



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**Implementación de un plan de mantenimiento preventivo  
basado en la metodología RCM para incrementar la  
disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén –  
Lambayeque**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico**

**Elaborada por:**

Bach. Monsalve Esteves Emmanuel Augusto Saul

**Asesor:**

Ing. Aznarán Guevara Sandra Lisette

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

11 de setiembre de 2026

**Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**

**Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para  
incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque**

Autor:

Bach. Monsalve Esteves Emmanuel Augusto Saul



Asesora:

Dra. Ing. Sandra Lisette Azarán Guevara

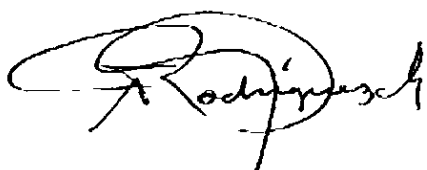


**Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo**  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**

**Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para  
incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén - Lambayeque**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico**

Sustentada y aprobada ante los siguientes miembros del jurado:



---

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos  
Presidente



---

Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio  
Secretario



---

Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista  
Vocal



## ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 004-2026-D/FACFyM

Siendo las 11:30 am del día 11 de setiembre del 2026, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/bsw-sxaw-kvo?authuser=0> los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

**“Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque”**

Designados por Resolución N° 354-2025-D/FACFyM de fecha 24 de abril de 2025.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos | Presidente |
| Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio    | Secretario |
| Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista   | Vocal      |

La tesis fue asesorada por la Dra. Ing. Sandra Lisette Aznaran Guevara, nombrado por Resolución N° 354-2025-D/FACFyM de fecha 24 de abril de 2025.

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 652-2026-D/FACFyM de fecha 10 de setiembre de 2026.

La Tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller: **Monsalve Esteves, Emmanuel Augusto Saul**, y tuvo una duración de 20 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de diecisiete (17) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Por lo que queda apto para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico**, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:40 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos  
Presidente

Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio  
Secretario

Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista  
Vocal

Dra. Ing. Sandra Lisette Aznaran Guevara  
Asesor

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**  
**(RESOLUCIÓN N° 626-2021-CU DEL 30 DE DICIEMBRE 2021)**

Yo, Sandra Lisette Aznarán Guevara, usuario revisor del documento titulado **Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén –Lambayeque**. Su autor: **Bach. Monsalve Esteves Emmanuel Augusto Saul**, identificado con documento de identidad 71717424 ; declaro que la evaluación realizada por el programa informático ha arrojado un porcentaje de similitud de 15%, verificable en el resumen de reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituye plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 28 de Agosto de 2026.



Ing. Sandra Lisette Aznarán Guevara

DNI: 41855493

Asesor

(Precisar si es docente, asesor, docente investigador, administrativo u otro)

Se adjunta:

\*Resumen de Reporte automatizado de similitudes

\*Recibo digital

# Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|    |                                                                                      |                        |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----|
| 1  | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a>                                   | Fuente de Internet     | 2%  |
| 2  | <a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a>               | Fuente de Internet     | 2%  |
| 3  | <a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a>                   | Fuente de Internet     | 1%  |
| 4  | Submitted to Universidad Católica de Santa María                                     | Trabajo del estudiante | 1%  |
| 5  | <a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a>                           | Fuente de Internet     | <1% |
| 6  | Submitted to Universidad Tecnológica del Peru                                        | Trabajo del estudiante | <1% |
| 7  | Submitted to Universidad Continental                                                 | Trabajo del estudiante | <1% |
| 8  | Submitted to Integración Blackboard                                                  | Trabajo del estudiante | <1% |
| 9  | Submitted to Universidad Cesar Vallejo                                               | Trabajo del estudiante | <1% |
| 10 | <a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a>                   | Fuente de Internet     | <1% |
| 11 | <a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a>                 | Fuente de Internet     | <1% |
| 12 | <a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a>                       | Fuente de Internet     | <1% |
| 13 | <a href="http://www.investigarmqr.com">www.investigarmqr.com</a>                     | Fuente de Internet     | <1% |
| 14 | <a href="http://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> | Fuente de Internet     | <1% |

[repositorio.continental.edu.pe](http://repositorio.continental.edu.pe)



Dra. Ing. Sandra Lisette Aznarán Guevara  
ASESORA  
DNI: 41855493

|    |                                                                                                                                                                                                   |      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 15 | Fuente de Internet                                                                                                                                                                                | <1 % |
| 16 | Submitted to Universidad Andrés Bello<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                                   | <1 % |
| 17 | repositorio.upn.edu.pe<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                      | <1 % |
| 18 | www.dspace.espol.edu.ec<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                     | <1 % |
| 19 | Jara Zuñiga, Ruben Washington. "Las fases del Inverte.pe y la ejecución presupuestal del Gobierno Regional de Puno 2019 - 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)<br>Publicación | <1 % |
| 20 | Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo<br>Trabajo del estudiante                                                                                                            | <1 % |
| 21 | Submitted to Universidad de Antioquia<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                                   | <1 % |
| 22 | www.coursehero.com<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                          | <1 % |
| 23 | www.przetargi.info<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                          | <1 % |
| 24 | noesis.uis.edu.co<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                           | <1 % |
| 25 | upc.aws.openrepository.com<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                  | <1 % |
| 26 | repositorio.uide.edu.ec<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                     | <1 % |
| 27 | www.py.computrabajo.com<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                     | <1 % |
| 28 | uticvirtual.edu.py<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                          | <1 % |
| 29 | repositorio.unprg.edu.pe:8080<br>Fuente de Internet                                                                                                                                               | <1 % |
| 30 | Submitted to Universidad Peruana de Ciencias e Informatica<br>Trabajo del estudiante                                                                                                              | <1 % |
| 31 | dspace.espoch.edu.ec:8080<br>Fuente de Internet                                                                                                                                                   | <1 % |



Dra. Ing. Sandra Lisette Aznarán Guevara  
ASESORA

DNI: 41855493

|    |                                                                                                |      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 32 | <a href="http://poz.unexpo.org">poz.unexpo.org</a><br>Fuente de Internet                       | <1 % |
| 33 | <a href="http://repositorio.ues.edu.sv">repositorio.ues.edu.sv</a><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 34 | <a href="http://repositorio.utp.edu.pe">repositorio.utp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 35 | <a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 36 | <a href="#">Submitted to unsaac</a><br>Trabajo del estudiante                                  | <1 % |
| 37 | <a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |
| 38 | <a href="http://lpderecho.pe">lpderecho.pe</a><br>Fuente de Internet                           | <1 % |
| 39 | <a href="#">Submitted to Universidad Cientifica del Sur</a><br>Trabajo del estudiante          | <1 % |
| 40 | <a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 41 | <a href="#">Submitted to Universidad Andina del Cusco</a><br>Trabajo del estudiante            | <1 % |
| 42 | <a href="#">Submitted to Universidad Europea de Madrid</a><br>Trabajo del estudiante           | <1 % |
| 43 | <a href="#">Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</a><br>Trabajo del estudiante   | <1 % |
| 44 | <a href="#">Submitted to Universidad Privada del Norte</a><br>Trabajo del estudiante           | <1 % |
| 45 | <a href="http://angelmendizabal.com">angelmendizabal.com</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |
| 46 | <a href="http://www.conaemi.org.mx">www.conaemi.org.mx</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 47 | <a href="http://www.genomaf.com">www.genomaf.com</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 48 | <a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a><br>Fuente de Internet                         | <1 % |

[prodern.minam.gob.pe](http://prodern.minam.gob.pe)



Dra. Ing. Sandra Lisette Aznarán Guevara  
ASESORA  
DNI: 41855493

|    |                                                              |      |
|----|--------------------------------------------------------------|------|
| 49 | Fuente de Internet                                           | <1 % |
| 50 | repositorio.upeu.edu.pe<br>Fuente de Internet                | <1 % |
| 51 | www.iberomex.com<br>Fuente de Internet                       | <1 % |
| 52 | encolombia.com<br>Fuente de Internet                         | <1 % |
| 53 | intra.uigv.edu.pe<br>Fuente de Internet                      | <1 % |
| 54 | journal.accountingpointofview.id<br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 55 | repositorioslatinoamericanos.uchile.cl<br>Fuente de Internet | <1 % |
| 56 | studylib.es<br>Fuente de Internet                            | <1 % |
| 57 | www.regionlambayeque.gob.pe<br>Fuente de Internet            | <1 % |
| 58 | www.wiseguyreports.com<br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 59 | convergia.io<br>Fuente de Internet                           | <1 % |
| 60 | dspace.espoch.edu.ec<br>Fuente de Internet                   | <1 % |
| 61 | edoc.pub<br>Fuente de Internet                               | <1 % |
| 62 | idoc.tips<br>Fuente de Internet                              | <1 % |
| 63 | kzi.mx<br>Fuente de Internet                                 | <1 % |
| 64 | repositorio.utc.edu.ec<br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 65 | repositoriotec.tec.ac.cr<br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 66 | www.raypa.com<br>Fuente de Internet                          |      |





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Emmanuel Monsalve Esteves  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Implementación de un plan de mantenimiento preventivo bas...  
Nombre del archivo: Emmanuel\_Monsalve\_Esteves\_2026\_-\_IE.docx  
Tamaño del archivo: 1.13M  
Total páginas: 81  
Total de palabras: 18,872  
Total de caracteres: 106,615  
Fecha de entrega: 23-jul-2026 10:20p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 3002512066



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



### TESIS

**Implementación de un plan de mantenimiento preventivo  
basado en la metodología RCM para incrementar la  
disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén –  
Lambayeque**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico**

### Elaborada por:

Bach. Monsalve Esteves Emmanuel Augusto Saul

### Asesor:

Ing. Azarán Guevara Sandra Lisette

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026

Dra. Ing. Sandra Lisette Azarán Guevara  
ASESORA

DNI: 41855493

## DEDICATORIA

A **Dios**, por ser mi guía constante y por sostener mi fe durante todo mi proceso personal y profesional.

A mi mamá, **Iliana Esteves**, quien con amor, valentía y determinación me inspira a creer en mí mismo y a luchar por mis metas.

A mi papá, **Augusto Esteves**, un caballero de respeto, valores y principios, que me transmite con su ejemplo y a quien admiro profundamente.

A abuelita **Mia Cortez**, por su orientación constante y por sus consejos sabios, que iluminan cada etapa de mi vida.

A mis tías **Jenny, Deisy y Rosa María**, por su cariño y apoyo.

A mis primos **Ammy, Augusto, Rosita y Eduardo**, por ser una motivación constante para dar lo mejor de mí y aspirar a ser un ejemplo para ellos.

Con todo mi cariño y gratitud, esta dedicatoria es para ustedes.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme e iluminarme a lo largo de la realización del presente estudio.

A mi Alma Máter, la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por sus enseñanzas, orientaciones y apoyo durante mi formación académica.

A mi asesora, **Sandra Aznarán**, por su orientación académica, acompañamiento y disposición para la elaboración de la tesis.

De manera especial, agradezco al **ingeniero electrónico Juan Sánchez Nanfuñay**, por su orientación y confianza brindada, que aportaron a mi desarrollo profesional y académico.

Finalmente, a mi familia, gracias por su constante apoyo y acompañamiento durante toda mi vida personal y académica.

## ÍNDICE

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                                                       | 8  |
| ABSTRACT.....                                                                      | 9  |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                               | 10 |
| 1.1. Situación problemática.....                                                   | 10 |
| 1.2. Formulación del problema de investigación.....                                | 11 |
| 1.3. Hipótesis.....                                                                | 12 |
| 1.4. Objetivos.....                                                                | 12 |
| II. DISEÑO TEÓRICO.....                                                            | 13 |
| 2.1. Antecedentes.....                                                             | 13 |
| 2.3. Bases Teóricas.....                                                           | 18 |
| 2.4. Bases conceptuales (Operacionalización o conceptualización de variables)..... | 28 |
| III. DISEÑO METODOLÓGICO.....                                                      | 29 |
| 3.1. Procedimiento a seguir en la investigación.....                               | 29 |
| 3.2. Población y muestra.....                                                      | 30 |
| 3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....                             | 30 |
| IV. RESULTADOS.....                                                                | 31 |
| V. DISCUSIÓN.....                                                                  | 68 |
| VI. CONCLUSIONES.....                                                              | 70 |
| VII. RECOMENDACIONES.....                                                          | 71 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                  | 72 |
| ANEXOS.....                                                                        | 77 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Matriz de operacionalización.....                                              | 28 |
| <b>Tabla 2</b> Matriz de contrastación de causas.....                                         | 32 |
| <b>Tabla 3</b> Análisis de frecuencias.....                                                   | 33 |
| <b>Tabla 4</b> Fallas presentadas en equipos biomédicos.....                                  | 35 |
| <b>Tabla 5</b> Disponibilidad inicial en equipos biomédicos.....                              | 36 |
| <b>Tabla 6</b> Valores de Frecuencia de Fallas (FF).....                                      | 38 |
| <b>Tabla 7</b> Valores de Impacto Operacional (IO).....                                       | 39 |
| <b>Tabla 8</b> Valores de Flexibilidad Operacional (FO).....                                  | 39 |
| <b>Tabla 9</b> Valores de Costo de Mantenimiento (CM).....                                    | 39 |
| <b>Tabla 10</b> Valores de Seguridad Ambiente e Higiene (SAH).....                            | 39 |
| <b>Tabla 11</b> Matriz de clasificación de equipos biomédicos según criticidad.....           | 41 |
| <b>Tabla 12</b> Niveles de criticidad de los equipos biomédicos.....                          | 42 |
| <b>Tabla 13</b> Relación entre normativa del Estado peruano y la investigación.....           | 44 |
| <b>Tabla 14</b> Evaluación del cumplimiento normativo en el Hospital Belén – Lambayeque....   | 44 |
| <b>Tabla 15</b> Alineación del plan RCM con la normativa del MINSA.....                       | 45 |
| <b>Tabla 16</b> Análisis de fallas del Equipo de anestesia.....                               | 46 |
| <b>Tabla 17</b> Análisis de fallas del Equipo de Rayos X Arco en C.....                       | 47 |
| <b>Tabla 18</b> Análisis de fallas de la Mesa Hidráulica para Operación Quirúrgica.....       | 48 |
| <b>Tabla 19</b> Análisis de fallas del Ecógrafo o Ultrasonido Portátil.....                   | 48 |
| <b>Tabla 20</b> Análisis de fallas del Cuna de Calor Radiante 1.....                          | 49 |
| <b>Tabla 21</b> Análisis de fallas del Ecógrafo o Ultrasonido Fijo.....                       | 49 |
| <b>Tabla 22</b> Análisis de fallas del Monitor Multiparamétrico de 5 Parámetros.....          | 50 |
| <b>Tabla 23</b> Análisis de fallas del Cuna de Calor Radiante 2.....                          | 50 |
| <b>Tabla 24</b> Análisis de fallas del Monitor Multiparamétrico.....                          | 51 |
| <b>Tabla 25</b> Análisis de fallas del Detector de Latidos Fetales de Sobremesa.....          | 51 |
| <b>Tabla 26</b> Plan de mantenimiento del Equipo de anestesia.....                            | 52 |
| <b>Tabla 27</b> Plan de mantenimiento del Equipo de Rayos X Arco en C.....                    | 53 |
| <b>Tabla 28</b> Plan de mantenimiento del de la Mesa Hidráulica para Operación Quirúrgica.... | 53 |
| <b>Tabla 29</b> Plan de mantenimiento del Ecógrafo o Ultrasonido Portátil.....                | 54 |
| <b>Tabla 30</b> Plan de mantenimiento del Cuna de Calor Radiante 1.....                       | 55 |

|                  |                                                                         |    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 31</b>  | Plan de mantenimiento del Ecógrafo o Ultrasonido Fijo.....              | 55 |
| <b>Tabla 32</b>  | Plan de mantenimiento del Monitor Multiparamétrico de 5 Parámetros..... | 56 |
| <b>Tabla 33</b>  | Plan de mantenimiento del Cuna de Calor Radiante 2.....                 | 56 |
| <b>Tabla 34</b>  | Plan de mantenimiento del Monitor Multiparamétrico.....                 | 57 |
| <b>Tabla 35</b>  | Plan de mantenimiento del Detector de Latidos Fetales de Sobremesa..... | 58 |
| <b>Tabla 36</b>  | Disponibilidad final en equipos biomédicos.....                         | 63 |
| <b>Tabla 37.</b> | Inversión del plan de mantenimiento.....                                | 64 |
| <b>Tabla 38.</b> | Capacitaciones.....                                                     | 65 |
| <b>Tabla 39.</b> | Gastos anuales.....                                                     | 65 |
| <b>Tabla 40.</b> | Depreciación.....                                                       | 66 |
| <b>Tabla 41.</b> | Flujo de caja.....                                                      | 67 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Sistema de gestión RCM.....               | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Técnicas en mantenimiento.....            | 21 |
| <b>Figura 3.</b> Variables asociadas al modo de falla..... | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Diagrama de Ishikawa.....                 | 31 |
| <b>Figura 5.</b> Diagrama de Pareto.....                   | 34 |
| <b>Figura 6.</b> Paso 01.....                              | 58 |
| <b>Figura 7.</b> Paso 02.....                              | 59 |
| <b>Figura 8.</b> Paso 03.....                              | 59 |
| <b>Figura 9.</b> Paso 04.....                              | 60 |
| <b>Figura 10.</b> Paso 05.....                             | 60 |
| <b>Figura 11.</b> Paso 06.....                             | 61 |
| <b>Figura 12.</b> Paso 07.....                             | 61 |
| <b>Figura 13.</b> Paso 08.....                             | 62 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo implementar de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y de diseño experimental. Los resultados que se obtuvieron fueron que el estudio mostró que la baja disponibilidad de los equipos biomédicos se debe sobre todo a la falta de aplicación de la metodología RCM, la mayoría de equipos presentan alta criticidad, especialmente el ecógrafo y los monitores multiparámetro, el plan de mantenimiento propuesto incluye inspecciones y calibraciones esenciales para asegurar su correcto funcionamiento, el análisis económico confirma su viabilidad, con un VAN positivo, una TIR del 16.01 % y un B/C de 3.63. Finalmente se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM incrementó la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque en un 3.31%.

**Palabras Clave:** Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, Beneficio/Costo, Disponibilidad, Tiempo promedio entre fallas y Tiempo promedio entre reparaciones.

## **ABSTRACT**

This research aimed to implement a preventive maintenance plan based on the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to increase the availability of biomedical equipment at Belén Hospital in Lambayeque. The methodology employed was applied, quantitative, and experimental in design. The results showed that the low availability of biomedical equipment is primarily due to the lack of application of the RCM methodology. Most of the equipment exhibits high criticality, especially the ultrasound machine and multiparameter monitors. The proposed maintenance plan includes essential inspections and calibrations to ensure proper functioning. The economic analysis confirms its viability, with a positive Net Present Value (NPV), an Internal Rate of Return (IRR) of 16.01%, and a Benefit-Cost Ratio (B/C) of 3.63. In conclusion, the implementation of a preventive maintenance plan based on the RCM methodology increased the availability of biomedical equipment at Belén Hospital in Lambayeque by 3.31%.

**Keywords:** Net Present Value, Internal Rate of Return, Benefit/Cost, Availability, Mean Time Between Failures, and Mean Time Between Repairs.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Situación problemática

A nivel mundial, la planificación del mantenimiento de equipamiento médico son un factor clave para asegurar el buen servicio a los pacientes y el desempeño en la red de salud, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), un porcentaje mayor del 50% de los equipos biomédicos en naciones en desarrollo no funcionan correctamente a causa de la carencia de mantenimiento preventivo, esta situación provoca demoras en la atención, costos elevados en reparaciones de emergencia y, lo más grave, compromete la calidad del servicio de salud (A. S. Komarov et al., 2024). Diversos estudios indican que la metodología RCM ha permitido reducir hasta en un 40% los costos de mantenimiento e incrementar en un 30% la disponibilidad de los equipos (Huang et al., 2024). En hospitales de Europa y Estados Unidos, esta metodología ha logrado disminuir las fallas críticas de equipos en más de un 35%, garantizando su funcionamiento óptimo en situaciones de emergencia (Zhou et al., 2025).

