



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS
MÉDICOS DEL HOSPITAL SANTA INÉS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Mecatrónica / Ingeniero
Mecatrónico

AUTORES: SAMANTHA SALOMÉ ÁVILA COCHANCELA.
SANTIAGO GUILLERMO CRESPO GUILLÉN.

TUTOR: ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, Ph.D.

Cuenca – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Samantha Salomé Ávila Cochancela con documento de identificación N° 0106611346 y Santiago Guillermo Crespo Guillén con documento de identificación N° 0302633573; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de abril del 2022

Atentamente,

Samantha Salomé Ávila Cochancela
0106611346

Santiago Guillermo Crespo Guillén
0302633573

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Samantha Salomé Ávila Cochancela con documento de identificación N° 0106611346 y Santiago Guillermo Crespo Guillén con documento de identificación N° 0302633573, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño plan de mantenimiento preventivo para los equipos médicos del hospital santa Inés", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Mecatrónica / Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de abril del 2022

Atentamente,

Samantha Salomé Ávila Cochancela
0106611346

Santiago Guillermo Crespo Guillén
0302633573

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Leonardo García G. con documento de identificación N° 0103898318, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS MÉDICOS DEL HOSPITAL SANTA INÉS, realizado por Samanta Salomé Ávila Cochancela con documento de identificación N° 0104525837 y Santiago Guillermo Crespo Guillén con documento de identificación N° 0302633573, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de abril del 2022

Atentamente,



Ing. Cristian García, Ph.D

0103898318

Dedicatoria

Samantha Salomé

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A mi familia, que son mi motor esencial para nunca bajar los brazos en momentos difíciles, que con su cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional me ha sido posible lograr cada una de las metas que me he propuesto.

De igual manera a mis amigos, por sus enseñanzas, cariño y por compartir junto a mí cada logro o tropiezo en este camino.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma.

Santiago Crespo

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A toda mi familia, que con sus consejos y apoyo emocional se me hizo posible alcanzar esta meta propuesta.

A mis compañeros, que con su característico humor hicieron de cada día una fecha inolvidable.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso.

Agradecimientos

Samantha Salomé

Agradezco profundamente a mis padres Fabián y Geovanna que, han estado siempre dispuestos a acompañarme, guiarme y apoyarme en cada situación, en las que su compañía y consejos han sido para mí como un impulso para continuar hacia adelante y cumplir con los propósitos planteados.

A mis abuelitos Rodrigo y Carmita por inspirarme a ser mejor cada día y a seguir mis sueños.

A mis hermanos Alejandro y Keyla que han sido mis compañeros incondicionales y por apoyarme durante toda esta travesía.

A mi Tutor de Proyecto de Titulación, Phd. Cristian García, por su esfuerzo, orientación y dedicación brindados al actual trabajo de titulación. Sus enseñanzas y paciencia han sido esenciales para culminar con el presente.

Me gustaría además dar mi más sincero agradecimiento a todos los que contribuyeron al desarrollo y éxito de mi trabajo de titulación.

Santiago Crespo

En primer lugar, agradezco a Dios, el cual ha guiado mi camino durante mi periodo como estudiante. Agradezco a mis padres Guillermo y Luisa por ser un pilar fundamental en mi vida, por todos los consejos que me han dado, por creer en mí y por todo el amor que han sabido brindarme.

A mis hermanos Jhonatan, Kevin y mi perrito Max, que con su apoyo emocional han sabido apoyarme y alegrarme siempre.

A mis abuelos que desde el cielo siempre me han cuidado.

A mi Tutor de Proyecto de Titulación, Phd. Cristian García, el cual siempre supo brindarnos su ayuda con su característica amabilidad, igualmente por todos los consejos y enseñanzas que me servirán para desempeñarme en mi vida profesional.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a mi compañera de tesis Samantha Ávila, la cual ha demostrado ser una excelente persona, con buenos valores y un corazón muy noble.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	2
2.4.1. Espacial o geográfica	2
2.4.2. Temporal	3
2.4.3. Sectorial o institucional	3
2.5. Problema General	3
2.6. Problemas Específicos	3
3. Objetivos	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Hipótesis	4
4.1. Hipótesis General	4
4.2. Hipótesis Específicas	4

5. Marco Teórico	4
5.1. Mantenimiento	4
5.1.1. Tipos de Mantenimiento	5
5.1.2. Importancia de un plan de mantenimiento en el área de la salud.	6
5.2. Metodologías para sistemas de planificación de mantenimiento	6
5.2.1. EAM	6
5.2.2. ERP	6
5.2.3. GMAO	7
5.3. Sistemas de gestión del rendimiento de activos	7
5.4. Estructura de un Sistema GMAO	9
5.4.1. Módulo de Gestión de Activos	9
5.4.2. Módulo de Gestión de Mantenimiento	10
5.4.3. Módulo de Gestión de Recursos Humanos	13
5.4.4. Módulo de Gestión de Inventarios	14
5.4.5. Módulo de Gestión de Reportes	15
5.4.6. Aplicaciones e integración del GMAO en la actualidad	15
6. Marco metodológico	16
6.1. Metodología de la Investigación	16
6.2. Metodología del proceso	16
6.2.1. Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizados en el Hospital Santa Inés.	16
6.2.2. Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés.	24
6.2.3. Desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos	36
7. Resultados	50
7.1. Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizados en el Hospital Santa Inés	51
7.1.1. Inventario de los equipos médicos	51
7.1.2. Actividades de Mantenimiento	51
7.1.3. Fallos	52

7.2. Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés	52
7.2.1. Clasificación de nivel de riesgos de los equipos médicos	52
7.2.2. Nivel de Prioridad de los equipos médicos (PI)	54
7.2.3. Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP)	56
7.2.4. Cronograma de Mantenimientos Preventivos	59
7.2.5. Protocolo de Mantenimiento Preventivo	62
7.3. Implementación del software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.	64
7.3.1. Funciones utilizadas	64
7.3.2. Base de Datos	64
7.3.3. Indicadores	65
7.3.4. Aplicación Web y Móvil	66
7.3.5. Evaluación del desempeño de funcionamiento de la aplicación.	67
8. Conclusiones	68
9. Recomendaciones	69
Referencias	71
ANEXOS	72

Lista de Tablas

1.	Sistemas de gestión del rendimiento de activos	8
2.	Designación de la codificación para las áreas del Hospital Santa Inés.	19
3.	Designación de la codificación para los tipos de equipos.	20
4.	Designación de la codificación según el equipo.	21
5.	Formato para clasificar las actividades de mantenimiento.	23
6.	Clasificación tipo de fallos.	24
7.	Clasificación de riesgos de para equipos médicos	25
8.	Ponderación de la función del equipo	26
9.	Ponderación de la aplicación	27
10.	Ponderación de los requisitos de mantenimiento	27
11.	Ponderación de los antecedentes de problemas del equipo	28
12.	Rangos para clasificar el nivel de prioridad (PI)	28
13.	Ponderación para el riesgo físico	29
14.	Ponderación de la función del equipo	30
15.	Ponderación de los requerimientos de mantenimiento	30
16.	Ponderación del desgaste mecánico	31
17.	Ponderación de la Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado . .	32
18.	Clasificación de equipos médicos obtenida para el cronograma de mantenimien- tos preventivos.	32
19.	Parámetros y características de una incubadora neonatal.	34
20.	Fallos internos y externos de las Incubadoras Neonatales.	34
21.	Los requerimientos del usuario solicitante - enfermería.	36
22.	Los requerimientos del técnico de mantenimiento interno.	37
23.	Los requerimientos del técnico de mantenimiento externo.	37
24.	Los requerimientos del usuario principal – Jefe del departamento de Ingeniería Clínica.	38
25.	Los requerimientos del Departamento de Compras.	38
26.	Los requerimientos del usuario supervisor - Gerente.	39
27.	Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Activos del GMAO	40
28.	Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Inventario del GMAO.	42
29.	Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Mantenimiento del GMAO.	43

30.	Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Reportes del GMAO.	45
31.	Información específica que contiene el Módulo de Tercerización del GMAO. .	46
32.	Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Personal del GMAO.	47
33.	Información específica que contiene el Módulo de Orden de Trabajo del GMAO.	48
34.	Información específica que contiene el Apartado de Compras del GMAO. . .	49
35.	Clasificación obtenida de la codificación de equipos.	51
36.	Clasificación obtenida de las actividades de mantenimiento.	52
37.	Clasificación obtenida del registro de fallos.	52
38.	Valores obtenidos del Nivel de Riesgo	53
39.	Nivel de Riesgo de los equipos	53
40.	Clasificación obtenida de Nivel de Prioridad para los equipos médicos	55
41.	Nivel de Prioridad (PI) de los equipos médicos	55
42.	Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) para los equipos médicos	57
43.	Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP)	57
44.	Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) para los equipos médicos que tienen consideraciones extras	58
45.	Cronograma de Equipos Médicos con Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) Trimestral.	60
46.	Cronograma de Equipos Médicos con Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) Trimestral.	62
47.	Protocolo de Mantenimiento Incubadoras Neonatales.	62
48.	Comandos para agregar Firebase a la Aplicación Web.	65
49.	Matriz de consistencia lógica.	73
50.	Cronograma del mantenimiento preventivo para los equipos médicos del Hospital Santa Inés del periodo 2022.	74
51.	Cronograma del mantenimiento preventivo para los equipos médicos del Hospital Santa Inés del periodo 2023.	78
52.	Lenguajes de Programación.	81

Lista de Figuras

1.	Designación del código para los equipos del Hospital Santa Inés	17
2.	Formato de designación del código según el área	18
3.	Designación del código para el registro de fallos.	23
4.	Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Activos	39
5.	Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Inventario.	41
6.	Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Mantenimiento.	43
7.	Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Reportes.	45
8.	Clasificación porcentual de los equipos médicos por nivel de riesgo	54
9.	Clasificación porcentual de los equipos médicos por nivel de prioridad (PI) .	56
10.	Clasificación porcentual de los equipos médicos por frecuencia de mantenimiento preventivo programado	58
11.	Cantidad porcentual de los equipos médicos incluidos en el cronograma. . .	59
12.	Cantidad porcentual de los equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo trimestral incluidos en el cronograma.	60
13.	Cantidad porcentual de los equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo semestral incluidos en el cronograma.	61
14.	Orden de Trabajo, vista desde el ordenador.	66
15.	Orden de Trabajo, vista teléfono móvil.	67

Resumen

El presente trabajo de titulación, surge ante la falta de una buena gestión de mantenimiento de los equipos médicos, tanto en hospitales públicos como privados del Ecuador. En la ciudad de Cuenca, el Hospital Santa Inés se destaca por el profesionalismo de su personal y la calidad de sus instalaciones, por lo que es indispensable contar con un correcto funcionamiento de sus equipos médicos y así garantizar que todos los pacientes reciban una atención de primera calidad.

Por lo tanto, el objetivo principal es desarrollar un plan de mantenimiento preventivo a los equipos médicos del Hospital Santa Inés que no cuentan con ningún servicio que garantice su disponibilidad, donde además se identificó la necesidad de desarrollar un software GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador) que permita gestionar de manera adecuada el mantenimiento de los equipos. La metodología empleada para el plan de mantenimiento preventivo consistió en el levantamiento de datos físicos, inventario de equipos, entrevistas con los técnicos de mantenimiento tanto internos como externos, y estudio de los distintos modos de aplicación; mientras que para el desarrollo del software GMAO se inició con la información obtenida anteriormente, más entrevistas a los departamentos de Ingeniería Clínica, Enfermería y Compras, y la selección de los módulos de gestión.

Dando como resultado el plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos y el software de gestión de mantenimiento, el cual permitirá gestionar de manera eficiente el mantenimiento de estos, alargando su vida útil y disminuyendo costos adicionales generados por mantenimientos correctivos.

Palabras clave: Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, GMAO, Equipo Médico.

Abstract

This investigation report was made because of the lack of maintenance for medical equipment in public and private hospitals in Ecuador. Here, in Cuenca city, the "Santa Inés" private Hospital is renowned for the quality of its installations, its workers who exercise their duty with exceptional professionalism and their top of the line medical equipment; with that comes the need to keep said equipment in working order, so that a quality service can be guaranteed at all times.

Due to the lack of a service that looks over working order of medical equipment, for any hospital in Cuenca city, the principal objective of this report is the development of a preventive maintenance plan that guarantees integral function condition for the medical equipment of the "Santa Inés" Hospital; the need for the development of a CMMS (computer Maintenance management software) arose, the software allows for an adequate management of the maintenance periods for all medical equipment. The methodology employed for the development of the preventive maintenance consisted of the gathering of all information concerning medical equipment, interviews with maintenance technicians that work for the hospital and private contractors that work in the same field and the investigation of ways to implement the obtained results. Development of the CMMS (computer Maintenance management software) begun with previously gathered information, interviews with the personnel of the Medical engineering and the Economic management department.

The result of this investigation report is the development of the previously mentioned preventive maintenance plan for essential medical equipment, and the development of a computer Maintenance management software that allows for a more efficient management of all medical equipment, extending the life of said equipment and reducing the Costs that corrective maintenance procedures may introduce.

Keywords: Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, CMMS, Loan, Medical Equipment.

1. Introducción

Actualmente, la gestión de mantenimiento en el área médica ha tomado mayor relevancia debido al riesgo que implica trabajar con equipos médicos, sin embargo, dentro del país la implementación efectiva de un sistema de gestión es casi nula, esto se puede observar evaluando la realidad de los diferentes hospitales, como se muestra en el estudio realizado por Karim, López, y Soler (2019) en los hospitales del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social de la Zona 3 del Ecuador, donde la valoración promedio recibida es de 55.5/100 puntos.

Es por eso, que para la implementación de este proyecto en el Hospital Santa Inés se define tres objetivos específicos, el primero consiste en analizar las actividades de mantenimiento, la identificación de datos útiles, la discriminación de la información y el desarrollo del inventario de equipos médicos. En el segundo objetivo, se desarrolla un plan de mantenimiento preventivo para los equipos que requiera el hospital y cuenten con un nivel de riesgo alto, para esto se realizó un análisis de prioridad y el cálculo de frecuencia de mantenimiento para cada equipo. En el tercer objetivo, se presenta los parámetros considerados para el desarrollo de la aplicación web, el funcionamiento de la misma y su interfaz.

Aunque no es un requisito obligatorio para una gestión eficaz, la inclusión de un sistema de información automatizado en el área de mantenimiento facilita y simplifica enormemente el desarrollo del control sobre las actividades de mantenimiento, (M. López, Soler, Arellano, y Oliva, 2010), (Herrera Galán, Duany-Alfonso, y Abrey-Duque, 2014). Los estudios demuestran que la informatización de estas actividades ayuda a identificar y reducir de forma anticipada los costes asociados a la gestión del mantenimiento, como parte del valor añadido de la empresa, (Aponte y cols., 2008).

2. Problema

2.1. Antecedentes

El Hospital Santa Inés es una empresa de gran renombre y con varios años en el mercado, donde se ha destacado por su excelente trayectoria frente a su competencia, teniendo una gran demanda en el ámbito de la salud. Con el paso del tiempo se han integrado varios departamentos, y con esto la cantidad de equipos médicos.

El hospital cuenta con equipos médicos propios y equipos médicos con contrato de comodato, lo que ha diferenciado el mantenimiento de los equipos. Los equipos en comodato reciben mantenimiento dependiendo del tipo de contrato realizado con las empresas externas.

Sin embargo, no todos los activos de propiedad del Hospital cuentan con un programa de mantenimiento preventivo, siendo esta la principal causa de que sea el mantenimiento correctivo la política instaurada por la Institución. Si bien el mantenimiento correctivo aprovecha la vida residual de los elementos, la confiabilidad de los activos se ve reducida, lo que pone en riesgo a los usuarios del Hospital por no contar con equipos funcionales.

El presente proyecto titulado “DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS MÉDICOS DEL HOSPITAL SANTA INÉS” está dirigido a la propuesta de un plan de mantenimiento que considere “manuales de usuario, históricos de fallos y la experiencia del personal”.

En este orden de ideas, es indispensable contar con un levantamiento de información de los activos involucrados, la condición en la que se encuentran, la manera en la que los operarios realizaban su trabajo y el mantenimiento “metodología” utilizada; y de esta manera que la propuesta esté adaptada al contexto operacional del Hospital.

2.2. Descripción del problema

Actualmente, el Hospital Santa Inés no cuenta con registros digitales de los mantenimientos realizados en los equipos médicos por parte de sus técnicos. A su vez, solo realiza mantenimientos correctivos, mismos que provocan el desgaste de los elementos, imposibilitando la detección de futuras averías. Esta falta de planificación provoca un aumento en los costes involucrados a lo largo de la vida útil del activo.

