



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL  
REGISTRO Y CONSULTA DE EVENTOS DE  
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS EN LA  
CLÍNICA MÉDICA CAYETANO HEREDIA (CMCH)**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Biomédico

que presenta:

***Marco Jorge Castillo Marquina***

Asesora:

***Mag. Leslie Yessenia Cieza Huane***

Lima, 2026

**Jurado calificador**

**Presidente:** Mg. Pedro Antonio Segura Saldaña

**Vocal:** Mg. Noe Benjamin Bazan Lavanda

**Secretario:** Mg. Umbert Lewis De La Cruz Rodriguez

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES           |
|----|-------------------------------|
| 1. | CASTILLO MARQUINA MARCO JORGE |

Pertenecientes al programa de la **CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA BIOMÉDICA**, autores del trabajo titulado: **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL REGISTRO Y CONSULTA DE EVENTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS EN LA CLÍNICA MÉDICA CAYETANO HEREDIA (CMCH)**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO BIOMÉDICO** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE | FACULTAD | NIVEL DE ASESORÍA |
|----|---------------------------------|----------|-------------------|
| 1. | CIEZA HUANE LESLIE YESSENIA     | FACI     | ASESOR            |

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **11%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3611313580**; fecha de entrega: **14/07/2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 14 de julio de 2026**



Firma del asesor

Nº DNI: 72006025

ORCID: 0000-0002-8120-8393

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres que siempre me apoyan en lo que me propongo. A mis hermanas por alegrar mis días. A mi familia y amigos por su soporte y compañía a lo largo de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer de todo corazón a mis padres Elí y Mary quienes siempre estuvieron presentes durante toda mi vida y me dieron todo el apoyo que necesitaba. Agradecer a mis hermanas Gema y Jade, mis abuelos, mis tíos y mis primos por ser parte de mi motivación. De la misma manera extendiendo el agradecimiento a mi grupo de amigos cercano de Trujillo y a los que conocí durante mi tiempo en la universidad.

A mi asesora Leslie Cieza, ya que su orientación nunca habría podido terminar el proyecto. También al ingeniero Walter Ríos quien me prestó el acceso a los datos utilizados durante la tesis. Finalmente, agradezco a los miembros de las pasantías y los demás participantes que me apoyaron con el llenado de la encuesta para la evaluación de usabilidad.

# ÍNDICE

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                            | 1  |
| ABSTRACT .....                                          | 2  |
| I. INTRODUCCIÓN .....                                   | 3  |
| 1.1. Problemática.....                                  | 3  |
| 1.2. Estado del arte .....                              | 7  |
| 1.3. Justificación .....                                | 14 |
| 1.4. Hipótesis.....                                     | 14 |
| 1.5. Objetivos .....                                    | 15 |
| 1.5.1 Objetivo general .....                            | 15 |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....                       | 15 |
| 1.6. Consideraciones éticas .....                       | 15 |
| 1.7. Alcances y limitaciones.....                       | 16 |
| II. MARCO TEÓRICO .....                                 | 17 |
| 2.1. Ciclo de vida de la tecnología médica.....         | 17 |
| 2.2. Gestión de mantenimiento de equipos médicos .....  | 21 |
| 2.2.1. Mantenimiento preventivo e inspección (IPM)..... | 22 |
| 2.2.2. Mantenimiento correctivo .....                   | 22 |
| 2.3. Software CMMS .....                                | 23 |
| III. METODOLOGÍA .....                                  | 25 |
| 3.1. GAITS .....                                        | 25 |
| 3.2. Selección de la metodología.....                   | 26 |
| 3.2.1. Modelo en cascada .....                          | 26 |
| 3.2.2 Desarrollo rápido de aplicaciones .....           | 27 |
| 3.2.3. VDI 2206.....                                    | 29 |
| 3.3. Metodología VDI-GAITS .....                        | 31 |
| 3.3.1. Necesidad .....                                  | 32 |
| 3.3.2. Idea.....                                        | 33 |
| 3.3.3. Pruebas de concepto, viabilidad y valor.....     | 33 |
| 3.3.4. Validación .....                                 | 33 |
| IV. DISEÑO Y DESARROLLO.....                            | 35 |
| 4.1. Necesidad insatisfecha y su detección .....        | 35 |
| 4.2. Familiarización normativa .....                    | 37 |
| 4.3. Análisis del estado del arte.....                  | 42 |
| 4.4. <i>Stakeholders</i> clave identificados .....      | 44 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5. Lista de requerimientos iniciales.....                   | 45  |
| 4.6. Diseño conceptual del software .....                     | 46  |
| 4.7. Desarrollo del software .....                            | 52  |
| 4.8. Resultados previstos.....                                | 60  |
| 4.9. Retroalimentación .....                                  | 60  |
| 4.10. Ajustes.....                                            | 62  |
| 4.11. Prototipo funcional y visual .....                      | 64  |
| V. EVALUACIONES Y RESULTADOS .....                            | 76  |
| 5.1. Protocolo de evaluación de usabilidad .....              | 76  |
| 5.2. Resultados de la evaluación de usabilidad .....          | 79  |
| 5.3. Protocolo de evaluación de desempeño funcional .....     | 84  |
| 5.4. Resultados de la evaluación de desempeño funcional ..... | 86  |
| 5.5. Comparación entre requerimientos y resultados .....      | 92  |
| VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                      | 95  |
| 6.1. Conclusiones .....                                       | 95  |
| 6.2. Recomendaciones.....                                     | 96  |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 97  |
| ANEXOS .....                                                  | 104 |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. MEDQ System. Tomado de Akar (11) .....                                                                                                                       | 8  |
| Figura 2. MEMP System. Tomado de Saleh (9) .....                                                                                                                       | 9  |
| Figura 3. SAP PM. Tomado de SealSystems (21) .....                                                                                                                     | 9  |
| Figura 4. GTS Software. Tomado de Miranda (13) .....                                                                                                                   | 10 |
| Figura 5. Sistema SGMB. Tomado de Reyes (15) .....                                                                                                                     | 11 |
| Figura 6. Plataforma Qsystems. Tomado de Qsystems (22) .....                                                                                                           | 12 |
| Figura 7. Gráfica del ciclo de vida de las tecnologías. Adaptado de EsSalud (24) .....                                                                                 | 19 |
| Figura 8. Gráfica del ciclo de vida de los dispositivos médicos. Adaptado de SoftPro (25) .....                                                                        | 21 |
| Figura 9. Ciclo de innovación sanitaria según GAITS. Adaptado de GAITS (28) .....                                                                                      | 25 |
| Figura 10. Etapas del modelo en cascada. Tomado de Pressman (29) .....                                                                                                 | 27 |
| Figura 11. Fases del desarrollo rápido de aplicaciones. Adaptado de Shaker (32) .....                                                                                  | 28 |
| Figura 12. Modelo en V propuesto por la norma VDI 2206. Adaptado de Gräßler (33) .....                                                                                 | 29 |
| Figura 13. Metodología GAITS-VDI adaptada al proyecto. Elaboración propia .....                                                                                        | 32 |
| Figura 14. Estructura del sistema. Elaboración propia .....                                                                                                            | 47 |
| Figura 15. Bosquejo del sitio web que muestra la pantalla de inventario, con menú lateral de navegación, barra de acciones y tabla principal. Elaboración propia ..... | 52 |
| Figura 16. Estructura de la base de datos. Elaboración propia .....                                                                                                    | 53 |
| Figura 17. La entidad Equipo en el backend. Elaboración propia .....                                                                                                   | 54 |
| Figura 18. Base de datos de prueba con el inventario cargado. Datos brindados por CMCH .....                                                                           | 54 |
| Figura 19. Estado inicial del modelo del sitio web. Modelo previo .....                                                                                                | 55 |
| Figura 20. Primeros cambios visuales en el sitio web. Elaboración propia .....                                                                                         | 56 |
| Figura 21. Primera versión del inventario. Elaboración propia .....                                                                                                    | 56 |
| Figura 22. Primer formulario para registro y modificación de equipos. Elaboración propia .....                                                                         | 57 |
| Figura 23. Primera versión del módulo de eventos. Elaboración propia .....                                                                                             | 57 |
| Figura 24. Primer formulario para eventos. Elaboración propia .....                                                                                                    | 58 |
| Figura 25. Primera versión del módulo de mantenimientos. Elaboración propia .....                                                                                      | 58 |
| Figura 26. Primer formulario para mantenimientos. Elaboración propia .....                                                                                             | 59 |
| Figura 27. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto. Elaboración propia .....                                                                                     | 59 |
| Figura 28. Implementación de filtros en el inventario de equipos. Elaboración propia .....                                                                             | 62 |
| Figura 29. Filtros en el inventario de equipos. Elaboración propia .....                                                                                               | 63 |
| Figura 30. Implementación del nuevo modelo del inventario. Elaboración propia .....                                                                                    | 63 |
| Figura 31. Creación de roles en la base de datos. Elaboración propia .....                                                                                             | 64 |
| Figura 32. Diferenciación de accesos según rol. Elaboración propia .....                                                                                               | 64 |
| Figura 33. Página “Perfil”. Elaboración propia .....                                                                                                                   | 66 |
| Figura 34. Página de “Inventario” del administrador. Elaboración propia .....                                                                                          | 68 |
| Figura 35. Formulario de modificación en “Inventario”. Elaboración propia .....                                                                                        | 69 |
| Figura 36. Página de “Eventos” del administrador e ingeniero. Elaboración propia .....                                                                                 | 71 |
| Figura 37. Formulario de modificación de eventos. Elaboración propia .....                                                                                             | 71 |
| Figura 38. Página de “Mantenimientos” del administrador e ingeniero. Elaboración propia .....                                                                          | 73 |
| Figura 39. Formulario de modificación de mantenimientos. Elaboración propia .....                                                                                      | 73 |
| Figura 40. Uno de los pasantes probando el sitio. Foto tomada en CMCH .....                                                                                            | 79 |
| Figura 41. Distribución según sexo. Elaboración propia .....                                                                                                           | 80 |
| Figura 42. Distribución según puesto. Elaboración propia .....                                                                                                         | 80 |
| Figura 43. Respuestas de la pregunta 1. Elaboración propia .....                                                                                                       | 81 |
| Figura 44. Respuestas de la pregunta 2. Elaboración propia .....                                                                                                       | 81 |
| Figura 45. Respuestas de la pregunta 3. Elaboración propia .....                                                                                                       | 82 |
| Figura 46. Respuestas de la pregunta 4. Elaboración propia .....                                                                                                       | 82 |
| Figura 47. Tipos de eventos en porcentaje. Elaboración propia .....                                                                                                    | 87 |
| Figura 48. Mantenimientos preventivos por fecha. Elaboración propia .....                                                                                              | 88 |
| Figura 49. Mantenimientos correctivos por fecha. Elaboración propia .....                                                                                              | 88 |
| Figura 50. Evaluaciones por fecha. Elaboración propia .....                                                                                                            | 89 |
| Figura 51. Distribución en porcentaje de eventos según UPSS. Elaboración propia .....                                                                                  | 90 |
| Figura 52. Cantidad de mantenimientos preventivos por UPSS. Elaboración propia .....                                                                                   | 91 |
| Figura 53. Cantidad de mantenimientos correctivos por UPSS. Elaboración propia .....                                                                                   | 91 |
| Figura 54. Cantidad de evaluaciones por UPSS. Elaboración propia .....                                                                                                 | 92 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Estado del Arte. Elaboración propia .....                                   | 13 |
| Tabla 2. Comparación entre las metodologías de desarrollo. Elaboración propia. ....  | 31 |
| Tabla 3. Información extraída de las entrevistas. Elaboración propia .....           | 37 |
| Tabla 4. Recomendaciones de las normativas. Elaboración propia .....                 | 41 |
| Tabla 5. Solución ideal. Elaboración propia .....                                    | 43 |
| Tabla 6. Lista de requerimientos. Elaboración propia .....                           | 45 |
| Tabla 7. Matriz morfológica. Elaboración propia .....                                | 47 |
| Tabla 8. Cuadro comparativo entre las opciones. Elaboración propia .....             | 49 |
| Tabla 9. Accesos de cada rol. Elaboración propia .....                               | 66 |
| Tabla 10. Protocolos para validar el sitio web. Elaboración propia.....              | 76 |
| Tabla 11. Puntuaciones obtenidas de la encuesta UMUX. Elaboración propia .....       | 80 |
| Tabla 12. Cantidad de eventos por tipo. Datos de CMCH registrados en el sistema..... | 86 |
| Tabla 13. Cantidad de eventos según UPSS. Elaboración propia .....                   | 90 |
| Tabla 14. Comparación entre requerimientos y resultados. Elaboración propia.....     | 94 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda la problemática relacionada con la desorganización y falta de estandarización en el registro de eventos de mantenimiento de equipos médicos en la Clínica Médica Cayetano Heredia (CMCH). El área técnica utiliza herramientas genéricas como hojas de cálculo, lo cual genera desorganización, errores en el registro de información y una limitada capacidad para acceder a los datos históricos de forma estructurada.

Frente a esta situación, el objetivo principal de esta investigación es desarrollar una aplicación web que permita el registro y consulta de forma ordenada de los eventos de mantenimiento de equipos médicos en CMCH. Para ello, se aplicó la metodología VDI 2206, complementada con la escala GAITS. La aplicación fue desarrollada utilizando tecnologías como ReactJS, Spring Boot y MySQL, bajo una arquitectura de tres capas y desplegada en servidores virtuales separados para frontend y backend.

El sistema fue evaluado en tres dimensiones: usabilidad, desempeño funcional con datos reales y cumplimiento de requerimientos. La usabilidad se analizó mediante la aplicación de la encuesta UMUX a los usuarios, obteniéndose una puntuación promedio de 89.06 sobre 100, lo que indica un alto nivel de usabilidad percibida. En cuanto al desempeño funcional, se trabajó con un total de 1311 eventos históricos del área de equipos médicos, lo que permitió verificar que el sistema organiza y consulta adecuadamente la información real, evidenciando su capacidad para estructurar los datos según distintos criterios, como tipo de actividad, evolución temporal y distribución por unidad clínica. Finalmente, el cumplimiento de requerimientos se evaluó mediante la comparación entre las especificaciones definidas y las características implementadas.

**Palabras clave:** Equipos médicos, ingeniería clínica, aplicación web, gestión de mantenimiento.

## ABSTRACT

This research addresses the problem of disorganization and lack of standardization in recording maintenance events of medical equipment at Clínica Médica Cayetano Heredia (CMCH). Currently, the technical department relies on generic tools such as spreadsheets, which result in disorganized records, data entry errors, and limited access to historical information in a structured way.

In response to this issue, the main objective of the study was to develop a web application that enables the systematic recording and consultation of maintenance events for medical equipment at CMCH. The project followed the VDI 2206 methodology, complemented by the GAITS scale. The application was implemented using ReactJS, Spring Boot, and MySQL, within a three-tier architecture, and deployed on separate virtual servers for frontend and backend.

The system was evaluated across three dimensions: usability, functional performance with real data, and requirements compliance. Usability was assessed through the application of the UMUX questionnaire to users, yielding an average score of 89.06 out of 100, which indicates a high level of perceived usability. Regarding functional performance, a total of 1,311 historical events from the medical equipment department were analyzed, allowing verification that the system effectively organizes and retrieves real-world data, demonstrating its capability to structure information according to different criteria such as activity type, temporal evolution, and distribution by clinical unit. Finally, requirements compliance was evaluated by comparing the defined specifications with the features implemented in the system.

**Keywords:** Medical equipment, clinical engineering, web application, maintenance management.

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Problemática**

Uno de los procesos más críticos en la gestión de los centros hospitalarios es mantener un registro sistemático de las actividades de mantenimiento de los equipos biomédicos. Estos dispositivos son esenciales para el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los pacientes, por lo que su adecuada conservación resulta vital. La documentación precisa de los eventos de mantenimiento tanto preventivos como correctivos constituye un pilar fundamental, ya que asegura la trazabilidad de las intervenciones, respalda la continuidad operativa de los equipos y brinda información clave para la toma de decisiones técnicas y estratégicas a lo largo del tiempo (1).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2) considera que para tener un programa de mantenimiento eficaz de los equipos biomédicos es indispensable una gestión respaldada por registros técnicos completos, actualizados y accesibles. Asimismo, también menciona que, en un centro hospitalario común, entre el 50% y el 80% de estos dispositivos se encuentran inoperativos debido a la tendencia a prestar más atención a los mantenimientos correctivos que a los preventivos (3). Los costos generados por estas actividades representan una gran parte del coste total por equipo durante su ciclo de vida, dependiendo de las especificaciones de cada aparato, los costes de mantenimiento pueden representar del 15 al 60% de su gasto total (4). En China, Wu et al. (5) pusieron a prueba la implementación de un sistema efectivo de mantenimiento en uno de los hospitales más grandes del país, como resultado se incrementó considerablemente la disponibilidad de los equipos médicos y se generaron ahorros superiores al millón de dólares en solo dos años. En Burundi, Benlacoup et al. (6) implementaron un modelo para el mantenimiento de equipos médicos que incluía una planeación más estructurada de las actividades dentro de diferentes hospitales, con lo cual aumentó la tasa de dispositivos funcionales y en servicio en un 8%. En Colombia, Lozada et al. (7) desarrollaron un sistema para la gestión del sostenimiento de equipos médicos con el que redujeron el tiempo que se tarda un operario durante un mantenimiento en un 28%. Estos hallazgos dejan en evidencia que tanto en países desarrollados como China y subdesarrollados como Colombia, la disponibilidad de sistemas informáticos que faciliten el registro, seguimiento y análisis de eventos de mantenimiento de los equipos médicos brinda resultados beneficiosos en

términos clínicos y económicos. Por lo tanto, contar con una herramienta que permita la organización de dicha información podría contribuir a reducir fallos y mejorar la toma de decisiones por parte de los equipos de ingeniería clínica.

El programa de mantenimiento de equipos biomédicos se compone de actividades preventivas y correctivas, las cuales deben ser documentadas de manera estructurada para su análisis. En cuanto al mantenimiento preventivo es necesario que se establezcan planes donde se vean incluidos inspecciones y mantenimientos ya programados para reducir el riesgo de fallos inesperados que reduzcan el periodo de operatividad de los equipos biomédicos. En el caso del mantenimiento correctivo, resulta indispensable cuando los equipos presentan fallas o no cumplen con sus parámetros correctos al funcionar. Sin embargo, no atender oportunamente las reparaciones puede ocasionar daños progresivos en los dispositivos hasta llegar a un estado incorregible. Además, tener un registro o inventario digital e integrado de todos los equipos médicos, incluyendo su ubicación, antigüedad e historial de mantenimiento es una parte fundamental del proceso. La sistematización de los datos de cada intervención técnica, que incluye las actividades preventivas y correctivas, es importante para demostrar el cumplimiento del plan programado, así como también para analizar el comportamiento de los equipos a lo largo del tiempo, lo cual es primordial para la toma de decisiones fundamentadas (2).

Reemplazar un equipo en estado irreparable conlleva mayores gastos y periodos de espera que un mantenimiento preventivo por contrato con el proveedor, tal como indica Hillebrecht en su análisis de disminución de costos en hospitales de Nepal (8). Por otro lado, en muchos centros sanitarios, especialmente en países en vías de desarrollo, aún se utilizan registros manuales basados en papel por su facilidad de uso y costumbre. Sin embargo, estos métodos presentan sus propios riesgos como la dificultad en gestionar grandes volúmenes de información y que al ser un medio físico es muy sencillo que se pierda o se destruya (9).

La OMS (10) menciona que, en el caso de que ocurra un desperfecto inesperado con un equipo médico, no contar con información accesible sobre los equipos y un plan de contingencia adecuado puede generar una situación de riesgo donde se paralice un servicio esencial, lo que comprometería la atención sanitaria. Estos problemas que afectan tanto a los pacientes, como al personal y a la economía del centro de salud, derivan de

una gestión deficiente del mantenimiento de los equipos biomédicos. Este último se encarece cada año, por ello los departamentos de ingeniería clínica de los hospitales buscan constantemente soluciones para monitorear el estado de los equipos, organizar los eventos ocurridos y optimizar los recursos técnicos (5). Es por ello que recientemente se ha vuelto una necesidad prioritaria el desarrollo de sistemas que gestionen el mantenimiento de equipos biomédicos, lo cual incluye que faciliten el registro sistemático y la consulta de eventos técnicos.

Actualmente, existen múltiples iniciativas previas que evidencian esta tendencia. Por ejemplo, Lozada et al. (7) desarrollaron un software interactivo para estos procesos, además de integrar un dispositivo que permite leer la documentación de los equipos mediante la asignación de un código QR para mejorar la trazabilidad documental. De manera similar, Akar et al. (11) elaboraron un sistema conocido como “MEDQ”, teniendo en cuenta estándares internacionales de la OMS y enfocado en aumentar la seguridad del paciente. En Taiwán, el sistema propuesto por Wu et al. (12) utiliza en conjunto un software de escritorio con una aplicación para celular con lector de código QR y una clasificación basada en riesgo para los equipos, lo cual ayuda al monitoreo de estos y al trabajo del personal en general. En el Perú también se ha visto la necesidad de este tipo de softwares, como en la tesis de Miranda y Takayama (13) quienes desarrollaron un aplicativo web conocido como “GTS Software” que permite ver y registrar equipos dentro del inventario de un hospital, así como órdenes de servicio para mantenimientos correctivos y la programación de preventivos. Otro ejemplo dentro del contexto nacional es el trabajo de fin de grado elaborado por Valenzuela (14) quien implementó en el Hospital Nacional del Cusco un sistema de mantenimiento con funcionalidades como la programación del mantenimiento, incidencias y documentación, lo cual dio como resultado el aumento en la productividad laboral. En Colombia, el software desarrollado por Reyes y Gutiérrez (15) contiene diversos módulos similares a los del resto de trabajos con una interfaz visual personalizable y se encuentra alojado en un sitio web. Una práctica común es utilizar un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS), el cual es una herramienta que contiene datos como el inventario de los equipos médicos e información como el historial de eventos, los procedimientos de mantenimiento preventivo, los indicadores de rendimiento y la información de costes (16). Uno de estos es Fiix CMMS (17), el cual, como muchos otros, tiene una subsección para centros de

salud, con el cual se pueden realizar diferentes actividades como la creación de paneles de control personalizables y generación de órdenes de trabajo desde \$45 por usuario al mes en su plan básico. Otro ejemplo más especializado para el ámbito de la ingeniería clínica es TINC CMMS (18), el cual sí ha sido desarrollado totalmente para hospitales, funciona con Amazon Web Services y tiene un costo mínimo de \$150 mensual.

Si bien muchos de los sistemas mencionados podrían usarse para mejorar la gestión de equipos médicos dentro de un hospital mediante una organización más adecuada de la información, la reducción de riesgos y la optimización de recursos como el tiempo y el personal técnico, no todos contemplan las particularidades operativas de cada centro de salud. En el contexto peruano, donde las realidades técnicas, administrativas y presupuestales varían significativamente entre hospitales y clínicas, se hace indispensable el desarrollo de soluciones personalizadas. Un ejemplo contemporáneo de una necesidad de este tipo de sistemas se encuentra en la Clínica Médica Cayetano Heredia (CMCH).

Este centro de salud de categoría II-2 se encuentra ubicado en el distrito de San Martín de Porres en Lima Metropolitana en Perú y tiene más de 30 años de trayectoria brindando servicios de salud en el norte de la ciudad (19). En ella, dentro del Área de Dispositivos y Equipos Médicos se realiza la gestión de equipos médicos (inventarios, planeación de adquisiciones, recepción de equipos, mantenimiento preventivo y correctivo, disposición final). Esta área se ha implementado recientemente por lo que utiliza sistemas de gestión básicos, como el uso de hojas de cálculo en Google Sheets para registrar el inventario, eventos técnicos y planes de mantenimiento. Si bien este enfoque puede ser funcional durante las etapas iniciales de un departamento de ingeniería clínica porque permite llevar un registro básico, carece de la especialización, escalabilidad y trazabilidad necesaria que se espera de un sistema para un centro hospitalario de este calibre. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de contar con una herramienta tecnológica más robusta que permita centralizar el registro y la consulta estructurada de eventos relacionados al mantenimiento de los equipos médicos.