En el Perú, la realidad no es diferente, informes del Ministerio de Salud han revelado que aproximadamente el 35% del equipamiento médico en nosocomios del estado presentan fallas frecuentes a causa de la carencia de un mantenimiento apropiado, esto significa que, en muchos casos, los médicos y enfermeras deben buscar soluciones improvisadas o derivar pacientes a otros centros de salud, aumentando el tiempo de espera y poniendo en riesgo vidas humanas (Espino et al., 2024). Un estudio realizado en el Hospital Nacional Alberto Sabogal Sologuren evidenció que más del 40% de sus equipos biomédicos sufrían desperfectos recurrentes por la falta de un plan de mantenimiento estructurado, en otros hospitales del país, el panorama es similar, la falta de personal técnico especializado, ausencia de estrategias de mantenimiento y equipos obsoletos que, en lugar de ayudar, se convierten en obstáculos para la atención médica (Reyes y Valiente, 2023).

El Hospital Belén de Lambayeque es una de las instituciones de salud importantes de la región, atendiendo a gran cantidad de pacientes cada mes, sin embargo, al igual que en muchos hospitales del país, la carencia de mantenimiento apropiado en el equipamiento biomédico ha generado interrupciones en la atención y un desgaste prematuro de la tecnología médica (Blanquillo y Santos, 2024). Recientemente, el hospital ha recibido una

inversión de más de S/. 4,445,732.71 para la construcción de una central de esterilización y la compra de nuevos equipos biomédicos, si bien esta es una noticia buena, adquirir nuevos equipos no es suficiente si no se garantiza su operatividad duradera, sin una planificación de mantenimiento, estos equipos podrían deteriorarse rápidamente, obligando al hospital a realizar costosas reparaciones o reemplazos en pocos años (Ministerio de Economía y Finanzas, 2024).

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM en el Hospital Belén de Lambayeque no solo incrementará la disponibilidad del equipamiento biomédico, además mejorará la calidad del servicio médico, reducirá costos asociados a reparaciones inesperadas y garantizará la seguridad de los pacientes, esta estrategia alineará al hospital con las mejores prácticas internacionales en gestión de mantenimiento de equipos de salud.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1. Problema General**

¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo determinar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén?
- ¿De qué manera se identifican los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén en base al análisis de criticidad?
- ¿Cómo se implementa el plan de mantenimiento basado en RCM para los equipos biomédicos en el Hospital Belén?
- ¿Cuál es el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos del Hospital Belén?

### **1.3. Hipótesis**

#### **1.3.1. Hipótesis General**

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque.

#### **1.3.2. Hipótesis Específicas**

- La causa principal de las fallas de los equipos biomédicos en el Hospital Belén es la carencia de un plan de mantenimiento preventivo.
- Los equipos biomédicos críticos son aquellos que han presentado mayor cantidad de fallas en el Hospital Belén.
- La implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM mejora la disponibilidad de los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.
- El cálculo del beneficio/costo determina la inversión total de la implementación del plan de mantenimiento para los equipos biomédicos en el Hospital Belén.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Implementar de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén.
- Identificar los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén mediante un análisis de criticidad.
- Realizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM en los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.
- Determinar el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.

## II. DISEÑO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Dentro de los trabajos de investigación en el ámbito internacional se han encontrado los siguientes:

Según Aguilar y Rodríguez (2023), en su estudio tuvieron como finalidad mejorar el servicio del equipamiento biomédico industrial mediante un plan de mantenimiento preventivo en el Centro Oriente E.S.E. Bogotá. La metodología utilizada correspondió a un estudio de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo, además de un diseño experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica utilizada fue la observación junto a la ficha de observación. Los hallazgos que se tuvieron fueron que se intervinieron los equipos más críticos, siendo el 20% de la totalidad, a su vez cabe resaltar que la disponibilidad previa a la implementación del plan de mantenimiento fue de 85.26%, mientras que la disponibilidad posterior fue de 96.23%. Finalmente se concluyó que al aplicar un plan de mantenimiento mejoró a 10.97% la disponibilidad del equipamiento, a su vez se tuvo un costo beneficio óptimo, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

Según Ganchozo y Helguero (2024), en su estudio tuvieron como finalidad realizar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en el equipamiento biomédico de un centro de salud de segundo nivel. La metodología utilizada fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño no experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica utilizada fue el análisis documental junto a su instrumento, la ficha documental. Los hallazgos que se tuvieron fueron que tras el análisis de las diferentes incidencias en el equipamiento son causadas por la ausencia de un departamento de ingeniería biomédica, carencia de un plan de mantenimiento preventivo, falta de ingenieros biomédicos, inadecuados procedimientos de planificación y la falta de capacitaciones, se plantearon diferentes tipos de actividades de mantenimiento como la verificación de condiciones ambientales, inspección y ajuste de cables, lubricación y limpieza de los equipos, pruebas de funcionamiento diarias, revisión de conectores, realización de pruebas de radiación, entre otras. Finalmente, se concluye que se logró diseñar una planificación de mantenimiento preventivo, basado en las fallas y sus causas analizadas en función a los equipos con mayor criticidad.

Según Chinome et al. (2023), tuvieron como propósito diseñar un plan de mantenimiento preventivo ligado a los activos físicos en Biomédica Colombia SAS. La metodología que se utilizó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño no experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue el análisis documental junto a la ficha documental. Los hallazgos obtenidos evidenciaron que, tras el análisis de las diferentes averías en el equipamiento causadas por la falta de un plan de mantenimiento, se plantearon diversas actividades, como la verificación del estado físico de los equipos, limpieza de los equipos, preservación de los conectores y cables de alimentación, verificación de las alarmas, análisis de la válvula NIBP, evaluación del sensor SP02, inspección de las mangueras, inspección de derivadas ECG, entre otras. Finalmente, se concluye que se logró diseñar un plan de mantenimiento preventivo, basado en las fallas y sus causas analizadas en función a los equipos con mayor criticidad.

Según Castañeda et al. (2022), en su investigación tuvieron como finalidad reducir el tiempo de inoperatividad de equipamiento biomédico mediante un plan de mantenimiento en una entidad prestadora de salud de Bogotá. El método que se utilizó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño no experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue el análisis documental junto a la ficha documental. Los hallazgos que se tuvieron fueron que tras el análisis realizado para poder establecer las tareas se debe calcular la disponibilidad y confiabilidad del equipamiento biomédico, con la propuesta de mantenimiento del presente trabajo se mejora los procesos de compras para la obtención de repuestos y materiales, a su vez mejora el proceso de inventario y capacitación al personal técnico y asistencial. En conclusión, el plan de mantenimiento presenta viabilidad económica para la entidad de salud en Bogotá.

Según Torres et al. (2022), en su estudio tuvieron como finalidad mejorar el servicio de transporte público de los autobuses eléctricos mediante el ajuste de un plan de mantenimiento en la ciudad de Bogotá. La metodología que se utilizó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño no experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue el análisis documental junto a la ficha documental. Los hallazgos obtenidos fueron que en la ciudad de Bogotá existen un total de 13 856 vehículos y de ellos 8872 se ubican dentro de los contratos con Transmilenio y SITP, y dentro de ellos existe un

total de 321 autobuses eléctricos BYD para los cuales se ejecutará un plan de mantenimiento enfocado en ajustes en los cuales se tomará en cuenta las necesidades de operación. Finalmente se concluye que se mejoró el servicio público de los autobuses eléctricos de la ciudad de Bogotá mediante los ajustes del plan de mantenimiento propuestos.

A su vez se han recopilado trabajos de investigación en el ámbito nacional, los cuales son:

Según Caceres y Quecaño (2024), en su investigación tuvieron como finalidad incrementar la disponibilidad del equipamiento médico mediante una planificación de mantenimiento en el hospital Hipólito Unanue. La metodología que se aplicó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue la observación junto a la ficha de observación, con una muestra de 4 equipos. Los hallazgos que se tuvieron fueron que en el análisis realizado antes de aplicar el plan se tuvo un porcentaje de disponibilidad de 63.36% de los equipos, mientras que en el estudio que se realizó después de aplicarse las actividades de mantenimiento se tuvo una disponibilidad del 95.37%. Finalmente se concluyó que la aplicación de un plan de mantenimiento mejoró en un 50.51% la disponibilidad de los equipos, a su vez se tuvo un costo beneficio de 1.89, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

Según Salinas y León (2021), en su tesis tuvieron como finalidad incrementar la disponibilidad de los equipos de osmosis a través de un plan de mantenimiento en un hospital de Trujillo. La metodología que se aplicó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica fue la observación junto a la ficha de observación, con una muestra de 18 equipos. Los hallazgos que se tuvieron fueron que en el pre - test se tuvo un porcentaje de disponibilidad de 95.63% de los equipos, mientras que en el estudio que se realizó después de aplicarse las actividades de mantenimiento se tuvo una disponibilidad del 97.69%. Finalmente se concluyó que la aplicación de un plan de mantenimiento mejoró en un 2.06% la disponibilidad de los equipos, a su vez se tuvo un costo beneficio de 2.75, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

Según Cossio (2021), en su estudio tuvo como finalidad mejorar la confiabilidad y menorar costos de producción del equipamiento biomédico a través de un plan de

mantenimiento preventivo en la Clínica San Pablo Trujillo. La metodología que se aplicó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue el análisis documental junto a la ficha documental. Los hallazgos que se tuvieron fueron que en pre – test se tuvo un porcentaje de disponibilidad y confiabilidad de los equipos es de 61.08% - 93.90% y 70.91% - 95.75% respectivamente, además el costo de mano de obra es de 37 625 soles por año, mientras que en el estudio que se realizó después de aplicarse las actividades de mantenimiento se tuvo una disponibilidad y confiabilidad de los equipos del 85.95% - 98.10% y 88.02% - 97.98% respectivamente, a su vez el costo de mano de obra fue de 33 600 soles. Finalmente se concluyó que se mejoró en un 16.83% la disponibilidad de los equipos y en un 5.99% la confiabilidad de estos, a su vez se tuvo un costo beneficio óptimo, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

Según Rodriguez (2024), en su investigación tuvo como finalidad optimizar la disponibilidad de los equipos biomédicos mediante la gestión de un mantenimiento en una empresa proveedora de Lima. La metodología que se aplicó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño cuasi - experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica empleada fue la observación junto a la ficha de observación, la muestra fue de 12 analizadores de gases. Los hallazgos que se tuvieron fueron que en el pre- test se tuvo un MTBF de 20.74 horas, un MTTR de 2.1 horas, una disponibilidad de 90.7% y un TTO de 647.88 horas, mientras que en el estudio que se realizó después de aplicarse las actividades de mantenimiento se tuvo un MTBF de 42.7 horas, un MTTR de 1.62 horas, una disponibilidad de 96% y un TTO de 708.5 horas. Finalmente se concluyó que se mejoró en un 106.02% el MTBF, en un 22.74% el MTTR y en un 5.3% la disponibilidad de los equipos, a su vez se tuvo un costo beneficio de 1.82, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

Según Vadillo (2023), en su investigación tuvo como finalidad optimizar la mejorar el servicio de camas mediante la aplicación de mantenimiento preventivo en un centro de rehabilitación en Lima. La metodología que se aplicó fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, además de un diseño experimental, a su vez cabe recalcar que la técnica utilizada fue la observación junto a la ficha de observación. Los hallazgos que se tuvieron fueron que

en el análisis realizado antes de aplicar la planificación de mantenimiento se tuvo un aumento en la eficacia de 89.04%, una eficiencia de 88.54% y una efectividad de 78.32%. Finalmente se concluye que se logró optimizar el servicio de camas en el centro de rehabilitación, a su vez se tuvo un costo beneficio óptimo, lo que quiere decir que la propuesta es viable económicamente.

## **2.2.**

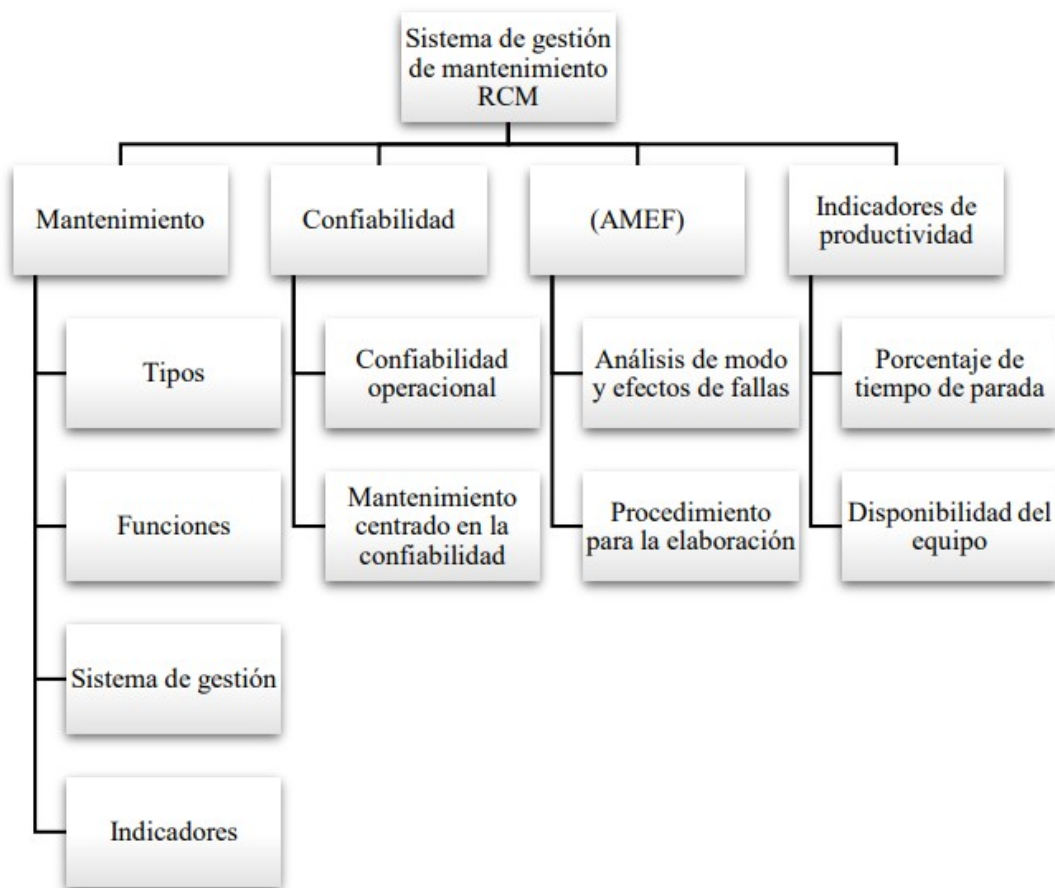
## 2.3. Bases Teóricas

### 2.3.1. Plan de mantenimiento

Es un documento estratégico que define las tareas necesarias para preservar en óptimas condiciones al equipamiento, infraestructuras, activos físicos o sistemas en una organización, su finalidad es evitar fallas y aumentar la disponibilidad de los activos (Vadillo, 2023). Este plan determina los tipos de intervenciones de mantenimiento a realizar, comprendiendo el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, cuándo debe de realizarse, qué recursos se requieren y quiénes serán los responsables de llevarlo a cabo (Peñafiel et al., 2021).

**Figura 1.**

*Sistema de gestión RCM*



*Nota.* Obtenido de Andrade y Herrera (2024)

La metodología RCM optimiza el funcionamiento de los equipos, minimiza los mantenimientos de reparación y reduce las interrupciones no planificadas debido a fallas, cambiar el calendario de labores y parámetros que se ejecutan en el proceso ayuda a tener una evaluación clara de las posibles acciones por falla del equipo y su capacidad de servicio, reduciendo los tiempos de reparación, capacitando al personal y optimizando los métodos de mantenimiento y gestión. AMEF es una herramienta empleada para detectar posibles errores en el procedimiento (Zhou et al., 2025). Para realizar el cumplimiento de AMEF, se deben seguir los siguientes pasos:

- Enumere los pasos de proceso que deben analizarse.
- Lista el número de modos de error potenciales.
- Identifique las fuentes que podrían haber provocado los patrones de falla.
- Examine la gravedad y lo ocurrido.
- Identificar la detención – Análisis del RPN
- Determine todos los puntos que se evaluarán y las medidas necesarias para mejorarlos.

Los resultados de la evaluación de tipo, efecto y falla (AMEF) permiten identificar fallas en sistemas, controles y comandos industriales, esto ayuda a identificar y clasificar objetivamente el impacto, las causas y las repercusiones, detectar problemas potenciales para incrementar la disponibilidad del equipo y minimizar el tiempo de inactividad de la planta (A. Komarov et al., 2024). La empresa en la cual se enfoca el proyecto es de salud, la cual indica fallas presentes en equipos biomédicos ya que no se gestiona un plan de mantenimiento.

#### **2.3.1.1. Metodologías de plan de mantenimiento**

Las metodologías empleadas son enfoques estratégicos diseñados para minimizar costos y evitar fallas inesperadas, una de las más importantes es el RCM, que estudia las funciones y fallas potenciales de los equipos para calcular la estrategia de mantenimiento más eficiente, este enfoque ayuda a priorizar activos críticos y aplicar mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo según el nivel de criticidad y riesgo de cada equipo dentro del sistema productivo (Li et al., 2024).

Otra metodología ampliamente ejecutada es el Mantenimiento Productivo Total, también llamado TPM, que busca aumentar la eficiencia operativa mediante la integración del personal en las acciones de mantenimiento, esta metodología se basa en la mejora continua, la capacitación del personal y la eliminación de pérdidas que puedan dañar la producción (Zhang et al., 2025). Por otro lado, el Mantenimiento Basado en Condición (CBM) emplea tecnologías de supervisión en tiempo real, como sensores de vibración, termografía y ultrasonido, para calificar el estado de los equipos y anticipar posibles fallas, esta metodología ayuda a programar intervenciones solo cuando son necesarias, disminuyendo reparaciones innecesarias y minimizando costos operativos (Matejcek y Agarwal, 2024).

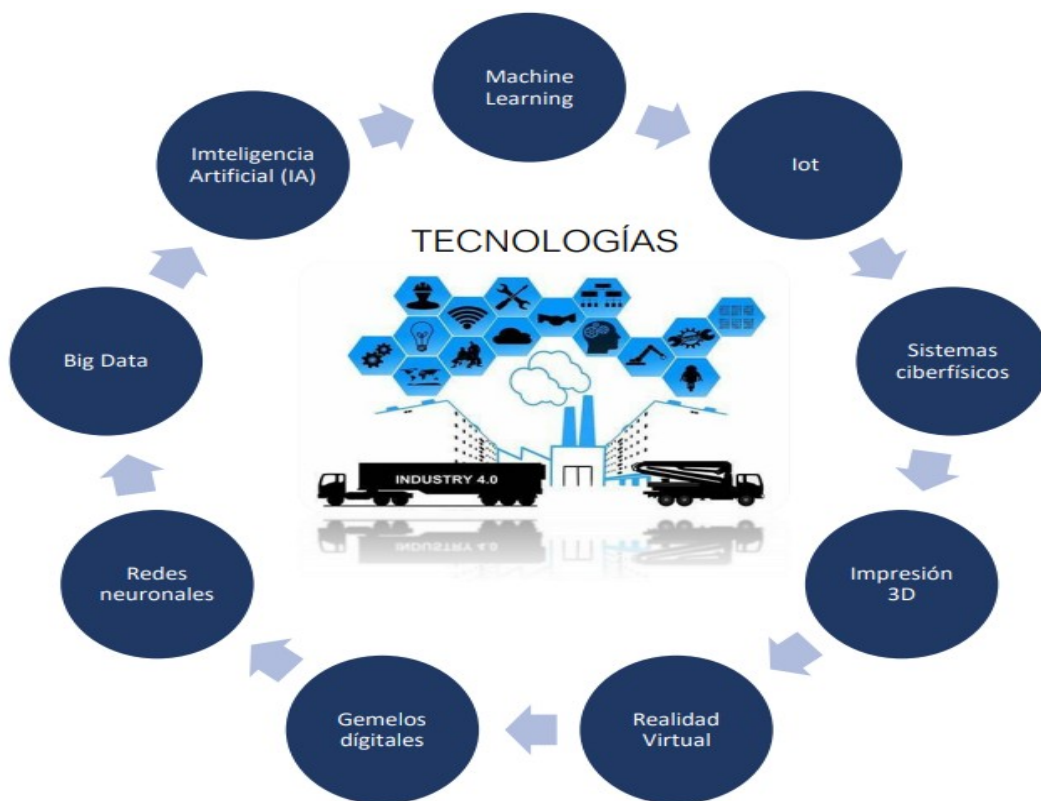
El método de las 5S, cuyo origen es Japón, es fundamental en la gestión del mantenimiento, ya que permite la organización y limpieza del entorno de trabajo para optimizar la eficiencia, sus cinco principios conforman la clasificación de herramientas y materiales innecesarios, la organización de los espacios, la limpieza constante, la estandarización de procesos y la disciplina para mantener estas prácticas a largo plazo., cabe resaltar que cuando una organización enfrenta fallos recurrentes, el Análisis de Causa Raíz (RCA) es una herramienta clave, ya que esta metodología busca detectar y eliminar las causas raíces de los problemas en lugar de solo analizar sus síntomas, esto es posible gracias a técnicas como el método de los "5 porqués (Piwowar y Iqbal, 2024).