2.3. Importancia y alcances

Con el desarrollo de este proyecto se pretende dejar plasmado un software de gestión de mantenimiento para equipos médicos, en el cual se puedan generar diferentes formatos para su ejecución y a su vez se pueda consultar información sobre la condición de estos equipos, de manera que este ayude a la toma de decisiones técnicas y administrativas.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El proyecto propuesto se encuentra en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, específicamente en el sector de El Vergel.

2.4.2. Temporal

El tiempo en el que se desarrolla el proyecto es a partir del 28 de marzo del 2022 hasta el 30 de julio del 2022.

2.4.3. Sectorial o institucional

El grupo objetivo al que se enfoca este proyecto es el centro médico "Hospital Santa Inés", principalmente el departamento de Ingeniería Clínica, mismo que contará con un software práctico y útil para el mejoramiento continuo de la gestión de mantenimiento preventivo de los equipos médicos de las áreas críticas del Hospital.

2.5. Problema General

- ¿Es factible desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá determinar las actividades de mantenimiento correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés?
- ¿Es posible proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?
- ¿Es posible desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en todos los departamentos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos de los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de los activos.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés.
- Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.
- Desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- Se desarrollará un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinará las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés.
- Se propondrá el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.
- Se desarrollará un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.

5. Marco Teórico

5.1. Mantenimiento

El mantenimiento es un proceso en el que se realiza actividades como planificación, organización, control e implementación de métodos, además de revisiones o reparaciones

de los componentes de un sistema. También, asegura el funcionamiento continuo de las máquinas, reduce costos, disminuye tiempos muertos y aumenta la confiabilidad del sistema de producción mediante su forma de minimizar averías gracias a una buena gestión que involucra a todo el departamento de mantenimiento y soporte de la dirección general de la empresa en su conjunto, (Mora, 2010).

5.1.1. Tipos de Mantenimiento

Para poder tener una mejor eficiencia en la conservación de las máquinas de uso médico se ve necesario aplicar un mantenimiento, el cual está desglosado, se encuentra subdividido, con el fin de enfocar cada área a una aplicación específica. Al mantenimiento que engloba todas estas subdivisiones, se lo conoce como mantenimiento de Conservación, que hace referencia a sustituir piezas que hayan sufrido desgaste por el tiempo de operación. Este tipo de mantenimiento se divide en cuatro tipos:

1. Mantenimiento Correctivo

Consiste en reparar todos los defectos de la máquina, este posee 2 categorías:

- **Mantenimiento Inmediato:** Se realiza la sustitución o reparación de la pieza en el momento que se la identifica, (Eurofins, 2020).
- **Mantenimiento Diferido:** Se detiene la actividad de la pieza afectada para que después de un tiempo pueda ser sustituida o reparada. (Eurofins, 2020).

2. Mantenimiento Preventivo

Consiste en prevenir daños de la máquina a futuro y se divide en 2 categorías de prevención:

- **Mantenimiento Programado:** Se realiza el cambio o reparación de las piezas en función del tiempo de vida transcurrido, este proceso se lo realiza de manera automática, (Eurofins, 2020).
- **Mantenimiento de Oportunidad:** Se realiza el cambio o reparación de las piezas aprovechando la inactividad del equipo, esto puede darse por factores de baja demanda de producto final, cortes de energía eléctrica o falta de suministros de materia prima, (Eurofins, 2020).

3. Mantenimiento Predictivo

Consiste en sustituir piezas que hayan sufrido desgaste por el tiempo de operación que lleva la máquina, (Eurofins, 2020).

4. Mantenimiento de Modificativo

Hace referencia a los controladores de las máquinas, estos deben ser actualizados tanto en software como en hardware después de un cierto tiempo para evitar la obsolescencia tecnológica, (Eurofins, 2020).

5.1.2. Importancia de un plan de mantenimiento en el área de la salud.

El buen funcionamiento de los establecimientos de salud y la prestación de servicios en condiciones de calidad, seguridad, higiene y comodidad para los pacientes, visitantes y personal requiere que el departamento encargado de los equipos médicos de los hospitales den prioridad a la aplicación de estrategias y actividades para el mantenimiento de los mismos, (Bambaren, 2011).

Los factores más importantes de contar con un plan de mantenimiento son la prolongación de la vida útil de los equipos y la confianza del personal médico referente a que los equipos médicos siempre se encuentre disponible, (Promedco, 2019).

5.2. Metodologías para sistemas de planificación de mantenimiento

5.2.1. EAM

Las siglas EAM corresponden a la gestión de activos empresariales, usan una combinación de software, sistemas y servicios utilizados para mantener y controlar activos como equipos en operación. Tiene como principal objetivo optimizar la calidad y la utilización de los activos durante todo su ciclo de vida, aumentar el tiempo de actividad productivo y reducir los costos operativos, (IBM, 2018).

5.2.2. ERP

Un ERP (siglas de ‘Enterprise Resource Planning’ o ‘Planificación de Recursos Empresariales’) es un conjunto de aplicaciones de software que permiten gestionar de forma integral la información procedente del flujo de material, personal y recursos financieros, en una base de datos unificada, (Kumar, Maheshwari, y Kumar, 2002).

Las principales ventajas de usar el software ERP es la optimización de los procesos de gestión, dando coherencia y homogeneidad a los datos, al igual que la interacción entre las distintas áreas de la empresa desde una única herramienta, permitiendo así mejorar el desempeño (eficiencia y eficacia) de la organización, (Quiles, 2020).

5.2.3. GMAO

El sistema GMAO, también conocido como Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora, hace referencia a las herramientas informáticas destinadas a gestionar las actividades de mantenimiento de los activos de una empresa. El sistema está compuesto por una base de datos que contiene información sobre la empresa, trabajadores, equipos, almacenes y operaciones de mantenimiento, ya sean rutinarias, correctivas, preventivas o predictivas, (L. López y Guamán, 2015). Se utilizan comúnmente para cualquier tipo de organización que necesite administrar de manera segura y eficiente el mantenimiento de sus activos, y que también requiera una herramienta de soporte de decisiones de mantenimiento relevante. Además, permite programar y monitorear, bajo los aspectos técnicos, presupuestarios y organizacionales, todas las actividades del servicio de mantenimiento y todo lo relacionado con las actividades declaradas, por lo que el propósito es brindar al respectivo regulador los medios de análisis que permitan optimizar la gestión y apoyar la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas en mantenimiento, (Mata, 2020).

5.3. Sistemas de gestión del rendimiento de activos

Los sistemas de gestión del rendimiento de activos hace referencia a software informático de mantenimiento que permiten manejar información sobre los activos. Estos producen la información necesaria para la toma de decisiones a partir de los datos analizados y procesados.

Las principales ventajas de usar los software son la simplicidad al momento de utilizarlos. Al tratarse de sistemas que no necesitan de muchos conocimientos técnicos, permiten al empleado familiarizarse de manera más rápida y flexible con el sistema, dando la posibilidad a las empresas de crear reglas para un eficaz funcionamiento. En la tabla 1 se puede observar las características de las herramientas de gestión del rendimiento de activos más utilizadas en el ámbito industrial, (Reche, 2020).

Tabla 1*Sistemas de gestión del rendimiento de activos*

	Características de Herramientas
Predix	Gestión de personal Gestión de datos Análisis de confiabilidad Gestión de riesgos
Meridium	Gestión de calidad de datos Análisis causa raíz Mantenimiento centrado en la confiabilidad, análisis de efectos y modos de falla Análisis del costo del ciclo de vida Gestión de inspección Gestión de riesgos Análisis de criticidad
Asset Sentinel	Análisis de datos en tiempo real, datos históricos y eventos Análisis de modelos de síntoma de falla Análisis térmico para cálculos de proceso Análisis de modelos basados en datos Tendencias y curvas de rendimiento Modelo de síntoma de falla
APM (Aspen Tech)	Sistema de gestión de datos Análisis de confiabilidad Análisis de modos de falla Modelos de riesgo
AVEVA	Solicitud de orden de trabajo basada en eventos Gestión de datos maestros de activos Gestión de flujo de trabajo Inventario y adquisiciones Monitoreo y KPI Gestión de costes y realización de valor Análisis de fallas estructurales Organización APM Gestión de habilidades y conocimientos Estrategia de abastecimiento Auditoría y mejora continua

5.4. Estructura de un Sistema GMAO

Los sistemas GMAO (Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora) suelen estar estructurados por diferentes módulos cuyas interfaces permiten gestionar cada parte importante del mantenimiento de los activos de una empresa. Estos módulos suelen estar relacionados con los activos, el personal, el inventario, el mantenimiento, la generación de informes y la gestión de costes. Estos son aplicables en muchos campos, incluido el sector de la salud, donde se desarrolla y en el que se presenta un sistema informático para gestionar el mantenimiento de los equipos médicos. Los equipos médicos se pueden definir como cualquier instrumento, aparato, implemento, máquina, implante, calibrador, software, material u otro artículo destinado para ser utilizado para el diagnóstico, prevención, control y tratamiento o alivio de una enfermedad, (Fygueroa, 2005).

Los programas GMAO más básicos consisten en módulos para la gestión de activos, mantenimiento, recursos humanos, inventario, informes, gastos, administración y gestión de usuarios, gestión de la información para los subcontratistas y su participación en el mantenimiento, y un módulo de aplicación de mantenimiento preventivo, dependiendo del enfoque que se le quiera dar al sistema, (Vargas, 2011).

Cada uno de estos módulos está compuesto internamente por varios submódulos, donde cada módulo almacena información diferente que se complementan para una óptima gestión del mantenimiento. El número de módulos y submódulos en un CMMS dependerá de la configuración que requiera su aplicación y, por tanto, de la cantidad y tipo de información a procesar, (Macían, 2010).

5.4.1. Módulo de Gestión de Activos

El módulo de gestión de activos permite almacenar toda la información sobre los activos que se mantienen en una organización: grupos, máquinas, edificios y herramientas. En este módulo se explica de manera descriptiva la jerarquía de todo el contenido del sistema GMAO (Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora), se encuentra formado por submódulos independientes, que contienen la información técnica de los activos, su administración se realiza en un módulo separado llamado el Módulo de Gestión de Inventario, (Macían, 2010). Considerando lo anterior, se puede establecer que en el Módulo de Gestión de activos se debe tomar en cuenta básicamente la siguiente información para cada tipo de activo, (Bagadia, 2006):

- Código del Activo: Cada activo dentro del GMAO debe tener asignado un código único de identificación.

- Descripción del Activo: Una breve descripción del activo y qué función tiene dentro de la empresa.
- Especificaciones Técnicas del Activo: Se describen las especificaciones técnicas del activo como dimensiones, voltaje, corriente, peso, marca, modelo, año de fabricación y otras especificaciones de gran importancia.
- Criticidad: Indica la criticidad que posee un activo de acuerdo a un Análisis de Criticidad que se realiza previamente para planificar a qué activo se le debe realizar primero mantenimiento.
- Tiempo de Funcionamiento: Para muchos activos es esencial registrar la información referente al tiempo de funcionamiento, el cual normalmente se define en horas o kilómetros.
- Plan de Mantenimiento: Se presentan los planes de mantenimiento anuales del activo, que pueden ser generados por el fabricante, por el personal de mantenimiento o una combinación de ambos.
- Documentos: Se registran todos los documentos importantes del activo como manuales, planos, esquemas y garantías.
- Ubicación: Para algunos activos es relevante indicar su ubicación.
- Repuestos: Registra la información referente a los repuestos que se recomiendan tener almacenados para un activo en específico.
- Costo: Describe el costo inicial del activo.

5.4.2. Módulo de Gestión de Mantenimiento

Este módulo interactúa en gran medida con el resto de los módulos del sistema, proporcionando todos los registros e historial, informes generados y gestión de gastos, (Macían, 2010). Está estructurado por seis submódulos, los cuales son:

- Órdenes de trabajo
- Estado de las órdenes de trabajo
- Mantenimiento rutinario

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Registros de reparaciones realizados

El submódulo de Orden de Trabajo es uno de los módulos principales del GMAO, pues todas las actividades de mantenimiento en el taller comienzan con la creación de una orden de trabajo en este submódulo para poder realizarse y toda la información que contiene es la que permite una buena gestión del resto de la información del programa. El flujo de trabajo se divide en tres partes: una parte en donde se hace la solicitud del trabajo, otra parte en donde se describe el proceso del trabajo y una tercera parte en donde se describe la información final del mismo,(Bagadia, 2006).

La parte de la solicitud del trabajo viene organizada de la siguiente manera:

- Número de Orden de Trabajo: Número de identificación único autonumerado que le da el GMAO a la orden de trabajo de las actividades de mantenimiento, cada vez que se genera una de estas dentro del sistema.
- Fecha y Hora de Solicitud: Fecha y hora en la que se realiza la solicitud de ejecución de una actividad de mantenimiento.
- Solicitante y Cédula del Solicitante: Nombres, apellidos y número de cédula de identidad del solicitante de las actividades de mantenimiento.
- Fecha de Culminación Requerida: Fecha de culminación de la actividad de mantenimiento y entrega del equipo requerido por el solicitante.
- Prioridad del Trabajo: Indica la prioridad de la actividad de mantenimiento, la cual depende del activo y su criticidad, y se puede calificar como: Emergencia, Urgente, Normal o Programada. Cuando la prioridad se califica como Emergencia, el trabajo debe comenzar de manera inmediata, ya que de lo contrario se pueden tener consecuencias en la seguridad, el ambiente, la calidad o la operación. Si es Urgente, el trabajo se debe comenzar en las 24 horas siguientes. Cuando es Normal, el trabajo se debe comenzar en las próximas 48 horas. Y en el caso de que sea Programada, el trabajo debe comenzar en el día y la hora que se encuentra programado.
- Tipo de Activo: Tipo de activo al que se le desea realizar mantenimiento.

- Código del Activo a Atender: Código de identificación del activo al que se le va a realizar mantenimiento. Este se extrae del Módulo de Gestión de Activos Físicos.
- Naturaleza del Problema: Se describe brevemente el problema que presenta el equipo.
- Tercerización: En este caso, el usuario debe utilizar el formulario de Mantenimiento Tercerizado en el Módulo de Gestión de Tercerización para completar toda la información del mantenimiento realizado.
- Estatus de la Orden: Se coloca el estado en el que se encuentra la orden de trabajo, el cual puede ser: En Proceso, Postergada, Procesada o Rechazada. Si una orden se encuentra En Proceso, significa que la misma se está ejecutando en esos momentos. Por otro lado, si una orden se encuentra Postergada, implica que esta actividad ha sido pospuesta hasta nuevo aviso. En el caso de que una orden se encuentre Procesada, significa que la actividad en la misma ya se realizó y esa orden ha sido cerrada. Si una orden se encuentra Rechazada, significa que la actividad en la misma ha sido rechazada por algún motivo como, por ejemplo, falta de recursos o que no es posible hacer esa actividad en el taller de mantenimiento.

También se tiene la parte de la orden de trabajo en la cual se describe el proceso de actividad de mantenimiento,(Bagadia, 2006).

- Tipo de Mantenimiento: Tipo de mantenimiento que implica la orden de trabajo, el cual puede ser: Rutinario, Preventivo, Predictivo y Correctivo.
- Formato de Registro/Lista de Actividades: Lista o formato de actividades de mantenimiento que se van a realizar al activo.
- Descripción del Trabajo: Breve descripción del trabajo de mantenimiento que se va a realizar según la orden de trabajo.
- Observaciones: Observaciones sobre la realización de las actividades de mantenimiento.
- Tiempo Estimado de Ejecución: Horas estimadas de ejecución y finalización del trabajo de mantenimiento solicitado.
- Responsable de Ejecución: Nombres y apellidos de los empleados encargados de la ejecución de las actividades de mantenimiento.

- Herramientas, Repuestos, Consumibles y Materiales de Mantenimiento. Requeridos: Códigos de las herramientas, repuestos, consumibles y materiales de mantenimiento necesarios para realizar las actividades de mantenimiento.

De igual manera se tiene la parte en donde se describe la información final del trabajo de mantenimiento que se encuentra estructurada de la siguiente manera, (Bagadia, 2006):

- Fallas Detectadas: Falla que se ha encontrado en el sistema, componente o equipo.
- Causas: Causas de la falla detectada.
- Nivel de Alerta: Código del nivel de alerta según el tipo de falla y mantenimiento realizado.
- Tiempo de Operación antes de Falla: Tiempo de operación en horas antes de la ocurrencia de la falla en el sistema, componente o equipo.
- Fecha y Hora de Inicio: Fecha y hora de inicio de la actividad de mantenimiento.
- Fecha y Hora de Culminación: Fecha y hora de culminación del mantenimiento.
- Tiempo Invertido: Tiempo invertido en el mantenimiento registrado en horas.
- Supervisado por: Nombres y apellidos del empleado que supervisó el trabajo.
- Fecha y Hora de Entrega: Fecha y hora de entrega del activo ya listo.
- Recibido Por: Nombres y apellidos de la persona que recibe el activo ya listo.