En ese sentido, la presente tesis busca responder a la problemática identificada en la CMCH: El uso de herramientas genéricas como hojas de cálculo limita la estandarización de registros y el acceso estructurado a la información técnica relacionada con el mantenimiento de equipos médicos. Por ello, este proyecto propone el desarrollo de una

aplicación web orientada específicamente al registro y consulta de eventos técnicos, adaptada a las necesidades del área de ingeniería clínica de la CMCH.

## **1.2. Estado del arte**

Con el fin de abordar el problema definido, se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva sobre investigaciones previas y soluciones existentes en el mercado relacionadas a los softwares para la gestión de mantenimiento de equipos biomédicos orientados al sector hospitalario. El objetivo de esta revisión fue identificar desarrollos relevantes, tanto académicos como comerciales, que incorporan funcionalidades específicas como el registro estructurado de eventos técnicos, la consulta de historial de mantenimiento y la integración con bases de datos. Se presenta una síntesis de esta revisión en la tabla 1.

### **MEDQ System**

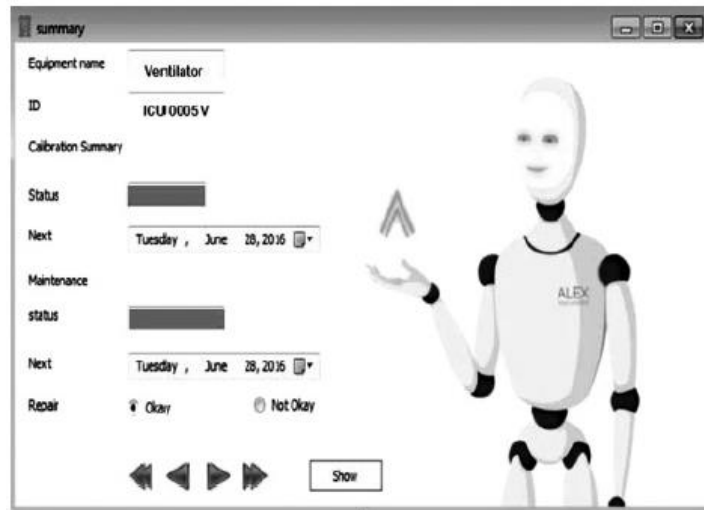
Este software desarrollado por Akar et al. (11) es un proyecto web fácil de entender para el usuario y con la finalidad de mejorar la seguridad de los pacientes. Este fue escrito en código en Entity Framework en ASP.NET MVC5. La base de datos se gestiona con SQL server 2016 creada en Microsoft Azure Cloud. Permite crear un inventario y asignar un identificador único para cada equipo, definir diferentes tipos de usuarios con limitaciones de acceso, listar el inventario filtrando con filtros, registrar fallos, eventos adversos, falsas alarmas y costos de reparación. Presenta los siguientes módulos: General | Dispositivos | Reportes | Fallas | Mantenimiento | Alarmas | Calibración | Evaluación. El software fue adaptado a departamentos específicos de un hospital de pequeño tamaño durante dos meses. Ayudó a que los dispositivos tengan un mantenimiento y calibración correctos. Por lo que, se minimizó la angustia de los pacientes causada por los equipos médicos. Una captura de este software se puede ver en la figura 1.

| Inventory Device Number | Device Name       | Is Completed? | Operation |
|-------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| ACL-20-169-001          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✓             | Update    |
| ACL-20-169-002          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✓             | Update    |
| ACL-20-169-003          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✗             | Update    |
| ACL-20-169-004          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✓             | Update    |
| AME-18-436-001          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✗             | Update    |
| AME-18-436-002          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✓             | Update    |
| AME-18-436-003          | HASTABAŞI MONİTÖR | ✗             | Update    |
| ANE-20-169-001          | Hastabaşı Monitör | ✗             | Update    |
| ANE-20-169-002          | Hastabaşı Monitör | ✗             | Update    |
| ANE-20-169-003          | Hastabaşı Monitör | ✗             | Update    |

**Figura 1. MEDQ System. Tomado de Akar (11)**

## **MEMP System**

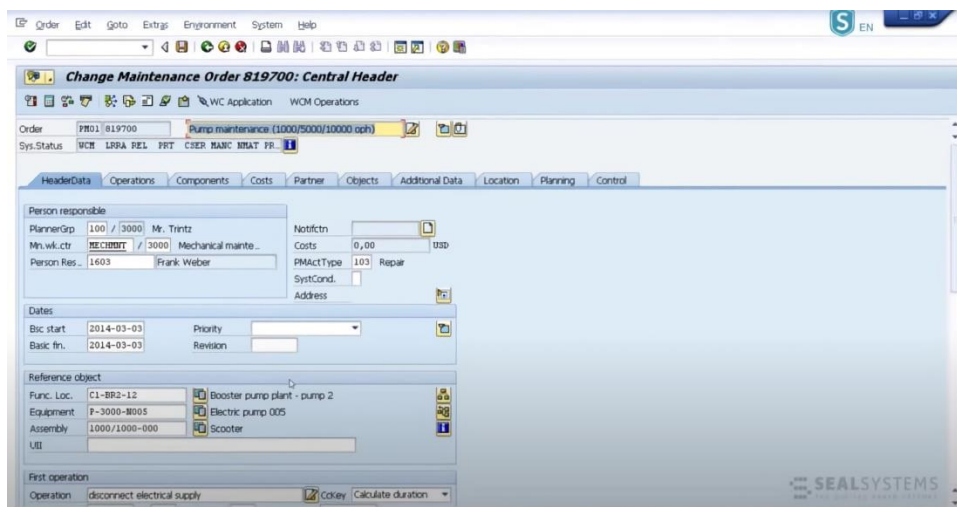
Este paquete de software personalizado para la gestión de equipos médicos en hospitales de pequeña escala o CMMS fue desarrollado por Saleh et al. (9) y aparece en la figura 2. El sistema se desarrolló utilizando MySQL, Visual Studio utilizando lenguaje C y Windows 8 como sistema operativo y consiste en una aplicación de escritorio para Windows. Este permite registrar y observar información sobre los departamentos clínicos, vendedores, equipos, fallas, mantenimientos y calibraciones. Además, también puede determinar los tiempos de operatividad de los equipos médicos. Los módulos que presenta son: Usuario | Departamentos | Vendedores | Equipos | Mantenimiento | Calibración | Reparaciones. El programa demuestra ser sencillo de utilizar y posible de modificar, se pueden usar diferentes tipos de datos, se puede visualizar el estado del mantenimiento preventivo y calibración de cada equipo mediante un código de color. Ha mejorado el seguimiento de los equipos médicos en diferentes etapas de su ciclo de vida y permite revisar un historial breve sobre cada dispositivo.



**Figura 2. MEMP System. Tomado de Saleh (9)**

### SAP PM

Este software de escritorio desarrollado por SAP SE (20) y diseñado para sistemas Windows, brinda a las empresas asistencia en el mantenimiento de diversos tipos de instalaciones, maquinaria e infraestructuras, que abarcan desde equipos biomédicos hasta otros dispositivos. SAP Plant Maintenance facilita la gestión de inspecciones, reparaciones y tareas preventivas. Además de planificar actividades, asignar recursos como materiales y mano de obra, y mantener un registro detallado de los costos asociados. También ofrece la capacidad de supervisar las reparaciones automáticas y gestionar las solicitudes de trabajos de mantenimiento de las instalaciones. Este software es ampliamente usado en diferentes industrias alrededor del mundo. Se puede observar en la figura 3.



**Figura 3. SAP PM. Tomado de SealSystems (21)**

## GTS Software

Este software alojado en un sitio web fue desarrollado por Miranda L y Takayama K (13) con la finalidad de implementar un aplicativo web de información que apoye en los procesos relacionados a la gestión de dispositivos biomédicos en los centros de salud del Perú. Las herramientas utilizadas para el desarrollo del programa fueron Sublime Text 2, Laravel framework, PhpMyAdmin, MySQL Workbench y Apache Tomcat. De manera similar a los programas anteriores este permite la creación de usuarios, el registro de información sobre las actividades de mantenimiento en tiempo real, el monitoreo y control de los equipos médicos, registrar solicitudes de mantenimiento correctivo por parte del personal usuario y visualizar toda esta información. El software presenta los siguientes módulos: Directorio de Equipos Médicos | Mantenimiento Preventivo y Correctivo | Retiro de Equipos. Se logró implementar esta plataforma dentro del Instituto Nacional Materno Perinatal en una etapa de inicio. El software se puede apreciar en la figura 4.

| N° | Orden Trabajo Mantenimiento | Fecha y hora        | Departamento                 | Servicio          | Ingeniero a cargo del activo | Usuario Solicitante      |
|----|-----------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1  | MP0001TS                    | 31-03-2016 09:00:00 | Departamento de neonatología | CENTRO QUIRURGICO | Cortez Diaz, Alda Noelia     | Vera Chacon, Kelly Carol |
| 2  | MP0002TS                    | 29-03-2016 17:00:00 | Departamento de neonatología | CENTRO QUIRURGICO | Cortez Diaz, Alda Noelia     | Cortez Diaz, Alda Noelia |
| 3  | MP0003TS                    | 30-03-2016 09:00:00 | Departamento de neonatología | CENTRO QUIRURGICO | Cortez Diaz, Alda Noelia     | Vera Chacon, Kelly Carol |

**Figura 4. GTS Software. Tomado de Miranda (13)**

## Sistema SGMB

Este software fue desarrollado Reyes E y Gutiérrez M (15), busca realizar la gestión del mantenimiento a equipos biomédicos haciendo uso de PHP y tomando en consideración los lineamientos establecidos por la OMS para un hospital. La metodología para el desarrollo fue la de Desarrollo Rápido de Aplicaciones, el gestor de base de datos elegido fue MySQL. También se usó phpMyAdmin y Apache Tomcat. Este funciona como un

sitio web y permite crear usuarios jerarquizados según la posición, registrar información sobre empresas proveedoras, equipos médicos con su ficha técnica, actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. También posee la novedad del llenado de matrices de riesgo para conocer cuál de los equipos tiene una mayor prioridad en las intervenciones y la creación de identificaciones para los equipos y el modificar actividades en los cronogramas. El software presenta los siguientes módulos: Perfil | Empresa | Equipos Biomédicos | Repuestos | Calibración | Usuarios | Indicadores | Áreas de Trabajo | Turnos de Trabajo | Cronograma de Mantenimiento | Reportes. Este trabajo demostró que un sistema de este tipo resulta idóneo para apoyar en un departamento de ingeniería clínica. Este sistema se observa en la figura 5.

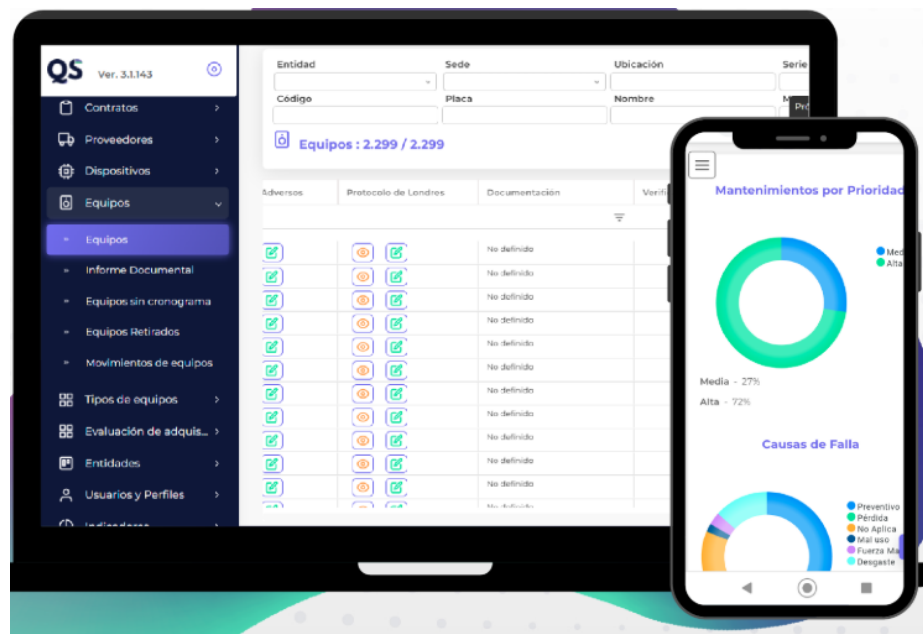
| Nombre           | Cedula     | Tipo          | Estado   | Area            | Turno | Empresa                 | Editar |
|------------------|------------|---------------|----------|-----------------|-------|-------------------------|--------|
| moises           | 1010       | Administrador | Inactivo | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| moises           | 1111       | Administrador | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| prueba           | 789554123  | Administrador | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| luz              | 7895646    | Administrador | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| jorge            | 0          | Administrador | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| Ferley           | 1030576087 | Administrador | Activo   | Banco de sangre | dia   | Biosoft                 |        |
| daniel perez     | 1234       | Jefe de Area  | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| moises gutierrez | 1116756    | Jefe de Area  | Activo   | Hospitalizacion | tarde | Empresa mantenimiento 2 |        |
| William Caceres  | 2222       | Jefe de Area  | Activo   | Uci intermedios | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |
| edinson          | 00000      | Jefe de Area  | Activo   | Banco de sangre | dia   | Empresa mantenimiento 1 |        |

**Figura 5. Sistema SGMB. Tomado de Reyes (15)**

## QSystems

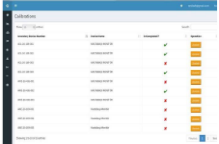
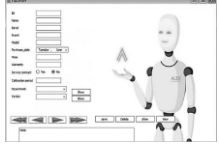
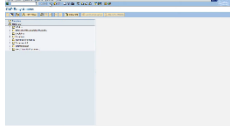
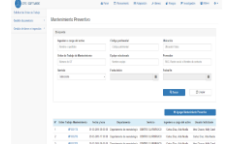
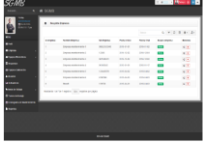
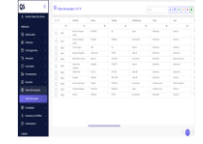
Este software de gestión de mantenimiento asistida por ordenador fue desarrollado en Colombia (22), sirve para la planificación de actividades técnicas, seguimientos, control de los procesos de trabajo relacionados con activos e infraestructura. También permite la trazabilidad de equipos e infraestructura a lo largo de todo su ciclo de vida con la información centralizada en la nube y el seguimiento diario de solicitudes, entrega, recepción, manejo de garantías, y órdenes de trabajo. El software presenta los siguientes módulos: Solicitudes | Órdenes de servicio | Cronogramas | Almacén | Contratos | Proveedores | Equipos | Entidades y Clientes | Indicadores | Usuarios y Roles |

Tecnovigilancia. Este proyecto demuestra que es posible crear un software de este tipo en Latinoamérica y que sea exitoso. Una imagen extraída de su sitio se ve en la figura 6.



**Figura 6. Plataforma Qsystems. Tomado de Qsystems (22)**

**Tabla 1. Estado del Arte. Elaboración propia**

| Características                      | SOL. 1.<br>MEDQ System<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | SOL. 2.<br>MEMP System<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | SOL. 3.<br>SAP PM<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | SOL. 4.<br>GTS Software<br>                                                                                                                                                                                                                                                       | SOL. 5.<br>Sistema SGMB<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | SOL. 6.<br>QSystems<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Funcionalidades</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Crear un inventario y asignar un identificador único para cada equipo</li> <li>-Definir diferentes tipos de usuarios con limitaciones de acceso</li> <li>-Listar el inventario filtrando el sistema con varias opciones</li> <li>-Registrar fallos, eventos adversos, falsas alarmas y costos de reparación</li> <li>-Seguir los cronogramas de calibración y mantenimiento y controlarlos para cada dispositivo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Crear un usuario</li> <li>-Registrar información sobre los departamentos clínicos, vendedores, equipos con sus fallas, mantenimientos, calibraciones</li> <li>-Determinar los tiempos de operatividad de los equipos médicos</li> <li>-Observar los parámetros importantes de cada equipo, departamento en la clínica, vendedores, fallas y el programa de mantenimiento</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gestionar datos individuales desde la perspectiva del mantenimiento del equipo.</li> <li>-Tomar medidas de mantenimiento individuales.</li> <li>-Mantener un registro de las tareas de mantenimiento realizadas.</li> <li>-Recopilar y evaluar datos sobre el equipo durante un largo período de tiempo.</li> <li>-Programar órdenes de trabajo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Crear un usuario</li> <li>-Registrar información sobre las actividades de mantenimiento en tiempo real</li> <li>-Monitorear y controlar los equipos médicos</li> <li>-Registrar solicitudes de mantenimiento correctivo por parte del personal usuario</li> <li>-Visualizar la información de los equipos médicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Crear usuarios jerarquizados según la posición</li> <li>-Registrar información sobre empresas proveedoras, equipos médicos con su ficha técnica, actividades de mantenimiento preventivo y correctivo</li> <li>-Llenar matrices de riesgo para conocer cuál de los equipos tiene una mayor prioridad en las intervenciones</li> <li>-Crear identificaciones para los equipos</li> <li>-Modificar actividades en los cronogramas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Planificación de actividades técnicas, seguimientos, control de los procesos de trabajo relacionados con activos.</li> <li>-Trazabilidad de equipos e infraestructura a lo largo de todo su ciclo de vida con la información centralizada</li> <li>-Seguimiento diario de solicitudes, entrega, recepción, manejo de garantías, y órdenes de trabajo.</li> </ul> |
| <b>Módulos</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Página principal</li> <li>-General</li> <li>-Dispositivos</li> <li>-Reportes</li> <li>-Fallas</li> <li>-Mantenimiento</li> <li>-Alarmas</li> <li>-Calibración</li> <li>-Evaluación</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Usuario</li> <li>-Departamentos</li> <li>-Vendedores</li> <li>-Equipos</li> <li>-Mantenimiento</li> <li>-Calibración</li> <li>-Reparaciones</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Inspección</li> <li>-Mantenimiento Preventivo</li> <li>-Reparaciones</li> <li>-Notificaciones</li> <li>-Historial</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Directorio de Equipos Médicos</li> <li>-Mantenimiento Preventivo y Correctivo</li> <li>-Retiro de Equipos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Perfil</li> <li>-Empresa</li> <li>-Equipos Biomédicos</li> <li>-Repuestos</li> <li>-Calibración</li> <li>-Usuarios</li> <li>-Indicadores</li> <li>-Áreas de Trabajo</li> <li>-Turnos de Trabajo</li> <li>-Cronograma de Mantenimiento</li> <li>-Reportes.</li> </ul>                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Solicitudes</li> <li>-Órdenes de servicio</li> <li>-Cronogramas</li> <li>-Almacén</li> <li>-Contratos</li> <li>-Proveedores</li> <li>-Equipos</li> <li>-Entidades y Clientes</li> <li>-Indicadores</li> <li>-Usuarios y Roles</li> <li>-Tecnovigilancia</li> </ul>                                                                                               |
| <b>Disponibilidad para uso móvil</b> | Sí                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | No                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | No                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sí                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Sí                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sí                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Base de datos</b>                 | SQL server 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | MySQL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | No menciona                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | MySQL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | MySQL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | No menciona                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Lenguaje de programación</b>      | C#                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | C#                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | No menciona                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | PHP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | PHP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | No menciona                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Plataforma</b>                    | Sitio Web                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Aplicación para Windows.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Aplicación para Windows.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sitio Web                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Sitio Web                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sitio web y aplicación móvil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### **1.3. Justificación**

De acuerdo con la problemática descrita anteriormente, la justificación del presente trabajo de tesis radica en la necesidad identificada en la CMCH de contar con una solución tecnológica que facilite el registro sistemático y la consulta eficiente de los eventos de mantenimiento de los equipos médicos. En la actualidad, el área de equipos médicos emplea hojas de cálculo en Google Sheets para estas tareas, lo que limita la trazabilidad, la estandarización y el análisis histórico de la información técnica. Esta situación puede comprometer la continuidad de los servicios médicos.

El desarrollo de una aplicación web orientada a esta tarea surge como una alternativa estratégica que responde tanto a las limitaciones tecnológicas actuales como a las necesidades propias del área de dispositivos y equipos médicos. A diferencia de soluciones comerciales generalizadas, el enfoque propuesto busca adaptarse a la operatividad real de la CMCH, con funcionalidades que se alineen a sus flujos de trabajo, niveles de acceso y características de su inventario técnico.

Además, según lo evidenciado en múltiples experiencias nacionales e internacionales (5,6,7,8), la aplicación de este tipo de herramientas no solo mejora la organización de la información, sino que permite optimizar los recursos, reducir el tiempo de inactividad de los equipos y fortalecer la toma de decisiones a través del análisis histórico de los eventos técnicos. Por ello, esta propuesta se presenta como una solución viable, replicable y necesaria para mejorar la trazabilidad y organización del mantenimiento en contextos hospitalarios similares.

### **1.4. Hipótesis**

El desarrollo de una aplicación web orientada al registro y consulta de eventos de mantenimiento de equipos médicos, adaptada a las necesidades del área técnica de la CMCH, mejorará la organización de los datos técnicos, facilitará su consulta estructurada y será percibida como usable por los usuarios del área.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Desarrollar una aplicación web, basada en los requisitos de los usuarios, para el registro y consulta de eventos de mantenimiento correctivo, preventivo y evaluaciones de equipos médicos en la Clínica Médica Cayetano Heredia.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Identificar los requisitos específicos de gestión de mantenimiento de equipos médicos en la CMCH mediante entrevistas semiestructuradas al jefe del área.
- Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y una estructura de software que facilite el registro, búsqueda y visualización de eventos técnicos.
- Desarrollar una aplicación web escalable que centralice la información relacionada a mantenimientos y otras actividades técnicas que involucren equipos médicos.
- Evaluar el sistema desarrollado en términos de usabilidad, desempeño funcional con datos reales y cumplimiento de requerimientos.

## **1.6. Consideraciones éticas**

El presente trabajo de tesis fue enviado al comité de ética mediante la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación (DUARI) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, para su evaluación y aprobación. Dicho comité determinó que constituye una investigación que no involucra humanos ni animales, dado que las personas encuestadas no representan el fin de la investigación, sino que fueron consideradas únicamente como un medio para obtener información sobre la usabilidad del sistema desarrollado.

En ese sentido, no fue necesario el uso de un consentimiento informado propio de investigaciones con seres humanos, ya que la aplicación de la encuesta no representó riesgo para los participantes y su participación fue completamente voluntaria. Asimismo, los datos recopilados fueron utilizados exclusivamente para la evaluación del prototipo.

La DUARI ha decidido exonerar este trabajo de tesis de la evaluación por parte del Comité Institucional de Ética en Investigación (CIEI) en Humanos y del Comité Institucional de Ética para el Uso de Animales (CIEA), debido a las características del estudio.

### **1.7. Alcances y limitaciones**

La presente sección describe los alcances logrados por el proyecto en cuanto al diseño, desarrollo y evaluación del sistema propuesto, así como las limitaciones encontradas durante el proceso:

- El sistema fue desarrollado teniendo en cuenta los requerimientos del personal de equipos médicos de la CMCH. Por lo que sólo se considerarán las necesidades específicas de la institución.
- Durante el proceso de importación de datos se contaba con inconsistencias en los registros, equipos no identificados en los documentos disponibles o ausencia de los números de serie afectando la carga completa.
- La evaluación de usabilidad estuvo sujeta a la disponibilidad del personal, limitando el número de participantes.
- Los datos incorporados en el sistema están actualizados hasta el 30 de abril de 2025.
- Del ciclo de vida del software se ha considerado lo siguiente: las fases de análisis de requerimientos, diseño, desarrollo, despliegue y evaluación del sistema. El soporte técnico posterior, actualizaciones a largo plazo o escalabilidad quedan fuera del marco del estudio.