Asimismo, el Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) facilita priorizar las actividades de mantenimiento analizando el nivel de riesgo que representa cada equipo, para ello, se califica la probabilidad de fallas y sus consecuencias, ayudando a enfocar los recursos en los activos más críticos y reducir interrupciones en la producción (Sharma et al., 2025). Finalmente, el Mantenimiento Lean, basado en la manufactura esbelta, permite minimizar desperdicios en el proceso de mantenimiento y mejorar los tiempos de intervención. Mediante principios como la mejora continua (Kaizen) y el uso de indicadores de rendimiento, se mejora la eficiencia operativa, cada una de estas metodologías ofrece distintos beneficios específicos y se pueden aplicar de manera individual o combinadas, depende de las necesidades de la organización, un plan de mantenimiento bien estructurado, basado en estas estrategias, no solo optimiza la disponibilidad de los activos, sino que

también mejora los costos y aumenta la seguridad en el entorno de trabajo (Komarov et al., 2024).

**Figura 2.**

*Técnicas en mantenimiento*



*Nota.* Obtenido de Arratia et al. (2023)

### **2.3.1.2. Tipos de plan de mantenimiento**

Se presentan distintos tipos de mantenimiento, cada uno con enfoques específicos para asegurar la buena operación de los equipos, maquinarias e infraestructuras, el mantenimiento predictivo, a diferencia del preventivo, no sigue un patrón fijo, sino que se fundamenta en la supervisión y estudio continuo del estado de los equipos a través de sensores y herramientas de diagnóstico, aplicando técnicas como la termografía, el análisis de vibraciones y el ultrasonido ayudan a identificar señales tempranas de deterioro, lo que permite la intervención antes de que se presente una falla, siendo un mantenimiento bastante

eficiente al evitar intervenciones innecesarias y disminuir los tiempos fuera de servicio (Arratia et al., 2023).

Por otro lado, los mantenimientos correctivos son aplicados cuando la falla se ha presentado, teniendo como propósito fundamental restituir la operatividad del equipo de manera inmediata, este puede ser no programado, cuando el fallo surge de forma inesperada, o programado, cuando se detecta un problema menor y se programa su reparación previniendo una avería mayor; el mantenimiento preventivo se fundamenta en la ejecución de inspecciones y acciones periódicas para evitar fallos futuros, este tipo de mantenimiento se ejecuta en función del tiempo de uso o de la cantidad de trabajo hecho por un equipo, su finalidad es minimizar la probabilidad de averías inesperadas, incrementar la disponibilidad de los activos y optimizar su desempeño (Arratia et al., 2023). Finalmente, el mantenimiento proactivo se orienta en suprimir el origen del fallo en lugar de solo corregirlo o prevenirlo, se fundamenta en un estudio profundo del rendimiento de los equipos y busca optimizar su diseño, operación y condiciones de trabajo, utiliza diversos métodos como el análisis de causa raíz (RCA) y el mantenimiento productivo total (TPM) se emplean para mejorar los sistemas y reducir alguna posibilidad de fallas a largo plazo (Zhang et al., 2025).

#### **2.3.1.3. Beneficios de un plan de mantenimiento**

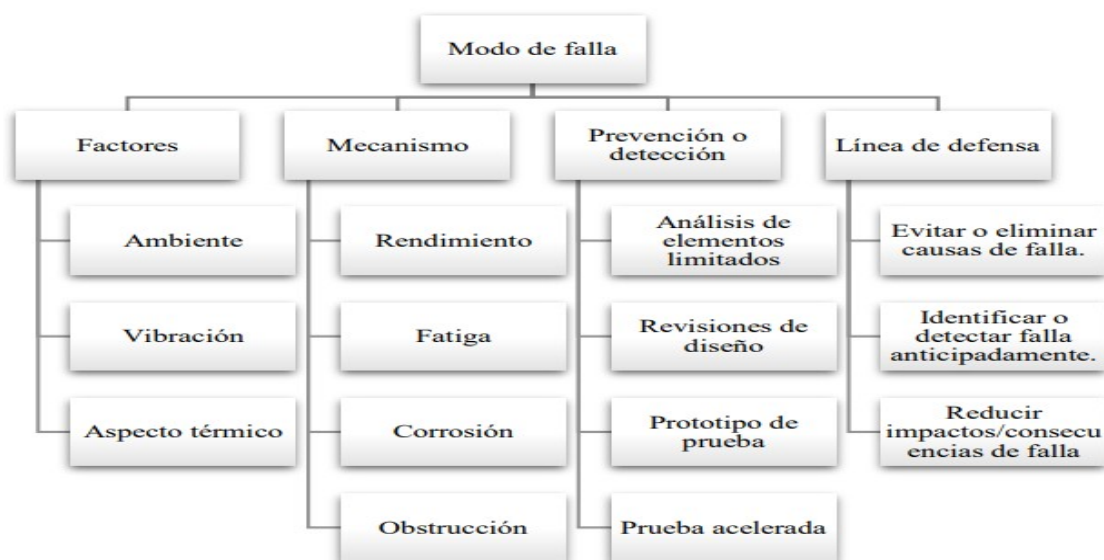
La adecuada estructuración de un plan de mantenimiento bien estructurado aporta diversos beneficios para las empresas, debido a que contribuye a optimizar el desempeño de los equipos, minimizar costos y optimizar la seguridad en el ambiente de trabajo. Uno de los beneficios es la prevención de fallas inesperadas, lo que evita paros inesperados en la producción y asegura la continuidad operativa; cuando los activos reciben mantenimiento constante, su funcionamiento se mantiene continuo y su disponibilidad se incrementa, minimizando la necesidad de reemplazos costosos (Huang et al., 2024). También impacta de forma positiva en la calidad de los productos y servicios, ya que los equipos bien mantenidos aseguran procesos más óptimos y minimizan la posibilidad de defectos en la producción. Además, la planificación del mantenimiento facilita a optimizar mejor la administración del tiempo y los recursos, ya que las actividades se programan de manera eficiente, evitando improvisaciones y optimizando la disponibilidad del personal técnico. También facilita el cumplimiento de normativas y regulaciones, ya que muchas industrias requieren que los

equipos satisfagan con criterios establecidos de seguridad y operatividad que solo pueden garantizarse con un mantenimiento adecuado (Li et al., 2024).

Además, un plan de mantenimiento adecuado disminuye los costos operativos, ya que las reparaciones imprevistas suelen ser más costosas que las intervenciones planificadas. Al implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, se minimizan los gastos en repuestos y mano de obra, permitiendo una utilización más óptima en la gestión de los recursos (Kim et al., 2023). Asimismo, este tipo de planificación contribuye a mejorar la optimización del rendimiento energético, ya que los equipos en condiciones operativas consumen menos energía y operan con mayor rendimiento; otro beneficio clave es el incremento de la seguridad laboral, pues el mantenimiento regular contribuye a detectar y subsanar potenciales fallas con el fin de evitar que representen un riesgo para los trabajadores. La prevención de accidentes no solo protege la integridad del personal, sino que también reduce la responsabilidad legal de la empresa y mejora su reputación (Bian et al., 2023).

**Figura 3.**

*Variables asociadas al modo de falla*



*Nota.* Obtenido de Andrade y Herrera (2024)

#### 2.3.1.4. Dimensiones del plan de mantenimiento

Las dimensiones empleadas en la presente investigación y a su vez utilizadas en el calendario de mantenimiento para diversos equipos se precisan a continuación:

- **Criticidad:** La criticidad de un equipos se determina por tres niveles, los cuales son bajo, intermedio y moderado, estos detallan el estado del equipo, cuando se tiene un nivel alto quiere decir que el equipo presenta una alta cantidad de desperfectos de gran impacto en la producción o utilización de este, cuando se tiene un nivel intermedio implica que el equipo presenta fallas pero no en una cantidad elevada y de menor impacto en su utilización y finalmente cuando el equipo presente un nivel bajo significa que las fallas presentadas son mínimas y de un impacto bajo (Wang et al., 2022).

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costo} + \text{Ambiente}$$

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

- **Mantenimiento:** El mantenimiento viene a ser las tareas o actividades de mantenimiento ya planteadas y estandarizadas, a su vez se determina los responsables de realizarlas junto a la frecuencia en la que se den de ejecutar (Musthopa et al., 2023).
- **Viabilidad:** La viabilidad se define como la probabilidad de que el plan de mantenimiento genere un beneficio/costo óptimo para la empresa, ya que un propósito del programa de sostenimiento es reducir los costos de operación (Bian et al., 2023).

### **2.3.2. Disponibilidad**

Según Andrade y Herrera (2024), el mantenimiento preventivo está muy relacionado con la disponibilidad, ya que es el momento en que se ejecuta a una máquina determinada y la fiabilidad que exhibe durante el funcionamiento, la disponibilidad determina las horas de trabajo de un equipo de producción, las cuales se calculan en un determinado tiempo. Por otro lado, para Huang et al. (2024), la disponibilidad es una característica fundamentada en la eficacia, ya que se debe mantener el dispositivo disponible para los usuarios en cualquier momento, hay diversas maneras de lograrlo, esto hace que el equipo sea más confiable, además de adoptar un sistema que pueda recuperarse fácilmente, lo cual ayuda a los fabricantes a solucionar rápidamente cualquier inconveniente.

El indicador de disponibilidad de un dispositivo es una medida del tiempo que lleva en funcionamiento de dicho dispositivo o sistema operativo que está corriendo en relación

con el tiempo total que debería funcionar, por lo general, se expresa como un porcentaje, pero no debe confundirse con la tasa de solución. Los equipos disponibles solo pueden mejorar mediante la reducción del tiempo de inactividad, esto se hace posible a través del mejoramiento de los sistemas de administración, procesos, selección, diversión, motivación del personal, calidad y entrega de suministro, diagnóstico del equipo, los sistemas informativos sobre el equipo y optimizar los sistemas de utilidad (Junker et al., 2023).

#### **2.3.2.1. Factores que afectan la disponibilidad**

La disponibilidad de un activo, equipo o producto no es un valor fijo, sino que está establecida por factores que pueden alargarla o reducirla significativamente, entre los aspectos más influyentes se tiene la calidad de los insumos del proceso productivo, puesto que al elaborarlos con componentes resistentes y duraderos tienden a tener una mayor longevidad en comparación con los que emplean materiales de menor calidad (Liu et al., 2022). El mantenimiento aplicado también tiene un papel fundamental en la conservación de los activos, ya que un equipo que tiene un mantenimiento preventivo de manera constante tendrá un mejor rendimiento y una mayor durabilidad que uno al que solo se le ejecuten reparaciones correctivas tras una falla, algunas de las estrategias empleadas son la lubricación, limpieza, calibración y reemplazo oportuno de piezas desgastadas, esto ayuda a mantener el funcionamiento óptimo durante más tiempo (Zhou et al., 2025).

Otro factor determinante es el uso y condiciones de operación, ya que un equipo sometido a un uso excesivo, con cargas superiores a las recomendadas o que no sigue las especificaciones del fabricante, sufrirá un desgaste más acelerado, de igual forma, si se utiliza en un ambiente agresivo, con temperaturas extremas, humedad excesiva, exposición a productos químicos o vibraciones constantes, su deterioro se verá incrementado, acortando su disponibilidad (Eriksen et al., 2021). Por otro lado, la gestión y capacitación del personal que opera los equipos es clave para maximizar su duración, un uso inadecuado por parte de operadores no entrenados puede generar fallas prematuras, mientras que una correcta formación en las mejores prácticas de uso y mantenimiento contribuye a aumentar la disponibilidad del activo (Junker et al., 2023). Finalmente, la calidad del almacenamiento y conservación influye en la degradación de los productos y equipos cuando no están en uso, un almacenamiento en condiciones inadecuadas, con exposición a factores como la humedad, la

corrosión o la acumulación de polvo, puede provocar deterioro prematuro, reduciendo significativamente la disponibilidad del activo (Liao et al., 2023).

#### **2.3.2.2. Estrategias para aumentar la disponibilidad**

Para aumentar la disponibilidad de un activo, ya sea un equipo, una máquina, una infraestructura o incluso un producto de uso cotidiano, es fundamental aplicar estrategias adecuadas que minimicen el desgaste y optimicen su funcionamiento, estas estrategias no solo ayudan a extender el tiempo de operación, sino que también permiten reducir costos de reparación y fortalecer el aprovechamiento de los recursos (Bian et al., 2023). El mantenimiento preventivo consiste en realizar revisiones periódicas, lubricaciones, ajustes y sustitución de piezas desgastadas antes de que ocurran fallas; además, es esencial asegurar que los activos operen bajo condiciones óptimas de uso, ya que el sobreesfuerzo, la exposición a temperaturas extremas, la humedad excesiva y el contacto con sustancias corrosivas pueden acelerar el desgaste de los equipos, a su vez es importante cumplir con las especificaciones del fabricante (Huang et al., 2024).

Otra estrategia importante es la capacitación del personal, ya que un uso inadecuado de los equipos por falta de conocimientos puede reducir significativamente su vida útil, brindar formación sobre el manejo correcto, las mejores prácticas de operación y los procedimientos de mantenimiento favorece la reducción de fallas y aumentar el rendimiento de los activos, asimismo, el almacenamiento y protección adecuados cumple una función fundamental en la conservación de los equipos, guardar herramientas, materiales y maquinarias en entornos secos, ventilados y protegidos de factores externos como la humedad o el polvo ayuda a prevenir su deterioro y corrosión, en el caso de productos electrónicos, protegerlos de la acumulación de polvo y controlar la temperatura ambiente es fundamental para evitar daños en sus componentes internos (Tian et al., 2022). Por otro lado, la sustitución y actualización de piezas o componentes constituye una alternativa eficaz para extender el tiempo de funcionamiento sin necesidad de reemplazar todo el equipo, en muchas ocasiones, actualizar ciertos módulos, mejorar la lubricación o cambiar filtros y juntas desgastadas puede hacer que un activo continúe funcionando de manera eficiente por más tiempo (Sharma et al., 2025).

#### **2.3.2.3. Dimensiones de la disponibilidad**

Las dimensiones que se han tomado en cuenta para la ejecución de la variable dependiente son las siguientes:

- Eficiencia operativa; La eficiencia operativa de un equipo va relacionada con el tiempo promedio entre fallas (MTBF), el cual es un parámetro importante, ya que mide el tiempo transcurrido entre dos fallas del mismo dispositivo, cuanto mayor sea el valor, más seguro será el funcionamiento de la máquina, para determinar el MTBF se emplea la siguiente fórmula (Li et al., 2024):

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de Operación}}{\text{Número de fallas}}$$

- Mantenibilidad: La mantenibilidad es la capacidad de servicio de un bien o activo tangible depende de la capacidad del artículo, una máquina o dispositivo que vuelve a las condiciones normales de operación después de un fallo, avería o interrupción de la producción, se relaciona con el tiempo entre reparaciones (MTTR), es una medida de la capacidad de servicio de las máquinas y las piezas reparables, corresponde al tiempo promedio que tarda la máquina en recuperarse de un error antes de reanudar las operaciones, para determinar el MTBF se emplea la siguiente fórmula (Liu et al., 2022):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de Reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

- Disponibilidad: La disponibilidad es una dimensión que depende del MTBF y el MTTR, se define como la probabilidad de que los activos, las plantas y los elementos del equipo funcionen correctamente después de haber sido puestos en funcionamiento durante el día y durante el tiempo requerido en situaciones normales de uso, el cálculo de la disponibilidad de un equipo se realiza utilizando la siguiente expresión (Matejcek y Agarwal, 2024):

2.4.  $Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$  **Bases conceptuales (Operacionalización o conceptualización de variables)**

Se presenta la matriz de operacionalización de variables, considerando sus dimensiones e indicadores correspondientes.

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización*

| Variables                 | Definición conceptual                                                                                                                                                                                                          | Definición Operacional                                                                                                                            | Dimensiones    | Indicadores                               | Escala   |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|----------|
| VI: Plan de mantenimiento | Es un grupo de estrategias y acciones programadas que tienen como objetivo garantizar el óptimo funcionamiento, seguridad y durabilidad de equipos, maquinarias o infraestructuras, minimizando fallos y costos de reparación. | Se medirá mediante la criticidad, el mantenimiento y viabilidad a partir de las frecuencias de fallas, tareas de mantenimiento y beneficio costo. | Criticidad     | Recurrencia de Fallas                     | De razón |
|                           |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                   | Mantenimiento  | Tareas de Mantenimiento                   |          |
|                           |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                   | Viabilidad     | Beneficio/Costo                           |          |
| VD: Disponibilidad        | Es la capacidad de un equipo para estar operativo y cumplir su función cuando se necesita, minimizando tiempos de inactividad por fallas o mantenimiento.                                                                      | Se medirá mediante la eficiencia, mantenibilidad y disponibilidad mediante el MTTR, MTBF e índice de disponibilidad                               | Eficiencia     | Tiempo promedio entre fallas (MTBF)       | De razón |
|                           |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                   | Mantenibilidad | Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR) |          |
|                           |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                   | Disponibilidad | Porcentaje de Disponibilidad              |          |

*Nota:* Elaboración Propia

### **III.DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Procedimiento a seguir en la investigación**

**OE – 01: Analizar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén.**

- Realizar una matriz de Ishikawa en donde se identifiquen los motivos de la disminución disponibilidad.
- Desarrollar una matriz de contrastación de causas para determinar cuál de ellas es la más influyente.
- Determinar si está disponible el equipamiento antes de la aplicación del plan de mantenimiento preventivo.

**OE – 02: Identificar el equipamiento biomédico críticos en el Hospital Belén utilizando un análisis de criticidad.**

- Determinar la frecuencia de fallas de los equipos del Hospital Belén.
- Calcular la consecuencia de fallas de los equipos del Hospital Belén.
- Identificar el nivel de criticidad de los equipos del Hospital Belén.

**OE – 03: Realizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM en los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.**

- Identificar los modos y consecuencias de fallas técnicas de los equipos del Hospital Belén.
- Realizar el diagrama de decisión del RCM de los equipos del Hospital Belén.
- Proponer los trabajos de mantenimiento del equipamiento con mayor nivel de criticidad en el Hospital Belén.
- Determinar la disponibilidad del equipamiento posterior a la ejecución del plan de mantenimiento en el Hospital Belén.

**OE – 04: Determinar el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.**

- Realizar el presupuesto de los instrumentos y materiales empleados en el plan de mantenimiento.
- Determinar el costo de los planes de capacitaciones para el personal en los equipos biomédicos.
- Analizar el valor actual neto y la tasa interna de retorno tras el análisis económico

**3.2. Población y muestra**

La población estará determinada por la totalidad de equipos biomédicos del Hospital Belén y la muestra estará determinada por los equipos con un nivel de criticidad alto y medio.

**3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales**

Las técnicas que se utilizarán serán la observación y el análisis documental, mientras que los instrumentos serán la ficha de observación y la ficha documental. Los equipos a utilizar son de medición y calibración para poder determinar las fallas de los equipos biomédicos, a su vez algunos materiales necesarios son las fichas de reportes de fallas, con las que se analizará más a profundidad la frecuencia de estas.

