bueno
		De 0 a 5	De 6 a 10	De 11 a 15	De 16 a 20
Claridad	los ítems están formulados con lenguaje apropiado y comprensible.				X
Organización	Existe una organización lógica en la redacción de los ítems.				X
Suficiencia	Los ítems son suficientes para medir los indicadores de las variables.				X
Validez	El instrumento es capaz de medir lo que se requiere.				X
Viabilidad	Es viable su aplicación.				X

Valoración

Puntaje: (De 0 a 20) 18

Calificación: (De Deficiente a Muy Bien) Muy bueno

Observaciones

Faltó profundizar algunos ítems en
costos mensuales o anuales por mantenimiento preventivo o correctivo.

Fecha: 25-05-18

Firma: Melissa Castro

DNI: 44404778

Universidad Señor de Sipán

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

FICHA DE OPINIÓN DE EXPERTOS

Apellido y nombres del experto: LARREA COLCHADO Luis ROBERTO
 Grado Académico: MAESTRO
 Cargo e Institución: DOCENTE / USS
 Nombre del instrumento a validar: ENTREVISTA
 Autor del instrumento: PEREZ MEGRÍA Julio JOSÉ

Título del Proyecto de Tesis:
"ESTUDIO DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL AREA DE ELECTROMECAÁNICA DEL HOSPITAL REGIONAL LAMBAYEQUE"

Indicadores	Criterios	Calificación			
		Deficiente	Regular	Bueno	Muy Bueno
		De 0 a 5	De 6 a 10	De 11 a 15	De 16 a 20
Claridad	los ítems están formulados con lenguaje apropiado y comprensible.				✓
Organización	Existe una organización lógica en la redacción de los ítems.				✓
Suficiencia	Los ítems son suficientes para medir los indicadores de las variables.			✓	
Validez	El instrumento es capaz de medir lo que se requiere.				✓
Viabilidad	Es viable su aplicación.				✓

Valoración

Puntaje: (De 0 a 20) 18
 Calificación: (De Deficiente a Muy Bien) Muy Bien

Observaciones

.....

Fecha: 24 MAYO - 2018
 Firma: Luis R. Larrea
 DNI: 41139472