## II. MARCO TEÓRICO

Este apartado tiene como finalidad presentar aquellos conceptos que contribuyan a una comprensión más completa del presente trabajo de investigación. El contenido se ha organizado en tres secciones clave: El ciclo de vida de dispositivos médicos, la gestión de mantenimiento de los equipos médicos, la definición de un sistema CMMS, sus características y funciones.

### 2.1. Ciclo de vida de la tecnología médica

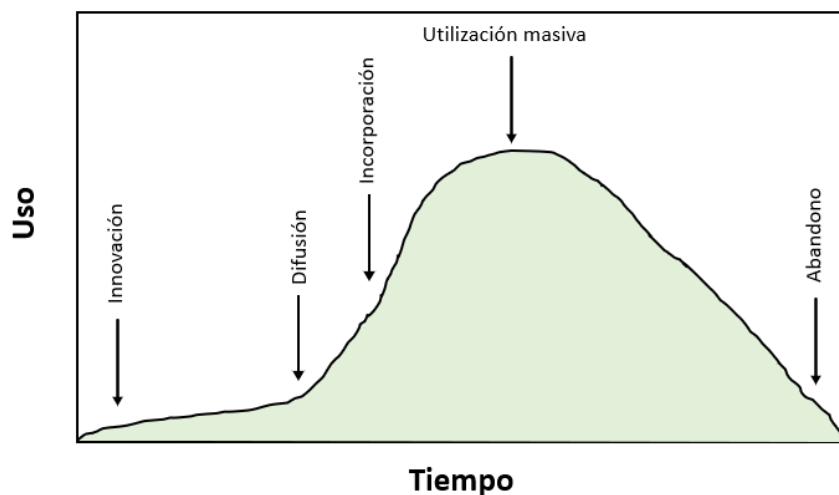
El proceso que atraviesan las tecnologías en salud desde su concepción y diseño hasta su retiro de los servicios y su disposición final o dada de baja es denominado como el ciclo de vida de la tecnología médica. Cada etapa de este ciclo tiene sus propias características y consideraciones. Según la OMS estos son los siguientes (23):

- **Investigación y Desarrollo:** Esta primera etapa está influenciada por la política gubernamental en relación a la investigación y desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas en el ámbito de la salud. El gran potencial de estas tecnologías podría resultar desperdiciado si es que no se tiene un gran apoyo o una inversión adicional, lo que resulta en enfermedades, muertes e ineficiencias económicas que se podrían haber evitado.
- **Reglamentación:** En esta fase lo importante es la protección de la población a través de la difusión de normas y procedimientos de evaluación, autorizaciones para la comercialización y el registro de la tecnología, la vigilancia luego de que se empiece a vender y la notificación de incidentes. En esta etapa, la política nacional es crucial para avalar que los nuevos dispositivos resulten seguros para los usuarios.
- **Evaluación:** Mediante la evaluación de tecnologías en salud, quienes toman decisiones en materia sanitaria pueden determinar qué tecnología es la mejor para satisfacer las demandas referidas a la salud que tenga la población mediante el análisis de la tecnología.
- **Gestión.** En esta etapa, se deben realizar las siguientes tareas: determinar las necesidades y requisitos técnicos para la compra; realizar un registro total de los bienes; designar un plan de mantenimiento orientado a minimizar riesgos y

asegurar que los dispositivos estén operativos cuando se requieran; monitorear la efectividad de los programas de mantenimiento; y los procedimientos de desincorporación del servicio.

De manera similar, EsSalud (24) propone el siguiente modelo de ciclo de vida de las tecnologías tal como aparece en la figura 7:

- **Innovación:** Esta etapa comienza con la creación de un nuevo producto y termina en el momento en que se utiliza por primera vez. Las pruebas del equipo suelen realizarse en esta etapa con voluntarios en condiciones controladas. Las evaluaciones tecnológicas que se dan en esta no son muy confiables y pueden conducir a una variedad de conclusiones.
- **Difusión:** Después de que se anuncia una nueva tecnología, comienza una etapa de mostrarla a la población en general a través de varias formas. A menudo, por intereses particulares se exagera la expectativa generada. Es debatible en esta fase si lo más importante es el beneficio de la comunidad o el lucro corporativo.
- **Incorporación:** Etapa de aceptación de la tecnología por la mayoría de los prestadores de salud como una tecnología consolidada. Esto generalmente ocurre cuando los grandes consumidores de salud, que pueden ser entidades nacionales o privadas, la empiezan a usar a gran escala.
- **Utilización:** Etapa en la que la tecnología se vuelve común. A pesar de la importancia del conocimiento que se puede recopilar como si es que se desperdician recursos o si se detectan riesgos sobre la seguridad, pocos estudios evidencian lo que sucede en esta fase.
- **Abandono.** La introducción de nuevas tecnologías sanitarias es constante, por lo que es necesario priorizar algunas para poder incorporarlas. No obstante, existe una tendencia a abandonar las tecnologías más antiguas debido a su arraigo y nivel de utilización.



**Figura 7. Gráfica del ciclo de vida de las tecnologías. Adaptado de EsSalud (24)**

Los equipos y dispositivos médicos dentro de un contexto hospitalario tienen su propio ciclo de vida que también se subdivide en varias etapas como las propuestas por SoftPro, se encuentra ilustrado en la figura 8 (25):

- **Planificación:** Primero, la organización sanitaria determinará la necesidad de nuevos equipos médicos para atender a los pacientes y garantizar la eficacia operativa. Se lleva a cabo una investigación para determinar las opciones más adecuadas consultando con el personal, revisando las especificaciones de los equipos y comparando los precios y las características de los distintos equipos médicos.
- **Adquisición:** Una vez que el centro hospitalario ha establecido los requisitos y planificado un presupuesto, el equipo médico se comprará o alquilará. La fase de adquisición puede implicar trabajar con distintos proveedores para obtener el mejor precio y las mejores condiciones posibles.
- **Instalación:** Una vez entregado el equipo, se debe instalar en el hospital. Esto puede implicar la coordinación con la dirección del centro y los departamentos de TI. La instalación puede implicar montar el equipo médico, conectarlo a la red eléctrica y a los servicios públicos y probarlo para asegurarse de que funciona como se espera. Si el equipo es muy grande, puede haber un proyecto que consista en retirar y reconstruir paredes para poder transportar el equipo médico a la sección designada.

- **Capacitación:** El personal sanitario deberá recibir formación sobre cómo utilizar el equipo médico de forma segura antes de usarlo con pacientes. La formación puede incluir material didáctico, instrucciones prácticas, demostraciones, tutoriales y apoyo continuo, especialmente cuando apenas se ha recibido. El objetivo principal es asegurarse de que los miembros del personal médico conozcan el equipo y lo utilicen con confianza.
- **Mantenimiento:** Las tareas de mantenimiento preventivo y reparación deben llevarse a cabo para garantizar que los equipos médicos sigan funcionando correctamente. Los fabricantes suelen especificar que el mantenimiento preventivo debe realizarse a intervalos predeterminados, como cada seis o doce meses. Se realizan revisiones o la sustitución de piezas desgastadas o dañadas de manera rutinaria. Un mantenimiento apropiado puede ayudar a mantener la seguridad del paciente, reducir el tiempo de inactividad, evitar averías en los equipos y prolongar la duración operativa de los dispositivos médicos. Es crucial para extender la vida útil de los equipos médicos y ahorrar costes.
- **Reemplazo y disposición final.** Las necesidades del centro hospitalario harán que los equipos médicos se vuelvan viejos y obsoletos. En estas situaciones, la organización puede querer mejorar el equipo médico existente con nuevas funciones y capacidades o sustituirlo por un modelo más nuevo. De este modo, la organización sanitaria puede garantizar que sus instalaciones disponen de las herramientas y los procedimientos médicos más avanzados y potentes. Los equipos médicos se eliminan de varias formas cuando ya no sean necesarios o hayan llegado al final de su vida útil. Los suministros médicos pueden ser reciclados, venderse o entregarse a otros centros sanitarios. La manipulación de cualquier material peligroso debe hacerse de acuerdo con todas las normas y reglamentos vigentes, según las organizaciones sanitarias.



**Figura 8. Gráfica del ciclo de vida de los dispositivos médicos. Adaptado de SoftPro (25)**

## **2.2. Gestión de mantenimiento de equipos médicos**

En el contexto hospitalario, la gestión de mantenimiento de equipos médicos se entiende como un conjunto de actividades técnicas y administrativas orientadas a planificar, ejecutar, supervisar y documentar las acciones necesarias para conservar la funcionalidad y el buen estado de los equipos médicos durante todo su ciclo de vida útil. Como menciona la Medicines and Healthcare products Regulatory Agency (26) una gestión efectiva de este recurso resulta fundamental para garantizar una atención al paciente de alta calidad, asegurar un uso financiero adecuado y minimizar los riesgos de eventos adversos. La misma agencia recomienda que las organizaciones sanitarias establezcan un enfoque y unos objetivos a largo plazo para la gestión de sus productos sanitarios.

Según la OMS (2), es esencial para cualquier centro sanitario aplicar un plan de mantenimiento de los equipos médicos. Para ello primero es necesario contar con un inventario de estos dispositivos, además de los recursos financieros, físicos y humanos para llevar a cabo las operaciones. Cuando se haya establecido el plan, es necesaria su

gestión económica y efectiva. La gestión puede tener aspectos financieros, de personal y operacionales. El primero se enfoca en el monitoreo de los costos y gestionar el presupuesto. El segundo tiene como objetivo brindar apoyo mediante capacitaciones al personal o por ayuda de los proveedores para completar los objetivos propuestos. El último involucra la ejecución y planificación de los procedimientos de mantenimiento. En este marco, el mantenimiento se constituye como un pilar central para la gestión, este se materializa principalmente a través de dos modalidades: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

### **2.2.1. Mantenimiento preventivo e inspección (IPM)**

El mantenimiento preventivo incluye todas las actividades programadas que garantizan el pleno funcionamiento de los equipos para evitar averías o fallos. Este tipo de mantenimiento incluye inspecciones de seguridad donde se verifica que el dispositivo opere dentro de las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante, así como procedimientos de limpieza, lubricación, calibración y sustitución de piezas con vida útil limitada, como filtros, baterías, válvulas o componentes mecánicos sometidos a desgaste. La inspección puede realizarse como una actividad independiente o en combinación con el mantenimiento preventivo, y su finalidad es detectar problemas ocultos que podrían convertirse en fallas mayores que lleven a un mantenimiento correctivo. El carácter programado del IPM permite planificar con antelación recursos financieros, físicos y humanos, estimando tiempos de intervención y la disponibilidad de repuestos, lo cual permite que el servicio asistencial continúe operando con normalidad. Asimismo, la OMS señala que la frecuencia de las actividades debe estar determinada principalmente por las recomendaciones del fabricante, aunque puede ajustarse a las condiciones ambientales, la intensidad de uso o el nivel de capacitación de los usuarios. Documentar cada actividad de IPM es indispensable, ya que, desde la perspectiva regulatoria, un procedimiento no registrado equivale a un procedimiento no realizado. Por lo anteriormente mencionado, el IPM no solo extiende la vida útil del equipo y reduce las probabilidades de fallas, sino que también constituye la base de un sistema de trazabilidad dentro de la gestión de tecnología médica.

### **2.2.2. Mantenimiento correctivo**

Por otro lado, el mantenimiento correctivo es un proceso donde se restaura la integridad física, seguridad o el rendimiento de un dispositivo después de que se haya producido una

falla. Este tipo de mantenimiento es esencial para reincorporar al servicio dispositivos que han dejado de operar de forma adecuada. El documento de la OMS enfatiza que las actividades de mantenimiento correctivo incluyen la identificación de la avería, las pruebas de diagnóstico, la reparación y la verificación final antes de devolver el equipo a servicio clínico. Si bien es una acción indispensable, la OMS advierte que el correctivo tiene un carácter no planificado, lo que conlleva riesgos asociados a tiempos de inactividad, mayores costos de reparación y, en el caso de fallas críticas, la posible interrupción de procedimientos médicos. Además, el retraso en la atención de fallas puede provocar un deterioro acumulativo que reduzca la vida útil del dispositivo hasta volverlo irreparable. Por ello, aunque el mantenimiento correctivo es una parte inevitable de la gestión, se recomienda que esté sustentado en registros detallados y en la priorización de equipos de mayor criticidad clínica. Por lo tanto, este tipo de mantenimiento es un complemento al mantenimiento preventivo que permite la recuperación oportuna de la funcionalidad tecnológica cuando los fallos ocurren.

### **2.3. Software CMMS**

Otra de las recomendaciones más relevantes de la OMS para los hospitales es la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) (16). En la mayoría de los centros de salud modernos, tanto la cantidad de equipos médicos como el volumen de eventos de servicio hacen que resulte complejo mantener y organizar adecuadamente esta información. Esta gestión solo puede realizarse de manera eficiente mediante un sistema informático especializado. En este sentido, un CMMS, herramienta de software que puede operar en un ordenador autónomo, se convierte en un recurso fundamental para planificar, ejecutar y controlar de manera sistemática el programa de mantenimiento de los equipos médicos.

Las principales funciones de un CMMS son:

- Mantener un inventario de cada dispositivo en el hospital, incluida la posibilidad de añadir o cambiar fácilmente la información de los equipos.
- Mantener un registro de los eventos de servicio pasados como mantenimientos preventivos, correctivos, cambios de posición, actualizaciones de software, etc.

- Almacenar guías sobre los procedimientos de los mantenimientos.
- Programar los procedimientos y cambiar su calendario
- Mantener un registro de los resultados de los mantenimientos o inspecciones incluyendo detalles de los eventos adversos ocurridos.
- Registrar la información de los mantenimientos correctivos donde se incluya el problema con el equipo y el trabajo realizado.
- Producir reportes a manera de resumen de la información que se vaya registrando y también adicionales como la tasa de mantenimientos realizados satisfactoriamente, los tiempos que demoraron, las fallas, reparaciones hechas en determinado periodo de tiempo, inventario filtrado según localización, equipo o propietario, etc.

Beniacoub et al. (27) Incluyó las siguientes funcionalidades en un CMMS para un hospital en un país de bajos recursos:

- Gestión de equipos e infraestructura con las nomenclaturas internacionales de equipos biomédicos.
- Inventario de equipos biomédicos, incluyendo las características administrativas, financieras y técnicas de cada activo y el almacenamiento de fotos y cualquier documentación relevante del activo como manuales, contratos o informes de inspección.
- La planificación del mantenimiento preventivo y la gestión de las solicitudes de intervenciones correctivas en caso de avería de los equipos.
- El registro de todas las actividades de mantenimiento, incluida la identidad del técnico de mantenimiento responsable, el resultado y los costes de la intervención.
- Generación de informes relativos al estado del inventario, el progreso del mantenimiento y el grado de cumplimiento de las normas nacionales para equipos biomédicos.

Este tipo de sistemas permiten fortalecer la trazabilidad, estandarización y análisis técnico del equipamiento médico, lo que los vuelve cruciales para una gestión clínica eficiente.

### III. METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología utilizada para el desarrollo de la aplicación web propuesta. Primero, se describe el enfoque metodológico adoptado, el cual combina lineamientos de la escala GAITS adaptada al contexto del estudio y una metodología complementaria para el desarrollo del software. Tras evaluar distintas alternativas y su adecuación a las características del proyecto, se seleccionó la norma VDI 2206 para guiar el proceso de desarrollo de la aplicación web. La justificación de esta elección en comparación con los otros enfoques de desarrollo encontrados se presenta en la sección III.2.3. Posteriormente, se detallan las fases seguidas desde la definición de requisitos hasta el diseño conceptual, desarrollo del sistema y evaluaciones correspondientes.

#### 3.1. GAITS

GAITS (*Guidance and Impact Tracking System*, 28) es una plataforma web desarrollada por CIMIT (*Consortia for Improving Medicine with Innovation and Technology*) que facilita la gestión y seguimiento de innovaciones en el ámbito de la salud haciendo uso del ciclo de innovación sanitaria. Este ciclo organiza el proceso de innovación en diez niveles de madurez distribuidos en cuatro dominios clave: tecnológico, clínico, de mercado/negocio y regulatorio como se observa en la figura 9. La plataforma GAITS guía a los equipos mediante hitos y entregables específicos, reduciendo riesgos y acelerando el avance del proyecto.



**Figura 9. Ciclo de innovación sanitaria según GAITS. Adaptado de GAITS (28)**

En la presente tesis se van a considerar las siguientes etapas del ciclo:

**Necesidad:** Esta etapa se centra en la identificación de un problema de salud o una brecha en la práctica clínica que requiera una solución innovadora. Su objetivo es definir el contexto y justificar la pertinencia de abordar el desafío planteado.

**Idea:** Una vez reconocida la necesidad, se formula una propuesta preliminar de solución. Aquí se esbozan los principios conceptuales de la tecnología y su propósito para hacer frente al problema identificado.

**Prueba de concepto:** Consiste en demostrar, a nivel inicial, la viabilidad técnica y funcional de la idea. Se busca evidenciar que se puede materializar en un modelo o prototipo básico que confirme la factibilidad de la solución.

**Prueba de viabilidad:** En esta etapa se analiza si la propuesta puede desarrollarse de manera práctica bajo condiciones reales, considerando recursos disponibles, limitaciones técnicas y entorno operativo. El objetivo es comprobar que la solución puede sostenerse más allá de un concepto preliminar.

**Prueba de valor:** Aquí se evalúa el impacto potencial de la innovación, verificando que la solución propuesta aporta beneficios frente a la necesidad detectada.

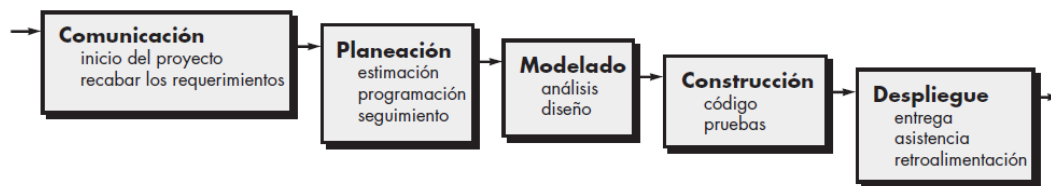
**Validación:** Etapa en la cual se confirma que la solución cumple con los requisitos establecidos y responde efectivamente al problema inicial. Esto puede involucrar pruebas técnicas, clínicas y de aceptación por parte de los usuarios.

## 3.2. Selección de la metodología

En esta sección se elige el marco metodológico a seguir para el desarrollo del sitio web acompañando a la escala de GAITS. Se consideraron a evaluar 3 metodologías: el modelo en cascada, el modelo de desarrollo rápido de aplicaciones y la norma VDI 2206. A continuación, se detallarán cada una y se compararán.

### 3.2.1. Modelo en cascada

El modelo en cascada fue el primero en la historia en ser propuesto para el desarrollo de software. Pressman et al. (29) explican que este funciona de forma lineal y secuencial donde se completa una fase antes de pasar a la siguiente como aparece en la figura 10.



**Figura 10. Etapas del modelo en cascada. Tomado de Pressman (29)**

Este comprende las siguientes fases:

**Comunicación:** En esta fase se establecen los requerimientos del sistema donde se identifican las necesidades del usuario y se documentan las funcionalidades esperadas.

**Planeación:** Incluye la estimación del esfuerzo, la programación del cronograma y el seguimiento del proyecto.

**Modelado:** Se diseña una representación estructurada del sistema, incluyendo su arquitectura, componentes y relaciones.

**Construcción:** Se codifican los módulos definidos en el diseño y posteriormente se validan mediante pruebas

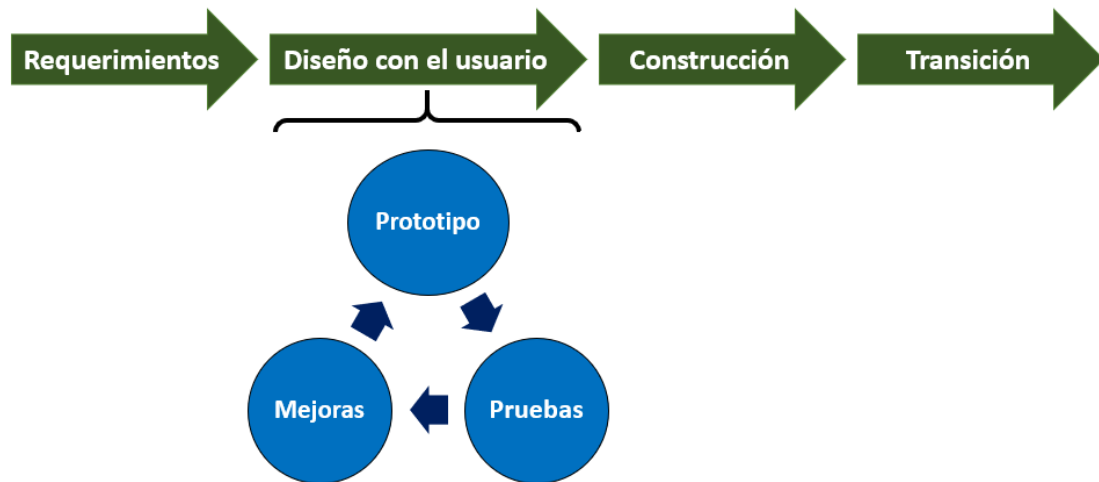
**Despliegue:** Incluye la entrega del producto terminado, la asistencia con problemas y la retroalimentación de los usuarios.

No obstante, este modelo presenta varias desventajas relevantes para el presente proyecto. En primer lugar, depende en gran medida de que los requerimientos iniciales estén completamente claros desde el inicio, lo cual no siempre ocurre en entornos reales. Asimismo, su flujo estrictamente secuencial dificulta la adaptación a cambios que puedan surgir durante el desarrollo, ya que no contempla mecanismos formales para retroceder y ajustar fases ya completadas. Como consecuencia, aspectos del sistema que no satisfagan al usuario pueden detectarse recién al finalizar el producto. Tal como señalan Saravanos et al. (30), el modelo en cascada es más apropiado para proyectos en los que no se esperan modificaciones durante su ejecución, debido a la inflexibilidad inherente de avanzar fase por fase sin posibilidad de volver atrás frente a nuevas necesidades del usuario final.

### **3.2.2 Desarrollo rápido de aplicaciones**

El modelo de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD) es considerado por la IEEE (31) como una metodología ágil. Es decir que presenta ciclos de desarrollo cortos e iterativos, con participación frecuente del usuario. Se utiliza principalmente en el desarrollo de

aplicaciones que manejan grandes volúmenes de datos. Se caracteriza por desarrollar componentes funcionales en poco tiempo, lo que permite validar continuamente con los usuarios y ajustar el sistema. Sus etapas se observan en la figura 11.



**Figura 11. Fases del desarrollo rápido de aplicaciones. Adaptado de Shaker (32)**

Como explica Shaker et al. (32) las fases de RAD se refieren a lo siguiente:

**Requerimientos:** Los miembros del proyecto que incluye tanto a los desarrolladores como a los usuarios deciden en conjunto las especificaciones que tendrá el software deseado.

**Diseño con el usuario:** Se desarrollan prototipos del sistema que son revisados continuamente por los usuarios finales. Es un proceso muy iterativo donde se diseña, prueba, recibe retroalimentación y se mejora el prototipo.

**Construcción:** Consiste en la programación del sistema completo o de sus módulos en base al resultado del diseño.

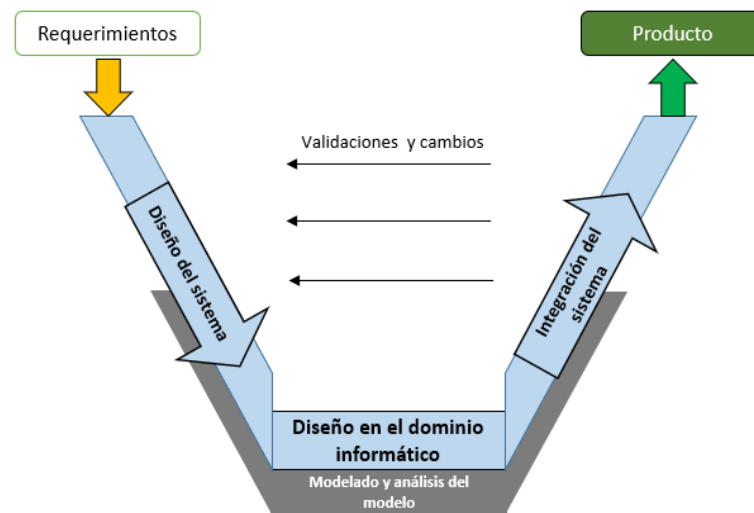
**Transición:** En este paso a producción se da la implementación del sistema en el entorno operativo.