5.4.3. Módulo de Gestión de Recursos Humanos

En este módulo se almacena y gestiona la información del personal que trata sobre: datos individuales, grado educacional, formación recibida, profesión, responsabilidades, capacitación, puesto de trabajo, horario de trabajo, antigüedad y sueldo. Además, se hace un registro y control de la carga de trabajo para cada empleado y de las actividades que realiza, de forma que esto posibilite saber qué personal está disponible en el momento de planear su colaboración en las ocupaciones de mantenimiento, (Macían, 2010). Teniendo presente lo anterior, la información elemental que debería contener este módulo es la siguiente, (Bagadia, 2006):

- Código del Empleado: Es una identificación única para cada empleado que puede ser configurado dentro del GMAO de acuerdo a las necesidades o preferencias de las empresas.
- Datos Personales: En esta sección se registra nombres y apellidos, número de cédula, estado civil, sexo, lugar y fecha de nacimiento, lugar de residencia, teléfonos y correo electrónico.
- Datos Académicos: Se almacena información referente al nivel educativo, institución, titulación, experiencia laboral y capacitación personal.
- Datos Laborales: Se registra toda la información referente al trabajo actual, que básicamente tiene que ver con: cargo del empleado, puesto de trabajo, antigüedad, horario de trabajo, salario, capacitación interna y desempeño.
- Histórico de Intervenciones del Personal: Se almacena por empleado todos los trabajos de mantenimiento que ha realizado.

5.4.4. Módulo de Gestión de Inventarios

Este módulo permite dentro del GMAO administrar todos los inventarios de los recursos materiales relacionados con el mantenimiento, (Dávila, 2015). Por lo tanto, dentro de este módulo se encuentran ocho submódulos que son:

- Inventario de Herramientas
- Inventario de Repuestos
- Inventario de Materiales de Mantenimiento
- Inventario de Consumibles
- Solicitud de Consumo
- Devolución de Materiales No Utilizados
- Históricos de Consumo
- Solicitud de Compra Adquisición de Material y Empresas Distribuidoras.

5.4.5. Módulo de Gestión de Reportes

Este módulo permite gestionar y, por lo tanto, almacenar todos los reportes que se generan de las actividades relacionadas con el servicio de mantenimiento. (Duffuaa, 2000). Este viene distribuido en 15 submódulo que son:

- Reportes de Órdenes de Trabajo en Proceso
- Reportes de Órdenes de Trabajo Postergadas
- Reportes de Órdenes de Trabajo Rechazadas
- Reportes de Órdenes de Trabajo Procesadas
- Reportes de Estatus de Órdenes de Trabajo
- Reportes de Mantenimiento Rutinario
- Reportes de Mantenimiento Predictivo
- Reportes de Mantenimiento Correctivo
- Reportes de Historial de Fallas
- Reportes de Personal
- Reportes de Consumo de Repuestos/Consumibles/Materiales de Mantenimiento
- Reportes de Tercerización
- Reportes de Predicción
- Reportes de Costos de Mantenimiento
- Reportes de Gestión.

5.4.6. Aplicaciones e integración del GMAO en la actualidad

Actualmente, el mantenimiento se puede gestionar por medio del ordenador, esto se hace, ya que es más simple ingresar datos y procesarlos. Además, permite llevar el registro de una gran cantidad de actividades involucradas en el proceso de mantenimiento, de forma más simple y cómoda que hacerlo en papel. Por estas causas, en las organizaciones nace el sistema GMAO (Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora) como una solución,

ya que el sistema es capaz de manejar y controlar las gigantes cantidades de directivas de trabajo, insumos usados, repuestos de almacenes, y conjuntos que estas contaban. Existen en el mercado una diversidad de sistemas computarizados para la gestión del mantenimiento con diversas aplicaciones, tamaños y plataformas, de los cuales unos de los más utilizados y recomendados a nivel internacional, son: DirectLine, Avantis, Mapcon Sprocket CMMS, Facilities Management eXpress, ManagerPlus, eMaint CMMS, Hippo CMMS, Infor EAM e IBM.

6. Marco metodológico

6.1. Metodología de la Investigación

En el proyecto "Diseño Plan de Mantenimiento Preventivo para equipos médicos del Hospital Santa Inés" se aplica una investigación con enfoque cuantitativo porque se emplearán datos numéricos obtenidos del tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, entre otras. Tiene un alcance al inicio descriptivo porque se aplicará conceptos teóricos de recolección de gestión de mantenimiento de equipos médicos a través de un inventario, Bitácoras, etc. Posteriormente, el alcance será explicativo, donde se detallará la relación entre los datos obtenidos y la planificación del mantenimiento. La investigación es de tipo aplicada en el campo de equipos médicos y de tipo transversal, debido a que se utiliza históricos de los activos para realizar el plan de mantenimiento para los períodos 2022 y 2023.

6.2. Metodología del proceso

6.2.1. Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizados en el Hospital Santa Inés.

Para iniciar el desarrollo de un plan de mantenimiento se establecieron las condiciones iniciales de los equipos en uso del Hospital Santa Inés. Conjuntamente con el jefe del departamento de Ingeniería Clínica se obtuvo una descripción de la función y partes de los equipos y la frecuencia de uso. De la misma manera, se identificó que existen equipos que tienen mantenimientos por comodato y equipos que únicamente reciben mantenimientos correctivos.

De los mantenimientos correctivos y mantenimientos por comodato que se han realizado en los últimos años, se tienen registros físicos ambiguos de las actividades, fallas, tiempos o costos. Por ello, para la obtención completa y verídica de la información necesaria para la elaboración del plan de mantenimiento, se procedió a realizar encuestas a los técnicos de

mantenimiento y así se adquirió la descripción del equipo, marca, modelo, número de serie, fecha del mantenimiento, hora del mantenimiento, fecha de compra, actividad realizada, fallos, proveedor, entre otros datos.

Después de obtener los datos de los equipos existentes en el Hospital, se dividió en equipos médicos, historial de actividades de mantenimiento e historial de fallas.

Estas secciones se incluyen acorde a lo especificado en el programa de inventario para equipos médicos dispuesto por la OMS (Organización mundial de la salud) debido a que con ese formato se respetan las normas impartidas por dicha entidad.

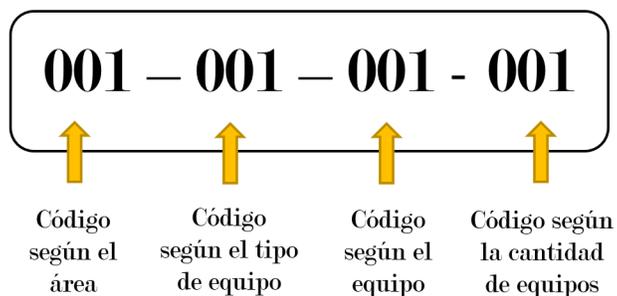
Inventario de los equipos médicos

Usando la información recopilada en el levantamiento de datos, se obtuvo una tabla preliminar de los equipos médicos con los que cuenta el Hospital Santa Inés. Para comprobar la veracidad de esta tabla se realizó nuevamente una visita a cada departamento, donde se completó los datos faltantes de los equipos enlistados; se agregaron los equipos adquiridos en el último periodo y se eliminaron los equipos que han sido dados de baja.

- **Codificación:** En los inventarios médicos se consigna a cada equipo un número único, esto con la finalidad de poder identificarlo de manera inequívoca. Esta consignación o normativa se basó en la guía de gestión de inventario de la OMS; la cual, describe que la codificación del equipo debe ser separada por ubicación, tipo de máquina, máquina y repetición del mismo, se realizó la codificación de los equipos médicos dejando como resultado:

Figura 1

Designación del código para los equipos del Hospital Santa Inés



Nota: Indica la designación del código que tendrá cada equipo médico del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

A continuación, se especifica cada una de las partes de las que está compuesto el código:

- **Código según el Área:** Este número corresponde al departamento en el que se encuentra el equipo, usando la información recaudada con anterioridad sobre los departamentos disponibles en el hospital, se dispuso de una tabla en orden alfabético que asigna un número a cada zona.

Para la designación del código se usó un número de tres cifras; donde la primera cifra representa el sector donde se encuentra el área, la segunda cifra el departamento y la tercera el sub departamento.

Figura 2

Formato de designación del código según el área



Nota: Indica la designación del código según el área que tendrá cada equipo médico del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

La codificación que se le designó a cada área se observa en la Tabla 2.

Tabla 2*Designación de la codificación para las áreas del Hospital Santa Inés.*

Área	Código
Subsuelo 2	010
Planta Baja	100
Emergencia	110
Hospital del Día	120
Oftalmología	121
Imágenes	130
Rayos X	131
Ecografía	132
Resonancia Magnética	133
Tomografía	134
Densitómetro	135
Mamografía	136
Hemodinamia	140
Angiografía 1	141
Angiografía 2	142
Cedicardio	143
Área Laboratorio	150
Sala de Máquinas	160
Transformadores	170
Piso 1	200
Neonatología	210
Área UCI Pediátrico	220
Área UCI	230
Área de Recuperación	240
Área de Quirófanos	250
Torres de Laparoscopia	251
Máquina de Anestesia	252
Área de Lavado Instrumental	260
Esterilización	261
Quirófano 1	262
Quirófano 2	263
Quirófano 3	264
Quirófano 4	265
Endoscopia	270
Área de Neurosis	280

Continuación Tabla 2

Área	Código
Piso 2	300
Enfermería 2	310
Piso 3	400
Enfermería 3	410
Piso 4	500
Enfermería 4	510

Nota: La tabla presenta la designación del código para las áreas del Hospital Santa Inés, Fuente: [Autor].

- **Código según el Tipo de Equipo:** Los equipos del Hospital Santa Inés se clasificaron en dos tipos: equipos industriales y equipos médicos.

Tabla 3

Designación de la codificación para los tipos de equipos.

Tipo de Equipo	Código
Médicos	001
Industriales	002

Nota: La tabla presenta la designación del código para los tipos de equipos del Hospital Santa Inés, Fuente: [Autor].

- **Código según el equipo:** La codificación respectiva se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4*Designación de la codificación según el equipo.*

Equipo	Código
Aire Acondicionado	001
Angiógrafo	002
Arco en C	003
Autoclave a Vapor	004
Balanza	005
Bioneer	006
Bomba de Infusión	007
Bomba Hidroneumática	008
Bomba Niv. Freático	009
Bombas Grundfos	010
Broncoscopio	011
Cabina de Flujo Laminar	012
Calefones	013
Central de Monitoreo	014
Cisterna de Agua	015
Coblator	016
Compresor	017
Cuna de Calor Radiante	018
Densitómetro	019
Desfibrilador	020
Digitalizador Agfa	021
Doppler Fetal	022
Electrobisturi	023
Electrocardiografo	024
Electrocauterio	025
Electromiografo	026
Equipo de Artroscopia	027
Equipo de Ecografía	028
Equipo de Electroencefalografía y Video Telemetría	029
Equipo de Hematología	030
Equipo de Hemocultivos	031
Equipo de Hormonas	032
Equipo de Lector de Orina	033
Equipo de Electroencefalografía y Polisonografía	034
Equipo de Química Sanguínea	035
Equipo de Rayos X	036
Equipo de Ultrasonido	037
Estación de Peróxido de Hidrógeno	038
Esterilizadora	039
Gas	040
Gasómetro	041
Generador	042
Generador de Rayos X	043
Generador de Luz	044
Impresora Drystar	045
Incubadora	046
Inyector	047
Lámpara Cialítica	048

Continuación Tabla 4

Equipo	Código
Lámpara Cialítica	048
Lavadora Desinfectadora	049
Mamógrafo	050
Manifold Oxígeno	051
Máquina de Anestesia	052
Mesa Quirúrgica	053
Microscopio	054
Monitor de Radiación	055
Monitor Fetal	056
Monitor Multiparámetros	057
Neo Pub	058
Oftalmoscopio	059
Phoenix	060
Portátil Rayos X	061
Refrigerador	062
Resonancia Magnética	063
Tanque Hidroneumática	064
Tomógrafo	065
Torre de Endoscopia	066
Torre Laparoscopia	067
Transformador Angiógrafo	068
Transformador Clínica	069
Transformador Resonancia	070
Transformador RX	071
Transformador Tomógrafo	072
Ventilador	073

Nota: La tabla presenta la designación del código para los equipos del Hospital Santa Inés, Fuente: [Autor].

Actividades de Mantenimiento

Usando la información recopilada en el levantamiento de datos, se discriminó la información con el objetivo de obtener las actividades de mantenimiento realizadas en cada equipo.

- **Clasificación:** Las actividades de mantenimiento se clasificaron por equipos. Para la reco-

pilación de datos se colocó la información de la siguiente manera: descripción de equipo, marca, modelo, serie, fecha y actividad. Es importante destacar que la información encontrada fue de setenta equipos y con fechas discontinuas, por lo que fue necesario completar esta información mediante entrevistas a los técnicos de mantenimiento tanto internos como externos, dejando como resultado el siguiente formato:

Tabla 5

Formato para clasificar las actividades de mantenimiento.

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Fecha 1/Actividad	Fecha 2/Actividad
--------	-------	--------	-------	-------------------	-------------------

Nota: La tabla presenta el formato que será utilizado para recopilar las actividades de mantenimiento realizadas a los equipos médicos del Hospital Santa Inés, Fuente: [Autor].

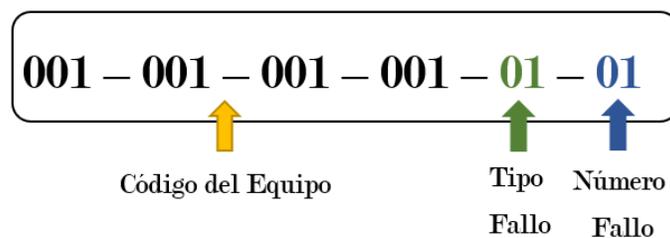
Fallos

Usando la información recopilada en el levantamiento de datos, se discriminó la información con el objetivo de obtener los fallos que se han producido en cada equipo durante los últimos años.

- **Codificación:** En el registro de fallos se consigna a cada fallo un número único, esto con la finalidad de poder identificarlo de manera inequívoca. Esta consignación o normativa se basó en la guía de gestión de inventario de la OMS; la cual, describe que la codificación de fallos debe ser separada por código del equipo, tipo de fallo y número único de fallo, se realizó la codificación de los fallos dejando como resultado:

Figura 3

Designación del código para el registro de fallos.



Nota: Indica la designación del código que tendrá cada fallo, de acuerdo a [Autor].

- **Código según el Equipo:** Este número corresponde al código único del equipo médico, usando la información recaudada con anterioridad sobre el inventario de equipos médicos del hospital.
- **Código según el Tipo de Falla:** Este número corresponde al tipo de fallo que haya presentado el equipo, estos se presentan a continuación en la tabla 6.

Tabla 6

Clasificación tipo de fallos.

Código	Tipo	Descripción
001	Falla Mecánica	Comprende cualquier tipo de daño al cuerpo de la máquina, piezas móviles o fijas de la misma, entre otras.
002	Falla Eléctrica	Comprende cualquier tipo de daño al sistema eléctrico o electrónico de la máquina.

Nota: La tabla presenta los tipos de fallos que puede tener un equipo médico y el código que representa a cada uno de estos en la codificación de fallos, de acuerdo a [Autor].

6.2.2. Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés.

Clasificación de riesgos de los equipos médicos

A los equipos médicos del inventario realizado en el primer objetivo se les clasificó de acuerdo al nivel de riesgo que presenta una falla generada respecto al paciente.

La clasificación se llevó a cabo según el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, MPSPS (2005) que indica que los niveles de riesgo se clasifican:

- **Nivel de riesgo I:** Son aquellos dispositivos médicos de bajo riesgo que generalmente están controlados, no están diseñados para proteger o sostener la vida, no son de especial importancia para prevenir el deterioro de la salud humana y no representan un riesgo potencialmente de enfermedad o lesión.