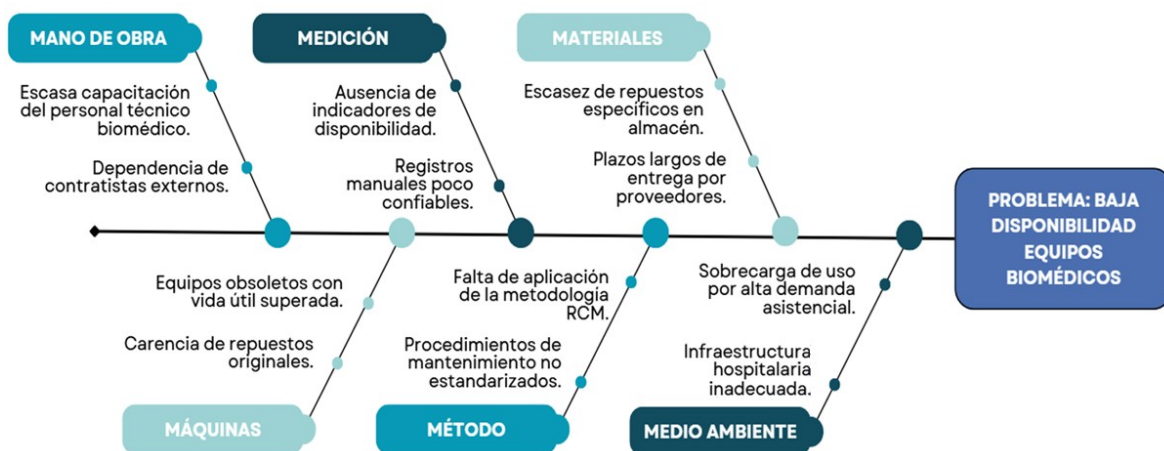
## IV. RESULTADOS

### 4.1. Analizar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén.

La Figura 1 corresponde a un diagrama de Ishikawa también conocida como diagrama causa-efecto, con el cual se analizó las razones detrás de la baja disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque, organizadas en seis categorías. En cuanto a la mano de obra, escasa capacitación del personal técnico biomédico, dependencia de contratistas externos, lo cual debilita la capacidad operativa del equipo de mantenimiento. En medición, ausencia de indicadores de disponibilidad y registros manuales poco confiables. En el ámbito de materiales, escasez de repuestos específicos en almacén y plazos largos de entrega por proveedores. Por su parte, en la categoría de máquinas se señalan equipos obsoletos con vida útil superada y carencia de repuestos originales. En cuanto al método, se destaca la falta de aplicación de la metodología RCM y procedimientos de mantenimiento no estandarizados. Finalmente, las condiciones medio ambientales como la sobrecarga de uso por alta demanda asistencial y la infraestructura hospitalaria inadecuada, explican la baja disponibilidad operativa de los equipos biomédicos y requieren soluciones integrales y coordinadas.

**Figura 4.**

*Diagrama de Ishikawa*



*Nota.* Elaboración propia

Luego de representar gráficamente los factores o causantes mediante el Diagrama de Ishikawa, para profundizar aún más se llevó el análisis hacia una matriz de contraposición de causas. Esta herramienta permitirá establecer la influencia que tiene cada causa sobre las demás, con la finalidad de priorizar aquellas que influyen un mayor efecto en el sistema de mantenimiento

La matriz que se visualiza en la Tabla 1 se construyó considerando las 12 causas que se identificaron en el diagrama anterior. Para la valorización del nivel de influencia de una causa sobre otra, se utilizó una escala cualitativa de 0-1-3, bajo el siguiente criterio:

0: No hay relación o influencia entre ambas causas.

1: Existe una relación leve o indirecta.

3: Hay una relación directa y significativa de influencia.

La matriz fue llenada evaluando cuánto influye una causa en las otras. La suma horizontal de cada fila representa el índice de influencia total, el cual refleja cuántas veces una causa genera efecto sobre otras. A continuación, se muestra la matriz de contraposición:

**Tabla 2**

*Matriz de contrastación de causas*

| Cód.       | Causa                                              | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | Frecu.    |
|------------|----------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----------|
| <b>C1</b>  | Equipos obsoletos con vida útil superada           |    | 3  | 1  | 0  | 0  | 3  | 3  | 0  | 0  | 0   | 3   | 3   | <b>16</b> |
| <b>C2</b>  | Procedimientos de mantenimiento no estandarizados  | 0  |    | 3  | 3  | 0  | 0  | 3  | 0  | 1  | 3   | 0   | 0   | <b>13</b> |
| <b>C3</b>  | Escasa capacitación del personal técnico biomédico | 0  | 0  |    | 0  | 0  | 1  | 1  | 3  | 0  | 0   | 0   | 3   | <b>8</b>  |
| <b>C4</b>  | Dependencia de contratistas externos               | 3  | 0  | 1  |    | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  | 1   | 0   | 0   | <b>8</b>  |
| <b>C5</b>  | Falta de aplicación de la metodología RCM          | 3  | 3  | 3  | 3  |    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3   | 3   | <b>33</b> |
| <b>C6</b>  | Carencia de repuestos originales                   | 0  | 3  | 0  | 3  | 0  |    | 0  | 0  | 1  | 3   | 0   | 0   | <b>10</b> |
| <b>C7</b>  | Escasez de repuestos específicos en almacén        | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 3  |    | 0  | 3  | 3   | 0   | 0   | <b>10</b> |
| <b>C8</b>  | Plazos largos de entrega por proveedores           | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 3  | 1  |    | 0  | 0   | 1   | 0   | <b>8</b>  |
| <b>C9</b>  | Sobrecarga de uso por alta demanda asistencial     | 3  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  |    | 3   | 3   | 0   | <b>15</b> |
| <b>C10</b> | Infraestructura hospitalaria inadecuada            | 3  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |     | 3   | 1   | <b>9</b>  |
| <b>C11</b> | Ausencia de indicadores de disponibilidad          | 0  | 3  | 1  | 1  | 0  | 1  | 3  | 0  | 0  | 0   |     | 1   | <b>10</b> |
| <b>C12</b> | Registros manuales poco confiables                 | 0  | 1  | 0  | 3  |    | 3  | 3  | 1  | 3  | 0   | 0   |     | <b>14</b> |

*Nota.* Elaboración Propia.

La Tabla 3 evidencia que la principal causa de la baja disponibilidad de los equipos biomédicos en el Hospital Belén – Lambayeque es la falta de aplicación de la metodología RCM, con un 21.43 %, lo que refleja la ausencia de un enfoque sistemático de mantenimiento. Le siguen factores como los equipos obsoletos con vida útil superada (10.39 %) y la sobrecarga de uso por alta demanda asistencial (9.74 %), que muestran cómo la antigüedad tecnológica y la presión asistencial afectan directamente la operatividad de los equipos. Asimismo, se resaltan las deficiencias en la gestión documental y de procesos, evidenciadas en los registros manuales poco confiables (9.09 %) y los procedimientos de mantenimiento no estandarizados (8.44 %).

Por otro lado, se identifican limitaciones vinculadas al abastecimiento y la gestión de recursos, como la carencia de repuestos originales y la escasez de repuestos en almacén (ambos con 6.49 %), así como la ausencia de parámetros de disponibilidad, lo que impide evaluar objetivamente la eficacia del mantenimiento. En menor proporción, pero también relevantes, aparecen la infraestructura hospitalaria inadecuada (5.84 %), la deficiente preparación del personal técnico biomédico (5.19 %), la dependencia de contratistas externos (5.19 %) y los plazos largos de entrega por proveedores (5.19 %).

**Tabla 3**

*Análisis de frecuencias*

| Código       | Causa                                              | Frecuencia | Frecuencia %   | Frecuencia % Acumulada |
|--------------|----------------------------------------------------|------------|----------------|------------------------|
| C5           | Falta de aplicación de la metodología RCM          | 33         | 21.43%         | 21.43%                 |
| C1           | Equipos obsoletos con vida útil superada           | 16         | 10.39%         | 31.82%                 |
| C9           | Sobrecarga de uso por alta demanda asistencial     | 15         | 9.74%          | 41.56%                 |
| C12          | Registros manuales poco confiables                 | 14         | 9.09%          | 50.65%                 |
| C2           | Procedimientos de mantenimiento no estandarizados  | 13         | 8.44%          | 59.09%                 |
| C6           | Carencia de repuestos originales                   | 10         | 6.49%          | 65.58%                 |
| C7           | Escasez de repuestos específicos en almacén        | 10         | 6.49%          | 72.08%                 |
| C11          | Ausencia de indicadores de disponibilidad          | 10         | 6.49%          | 78.57%                 |
| C10          | Infraestructura hospitalaria inadecuada            | 9          | 5.84%          | 84.42%                 |
| C3           | Escasa capacitación del personal técnico biomédico | 8          | 5.19%          | 89.61%                 |
| C4           | Dependencia de contratistas externos               | 8          | 5.19%          | 94.81%                 |
| C8           | Plazos largos de entrega por proveedores           | 8          | 5.19%          | 100.00%                |
| <b>Total</b> |                                                    | <b>154</b> | <b>100.00%</b> | -                      |

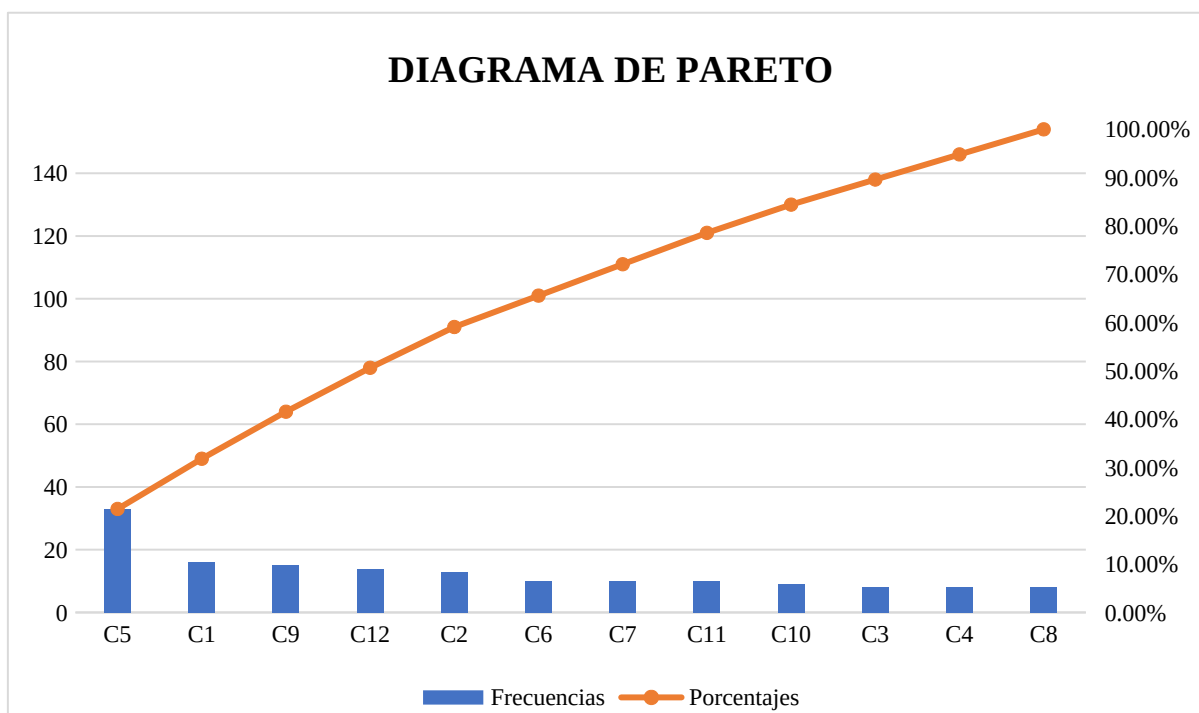
*Nota.* Elaboración Propia.

El diagrama de Pareto presentado permite determinar las causas más relevantes que afectan la disponibilidad del equipamiento biomédico en el Hospital Belén – Lambayeque. Se observa que la falta de aplicación de la metodología RCM (C5) concentra la mayor frecuencia con diferencia, representando más del 20 % de las causas totales, lo que la convierte en el principal factor crítico. Le siguen en importancia los equipos obsoletos con vida útil superada (C1) y la sobrecarga de uso por alta demanda asistencial (C9), que junto a los registros manuales poco confiables (C12) y los procedimientos de mantenimiento no estandarizados (C2) suman más del 50 % de las incidencias acumuladas.

Esto confirma la regla del 80/20 de Pareto, ya que un grupo limitado de factores origina la mayor parte de los problemas. En este caso, atender las cinco primeras causas identificadas (C5, C1, C9, C12 y C2) permitiría corregir más de la mitad de las limitaciones que reducen la disponibilidad del equipamiento biomédico. En consecuencia, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM debe priorizar estas áreas críticas para alcanzar optimizaciones significativas y sustentables en la gestión hospitalaria.

**Figura 5.**

*Diagrama de Pareto*



*Nota. Elaboración Propia.*

La Tabla 4 muestra la distribución mensual de incidencias en equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque durante el periodo de agosto a diciembre, registrándose un total de 160 reportes. Se observa que octubre concentró la mayor cantidad de incidencias con 36 casos, seguido de agosto con 35, mientras que el mes con menor frecuencia fue noviembre con 28. Esta variación evidencia que, aunque las fallas se presentan de manera constante, existen meses donde la carga de incidencias aumenta, lo cual podría estar relacionado con la intensidad del uso de los equipos o con la falta de un mantenimiento preventivo oportuno.

En cuanto al análisis por equipos, los que registraron mayor número de incidencias fueron la mesa hidráulica para operación quirúrgica y el ecógrafo – ultrasonido, ambos con 20 reportes, seguidos del monitor multiparámetro con 17 y el equipo de rayos X arco en C con 16. Otros equipos como el equipo de anestesia y la cuna de calor radiante presentaron 15 reportes cada uno, mientras que el detector de latidos fetales de sobremesa tuvo la menor frecuencia con 13 casos. Estos resultados reflejan que los equipos de mayor uso en áreas críticas, como cirugía, diagnóstico por imágenes y monitoreo de pacientes, son los que más fallas registran, lo que resalta la importancia de priorizar su mantenimiento preventivo bajo la metodología RCM para garantizar su disponibilidad operativa.

**Tabla 4**

*Fallas presentadas en equipos biomédicos*

| Móvil                                     | Agosto    | Septiembre | Octubre   | Noviembre | Diciembre | Total      |
|-------------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| EQUIPO DE ANESTESIA                       | 3         | 3          | 1         | 3         | 5         | 15         |
| EQUIPO DE RAYOS X ARCO EN C               | 1         | 1          | 6         | 4         | 4         | 16         |
| MESA HIDRAULICA PARA OPERACION QUIRURGICA | 4         | 6          | 4         | 3         | 3         | 20         |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO PORTATIL    | 5         | 1          | 5         | 3         | 0         | 14         |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 3         | 2          | 4         | 5         | 1         | 15         |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO MONITOR     | 5         | 5          | 3         | 2         | 5         | 20         |
| MULTIPARAMETRO DE 5 PARAMETROS            | 1         | 5          | 4         | 0         | 4         | 14         |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 5         | 2          | 3         | 2         | 4         | 16         |
| MONITOR MULTI PARAMETRO                   | 4         | 4          | 4         | 3         | 2         | 17         |
| DETECTOR DE LATIDOS FETALES DE SOBREMESA  | 4         | 2          | 2         | 3         | 2         | 13         |
| <b>Total</b>                              | <b>35</b> | <b>31</b>  | <b>36</b> | <b>28</b> | <b>30</b> | <b>160</b> |

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 5 muestra el comportamiento operativo de diversos equipos biomédicos a partir de indicadores de confiabilidad y disponibilidad. En todos los casos, las horas trabajadas se mantienen relativamente cercanas a las horas programadas, aunque se evidencian variaciones en las horas de parada, especialmente en equipos como la mesa hidráulica quirúrgica y el ecógrafo fijo, que presentan mayores tiempos fuera de servicio. Estos incrementos están relacionados con un número más alto de fallas, lo que reduce su MTBF, ubicándolo entre 175 y 176 horas, señal de menor confiabilidad. En contraste, equipos como el ecógrafo portátil, los monitores multiparámetro y el detector de latidos fetales presentan menos interrupciones y mejores valores de MTBF, lo que refleja un funcionamiento más estable.

En cuanto al mantenimiento, los tiempos de reparación (MTTR) se mantienen relativamente homogéneos, alrededor de 8 horas, lo cual facilita que la disponibilidad global del conjunto de equipos alcance un valor promedio de 96,40%. Este nivel es adecuado para entornos clínicos, aunque evidencia que algunos equipos, particularmente los que registran mayor número de fallas, podrían requerir ajustes en sus rutinas de mantenimiento preventivo o una renovación tecnológica.

**Tabla 5**

*Disponibilidad inicial en equipos biomédicos*

| Móvil                                     | Horas Prog. | Horas Trab. | Horas Par. | Nº fallas | MTBF   | MTTR | Disponibilidad |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|--------|------|----------------|
| EQUIPO DE ANESTESIA                       | 3672        | 3545        | 127        | 15        | 236.33 | 8.47 | 96.54%         |
| EQUIPO DE RAYOS X ARCO EN C               | 3672        | 3544        | 128        | 16        | 221.50 | 8.00 | 96.51%         |
| MESA HIDRAULICA PARA OPERACION QUIRURGICA | 3672        | 3503        | 169        | 20        | 175.15 | 8.45 | 95.40%         |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO PORTATIL    | 3672        | 3554        | 118        | 14        | 253.86 | 8.43 | 96.79%         |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 3672        | 3551        | 121        | 15        | 236.73 | 8.07 | 96.70%         |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO MONITOR     | 3672        | 3514        | 158        | 20        | 175.70 | 7.90 | 95.70%         |
| MULTIPARAMETRO DE 5 PARAMETROS            | 3672        | 3556        | 116        | 14        | 254.00 | 8.29 | 96.84%         |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 3672        | 3544        | 128        | 16        | 221.50 | 8.00 | 96.51%         |
| MONITOR MULTI PARAMETRO                   | 3672        | 3524        | 148        | 17        | 207.29 | 8.71 | 95.97%         |
| DETECTOR DE LATIDOS FETALES DE SOBREMESA  | 3672        | 3563        | 109        | 13        | 274.08 | 8.38 | 97.03%         |

|          |        |      |        |
|----------|--------|------|--------|
| PROMEDIO | 225.61 | 8.27 | 96.40% |
|----------|--------|------|--------|

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2. Identificar los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén mediante un análisis de criticidad.

El Análisis de Criticidad es una metodología destinada a establecer un orden jerárquico entre procesos, sistemas y equipos, este enfoque permite construir una estructura que respalde la toma de decisiones estratégicas, orientando recursos y esfuerzos hacia aquellas áreas donde resulta más relevante fortalecer la confiabilidad operacional, de acuerdo con las condiciones reales de la organización. Desde el punto de vista matemático de la criticidad, la cual expresada o puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de Fallas} \times \text{Consecuencia} \quad (1)$$

*Nota.* Tomada textualmente de Coto et al. (2022)

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costo Mtto.} + \text{SAH} \quad (2)$$

*Nota.* Tomada textualmente de Coto et al. (2022)

Coto et al. (2022) menciona que los factores o variables que forman parte de la operación matemática de la “Consecuencia” deben de ser evaluadas por todo el equipo de la empresa que se encuentren involucrados en los procesos de mantenimiento, operaciones, procesos, seguridad y ambiente. También muestra una tabla que ayuda a definir estos factores o variables, véase en las siguientes tablas.