El modelo RAD ha sido aplicado en desarrollos vinculados al mantenimiento de equipos biomédicos; por ejemplo, el sistema SGMB (15) mencionado en el estado del arte implementó esta metodología para la construcción de un software orientado a la gestión del mantenimiento bajo lineamientos de la OMS. Aunque RAD es ideal para proyectos que requieran un desarrollo acelerado, no es la opción más apropiada para el presente trabajo. Para empezar, el presente proyecto es desarrollado principalmente por un solo responsable, lo que impide desarrollar los prototipos necesitados en un periodo de tiempo

corto. Además, RAD requiere la participación constante de muchos usuarios para revisar cada iteración. En el contexto de este proyecto, los usuarios pertenecen al área de equipos médicos de la clínica, cuyo trabajo operativo limita significativamente su disponibilidad para intervenir de forma frecuente en ciclos de validación.

### 3.2.3. VDI 2206

La norma VDI 2206 desarrollada por la Verein Deutscher Ingenieure o Asociación de Ingenieros Alemanes y, como define Gräßler et al. (33), propone una metodología basada en un modelo en V como se muestra a continuación en la figura 12.



**Figura 12. Modelo en V propuesto por la norma VDI 2206. Adaptado de Gräßler (33)**

El símbolo de la «V» representa la disgregación del sistema en sus elementos en la parte izquierda y la integración gradual de elementos y subsistemas en un todo en su contraparte derecha. Además de estas dos secciones de la «V», las propiedades del producto en desarrollo se validan y verifican continuamente. Los requerimientos se representan gráficamente como una entrada, por lo que el resultado es un producto. Las flechas entre las dos secciones de la «V» hacen referencia al aseguramiento de las propiedades que comprenden las actividades de verificación y validación. En este punto, la garantía de las propiedades se indica de derecha a izquierda, lo que da a entender que ocurre como un proceso retrospectivo. Por lo tanto, esta metodología se centra en la identificación clara de los requisitos de un sistema para su diseño y posterior integración hasta obtener un

producto final. En base a esto se produce una retroalimentación en forma de verificación o validación para realizar los cambios necesarios.

Las etapas a cumplir en la VDI 2206 son las siguientes:

**Obtención de requisitos:** Esto constituye la base del proceso de desarrollo. Se centra en la definición y clarificación de la tarea de diseño, expresada en forma de requisitos funcionales y técnicos. Estos requisitos se convierten en la referencia con la cual se evaluará posteriormente el sistema desarrollado.

**Arquitectura y diseño del sistema:** Esta etapa representa el diseño conceptual del software. En este caso comprende la estructuración del programa de software en sus módulos y componentes, incluidas las respectivas interfaces que se van a mostrar de cara al usuario.

**Implementación de los elementos del sistema:** En el caso propuesto en este proyecto, los elementos vienen a ser los de un software. Por lo tanto, la implementación incluye la conversión del diseño de software en un programa informático. Esto se produce en el apartado del desarrollo. A partir de la arquitectura ya propuesta, las funciones se implementan y se genera el código requerido. Los modelos de bases de datos ya pensados se implementan en esquemas concretos y se construye la interfaz de usuario.

**Integración del sistema:** La integración tiene como objetivo que el sistema global integrado cumpla los requisitos especificados anteriormente. La interacción de los componentes implicados se examina en forma de simulaciones con el software para obtener los resultados previstos.

**Verificación y validación:** Durante esta etapa se comprueba que el sistema integrado cumpla con los requisitos establecidos en la fase inicial. La verificación asegura la correspondencia entre el diseño y la implementación, mientras que la validación confirma que el sistema responde efectivamente a las necesidades definidas.

El modelo en V ha demostrado su utilidad en desarrollos relacionados con la gestión del mantenimiento en entornos de salud. Un ejemplo es el trabajo “Diseño y prototipado de un CMMS para centros de salud en San Pedro Sula” desarrollado por Rodríguez M (34), donde se adopta este enfoque para estructurar y validar progresivamente un CMMS.

Con el objetivo de seleccionar la metodología más adecuada para el desarrollo del presente proyecto, se realizó una comparación comparando distintos aspectos. Los principales puntos se resumen en la tabla 2.

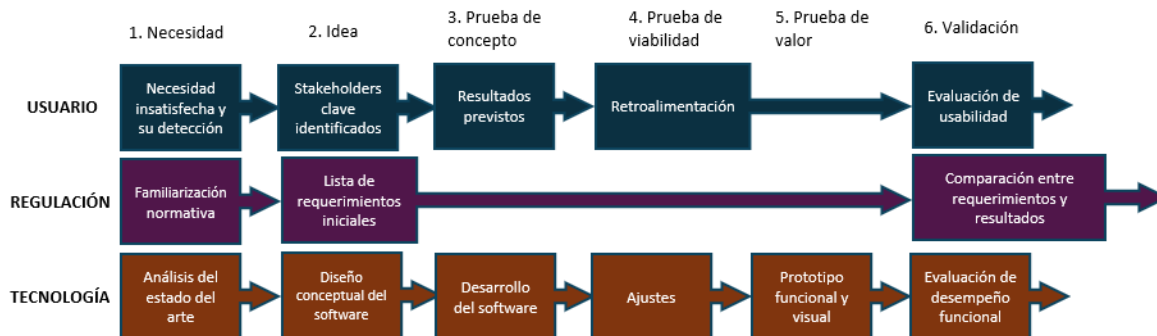
**Tabla 2. Comparación entre las metodologías de desarrollo. Elaboración propia.**

| <b>Característica</b>            | <b>Cascada</b>          | <b>RAD</b>                                                 | <b>VDI 2206</b>                                         |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Enfoque</b>                   | Secuencial y lineal     | Iterativo y rápido                                         | Modelo en V                                             |
| <b>Flexibilidad</b>              | Baja                    | Alta                                                       | Media                                                   |
| <b>Participación del usuario</b> | Baja                    | Muy alta y constante                                       | Moderada                                                |
| <b>Ventaja principal</b>         | Estructura sencilla     | Desarrollo acelerado                                       | Trazabilidad y retroalimentación                        |
| <b>Adecuación al proyecto</b>    | Limitada por su rigidez | Limitada por requerir muchos ciclos y usuarios disponibles | Adecuada por relacionar requisitos, diseño y validación |

En ese sentido, la norma VDI 2206 fue seleccionada para complementar al modelo GAITS porque, a diferencia de metodologías como cascada, que plantea un proceso lineal rígido y RAD, que exige ciclos acelerados de prototipado con una participación intensa y continua del usuario, VDI 2206 integra características de ambos enfoques al tener el modelo en V. Este enfoque vincula de manera directa las fases de definición de requisitos, diseño, implementación e integración con sus correspondientes actividades de verificación y validación, permitiendo incorporar ajustes basados en la retroalimentación del usuario sin demandar una participación excesiva. De esta manera, se facilita la trazabilidad entre los requisitos iniciales del sistema y los resultados obtenidos en el producto final. Asimismo, este modelo resulta adecuado para verificar que el software desarrollado responde correctamente a los requerimientos planteados y puede ser evaluado de forma estructurada con los usuarios.

### **3.3. Metodología VDI-GAITS**

La presente tesis toma como base la norma VDI 2206 y la escala de GAITS, como ya se mencionó, esta última tiene cuatro vertientes: Clínico, negocios, regulatorio, y tecnológico. En este caso las perspectivas clínicas y de negocios están compaginadas en una llamada “usuario”. Esta metodología propuesta que toma como base ambos componentes, se estableció como se observa en la figura 13:



**Figura 13. Metodología GAITS-VDI adaptada al proyecto. Elaboración propia**

Asimismo, las fases planteadas en la metodología mantuvieron correspondencia con la lógica de checkpoints propuesta en la revisión 2020 de la norma VDI 2206 publicada por Gräßler et al. (35), los cuales funcionan como puntos de control asociados a distintas etapas de un proyecto. En ese sentido:

- La identificación de necesidades y requerimientos se relacionó con el checkpoint de especificación.
- El diseño conceptual del sistema se asoció con el checkpoint de arquitectura.
- El desarrollo de la aplicación correspondió con el checkpoint de implementación.
- Y las evaluaciones se vincularon con el checkpoint de integración.

Se consideraron únicamente aquellos checkpoints que mantenían relación directa con las etapas consideradas de GAITS, utilizándolos como referencia para estructurar el avance del proyecto y mantener correspondencia entre los requisitos, el desarrollo del sistema y las actividades de evaluación realizadas. A continuación, se describen dichas fases adaptadas al contexto del presente proyecto y las actividades llevadas a cabo en cada una de ellas.

### 3.3.1. Necesidad

En esta fase, la metodología plantea identificar las necesidades del usuario con el fin de reconocer los requerimientos insatisfechos relacionadas con la gestión de mantenimiento de equipos médicos.

En el caso de la CMCH, se contemplaron dichas necesidades a nivel de usuario, explorando junto con el ingeniero encargado cuáles eran las principales falencias en los registros de mantenimiento. Asimismo, se investigaron las normas y regulaciones

aplicables al software de gestión de mantenimiento para equipos médicos. Finalmente, se llevó a cabo un análisis del estado del arte con el propósito de revisar programas similares desarrollados en este campo.

### **3.3.2. Idea**

En esta fase, la metodología plantea transformar las necesidades previamente identificadas en una propuesta inicial de solución tecnológica. El objetivo es establecer de manera preliminar los lineamientos de lo que se busca desarrollar, considerando a los actores involucrados y las funciones que debe cumplir el sistema.

En el caso del presente proyecto, se identificaron a los *stakeholders* principales, es decir, los interesados en el desarrollo y uso del sistema, entre ellos el personal técnico responsable del mantenimiento de equipos médicos. A partir de las entrevistas realizadas se construyó una lista de requerimientos iniciales que recogía las principales necesidades operativas. Con esta base, se dio inicio al diseño conceptual de la aplicación web.

### **3.3.3. Pruebas de concepto, viabilidad y valor**

La prueba de concepto busca evidenciar que la solución propuesta es técnicamente factible en un modelo inicial. La prueba de viabilidad se orienta a comprobar si dicha solución puede desarrollarse de forma adecuada bajo condiciones reales. La prueba de valor tiene como propósito determinar si la propuesta es percibida como útil por los usuarios.

En el presente proyecto, la prueba de concepto se tradujo en el inicio del desarrollo del software, tomando como referencia los requerimientos establecidos por el área de equipos médicos. Posteriormente, durante la prueba de viabilidad, se presentó un módulo funcional del sistema al ingeniero encargado, con el fin de obtener retroalimentación tanto en los aspectos visuales como en los funcionales; a partir de ello, se realizaron los ajustes necesarios conforme a la norma VDI 2206. Por último, en la prueba de valor se obtuvo como resultado el prototipo funcional y visual del sistema.

### **3.3.4. Validación**

La validación constituye la fase en la que se confirma que la solución desarrollada responde de manera efectiva a las necesidades y requisitos planteados al inicio del proyecto. Esta etapa implica verificar tanto el desempeño técnico como la aceptación de los usuarios, con el objetivo de asegurar que el sistema funcione correctamente.

En el caso de la presente investigación, la evaluación se dividió en tres dimensiones: de usabilidad, funcional y de cumplimiento de requerimientos. La primera se realizó mediante la aplicación de la encuesta estandarizada UMUX, que permitió calcular la usabilidad percibida del sistema y la satisfacción de los usuarios. La evaluación funcional se llevó a cabo utilizando información histórica del área de equipos médicos, cargada en el sistema para ejecutar consultas y organizar los datos según distintos criterios. Finalmente, el cumplimiento de requerimientos se evaluó a través de un cuadro comparativo entre los requerimientos definidos inicialmente y las funcionalidades implementadas en el software, asegurando así la correspondencia entre lo planteado y lo logrado.

## IV. DISEÑO Y DESARROLLO

En este capítulo se expone el proceso de diseño y desarrollo de la aplicación web donde se consideran las tres perspectivas mencionadas anteriormente: usuario, regulación y tecnología. A lo largo de este capítulo se presentan desde la identificación de las necesidades en el área de equipos médicos hasta la presentación del prototipo funcional y visual del sitio web.

### 4.1. Necesidad insatisfecha y su detección

De acuerdo con la metodología GAITS, se inicia en el dominio de usuario con la identificación de las necesidades insatisfechas. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con el responsable del área de equipos médicos, que permitieron recopilar información cualitativa sobre los procesos relacionados a la gestión de equipos médicos con sus datos y las características que debería poseer la solución tecnológica propuesta.

Las preguntas están basadas en los lineamientos establecidos por la OMS en sus documentos “Sistema computarizado de gestión del mantenimiento” (16) e “Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico” (1), los cuales resaltan la importancia de contar con herramientas que permitan el registro estructurado del inventario, la estandarización de la información, el acceso oportuno a los datos relevantes y el soporte a la toma de decisiones. En el Anexo A se puede observar a qué documento hace referencia cada pregunta.

A continuación, se describen las entrevistas realizadas:

#### **Primera entrevista**

**Fecha:** 05/12/2023

**Modalidad:** Presencial

**Ubicación:** Oficina del área de equipos médicos de CMCH

#### **Preguntas:**

1. ¿Qué herramientas utiliza actualmente el área de equipos médicos para el registro del inventario y el seguimiento de las actividades de mantenimiento?
2. ¿Qué dificultades se presentan en relación con la estandarización y consistencia de los datos registrados?
3. ¿Qué tan eficiente resulta el sistema actual para presentar información relevante a la gerencia u otros usuarios?

**Puntos clave:**

- El área de equipos médicos no cuenta con un sistema especializado. El inventario de equipos médicos y la gestión de su mantenimiento se realizan mediante Google Sheets.
- Existe poca estandarización tanto en el inventario como en el registro de actividades. Se pueden encontrar datos como nombres de equipos que deberían ser iguales, escritos de forma diferente producto de errores humanos. Esto ocasiona un problema al momento de la generación de reportes y gráficos.
- Dificultad de presentar la información a gerencia o usuarios por la gran magnitud de datos al tener más de 800 equipos en el inventario, más de 700 entradas en el registro de actividades y un gran número de servicios dentro de la clínica.

**Segunda entrevista**

**Fecha:** 12/04/2024

**Modalidad:** Presencial

**Ubicación:** Oficina del área de equipos médicos de CMCH

**Preguntas:**

1. En caso de implementarse un sistema para la gestión de los equipos médicos ¿Qué características de acceso o usabilidad deberían contemplarse?
2. ¿Qué información se registraría para cada equipo médico y qué otras funcionalidades servirían para facilitar la gestión?

**Puntos clave:**

- El sistema debe contar con 2 tipos de usuario como mínimo. Uno para el personal técnico y otro para el área asistencial con el de gestión.
- Un punto a favor sería poder colocar datos adicionales relacionados a un equipo si es que se necesita. Además de información de contacto del personal de los proveedores que conozcan sobre un equipo en específico.
- De ser posible que pueda funcionar en celulares.
- Con capacidad mínima para 1000 equipos.
- Los campos más importantes de los equipos al momento de su registro son: Nombre del equipo, marca, modelo, serie, estado, tipo, nivel, fecha de fabricación, proveedor, sede, ambiente, UPSS y servicio.

Analizando cada uno de los puntos clave obtenidos a lo largo de ambas entrevistas, podemos resumirlo en la tabla 3:

**Tabla 3. Información extraída de las entrevistas. Elaboración propia**

| Problemas                                                                                                                                           | Características                                                                                                                                               | Campos de información                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Falta de un sistema especializado.<br>-Ausencia de un protocolo para el registro de datos de equipos.<br>-Presentación de información ineficiente. | -Diferentes tipos de usuario.<br>-Posibilidad de añadir información no categorizada a cada equipo<br>-Funcionalidad móvil<br>-Alta capacidad de base de datos | -Identificación: Nombre, marca, modelo, serie<br>-Localización: Sede, ambiente, UPSS, servicio<br>-Características: Estado, tipo, nivel, fecha de fabricación, proveedor |

## 4.2. Familiarización normativa

En cuanto al apartado regulatorio se encontró la norma ISO 55000, que habla sobre la gestión de activos. También se hallaron cinco documentos de recomendaciones de la OMS de las cuales resalta su publicación sobre los sistemas CMMS, pertinente para esta investigación porque el sitio web a desarrollar tiene características similares. Asimismo, se consideró incluir la Resolución Ministerial N°533-2016-MINSA que destaca por presentar lineamientos para elaborar un plan de mantenimientos. Estos tres escritos serán expuestos a continuación:

### **ISO 55000:**

En la norma ISO 55000 (36) aparecen estándares internacionales desarrollados para establecer principios y requisitos para la gestión de activos. Esta norma define que un activo es cualquier objeto o entidad que tiene valor para una institución, en este caso se consideran a los equipos médicos como activos. Aquí se exponen prácticas comunes que pueden ser utilizadas en cualquier escala de activos en diferentes tipos de organizaciones. Este documento proporciona generalidades sobre la gestión de activos y sus sistemas relacionados. También describe sus principios, resultados y beneficios esperados al

adoptar un sistema de gestión de activos. Cabe recalcar que está principalmente enfocada en un tipo de activo físico. Sin embargo, puede aplicarse a otros tipos por igual.

De acuerdo a la norma, el sistema de gestión de activos es un conglomerado de componentes organizados e interconectados que tiene como propósito definir las políticas y metas relacionadas con la administración de activos, así como los procedimientos fundamentales para lograr los objetivos planteados. Además, la gestión de activos requiere de información precisa. Por lo tanto, se relaciona con una variedad de procesos dentro de la organización. Los activos pueden servir más de un propósito y ayudar a muchas áreas en la misma organización. La colaboración y la relación entre estas áreas operativas pertenecientes a dicha institución se coordinan mediante un sistema de gestión de activos.

**Puntos clave:**

- La administración de los activos se fundamenta en el uso extensivo de información, herramientas y procedimientos destinados a recopilar, estructurar, y aprovechar los datos relacionados con dichos activos.
- Un sistema de gestión de activos ofrece una perspectiva sostenible y duradera para la toma de decisiones.
- Los sistemas que guardan la información referente a los activos tienden a ser muy abarcadores y complejos. La creación, administración y documentación de la información es una característica fundamental del sistema de gestión de activos
- Las no conformidades sean estas potenciales o no, pueden detectarse mediante verificaciones y revisiones de gestión. Las primeras precisan la ejecución de acciones correctivas. Por otro lado, las potenciales necesitan que se efectúen acciones preventivas.
- La institución debe definir, aplicar y conservar los procedimientos destinados a la administración de sus datos.
- La organización debe considerar que, al elaborar o actualizar la información documentada, esta debe estar debidamente identificada y presentada con el formato correspondiente.
- Para que la información documentada del sistema de gestión de activos esté disponible para ser usada correctamente y en todo momento, es necesario que ella sea debidamente controlada por la organización.

- Las acciones correctivas se refieren a aquellos procedimientos implementados para tratar los factores que producen no conformidades detectadas. Estas tienen como objetivo administrar sus efectos y evitar que vuelvan a ocurrir
- Las acciones preventivas, que a menudo llegan a incluir medidas predictivas, son implementadas de forma proactiva para impedir que posibles fallas o incidentes lleguen a producirse, actuando sobre sus causas probables.

### **Computerized maintenance management system:**

Esta publicación de la OMS (16) tiene como objetivo principal apoyar a los hospitales y otros establecimientos de atención médica en la gestión eficaz del mantenimiento de sus equipos médicos, mejorando su seguridad, funcionalidad y durabilidad. Se menciona que la necesidad de administrar la tecnología médica de manera más eficiente y eficaz se hace evidente en concordancia con la expansión de los centros de salud y la gran cantidad de equipos médicos de quienes dependen con la finalidad de otorgar una atención médica de alta calidad. En ese sentido, los CMMS permiten a los administradores y técnicos monitorear, planificar y llevar un registro del mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar que los equipos funcionen correctamente.

Una CMMS se compone de campos, tablas y módulos alimentados con información recolectada del área encargada de los equipos médicos dentro de un centro hospitalario. Con una CMMS, se puede acceder a los datos críticos, manipularlos y analizarlos a través de interfaces intuitivas y accesibles. El sistema puede tener la capacidad de producir reportes que sirvan de apoyo a quienes tomen decisiones sobre tecnologías sanitarias. Sin embargo, es importante tener en cuenta múltiples factores a la hora de decidir adoptar y desarrollar un CMMS. Elementos como la disponibilidad de bienes financieros y técnicos resultan determinantes al momento de decidir entre la compra de un CMMS comercial, la utilización de programas de código abierto o si se desarrolla un sistema de manera interna.

### **Puntos clave:**

- Un sistema CMMS centraliza la gestión de toda la información relacionada a equipos médicos dentro de una base de datos. Este incluye interfaces, tablas y módulos.

- La parte más importante de un CMMS se considera el módulo del inventario, este a su vez debe ser el primero en elaborarse. Es fundamental que este contenga todas las secciones de información requeridas para una buena gestión.
- Cuando se incorporan nuevos equipos dentro de la tabla del inventario, éstos se registran en la base de datos del sistema a través de una interfaz para el ingreso de la información.
- El apartado destinado a los mantenimientos dentro del sistema, permite al usuario administrar eficazmente su cronograma de mantenimiento. Este puede utilizarse para los preventivos anteriormente programados y para los correctivos.
- El equipo encargado de los equipos médicos debe involucrarse en cada etapa del planeamiento e implementación del CMMS.
- La adaptación conforme a los procesos que ya se ejecutan en el centro hospitalario debe ser llevada a cabo previo a que se ingrese la información.
- Resulta beneficioso asignar a quienes se encargan de los equipos médicos a rellenar la base de datos, ya que están familiarizados con las definiciones utilizadas. La funcionalidad completa del sistema puede probarse con un conjunto de datos.
- Es importante que cada miembro del personal encargado de los equipos médicos esté completamente familiarizado con la totalidad de funcionalidades del CMMS.

### **Resolución Ministerial N.º 533-2016-MINSA:**

En esta resolución, el MINSA (37) aprueba el Documento Técnico “Lineamientos para la elaboración del Plan Multianual de Mantenimiento de la Infraestructura y el Equipamiento en los Establecimientos de Salud”. Este establece que el objetivo principal de la implementación de la gestión de mantenimiento es mejorar los servicios de salud para la población y garantizar estándares de calidad en un proceso de mejora progresivo para la certificación y reconocimiento de las entidades que prestan servicios sanitarios. Aunque este documento está principalmente dirigido al sector público, los lineamientos proporcionados por el MINSA también se pueden considerar en el sector privado porque son generales y sirven como referencias para estandarizar las buenas prácticas y criterios técnicos que permitan una gestión de mantenimiento adecuada.

Algunos de estos lineamientos principales que promueve este documento son el incluir a la gestión del mantenimiento en establecimientos de salud. Se incluye el aseguramiento de que la infraestructura y los equipos estén en condiciones adecuadas para la atención de los pacientes, con lo que se garantiza la calidad y seguridad, por lo que se minimiza los riesgos al momento de la prestación de los servicios de salud. Esto también permite promover la sostenibilidad en la etapa post inversión inicial.

**Puntos clave:**

- El cronograma de mantenimiento contiene el detalle de las tareas preventivas y correctivas que deben realizarse dentro de un plazo de tiempo determinado, en el cual se indican frecuencia, horas y coste referencial de cada actividad.
- Dicho programa debe incluir la programación temporal de las actividades, con el fin de estimar los recursos requeridos, asignar de manera adecuada a los trabajadores, bienes materiales y financieros y simplificar el monitoreo del programa.
- Las intervenciones de mantenimiento que se consideran son las correctivas y las preventivas
- Un sistema con datos de mantenimiento hará posible disponer de datos confiables sobre la administración, facilitando así una toma de decisiones adecuada.
- El equipamiento se evalúa para definir si necesita actividades preventivas, correctivas o reposición, tomando en cuenta ciertos criterios técnicos.