- **Nivel de riesgo II:** Son dispositivos médicos de riesgo medio que están sujetos a controles especiales durante la etapa de fabricación para demostrar su seguridad y eficacia.
- **Nivel de riesgo III:** Son dispositivos médicos de riesgo alto, que están sujetos a controles especiales durante la etapa de diseño y fabricación para demostrar su seguridad y eficacia.
- **Nivel de riesgo IV:** Son dispositivos médicos de alto riesgo especialmente controlados, diseñados para proteger o mantener la vida, o para prevenir el deterioro de la salud humana, o si su uso presenta un riesgo potencial de enfermedad o lesión.

Tabla 7

Clasificación de riesgos de para equipos médicos.

Nivel de Riesgo	
Nivel de riesgo I	Riesgo bajo
Nivel de riesgo II	Riesgo moderado bajo
Nivel de riesgo III	Riesgo moderado alto
Nivel de riesgo IV	Riesgo alto

Nota: Tabla de clasificación para los equipos médicos, consta de cuatro niveles, donde el nivel I representa el nivel más bajo y el nivel IV el nivel más alto, de acuerdo con (MPSPS, 2005) .

Los valores obtenidos de este análisis en los equipos médicos del Hospital Santa Inés se encuentran en la sección de Resultados en las tablas 38 y 39. De la misma manera, en la figura 8, se indican los valores obtenidos porcentuales.

Nivel de prioridad de los equipos médicos (PI)

Se realizó el cálculo del nivel de prioridad (PI) para establecer que equipos se incluyen en el inventario de mantenimiento de equipos médicos o en el inventario de mantenimiento del entorno.

- **Inventario de mantenimiento de Equipos Médicos:** Dispositivos médicos operacionales y funcionales, incluidos los sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos, incluido el software relacionado con su funcionamiento normal, destinados por el fabricante a la prevención, el diagnóstico, el tratamiento o la rehabilitación de seres humanos.

No son dispositivos biomédicos, dispositivos médicos implantados en el cuerpo humano o dispositivos médicos desechables,(MSP, 2018b).

- **Inventario de mantenimiento de Equipos de Entornos:** Son los equipos que brindan servicios a las instalaciones sin tener una relación directa con los pacientes,(MSP, 2018b).

La fórmula que se usó para el PI toma en consideración cuatro criterios, la función del equipo, la aplicación, el requerimiento de mantenimiento y los antecedentes.

$$PI = Función + Aplicación + Mantenimiento + Antecedentes \quad (1)$$

- **Función del equipo:** Se refiere al papel que tiene el equipo en el cuidado del paciente. En este criterio hay una ponderación de 2 a 10 y si divide en clases: terapéutico, diagnóstico, analíticos y de apoyo.

Tabla 8

Ponderación de la función del equipo.

Clase	Función del equipo	Ponderación
Terapéutica	Soporte de Vida	10
	Cirugía y cuidados intensivos	9
	Terapia física y tratamiento	8
Diagnóstico	Monitorización de cirugía y cuidados intensivos	7
	Control fisiológico adicional y diagnóstico	6
Analíticos	Análisis de laboratorio	5
	Accesorios de laboratorio	4
	Computadoras y afines	3
Apoyo	Relacionados con el paciente y otros	2

Nota: Ponderación del criterio de función del equipo para el cálculo PI, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Aplicación:** Son los riesgos físicos del uso clínico. La ponderación de este criterio es de 1 a 5, donde 1 es la aplicación menos riesgosa y 5 la más riesgosa, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9*Ponderación de la aplicación.*

Aplicación	Ponderación
Puede ocasionar muerte del paciente	5
Puede producir daño o lesiones al paciente u operador	4
Terapia inapropiada o falso diagnóstico	3
Riesgo mínimo	2
Sin riesgo significativo	1

Nota: Ponderación del criterio de la aplicación del equipo para el cálculo PI, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Requerimiento de Mantenimiento:** La ponderación de este criterio es de 1 a 5, donde 1 es mínimo y 5 extenso, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10*Ponderación de los requisitos de mantenimiento.*

Requerimiento de mantenimiento (tiempo)	Descripción	Ponderación
Extenso	Importantes: exigen calibración y reemplazo de piezas periódicas.	5
	Superiores al promedio	4
Medio	Usuales: verificación de funcionamiento y pruebas de seguridad	3
	Inferiores al promedio	2
Mínimo	Inspección visual	1

Nota: Ponderación de los requisitos de mantenimiento de los equipos para el cálculo PI, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Antecedentes de problemas del equipo:** Es la información que se tiene de las reparaciones del equipo que permiten evaluar el tipo de este. La ponderación de este criterio es de -2 a +2, donde -2 es insignificante y +2 significativo, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Ponderación de los antecedentes de problemas del equipo.

Promedio de averías de los equipos	Factor
Significativo: más de una cada seis meses	+2
Moderado: una cada 6-9 meses	+1
Usual: una cada 9-18 meses	0
Mínimo: una cada 18-30 meses	-1
Insignificante: menos de una en los 30 meses anteriores	-2

Nota: Ponderación del criterio de antecedentes de problemas del equipo para el cálculo PI, de acuerdo a (MSP, 2018b)

Para catalogar el valor del índice de prioridad obtenido en inventario de mantenimiento de equipos médicos o inventario de mantenimiento del entorno, se usó los rangos especificados en la Tabla 12.

Tabla 12

Rangos para clasificar el nivel de prioridad (PI).

Inventario	Rango
Inventario de mantenimiento del entorno	3 - 10
Inventario de mantenimiento de equipos médicos	≥ 11

Nota: Rangos de clasificación para el nivel de prioridad de equipos médicos (PI), de acuerdo a (Arguello Trujillo, 2018)

Los valores obtenidos de este análisis en los equipos médicos del Hospital Santa Inés se encuentran en la sección de Resultados en las tablas 40 y 41. Igualmente en la Figura 10, se muestra la cantidad en porcentuales.

Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP)

La metodología que se usó para el cálculo de la frecuencia de ejecución del protocolo de mantenimiento preventivo se establece en función del tipo de equipo biomédico, las necesidades de cada establecimiento médico, el nivel de atención, el flujo de pacientes, la frecuencia de uso de los equipos, las condiciones de trabajo, los niveles de riesgo físico, etc., (MSP, 2018a).

La frecuencia de mantenimiento de los equipos biomédicos no es igual en todos los casos, por lo que fue necesario considerar algunos criterios importantes para determinar el intervalo de ejecución y se seleccionó la siguiente fórmula matemática:

$$FMPP = RF + FE + RM + DM + FU + A \quad (2)$$

Donde:

- **Riesgo físico (RF):** Se basa en las amenazas potenciales que un equipo médico representa para los usuarios, según el uso previsto. Se calificará del 1 al 4, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Ponderación para el riesgo físico.

Nivel de Riesgo	Tipo de Riesgo	Ponderación
Riesgo IV	Riesgo Alto	4
Riesgo III	Riesgo Moderado Alto	3
Riesgo II	Riesgo Moderado Bajo	2
Riesgo I	Riesgo Bajo	1

Nota: Se indica la ponderación para el riesgo físico de los equipos médicos, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Función del equipo (FE):** Es el tipo de trabajo o servicio que brinda el equipo. Se calificará del 2 al 10, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14*Ponderación de la función del equipo.*

Clase	Función del equipo	Ponderación
Terapéuticos	Soporte de vida	10
	Cirugía y cuidados intensivos	9
	Terapia física y tratamiento	8
Diagnóstico	Monitorización de cirugía y cuidados intensivos	7
	Control fisiológico adicional y diagnóstico	6
Analíticos	Análisis de Laboratorio	5
	Accesorios de laboratorio	4
	Computadoras y afines	3
Apoyo	Relacionados con el paciente y otros.	2

Nota: Se indica la ponderación para determinar la función de los equipos médicos, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Requisitos de mantenimiento (RM):** Son las recomendaciones y complejidad del mantenimiento de los equipos que brindan los manuales realizados por los fabricantes. Se calificará del 1 a 5, como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15*Ponderación de los requerimientos de mantenimiento.*

Clase	Función del equipo	Ponderación
Extenso	Importantes: Exige calibración y reemplazo de piezas periódicas	5
	Superiores al promedio	4
Medio	Usuales: verificación de funcionamiento y pruebas de seguridad	3
	Inferiores al promedio	2

Continuación Tabla 15

Clase	Función del equipo	Ponderación
Mínimo	Inspección visual	1

Nota: Se indica la ponderación para los requerimientos de mantenimiento de los equipos médicos, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Desgaste mecánico (DM):** Es el desgaste de los equipos en sus componentes mecánicos. Se calificará del 0 a 5, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Ponderación del desgaste mecánico.

Tipo de desgaste	Ponderación
Alto	5
	4
Medio	3
	2
Mínimo	1
No aplica	0

Nota: Se indica la ponderación para el desgaste mecánico de los equipos médicos, de acuerdo a (MSP, 2018b)

- **Antecedentes de problemas del equipo (AE):** Toda información posible acerca de las reparaciones que se han realizado de acuerdo al tipo de equipo. Se calificará del 0 a 5. Se usa la misma tabla 11 que se usó para el cálculo del PI.

Una vez obtenidos los valores FMPP para cada equipo médico, se realizó la ponderación de la frecuencia de mantenimiento en trimestral, semestral y anual.

Tabla 17*Ponderación de la Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado.*

Valor FMPP	Frecuencia
≥ 21	Trimestral
15 a 20	Semestral
1 a 14	Anual

Nota: Se indica los valores de ponderación de la FMPP, de acuerdo a (MSP, 2018b)

Los valores obtenidos de este análisis en los equipos médicos del Hospital Santa Inés se encuentran en la sección de Resultados en las tablas 40 y 41. Igualmente en la figura 10, se muestra la cantidad en porcentuales.

Cronograma de Mantenimiento Preventivo

La metodología que se utilizó para el cronograma de mantenimientos preventivos se estableció en función de la clasificación de equipos según su nivel de riesgo, tipo de mantenimiento llevado hasta el momento, conocimiento de los técnicos y las necesidades de cada equipo médico.

Una vez clasificados los equipos médicos se designó la fecha inicial de mantenimiento y de acuerdo a las ponderaciones de la frecuencia de mantenimiento en trimestral, semestral y anual, se continuó con las fechas.

Tabla 18*Clasificación de equipos médicos obtenida para el cronograma de mantenimientos preventivos.*

Equipo	Nivel de Riesgo	Cantidad
Autoclave	III	3
Cuna de calor radiante	IV	4
Electrobisturí	IV	1
Electrocauterio	IV	6
Incubadora Neonatal	IV	5

Continuación Tabla 18

Equipo	Nivel de Riesgo	Cantidad
Inyector	IV	5
Monitor Multiparámetros	III	44
Total		68

Nota: La tabla indica los equipos que se consideraron para el cronograma de mantenimientos preventivos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

Después de haber obtenido el listado de equipos, se generó el cronograma considerando la frecuencia de mantenimiento preventivo programado (FMPP) y la carga horaria de los técnicos; obteniendo la Tabla 43.

Protocolo de Mantenimiento Preventivo

Se desarrolló el protocolo de mantenimiento preventivo de las incubadoras neonatales, para esto se consideró seis parámetros fundamentales:

- Nivel de Riesgo
- Frecuencia de Mantenimiento
- Principio de Funcionamiento
- Partes del Equipo
- Fallos del Equipo
- Conocimiento de los Técnicos de Mantenimiento Interno

A continuación, en la tabla 19 se encuentra especificado algunos de estos parámetros:

Tabla 19*Parámetros y características de una incubadora neonatal.*

Incubadoras Neonatales	
Nivel de Riesgo	IV
Frecuencia de Mantenimiento	Trimestral
Funcionamiento	Se usan para proporcionar un clima templado y húmedo al recién nacido y ayudarlo a controlar su temperatura corporal.
Principio de Funcionamiento	Son cámaras con paredes plásticas de una o dos capas, que descansan sobre una base sobre la que hay un colchón aislado. Debajo de la base hay un sistema de ventiladores que fuerzan el aire filtrado de la habitación a pasar sobre unos elementos calefactores y recipientes de agua, que permiten proporcionar el grado de humedad deseado.
Partes	Cúpula Panel de Control Barandal de Seguridad Depósito de Humificador Pedestal/Gabinete

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo del protocolo de mantenimiento preventivo, de acuerdo a [Autor].

Para identificar los fallas de las incubadoras se realizó una investigación bibliográfica, entrevistas con técnicos de mantenimiento externos e internos y se recopiló información de los históricos de fallos presentados en las incubadoras del Hospital Santa Inés. A continuación, en la tabla 20 se especifica de manera detallada los fallos encontrados.

Tabla 20*Fallos internos y externos de las Incubadoras Neonatales.*

FALLOS / INCUBADORA NEONATAL		
ITEM	INT/EXT	FALLA
1	EXT	Mal rendimiento de la incubadora o falla de energía debido a baterías mal mantenidas o baterías poco confiables
2	EXT	Fallas en el termostato que provocó el sobrecalentamiento de la incubadora y la hipertermia infantil
3	INT	Se realiza chequeo de la incubadora, la misma que en su chequeo se comprueba que su Slead Assembly se encuentra en la parte inferior de manera pañosa de tal manera que esto es libre de mantenimiento por lo que se procedió con el cambio del mismo, Limpieza general, lubricación del sistema de rodamientos del motor y calibración de sus parámetros

Continuación Tabla 20

FALLOS / INCUBADORA NEONATAL		
4	INT	Se realiza entrega de la incubadora, la misma se encontraba en Lavrestak por motivos de mantenimiento correctivo, se realizan pruebas de falso positivo, ya que es el punto en donde se va a trabajar
5	INT	Ejecución general, cable flexible, placa de calentamiento, ajuste de sensor inicial.
6	INT	Comprobación de funcionamiento de equipo.
7	INT	Se realiza limpieza y ajuste de tarjetas electrónica.
8	INT	Se realiza inspección de cables J6,J7,J8
9	INT	Se realiza limpieza y ajuste de sensor de aire.
10	INT	Se realiza calibración de tarjeta control board.
11	INT	Se realiza calibración de voltaje.
12	INT	Se realizan pruebas en fuente de poder.
13	INT	Se realiza limpieza de ventilador y sensor de temperatura (Termistor).
14	INT	Termistor presenta valor de 100, valor correcto.
15	INT	Se cambia tarjeta control Board con equipo similar.
16	INT	Se realizan calibraciones.
17	INT	Equipo funciona por varias horas sin novedades.
18	INT	Comprobación de funcionamiento de equipo.
19	INT	Se realiza limpieza y ajuste de tarjetas electrónica.
20	INT	Se realiza inspección de cables J6,J7,J8
21	INT	Se realiza limpieza y ajuste de sensor de aire.
22	INT	Se realiza calibración de tarjeta control board.
23	INT	Se realiza calibración de voltaje.
24	INT	Se realizan pruebas en fuente de poder.
25	INT	Equipo presenta mismo problema.
26	INT	Se realiza limpieza de ventilador y sensor de temperatura (Termistor).
27	INT	Termistor presenta valor de 100, valor correcto.
28	INT	Se cambia tarjeta control Board con equipo similar.
29	INT	Se realizan calibraciones.
30	INT	Equipo funciona por varias horas sin novedades.
31	EXT	Variación involuntaria del ángulo de inclinación del colchón.
32	EXT	No daba valor el sensor de temperatura.
33	EXT	No se prendía el panel indicador de temperatura, por falla en la tarjeta.
34	EXT	Daño en las puertas y ventanas de acceso
35	EXT	Fallo de elevación de la incubadora. (Daño de los pedales)
36	EXT	Desconfiguración de parámetros.

Nota: La tabla indica los fallos que se han presentado en las incubadoras neonatales, se cuenta con 28 fallos internos, es decir que se han producido en las incubadoras del hospital y 8 fallos externos, que hace referencia a fallos regulares que suelen producirse en estos equipos, de acuerdo a [Autor].

Para definir el conocimiento de los técnicos internos con respecto al mantenimiento de incubadoras neonatales se realizó un conversatorio con el jefe del departamento de ingeniería clínica y los técnicos, de esta reunión se concluyó que los técnicos no cuentan con las capacitaciones necesarias para intervenir en estos equipos.

6.2.3. Desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos

El desarrollo de la investigación se realizó implementando la metodología ágil SCRUM y está subdividida en cuatro fases.

Fase 1 -Requerimientos del software

Luego de analizar la documentación de órdenes de trabajo físicas, conocer el manejo del departamento y los resultados de las entrevistas llevadas a cabo a los técnicos de mantenimiento, el personal de enfermería, el jefe de ingeniería clínica y los asesores del departamento administrativo; se procedió a diseñar y crear el documento del levantamiento de los requerimientos del sistema. En cuanto a los actores que intervendrán en el sistema, se identificó seis, que son:

- Departamento de enfermería
- Técnicos de mantenimiento interno
- Técnicos de mantenimiento externo
- Jefe del Departamento de Ingeniería Clínica
- Departamento de Compras
- Gerente

Los requerimientos obtenidos de los actores mencionados anteriormente, se encuentran especificados en las Tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26.