**Tabla 6**

*Valores de Frecuencia de Fallas (FF)*

| Frecuencia de Fallas (FF)    | Valores |
|------------------------------|---------|
| Mayor o igual a 8 fallas/mes | 4       |
| De 5 a 7 fallas/mes          | 3       |
| De 2 a 4 fallas/mes          | 2       |
| Menor o igual a 1 falla/mes  | 1       |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)

**Tabla 7***Valores de Impacto Operacional (IO)*

| <b>Impacto Operacional (IO)</b>        | <b>Valores</b> |
|----------------------------------------|----------------|
| Parada inmediata de toda la producción | 10             |
| Afecta más del 50% a la producción     | 7              |
| Afecta menos del 50% a la producción   | 4              |
| No afecta la producción                | 1              |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)**Tabla 8***Valores de Flexibilidad Operacional (FO)*

| <b>Flexibilidad Operacional (FO)</b>         | <b>Valores</b> |
|----------------------------------------------|----------------|
| No se dispone de otro equipo igual o similar | 4              |
| El sistema puede seguir funcionando          | 2              |
| Se dispone de otro equipo igual o similar    | 1              |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)**Tabla 9***Valores de Costo de Mantenimiento (CM)*

| <b>Costo de Mantenimiento (CM)</b>             | <b>Valores</b> |
|------------------------------------------------|----------------|
| Más de \$ 10,000 dólares                       | 3              |
| Entre los \$ 5,000 dólares y \$ 10,000 dólares | 2              |
| Menos de \$ 5,000 dólares                      | 1              |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)**Tabla 10***Valores de Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)*

| <b>Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (SAH)</b>                  | <b>Valores</b> |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Afecta a la seguridad humana                                           | 8              |
| Afecta al medio ambiente produciendo daños reversibles                 | 6              |
| Afecta las instalaciones causando daños severos                        | 4              |
| Provoca daños menores, accidente e incidentes                          | 2              |
| Provoca impacto ambiental cuyo efecto no viola normas ambientales      | 1              |
| No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente | 0              |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)

Para poder evaluar el equipamiento biomédico del Hospital Belén más críticos se efectuó un análisis de criticidad tomando como variables a la frecuencia de fallas, el impacto operacional, la flexibilidad de operación, el costo operativo, el impacto de Seguridad, Ambiente e Higiene (SAH). La evaluación fue determinada por escalas, que es la información que se presentó en la tabla 5, 6, 7, 8 y 9. Para el indicador de Frecuencia de Fallas (FF), se asignan 4 puntos cuando un equipo presenta 8 o más fallas por mes, 3 puntos si se registran entre 5 y 7 fallas, 2 puntos para una frecuencia de 2 a 4 fallas y solo 1 punto si ocurre una falla al mes o menos. El Impacto Operacional (IO) evalúa cuánto afecta una falla al proceso productivo. Si provoca la paralización total e inmediata de la producción, se otorgan 10 puntos; si afecta más del 50% de la producción, se asignan 7 puntos; si la afectación es menor al 50%, se le da una valoración de 4 puntos; y si no impacta la producción, se le asigna 1 punto.

Respecto a la Flexibilidad Operacional (FO), se consideran 4 puntos cuando no existe otro equipo igual o similar que pueda reemplazar al averiado, 2 puntos si el sistema puede continuar operando, aunque con restricciones, y 1 punto cuando se dispone de otro equipo de respaldo. En el caso del Costo de Mantenimiento (CM), se otorgan 3 puntos si los gastos superan los 10,000 dólares, 2 puntos si se encuentran entre 5,000 y 10,000 dólares, y 1 punto si los costos son menores a 5,000 dólares.

Finalmente, el criterio de impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (SAH) otorga 8 puntos si la falla compromete la seguridad humana, 6 puntos si ocasiona impactos ambientales que pueden ser revertidos, y 4 puntos si ocasiona daños severos en las instalaciones. Asimismo, se asignan 2 puntos si solo genera incidentes menores o accidentes leves, 1 punto si el impacto ambiental no viola normas ambientales, y 0 puntos si no hay ningún tipo de daño ni riesgo para personas, equipos o el entorno. Este enfoque integral permite establecer un valor numérico de criticidad para cada equipo, orientando con precisión la toma de decisiones sobre priorización de mantenimiento, inversiones o reemplazos.

Con el objetivo de identificar las unidades que necesitan mayor prioridad en la gestión de sostenimiento, se elaboró la Tabla 11, la cual considera en el eje vertical la frecuencia, clasificada en un rango del 1 al 4, en el cual los valores más elevados indican una mayor recurrencia de eventos. En el eje horizontal se colocaron las consecuencias, cuyos valores van del 1 al 40, en función del impacto operativo, económico y de seguridad que implica cada

falla. Con el propósito de simplificar el análisis y tomar decisiones, se empleó un sistema de codificación por colores (verde, amarillo y rojo), donde el color rojo identifica a las unidades de mayor criticidad.

**Tabla 11**

*Matriz de clasificación de equipos biomédicos según criticidad*

|            |   |               |         |         |         |           |
|------------|---|---------------|---------|---------|---------|-----------|
| FRECUENCIA | 4 |               |         |         |         |           |
|            | 3 |               |         |         |         |           |
|            | 2 |               |         |         |         |           |
|            | 1 |               |         |         |         |           |
|            |   | 0 a 10        | 11 a 20 | 21 a 30 | 31 a 40 | Más de 40 |
|            |   | CONSECUENCIAS |         |         |         |           |

*Nota.* Adaptado de Coto et al. (2022)

La Tabla 12 presenta un estudio exhaustivo sobre la criticidad de diferentes unidades o móviles, evaluados según cinco criterios clave: Frecuencia de Fallas (FF), Impacto Operacional (IO), Flexibilidad Operativa (FO), Costo de Mantenimiento (CM) e Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (SAH). Cada criterio fue ponderado y sumado para obtener un puntaje total denominado “Consecuencia”, el cual multiplicado con la Frecuencia de Fallas (FF) se define el nivel de criticidad en tres categorías: baja, media y alta. El análisis de criticidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque, considerando el promedio de fallas y distintos factores como frecuencia de falla (FF), impacto en operación (IO), frecuencia de ocurrencia (FO), costo de mantenimiento (CM) y seguridad/afectación hospitalaria (SAH). Se observa que algunos equipos, como el equipo de anestesia, el equipo de rayos X arco en C y la mesa hidráulica para operación quirúrgica, presentan un nivel de criticidad medio con puntajes de 30, pese a registrar un promedio de 2 a 4 fallas, lo cual indica que, aunque requieren atención, su impacto global no es tan elevado en comparación con otros dispositivos, pero de igual forma requiere de un plan de mantenimiento más eficiente.

En contraste, la mayoría de los equipos analizados alcanzan un nivel de criticidad alto, entre ellos el ecógrafo – ultrasonido portátil, la cuna de calor radiante, el monitor multiparámetro de 5 parámetros, el monitor multiparámetro y el detector de latidos fetales de sobremesa, con puntajes que oscilan entre 74 y 78. El equipo con mayor valoración de criticidad es el ecógrafo – ultrasonido y el monitor multiparámetro, ambos con 78 puntos, lo

que evidencia su importancia estratégica en el diagnóstico y monitoreo de pacientes críticos. Estos resultados permiten priorizar los esfuerzos del mantenimiento preventivo bajo la metodología RCM, enfocándose en los equipos de alta criticidad para garantizar la continuidad de los servicios hospitalarios esenciales.

**Tabla 12**

*Niveles de criticidad de los equipos biomédicos*

| Móvil                                     | Fallas Prom. | FF | IO | FO | CM | SAH | Consecuencia | Criticidad | Nivel |
|-------------------------------------------|--------------|----|----|----|----|-----|--------------|------------|-------|
| EQUIPO DE ANESTESIA                       | 3            | 2  | 4  | 1  | 3  | 8   | 15           | 30         | Medio |
| EQUIPO DE RAYOS X ARCO EN C               | 3            | 2  | 4  | 1  | 3  | 8   | 15           | 30         | Medio |
| MESA HIDRAULICA PARA OPERACION QUIRURGICA | 4            | 2  | 4  | 1  | 3  | 8   | 15           | 30         | Medio |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO PORTATIL    | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 6   | 37           | 74         | Alto  |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 6   | 37           | 74         | Alto  |
| EQUIPO ECOGRAFO - ULTRASONIDO MONITOR     | 4            | 2  | 7  | 4  | 3  | 8   | 39           | 78         | Alto  |
| MULTIPARAMETRO DE 5 PARAMETROS            | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 6   | 37           | 74         | Alto  |
| CUNA DE CALOR RADIANTE                    | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 6   | 37           | 74         | Alto  |
| MONITOR MULTI PARAMETRO                   | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 8   | 39           | 78         | Alto  |
| DETECTOR DE LATIDOS FETALES DE SOBREMESA  | 3            | 2  | 7  | 4  | 3  | 8   | 39           | 78         | Alto  |

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.3. Realizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM en los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.**

La gestión del mantenimiento de equipamiento biomédico en el Hospital Belén – Lambayeque se desarrolla dentro del marco normativo establecido por el Ministerio de Salud (MINSA) y la legislación vigente del Estado peruano, la cual regula los procesos de administración, operación y conservación del equipamiento en los establecimientos de salud públicos, estas disposiciones buscan garantizar la disponibilidad operativa, la seguridad del paciente y la eficiencia en el uso de los recursos, aspectos directamente relacionados con la problemática identificada en la presente investigación.

En este contexto, destacan normas como la Ley N.º 26842 – Ley General de Salud, que establece la obligación de los establecimientos de salud de garantizar condiciones adecuadas para la prestación de servicios, incluyendo el correcto funcionamiento del equipamiento biomédico, asimismo, la Ley N.º 29783 – Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo dispone que los equipos utilizados en el entorno laboral deben operar en condiciones seguras, evitando riesgos para el personal de salud y los pacientes.

En el marco del sistema de salud peruano, la NTS N.º 110-MINSA/DGIEM establece la categorización de los establecimientos de salud según su nivel de complejidad y capacidad resolutive. En este contexto, el Hospital Belén – Lambayeque, como establecimiento de nivel II, requiere contar con equipamiento biomédico operativo y disponible que garantice la continuidad y calidad de la atención en los servicios asistenciales. Por ello, la adecuada gestión del mantenimiento del equipamiento biomédico se convierte en un elemento fundamental para asegurar el cumplimiento de las funciones asignadas a este nivel de atención, contribuyendo a la eficiencia operativa, la seguridad del paciente y la sostenibilidad del servicio de salud.

A partir de este marco normativo, se evidencia que la baja disponibilidad de los equipos biomédicos identificada en el diagnóstico inicial del Hospital Belén guarda relación con el cumplimiento parcial de dichos lineamientos, reflejado en la ausencia de programas estructurados de mantenimiento preventivo, la falta de indicadores de gestión y la limitada estandarización de procedimientos técnicos. Frente a esta situación, la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM se plantea como una estrategia

alineada con las exigencias del sector salud, permitiendo optimizar la confiabilidad y el desempeño de los equipos críticos.

**Tabla 13**

*Relación entre normativa del Estado peruano y la investigación*

| <b>Norma / Ley</b>                                                | <b>Enfoque principal</b>                                        | <b>Aplicación en la investigación</b>                                   |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ley N.° 26842 – Ley General de Salud                              | Regula la protección de la salud y la calidad de los servicios. | Sustenta la necesidad de equipos biomédicos operativos y seguros.       |
| Ley N.° 29783 – Seguridad y Salud en el Trabajo                   | Establece condiciones de seguridad y prevención de riesgos.     | Justifica el mantenimiento para evitar riesgos en pacientes y personal. |
| D.S.N.° 016-2011-SA                                               | Regula el control y vigilancia de dispositivos médicos.         | Vincula el correcto funcionamiento de los equipos biomédicos.           |
| NTS N.° 110-MINSA/DGIEM                                           | Clasifica establecimientos según nivel de atención.             | Contextualiza la necesidad de equipos disponibles en nivel II.          |
| Lineamientos técnicos del MINSA/DIEM sobre equipamiento biomédico | Orientan la gestión del equipamiento.                           | Respaldan la aplicación del mantenimiento basado en RCM.                |

Nota. Elaboración propia

En concordancia con lo anterior, se evaluó el nivel de cumplimiento de la normativa en la situación actual del hospital, evidenciando brechas que justifican la implementación del modelo propuesto.

**Tabla 14**

*Evaluación del cumplimiento normativo en el Hospital Belén – Lambayeque*

| <b>Criterio normativo</b>        | <b>Situación actual</b> | <b>Nivel de cumplimiento</b> |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Plan de mantenimiento preventivo | No estandarizado        | Bajo                         |
| Registro de mantenimiento        | Manual y poco confiable | Bajo                         |
| Indicadores de desempeño         | Inexistentes            | Bajo                         |
| Capacitación del personal        | Limitada                | Medio                        |
| Gestión de repuestos             | Deficiente              | Bajo                         |
| Análisis de criticidad           | No implementado         | Bajo                         |

Nota. Elaboración propia

Los resultados evidencian un bajo nivel de cumplimiento en aspectos clave de la normativa, lo cual se refleja en problemas como equipos obsoletos, fallas recurrentes, falta de planificación y escasa confiabilidad de los registros, estas deficiencias coinciden con las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto, donde la ausencia de una metodología estructurada como el RCM constituye el principal factor crítico, en este sentido, el plan de mantenimiento propuesto responde directamente a estas brechas normativas, incorporando elementos exigidos por el MINSA, tales como la planificación sistemática, la gestión de fallas, la priorización por criticidad y el control mediante indicadores.

**Tabla 15**

*Alineación del plan RCM con la normativa del MINSA*

| <b>Requisito normativo</b> | <b>Implementación en el plan RCM</b>    |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| Mantenimiento preventivo   | Programación periódica por equipo       |
| Registro de intervenciones | Sistema de control de mantenimiento     |
| Evaluación de fallas       | Análisis de modos y efectos (AMFE)      |
| Priorización de equipos    | Análisis de criticidad                  |
| Seguridad del paciente     | Reducción de fallas críticas            |
| Control de desempeño       | Indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad |

Nota. Elaboración propia

Finalmente, es importante destacar que la integración de la metodología RCM dentro del marco normativo del sector salud peruano fortalece la gestión del mantenimiento hospitalario y contribuye al cumplimiento de las disposiciones vigentes relacionadas con la seguridad, operatividad y calidad del servicio.

En este sentido, la articulación entre la Ley N.º 26842, la Ley N.º 29783, el D.S. N.º 016-2011-SA y la NTS N.º 110-MINSA/DGIEM permite establecer un sistema de mantenimiento estructurado y orientado a resultados, basado en el análisis de criticidad, modos de falla y condiciones reales de operación de los equipos biomédicos.

Asimismo, la implementación del enfoque RCM contribuye a optimizar la asignación de recursos, reducir tiempos de inactividad y mejorar indicadores como el MTBF, MTTR y la disponibilidad. De esta manera, la propuesta no solo responde a las brechas identificadas en el diagnóstico inicial, sino que también promueve una gestión más eficiente, segura y sostenible del equipamiento biomédico en el Hospital Belén – Lambayeque.

Los equipos biomédicos constituyen un elemento esencial dentro de los contextos hospitalarios, debido a que aseguran la adecuada atención, diagnóstico y tratamiento de los pacientes. Sin embargo, su funcionamiento continuo y seguro depende de una gestión técnica eficiente y de un mantenimiento preventivo riguroso. Cada dispositivo presenta fallos funcionales específicos que, de no ser detectados a tiempo, pueden comprometer la seguridad del paciente y la eficacia de los procedimientos clínicos. A continuación, se describen los principales modos y efectos de falla identificados en distintos equipos médicos utilizados en áreas críticas, con el propósito de analizar sus consecuencias operativas y la importancia de definir acciones de mantenimiento que aseguren su fiabilidad y disponibilidad.

La unidad de anestesia presenta fallos funcionales que comprometen directamente la integridad del paciente durante las intervenciones quirúrgicas. Entre los más críticos se encuentran las fugas en el sistema de gases, que pueden alterar la mezcla anestésica; las obstrucciones o descalibraciones del vaporizador, que afectan la dosificación del anestésico; y los problemas eléctricos, que pueden interrumpir completamente la operación del equipo. Asimismo, las fallas en los sensores de flujo dificultan la monitorización de parámetros respiratorios, lo que limita la capacidad del anestesiólogo para mantener un control adecuado de la ventilación.

**Tabla 16**

*Análisis de fallas del Equipo de anestesia*

| <b>Fallo Funcional</b>       | <b>Modo de Falla</b>                 | <b>Efecto de Falla</b>                                                             |
|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Falla en suministro de gases | Fuga en mangueras o conexiones       | Mezcla inadecuada de gases, riesgo para el paciente durante la anestesia           |
| Falla en vaporizador         | Obstrucción o calibración incorrecta | Dosis inadecuada de anestésico, posible sobredosificación o analgesia insuficiente |
| Falla eléctrica              | Desconexión o cortocircuito interno  | Interrupción total del equipo durante cirugía                                      |
| Falla en monitorización      | Sensor de flujo defectuoso           | Imposibilidad de medir parámetros respiratorios                                    |

*Nota.* Elaboración propia.

En el caso del equipo de Rayos X tipo arco en C, los fallos suelen relacionarse con el desgaste del tubo de emisión, defectos en el sistema de refrigeración o problemas en el detector de imagen. Estos modos de falla generan consecuencias críticas como la imposibilidad de obtener imágenes diagnósticas, distorsiones visuales o incluso sobrecalentamiento del tubo, reduciendo su vida útil. A ello se suman fallas eléctricas o de

fuelle de poder, que provocan apagones durante los procedimientos y pueden comprometer la continuidad del acto quirúrgico o diagnóstico.

**Tabla 17**

*Análisis de fallas del Equipo de Rayos X Arco en C*

| <b>Fallo Funcional</b>            | <b>Modo de Falla</b>                 | <b>Efecto de Falla</b>                                 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Falla en emisión de rayos X       | Tubo de rayos X dañado               | Imposibilidad de generar imágenes                      |
| Falla en sistema de refrigeración | Ventilador interno obstruido         | Sobrecalentamiento del tubo, riesgo de daño permanente |
| Falla en sistema de imagen        | Detector o intensificador defectuoso | Imágenes distorsionadas o sin visualización            |
| Falla eléctrica                   | Fuente de poder inestable            | Apagones inesperados durante procedimientos            |

*Nota.* Elaboración propia.

La mesa hidráulica quirúrgica puede presentar fallas en su sistema hidráulico debido a fugas o pérdidas de presión, lo que impide ajustar la altura y posición del paciente con precisión. De igual modo, el desgaste mecánico en las articulaciones genera movimientos bruscos o inestabilidad, comprometiendo la seguridad durante la cirugía. Las averías eléctricas o en los controles remotos dificultan la manipulación del equipo, obligando a realizar ajustes manuales y aumentando el tiempo operatorio.

**Tabla 18**

*Análisis de fallas de la Mesa Hidráulica para Operación Quirúrgica*

| <b>Fallo Funcional</b>      | <b>Modo de Falla</b>          | <b>Efecto de Falla</b>                            |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| Falla en sistema hidráulico | Fuga de aceite o baja presión | Imposibilidad de ajustar altura o posición        |
| Falla en control remoto     | Cableado o botones dañados    | Dificultad para manipular la mesa durante cirugía |
| Falla mecánica              | Desgaste en articulaciones    | Inestabilidad o movimientos bruscos               |
| Falla eléctrica             | Fusible fundido o sobrecarga  | Pérdida de funciones automáticas                  |

*Nota.* Elaboración propia.

Los fallos más frecuentes en los ecógrafos portátiles se relacionan con el deterioro del transductor, que puede producir imágenes borrosas o ausencia total de señal. También se presentan fallas en la pantalla o en la retroiluminación, afectando la visualización de las imágenes, así como errores en el software que ocasionan bloqueos o reinicios inesperados. Por último, el desgaste de la batería limita la autonomía del equipo y puede interrumpir

estudios en curso, afectando la continuidad del diagnóstico.

**Tabla 19**

*Análisis de fallas del Ecógrafo o Ultrasonido Portátil*

| <b>Fallo Funcional</b> | <b>Modo de Falla</b>                           | <b>Efecto de Falla</b>                    |
|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Falla en transductor   | Cable dañado o cristal piezoeléctrico roto     | Imágenes borrosas o sin señal             |
| Falla en pantalla      | Retroiluminación o conexión interna defectuosa | Visualización deficiente de la imagen     |
| Falla en software      | Error del sistema o archivo corrupto           | Bloqueo del equipo o lectura incorrecta   |
| Falla en batería       | Celdas degradadas                              | Pérdida de autonomía o apagado inesperado |

*Nota.* Elaboración propia.