Con la información recabada de las tres normativas expuestas, se obtuvieron las recomendaciones a seguir al momento del diseño del sistema, presentadas en la tabla 4.

**Tabla 4. Recomendaciones de las normativas. Elaboración propia**

| Documento | Recomendaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 55000 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La institución debe definir, aplicar y conservar los procedimientos destinados a la administración de sus datos.</li> <li>• La organización debe considerar que, al elaborar o actualizar la información documentada, esta debe estar debidamente identificada y presentada con el formato correspondiente.</li> <li>• Para que la información documentada del sistema de gestión de activos esté disponible para ser usada correctamente y en todo</li> </ul> |

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | momento, es necesario que ella sea debidamente controlada por la organización.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| CMMS                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar al personal técnico en el uso del sistema para garantizar su familiaridad y correcta operación.</li> <li>• Es importante que cada miembro del personal encargado de los equipos médicos esté completamente familiarizado con la totalidad de funcionalidades del CMMS.</li> <li>• Cuando se incorporan nuevos equipos dentro de la tabla del inventario, éstos se registran en la base de datos del sistema a través de una interfaz para el ingreso de la información.</li> </ul> |
| Resolución Ministerial N.º 533-2016 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar explícitamente el mantenimiento preventivo y correctivo como pilares funcionales del sistema.</li> <li>• Incorporar un sistema que permita obtener información confiable actualizada para la toma de decisiones operativas.</li> <li>• Evaluar el estado del equipamiento técnico con base en criterios establecidos, para decidir acciones correctivas, preventivas o de reemplazo.</li> </ul>                                                                                   |

### 4.3. Análisis del estado del arte

El estado del arte presentado en el Capítulo I, brinda una mirada de las diferentes soluciones tecnológicas orientadas a la gestión del mantenimiento de equipos médicos, tanto en el ámbito comercial como en el académico. En base a este, se realizó un análisis para evaluar las características más resaltantes entre los diferentes sistemas comerciales y aquellos que han sido desarrollados para efectuar estudios de carácter investigativo. Bajo este análisis, las especificaciones principales con las que debería contar un sistema de este tipo se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Solución ideal. Elaboración propia**

|                  | <b>Solución Ideal</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Funciones</b> | <p><b>-Crear usuarios que tengan diferentes tipos con limitaciones de acceso:</b> Este control limita el acceso y la modificación de datos confidenciales relacionados con los equipos médicos, lo que reduce el riesgo de errores.</p> <p><b>-Crear un inventario donde se puedan observar los parámetros importantes de cada equipo:</b> Esta funcionalidad facilita la planificación de mantenimiento y la toma de decisiones al brindar a los responsables de equipos médicos una visión clara y en tiempo real del estado de los recursos disponibles.</p> <p><b>-Listar el inventario filtrando el sistema con varias opciones:</b> Sirve para ofrecer flexibilidad operativa para la eficiencia de la gestión de equipos.</p> <p><b>-Registrar actividades realizadas por el área de equipos médicos:</b> Hacer esto proporciona una trazabilidad completa de las intervenciones, lo que es esencial para la evaluación del desempeño del área</p> <p><b>-Registrar cronogramas de mantenimiento:</b> Esto reduce el riesgo de fallas imprevistas y prolonga la vida útil de los dispositivos médicos, lo cual es fundamental para el funcionamiento de los centros de salud.</p> <p><b>-Registrar información sobre las características y proveedores:</b> Esto facilita la coordinación interna entre las áreas técnicas y ayuda a tener una mejor organización de la información.</p> |
| <b>Módulos</b>   | <p><b>-Perfil</b></p> <p><b>-Usuarios</b></p> <p><b>-Inventario</b></p> <p><b>-Eventos</b></p> <p><b>-Mantenimiento</b></p> <p><b>-Características</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | Estos módulos se consideraron al ir de la mano con las funcionalidades anteriormente descritas. También porque son los básicos necesarios para la gestión apropiada.                                                                                                               |
| <b>Disponibilidad para uso móvil</b> | <b>Sí</b><br>Se considera porque la movilidad y accesibilidad son esenciales para mejorar la productividad y poder ingresar a la información en cualquier lugar.                                                                                                                   |
| <b>Base de datos</b>                 | <b>MySQL</b><br>Tal y como aparece en el estado del arte, es una de las bases de datos más usada.                                                                                                                                                                                  |
| <b>Lenguaje de programación</b>      | <b>Javascript</b><br>En este caso, a pesar de que el usado para sitios web en el estado del arte sea mayormente PHP, en este caso se opta por JavaScript con el objetivo de unificar el lenguaje en el frontend (y el backend (mediante Spring Boot, con soporte para JavaScript). |
| <b>Plataforma</b>                    | <b>Sitio Web</b><br>La plataforma en la se utilizará el software es un sitio web para facilitar el acceso sin importar la localización y su misma accesibilidad desde celulares.                                                                                                   |

#### 4.4. Stakeholders clave identificados

En la perspectiva de usuario, los Stakeholders fueron identificados mediante un estudio que permitió reconocer a los actores clave dentro de CMCH involucrados en la gestión de mantenimiento de equipos médicos. Por lo cual, en este proyecto, bajo el análisis de sus funciones y responsabilidades dentro de la institución, fueron determinados por áreas estratégicas.

**Área de equipos médicos:** Ya que son ellos quienes se encargan de la gestión y de los equipos biomédicos y de comprobar su funcionamiento, este grupo es el principal beneficiario del software. Este software permitirá mejorar la organización del inventario de los equipos médicos, el registro de los eventos y la planificación de mantenimientos.

Su aporte en la fase de diseño y evaluación del software es esencial para garantizar que cumpla con las necesidades operativas.

**Gerencia de la clínica y Personal Asistencial:** Ambos grupos se ven beneficiados por el acceso estructurado a la información que proporciona el sistema. Sin embargo, no podrían hacer cambios en la base de datos. La gerencia es responsable de la toma de decisiones estratégicas y financieras, por lo que contar con datos confiables mejora su capacidad de planificación. Por otro lado, el estado y la disponibilidad de los equipos biomédicos determinan el desempeño del área asistencial.

#### 4.5. Lista de requerimientos iniciales

En la perspectiva de regulación, resulta fundamental traducir los lineamientos normativos y las recomendaciones aplicables en un conjunto de requerimientos claros que orienten el desarrollo del software. Una lista de requerimientos o exigencias constituye un insumo esencial en el proceso de desarrollo de un software, ya que permite organizar y priorizar las necesidades identificadas en función de los usuarios, la normativa y el estado del arte. Estos requerimientos integran tanto exigencias técnicas como deseos funcionales, estableciendo así una base sólida para guiar el diseño conceptual del sistema y asegurar que cumpla con los criterios de operatividad, confiabilidad y usabilidad esperados.

La lista de requerimientos definida para este proyecto se presenta en la tabla 6.

**Tabla 6. Lista de requerimientos. Elaboración propia**

| Deseo o Exigencia | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                            | Justificación                           |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Exigencia         | <b>Funcionalidades:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incluir el inventario de equipos, eventos y mantenimientos.</li> <li>- Registro y modificaciones detalladas de cada uno de estos campos.</li> <li>- Filtrado de información según categorías determinadas.</li> </ul> | Estado del Arte y Regulaciones          |
| Exigencia         | <b>Módulos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perfil</li> <li>- Usuarios</li> <li>- Inventario</li> </ul>                                                                                                                                                                   | Estado del Arte y Necesidad del usuario |

|           |                                                                                                                                                                              |                                      |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eventos</li> <li>- Mantenimiento</li> <li>- Características</li> </ul>                                                              |                                      |
| Deseo     | <b>Uso portable:</b> Se podrá acceder desde cualquier lugar a la información del sistema para facilitar el trabajo                                                           | Necesidad del usuario                |
| Exigencia | <b>Escalabilidad:</b> La base de datos deberá tener capacidad de almacenar grandes volúmenes de información.                                                                 | Necesidad del usuario y Regulaciones |
| Exigencia | <b>Usabilidad:</b> El sistema tendrá una interfaz de usuario intuitiva, con una navegación clara                                                                             | Estado del Arte                      |
| Exigencia | <b>Clasificación de usuarios:</b> Se contará con diferentes tipos de usuarios para que la información solo pueda ser modificada por personal selecto y así evitar problemas. | Necesidad del usuario                |
| Exigencia | <b>Confiabilidad:</b> El sistema presentará una alta disponibilidad para asegurar que se mantenga operativo en situaciones críticas.                                         | Regulaciones                         |
| Deseo     | <b>Compatibilidad:</b> Compatibilidad con diferentes sistemas operativos y navegadores web.                                                                                  | Estado del Arte                      |

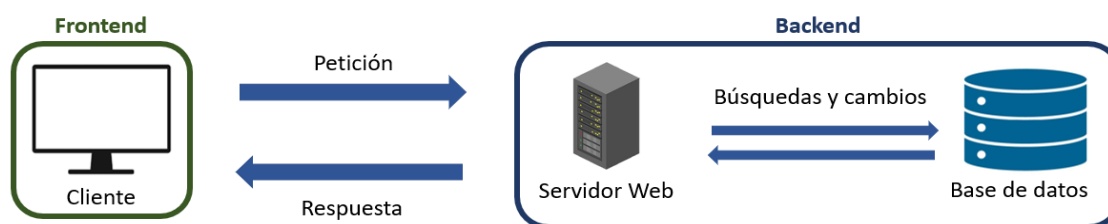
#### 4.6. Diseño conceptual del software

En la perspectiva tecnológica, el diseño conceptual del software constituye una etapa clave en el proceso de desarrollo, pues permite definir de manera estructurada cómo se organizan los componentes del sistema antes de proceder a su implementación. En esta fase se establecen los módulos principales, las interacciones entre ellos y la forma en que el sistema dará respuesta a los requerimientos identificados. En este caso, se basa en una arquitectura de tres capas: Cliente, Servidor Web, y Base de Datos como se observa en la figura 14. En esta estructura, el cliente representa la interfaz de usuario, desarrollada como una aplicación web. Esta capa permite a los usuarios interactuar con el sistema, enviando solicitudes mediante el protocolo HTTP. Este tipo de arquitectura en capas

promueve la modularidad, escalabilidad, facilidad de mantenimiento y la posibilidad de realizar mejoras futuras sin afectar la estructura del sistema.

Las solicitudes son gestionadas por el servidor web que ejecuta la lógica detrás del servicio, valida los datos y determina la respuesta adecuada. Esta parte fue implementada con un framework backend que permite separar claramente las funcionalidades.

Finalmente, la base de datos constituye el repositorio central donde se almacenan los datos relacionados con equipos médicos, eventos, mantenimientos y usuarios. Esta capa asegura la persistencia, integridad y disponibilidad de la información.

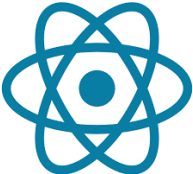


**Figura 14. Estructura del sistema. Elaboración propia**

En base al esquema planteado se elaboraron tres opciones de solución en una matriz morfológica como se puede ver a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7. Matriz morfológica. Elaboración propia**

| ESTRUCTURA    | OPCIONES                                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|               | 1                                                                                                            | 2                                                                                    | 3                                                                                     |
| Base de datos |                           |  |  |
| Backend       | <br>Java + Spring<br>Boot |  |  |

|                 |                                                                                                                      |                                                                                                                  |                                                                                                                       |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Frontend</b> | <br><b>JavaScript +<br/>ReactJS</b> | <br><b>JavaScript + Vue.js</b> | <br><b>JavaScript<br/>+Angular</b> |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### **Opción 1:**

MySQL (38) se toma como la base de datos relacional, mientras que Java con Spring Boot (39) se conecta a esta utilizando JDBC (Java Database Connectivity), lo que permite ejecutar consultas SQL de manera rápida. Spring Boot se encarga de la lógica del sistema y expone una API RESTful, la cual brinda seguridad y se comunica con el frontend. Este último está desarrollado en Javascript con el framework ReactJS (40). El cual interactúa con esta API a través de peticiones HTTP utilizando herramientas como Axios o el método `fetch()`, lo cual permite el intercambio de datos de forma dinámica. La integración entre ReactJS y Spring Boot es fluida, ya que el frontend utiliza los datos procesados por el backend para actualizar la interfaz de usuario en tiempo real sin necesidad de recargar la página, utilizando técnicas como el renderizado condicional y la gestión de estado en React.

### **Opción 2:**

PostgreSQL (41) se encarga de la gestión de datos complejos, este llega a ofrecer características avanzadas como por ejemplo que permita usar datos de tipo JSON. C# con .NET Core (42) se conecta a PostgreSQL utilizando el proveedor de datos Npgsql, para ejecutar las consultas SQL y realizar intercambios de manera rápida. El backend, desarrollado en .NET Core, da lugar a una API RESTful que permite a los clientes interactuar con el sistema y acceder a los datos necesarios. En el frontend, VueJS (43) se comunica con esta API a través de solicitudes HTTP usando bibliotecas como Axios. La naturaleza reactiva de VueJS permite que la interfaz de usuario se actualice dinámicamente en función de los datos recibidos del backend, lo que proporciona una experiencia de usuario fluida.

### Opción 3:

SQL Server (44) ofrece características únicas como el soporte para análisis en tiempo real a través de cubos OLAP, lo que facilita la generación de informes y la toma de decisiones basada en datos. En el backend, PHP (45) destaca por ser un lenguaje de programación usado ampliamente en una gran multitud de sitios web, este sería usado con el framework Laravel. Además, su integración con SQL Server permite aprovechar funcionalidades como los procedimientos almacenados, que optimizan el rendimiento al ejecutar lógica compleja repetidas veces dentro de la base de datos. En el frontend, Angular (46) aporta un enfoque estructurado al desarrollo de aplicaciones de una sola página, facilitando la creación de interfaces de usuario que sean tanto interactivas como escalables mediante su sistema de componentes.

Una vez explicadas como funcionarían cada una de estas opciones, se realizó un cuadro comparativo presentado como la tabla 8 para facilitar la elección de la que se va a ejecutar.

**Tabla 8. Cuadro comparativo entre las opciones. Elaboración propia**

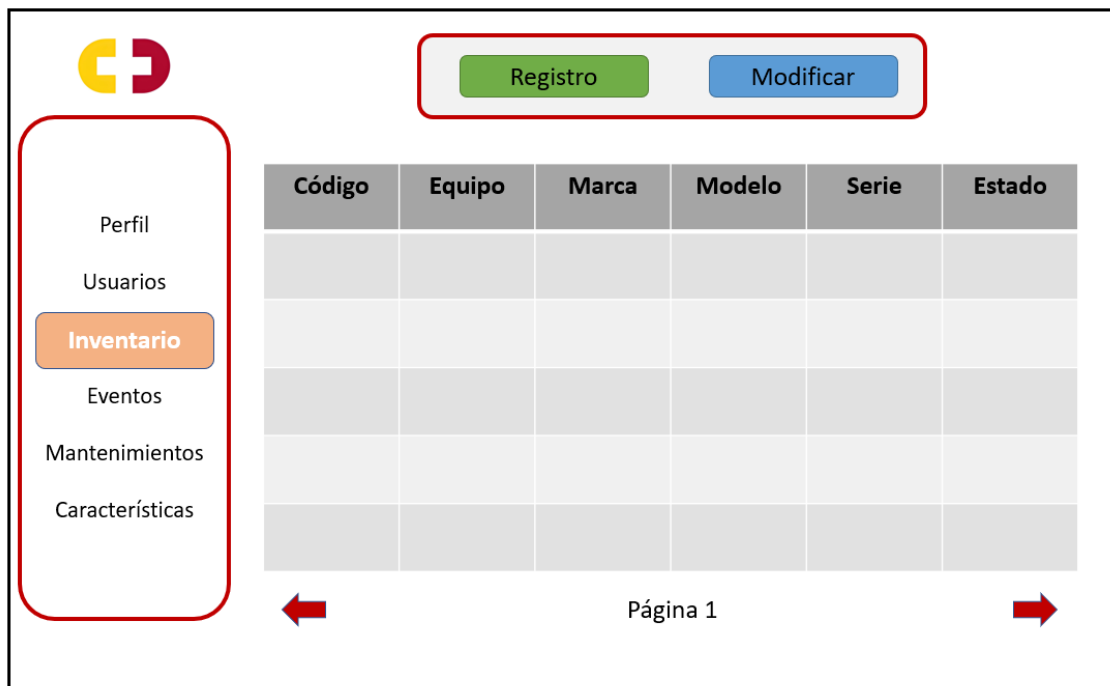
| CRITERIO             | Opción 1                                                                           | Opción 2                                                                                                              | Opción 3                                                                                               |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Base de datos</b> | <b>MySQL:</b> Altamente optimizada para consultas. Fácil de escalar verticalmente. | <b>PostgreSQL:</b> Sirve más para datos complejos, es compatible con JSON, especialmente útil en consultas complejas. | <b>SQL Server:</b> Integra Business Intelligence, por lo que es ideal para sistemas empresariales.     |
| <b>Backend</b>       | <b>Java + Spring Boot:</b> Gran soporte para microservicios y alta concurrencia.   | <b>C# + .NET Core:</b> Ideal para aplicaciones empresariales, cross-platform, alta integración con                    | <b>PHP:</b> Sencillo y rápido para desarrollo web, pero puede no escalar tan bien como otras opciones. |

|                         |                                                                                                                            |                                                                                                                                   |                                                                                                                      |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                                                            | servicios de Microsoft.                                                                                                           |                                                                                                                      |
| <b>Frontend</b>         | <b>ReactJS:</b><br>Ampliamente usada, rápida, excelente para interfaces interactivas                                       | <b>VueJS:</b> Ligera, fácil de aprender y muy flexible                                                                            | <b>Angular:</b> Ideal para aplicaciones grandes, con estructuras más robustas.                                       |
| <b>Facilidad de uso</b> | Java y Spring Boot tienen una curva de aprendizaje más pronunciada, pero proporcionan un ecosistema muy completo y maduro. | C# y .NET Core son familiares para entornos de desarrollo en Windows, con excelente documentación y herramientas.                 | PHP es más simple y rápido para prototipos, Angular tiene una curva de aprendizaje más alta que Vue.                 |
| <b>Escalabilidad</b>    | <b>Alta:</b> MySQL y Spring Boot son fácilmente escalables. ReactJS soporta aplicaciones grandes con alto rendimiento.     | <b>Alta:</b> PostgreSQL escala muy bien, y .NET Core está diseñado para aplicaciones de gran tamaño.                              | <b>Media:</b> SQL Server y Angular soportan escalabilidad, aunque PHP puede ser menos eficiente en grandes sistemas. |
| <b>Costos</b>           | <b>Bajos:</b> MySQL y ReactJS son open-source. Java y Spring Boot también lo son si se usan versiones comunitarias.        | <b>Bajos:</b> PostgreSQL es open-source. C# y .NET Core son gratuitos, pero herramientas avanzadas pueden tener costos asociados. | <b>Altos:</b> SQL Server tiene licencias costosas. Mientras que PHP y Angular son open-source.                       |
|                         | <b>Alta:</b> MySQL, Java, y React tienen múltiples                                                                         | <b>Alta:</b> PostgreSQL, C#, y Vue pueden                                                                                         | <b>Alta:</b> SQL Server y Angular ofrecen                                                                            |

|                                        |                                                                                                                                                          |                                                                                                                             |                                                                                                                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Integración con otros servicios</b> | integraciones con sistemas externos y API.                                                                                                               | conectarse fácilmente con servicios web y APIs.                                                                             | buena integración, pero PHP puede requerir más trabajo en integraciones avanzadas.                                               |
| <b>Desempeño</b>                       | <b>Alto:</b> Java + MySQL tiene un rendimiento excelente para aplicaciones empresariales y concurrentes.                                                 | <b>Alto:</b> .NET Core está optimizado para aplicaciones de alto rendimiento, al igual que PostgreSQL.                      | <b>Medio-Alto:</b> SQL Server ofrece buen rendimiento, pero PHP puede no ser tan eficiente en comparación con otros lenguajes.   |
| <b>Tiempo de desarrollo</b>            | <b>Rápido:</b> Debido a tener conocimientos previos y un modelo para la base del sistema, el tiempo se reduce considerablemente.<br><b>Est. 2 meses.</b> | <b>Moderado:</b> Se necesita más tiempo para llevar a cabo por la duración del aprendizaje y asesorías <b>Est. 4 meses.</b> | <b>Lento:</b> SQL Server y Angular requieren más tiempo para configurar y optimizar, especialmente con PHP. <b>Est. 5 meses.</b> |

Finalmente, se eligió la opción 1. Si bien las 3 opciones pueden cumplir las funciones requeridas, esta alternativa permite reducir significativamente el tiempo de desarrollo debido a que se contaba previamente con un modelo de sitio web en ReactJS y otro de API en Spring Boot. Además, cabe recalcar que todos estos componentes son de software libre por lo que no se tiene que pagar ningún tipo de licencia.

A continuación, en la figura 15, se presenta un bosquejo simple de cómo se presentaría este software en la parte del sitio web ante el usuario:



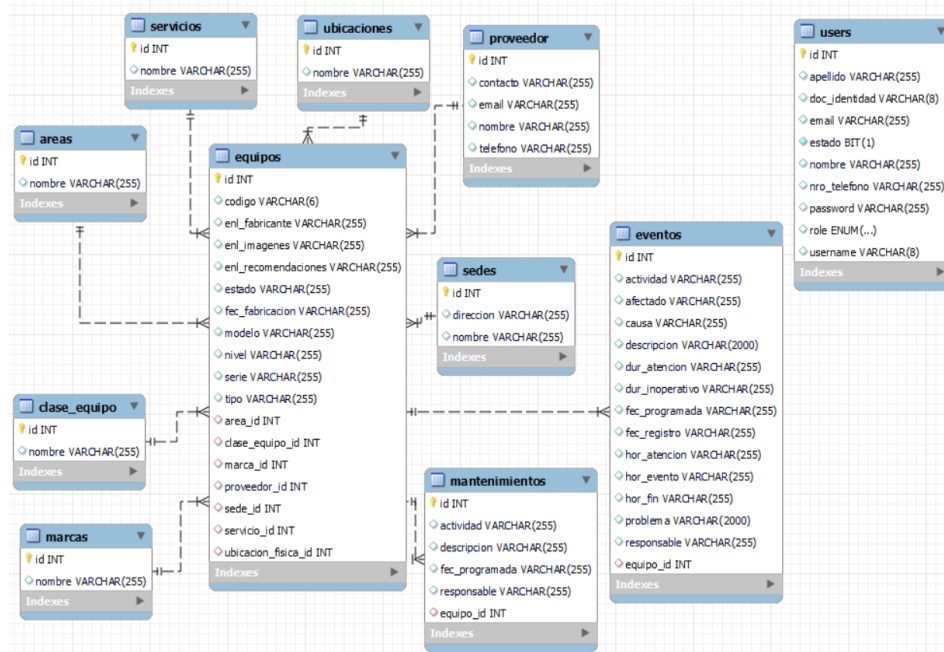
**Figura 15. Bosquejo del sitio web que muestra la pantalla de inventario, con menú lateral de navegación, barra de acciones y tabla principal. Elaboración propia**

Este tendría las funcionalidades anteriormente listadas en la lista de requerimientos y la solución ideal del análisis del estado del arte. En la parte izquierda se observan los diferentes módulos a los cuales se puede acceder. En este caso, se tiene seleccionado el inventario. El cual se muestra en la tabla de la derecha, este tendrá varias páginas que serán seleccionadas por el usuario. Adicionalmente, en la parte superior se observan los botones para acceder al registro de nuevos equipos y la modificación de estos.