Tabla 21

Los requerimientos del usuario solicitante - enfermería.

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El solicitante deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder solo al formulario.
2	El solicitante podrá acceder a un formulario para realizar la solicitud de orden de trabajo.	El formulario solicitará los datos necesarios para la petición y los almacenará en la base de datos del sistema para continuar con el procedimiento.

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita el usuario solicitante-enfermería dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Tabla 22*Los requerimientos del técnico de mantenimiento interno.*

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El técnico de mantenimiento deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder a siete de los ocho módulos.
2	El técnico de mantenimiento podrá visualizar el listado y actualizar el estado de las ordenes de trabajo.	Las tareas se clasificarán en 7 tipos: Solventado, Compras, ICH Proceso, Disp. Área, Externo, Constructivo.
3	El técnico de mantenimiento podrá ingresar los datos de nuevos equipos médicos, contratos y contactos de empresas.	El formulario de ingreso, le solicitará los datos necesarios para almacenar en la base de datos del sistema para continuar con el procedimiento.
4	El técnico de mantenimiento podrá agregar solicitudes de compra y visualizar el estado de las mismas.	
5	El técnico de mantenimiento podrá añadir y visualizar los planes de mantenimiento y manuales de los diferentes equipos médicos.	
6	El técnico de mantenimiento podrá agregar reportes de mantenimiento por cada actividad.	El formulario de reporte, le solicitará los datos necesarios e imágenes de evidencia para almacenar en la base de datos del sistema y calcular los indicadores.

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita el técnico de mantenimiento interno dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Tabla 23*Los requerimientos del técnico de mantenimiento externo.*

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El técnico deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder solo al módulo de tercerización.
2	El técnico podrá acceder a un formulario para realizar el reporte de mantenimiento.	El formulario de reporte, le solicitará los datos necesarios e imágenes de evidencia para almacenar en la base de datos del sistema y calcular los indicadores.

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita el técnico de mantenimiento externo dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Tabla 24*Los requerimientos del usuario principal – Jefe del departamento de Ingeniería Clínica.*

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El usuario principal deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder a todos los módulos.
2	El usuario principal podrá realizar todas las actividades especificadas en los requerimientos del técnico de mantenimiento.	
3	El usuario administrador podrá visualizar el menú con todas las opciones principales del sistema.	Las opciones principales son: Solicitud Orden de Trabajo, Compras, Gestión de Activos, Gestión de Inventario, Gestión de Mantenimiento, Gestión de Reportes, Gestión de Tercerizados y Gestión de Personal.
4	El usuario principal podrá realizar todas las actividades especificadas en los requerimientos del técnico de mantenimiento.	
5	El usuario principal es el único que podrá ingresar al módulo de Gestión de personal.	El formulario le permitirá registrar toda la información sobre los trabajadores y visualizar el indicador de productividad laboral.

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita el usuario principal – Jefe del departamento de Ingeniería Clínica dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Tabla 25*Los requerimientos del Departamento de Compras.*

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El usuario administrativo deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder solo al módulo de compras.
2	El solicitante podrá cambiar el estado de la solicitud y agregar comentarios sobre la misma.	Los estados son: En proceso, aprobada, rechazada.

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita los administrativos del departamento de compras dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Tabla 26

Los requerimientos del usuario supervisor - Gerente.

ID	Requerimiento	Observaciones
1	El usuario supervisor deberá ingresar sus credenciales de acceso para poder ingresar al sistema.	Lo llevará a la página principal de la aplicación y le permitirá acceder solo al módulo gestión de activos.
2	El usuario supervisor podrá visualizar la información con respecto a los equipos, contratos e indicador de MTTR de cada equipo.	

Nota: La tabla indica los requerimientos que necesita el usuario supervisor - Gerente dentro del GMAO, de acuerdo a [Autor].

Fase 2 - Diseño del Software

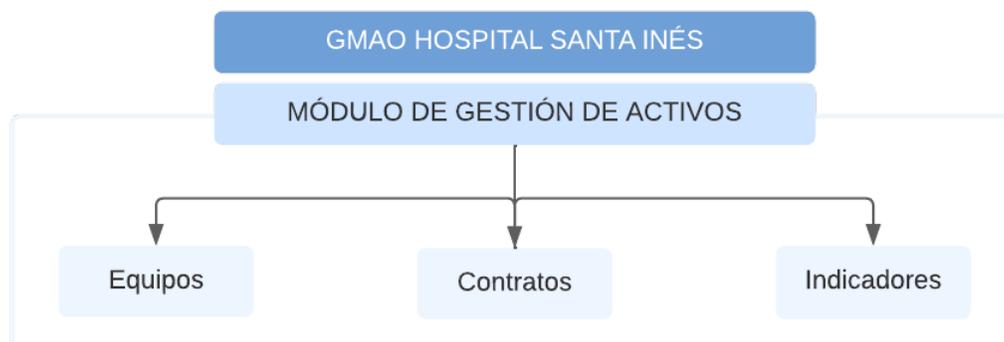
Para el diseño del GMAO se tomó como base los documentos obtenidos de los levantamientos de datos y requerimientos, además de considerar a los cinco actores que interactúan en el sistema. Con esta información, se procedió a identificar los submódulos que requiere el Hospital y elaborar los diagramas de funcionamiento de cada módulo.

- Gestión de Activos

Este módulo permite para mostrar toda la información importante que tiene que ver con los equipos médicos. Está dividido en 3 submódulos que son: Equipos, Contratos e Indicadores.

Figura 4

Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Activos



Nota: Se puede observar los tres submódulos que conforman el Módulo Gestión de Activos , de acuerdo con [Autor].

En el submódulo equipos se presenta información relevante sobre las características de los equipos, su ubicación y responsables. El submódulo contratos es en donde se presenta toda la información con respecto a los contratos realizados por el departamento de Ingeniería clínica, se especifica datos como la fecha, costos y permite visualizar una imagen o PDF del contrato. Por otro lado, en el submódulo Indicadores se visualiza el tiempo medio de reparación de cada equipo médico y su número de fallos. En la Tabla 27 se presenta un resumen de toda la información que debe contener cada submódulo descrito.

Tabla 27

Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Activos del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE ACTIVOS		
1.1. Equipos	1.1.1. Código del Equipo	1.1.6. Serie
	1.1.2. Tipo de Equipo	1.1.7. Departamento
	1.1.3. Equipo	1.1.8. Propietario
	1.1.4. Marca	1.1.9. Seguro
	1.1.5. Modelo	1.1.10. Accesorios
1.2. Contratos	1.2.1. N.º de Contrato	1.2.5. Fecha Culminación
	1.2.2. Empresa	1.2.6. Contrato
	1.2.3. Descripción	1.2.7. Equipos
	1.2.4. Fecha Inicio Contrato	1.2.8. Contrato en pdf o imagen
1.3. Indicadores	1.3.1. Dato MTTR	1.3.3. Gráfica
	1.3.2. N° Fallos	

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de activos del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el gerente, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento y el departamento de compras, el usuario solicitante – enfermería y los técnicos de mantenimiento externos son los únicos que tienen restringido el acceso a este módulo.

- **Gestión de Inventario**

Este módulo permite ingresar y mantener actualizado el inventario de equipos del hospital y el estado de los mismos, además de controlar los registros de los repuestos

que deban ser adquiridos para los mantenimientos. Está dividido en tres submódulos que son: Inventario de Equipos, Contratos y Solicitud de Compra.

Figura 5

Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Inventario.



Nota: Se puede observar los dos submódulos que conforman el Módulo Gestión de Inventario, de acuerdo con [Autor].

En el submódulo Inventario Equipos se ingresa, presenta y modifica la información relevante sobre las características de los equipos, su ubicación y responsables. El submódulo contratos es en donde se ingresa, edita y presenta toda la información con respecto a los contratos realizados por el departamento de Ingeniería clínica, se especifica datos como la fecha, costos y permite cargar una imagen o PDF del contrato. Por otro lado, en el submódulo Solicitud de Compra se encuentra el formulario para solicitar al departamento de compras que adquiera algún equipo, repuesto, material, etc. En la Tabla 28 se presenta un resumen de toda la información que debe contener cada submódulo descrito.

Tabla 28

Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Inventario del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE INVENTARIO		
2.1. Inventario Equipos	2.1.1. Código del Equipo	2.1.6. Serie
	2.1.2. Tipo de Equipo	2.1.7. Departamento
	2.1.3. Equipo	2.1.8. Propietario
	2.1.4. Marca	2.1.9. Seguro
	2.1.5. Modelo	2.1.10. Accesorios
2.2. Contratos	2.2.1. N° de Contrato	2.2.5. Fecha Culminación
	2.2.2. Empresa	2.2.6. Contrato
	2.2.3. Descripción	2.2.7. Equipos
	2.2.4. Fecha Inicio Contrato	2.2.8. Cargar contrato en pdf o imagen
2.3. Solicitud de Compra	2.3.1. CI del Técnico Solicitante	2.3.5. Cantidad
	2.3.2. Código del equipo	2.3.6. Precio
	2.3.3. Equipo	2.3.7. Proveedor
	2.3.4. Artículo/Repuesto	2.3.8. Cargar proforma

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de inventario del GMAO para al Hospital Santa Inés,, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento y los técnicos de mantenimiento, mientras que, para el gerente, departamento de compras, técnicos de mantenimiento externos y para el usuario solicitante – enfermería se encuentra restringido el acceso.

- **Gestión Mantenimiento**

Este módulo permite gestionar el estatus de las órdenes de trabajo, permite visualizar, ingresar y mantener actualizado los documentos (manuales y planos) de los activos. Además, permite ingresar y visualizar los datos de las empresas externas.

Figura 6

Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Mantenimiento.



Nota: Se puede observar los tres submódulos que conforman el Módulo Gestión de Mantenimiento, de acuerdo con [Autor].

En el submódulo Orden de Trabajo se presentan todas las solicitudes de trabajo realizadas por el usuario solicitante – enfermería, aquí se puede modificar el estado de las órdenes en seis categorías (Solventado, Compras, ICH Proceso, Disp. Área, Externo y Constructivo). En el módulo Plan de Mantenimiento se permite visualizar e ingresar todos los manuales, planes y planos de los activos. Mientras, en el submódulo Empresas Contratistas se describen todos los datos importantes de las empresas distribuidoras, como por ejemplo los datos de contacto y la dirección. Toda esta información de este módulo se resume en la Tabla 29.

Tabla 29

Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Mantenimiento del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO		
3.1. Estatus Orden de Trabajo	3.1.1 N.º de Ítem	3.1.6. Tipo de Trabajo
	3.1.2. Fecha	3.1.7. Problemática
	3.1.3. CI Solicitante	3.1.8. Asunto
	3.1.4. Departamento	3.1.9. Estado
	3.1.5. Prioridad	3.1.10. Observaciones

Continuación Tabla 29

	Planes	Manuales
3.2. Plan de Mantenimiento	3.2.1.1. N° de Ítem	3.2.2.1. N° de Ingreso
	3.2.1.2. Empresa	3.2.2.2. Código Equipo
	3.2.1.3. Año de Inicio de Contrato	3.2.2.3. Equipo
	3.2.1.4. Equipo	3.2.2.4. Manual
	3.2.1.5. Código Equipo	
	3.2.1.6. Plan de Mantenimiento	
3.3. Contactos Empresas	3.3.1. N° de Ítem	3.3.6. Correo
	3.3.2. Empresa	3.3.7. Dirección
	3.3.3. Representante Legal	3.3.8. Producto/Servicio
	3.3.4. RUC	3.3.9. Evaluación
	3.3.5. Contacto	3.3.10. Evaluación en Excel

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de mantenimiento del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento y los técnicos de mantenimiento, mientras que, para el gerente, departamento de compras, técnicos de mantenimiento externos y para el usuario solicitante – enfermería se encuentra restringido el acceso.

- **Gestión Reportes**

Este módulo permite gestionar todos los reportes, desde los reportes internos que son los realizados por los técnicos del hospital hasta los reportes externos realizados por los técnicos de las empresas contratistas. Este módulo es uno de los más importantes, ya que cuenta con toda la información que nos permite calcular los indicadores solicitados.

Figura 7

Diagrama de Funcionamiento del Módulo de Reportes.



Nota: Se puede observar los dos submódulos que conforman el Módulo Gestión de Mantenimiento, de acuerdo con [Autor].

En el submódulo Reportes Internos se puede ingresar, editar y visualizar los reportes realizados por los técnicos de mantenimiento del hospital. Mientras que en el submódulo Reportes Externos se puede visualizar todos los reportes de mantenimiento extraídos del Módulo de Gestión de Tercerización, es decir, los reportes realizados por técnicos externos. La información que posee normalmente estos reportes se resume en la Tabla 30.

Tabla 30

Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Reportes del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE REPORTES	
	4.1.1. Código Reporte
	4.1.2. Código Orden de Trabajo
	4.1.3. Fecha Inicio Mantenimiento
	4.1.4. Fecha Final Mantenimiento
4.1. Reportes Internos	4.1.5. CI Técnico
	4.1.6. Nombre Técnico
	4.1.7. Código Equipo
	4.1.8. Equipo
	4.1.9. Tipo de Mantenimiento
	4.1.10. Estado de Equipo
	4.1.11. Falla
	4.1.12. Nivel de Alerta
	4.1.13. Causas
	4.1.14. Costo
	4.1.15. Actividades
	4.1.16. Repuestos
	4.1.17. Observaciones
	4.1.18. Verificador

Continuación Tabla 30

4.2. Reportes Externos	4.2.1. N° Itém	4.2.6. Estado
	4.2.2. Empresa	4.2.7. Código Equipo
	4.2.3. N° Reporte Físico	4.2.8. Nivel Alerta
	4.2.4. Fecha Inicio Mantenimiento	4.2.9. Evidencias en pdf o imagen
	4.2.5. Fecha Final Mantenimiento	4.2.10. Evidencias en pdf o imagen

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de reportes del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento y los técnicos de mantenimiento interno, mientras que, para el gerente, departamento de compras, técnicos de mantenimiento externos y para el usuario solicitante – enfermería se encuentra restringido el acceso.

- **Gestión Tercerización**

Este módulo permite que los técnicos de empresas externas notifiquen de las actividades realizadas e ingresen las evidencias del reporte físico. La información que deben ingresar se resume en la Tabla 31.

Tabla 31

Información específica que contiene el Módulo de Tercerización del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE TERCERIZADOS		
5.1. Formulario Reporte Externo	5.1.1. Fecha Inicio Mantenimiento	5.1.5. Código Equipo
	5.1.2. Fecha Final Mantenimiento	5.1.6. Equipo
	5.1.3. Empresa	5.1.7. Nivel de Alerta
	5.1.4. Número de Reporte Físico	5.1.8. Evidencias en pdf o imagen

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de tercerizados del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento y los técnicos de mantenimiento externos, mientras que, para el gerente, departamento de compras, técnicos de mantenimiento internos y para el usuario solicitante – enfermería, se encuentra restringido el acceso.

- Gestión Personal

Este módulo permite recopilar toda la información referente al personal de mantenimiento, como por ejemplo los datos personales, los datos laborales y las actividades que realice cada trabajador. Este módulo se divide en dos submódulos los cuales son: Datos Personales e Indicador de Productividad Laboral.

El submódulo Datos Personal se subdivide en tres secciones que son datos personales, académicos y laborales. En Datos personales se registra toda la información personal de los técnicos, como por ejemplo el nombre y apellido, la dirección de residencia y la cédula, en datos académicos se ingresa toda la información referente a los estudios y experiencia laboral. Por otro lado, en datos laborales se registran los datos relacionados con el trabajo actual, como por ejemplo el cargo que ocupa y el horario. La cantidad de horas que los técnicos inviertan en los mantenimientos se presenta en el submódulo Indicador de Productividad Laboral, además en este se especifica el indicador de desempeño del técnico. La información que posee normalmente estos registros se resume en la Tabla 32.

Tabla 32

Información específica que contiene el Módulo de Gestión de Personal del GMAO.