En las cunas de calor radiante, los problemas más comunes son las fallas en los elementos calefactores y sensores de temperatura. Estas averías pueden derivar en temperaturas inadecuadas, provocando riesgos de hipotermia o sobrecalentamiento del neonato. Las interrupciones eléctricas o fallas en el sistema de alarma agravan el riesgo al impedir que el personal detecte a tiempo las variaciones térmicas, afectando la estabilidad y seguridad del paciente neonatal.

**Tabla 20**

*Análisis de fallas del Cuna de Calor Radiante 1*

| <b>Fallo Funcional</b>         | <b>Modo de Falla</b>             | <b>Efecto de Falla</b>                                        |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Falla en elemento calefactor   | Resistencia dañada               | Incapacidad para mantener la temperatura del neonato          |
| Falla en sensor de temperatura | Descalibración o desconexión     | Lecturas erróneas y riesgo de sobrecalentamiento o hipotermia |
| Falla eléctrica                | Corto circuito o fusible fundido | Interrupción total del funcionamiento                         |
| Falla en alarma sonora         | Parlante dañado                  | No se detectan desviaciones de temperatura críticas           |

*Nota.* Elaboración propia.

Los ecógrafos fijos presentan modos de falla similares a los portátiles, aunque con incidencia en módulos de procesamiento y pantallas de mayor complejidad. Los problemas en el transductor o en el procesador de imagen pueden generar distorsiones o pérdida total de señal, mientras que los fallos eléctricos o de software provocan reinicios o bloqueos del sistema. Estas situaciones dificultan la obtención de imágenes diagnósticas confiables y reducen la eficiencia del flujo de trabajo clínico.

**Tabla 21***Análisis de fallas del Ecógrafo o Ultrasonido Fijo*

| <b>Fallo Funcional</b>         | <b>Modo de Falla</b>             | <b>Efecto de Falla</b>                   |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| Falla en transductor principal | Desgaste o ruptura del cable     | Pérdida de señal o distorsión de imagen  |
| Falla en procesador de imagen  | Error de software o hardware     | Imagen congelada o pérdida de datos      |
| Falla en pantalla              | Daño en panel LCD                | Visualización incompleta o distorsionada |
| Falla eléctrica                | Fuente de alimentación inestable | Reinicios constantes o apagado repentino |

*Nota.* Elaboración propia.

El monitor multiparamétrico de cinco parámetros es esencial para el seguimiento del estado fisiológico del paciente; sin embargo, presenta fallos recurrentes en sensores y módulos de medición. Los errores en el módulo ECG o SpO<sub>2</sub> pueden generar lecturas imprecisas del ritmo cardíaco o saturación de oxígeno, comprometiendo la toma de decisiones clínicas. Además, los problemas eléctricos o de batería causan apagones repentinos, mientras que las fallas en la pantalla dificultan la lectura continua de los parámetros vitales.

**Tabla 22***Análisis de fallas del Monitor Multiparamétrico de 5 Parámetros*

| <b>Fallo Funcional</b>              | <b>Modo de Falla</b>                | <b>Efecto de Falla</b>                        |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Falla en módulo ECG                 | Cable o electrodo desconectado      | No se registra la actividad cardíaca          |
| Falla en sensor de SpO <sub>2</sub> | Desgaste o contaminación del sensor | Lecturas erróneas de oxigenación              |
| Falla en batería interna            | Capacidad reducida                  | Apagado inesperado en traslados               |
| Falla en pantalla                   | Retroiluminación defectuosa         | Dificultad para visualizar parámetros vitales |

*Nota.* Elaboración propia.

La segunda cuna radiante mantiene un perfil de fallas similar, destacando los problemas en el sistema de calefacción y control electrónico. Estos defectos pueden causar fluctuaciones térmicas que afectan la termorregulación del neonato. Asimismo, las averías eléctricas o en el sistema de alarma reducen la capacidad de respuesta del personal ante emergencias térmicas, haciendo imprescindible un mantenimiento preventivo riguroso para garantizar la seguridad en unidades de neonatología.

**Tabla 23***Análisis de fallas del Cuna de Calor Radiante 2*

| <b>Fallo Funcional</b>          | <b>Modo de Falla</b>          | <b>Efecto de Falla</b>                       |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| Falla en sistema de calefacción | Resistencia o sensor averiado | Temperatura inadecuada para el recién nacido |
| Falla en control electrónico    | Error en placa de control     | Calentamiento intermitente o descontrolado   |
| Falla eléctrica                 | Corto en cableado             | Parada total del sistema                     |
| Falla en sistema de alarma      | Fallo en zumbador o software  | No alerta sobre fallos térmicos              |

*Nota.* Elaboración propia.

En esta unidad de monitoreo, los fallos más comunes afectan los módulos de presión arterial y respiración, lo que genera lecturas erróneas o ausencia de datos clínicos. También se observan fallas en la pantalla táctil y en la memoria de almacenamiento, impidiendo la interacción fluida con el dispositivo y la conservación de registros médicos. Tales deficiencias afectan la continuidad del seguimiento y aumentan el riesgo de errores clínicos durante la monitorización del paciente.

**Tabla 24***Análisis de fallas del Monitor Multiparamétrico*

| <b>Fallo Funcional</b>              | <b>Modo de Falla</b>          | <b>Efecto de Falla</b>                         |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| Falla en módulo de presión arterial | Válvula o sensor defectuoso   | Lecturas erróneas o ausencia de registro       |
| Falla en módulo respiratorio        | Sensor de flujo bloqueado     | Imposibilidad de medir frecuencia respiratoria |
| Falla en interfaz gráfica           | Pantalla táctil sin respuesta | Dificultad para operar el equipo               |
| Falla en almacenamiento de datos    | Memoria dañada                | Pérdida de registros clínicos del paciente     |

*Nota.* Elaboración propia.

El detector de latidos fetales puede presentar fallas en la sonda Doppler, lo que impide captar correctamente los sonidos cardíacos del feto. Además, los problemas en el altavoz o la pantalla dificultan la audición y visualización de la frecuencia cardíaca fetal. Los fallos eléctricos o de batería pueden detener completamente su funcionamiento, lo que interrumpe la evaluación del bienestar fetal y retrasa el diagnóstico en controles prenatales.

**Tabla 25***Análisis de fallas del Detector de Latidos Fetales de Sobremesa*

| <b>Fallo Funcional</b> | <b>Modo de Falla</b>                | <b>Efecto de Falla</b>                   |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| Falla en sonda Doppler | Cable interno roto o cristal dañado | No detección de latidos fetales          |
| Falla en altavoz       | Daño en componente de audio         | No se escucha señal fetal                |
| Falla en pantalla      | Sin iluminación o líneas verticales | Dificultad para leer frecuencia cardíaca |
| Falla eléctrica        | Batería o adaptador dañado          | Interrupción total del funcionamiento    |

*Nota.* Elaboración propia.

El plan de mantenimiento preventivo del equipamiento biomédico tiene como finalidad asegurar su adecuado manejo, extender su ciclo de vida y reducir el riesgo de fallas durante su uso clínico. A través de una programación sistemática de inspecciones, verificaciones, limpiezas y calibraciones, se busca mantener los dispositivos en niveles óptimos de desempeño y seguridad. Este tipo de mantenimiento no solo contribuye a la continuidad operativa de los servicios médicos, sino que también asegura la confiabilidad de los resultados obtenidos en cada procedimiento. Posteriormente, se detallan los planes de mantenimiento específicos para cada equipo médico, considerando las actividades, frecuencias y responsables asignados según sus características técnicas y criticidad dentro del entorno hospitalario.

El plan de mantenimiento del equipo de anestesia busca asegurar un funcionamiento confiable durante los procedimientos quirúrgicos, garantizando la integridad del paciente y la correcta administración en gases anestésicos. Las actividades programadas incluyen la verificación del sistema de gases, la calibración del vaporizador, la limpieza de válvulas y filtros, y la revisión de sensores y componentes eléctricos. Estas acciones, realizadas por técnicos e ingenieros biomédicos de manera periódica, permiten prevenir fugas, obstrucciones o errores de dosificación que podrían comprometer la estabilidad del paciente bajo anestesia.

**Tabla 26***Plan de mantenimiento del Equipo de anestesia*

| <b>Actividades</b>       | <b>OPEN</b> | <b>CLOSE</b> | <b>Duración (hr)</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Responsable</b> |
|--------------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| Verificación del sistema | X           |              | 2                    | Mensual           | Ingeniero          |

|                                              |   |   |   |            |           |
|----------------------------------------------|---|---|---|------------|-----------|
| de gases y conexiones                        |   |   |   |            |           |
| Revisión y calibración del vaporizador       |   | X | 3 | Trimestral |           |
| Limpieza y prueba de válvulas y filtros      | X |   | 2 | Bimestral  | biomédico |
| Verificación del sistema eléctrico y alarmas | X |   | 2 | Trimestral |           |
| Revisión de sensores de flujo y presión      |   | X | 3 | Semestral  |           |

*Nota.* Elaboración propia.

El mantenimiento del arco en C está enfocado en preservar la calidad de las imágenes radiológicas y la seguridad operativa del sistema. Las inspecciones del tubo de rayos X, del sistema de refrigeración y de los ventiladores internos son fundamentales para evitar sobrecalentamientos y asegurar la correcta emisión de radiación. Además, la calibración del generador y del detector garantiza una visualización precisa durante los procedimientos quirúrgicos. El mantenimiento eléctrico y de conectores completa el programa, minimizando fallas inesperadas que puedan interrumpir la obtención de imágenes en tiempo real.

**Tabla 27**

*Plan de mantenimiento del Equipo de Rayos X Arco en C*

| Actividades                                    | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|------------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Inspección del tubo de rayos X y cableado      | X    |       | 3             | Trimestral |                     |
| Verificación del sistema de refrigeración      | X    |       | 2             | Bimestral  |                     |
| Limpieza de ventiladores y filtros internos    |      | X     | 2             | Mensual    | Ingeniero biomédico |
| Prueba de calibración del generador y detector |      | X     | 3             | Semestral  |                     |
| Revisión de conectores y fuente de poder       | X    |       | 2             | Bimestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El plan de mantenimiento de la mesa hidráulica quirúrgica tiene como objetivo mantener la estabilidad y maniobrabilidad necesarias durante las intervenciones. La revisión del sistema hidráulico, la lubricación de articulaciones y la comprobación del control remoto aseguran que el equipo pueda ajustarse con suavidad y precisión. Las pruebas de nivelación y la sustitución de sellos permiten evitar fugas o movimientos inestables que comprometan la

seguridad del paciente. Con estas acciones periódicas, se garantiza la confiabilidad mecánica del equipo en todo tipo de procedimientos quirúrgicos.

**Tabla 28**

*Plan de mantenimiento del de la Mesa Hidráulica para Operación Quirúrgica*

| Actividades                                       | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|---------------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Revisión del sistema hidráulico (fugas y presión) | X    |       | 3             | Trimestral | Ingeniero biomédico |
| Limpieza y lubricación de articulaciones          |      | X     | 2             | Bimestral  |                     |
| Verificación del control remoto y cableado        | X    |       | 2             | Trimestral |                     |
| Prueba de estabilidad y nivelación                |      | X     | 1             | Mensual    |                     |
| Sustitución de sellos o empaques                  |      | X     | 3             | Semestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El mantenimiento del ecógrafo portátil está orientado a conservar la nitidez de las imágenes diagnósticas y la portabilidad del equipo. Se incluyen actividades de revisión del transductor, limpieza del teclado y pantalla, actualización de software, calibración de imagen y control del estado de la batería. La participación del ingeniero biomédico y del técnico eléctrico permite detectar fallos tempranos en los módulos de procesamiento o en las fuentes de alimentación, asegurando que el equipo funcione correctamente durante la atención médica en campo o en áreas hospitalarias.

**Tabla 29**

*Plan de mantenimiento del Ecógrafo o Ultrasonido Portátil*

| Actividades                       | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|-----------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Revisión del transductor y cables | X    |       | 2             | Bimestral  | Ingeniero biomédico |
| Limpieza del teclado y pantalla   |      | X     | 1             | Mensual    |                     |

|                                             |   |   |   |            |
|---------------------------------------------|---|---|---|------------|
| Verificación del software y actualizaciones | X |   | 2 | Trimestral |
| Prueba de calibración de imagen             |   | X | 2 | Semestral  |
| Verificación de batería y fuente de poder   | X |   | 1 | Bimestral  |

*Nota.* Elaboración propia.

El plan de mantenimiento de la cuna radiante tiene como finalidad mantener un ambiente térmico estable y seguro para el neonato. Las tareas incluyen la limpieza del reflector, la verificación de sensores, el control de alarmas y la calibración del sistema de temperatura. La revisión eléctrica y de conexiones garantiza un funcionamiento continuo y libre de fallos. Este mantenimiento periódico permite evitar riesgos por sobrecalentamiento o enfriamiento, protegiendo la salud del recién nacido y asegurando la precisión del control térmico durante su uso clínico.

**Tabla 30**

*Plan de mantenimiento del Cuna de Calor Radiante 1*

| Actividades                                       | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|---------------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Limpieza del reflector y lámpara calefactora      | X    |       | 1             | Mensual    | Ingeniero biomédico |
| Verificación de sensores de temperatura           |      | X     | 2             | Bimestral  |                     |
| Prueba de alarmas visuales y sonoras              | X    |       | 1             | Mensual    |                     |
| Revisión del sistema eléctrico y conexiones       | X    |       | 2             | Trimestral |                     |
| Calibración de control electrónico de temperatura |      | X     | 3             | Semestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El mantenimiento del ecógrafo fijo está diseñado para preservar la calidad del diagnóstico por imagen y la integridad de sus componentes electrónicos. Las actividades programadas abarcan la limpieza y prueba de transductores, la verificación del monitor, la actualización del software y la calibración del sistema ultrasónico. Además, la revisión del cableado y conectores previene fallas eléctricas que puedan alterar la calidad visual. Estas acciones sistemáticas contribuyen a prolongar la vida útil del equipo y garantizar

diagnósticos confiables y reproducibles.

**Tabla 31**

*Plan de mantenimiento del Ecógrafo o Ultrasonido Fijo*

| Actividades                                     | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|-------------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Limpieza y prueba del transductor               | X    |       | 2             | Bimestral  |                     |
| Verificación del monitor y resolución de imagen |      | X     | 2             | Trimestral |                     |
| Actualización del software del sistema          | X    |       | 2             | Semestral  | Ingeniero biomédico |
| Comprobación de conectores y cableado           | X    |       | 1             | Bimestral  |                     |
| Calibración de señal ultrasónica                |      | X     | 3             | Semestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El plan de mantenimiento del monitor multiparamétrico de cinco parámetros busca garantizar la correcta lectura de las variables fisiológicas del paciente. Las verificaciones periódicas de los sensores ECG y SpO<sub>2</sub>, junto con la calibración de los módulos y la revisión de alarmas, aseguran un monitoreo preciso y continuo. La inspección de batería y pantalla complementa el mantenimiento preventivo, evitando apagones o errores de visualización. Este programa permite mantener el equipo en óptimas condiciones operativas, reduciendo el riesgo de fallas durante situaciones críticas.

**Tabla 32**

*Plan de mantenimiento del Monitor Multiparamétrico de 5 Parámetros*

| Actividades                                     | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|-------------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Verificación de sensores ECG y SpO <sub>2</sub> | X    |       | 2             | Mensual    |                     |
| Limpieza de conectores y cables                 |      | X     | 1             | Bimestral  |                     |
| Prueba de calibración de módulos                | X    |       | 2             | Trimestral | Ingeniero biomédico |
| Verificación de alarmas y batería               | X    |       | 1             | Bimestral  |                     |
| Revisión de pantalla y funcionamiento táctil    |      | X     | 2             | Trimestral |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El mantenimiento de la segunda cuna radiante mantiene el mismo enfoque preventivo,

centrado en la regulación térmica y el buen estado de sus componentes electrónicos. Las inspecciones del sistema de calefacción y control electrónico garantizan una respuesta adecuada ante variaciones de temperatura. La limpieza periódica, junto con las pruebas de sensores y alarmas, asegura un funcionamiento confiable. Este mantenimiento regular minimiza el riesgo de incidentes por fallos térmicos, garantizando un entorno controlado para la atención neonatal.

**Tabla 33**

*Plan de mantenimiento del Cuna de Calor Radiante 2*

| Actividades                               | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|-------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Inspección del sistema de calefacción     | X    |       | 2             | Bimestral  | Ingeniero biomédico |
| Verificación de control electrónico       |      | X     | 3             | Trimestral |                     |
| Limpieza de superficie y lámpara radiante | X    |       | 1             | Mensual    |                     |
| Comprobación de alarmas y sensores        | X    |       | 1             | Bimestral  |                     |
| Prueba de estabilidad térmica             |      | X     | 2             | Semestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

El mantenimiento de esta unidad de monitoreo se enfoca en asegurar la precisión de los módulos de presión arterial y respiración, así como la integridad del sistema de registro de datos. La limpieza de sensores, la revisión de baterías y la verificación del almacenamiento previenen errores de medición y pérdida de información clínica. Las pruebas funcionales garantizan la correcta operación de alarmas y pantallas, asegurando la continuidad del monitoreo en pacientes críticos. Con ello, se mantiene la confiabilidad del equipo y se reduce la probabilidad de interrupciones durante su uso.

**Tabla 34**

*Plan de mantenimiento del Monitor Multiparamétrico*

| Actividades                                  | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|----------------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Revisión de módulos de presión y respiración | X    |       | 2             | Trimestral | Ingeniero biomédico |
| Limpieza y revisión de cables de sensores    |      | X     | 1             | Bimestral  |                     |
| Verificación del sistema                     | X    |       | 2             | Semestral  |                     |

|                                            |   |   |   |            |
|--------------------------------------------|---|---|---|------------|
| de almacenamiento de datos                 |   |   |   |            |
| Revisión del estado de la batería interna  | X |   | 1 | Bimestral  |
| Prueba de funcionamiento general y alarmas |   | X | 2 | Trimestral |

*Nota.* Elaboración propia.

El plan de mantenimiento del detector fetal busca garantizar la correcta captación y visualización de la frecuencia cardíaca fetal. Periódicamente se realiza la revisión del transductor Doppler y del sistema de audio permite identificar fallas en la transmisión o reproducción de la señal. La limpieza de la pantalla y la calibración del equipo aseguran una lectura clara y precisa. Finalmente, el control del adaptador y batería evita apagones inesperados, asegurando que el dispositivo se mantenga operativo durante los exámenes prenatales.

**Tabla 35**

*Plan de mantenimiento del Detector de Latidos Fetales de Sobremesa*

| Actividades                             | OPEN | CLOSE | Duración (hr) | Frecuencia | Responsable         |
|-----------------------------------------|------|-------|---------------|------------|---------------------|
| Verificación del transductor Doppler    | X    |       | 2             | Bimestral  |                     |
| Revisión del altavoz y sistema de audio | X    |       | 1             | Trimestral |                     |
| Limpieza del panel y pantalla           |      | X     | 1             | Mensual    | Ingeniero biomédico |
| Prueba de calibración de señal fetal    |      | X     | 2             | Semestral  |                     |
| Revisión del adaptador y batería        | X    |       | 1             | Bimestral  |                     |

*Nota.* Elaboración propia.

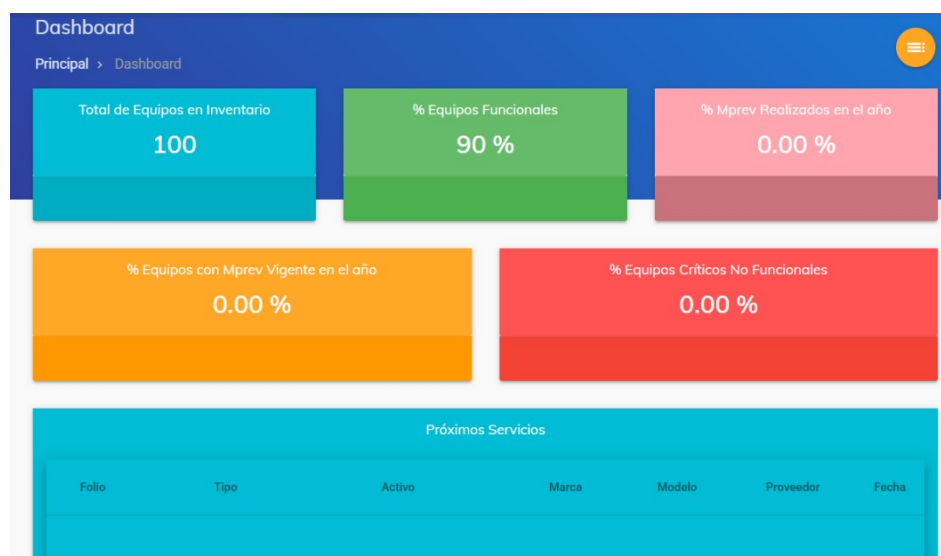
El procedimiento de registro de activos en el sistema de inventario institucional permite asegurar el control, trazabilidad y correcta administración de los bienes patrimoniales. Este proceso, representado en las figuras siguientes, describe paso a paso las acciones que el usuario debe realizar para incorporar un nuevo activo, desde el ingreso al sistema hasta la visualización final del bien registrado. A través de esta secuencia se garantiza que cada equipo cuente con información técnica, administrativa y visual actualizada,

contribuyendo a una gestión eficiente, transparente y ordenada del inventario institucional.