#### 4.7. Desarrollo del software

En la perspectiva tecnológica, el desarrollo del software constituye la fase en la que las definiciones conceptuales se transforman en componentes funcionales. Este se llevó a cabo de manera iterativa, permitiendo realizar avances progresivos que podían ser revisados y ajustados en función de la retroalimentación del usuario. Esta forma de trabajo facilitó la incorporación temprana de funcionalidades y la corrección oportuna de observaciones, asegurando que el sistema respondiera adecuadamente a las necesidades identificadas. En la sección se detalla el planteamiento de la base de datos, la adaptación del modelo en Spring Boot para el backend, la importación de la información a la base de datos, la adaptación del modelo en ReactJs para el frontend y el desarrollo de los módulos principales.

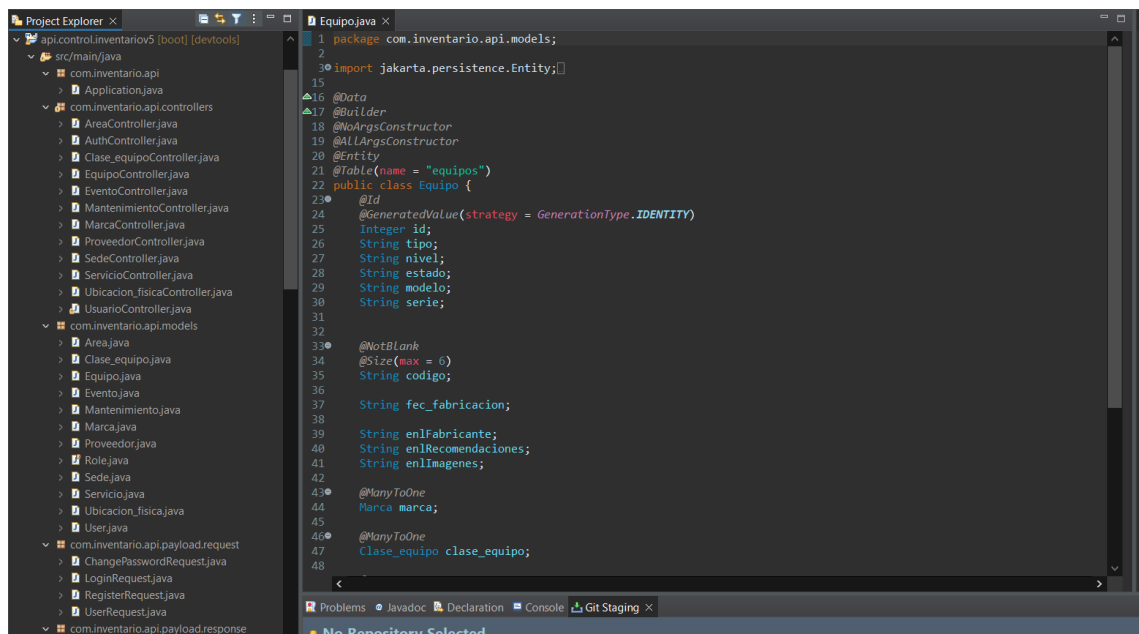
**Planteamiento de la base de datos:** Se realizó un análisis del inventario y los demás archivos donde se guarda la información obtener entidades principales, las cuales serían los equipos, los eventos, los mantenimientos y sus elementos. Estos elementos varían dependiendo de cual tabla se esté usando, todos ellos se pueden ver en la figura 16.



**Figura 16. Estructura de la base de datos. Elaboración propia**

Como se observa en el esquema, la base de datos es relacional y diferentes características sobre los equipos se dividen en distintas tablas. Esto es con la finalidad de uniformizar la información de forma que, si se hace un cambio, por ejemplo, a un proveedor, se refleje en los datos de los demás equipos que son del mismo proveedor.

**Adaptación del modelo en Spring Boot para el backend:** Se definieron los modelos de entidades de Java basadas en las tablas del esquema de la base de datos como se ve en la figura 17. Cada uno de estos refleja una tabla con sus relaciones. Luego se configura JPA (Java Persistence API), esto es para mapear las entidades a las tablas, con lo cual se configuran las relaciones entre entidades (OneToMany,ManyToOne, etc.). Se crean los servicios y controladores para la correcta interacción y que se tengan métodos CRUD (Crear, leer, actualizar y borrar) para hacer las modificaciones dentro de la base de datos. También se implementan controladores REST para permitir la interacción entre el frontend y el backend.



**Figura 17. La entidad Equipo en el backend. Elaboración propia**

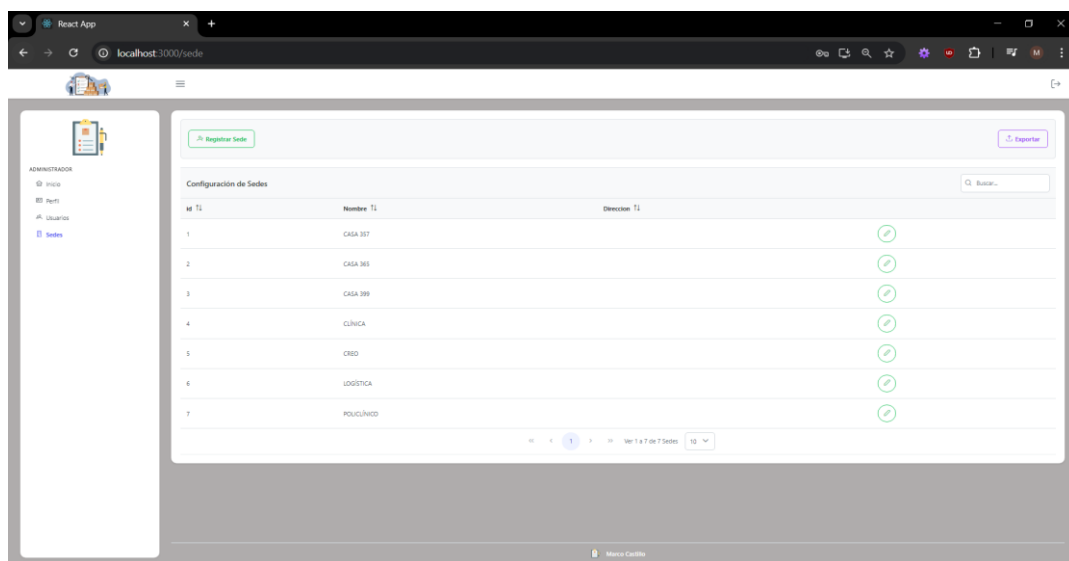
**Importación de la información a la base de datos:** El inventario, los registros de eventos y el calendario de mantenimientos que existían en formato Excel pasaron por un proceso de transformación para ajustarse al nuevo esquema. Además, se limpiaron los datos para que sean los adecuados al momento de ingresarlo a la base de datos. Este proceso incluye la estandarización de ciertos términos como por ejemplo las actividades que se realizan en los eventos para que entren dentro de los valores predeterminados. Cuando ya se tuvieron los datos en el formato requerido, se crearon códigos en Python para cargarlos a sus tablas correspondientes como se observa en la figura 18.

| id | codigo | estado               | fec_fabricacion | modelo | nivel     | serie          | tipo     | clase_equipo_id | area_id | marca_id | proveedor_id |
|----|--------|----------------------|-----------------|--------|-----------|----------------|----------|-----------------|---------|----------|--------------|
| 1  | E00001 | OPERATIVO            | 2000            | 254    | PRINCIPAL | 82540831-90126 | PROPIO   | 22              | 41      | 149      | 31           |
| 2  | E00002 | OPERATIVO            | 2000            | 700    | PRINCIPAL | 5700283115541  | PROPIO   | 18              | 14      | 149      | 35           |
| 3  | E00003 | OPERATIVO            | 2000            | 700    | PRINCIPAL | 5700283115538  | PROPIO   | 18              | 14      | 149      | 31           |
| 4  | E00004 | OPERATIVO            | 2005            | 702-24 | PRINCIPAL | AS-702-1043E   | COMODATO | 46              | 4       | 6        | 2            |
| 5  | E00005 | OPERATIVO            | 2020            | K37-24 | PRINCIPAL | AS-429-1011E   | COMODATO | 85              | 4       | 6        | 2            |
| 6  | E00006 | PARA SU BAJA         | 2000            | 2392   | PRINCIPAL | 5287150011     | PROPIO   | 18              | 2       | 38       | 31           |
| 7  | E00007 | REGULAR / RENOVACIÓN | 2000            | 3000   | PRINCIPAL | HCH50129       | PROPIO   | 82              | 7       | 130      | 31           |
| 8  | E00008 | OPERATIVO            | 2017            | 5392   | PRINCIPAL | D3H01206P      | PROPIO   | 102             | 46      | 113      | 31           |
| 9  | E00009 | OPERATIVO            | 2000            | 5530   | PRINCIPAL | 553-23819      | PROPIO   | 92              | 27      | 70       | 31           |
| 10 | E00010 | INOPERATIVO          | 2000            | 6051   | PRINCIPAL | 6388174        | PROPIO   | 117             | 1       | 61       | 31           |
| 11 | E00011 | PARA SU BAJA         | 2000            | 17000  | PRINCIPAL | 1263           | PROPIO   | 13              | 9       | 261      | 31           |
| 12 | E00012 | OPERATIVO            | 2000            | 22089  | PRINCIPAL | 88563341-80035 | PROPIO   | 23              | 41      | 149      | 31           |
| 13 | E00013 | PARA SU BAJA         | 2000            | 37081  | PRINCIPAL | 3119003166     | PROPIO   | 112             | 37      | 25       | 31           |
| 14 | E00014 | OPERATIVO            | 2020            | 93300  | PRINCIPAL | 3300-004050    | PROPIO   | 117             | 14      | 156      | 3            |
| 15 | E00015 | OPERATIVO            | 2000            | 93300  | PRINCIPAL | 3300-004057    | PROPIO   | 117             | 20      | 156      | 3            |
| 16 | E00016 | INOPERATIVO          | 2000            | 93300  | PRINCIPAL | 3300-004049    | PROPIO   | 117             | 37      | 156      | 3            |
| 17 | E00017 | OPERATIVO            | 2000            | 111518 | PRINCIPAL | 20180998       | PROPIO   | 136             | 42      | 118      | 31           |
| 18 | E00018 | OPERATIVO            | 2015            | 18617  | PRINCIPAL | 91002093       | COMODATO | 9               | 24      | 5        | 31           |
| 19 | E00019 | OPERATIVO            | 2000            | 704174 | PRINCIPAL | 1089793        | PROPIO   | 110             | 24      | 171      | 31           |
| 20 | E00020 | OPERATIVO            | 2013            | 87-64  | PRINCIPAL | 1309001015     | COMODATO | 143             | 24      | 41       | 11           |
| 21 | E00021 | OPERATIVO            | 2000            | 728130 | PRINCIPAL | 41687198       | PROPIO   | 109             | 24      | 144      | 31           |
| 22 | E00022 | OPERATIVO            | 2000            | 728130 | PRINCIPAL | 41687195       | PROPIO   | 109             | 24      | 144      | 31           |

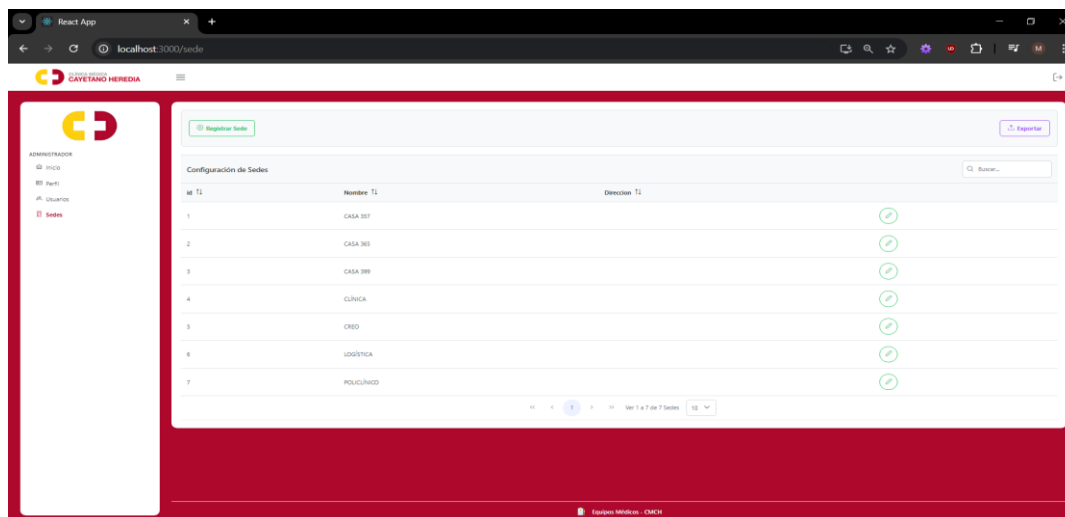
**Figura 18. Base de datos de prueba con el inventario cargado. Datos brindados por CMCH**

Como se observa en la imagen, los equipos del inventario tienen múltiples relaciones con otras tablas, estas son marcadas por las columnas que terminan en “\_id” y representan a las llaves foráneas que establecen dicha relación. Esto ocurre para permitir que múltiples equipos individuales pertenezcan a la misma característica. La cual podría ser la marca o la UPSS o el proveedor por mencionar algunas.

**Adaptación del modelo en ReactJS para el frontend:** Se utilizó un modelo de sitio web como referencia inicial, cuya estructura resultaba acorde con el boceto presentado en el diseño conceptual como se observa en la figura 19. Este modelo permitió acelerar el desarrollo del sistema, ya que proporcionó una base predefinida sobre la cual trabajar. A partir de esta estructura inicial fue posible realizar adaptaciones, incorporar nuevas funcionalidades y expandir la interfaz hasta ajustarla a las necesidades específicas de la gestión de mantenimiento de equipos médicos como aparece en la figura 20.



**Figura 19. Estado inicial del modelo del sitio web. Modelo previo**



**Figura 20. Primeros cambios visuales en el sitio web. Elaboración propia**

**Desarrollo del Módulo de Inventario:** Una vez que se tuvo el programa configurado para la funcionalidad con el backend, se inició con la creación de un listado de todos los equipos del inventario, con funciones de búsqueda y paginación. Junto a ello se desarrolló un formulario para agregar y editar equipos. Este formulario envía datos al backend mediante la API REST. En las figuras 21 y 22 se observa el resultado de este módulo.

| id T1 | Tipo T1   | Nivel T1  | Estado T1            | Equipo T1                       | Marca T1 | Modelo T1 | Serie T1       | Sede T1   | Área T1           | Servicio T1           | Ubicación física T1 | Fecha de fabricación T1 |
|-------|-----------|-----------|----------------------|---------------------------------|----------|-----------|----------------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| 1     | PROPIO    | PRINCIPAL | OPERATIVO            | BALANZA NEONATAL                | SECA     | 354       | 83540831-80128 | CLÍNICA   | UCI NEONATAL      | UCI NEONATAL          | 4TO PISO T.A.       | 2000                    |
| 2     | PROPIO    | PRINCIPAL | OPERATIVO            | BALANZA CON TALLIMETRO          | SECA     | 700       | 5702083115541  | CLÍNICA   | EMERGENCIA        | EMERGENCIA PEDIÁTRICA | 1ER PISO            | 2000                    |
| 3     | PROPIO    | PRINCIPAL | OPERATIVO            | BALANZA CON TALLIMETRO          | SECA     | 700       | 5702083115538  | CLÍNICA   | EMERGENCIA        | GINECOLOGÍA           | 1ER PISO            | 2000                    |
| 4     | CONVOCATO | PRINCIPAL | OPERATIVO            | CENTRIFUGA PARA TARJETAS DE GEL | AOSHENG  | T02-24    | AS-T02-1040E   | CLÍNICA   | BANCO DE SANGRE   | BANCO DE SANGRE       | 1ER PISO            | 2005                    |
| 5     | CONVOCATO | PRINCIPAL | OPERATIVO            | INCUBADORA DE TARJETAS DE GEL   | AOSHENG  | K37-24    | AS-K37-1011E   | CLÍNICA   | BANCO DE SANGRE   | BANCO DE SANGRE       | 1ER PISO            | 2020                    |
| 6     | PROPIO    | PRINCIPAL | PARA SU BAJA         | BALANZA CON TALLIMETRO          | DETECTO  | 2392      | 5287153011     | LOGÍSTICA | ALMACÉN LOGÍSTICA | ALMACÉN LOGÍSTICA     | 5TO PISO            | 2000                    |
| 7     | PROPIO    | PRINCIPAL | REGULAR / RENOVACIÓN | INCUBADORA                      | OHMEDA   | 3000      | HCH50129       | CLÍNICA   | CENTRO OBSTÉTRICO | NEONATOLOGÍA          | 5TO PISO T.A.       | 2000                    |

**Figura 21. Primera versión del inventario. Elaboración propia**

**Figura 22. Primer formulario para registro y modificación de equipos. Elaboración propia**

**Desarrollo del Módulo de Eventos y Mantenimiento:** De manera similar a como se hizo con el inventario, primero se importaron los datos que ya se tenían en un Excel dentro de la base de datos. Posteriormente, se desarrollaron los módulos de eventos y mantenimientos para obtener una interfaz similar que permita la edición de los datos relevantes y que resulte familiar en el uso de los diferentes módulos. Las primeras versiones de estos módulos se observan en la figura 23 y 24 para eventos y 25 y 26 para mantenimientos.

**Figura 23. Primera versión del módulo de eventos. Elaboración propia**

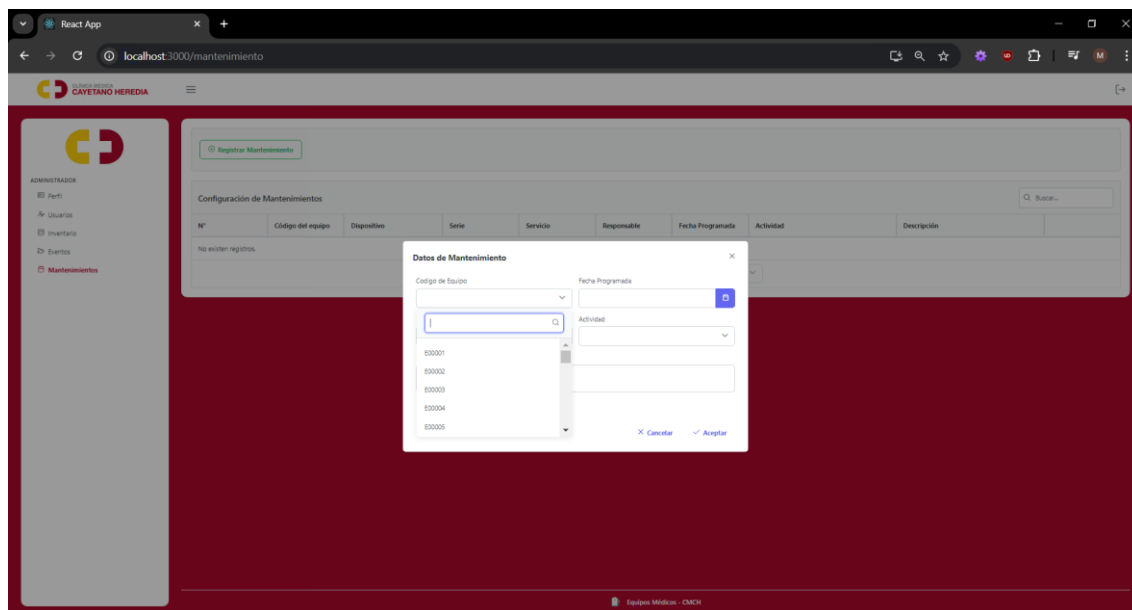
The screenshot shows a web application interface with a sidebar menu on the left containing 'ADMINISTRADOR', 'Perfíl', 'Usuarios', 'Inventario', 'Eventos', and 'Mantenimientos'. The main content area displays a 'Reporte de Actividades' section with a table header: 'N°', 'Código del equipo', and 'Dispositivos'. Below this, a modal titled 'Datos de Mantenimiento' is open. The modal contains the following fields and buttons:

- Codigo de Equipo**: A dropdown menu.
- Responsable**: A text input field.
- Fecha del Evento**: A date picker.
- Hora del Evento**: A time picker.
- Fecha de Atención**: A date picker.
- Hora Inicio**: A time picker.
- Hora Fin**: A time picker.
- Duración Atención**: A text input field.
- Duración Inop**: A text input field.
- Registrar Evento**: A green button.
- Registrar Mantenimiento**: A green button.
- Cancelar**: A blue button.
- Aceptar**: A blue button.

**Figura 24. Primer formulario para eventos. Elaboración propia**

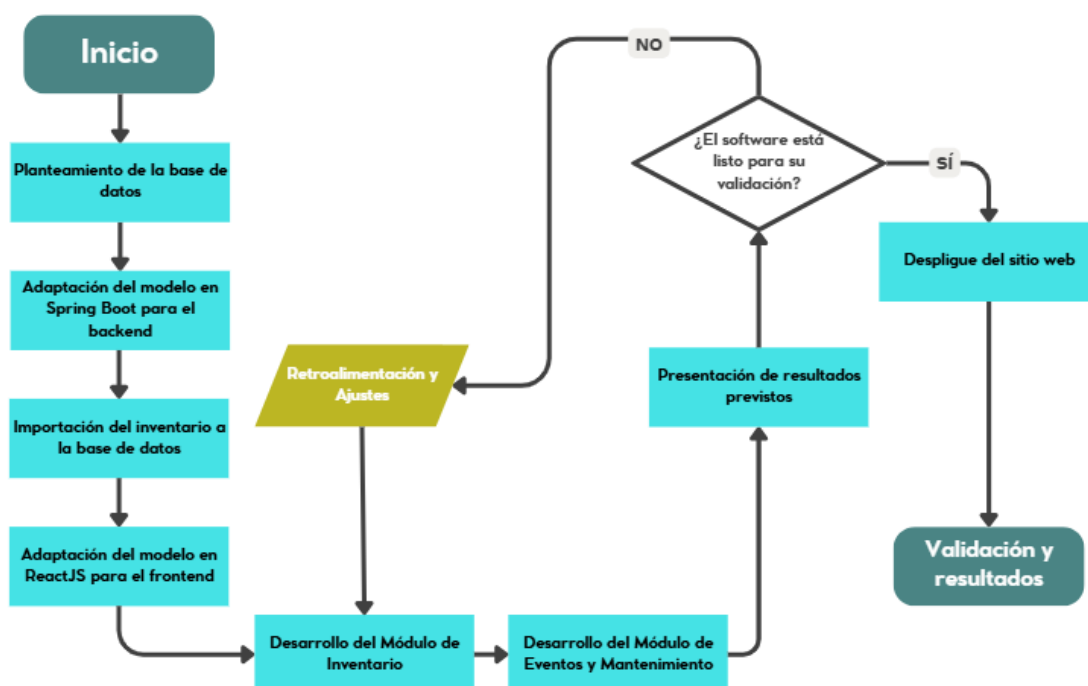
The screenshot shows the same web application interface as Figure 24, but with the 'Mantenimientos' module selected in the sidebar. The main content area displays a 'Configuración de Mantenimientos' section. It includes a table with the following headers: 'N°', 'Código del equipo', 'Dispositivo', 'Serie', 'Servicio', 'Responsable', 'Fecha Programada', 'Actividad', and 'Descripción'. Below the table, there is a search bar with the placeholder text 'Buscar...' and a pagination control showing 'Ver 0 a 0 de 0 Mantenimientos'.

**Figura 25. Primera versión del módulo de mantenimientos. Elaboración propia**



**Figura 26. Primer formulario para mantenimientos. Elaboración propia**

En esta instancia es que ya se tuvo los resultados previstos del sistema. Sin embargo, todavía no se puede considerar como el prototipo visual y funcional ya que aún no se obtuvo la retroalimentación y no se han llevado a cabo los ajustes correspondientes. Para exponer mejor el proceso por el cual se han ido atravesando las diferentes etapas en el desarrollo del proyecto, se desarrolló el siguiente diagrama de flujo presentado en la figura 27:



**Figura 27. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto. Elaboración propia**

#### **4.8. Resultados previstos**

En la perspectiva de usuario, resulta esencial garantizar que la interacción con el sistema sea eficiente. Para ello, los usuarios cuentan con la posibilidad de agregar, modificar y consultar equipos del inventario o eventos del historial, así como programar mantenimientos de manera básica. Esto se realiza mediante formularios completamente funcionales para estos módulos, los cuales permiten reducir la cantidad de errores humanos al momento de ingresar datos. Este problema, recurrente cuando no se dispone de mecanismos de verificación, se mitiga gracias a la inclusión de listas seleccionables en aquellas características que lo requieren, ya sea para equipos, eventos o mantenimientos.