MÓDULO DE GESTIÓN DE PERSONAL		
6.1. Datos Personales	6.1.1. Código Empleado	6.1.5. Fecha de Nacimiento
	6.1.2. Nombres	6.1.6. Contacto
	6.1.3. Apellidos	6.1.7. Correo
	6.1.4. RUC	
6.2. Datos Académicos	6.2.1. Nivel Educativo	6.2.3. Currículum
	6.2.2. Titulación	
6.3. Datos Laborales	6.3.1. Cargo	6.3.3. Horario
	6.3.2. Actividades	6.3.4. Capacitación Interna
6.4. Indicador de Productividad Laboral	6.4.1. Horas trabajadas	6.4.2. Indicador de productividad laboral

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de gestión de personal del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido únicamente para el jefe de mantenimiento.

- Orden de Trabajo

Este apartado permite que los usuarios solicitantes - enfermería creen la orden de trabajo que notifique al departamento de ingeniería clínica las actividades a realizar. La información que deben ingresar se resume en la Tabla 33.

Tabla 33

Información específica que contiene el Módulo de Orden de Trabajo del GMAO.

ORDEN DE TRABAJO		
7.1. Solicitud Orden de Trabajo	7.1.1. CI Solicitante	7.1.4. Descripción del Equipo
	7.1.2. Prioridad del Trabajo	7.1.5. Inconvenientes o Problemática
	7.1.3. Departamento Solicitante	7.1.6. Observaciones

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo de los módulos de orden de trabajo del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento y los técnicos de mantenimiento internos y para el usuario solicitante – enfermería, mientras que, para el gerente, departamento de compras y los técnicos de mantenimiento externos, se encuentra restringido el acceso.

- Compras

Este apartado permite que los usuarios del departamento de compras visualicen las solicitudes de compras generadas en el módulo de Gestión de Inventario. Además, permite cambiar el estado de la solicitud y agregar comentarios para informar al departamento de Ingeniería Clínica. La información que se muestra se resume en la Tabla 34.

Tabla 34

Información específica que contiene el Apartado de Compras del GMAO.

COMPRAS		
8.1. Compras	8.1.1. N° Itém	8.1.7. Cantidad
	8.1.2. ID de la solicitud	8.1.8. Proveedor
	8.1.3. CI Solicitante	8.1.9. Precio
	8.1.4. Código de Equipo	8.1.10. Estado de la Solicitud
	8.1.5. Equipo	8.1.11. Comentario
	8.1.6. Artículo/Repuesto	8.1.12. Proforma en pdf, imagen o Excel.

Nota: La tabla contiene la información requerida para el desarrollo del apartado de compras del GMAO para al Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

El acceso a este módulo está permitido para el jefe de mantenimiento, los técnicos de mantenimiento internos y para el departamento de compras, mientras que, para el gerente, el usuario solicitante-enfermería y los técnicos de mantenimiento externos se encuentra restringido el acceso.

Fase 3 - Desarrollo del Software

Una vez definidos los módulos y submódulos requeridos, se procede a analizar las diferentes opciones de software y se realiza pruebas con los mismos. El primer software utilizado fue Visual Basic y Macros dentro de la plataforma de Excel, la cual, a pesar de cumplir con los parámetros definidos para cada módulo, no permitió una gestión óptima y eficiente con respecto a la actualización de datos, por lo que no cumplió los objetivos de trabajo colaborativo establecidos en la metodología ágil SCRUM. Como segunda opción se optó por el diseño del GMAO planteado en el proyecto (versión web y versión móvil) a través del software React y la base de datos de Firebase.

- **Lenguaje de programación**

La programación se llevó a cabo en React, la misma que es una biblioteca de JavaScript enfocada en el desarrollo de interfaces de usuario, utilizada para crear diversas aplicaciones web, así como aplicaciones para teléfonos móviles. Para la programación fue necesario conocer los lenguajes con los que trabaja, en este caso se trabaja con HTML, Java Script y CCS; estos se especifican en la tabla 52.

- HTML: Es el encargado de la estructura de la aplicación web, en pocas palabras es la base de la accesibilidad en una aplicación web.
 - JavaScript: Es el encargado de la lógica de la aplicación web, es decir, es donde se programa lo que se busca que la aplicación realice.
 - CSS: Es el encargado del formato o estilos de la aplicación web.
- Base de datos

La base de datos utilizada es "Firebase", esta una plataforma móvil creada por Google, cuya función principal es desarrollar y facilitar la creación de aplicaciones de alta calidad para aumentar la base de usuarios y ganar más dinero. Es adecuada para este proyecto, ya que, está disponible para varias plataformas como iOS, Android y la web. Además, contiene varias funcionalidades para que cualquier desarrollador pueda combinar y adaptar la plataforma a sus necesidades. En este proyecto se utilizaron cuatro de estas funciones, que son:

- Storage: Cloud Storage de Firebase permitió almacenar y entregar archivos cargados por el usuario, estos archivos pueden estar en formato PNG, JPG, PDF, XLSX y docs. En este caso, se creó carpetas para cada categoría de archivos y se utilizó para descargar archivos como contratos, proformas e informes para presentarlos en los módulos requeridos.
- Cloud Firestore: Cloud Firestore permitió almacenar y entregar los datos cargados en los formularios por el usuario. En este caso, se creó carpetas para cada módulo y se utilizó para mostrar la información en las tablas de los diferentes módulos.
- Hosting: Firebase Hosting es un servicio de hosting de contenido web de nivel de producción que permitió publicar la aplicación web en Internet.
- Authentication: Permitted autenticar a los usuarios dentro de la aplicación, en este caso la autenticación se realiza mediante un correo electrónico y su respectiva contraseña.

7. Resultados

El proceso de recolección de la información técnica, teórica y de campo necesaria, que tiene que ver con los equipos médicos del Hospital Santa Inés de la Ciudad de Cuenca, Ecuador, se realizó a través del levantamiento de fichas técnicas y facturas. Basándose en toda la

información recolectada, se desarrollan las estructuras internas y el contenido que tendrán las bases de datos del Sistema GMAO.

7.1. Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizados en el Hospital Santa Inés

7.1.1. Inventario de los equipos médicos

Los equipos, tanto médicos como industriales que se definieron en el levantamiento de datos, fueron clasificados por su ubicación y codificados según lo explicado en la figura 1, obteniendo:

Tabla 35

Clasificación obtenida de la codificación de equipos.

Código	Ubicación	Tipo de Equipo	Equipo	Marca	Modelo	Serie
110-001-002-004	Emergencia	Médico	Bomba de Infusión	Corpoimpex	Body Guard 323	CV10328
110-001-003-001	Emergencia	Médico	Desfibrilador	Code Master XL	M1722A	3625A10388
110-001-004-001	Emergencia	Médico	Doppler Fetal	Sonicaid	6892	CTS - 2513
210-001-004-001	Neonatología	Médico	Incubadora Neonatal	Ohmeda	Giraffe	HDHG54380
210-001-008-001	Neonatología	Médico	Ventilador	Puritan Bennett	840	3510033812
210-001-005-010	Neonatología	Médico	Monitor Multiparámetros	Nihon Kohden	BSM 3562	25630

Nota: La tabla indica una muestra de la tabla total de la clasificación del nivel de prioridad (PI) de los equipos médicos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

7.1.2. Actividades de Mantenimiento

Las actividades de mantenimiento encontradas de los diferentes equipos médicos del hospital, fueron clasificadas por equipos y ordenas de manera descendente según la fecha de ejecución. A continuación se presenta una muestra de las actividades obtenidas:

Tabla 36

Clasificación obtenida de las actividades de mantenimiento.

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Fecha 1/Actividad	Fecha 2/Actividad
				04/05/2020	10/06/2021
Autoclave	Amsco Steris	E-3021	R811619802	Valvula de piston FV02, Empaque para autoclave getinge HS66	Repuesto Autoclave HS 6610 ER-2 SN 2514024-010-01, Filter esterile type LP-050-Get, Door seal/junta de puerta, Safety valve 851T, safety valve 1/2*3, resistencia de calentamiento HS66, o-ring 50mmx2,5mm, o-ring 150mmx2,5mm

Nota: La tabla indica una muestra de la tabla total de la clasificación de las actividades de mantenimiento de los equipos médicos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

7.1.3. Fallos

Los fallos encontrados sobre los diferentes equipos médicos del hospital, fueron discriminados para evitar repeticiones y codificados, según lo explicado en la figura 3. A continuación, en la Tabla 37, se presenta una muestra de los fallos obtenidos:

Tabla 37

Clasificación obtenida del registro de fallos.

Código	Equipo	Fallo
134-001-065-001-01-01	Tomógrafo	Daño de la tarjeta Raid de Host Principal
134-001-065-001-01-02	Tomógrafo	Fallo del Colimador
134-001-065-001-01-07	Tomógrafo	Monitor averiado
134-001-065-001-01-09	Tomógrafo	Daño del switch de comunicación de la consola

Nota: La tabla indica una muestra de la tabla total del registro de fallos de los equipos médicos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

7.2. Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés

7.2.1. Clasificación de nivel de riesgos de los equipos médicos

Los equipos médicos se clasificaron por nivel de riesgo, donde el nivel I es el nivel más bajo y el nivel IV es el nivel más alto.

A continuación, se presenta una muestra de como se llevó a cabo esta clasificación:

Tabla 38

Valores obtenidos del Nivel de Riesgo.

Código	Equipo	Nivel de Riesgo
141-001-002-001	Angiógrafo	IV
131-001-003-001	Arco en C	III
261-001-004-001	Autoclave	III
261-001-004-002	Autoclave	III

Nota: Indica una muestra de la tabla total sobre la codificación de equipos, de acuerdo a [Autor]

Luego de que se realizó la clasificación de todos los equipos de tipo médico, se generó un recuento del número de equipos que pertenecen a cada nivel de riesgo, obteniendo la tabla 39.

Tabla 39

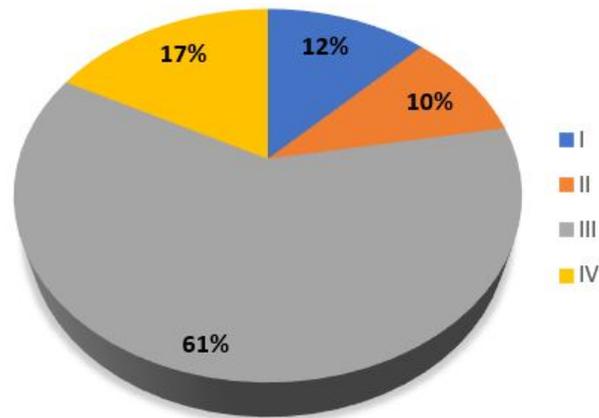
Nivel de Riesgo de los equipos.

Nivel de Riesgo	Cantidad
I	33
II	26
III	161
IV	46
Total	266

Nota: Se indica la cantidad de equipos médicos que existen en cada nivel de riesgo, de acuerdo a [Autor]

Figura 8

Clasificación porcentual de los equipos médicos por nivel de riesgo



Nota: Se puede observar que el 12%, que equivale a 33 de los 266 equipos, son de riesgo I. El 10%, que equivale a 26 equipos, son de riesgo II. El 61%, que equivale a 161 equipos, son de riesgo III, siendo estos los más numerosos. Por último, el 17%, que equivale a 46 equipos, son de riesgo IV, de acuerdo con [Autor].

7.2.2. Nivel de Prioridad de los equipos médicos (PI)

Para establecer el tipo de inventario al que pertenecen los equipos médicos del Hospital Santa Inés fue necesario realizar una clasificación según el nivel de prioridad de cada uno de estos. Una vez definida la prioridad se los clasificó dependiendo su ponderación en inventarios de mantenimiento de equipos médicos o inventario de mantenimiento de entorno.

A continuación, en la Tabla 40, se presenta una muestra de como se llevó a cabo esta clasificación:

Tabla 40

Clasificación obtenida de Nivel de Prioridad para los equipos médicos.

Código	Equipo	Función	Aplicación	Requerimiento de Mantenimiento	Antecedentes	PI	Inventario
141-001-002-001	Angiográfico	6	5	3	0	14	Inv-Equipos Médicos
142-001-002-002	Angiográfico	6	5	3	2	16	Inv-Equipos Médicos
131-001-003-001	Arco en C	7	3	5	0	15	Inv-Equipos Médicos
131-001-003-002	Arco en C	7	3	5	0	15	Inv-Equipos Médicos
264-001-003-003	Arco en C	7	3	5	0	15	Inv-Equipos Médicos
261-001-004-001	Autoclave	2	4	4	0	10	Inv-Entorno
261-001-004-002	Autoclave	2	4	4	0	10	Inv-Entorno

Nota: La tabla indica una muestra de la tabla total de la clasificación del nivel de prioridad (PI) de los equipos médicos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

De la clasificación realizada se obtuvo un número total de equipos clasificados por inventario de mantenimiento de equipos médicos o inventario de mantenimiento de entorno, que se indica en la tabla 41

Tabla 41

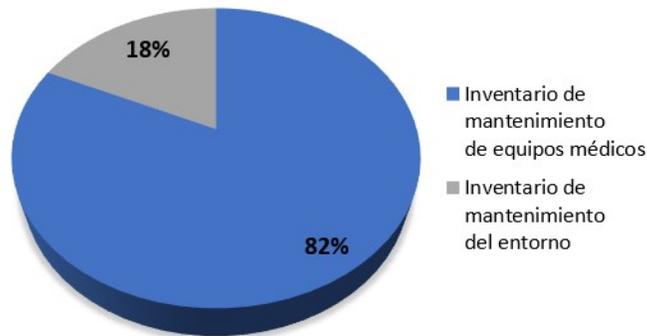
Nivel de Prioridad (PI) de los equipos médico.

Inventario	Cantidad
Inventario de mantenimiento de equipos médicos	218
Inventario de mantenimiento del entorno	48
Total	266

Nota: Se indica la cantidad de equipos médicos que existen en el inventario de mantenimiento de equipos médicos y en el inventario de mantenimiento de entorno del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor]

Figura 9

Clasificación porcentual de los equipos médicos por nivel de prioridad (PI)



Nota: Se puede observar que el 18%, que equivale a 48 de los 266 equipos, forman parte del inventario de mantenimiento de entorno; mientras que el 82% restante, 218 equipos, son parte del inventario de mantenimiento de equipos médicos, de acuerdo con [Autor].

7.2.3. Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP)

Mediante el análisis de las características de los equipos médicos y encuestas realizadas a los técnicos de mantenimiento para conocer el comportamiento del funcionamiento de los equipos, se obtuvo la ponderación de la FMPP para mejorar el rendimiento de cada equipo y alargar la vida útil de los mismos.

El cálculo realizado para obtener la frecuencia de mantenimiento preventivo programado de los equipos se indican en la Tabla 42:

Tabla 42

Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) para los equipos médicos.

Equipo	Código	Función del Equipo	Requerimiento de mantenimiento	Antecedentes	Riesgo Físico	Desgaste Mecánico	Frecuencia de uso	FMPP	Periodo	Consideraciones
Angiográfico	141-001-002-001	6	3	0	4	3	3	19	Semestral	Mensual
Angiográfico	142-001-002-002	6	3	2	4	3	3	21	Trimestral	Mensual
Arco en C	131-001-003-001	7	5	0	3	4	4	23	Trimestral	
Arco en C	131-001-003-002	7	5	0	3	4	4	23	Trimestral	
Arco en C	264-001-003-003	7	5	0	3	4	4	23	Trimestral	
Autoclave	261-001-004-001	2	4	0	3	3	4	16	Semestral	
Autoclave	261-001-004-002	2	4	0	3	3	4	16	Semestral	
Autoclave	261-001-004-003	2	4	-1	3	3	4	15	Semestral	
Balanza	110-001-005-001	2	2	0	1	2	4	11	Anual	
Balanza	131-001-005-002	2	2	1	1	2	4	12	Anual	
Balanza	133-001-005-003	2	2	2	1	2	4	13	Anual	
Balanza	141-001-005-004	2	2	-1	1	2	4	10	Anual	
Balanza	143-001-005-005	2	2	-1	1	2	4	10	Anual	

Nota: La tabla AMEF indica una muestra de la FMPP de todos los equipos médicos del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

Después de haber obtenido la frecuencia de mantenimiento preventivo programado de todos los equipos, se generó un recuento del número de equipos que deben tener un mantenimiento trimestral, semestral o anual; obteniendo la tabla 43.

Tabla 43

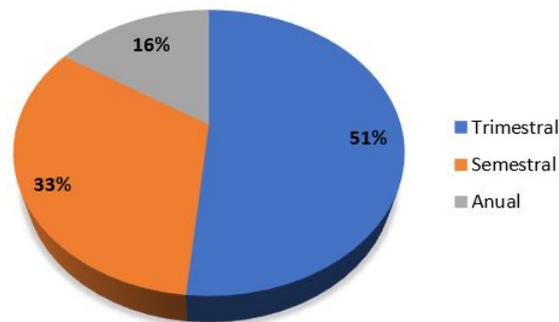
Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP).