En la Figura 6, observas el ingreso al interfaz del inventario, donde un usuario accede mediante sus credenciales institucionales al módulo de activos fijos. Este paso inicial permite validar la identidad del responsable y habilita el acceso a las funciones del sistema relacionadas con la gestión de bienes. En esta etapa, el usuario selecciona la opción “Registrar nuevo activo” para dar inicio al procedimiento de incorporación en el inventario

**Figura 6.**

*Paso 01*

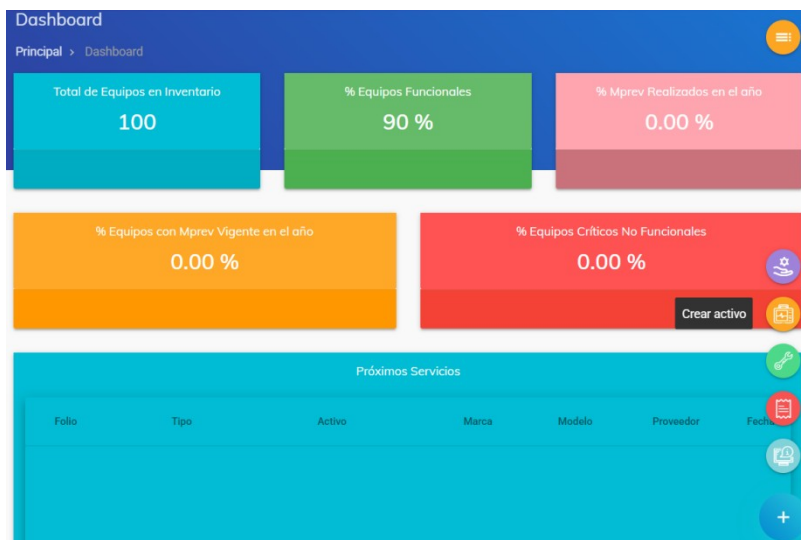


*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 7 ilustra la pantalla principal del registro de activos, en la que se debe completar la información general del bien. Aquí se ingresan datos como la descripción del equipo, código patrimonial, número de serie, marca, modelo y ubicación física. Este paso es fundamental para la identificación única del activo dentro del sistema.

**Figura 7.**

*Paso 02*



*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 8 se ve la sección destinada al ingreso de información técnica y administrativa complementaria. El usuario debe especificar la procedencia del activo, fecha de adquisición, valor de compra, proveedor y centro de costo asociado. Asimismo, se asigna el responsable del bien dentro de la dependencia correspondiente. Este paso asegura que cada activo cuente con respaldo documental y contable dentro del inventario institucional.

**Figura 8.**

*Paso 03*

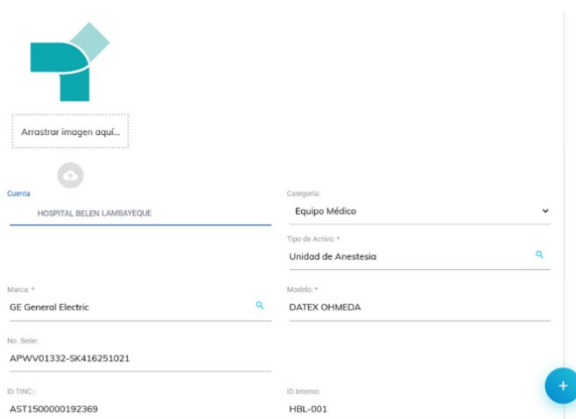
*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 9 muestra el apartado para la carga de evidencias fotográficas. En esta etapa, el usuario adjunta una o varias imágenes del activo, capturadas desde distintos ángulos,

con el fin de registrar su estado físico actual. Estas fotografías son esenciales para fines de control patrimonial, auditoría y verificación visual del bien.

### Figura 9.

#### Paso 04



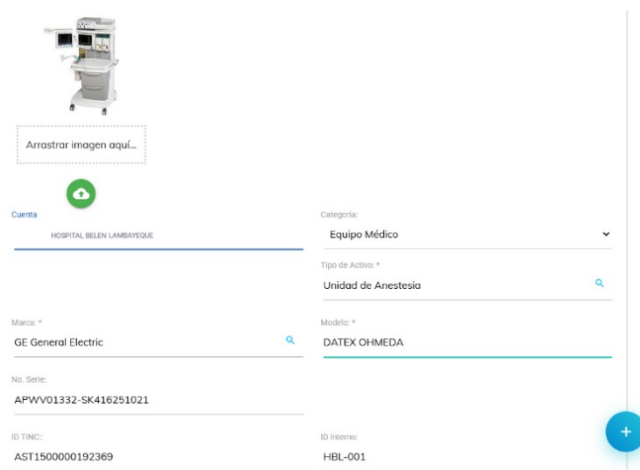
The screenshot shows a registration form for medical equipment. At the top left, there is a logo consisting of two overlapping teal squares. Below the logo is a dashed box with the text "Arrastrar imagen aquí...". To the right of the logo is a circular icon with a plus sign. The form is divided into two columns. The left column contains the following fields: "Cuenta" with the value "HOSPITAL BELEN LAMBAYEQUE", "Marca" with the value "GE General Electric", "No. Serie" with the value "APWV01332-SK416251021", and "ID TINC" with the value "AST1500000192369". The right column contains the following fields: "Categoría" with the value "Equipo Médico", "Tipo de Activo" with the value "Unidad de Anestesia", "Modelo" with the value "DATEX OHMEDA", and "ID Interno" with the value "HBL-001". A blue circular button with a plus sign is located at the bottom right of the form.

*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 10 se visualiza el proceso de verificación de datos ingresados antes de confirmar el registro. El sistema muestra un resumen general con toda la información del activo, permitiendo al usuario revisar y corregir posibles errores.

### Figura 10.

#### Paso 05



The screenshot shows a verification form for medical equipment. At the top left, there is a logo consisting of two overlapping teal squares. Below the logo is a dashed box with the text "Arrastrar imagen aquí...". To the right of the logo is a circular icon with a plus sign. The form is divided into two columns. The left column contains the following fields: "Cuenta" with the value "HOSPITAL BELEN LAMBAYEQUE", "Marca" with the value "GE General Electric", "No. Serie" with the value "APWV01332-SK416251021", and "ID TINC" with the value "AST1500000192369". The right column contains the following fields: "Categoría" with the value "Equipo Médico", "Tipo de Activo" with the value "Unidad de Anestesia", "Modelo" with the value "DATEX OHMEDA", and "ID Interno" with the value "HBL-001". A blue circular button with a plus sign is located at the bottom right of the form.

*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 11 presenta la confirmación del registro del activo en el sistema. Una vez validados los datos, el usuario procede a guardar la información, generando un código o

número de registro único.

## Figura 11.

### Paso 06

TINC CMMS

Inventario

General General 2 Provedura Servicio Garantía Finanzas Expediente Software Anexos Baja

Arrastrar imagen aquí...

Cuenta: Clínica Camino Real

Marca: GE General Electric

ID TINC: AST1500000192369

Jerarquía: Individual

Red: Red Provincia

Categoría: Equipo Médico

Modelo: DATEX OHMEDA

ID Interno: HBL-001

Grupo de Usuario: Ingeniería Clínica

Tipo de Activo: Unidad de Anestesia

No. Serie: APWV01332-SK416251021

Grupos de Servicio: Áreas Críticas

Código AF: 532237630008

Siguiente

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 12 se observa la etapa de validación y cierre del proceso. El sistema emite una notificación de registro exitoso, indicando que el activo ha sido agregado correctamente.

## Figura 12.

### Paso 07

Tipo de Activo: Unidad de Anestesia

Marca: GE General Electric

No. Serie: APWV01332-SK416251021

ID TINC: AST1500000192369

Grupos de Servicio: Áreas Críticas

Jerarquía: Individual

Modelo: DATEX OHMEDA

ID Interno: HBL-001

Grupo de Usuario: Ingeniería Clínica

Tipo de Activo Interno

Código AF: 532237630008

Validación

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, en la octava figura se muestra la vista del activo ya registrado dentro del sistema de inventario. Aquí se puede visualizar toda la información consolidada, incluyendo datos técnicos, ubicación, fotografías y estado actual. Desde esta vista, el usuario tiene la opción de realizar futuras actualizaciones, registrar mantenimientos o gestionar la baja del

activo según las necesidades institucionales.

### Figura 13.

#### Paso 08

Formulario de solicitud de reemplazo de un activo. El formulario contiene los siguientes campos:

- Fecha de Baja: (campo de texto con icono de calendario)
- Motivo de Baja: \* (campo de texto con icono de flecha hacia abajo)
- Comentarios: \* (campo de texto)
- Comentarios (campo de texto)

Botones de acción:

- Solicitar Reemplazo (botón azul)
- Dar De Baja (botón gris)
- Anterior (botón rojo con flecha hacia atrás)

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 33 presenta una evaluación de la confiabilidad y disponibilidad operativa de diversos equipos biomédicos a partir de indicadores como horas programadas, horas trabajadas, horas de parada, número de fallas, MTBF (tiempo medio entre fallas), MTTR (tiempo medio de reparación) y disponibilidad. En general, todos los equipos analizados muestran una alta estabilidad operativa: las horas trabajadas prácticamente igualan a las programadas, y las paradas registradas son mínimas. Los valores de MTBF reflejan que los equipos experimentan fallas con baja frecuencia, lo cual indica un comportamiento confiable en la operación diaria de servicios clínicos como anestesia, diagnóstico por imágenes, monitoreo y soporte neonatal.

Asimismo, el MTTR promedio de 2,92 horas evidencia que, cuando ocurre una falla, el tiempo de reparación es relativamente corto, lo que contribuye a mantener la continuidad del servicio. Esto se refleja en la disponibilidad global del sistema, que alcanza un 99,71%, valor considerado excelente para entornos hospitalarios donde la continuidad operativa es crítica.

### Tabla 36

#### Disponibilidad final en equipos biomédicos

| Móvil                       | Horas Prog. | Horas Trab. | Horas Par. | Nº fallas | MTBF    | MTTR | Disponibilidad |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|---------|------|----------------|
| EQUIPO DE ANESTESIA         | 3672        | 3662        | 10         | 3         | 1220.67 | 3.33 | 99.73%         |
| EQUIPO DE RAYOS X ARCO EN C | 3672        | 3659        | 13         | 4         | 914.75  | 3.25 | 99.65%         |

|                                                           |      |      |    |   |         |      |        |
|-----------------------------------------------------------|------|------|----|---|---------|------|--------|
| MESA HIDRAULICA<br>PARA OPERACION<br>QUIRURGICA<br>EQUIPO | 3672 | 3663 | 9  | 3 | 1221.00 | 3.00 | 99.75% |
| ECOGRAFO -<br>ULTRASONIDO<br>PORTATIL                     | 3672 | 3664 | 8  | 3 | 1221.33 | 2.67 | 99.78% |
| CUNA DE CALOR<br>RADIANTE<br>EQUIPO                       | 3672 | 3660 | 12 | 4 | 915.00  | 3.00 | 99.67% |
| ECOGRAFO -<br>ULTRASONIDO<br>MONITOR                      | 3672 | 3661 | 11 | 4 | 915.25  | 2.75 | 99.70% |
| MULTIPARAMETR<br>O DE 5<br>PARAMETROS                     | 3672 | 3664 | 8  | 3 | 1221.33 | 2.67 | 99.78% |
| CUNA DE CALOR<br>RADIANTE                                 | 3672 | 3658 | 14 | 5 | 731.60  | 2.80 | 99.62% |
| MONITOR MULTI<br>PARAMETRO                                | 3672 | 3661 | 11 | 4 | 915.25  | 2.75 | 99.70% |
| DETECTOR DE<br>LATIDOS FETALES<br>DE SOBREMESA            | 3672 | 3660 | 12 | 4 | 915.00  | 3.00 | 99.67% |
| PROMEDIO                                                  |      |      |    |   | 1019.12 | 2.92 | 99.71% |

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4. Determinar el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.

La inversión respecto al mantenimiento estuvo dada por los materiales e instrumentos de las tareas de mantenimiento siendo un total de S/37 875,00.

**Tabla 37.**

*Inversión del plan de mantenimiento*

| Ítem                                           | Cantidad (und) | Precio     | Total      |
|------------------------------------------------|----------------|------------|------------|
| Alcohol isopropílico (frasco 1 L)              | 15             | S/35.00    | S/525.00   |
| Paños de microfibra                            | 30             | S/10.00    | S/300.00   |
| Aire comprimido en spray                       | 10             | S/45.00    | S/450.00   |
| Grasa dieléctrica (tubo 250 g)                 | 8              | S/40.00    | S/320.00   |
| Silicona térmica (juego)                       | 5              | S/55.00    | S/275.00   |
| Guantes antiestáticos                          | 20             | S/12.00    | S/240.00   |
| Multímetro digital                             | 3              | S/420.00   | S/1,260.00 |
| Kit de calibración de sensores                 | 3              | S/580.00   | S/1,740.00 |
| Fuente de poder regulable                      | 2              | S/950.00   | S/1,900.00 |
| Cables de prueba con pinzas                    | 15             | S/25.00    | S/375.00   |
| Aceite hidráulico médico (1 L)                 | 10             | S/60.00    | S/600.00   |
| Filtros de aire para sistemas de refrigeración | 10             | S/40.00    | S/400.00   |
| Filtros de línea de gases anestésicos          | 6              | S/85.00    | S/510.00   |
| Sensores de temperatura de repuesto            | 10             | S/90.00    | S/900.00   |
| Cables ECG (juego)                             | 10             | S/120.00   | S/1,200.00 |
| Sensor SpO <sub>2</sub>                        | 10             | S/160.00   | S/1,600.00 |
| Transductor de ultrasonido (convexo/lineal)    | 4              | S/2,400.00 | S/9,600.00 |
| Fusibles de seguridad                          | 40             | S/6.00     | S/240.00   |
| Relés electrónicos                             | 15             | S/35.00    | S/525.00   |
| Batería recargable (monitor y portátil)        | 8              | S/380.00   | S/3,040.00 |
| Lámpara halógena para cuna radiante            | 6              | S/280.00   | S/1,680.00 |
| Termostato digital                             | 5              | S/230.00   | S/1,150.00 |
| Cinta aislante y termorretráctil (rollo)       | 20             | S/15.00    | S/300.00   |
| Pasta limpiadora de contactos eléctricos       | 10             | S/45.00    | S/450.00   |
| Kit de herramientas biomédicas                 | 3              | S/750.00   | S/2,250.00 |
| Certificador de presión (monitor)              | 2              | S/1,500.00 | S/3,000.00 |
| Sensor Doppler fetal de repuesto               | 4              | S/380.00   | S/1,520.00 |

|                                           |            |         |                    |
|-------------------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Cables de alimentación<br>(hospitalarios) | 15         | S/65.00 | S/975.00           |
| Desinfectante de grado médico<br>(galón)  | 10         | S/55.00 | S/550.00           |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>309</b> |         | <b>S/37,875.00</b> |

*Nota.* Elaboración propia.

La inversión respecto a la capacitación estuvo dada por capacitación en el plan de mantenimiento, capacitación en las tareas de mantenimiento y de los equipos siendo un total de S/2 250,00. Cabe recalcar que se realizaron un total de 9 capacitaciones dos capacitaciones por año para un total de 5 trabajadores.

**Tabla 38.**

*Capacitaciones*

| Ítem                                        | Cantidad (und) | Precio   | Total             |
|---------------------------------------------|----------------|----------|-------------------|
| Capacitación en la metodología RCM          | 3              | S/250.00 | S/750.00          |
| Capacitación en las tareas de mantenimiento | 3              | S/250.00 | S/750.00          |
| Capacitación en los equipos                 | 3              | S/250.00 | S/750.00          |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>9</b>       |          | <b>S/2,250.00</b> |

*Nota.* Elaboración propia.

Por otro lado, los gastos anuales del plan de mantenimiento estuvieron dados por los útiles de oficina siendo un total de S/505.

**Tabla 39.**

*Gastos anuales*

| Ítem              | Cantidad (und)        | Precio | Sub total | Total    |
|-------------------|-----------------------|--------|-----------|----------|
| Útiles de oficina | Paquete de Hojas Bond | 1      | S/15.00   | S/15.00  |
|                   | Tinta de impresora    | 4      | S/120.00  | S/480.00 |
|                   | Archivadores          | 4      | S/1.50    | S/6.00   |
|                   | Bolígrafos            | 4      | S/1.00    | S/4.00   |

*Nota.* Elaboración propia.

Además, la depreciación de los equipos tangibles asciende a S/6 110,00.

**Tabla 40.***Depreciación*

| <b>Descripción</b>                             | <b>Activos Total</b> | <b>Unidades</b> | <b>Valor Por Depreciar</b> | <b>Años Por Depreciar</b> | <b>Depreciación anual</b> |
|------------------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Multímetro digital                             | S/420.00             | 3               | S/1,260.00                 | 5                         | S/252.00                  |
| Kit de calibración de sensores                 | S/580.00             | 3               | S/1,740.00                 | 5                         | S/348.00                  |
| Fuente de poder regulable                      | S/950.00             | 2               | S/1,900.00                 | 5                         | S/380.00                  |
| Filtros de aire para sistemas de refrigeración | S/40.00              | 10              | S/400.00                   | 5                         | S/80.00                   |
| Filtros de línea de gases anestésicos          | S/85.00              | 6               | S/510.00                   | 5                         | S/102.00                  |
| Sensores de temperatura de repuesto            | S/90.00              | 10              | S/900.00                   | 5                         | S/180.00                  |
| Sensor SpO <sub>2</sub>                        | S/160.00             | 10              | S/1,600.00                 | 5                         | S/320.00                  |
| Transductor de ultrasonido (convexo/lineal)    | S/2,400.00           | 4               | S/9,600.00                 | 5                         | S/1,920.00                |
| Batería recargable (monitor y portátil)        | S/380.00             | 8               | S/3,040.00                 | 5                         | S/608.00                  |
| Lámpara halógena para cuna radiante            | S/280.00             | 6               | S/1,680.00                 | 5                         | S/336.00                  |
| Termostato digital                             | S/230.00             | 5               | S/1,150.00                 | 5                         | S/230.00                  |
| Kit de herramientas biomédicas                 | S/750.00             | 3               | S/2,250.00                 | 5                         | S/450.00                  |
| Certificador de presión (monitor)              | S/1,500.00           | 2               | S/3,000.00                 | 5                         | S/600.00                  |
| Sensor Doppler fetal de repuesto               | S/380.00             | 4               | S/1,520.00                 | 5                         | S/304.00                  |
| <b>Total</b>                                   |                      |                 |                            |                           | <b>S/6,110.00</b>         |

*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 38 se muestra el flujo de caja de la propuesta de plan de mantenimiento, dado por la inversión, los egresos e ingresos siendo así viable económicamente por un VAN positivo de S/4 698,94, un TIR de 16.01%, un B/C de 3,63.