En este caso no se consideró implementar la opción de eliminación de un elemento en la base de datos desde el sitio web porque según el encargado del área es una acción que no contemplan. En cambio, solo cambian el equipo a “retirado” en su documento de Google Sheets. Por lo tanto, se establece la misma dinámica en el sitio web. La interfaz resultó ser intuitiva y se mantuvo similar en los diferentes módulos para que el usuario se encuentre familiarizado con ella, sus funcionalidades esenciales permiten a los usuarios realizar operaciones sencillas y evitar confusiones. Por otro lado, se implementó una página de inicio de sesión y encriptación en las contraseñas de los usuarios para proteger el acceso al sitio, imágenes de este y de los módulos del perfil y usuarios se mostrarán más adelante cuando se muestre el prototipo funcional completo. Finalmente, el sistema llegó a estar en una posición ideal para expandirse con futuras mejoras y ajustes vistos en las siguientes secciones. Esto es gracias a que la arquitectura fue diseñada de forma modular para permitir una fácil integración de nuevas características en versiones posteriores.

#### **4.9. Retroalimentación**

En la perspectiva de usuario, la retroalimentación temprana constituye un elemento clave para asegurar que el sistema evolucione en función de las necesidades reales de quienes lo utilizarán. Con la finalidad de obtener una retroalimentación del software en una primera etapa, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada con el responsable del área de equipos médicos de la CMCH, orientada a obtener comentarios cualitativos sobre el funcionamiento del sistema en una etapa preliminar.

Las preguntas formuladas se basaron de nuevo en los lineamientos establecidos en el documento de la OMS “Sistema computarizado de gestión del mantenimiento” (16), la norma ISO 9241-210 (47), sobre el diseño centrado en el usuario, y el capítulo 34 del “*Clinical Engineering Handbook*” referido a CMMS (48), los cuales destacan la importancia de la presentación organizada de la información, y la definición de niveles de acceso del personal para garantizar la seguridad de los datos.

Las preguntas planteadas fueron las siguientes:

1. ¿Qué tan eficiente resulta la localización de equipos dentro del inventario?
2. ¿Cómo evalúa la organización y cantidad de información mostrada en las vistas principales del sistema?
3. ¿Qué niveles de acceso deberían tener los distintos tipos de usuario a implementar en el sistema?

A partir de las respuestas obtenidas, se incluyeron las siguientes oportunidades de mejora.

**Implementación de filtros:** Esta funcionalidad fue pedida porque al tener el inventario alrededor de 800 equipos, la búsqueda de estos mismos se puede hacer complicada si no se puede filtrar la información. Si bien existe un buscador directo en las tablas, se necesita la búsqueda según distintos criterios como el nombre del dispositivo, la marca, el proveedor o el ambiente.

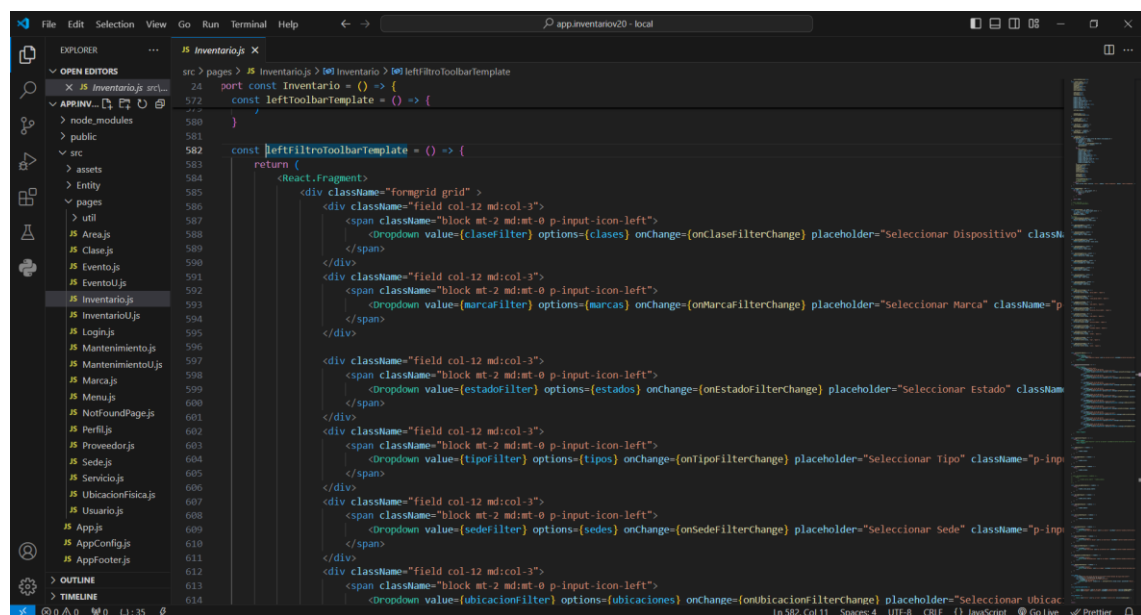
**Cambios en inventario:** Esta modificación se propuso porque en la primera versión del inventario hay una gran cantidad de columnas con información. Que ocurra esto no es necesario y se puede simplificar con el añadido de un botón que permita ver los detalles del equipo, mientras que sus datos básicos estén siempre a la vista. Adicionalmente, se propusieron 2 nuevos botones en cada fila para ser redirigido a información sobre el equipo o imágenes del equipo, lo que agiliza el llegar a los datos que se encuentren relacionados al mismo.

**Tipos de usuario diferenciados:** Esto también se pidió para que no todos los usuarios tengan el mismo nivel de acceso o la capacidad de modificar la información del inventario. Sí se había considerado en la lista de requerimientos, sin embargo, en esta versión todavía no estaba implementado en el sistema. Se estableció que los

administradores tengan acceso completo al sistema y que solo estos sean capaces de hacer cambios en el inventario y gestionar al resto de usuarios, mientras que los usuarios denominados como ingenieros pueden participar registrando y modificando eventos o mantenimientos. Por otro lado, los usuarios regulares accederán en modo solo lectura para evitar cambios indeseados.

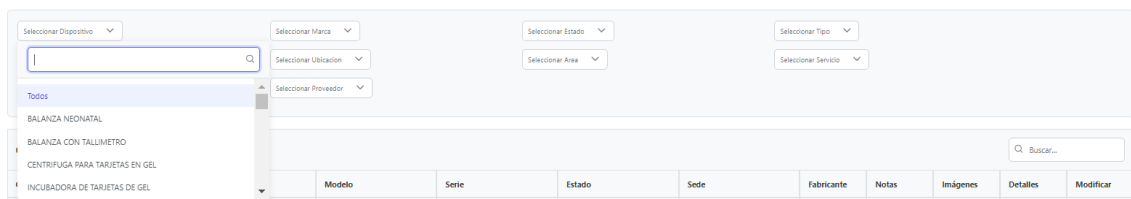
## 4.10. Ajustes

En la perspectiva tecnológica, los ajustes representan una fase necesaria para mejorar el sistema en función de la retroalimentación recibida. En concordancia con esta, se empezó por la implementación de los filtros como se observa en la figura 28. Esto se hizo creando un selector en el inventario que permite elegir las distintas opciones que tiene cada característica de los equipos que se puede ver en la figura 29. Se inició con esta funcionalidad porque funciona de manera independiente a la tabla principal que muestra los equipos.



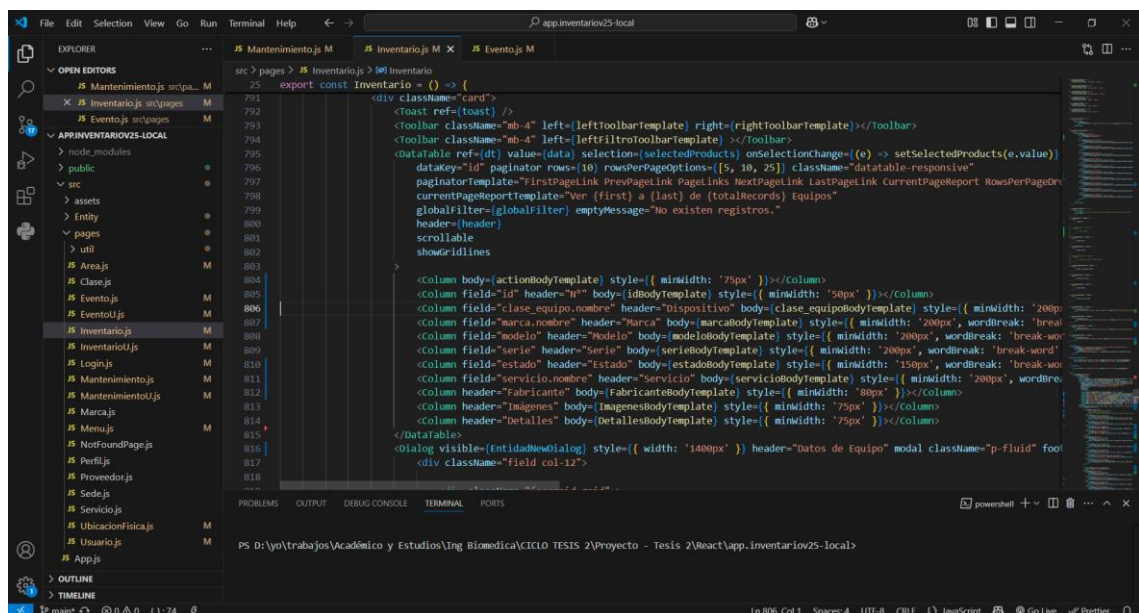
```
src > pages > JS Inventario.js > [90] Inventario > [90] leftFilterToolbarTemplate
24 port const Inventario = () => {
572 const leftFilterToolbarTemplate = () => {
580 }
581
582 const leftFilterToolbarTemplate = () => {
583   return (
584     <div className="formgrid grid">
585       <div className="field col-12 md:col-3">
586         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
587           <Dropdown value={clasefilter} options={clases} onChange={onClasefilterChange} placeholder="Seleccionar Dispositivo" className="p-input">
588           </span>
589         </div>
590       <div className="field col-12 md:col-3">
591         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
592           <Dropdown value={marcafilter} options={marcas} onChange={onMarcafilterChange} placeholder="Seleccionar Marca" className="p-input">
593           </span>
594         </div>
595       <div className="field col-12 md:col-3">
596         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
597           <Dropdown value={estadofilter} options={estados} onChange={onEstadofilterChange} placeholder="Seleccionar Estado" className="p-input">
598           </span>
599         </div>
600       <div className="field col-12 md:col-3">
601         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
602           <Dropdown value={tipofilter} options={tipos} onChange={onTipofilterChange} placeholder="Seleccionar Tipo" className="p-input">
603           </span>
604         </div>
605       <div className="field col-12 md:col-3">
606         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
607           <Dropdown value={sedefilter} options={sedes} onChange={onSedefilterChange} placeholder="Seleccionar Sede" className="p-input">
608           </span>
609         </div>
610       <div className="field col-12 md:col-3">
611         <span className="block mt-2 md:mt-0 p-input-icon-left">
612           <Dropdown value={ubicacionfilter} options={ubicaciones} onChange={onubicacionfilterChange} placeholder="Seleccionar Ubicacion" className="p-input">
613           </span>
614         </div>
615     </div>
616   );
617 }
```

**Figura 28. Implementación de filtros en el inventario de equipos. Elaboración propia**



**Figura 29. Filtros en el inventario de equipos. Elaboración propia**

Los filtros fueron colocados en los módulos del inventario, eventos y mantenimiento. Luego, se modificó la parte del inventario para mostrar la tabla con menos información, la cual puede ser accedida presionando el botón de “Detalles”, en la figura 30 se puede ver su codificación. Esto solo se hizo para el inventario puesto que en el módulo de eventos sí se estará revisando y cambiando cada columna de la información con mayor frecuencia. Por otro lado, en el módulo de mantenimientos sí es necesaria la visualización del calendario.



**Figura 30. Implementación del nuevo modelo del inventario. Elaboración propia**

Finalmente, se crearon 3 tipos de usuario diferenciados tal como se especifica en la retroalimentación, esto se puede observar en la figura 31. Esta parte fue implementada al final para que las páginas de los diferentes usuarios sean las mismas solo con algunas modificaciones y limitando los accesos a cada uno de los roles, dicha diferenciación se ilustra en la figura 32.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Column Name: <input type="text" value="role"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Data Type: <input type="text" value="ENUM('ADMIN', 'USER', 'ING')"/> |
| Charset/Collation: <input type="text" value="utf8mb4"/> <input type="text" value="utf8mb4_unicode_ci"/>                                                                                                                                                                                                                                                             | Default: <input type="text" value="NULL"/>                           |
| Comments: <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                      |
| Storage: <input type="radio"/> Virtual <input type="radio"/> Stored<br><input type="checkbox"/> Primary Key <input type="checkbox"/> Not Null <input type="checkbox"/> Unique<br><input type="checkbox"/> Binary <input type="checkbox"/> Unsigned <input type="checkbox"/> Zero Fill<br><input type="checkbox"/> Auto Increment <input type="checkbox"/> Generated |                                                                      |

**Figura 31. Creación de roles en la base de datos. Elaboración propia**

```

const Menu = () => {
  const usr = [
    { label: 'Usuario', items: [
      { label: 'Perfil', icon: 'pi pi-fw pi-id-card', to: 'perfil' },
      { label: 'Inventario', icon: 'pi pi-fw pi-database', to: 'inventariou' },
      { label: 'Eventos', icon: 'pi pi-fw pi-folder-open', to: 'eventou' },
      { label: 'Mantenimientos', icon: 'pi pi-fw pi-calendar', to: 'mantenimientou' },
    ] },
  ],

  const ing = [
    { label: 'Ingeniero', items: [
      { label: 'Perfil', icon: 'pi pi-fw pi-id-card', to: 'perfil' },
      { label: 'Inventario', icon: 'pi pi-fw pi-database', to: 'inventariou' },
      { label: 'Eventos', icon: 'pi pi-fw pi-folder-open', to: 'evento' },
      { label: 'Mantenimientos', icon: 'pi pi-fw pi-calendar', to: 'mantenimiento' },
      { label: 'Características', icon: 'pi pi-box', items: [
        { label: 'Equipos', icon: 'pi pi-fw pi-cog', to: 'clase' },
        { label: 'Marcas', icon: 'pi pi-fw pi-briefcase', to: 'marca' },
        { label: 'Proveedores', icon: 'pi pi-fw pi-users', to: 'proveedor' },
        { label: 'Sedes', icon: 'pi pi-fw pi-building', to: 'sede' },
        { label: 'Ubicaciones', icon: 'pi pi-fw pi-building', to: 'ubicacion_fisica' },
        { label: 'Áreas', icon: 'pi pi-fw pi-building', to: 'area' },
        { label: 'Servicios', icon: 'pi pi-fw pi-building', to: 'servicio' },
      ] },
    ] },
  ],

  const adm = [
    { label: 'Administrador', items: [
      { label: 'Perfil', icon: 'pi pi-fw pi-id-card', to: 'perfil' },
      { label: 'Usuarios', icon: 'pi pi-fw pi-user-edit', to: 'usuario' },
      { label: 'Inventario', icon: 'pi pi-fw pi-database', to: 'inventario' },
    ] },
  ],
}

```

**Figura 32. Diferenciación de accesos según rol. Elaboración propia**

## 4.11. Prototipo funcional y visual

En la perspectiva tecnológica, el desarrollo de un prototipo funcional y visual constituye un hito esencial, ya que representa la transición del diseño conceptual a una versión operativa del sistema que los usuarios pueden utilizar. Una vez que se dieron los ajustes, se procedió a desplegar el sistema en producción. Para esto se contrataron dos servidores privados virtuales (VPS) en elástica, el cual es un proveedor peruano de VPS que opera desde centros de datos con alta disponibilidad y baja latencia como mencionan en su sitio web (49). Se configuraron el API y la base de datos en uno de ellos, mientras que en el otro se desplegó el frontend de la aplicación. Esta separación se realizó por razones de seguridad, escalabilidad, rendimiento y disponibilidad. El sitio web se publicó en el dominio “hx.com.pe”, con el cual se contaba desde antes del inicio del proyecto, pero se encontraba en desuso.

Al ingresar a la URL <https://www.hx.com.pe/>, se redireccionará a la página de inicio de sesión, en la cual el usuario deberá ingresar su nombre de usuario y contraseña. Esta página, junto con más capturas de pantalla se pueden observar en el Anexo B.

Una vez que el acceso se complete, el usuario será redirigido a la página de “Perfil”, y dependiendo de su tipo de usuario, se mostrarán diferentes opciones en el panel lateral izquierdo. Primero, se mostrarán todas las capacidades disponibles para los diferentes roles, empezando por el “Administrador”.

**Administrador:** Este rol tiene acceso completo al sistema. A pedido del ingeniero encargado del área de equipos médicos, es el único rol capaz de realizar modificaciones o registros de equipos nuevos en el inventario con el fin de evitar cambios innecesarios y confusiones. Además de poder registrar y modificar eventos, mantenimientos y características, es el único que puede administrar a los demás usuarios de la plataforma.

**Ingeniero:** Este rol tiene permisos intermedios dentro del sistema. Puede registrar y modificar eventos, mantenimientos o características asociados a los equipos médicos, asegurando que la información técnica esté siempre actualizada. Sin embargo, no cuenta con privilegios para gestionar usuarios ni para realizar cambios en el inventario, funciones reservadas al administrador.

**Usuario:** Este rol cuenta con acceso en modo solo lectura. Puede consultar la información del inventario y los registros de eventos o mantenimientos, pero no tiene permisos para realizar modificaciones ni para gestionar usuarios y tampoco puede revisar las características. Su función principal es acceder a los datos de manera segura sin alterar la integridad del sistema.

En la tabla 9 aparecen todas las páginas a las que tienen acceso los diferentes roles:

**Tabla 9. Accesos de cada rol. Elaboración propia**

| Administrador    | Ingeniero                        | Usuario                              |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Perfil           | Perfil                           | Perfil                               |
| Usuarios         | Inventario <b>(Solo lectura)</b> | Inventario <b>(Solo lectura)</b>     |
| Inventario       | Eventos                          | Eventos <b>(Solo lectura)</b>        |
| Eventos          | Mantenimientos                   | Mantenimientos <b>(Solo lectura)</b> |
| Mantenimientos   | Características:                 |                                      |
| Características: | - Dispositivos                   |                                      |
| - Dispositivos   | - Marcas                         |                                      |
| - Marcas         | - Proveedores                    |                                      |
| - Proveedores    | - Sedes                          |                                      |
| - Sedes          | - Ambientes                      |                                      |
| - Ambientes      | - UPSS                           |                                      |
| - UPSS           | - Servicios                      |                                      |
| - Servicios      |                                  |                                      |

Ahora se detallarán las páginas que contiene el sitio web. Empezando con la página de perfil que se observa en la figura 33.

### **Perfil**

The screenshot shows a web application interface for 'EM - CMCH'. The browser address bar indicates the URL 'hx.com.pe/perfil'. The page has a red header and a red sidebar. The sidebar contains a menu for the 'ADMINISTRADOR' role, with options: Perfil, Usuarios, Inventario, Eventos, Mantenimientos, Características, Dispositivos, Marcas, Proveedores, Sedes, Ambientes, UPSS, and Servicios. The main content area is titled 'Información de Usuario' and displays the following data:

| Datos personales:   |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Nombre:             | Marco Jorge                |
| Apellidos:          | Castro Marquina            |
| N° Documento:       | 70783021                   |
| Número de Teléfono: | 947731150                  |
| Correo Electrónico: | marco.castro0217@gmail.com |
| Permisos:           | ADMIN                      |

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Actualizar Datos' and 'Cambiar Contraseña'.

**Figura 33. Página “Perfil”. Elaboración propia**

Cabe recalcar que la sesión mostrada es una de administrador, por lo que a la izquierda se observa el menú con las diferentes páginas disponibles para ese rol.

En la página del perfil, para cualquier rol se brinda su propia información y se permiten tanto la actualización de datos como el cambio de contraseña. Como esta página muestra lo mismo para los tres roles, solo se detallará en esta ocasión para evitar la redundancia.

La información mostrada es la siguiente:

- Nombres
- Apellidos
- N° DNI
- Número de Teléfono
- Correo electrónico
- Permisos

Los únicos datos que se pueden cambiar son el correo electrónico y el número de teléfono, puesto que los demás no suelen ser modificados casi nunca. Sin embargo, en caso de que alguien cambie sus nombres o apellidos, se puede solicitar esta modificación y realizarla desde la base de datos.

El cambio de contraseña requiere ingresar la antigua contraseña, la nueva y volver a escribirla para su confirmación. Esta es una práctica común en la gran mayoría de los sitios web.

### ***Usuarios***

El administrador es el único con acceso a la página “Usuarios”, donde puede registrar nuevos usuarios o ver su información relevante. También puede restablecer sus contraseñas al valor predeterminado, que es su número de DNI, en caso de que alguno la olvide.

La información de los usuarios que aparece es la siguiente: N° de DNI, nombre y apellidos, correo electrónico, número de teléfono y permisos.

El registro del usuario solicita lo siguiente: N° de DNI, nombre de usuario, nombres, apellidos, correo electrónico y número de celular.

La contraseña provisional asignada será el N° de DNI y se puede cambiar inmediatamente después del registro. Por otro lado, el permiso asignado por defecto es el del usuario común, este se cambia directamente desde la base de datos.

## Inventario

En la figura 34 se puede observar el inventario desde la sesión de un administrador.

| N° | Dispositivo                                 | Marca         | Modelo           | Serie        | Estado    | Servicio           | Fabricante | Imágenes | Detalles |
|----|---------------------------------------------|---------------|------------------|--------------|-----------|--------------------|------------|----------|----------|
| 1  | ASLADOR COVID                               | RED LEAF      | NP-320           | 20200410006  | OPERATIVO | TÓRICO DE CRUGIA   | (C)        | (I)      | (D)      |
| 2  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE HEMATOLOGÍA        | PROSIA        | HB210            | 100089       | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        | (C)        | (I)      | (D)      |
| 3  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE INMUNOLOGÍA        | HTACHI        | CD84E411         | 8740-29      | OPERATIVO | INMUNOLOGÍA        | (C)        | (I)      | (D)      |
| 4  | ANALIZADOR BIOQUÍMICO AUTOMATIZADO          | WENDT         | Wend Lab CE350   | 40121462     | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         | (C)        | (I)      | (D)      |
| 5  | ANALIZADOR CUANTITATIVO DE INMUNOFLORESNCIA | GETEN         | GETEN1100        | 110300218041 | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        | (C)        | (I)      | (D)      |
| 6  | ANALIZADOR DE COAGULACIÓN SEMIAUTOMATIZADO  | HUMAN         | HUMANCLOTQUANTRO | K240384      | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        | (C)        | (I)      | (D)      |
| 7  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS          | NONABOMEDICAL | ANAUZERPRIMECS   | PP18020150C  | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS | (C)        | (I)      | (D)      |
| 8  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS          | NONABOMEDICAL | ANAUZERPRIMECS   | PS07020750C  | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         | (C)        | (I)      | (D)      |

**Figura 34. Página de “Inventario” del administrador. Elaboración propia**

Las columnas que contienen información en el inventario son las siguientes: Número de equipo, dispositivo, marca, modelo, serie, estado, servicio. Cada una de ellas será descrita en los párrafos siguientes.

Existen cuatro botones en cada fila. Estos funcionan de la siguiente manera:

- **Modificar:** Abre un formulario que permite cambiar la información del equipo.
- **Fabricante:** Redirige al enlace asignado, de preferencia la página donde el fabricante o proveedor presente el equipo o una ficha técnica.
- **Imágenes:** Redirige al enlace asignado, de preferencia a la carpeta de imágenes del equipo alojadas en Google Drive.
- **Detalles:** Abre un formulario que contiene la información completa del equipo.