Frecuencia	Cantidad
Trimestral	134
Semestral	85
Anual	41
Total	260

Nota: Se indica la cantidad de equipos médicos que tienen diferentes frecuencias de mantenimiento, de acuerdo a [Autor]

Figura 10

Clasificación porcentual de los equipos médicos por frecuencia de mantenimiento preventivo programado



Nota: Se puede observar que el 51%, que equivale a 134 de los 260 equipos, forman parte del inventario de la frecuencia trimestral; mientras que el 33%, 85 equipos, son parte de la frecuencia semestral y el 16% restante, 41 equipos, son de la frecuencia anual, de acuerdo con [Autor].

Aparte de los 260 equipos mostrados en la tabla 43, seis equipos extras tienen consideraciones específicas para el tiempo de mantenimiento, tabla 44. En estos equipos la frecuencia de mantenimiento preventivo programado fue modificado a petición de la empresa. Debido a que, el tiempo requerido para el mantenimiento trimestral o semestral sobrepasa las cinco horas de mantenimiento; por lo que, se dividió las actividades en mantenimientos mensuales o trimestrales que no sobrepasen una hora y media de mantenimiento. Esta decisión se tomó con base en que los equipos especificados no pueden estar más de dos parados.

Tabla 44

Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) para los equipos médicos que tienen consideraciones extras.

Equipo	Código	Función del Equipo	Requerimiento de Mantenimiento	Antecedentes	Riesgo Físico	Desgaste Mecánico	Frecuencia de Uso	FMPP	Periodo	Consideraciones
Angiografía	141-001-002-001	6	3	0	4	3	3	19	Semestral	Mensual
Angiografía	142-001-002-002	6	3	2	4	3	3	21	Trimestral	Mensual
Densitómetro	135-001-019-001	6	4	-1	3	2	3	17	Semestral	Trimestral
Mamógrafo	136-001-050-001	6	3	2	3	3	3	20	Semestral	Mensual

Continuación Tabla 44

Equipo	Código	Función del Equipo	Requerimiento de Mantenimiento	Antecedentes	Riesgo Físico	Desgaste Mecánico	Frecuencia de Uso	FMPP	Periodo	Consideraciones
Resonancia Magnética	133-001-063-001	6	4	2	3	2	4	21	Trimestral	Mensual
Tomógrafo	134-001-065-001	6	5	1	3	2	4	21	Trimestral	Mensual

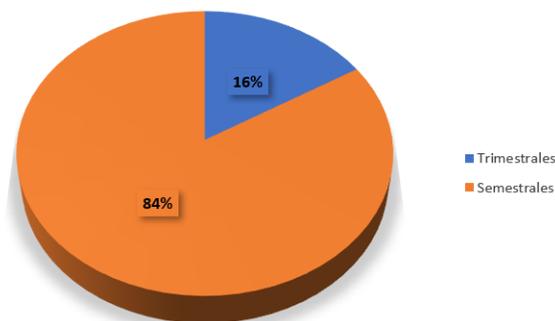
Nota: La tabla indica frecuencia de mantenimiento preventivo programado (FMPP) para los equipos médicos que poseen consideraciones extras del Hospital Santa Inés, de acuerdo a [Autor].

7.2.4. Cronograma de Mantenimientos Preventivos

Con las frecuencias de mantenimiento preventivo programado de cada equipo calculadas anteriormente en la tabla 42, se inició el desarrollo de un Plan General de Mantenimiento como el que se expone en el ANEXO, el mismo que considera la carga de trabajo por año y las distribuye en forma adecuada, organizando principalmente, los equipos con nivel de riesgo más alto y considerando los equipos que no han recibido mantenimiento durante el último período. Además, para los meses donde generalmente el personal de mantenimiento sale a vacaciones o hay días de festividades, se dispusieron menor cantidad de equipos, con el fin de evitar aplazamientos en los mantenimientos y así poder realizar las actividades en los tiempos agendados. De la clasificación realizada se obtuvo un número total de equipos con frecuencia trimestral y semestral que fueron incluidos en el cronograma, estos se indica en la tabla 44.

Figura 11

Cantidad porcentual de los equipos médicos incluidos en el cronograma.

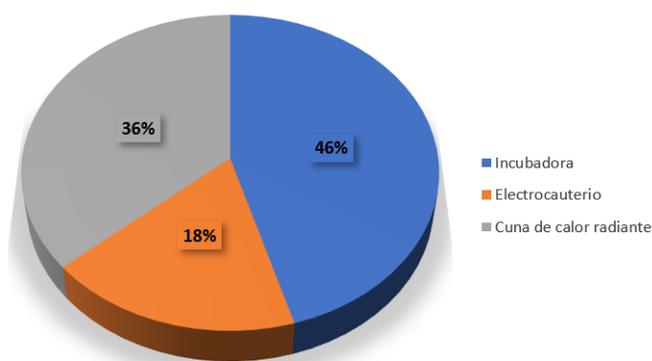


Nota: Se puede observar que el 84%, que equivale a 57 equipos, forman parte del cronograma con frecuencia semestral; mientras que el 16%, 11 equipos, son parte de la frecuencia trimestral, de acuerdo con [Autor].

A continuación, se presenta la cantidad porcentual de equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo trimestrales incluidos en el cronograma y las fechas de mantenimiento propuestas.

Figura 12

Cantidad porcentual de los equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo trimestral incluidos en el cronograma.



Nota: Se puede observar que los equipos médicos con FMPP trimestral incluidos en el cronograma, están conformados por un 46% , que equivale a cinco incubadoras; un 36% correspondiente a cuatro cunas de calor radiante y un 18%, que hacen referencia a dos electrocauterios, de acuerdo con [Autor].

Tabla 45

Cronograma de Equipos Médicos con Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) Trimestral.

Equipo	Código	Frecuencia	Duración	Inicio	Fechas de Mantenimientos Posteriores				
Incubadora Neonatal	210-001-046-001	Trimestral	01:30:00	05/09/2022	05/12/2022	06/03/2023	05/06/2023	04/09/2023	04/12/2023
Incubadora Neonatal	210-001-046-002	Trimestral	01:30:00	07/09/2022	07/12/2022	08/03/2023	07/06/2023	06/09/2023	06/12/2023
Incubadora Neonatal	210-001-046-003	Trimestral	01:30:00	09/09/2022	09/12/2022	10/03/2023	09/06/2023	08/09/2023	08/12/2023
Incubadora Neonatal	210-001-046-004	Trimestral	01:30:00	12/09/2022	12/12/2022	13/03/2023	12/06/2023	12/09/2023	12/12/2023
Incubadora Neonatal	210-001-046-005	Trimestral	01:30:00	14/09/2022	14/12/2022	15/03/2023	14/06/2023	14/09/2023	14/12/2023
Electrocauterio	252-001-025-001	Trimestral	01:30:00	19/09/2022	19/12/2022	20/03/2023	19/06/2023	19/09/2023	19/06/2023
Electrocauterio	265-001-025-005	Trimestral	01:30:00	23/09/2022	20/12/2022	22/03/2022	22/06/2023	22/06/2023	20/12/2023

Continuación Tabla 45

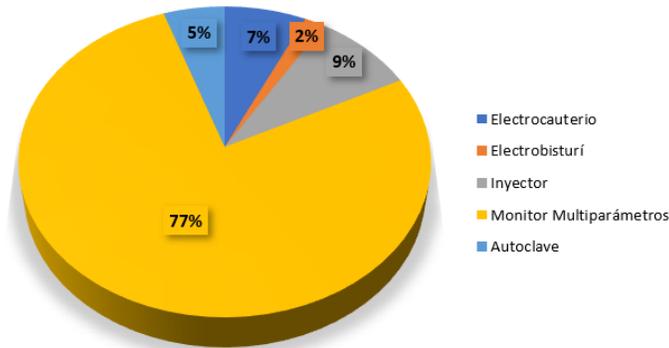
Equipo	Código	Frecuencia	Duración	Inicio	Fechas de Mantenimientos Posteriores			
Cuna de calor radiante	210-001-018-001	Trimestral	01:30:00	03/10/2022	04/12/2022	03/04/2023	03/07/2023	03/10/2023
Cuna de calor radiante	210-001-018-002	Trimestral	01:30:00	03/10/2022	04/12/2022	03/04/2023	03/07/2023	03/10/2023
Cuna de calor radiante	251-001-018-003	Trimestral	01:30:00	04/10/2022	05/12/2022	04/04/2023	04/07/2023	04/10/2023
Cuna de calor radiante	251-001-018-004	Trimestral	01:30:00	04/10/2022	05/12/2022	04/04/2023	04/07/2023	04/10/2023

Nota: La tabla indica las fechas de mantenimiento preventivo de los equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo semestrales incluidos en el cronograma, de acuerdo con [Autor].

A continuación, se presenta la cantidad porcentual de equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo semestrales incluidos en el cronograma y una muestra de las fechas de mantenimiento propuestas, el listado completo se puede observar en el ANEXO.

Figura 13

Cantidad porcentual de los equipos médicos con frecuencia de mantenimiento preventivo semestral incluidos en el cronograma.



Nota: Se puede observar que los equipos médicos con FMPP semestral incluidos en el cronograma, están conformados por un 77% , que equivale a 44 monitores multiparámetros; un 9% correspondiente a cinco inyectores, un 7% correspondiente a cuatro electrocauterios, un 5% correspondiente a tres autoclaves y un 2% restante, que hacen referencia a un electrobisturí, de acuerdo con [Autor].

Tabla 46

Cronograma de Equipos Médicos con Frecuencia de Mantenimiento Preventivo Programado (FMPP) Trimestral.

Equipo	Código	Frecuencia	Duración	Inicio	Fechas de Mantenimientos Posteriores	
Electrocauterio	262-001-025-002	Semestral	01:30:00	20/09/2022	27/02/2023	21/08/2023
Electrocauterio	263-001-025-003	Semestral	01:30:00	21/09/2022	28/02/2023	22/08/2023
Electrocauterio	264-001-025-004	Semestral	01:30:00	22/09/2022	01/03/2023	23/08/2023
Inyector	134-001-047-002	Semestral	01:30:00	12/10/2022	11/04/2023	10/10/2023
Inyector	141-001-047-003	Semestral	01:30:00	13/10/2022	12/04/2023	11/10/2023
Inyector	142-001-047-004	Semestral	01:30:00	14/10/2022	13/04/2023	12/10/2023
Electrobisturí	252-001-023-001	Semestral	01:30:00	29/09/2022	28/04/2023	07/11/2023
Monitor Multiparámetros	110-001-057-001	Semestral	00:40:00	24/10/2022	17/04/2023	16/10/2023
Monitor Multiparámetros	110-001-057-002	Semestral	00:40:00	24/10/2022	19/04/2023	16/10/2023
Monitor Multiparámetros	110-001-057-003	Semestral	00:40:00	25/10/2022	19/04/2023	19/10/2023
Autoclave	261-001-004-001	Semestral	02:00:00	09/12/2022	12/07/2023	01/12/2023
Autoclave	261-001-004-002	Semestral	02:00:00	16/12/2022	14/07/2023	05/12/2023
Autoclave	261-001-004-003	Semestral	02:00:00	23/12/2022	17/07/2023	07/12/2023

Nota: La tabla indica fechas donde se debe realizar el mantenimiento preventivo programado (FMPP) para cada uno de equipos médicos especificados, de acuerdo a [Autor].

7.2.5. Protocolo de Mantenimiento Preventivo

Una vez analizados los parámetros y características de las incubadoras, se procedió a definir las actividades de mantenimiento. Para esto es importante considerar que los técnicos de mantenimiento interno no se encuentran certificados para realizar un mantenimiento completo de los equipos, por lo que, el protocolo no involucrará actividades de mantenimiento interno.

Tabla 47

Protocolo de Mantenimiento Incubadoras Neonatales.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO / INCUBADORA NEONATAL				
ITEM	PARTE G	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
1	General	Inspección General	Visualizar el estado físico del equipo, para detectar si hay algún deterioramiento significativo.	* Por golpes al momento de traslados. * Por mal uso del personal. * Por deterioro
2	General	Inspección de condiciones ambientales del equipo (temperatura y humedad)	Determinar los valores de las condiciones ambientales del lugar donde se localiza el equipo.	Datos necesarios para calibrar los sensores según el ambiente en que se encuentran y evitar fallos.

Continuación Tabla 47

3	General	Alimentación y fuente de poder del equipo.	Inspección del sistema de alimentación principal: fusibles (panel de control, luz refractaria, fuente de poder), switch de encendido general/panel, cable de poder.	Correcto accionamiento del equipo y verificación de la salida de voltaje de la fuente de alimentación.
4	General	Revisión de la batería interna auxiliar del equipo.	Comprobar el estado de carga con un tester o desconectándolo del equipo y midiéndolo con un multímetro.	-
5	Cúpula	Inspección de condición física de la cúpula y colchoneta.	Identificar fisuras, rayones e inspeccionar el buen funcionamiento de los enganches de fijación, juntas de puertas de acceso, manguitos, etc. Revisión de las condiciones físicas de la colchoneta	-
6	Cúpula, Panel de Control y Barandal de seguridad	Limpieza externa	Limpiar con agua destilada la superficie de estas partes.	-
7	Cúpula	Calibración inclinación de la cama	Verificar movimientos correctos tanto en la posición de Trendelenburg como de Anti-Trendelenburg.	Correcto funcionamiento del mecanismo de retención.
8	Cúpula	Verificación de parámetros de funcionamiento en la cúpula (temperatura, oxígeno, humedad, nivel de ruido)	-	-
9	Panel de Control	Calibración de los sensores de temperatura y oxígeno.	* Conectar los sensores al panel de control. * Conectar mangueras al sistema de suministro de oxígeno y gases medicinales. * Buscar la opción de 'Calibración Directa' (Manual del Equipo).	Funcionamiento correcto de los parámetros de los sensores.
10	Panel de Control	Inspección del filtro de aire para detectar signos de obstrucción.	-	Si está obstruido se realiza cambio de filtro.
11	Panel de Control	Verificación de funcionamiento de botones, pantalla led, etc.	-	-
12	Pedestal/Gabinete	Limpieza y lubricación de ruedas, frenos y pedales.	-	-
13	General	Verifique que todos los tornillos, tuercas y sujetadores estén apretados	-	-

Nota: La tabla indica las actividades para el mantenimiento preventivo de una incubadora neonatal, de acuerdo a [Autor].

7.3. Implementación del software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos.

7.3.1. Funciones utilizadas

Para el desarrollo de la aplicación web, se realizó la programación correspondiente de cada módulo, donde las funciones más utilizadas fueron:

- **useNavigate:** Es un Hook que permite la navegación programada, es decir, que asigna una URL que está a su vez asociada con una vista predeterminada dentro de la aplicación web. Es usado con la finalidad de poder renderizar las diferentes vistas que contiene la aplicación.
- **useState:** Es un Hook que permite asignar el estado de React a un componente de función, es decir, pasa el estado inicial a una función y devuelve una variable con el valor del estado actual.
- **useEffect:** Es un Hook que indica a React que el componente que se llama dentro del efecto tiene que hacer algo después de renderizarse. React recordará la función que se ha pasado y la llamará más tarde después de actualizar el DOM.
- **Map:** Es un método que permite transformar un arreglo, pero persistiendo en el original, es decir, que ejecuta una función dada en cada elemento del arreglo actual y crea uno nuevo con el resultado de la función dada.

Para que la aplicación pueda ser utilizada también en un teléfono celular, se utilizó técnicas de Diseño Adaptable como media queries, max-width, min-width, entre otras. Estas permiten que la aplicación web ajuste automáticamente la altura, el ancho y la resolución para adaptarse a varios tamaños de pantalla.

El ingreso de usuarios se realiza, llamando a la carpeta “usuarios” designada en la base de datos y mediante el inicio de sesión se ejecuta el cambio de datos, esto debido, a la utilización del condicional “if” y el código de usuario. Esta clasificación permite que se designe a qué módulos puede ingresar cada usuario.

7.3.2. Base de Datos

Para agregar la base de datos “Firebase” a la aplicación web fue necesario instalar la librería y agregar los siguientes comandos:

Tabla 48

Comandos para agregar Firebase a la Aplicación Web.