**Tabla 41.**

*Flujo de caja*

| <b>AÑO</b>                         | <b>0</b>            | <b>1</b>            | <b>2</b>            | <b>3</b>           | <b>4</b>           | <b>5</b>           |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Inversión</b>                   |                     |                     |                     |                    |                    |                    |
| Intangible                         | S/2,250.00          |                     |                     |                    |                    |                    |
| Tangible                           | S/37,875.00         |                     |                     |                    |                    |                    |
| <b>Total, INVERSIÓN</b>            | <b>S/40,125.00</b>  |                     |                     |                    |                    |                    |
| <b>Beneficios</b>                  |                     |                     |                     |                    |                    |                    |
|                                    |                     | S/24,000.00         | S/24,000.00         | S/24,000.00        | S/24,000.00        | S/24,000.00        |
|                                    |                     | S/0.00              | S/0.00              | S/0.00             | S/0.00             | S/0.00             |
|                                    |                     | S/0.00              | S/0.00              | S/0.00             | S/0.00             | S/0.00             |
| <b>Total, BENEFICIOS</b>           | <b>S/ -</b>         | <b>S/24,000.00</b>  | <b>S/24,000.00</b>  | <b>S/24,000.00</b> | <b>S/24,000.00</b> | <b>S/24,000.00</b> |
| <b>Egresos</b>                     |                     |                     |                     |                    |                    |                    |
| Gastos anuales                     |                     | S/505.00            | S/505.00            | S/505.00           | S/505.00           | S/505.00           |
| Depreciación                       |                     | S/6,110.00          | S/6,110.00          | S/6,110.00         | S/6,110.00         | S/6,110.00         |
| <b>Total, EGRESOS</b>              | <b>S/40,125.00</b>  | <b>S/6,615.00</b>   | <b>S/6,615.00</b>   | <b>S/6,615.00</b>  | <b>S/6,615.00</b>  | <b>S/6,615.00</b>  |
| <b>Utilidad antes de impuestos</b> |                     | <b>S/17,385.00</b>  | <b>S/17,385.00</b>  | <b>S/17,385.00</b> | <b>S/17,385.00</b> | <b>S/17,385.00</b> |
| Impuestos                          |                     | S/5,128.58          | S/5,128.58          | S/5,128.58         | S/5,128.58         | S/5,128.58         |
| <b>Flujo de caja</b>               | <b>-S/40,125.00</b> | <b>S/12,256.43</b>  | <b>S/12,256.43</b>  | <b>S/12,256.43</b> | <b>S/12,256.43</b> | <b>S/12,256.43</b> |
| <b>Utilidad acumulada</b>          | <b>-S/40,125.00</b> | <b>-S/27,868.58</b> | <b>-S/15,612.15</b> | <b>-S/3,355.73</b> | <b>S/8,900.70</b>  | <b>S/21,157.13</b> |
| <b>Valor actual neto (VAN)</b>     | <b>S/4,698.94</b>   |                     |                     |                    |                    |                    |
| <b>TIR</b>                         | <b>16.01%</b>       |                     |                     |                    |                    |                    |
| <b>B/C</b>                         | <b>3.63</b>         |                     |                     |                    |                    |                    |

*Nota.* Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

En base al objetivo general, que señala un incremento del 3.31% en la disponibilidad del equipamiento biomédico del Hospital Belén–Lambayeque tras implementar un plan de mantenimiento basado en RCM, se relaciona directamente con los resultados reportados por Aguilar y Rodríguez (2023), Cáceres y Quecaño (2024) y Cossio (2021). En todos estos estudios, la ejecución metódica de mantenimiento preventivo incrementó la disponibilidad en magnitudes diversas: desde mejoras considerables superiores al 10% hasta incrementos más modestos como 2.06%. En comparación, el aumento del 3.31% encontrado en el Hospital Belén se ubica dentro de este rango, pero representa un impacto más cercano a los estudios con mejoras moderadas. Esto puede interpretarse como una mejora efectiva, aunque menos pronunciada que en investigaciones donde la brecha inicial de disponibilidad era mayor. Sin embargo, coincide con el patrón general observado en los antecedentes: la implementación de metodologías estructuradas de mantenimiento siempre genera mejoras operativas sostenibles.

Relacionado al primer objetivo específico, donde se identifica que el principal factor que origina la reducida disponibilidad es la ausencia del método RCM (21.43%), seguida de la obsolescencia y la sobredemanda asistencial, se observa una coincidencia clara con Ganchozo y Helguero (2024), Chinome et al. (2023) y Castañeda et al. (2022). Estos estudios señalaron que la falta de un plan de mantenimiento, la inexistencia de un departamento de ingeniería biomédica y la ausencia de procedimientos estandarizados son causas recurrentes de fallas y baja confiabilidad. Asimismo, Cossio (2021) y Rodríguez (2024) evidenciaron que equipos con exceso de uso y sobrecarga operacional reducen significativamente su desempeño. De este modo, los hallazgos del Hospital Belén reafirman una problemática ampliamente documentada: la carencia de metodologías estructuradas provoca fallas recurrentes, y la antigüedad tecnológica acentúa los tiempos de inactividad.

En cuanto al tercer objetivo específico, que determina que gran parte del equipamiento evaluados presentan un grado de criticidad alto, este resultado coincide con los estudios de Ganchozo y Helguero (2024), Chinome et al. (2023) y Castañeda et al. (2022), quienes identificaron que ciertos equipos biomédicos, especialmente los vinculados al soporte vital, monitoreo y diagnóstico, tienden a concentrar el mayor nivel de riesgo

operativo debido a la frecuencia de uso y al impacto clínico de sus fallas. La identificación de equipos como ecógrafos, cunas térmicas y monitores multiparámetro como altamente críticos se alinea con los antecedentes, donde los equipos de vigilancia neonatal, diagnóstico por imágenes y monitoreo fisiológico suelen ser priorizados en los planes de mantenimiento por su importancia para la atención hospitalaria. La concordancia entre estudios confirma que estos equipos requieren intervenciones priorizadas para garantizar la continuidad del servicio asistencial.

El cuarto objetivo específico, que describe las actividades propuestas en el plan de mantenimiento preventivo y su orientación a preservar la calidad funcional y la seguridad operativa de los equipos, coincide claramente con las intervenciones sugeridas en los antecedentes internacionales y nacionales. Por ejemplo, Chinome et al. (2023) y Ganchozo y Helguero (2024) recomendaron actividades similares, como limpieza técnica, verificación de cables, inspección de sensores, evaluación de conectores y calibraciones especializadas. Asimismo, Castañeda et al. (2022) subrayaron la importancia de mejorar procesos de inventario, obtención de repuestos y capacitación técnica, elementos que también se relacionan con las inspecciones y ajustes incluidos en el plan aplicado en el Hospital Belén. Esta similitud muestra que el plan propuesto sigue las mejores prácticas reportadas en la literatura, reforzando su pertinencia técnica.

Finalmente, el quinto objetivo específico, que evidencia la viabilidad económica del plan mediante indicadores como un VAN positivo, una TIR del 16.01% y un B/C de 3.63, guarda coherencia con los resultados económicos reportados por Aguilar y Rodríguez (2023), Cáceres y Quecaño (2024), Cossio (2021), Rodríguez (2024) y Vadillo (2023). En todos los antecedentes, los planes de mantenimiento demostraron ser económicamente rentables, presentando beneficios que superaron ampliamente los costos de implementación. La relación beneficio/costo obtenido en el Hospital Belén es incluso más favorable que en varios estudios nacionales, lo que confirma que la inversión en mantenimiento preventivo no solo optimiza la capacidad operativa del equipamiento, sino que también representa una decisión financieramente sostenible.

## VI. CONCLUSIONES

- La implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM incrementó la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque en un 3.31%.
- El análisis de la situación actual de los equipos biomédicos evidenció que la principal causa de la baja disponibilidad es la falta de aplicación de la metodología RCM, con un 21.43 %, reflejando la ausencia de un enfoque sistemático de mantenimiento. Asimismo, factores como los equipos obsoletos con vida útil superada (10.39 %) y la sobrecarga de uso por alta demanda asistencial (9.74 %) influyen directamente en el deterioro operativo y la reducción de la confiabilidad del equipamiento biomédico.
- El análisis de criticidad realizado indicó que la mayoría de los equipos analizados alcanzan un nivel de criticidad alto, entre ellos el ecógrafo – ultrasonido portátil, la cuna de calor radiante, el monitor multiparámetro de 5 parámetros, el monitor multiparámetro y el detector de latidos fetales de sobremesa, con puntajes que oscilan entre 74 y 78, el equipo con mayor valoración de criticidad es el ecógrafo – ultrasonido y el monitor multiparámetro.
- El plan de mantenimiento preventivo en los equipos biomédicos críticos estuvo enfocado en preservar la calidad de sus funciones y la seguridad operativa del sistema, entre las actividades propuestas se encuentran las inspecciones del tubo de rayos X, de los sistema de refrigeración y de los ventiladores internos son fundamentales para evitar sobrecalentamientos y asegurar la correcta emisión de radiación, la calibración del generador y del detector garantiza una visualización precisa durante los procedimientos quirúrgicos, entre otras.
- El análisis económico muestra el flujo de caja de la propuesta de plan de mantenimiento, dado por la inversión, los egresos e ingresos siendo así viable económicamente por un VAN positivo de S/4 698,94, un TIR de 16.01%, un B/C de 3,63.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Implementar la metodología RCM de manera permanente y apoyarla con un sistema digital de gestión de mantenimiento (CMMS) para asegurar mejoras continuas.
- Establecer un plan de renovación tecnológica para equipos obsoletos y capacitar al personal en RCM y buenas prácticas de uso para reducir fallas por desgaste y sobrecarga.
- Priorizar estos equipos en el plan anual de mantenimiento, aumentando su frecuencia de inspecciones y monitoreo para prevenir fallas de alto impacto.
- Estandarizar protocolos de verificación y calibración, y utilizar listas de chequeo específicas por equipo para asegurar intervenciones consistentes y seguras.
- Garantizar un presupuesto anual para mantenimiento preventivo y evaluar periódicamente los indicadores económicos para asegurar la sostenibilidad del plan.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, F., & Rodríguez, J. (2023). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales de uso hospitalario en la Subred Integrada de Servicios de Salud Centro Oriente E.S.E. Bogotá. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3577>
- Andrade, C., & Herrera, M. (2024). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. ResearchGate. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Arratia, C., Orrego, G., Arellano, B., & Gonzalo, R. (2023). LAS NUEVAS TENDENCIAS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) -ACTUALIDAD Y FUTURO DEL RCM. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20162.56004>
- Bian, G., Chen, Z., Li, Z., Wei, B., Liu, W., da Silva, D., Wu, W., & de Albuquerque, V. (2023). Learning surgical skills under the RCM constraint from demonstrations in robot-assisted minimally invasive surgery. *Expert Systems with Applications*, 225, 120134. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120134>
- Blanquillo, A., & Santos, Y. (2024). Barreras de acceso a la atención de la salud según la nacionalidad peruana—Venezolana, en púérperas de un Hospital Público del Perú. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*, 84(2), 168-177. <https://doi.org/10.51288/00840210>
- Caceres, J., & Quecaño, C. (2024). Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos biomédicos en el Hospital Hipólito Unanue, Tacna. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138025>
- Castañeda, Z., Comba, G., & Rodríguez, A. (2022). Propuesta de mejoramiento en la gestión del mantenimiento para mitigar los tiempos de parada de los equipos biomédicos en una institución prestadora de salud de Bogotá. Caso de estudio: Salas de cirugía. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3237>
- Chinome, F. A., Grijalba, C., & Rodriguez, W. (2023). Propuesta de plan de mantenimiento para los activos físicos de la línea de arriendo de Biomédica Colombia SAS. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3373>

- Cossio, M. (2021). Sistema de gestión de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos biomédicos de la Clínica San Pablo Trujillo, para aumentar su confiabilidad y reducir los costos de producción. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71442>
- Coto, J., Zabala, A., Huitz, G., & Olivares, L. (2022). Aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos de una planta de extracción de aceite de palma (procesos industriales). *REVISTA IPSUMTEC*, 5(3), 17-25. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v5i3.126>
- Eriksen, S., Utne, I. B., & Lützen, M. (2021). An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107550. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107550>
- Espino, V., Medina, C., Montoya, R., Quijano, F., Jara, C., Espino Calderón, V. C., Medina Sotelo, C. G., Montoya Vargas, R., Quijano Rivera, F., & Jara Aguirre, C. J. (2024). Modernización de la Gestión Pública en el Perú a partir de las experiencias del Covid-19. *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 6(2), 77-92. <https://doi.org/10.47606/acven/ph0236>
- Ganchozo, J., & Helguero, C. (2024). Diseño e Implementación de una guía de mantenimiento preventivo de todo el equipamiento Biomédico de un establecimiento de Salud de Segundo Nivel. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/62707>
- Huang, Z., Ding, Z., & Wang, X. (2024). Chloride permeation resistance of sulphoaluminate cement-based composite characterized by both alternating current section and RCM methods. *Construction and Building Materials*, 449, 138429. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138429>
- Junker, M., Farkhondeh Fal, M., & Kircher, J. (2023). Biometrics and three-dimensional alignment of the acromioclavicular joint. A biomechanical proof of concept study using the “reversed cadaver model”(RCM). *Annals of 3D Printed Medicine*, 11, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2023.100114>
- Kim, Y., Evans, J. P., & Sharma, A. (2023). A software for correcting systematic biases in RCM input boundary conditions. *Environmental Modelling & Software*, 168, 105799. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105799>

- Komarov, A., Caya, A., Pogson, L., & Buehner, M. (2024). Assimilation of RCM data in the Canadian ice concentration analysis system. *Remote Sensing of Environment*, 306, 114113. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114113>
- Komarov, A. S., Caya, A., Pogson, L., & Buehner, M. (2024). Assimilation of RCM data in the Canadian ice concentration analysis system. *Remote Sensing of Environment*, 306, 114113. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114113>
- Li, L., Zhang, D., & Tian, C. (2024). A family of generalized single-loop RCM parallel mechanisms: Structure synthesis, kinematic model, and case study. *Mechanism and Machine Theory*, 195, 105606. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2024.105606>
- Liao, W., Chu, Z., Wang, Y., & Yang, B. (2023). An experimental and modeling study on the ozone-assisted low-temperature ignition of methylcyclohexane in an RCM. *Combustion and Flame*, 255, 112926. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2023.112926>
- Liu, J., Liao, C., Jin, H., Jiang, Z., Xie, R., & Tang, L. (2022). Electrically driven ionic transport in the RCM and RIM: Investigations based on experiments and numerical simulations. *Construction and Building Materials*, 331, 127331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127331>
- Matejcek, F., & Agarwal, K. (2024). Lightweight thermal management strategies for the silicon detectors of CBM at FAIR. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1069, 169924. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2024.169924>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2024). Registro de cierre de inversión. <https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/informecierre/consultaCierre/2616388>
- Musthopa, Harsanto, B., & Yunani, A. (2023). Electric power distribution maintenance model for industrial customers: Total productive maintenance (TPM), reliability-centered maintenance (RCM), and four-discipline execution (4DX) approach. *Energy Reports*, 10, 3186-3196. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.129>
- Peñafiel, J., Arteaga, Á., & Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas.

Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249., 4(8), Article 8 Ed. esp.

- Piwowar, K., & Iqbal, Q. (2024). 5S implementation, basic needs satisfaction, sustainable leadership and firm sustainable performance: Empirical evidence from the oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, 484, 144354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144354>
- Reyes, C., & Valiente, Y. M. (2023). Gestión de residuos sólidos hospitalarios para reducir impactos secundarios en Hospital de Perú: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8, 831-843. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2976>
- Rodriguez, H. (2024). Implementar la gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de equipos biomédicos en una empresa proveedora de Lima. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/b0382653-8b71-41ef-bc7d-797f181f22ce>
- Salinas, J., & León, O. (2021). Plan de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de los equipos de una planta de osmosis inversa en un hospital de la ciudad de Trujillo. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86546>
- Sharma, P., Prasad Sharma, D., & Bansal, S. (2025). Optimum RBM encoded SVM model with ensemble feature Extractor-based plant disease prediction. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 258, 105319. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2025.105319>
- Tian, C., Huang, G., Piwowar, J., Yeh, S., Lu, C., Duan, R., & Ren, J. (2022). Stochastic RCM-driven cooling and heating energy demand analysis for residential building. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111764>
- Torres, Z., Porras, S., & Parra, J. (2022). Propuesta de ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos. Caso de estudio modelo BYD B13S01 del sistema integrado de transporte público de la ciudad de Bogotá. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2912>
- Vadillo, G. (2023). Aplicación de mantenimiento preventivo para mejorar el servicio de camas hospitalarias en un centro de rehabilitación de un hospital público en Lima—

Perú. 7(4). <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/a00f0d9a-a06f-4680-9eee-91bf6951796b>

Wang, Z., Zhang, W., & Ding, X. (2022). A family of RCM mechanisms: Type synthesis and kinematics analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 231, 107590. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107590>

Zhang, X., Xiao, M., Luo, W., Gao, L., & Gao, J. (2025). Isogeometric topology optimization for innovative designs of the reinforced TPMS unit cells with curvy stiffeners using T-splines. *Composite Structures*, 357, 118955. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2025.118955>

Zhou, X., Wang, J., Shan, B., & He, Y. (2025). Soil moisture retrieval over soybean fields during growing season using polarimetric decomposition and time-series RCM data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 229, 109935. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.109935>

## ANEXOS

### Anexo 01: Matriz de consistencia

| Problema General                                                                                                                                                                             | Objetivo General                                                                                                                                                              | Hipótesis General                                                                                                                                                                     | Variables                 | Dimensión                                 | Indicador                                                           | Metodología                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque? | Implementar de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque. | La implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos biomédicos del Hospital Belén – Lambayeque. | VI: Plan de mantenimiento | Criticidad<br>Mantenimiento<br>Viabilidad | Recurrencia de fallas<br>Tareas de Mantenimiento<br>Beneficio/costo |                                                                          |
| Problemas específicos                                                                                                                                                                        | Objetivos específicos                                                                                                                                                         | Hipótesis Específica                                                                                                                                                                  | Variables                 | Dimensión                                 | Indicador                                                           |                                                                          |
| ¿Cómo determinar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén?                                                      | Analizar la situación actual de los equipos biomédicos con el fin de identificar las causas de sus fallas en el Hospital Belén.                                               | La causa principal de las fallas de los equipos biomédicos en el Hospital Belén es la carencia de un plan de mantenimiento preventivo.                                                |                           | Eficiencia                                | Tiempo promedio entre fallas (MTBF)                                 |                                                                          |
| ¿De qué manera identificar los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén en base al análisis de criticidad?                                                                           | Identificar los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén mediante un análisis de criticidad.                                                                          | Los equipos biomédicos críticos son aquellos que han presentado mayor cantidad de fallas en el Hospital Belén.                                                                        | VD:<br>Disponibilidad     | Mantenibilidad                            | Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)                           | Enfoque:<br>Cuantitativo<br>Tipo:<br>Aplicada<br>Diseño:<br>Experimental |
| ¿De qué manera implementar el plan de mantenimiento basado en RCM para los equipos biomédicos en el Hospital Belén?                                                                          | Realizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM en los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.                                            | La implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM mejora la disponibilidad de los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.                                         |                           | Disponibilidad                            | Porcentaje de disponibilidad                                        |                                                                          |
| ¿Cuál es el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos del Hospital Belén?                                                               | Determinar el beneficio/costo de la implementación del plan de mantenimiento RCM para los equipos biomédicos críticos en el Hospital Belén.                                   | El cálculo del beneficio/costo determina la inversión total de la implementación del plan de mantenimiento para los equipos biomédicos en el Hospital Belén.                          |                           |                                           |                                                                     |                                                                          |

## Anexo 02: Fichas de recolección

|               | Equipos | En. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Fallas<br>totales<br>para<br>analizar |
|---------------|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------------|
| Año           | 2024    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                       |
|               |         |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                       |
| T-<br>Mensual |         |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                       |

| Equipos | Horas programadas | Horas trabajadas | Horas paradas | Nº fallas | MTBF | MTTR | Disponibilidad | Confiabilidad |
|---------|-------------------|------------------|---------------|-----------|------|------|----------------|---------------|
|---------|-------------------|------------------|---------------|-----------|------|------|----------------|---------------|

|       |
|-------|
| TOTAL |
|-------|

| Equipos | Causa de Falla | Frecuencia de Falla |
|---------|----------------|---------------------|
|---------|----------------|---------------------|