Agregar Firebase a la Aplicación Web

```
const firebaseConfig = {
  apiKey: ".AzaSyCLVrDFXp3Qrz6CW1_npGSUbsvSDYbnbLo",
  authDomain: "tesis-avila-crespo.firebaseio.com",
  projectId: "tesis-avila-crespo",
  storageBucket: "tesis-avila-crespo.appspot.com",
  messagingSenderId: "169338525225",
  appId: "1:169338525225:web:63a4b81458bf9faadeae38"
};
```

Nota: La tabla indica los comandos que se debe seguir para enlazar la base de datos y la aplicación web, de acuerdo a (“Firebase”, 2022)

7.3.3. Indicadores

La aplicación calcula dos indicadores, el primero obtiene el MTTR (Tiempo medio de reparación) de cada equipo médico, mientras que el segundo permite obtener las horas trabajadas por los técnicos de mantenimiento y el índice de productividad laboral de cada uno.

- MTTR: Para calcular el MTTR se realiza una búsqueda y filtrado en la base de datos, aquí se filtran los reportes con nivel de alerta "No Funcional" tanto de los reportes internos como externos. Una vez clasificado esto, se realiza una resta entre la hora de inicio de la actividad de mantenimiento y la hora de culminación. Se suman estas horas y se dividen para el número de fallos reportados.

$$MTTR = \frac{\text{Sumatoria de Tiempos de reparación}}{\text{N. de Fallas}} \quad (3)$$

- Productividad Laboral: Para calcular el índice de productividad laboral de cada técnico de mantenimiento interno, se filtraron los reportes mediante los números de cédulas de los técnicos. Una vez clasificado esto, se realiza una resta entre la hora de inicio de la actividad de mantenimiento y la hora de culminación. Se suman estas horas, se transforman a milisegundos y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ProductividadLaboral = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100 \quad (4)$$

Las gráficas de ambos indicadores se obtuvieron utilizando BarChart, que es un gráfico de barras que proporciona una forma de mostrar valores de datos representados como barras verticales.

7.3.4. Aplicación Web y Móvil

La aplicación fue creada para adaptarse perfectamente a los diferentes tamaños de tamaño, por lo que puede ser utilizada tanto desde un ordenador como desde un teléfono móvil. A continuación, se presenta un ejemplo del apartado Orden de Trabajo.

Figura 14

Orden de Trabajo, vista desde el ordenador.

The screenshot shows a web application interface for creating a work order. At the top, there is a brown navigation bar with a hamburger menu icon on the left and the text 'Departamento de Ingeniería Clínica' with a user profile icon on the right. The main content area has a title 'Orden de Trabajo' centered. Below the title, there are several input fields: 'Cédula del solicitante' (text input), 'Departamento Solicitante' (dropdown menu), 'Prioridad del trabajo' (dropdown menu), 'Tipo de trabajo requerido' (dropdown menu), 'Descripción del equipo' (text input), 'Inconveniente o Problemática' (text input), and 'Observaciones' (text input). At the bottom of the form, there are two buttons: 'CANCELAR' and 'ENVIAR'.

Nota: Se puede observar el formato del apartado Orden de Trabajo, visualizada desde un ordenador, de acuerdo con [Autor].

Figura 15

Orden de Trabajo, vista teléfono móvil.

The screenshot shows a mobile application interface for creating a work order. At the top, there is a header bar with a hamburger menu icon, the text 'Departamento de Ingeniería Clínica', and a user profile icon. Below the header, the title 'Orden de Trabajo' is centered. The form consists of several input fields: 'Cédula del solicitante' (text input), 'Departamento Solicitante' (dropdown menu), 'Prioridad del trabajo' (dropdown menu), 'Tipo de trabajo requerido' (dropdown menu), 'Descripción del equipo' (text input), 'Inconveniente o Problemática' (text input), and 'Observaciones' (text input). At the bottom, there are two buttons: 'CANCELAR' with a trash icon and 'ENVIAR' with a right-pointing arrow icon.

Nota: Se puede observar el formato del apartado Orden de Trabajo, visualizada desde cualquier teléfono celular, de acuerdo con [Autor].

7.3.5. Evaluación del desempeño de funcionamiento de la aplicación.

Luego de finalizar la fase de diseño y desarrollo, se procedió a cargar la aplicación en internet, con el fin de comenzar con las pruebas de funcionamiento. Para poder llevar a cabo un eficiente plan de pruebas se dividió la evaluación en dos sub fases de evaluación.

Una vez revisado y confirmado el plan de pruebas planteado junto con el jefe del Departamento de Ingeniería Clínica, se crearon los casos de pruebas y se ejecutaron cada uno de ellos.

- La primera sub fase fue realizada durante una semana por personas externas al proyecto, que verificaron el funcionamiento de la aplicación, para esta prueba se llenó los campos con datos aleatorios, esto con el fin de buscar fallas o posibles errores que podría tener la aplicación en caso de mal uso.

- La segunda sub fase fue realizada durante una semana por los cinco actores que interactúan en el sistema, para esta prueba fue preciso alimentar la base de datos con información referente al inventario de equipos médicos, datos de los técnicos de mantenimiento, órdenes de trabajo y reportes.

En cada una de estas fases se registraron los resultados o hallazgos y se realizaron las respectivas retroalimentaciones.

8. Conclusiones

A través del desarrollo de la etapa de levantamiento de información, se consiguió identificar las falencias existentes al momento de gestionar el mantenimiento de equipos médicos del Hospital Santa Inés, esto se definió con base en la información recolectada en el registro de los históricos de mantenimiento, las visitas a los diferentes departamentos y las entrevistas con técnicos de mantenimiento externos e internos, donde se evidenció la existencia de un total de 266 equipos médicos y que únicamente manejan registros esporádicos de las actividades realizadas sobre un 26% del total equipos del hospital, lo que implica que no existe información física completa acerca del mantenimiento que se realiza sobre la mayor parte de los equipos, ocasionando una dificultad al momento de realizar el análisis que será la base para el desarrollo del plan de mantenimiento.

A través del desarrollo de la etapa de elaboración del plan de mantenimiento preventivo, se estableció una programación adecuada de las actividades del mismo para los equipos seleccionados por nivel de riesgo y consideraciones del departamento de Ingeniería Clínica del Hospital Santa Inés. Para obtener esto, se empleó el modelo de Fenning -Smith con las modificaciones recomendadas por la OMS para definir la frecuencia de mantenimiento preventivo requerida para cada equipo, donde se obtuvo que el 51%, que equivale a 134 de los 260 equipos, forman parte del inventario de la frecuencia trimestral; mientras que el 33%, 85 equipos, son parte de la frecuencia semestral y el 16% restante, 41 equipos, son de la frecuencia anual. Aparte de los 260 equipos, seis equipos extras requieren un mantenimiento mensual. Posteriormente, se realizó una discriminación de la información recolectada y se obtuvo un listado de 68 equipos que suponen el 25% del total de equipos obtenidos en el levantamiento de información, que se utilizaron como base para el desarrollo del cronograma de mantenimiento del periodo septiembre-diciembre del 2022 y del periodo de enero a diciembre del 2023.

Finalmente, las fases de diseño y desarrollo del software permitieron hacer una reestructuración de los módulos planteados inicialmente para el GMAO, quedando una nueva distribución, donde existen seis módulos y dos apartados, que permiten mantener comunicados y actualizados a los departamentos del Hospital que participan en los procesos de gestión de Mantenimiento. Después de la fase de pruebas y evaluación del software, se identificó que la aplicación cumple con los requerimientos planteados al inicio del proyecto por los cinco actores principales y según las encuestas aplicadas al departamento de Ingeniería Clínica, el programa satisface las expectativas del jefe departamental.

9. Recomendaciones

El personal del departamento de Ingeniería Clínica deberá mantener actualizado el inventario de equipos médicos, debido a que, conjuntamente con los reportes de mantenimientos, son los pilares fundamentales para el buen funcionamiento del software y una buena gestión de mantenimiento de los equipos médicos y los diferentes recursos.

El departamento de Ingeniería Clínica deberá capacitar al personal del Hospital sobre el uso adecuado del software, para poder obtener información verídica con respecto a los mantenimientos realizados y así contar con la información necesaria para el desarrollo de nuevos planes de mantenimiento anuales.

Referencias

- Aponte, B., Fernández de Romero, M., Troconis de Rincón, O., Arias, S., Contreras, M., Ramos, J., y Collantes, R. (2008). Corrosion costs in preventive and corrective maintenance in equipment and facilities in industry. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 87-96.
- Arguello Trujillo, C. E. (2018). Procedimiento para recalcular la frecuencia de mantenimiento preventivo en equipos médicos del hospital bosa segundo nivel e.s.e. *Universidad ECCI*.
- Bagadia, K. (2006). *Computerized maintenance management systems made easy.how to evaluate, select and manage cmms*. McGraw-Hill.
- Bambaren, C. (2011). *Mantenimiento en los servicios de salud*.
- Duffuaa, R. A. y C. J., S. (2000). Sistemas de mantenimiento, planeación y control. *Editorial Limusa Wiley*.
- Dávila, D. (2015). Gestión de mantenimiento asistido por computador çmms". *Revista IndrustryTech Magazine*.
- Eurofins. (2020). ¿qué diferentes tipos de mantenimiento existen en una empresa? *Disponible en: <https://envira.es/es/diferentes-tipo-de-mantenimiento-existen-empresa/>*.
- Firestore [Manual de software informático]. (2022). <https://firebase.google.com/docs>.
- Figueroa, J., S. y Araque. (2005). El proceso de combustión en motores de combustión interna. grupo de motores térmicos. *Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela*.
- Guachat, J. D. (2012). *El gran libro de html5, css3 y javascript*. Marcombo.
- Herrera Galán, M., Duany-Alfonso, Y., y Abrey-Duque, A. (2014). Sistema automatizado para la gestión del mantenimiento. *Revista ingeUAN(8)*. Descargado de <https://revistas.uan.edu.co/index.php/papeles/article/view/371>
- IBM. (2018). ¿qué es la gestión de activos empresariales (eam)? | ibm. *Disponible en: from <https://www.ibm.com/es-es/topics/enterprise-asset-management>*.
- Karim, O., López, M., y Soler, K. (2019). Evaluación de la gestión de mantenimiento en hospitales del instituto ecuatoriano de seguridad social de la zona 3 del ecuador. *INGENIUS*, 59-71.
- Kumar, V., Maheshwari, B., y Kumar, U. (2002). Enterprise resource planning systems adoption process: a survey of canadian organizations. *International Journal of Production Research*, 40(3), 509–523.
- López, L., y Guamán, R. (2015). implementación de una gestión de mantenimiento asistido por ordenador (gmao) para la flota vehicular del gad municipal de catamayo en la provincia de loja. *Universidad Politécnica Salesiana*.

- López, M., Soler, K., Arellano, M., y Oliva, K. (2010). Sistemas de información para la gestión de mantenimiento en la gran industria del estado zuliana. *Revista Venezolana de Gerencia*(49), 125-140. Descargado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29012358008>
- Macían, T. B. L. M. y. S. J., V. (2010). *Sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (gmao). requerimientos y funcionalidades*. Universitat Politècnica de València.
- Mata, M. (2020). ¿qué es y para qué sirve un gmao? - wonderware iberia. *Disponible en: <https://www.wonderware.es/apm-asset-performance-management/que-es-y-para-que-sirve-un-gmao/>*.
- Mora, A. (2010). Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. *Alfaomega Grupo Editor..*
- MPSPS. (2005). Decreto número 4725 de 2005. *Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia*.
- MSP. (2018a). Acuerdo no. 0224 - 2018. *Ministerio de Salud Pública*.
- MSP. (2018b). Manual de gestión de mantenimiento de equipos biomédicos. *Ministerio de Salud Pública - Ecuador*.
- Promedco. (2019). mportancia del mantenimiento de equipos médicos. *Disponible en: <https://www.promedco.com/noticias/importancia-mantenimiento-de-equipos-medicos>*.
- Quiles, J. (2020). ¿qué es un erp? ¿para qué sirve y qué beneficios aporta? *Disponible en: <https://www.clavei.es/blog/erp-que-es/>*.
- Reche, A. (2020). ¿qué es apm? introducción a la gestión de rendimiento de activos. *Disponible en: <https://retaintechologies.com/que-es-apm-introduccion-a-la-gestion-de-rendimiento-de-activos/>*.
- Vargas, A. (2011). Mantenimiento proactivo. *ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Wium Lie, H., y Bos, B. (2005). *Cascading style sheets: Designing for the web*. Addison-Wesley Professional.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 49

Matriz de consistencia lógica.

“DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS MÉDICOS DEL HOSPITAL SANTA INÉS” , sobre la cultura organizacional.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEORICO
¿Es factible desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?	Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos .	Se desarrollará un plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos .		Plan de Mantenimiento.
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS		
¿Se podrá determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés?	Determinar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés.	Se determinará las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo presentes en los equipos médicos de los diferentes departamentos del Hospital Santa Inés.	VI: Mantenimiento	Mantenimiento Correctivo.
¿Se podrá proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?	Proponer el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos	Se propondrá el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos .	VI: Plan de mantenimiento VD: Disponibilidad de equipos	Mantenimiento Preventivo
¿Es posible desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en todos los departamentos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos?	Desarrollar un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en todos los departamentos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos	Se desarrollará un software GMAO que permita manejar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos médicos en los departamentos críticos del Hospital Santa Inés para garantizar la disponibilidad de equipos .	VI: Plan de mantenimiento VD: Disponibilidad de equipos	Disponibilidad de equipos

Fuente: Autor

Anexo B: Cronograma del Mantenimiento Preventivo

Tabla 50

Cronograma del mantenimiento preventivo para los equipos médicos del Hospital Santa Inés del periodo 2022.

Equipo	Código	Frecuencia	Duración	Inicio	Semanas / Septiembre - Diciembre 2022																	
					36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
INCUBADORA	210-001-046-001	Trimestral	01:30:00	5/9/2022	X														X			
INCUBADORA	210-001-046-002	Trimestral	01:30:00	7/9/2022	X														X			
INCUBADORA	210-001-046-003	Trimestral	01:30:00	9/9/2022	X														X			
INCUBADORA	210-001-046-004	Trimestral	01:30:00	12/9/2022		X														X		
INCUBADORA	210-001-046-005	Trimestral	01:30:00	14/9/2022		X														X		
ELECTROCAUTERIO	252-001-025-001	Trimestral	01:30:00	19/9/2022			X														X	
ELECTROCAUTERIO	262-001-025-002	Semestral	01:30:00	20/9/2022			X															
ELECTROCAUTERIO	263-001-025-003	Semestral	01:30:00	21/9/2022			X															
ELECTROCAUTERIO	264-001-025-004	Semestral	01:30:00	22/9/2022			X															
ELECTROCAUTERIO	265-001-025-005	Trimestral	01:30:00	23/9/2022			X														X	
ELECTROCAUTERIO	252-001-025-006	Semestral	01:30:00	26/9/2022				X														
ELECTROBISTURI	252-001-023-001	Semestral	01:30:00	29/9/2022				X														
CUNA DE CALOR RADIANTE	210-001-018-001	Trimestral	01:30:00	3/10/2022					X													
CUNA DE CALOR RADIANTE	210-001-018-002	Trimestral	01:30:00	3/10/2022					X													
CUNA DE CALOR RADIANTE	251-001-018-003	Trimestral	01:30:00	4/10/2022					X													
CUNA DE CALOR RADIANTE	251-001-018-004	Trimestral	01:30:00	4/10/2022					X													
INYECTOR	134-001-047-001	Semestral	01:30:00	11/10/2022						X												
INYECTOR	134-001-047-002	Semestral	01:30:00	12/10/2022						X												
INYECTOR	141-001-047-003	Semestral	01:30:00	13/10/2022						X												
INYECTOR	142-001-047-004	Semestral	01:30:00	14/10/2022						X												
INYECTOR OPTISTAR	133-001-047-005	Semestral	01:30:00	17/10/2022							X											

Anexo C: Lenguajes de Programación

Tabla 52

Lenguajes de Programación.

Lenguajes de Programación	
JavaScript	JavaScript, (comúnmente abreviado como JS) es un lenguaje de programación interpretado, un dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, libremente escrito y dinámico.
HTML	HTML, abreviatura de HyperText Markup Language, se refiere a un lenguaje de marcado para desarrollar páginas web. Es un modelo que sirve como guía para el software de desarrollo web en sus diversas versiones, define la estructura y el código básico (llamado código HTML).
CSS	CSS, (abreviatura en inglés de Cascading Style Sheets), español para "Hojas de estilo en cascada. ^{es} un lenguaje de diseño gráfico que se usa para definir y crear una representación de un documento estructurado escrito en un lenguaje tipográfico.

Nota: La tabla indica una breve descripción de los lenguajes de programación utilizados, de acuerdo a Guachat (2012) y Wium Lie y Bos (2005) .