Los botones con redirección se implementaron porque el área de equipos médicos ya cuenta con una carpeta de Google Drive donde suelen subir información relacionada con los equipos como imágenes o fichas técnicas. Para aprovechar esto y agilizar su uso en conjunto con el sitio web, se puede configurar que los botones redirijan a ciertos apartados de la carpeta alojada en Drive dependiendo de lo que se seleccione. Cabe recalcar que la misma área será la que se encargue de ingresar los enlaces, esto es posible desde el botón de modificación. A continuación, en la figura 35 se observa el formulario de modificación que aparece al presionar el botón de “modificar”.

**Figura 35. Formulario de modificación en “Inventario”. Elaboración propia**

Como se observa en la imagen, el administrador puede cambiar la información de un equipo al presionar el botón de modificación. Este ofrece algunos campos donde se puede introducir información directamente y otros donde ya existen opciones predefinidas en un menú desplegable.

Los campos en los que se puede introducir datos de forma directa son:

- **Modelo:** Identifica la versión específica del dispositivo fabricado por la marca.
- **Serie:** Número único que permite diferenciar cada unidad del equipo.
- **Fecha de fabricación:** Indica el momento en que el equipo fue producido por el fabricante.
- **Enlaces:** Direcciones URL de las páginas del fabricante o de las imágenes guardadas en el drive del área de equipos.

- **Recomendaciones:** Observaciones o pautas sugeridas para el uso o mantenimiento del equipo.

Los campos en los que aparecen opciones predefinidas son:

- **Dispositivo:** Nomenclatura universal (nombre común) del equipo biomédico.
- **Marca:** Nombre del fabricante responsable de la producción.
- **Tipo:** Define la condición de propiedad del equipo, indicando si es propio, pertenece a un tercero o se encuentra en comodato.
- **Estado:** Condición operativa en la que se encuentra el dispositivo.
- **Nivel:** Indica si el registro corresponde a un equipo principal (equipo biomédico en sí) o a un equipo secundario, como un accesorio o componente de apoyo.
- **Proveedor:** Entidad encargada de la venta o suministro del equipo.
- **Sede:** Hace referencia al establecimiento de la clínica en el que se encuentra ubicado el equipo.
- **Ambiente:** Ubicación física principal dentro de la sede.
- **UPSS:** Unidad productora de servicios de salud a la que está asociado el equipo.
- **Servicio:** Área asistencial donde opera el equipo.

Esto se implementó porque los campos que tienen opciones predefinidas se repetirán con frecuencia en diferentes dispositivos. Las opciones para estos campos se pueden modificar en el apartado de características, que se explicará más adelante. Esto ocurre excepto para tipo, estado y nivel ya que son pocas alternativas muy concretas.

Al presionar el botón de detalles, se observará la información de forma similar a la mostrada en la figura 35, sin posibilidad a modificaciones. Una captura de pantalla de este formulario se puede observar en el Anexo B.

El inventario se puede filtrar según los siguientes criterios: dispositivo, marca, estado, tipo, sede, ambiente, UPSS, servicio, nivel y proveedor.

Además, se puede usar el buscador en la parte derecha para encontrar el equipo específico por su modelo o número de serie.

## Eventos

En la figura 36 se observa la página de “Eventos”, en este caso es la misma para el administrador y el ingeniero puesto que ambos tienen los mismos permisos en ella.

| N° | Dispositivo | Serie      | Estado    | Servicio                       | Responsable | Fecha de Evento     | Hora de Evento | Fecha de Atención   | Hora de Atención | Fin de Atención | Duración de Atención | Duración de Inoperatividad | Actividad                | Problema                                              |
|----|-------------|------------|-----------|--------------------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1  | ECGRAFO     | V5821878   | OPERATIVO | CONSULTORIO DE GINECOBISTETICA | IC          | 2023-05-03 00:00:00 | 14:00:00       | 2023-05-03 00:00:00 | 14:00:00         | 14:30:00        | 30                   | 30                         | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | El tractor presenta un movimiento                     |
| 2  | CENTRIFUGA  | 201822965  | OPERATIVO | MICROBIOLOGIA                  | IC          | 2023-05-03 00:00:00 | 16:00:00       | 2023-05-03 00:00:00 | 16:00:00         | 16:45:00        | 45                   | 45                         | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | La centrifuga no detiene que la correctamente cerrada |
| 3  | ELECTROSTUR | T28537532K | OPERATIVO | SALA DE OPERACIONES            | MEDTRONIC   | 2023-05-04 00:00:00 | 3:45 p.m.      | 2023-05-04 00:00:00 | 03:45:00         | 5:00 p.m.       | 01:15:00             | 01:15:00                   | MANTENIMIENTO PREVENTIVO | Mantenimiento programado                              |

Figura 36. Página de “Eventos” del administrador e ingeniero. Elaboración propia

En el formulario de modificación de eventos observado en la figura 37, aparecen todos los datos relacionados a este. Al registrar uno, se empieza seleccionando al equipo sobre el cual se produce el evento.

Se realizó la limpieza del tractor y se añadió un mouse inalámbrico como reemplazo (Producto de una capa de grasa acumulada en el ufficio del tractor, el desplazamiento del cursor resulta lento e ineficiente)

Figura 37. Formulario de modificación de eventos. Elaboración propia

Los campos en los que se puede introducir datos de forma directa son:

- **Hora del evento, de inicio de atención y de fin de atención:** Registra los horarios específicos en los que ocurre el evento, se inicia la atención técnica y se da por finalizada. Estos se introducen en un formato de 24 horas (HH:MM).
- **Duración de atención y de inoperatividad:** Es el tiempo empleado en la atención del evento y el período en que el equipo estuvo fuera de servicio. Estos se introducen en un formato de 24 horas (HH:MM).
- **Responsable:** Indica el área, entidad o proveedor encargado de la atención del evento.
- **Problema:** Describe de manera puntual la falla o situación detectada en el equipo.
- **Descripción:** Permite detallar de forma narrativa las acciones realizadas o hallazgos durante la atención del evento.

Los campos en los que aparecen opciones predefinidas o seleccionables son:

- **Equipo:** Selección del equipo biomédico específico al que se asocia el evento.
- **Fechas del evento y de atención:** Registra mediante calendario la fecha en la que ocurrió el evento y la fecha en que se brindó atención.
- **Actividad:** Clasifica el tipo de mantenimiento u acción realizada
- **Causa:** Indica el origen probable del problema identificado.
- **Parte afectada:** En caso de que la causa esté asociada directamente al propio equipo. Este campo especifica si la falla ocurre por algún componente, el software del equipo o ambos.

Esto se implementó de esta manera porque en categorías como el problema o la descripción los ingenieros deben detallar lo ocurrido. En cambio, el equipo a seleccionar ya está definido por su nombre y serie, mientras que las actividades, causas del problema y partes afectadas tienen sus propias opciones proporcionadas por el área de equipos médicos.

Además de los campos ya mencionados, en la tabla general de eventos aparecen estos campos: N° de evento, dispositivo, serie, estado, servicio

Los eventos se pueden filtrar según los siguientes criterios: actividad, causa, parte afectada, responsable, dispositivo, servicio, serie, estado

## Mantenimientos

De forma similar a la página anterior, “Mantenimientos” es igual para el administrador y el ingeniero puesto que ambos tienen los mismos permisos en ella. Esta página se observa en la figura 38.

| N° | Sede    | Ambiente    | UPS               | Servicio               | Dispositivo                                  | Marca        | Modelo        | Serie     | Tipo    | Frecuencia (Meses) | Nivel | Responsable | Estado |
|----|---------|-------------|-------------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------|---------------|-----------|---------|--------------------|-------|-------------|--------|
| 1  | CLÍNICA | TAL 3° PISO | CENTRO QUIRÚRGICO | INDUCCIÓN DE ANESTESIA | ASPIRADOR DE SECCIONES PORTATIL              | TAKADKA      | 17200         | 1563      | PROPIO  | 12                 |       | EM          |        |
| 2  | CLÍNICA | CORREDOR    | CENTRO QUIRÚRGICO | CORREDOR               | TORRE DE ARTROSCOPIA (PROCESADOR DE IMAGEN)  | CONMED       | 94 8000       | 7123385   | TBRCERO | 12                 |       | VORTROM     |        |
| 3  | CLÍNICA | SALA 1      | CENTRO QUIRÚRGICO | SALA DE OPERACIONES    | TORRE DE LAPAROSCOPIA (PROCESADOR DE IMAGEN) | STORZ        | TBRCAMSLII    | NH5000BP  | PROPIO  | 12                 |       | EM          |        |
| 4  | CLÍNICA | 1° PISO     | CENTRO QUIRÚRGICO | INDUCCIÓN DE ANESTESIA | CALENTADOR DE FLUIDOS                        | STHRELECTRIC | ASTOPORUS     | 822089    | PROPIO  | 12                 |       | EM          |        |
| 5  | CLÍNICA | SALA 3      | CENTRO QUIRÚRGICO | SALA DE OPERACIONES    | MÁQUINA DE ANESTESIA                         | DRAGER       | ATLAN A350 EL | ASDH-0227 | PROPIO  | 12                 |       | PHOT        |        |

**Figura 38. Página de “Mantenimientos” del administrador e ingeniero. Elaboración propia**

En el formulario de modificación de mantenimientos observado en la figura 39, aparecen todos los datos relacionados a este. Al registrar uno, se empieza seleccionando al equipo al cual se le va a brindar mantenimiento.

**Figura 39. Formulario de modificación de mantenimientos. Elaboración propia**

Los campos en los que se puede introducir datos de forma directa son:

- **Responsable:** Indica el área, entidad o proveedor encargado de la atención del evento.
- **Frecuencia:** Periodicidad establecida para la realización del mantenimiento en meses
- **Nivel:** Define la profundidad de la actividad de mantenimiento realizada.
- **Observación:** Espacio para detallar comentarios, hallazgos o recomendaciones específicas.
- **Informes:** Permite adjuntar los documentos técnicos resultantes de la actividad de mantenimiento.

Los campos en los que aparecen opciones predefinidas o seleccionables son:

- **Equipo:** Selección del equipo biomédico al que se asocia el mantenimiento.
- **Fecha:** Día en el que se programa o se ejecuta el mantenimiento, seleccionable mediante calendario.
- **Completado:** Estado del mantenimiento, que permite marcar si la actividad fue finalizada o permanece pendiente

Esto se justifica por los mismos motivos que en “Eventos”.

Además de los campos ya mencionados, en la tabla general de mantenimientos aparecen estos campos: N° de mantenimiento, sede, ambiente, UPSS, servicio, dispositivo, marca, modelo, serie, tipo y el calendario.

Los mantenimientos se pueden filtrar según los siguientes criterios: dispositivo, marca, responsable, completado, sede, ambiente, UPSS, servicio, tipo

### ***Características***

En esta sección se pueden modificar las diferentes categorías que vienen apareciendo en la información de los equipos del inventario. El apartado de “Características” es accesible tanto para administradores como para ingenieros, por lo que solo será detallado en esta ocasión. Cabe destacar que, como está diseñada la base de datos al ser relacional, el realizar un cambio en este apartado repercutirá en todos los registros. Por ejemplo, si se cambia el nombre del dispositivo “Monitor de signos vitales”, este cambio se reflejará en

todos los equipos individuales que lleven este nombre. Este es el comportamiento deseado porque facilita las modificaciones a gran escala.

Las interfaces de las características restantes generalmente son muy similares entre sí al ser muy sencillas. Todas presentan el registro de un elemento nuevo y su modificación, por lo que en el Anexo B solo se mostrará la página general de cada una. En el caso de los proveedores también se puede colocar su correo electrónico, número de teléfono y personal de contacto de estos. Por su lado, en las sedes también se puede colocar su dirección.

## V. EVALUACIONES Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación del sistema llevada a cabo tras el desarrollo del sitio web. El propósito de esta sección es demostrar en qué medida el software responde a los requerimientos planteados y a las necesidades del área usuaria. Para ello, la evaluación se estructuró en tres dimensiones: usabilidad, desempeño funcional con datos reales y cumplimiento de requerimientos.

### 5.1. Protocolo de evaluación de usabilidad

En este apartado se consideran diversos protocolos con el fin de determinar el más adecuado para el presente trabajo. Para ello, se revisaron diferentes métodos, entre ellos la evaluación heurística (50), el análisis de tareas (51), las pruebas cognitivas (52) y la evaluación de usabilidad mediante cuestionarios estandarizados (53). La comparación entre estos enfoques se presenta en la tabla 10.

**Tabla 10. Protocolos para validar el sitio web. Elaboración propia**

| Protocolo                    | Descripción                                                                                                                   | Datos recopilados                                                                                                     | Ventajas                                                                                                                                                | Desventajas                                                                                                                                |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Evaluación Heurística</b> | Revisión del sistema por expertos en usabilidad basándose en 10 principios establecidos para identificar problemas de diseño. | Número de problemas detectados según si cumplen con los principios. Gravedad de cada problema en una escala numérica. | Identifica problemas críticos antes de probar con usuarios finales. Herramienta rápida en comparación con otros métodos que implican a usuarios reales. | Totalmente dependiente de lo que saben y la experiencia de los evaluadores. Las evaluaciones no sustituyen Las pruebas con usuarios reales |

|                                                                     |                                                                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                   |                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Análisis de tareas</b>                                           | Desglose de tareas específicas para identificar pasos innecesarios, dificultades y optimizar procesos críticos.  | Tasa de errores por usuario. Número de pasos innecesarios.             | Gran entendimiento de los usuarios. Genera resultados accionables para mejorar flujos de trabajo.                                 | Puede ser limitado para evaluar la satisfacción global. Resultados demasiado específicos para cada tarea. |
| <b>Pruebas Cognitivas</b>                                           | Simulación guiada donde los usuarios realizan tareas específicas mientras se evalúa su comprensión del software. | Tiempos en realizar cada tarea. Número de errores cometidos.           | Ayuda a mejorar tareas específicas. Proporciona información más detallada y centrada en el usuario.                               | Requiere tiempo para análisis detallado. Necesita observación activa.                                     |
| <b>Evaluación de usabilidad mediante cuestionario estandarizado</b> | Cuestionario breve de cuatro preguntas que mide la usabilidad percibida del sistema                              | Puntaje global UMUX (0-100). Promedio por cada una de las 4 preguntas. | Fácil de administrar y no consume mucho tiempo para los usuarios. Los datos pueden recolectarse y analizarse en un corto período. | No identifica problemas específicos. Depende de la interpretación subjetiva de los usuarios.              |

El protocolo elegido fue la evaluación de usabilidad mediante cuestionario estandarizado, en ella se usará la encuesta “Usability Metric for User Experience” o UMUX. En primer lugar, mide directamente la usabilidad percibida por parte de los usuarios, un indicador clave de éxito para el sitio web. En segundo lugar, es un método reconocido en la industria, lo que asegura la confiabilidad de los resultados (54). Y finalmente, su brevedad minimiza la carga para los usuarios y hace que sea fácil de ejecutar.

El cuestionario consiste en 4 preguntas que se intercalan entre positivas y negativas. Estas preguntas miden la usabilidad percibida tal y como se describe en la ISO 9241-11.

Se entiende como el grado en que un sistema, producto o servicio es capaz de ser empleado por determinados usuarios para cumplir objetivos concretos de manera eficaz, eficiente y satisfactoria dentro de una circunstancia de uso definido (55).

Las preguntas del cuestionario son las siguientes:

1. El sistema cumple con los requerimientos para el trabajo
2. Usar el sistema es una experiencia frustrante
3. El sistema es fácil de usar
4. El tiempo necesario para corregir problemas en el sistema es excesivo

Cada pregunta se puntúa en una escala de Likert, de 1 (muy en desacuerdo) a 7 (muy de acuerdo) como se observa en el Anexo C. Adicionalmente, cada una de las preguntas se encarga de medir cierta característica del sistema, se tiene la siguiente correlación:

1. Efectividad
2. Satisfacción
3. Eficiencia
4. Eficiencia

A continuación, están los pasos que se siguieron a lo largo de este proceso:

**Paso 1:** Se seleccionó una muestra representativa de los usuarios finales del sistema. Estos son 8 usuarios en total. Entre los cuales se tiene dos administradores, 5 ingenieros y 1 usuario.

**Paso 2:** Se llevó a cabo una reunión virtual con algunos miembros del área de equipos médicos para proporcionar a los participantes una introducción breve sobre el sistema y su evaluación. En ella se solicitó información sobre los participantes para crear sus cuentas en el sitio web.

**Paso 3:** Se envió a los participantes un correo electrónico con el enlace del sitio web, el enlace de la encuesta a llenar, el manual de usuario, las actividades a realizar y sus credenciales de acceso.

**Paso 4:** Una vez completadas las actividades, los participantes respondieron el cuestionario UMUX.

**Paso 5:** Según las indicaciones del cuestionario, se obtuvo el puntaje que cada usuario le dio y se calculó el promedio.

**Paso 6:** Se reportaron los resultados, su desviación estándar, su análisis y las estadísticas de la encuesta.

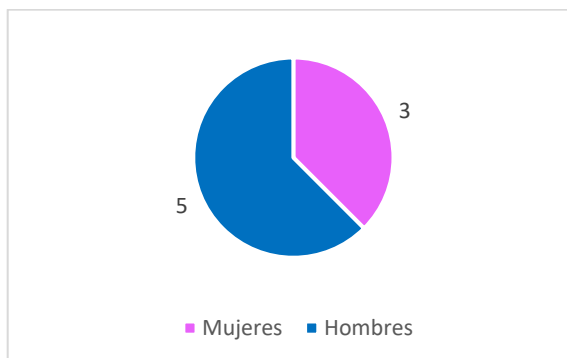
## 5.2. Resultados de la evaluación de usabilidad

Se aplicó la encuesta UMUX de manera virtual a los ocho participantes seleccionados, con el objetivo de evaluar la percepción de usabilidad del sistema desarrollado, uno de ellos se observa en la figura 40. Esta encuesta consta de cuatro preguntas con escala Likert de 1 a 7, de las cuales las preguntas 1 y 3 están redactadas de forma positiva, y las preguntas 2 y 4 de forma negativa.

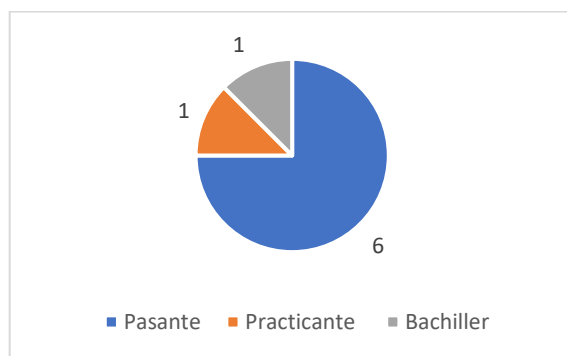


**Figura 40.** Uno de los pasantes probando el sitio. Foto tomada en CMCH

Las estadísticas de quienes respondieron la encuesta se observan en las figuras 41 y 42 son las siguientes:



**Figura 41. Distribución según sexo. Elaboremos una propina**



**Figura 42. Distribución según puesto. Elaboremos una propina**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la tabla 11:

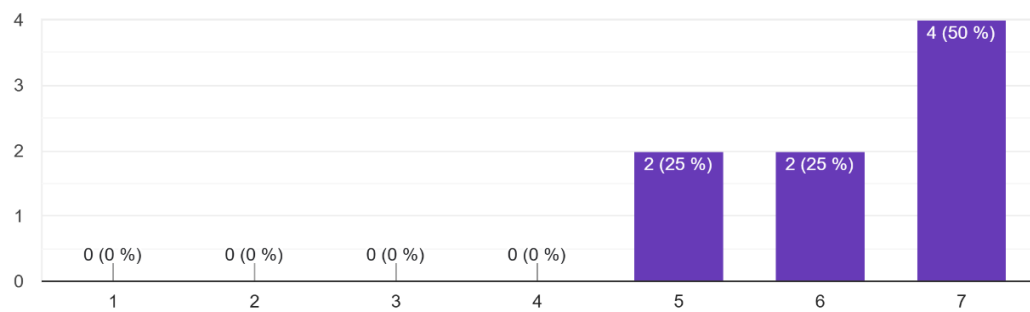
**Tabla 11. Puntuaciones obtenidas de la encuesta UMUX. Elaboremos una propina**

| Usuario | Pregunta 1 | Pregunta 2 | Pregunta 3 | Pregunta 4 | Puntos Impar | Puntos Par | Puntuación Individual |
|---------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-----------------------|
| U1      | 6          | 1          | 7          | 1          | 11           | 12         | 95.833                |
| U2      | 7          | 1          | 7          | 1          | 12           | 12         | 100.000               |
| U3      | 7          | 1          | 7          | 1          | 12           | 12         | 100.000               |
| U4      | 5          | 2          | 6          | 3          | 9            | 9          | 75.000                |
| U5      | 5          | 2          | 5          | 2          | 8            | 10         | 75.000                |
| U6      | 7          | 1          | 7          | 2          | 12           | 11         | 95.833                |
| U7      | 7          | 1          | 6          | 2          | 11           | 11         | 91.667                |
| U8      | 6          | 2          | 7          | 4          | 11           | 8          | 79.167                |

Basándose en los datos recolectados, se generaron gráficos de barras para visualizar las tendencias de respuesta por cada pregunta, estos se observan en las figuras 43,44,45 y 46:

El sistema cumple con los requerimientos para el trabajo

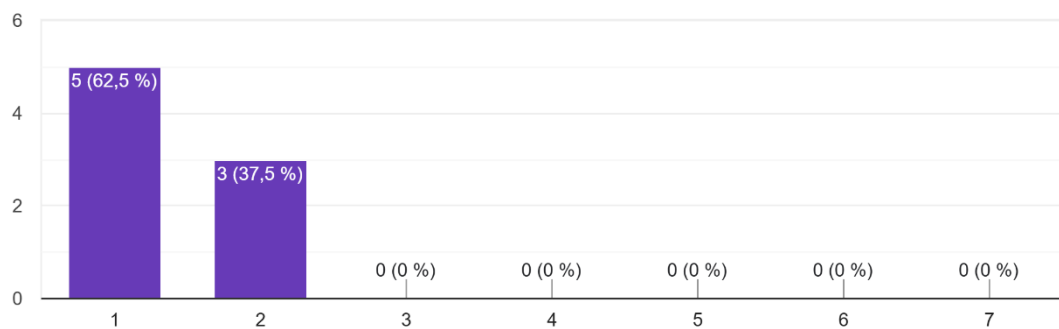
8 respuestas



**Figura 43. Respuestas de la pregunta 1. Elaboración propia**

Usar el sistema es una experiencia frustrante

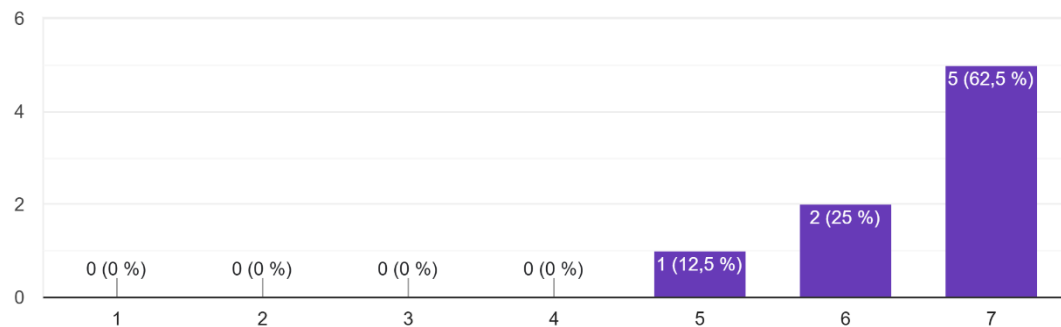
8 respuestas



**Figura 44. Respuestas de la pregunta 2. Elaboración propia**

El sistema es fácil de usar

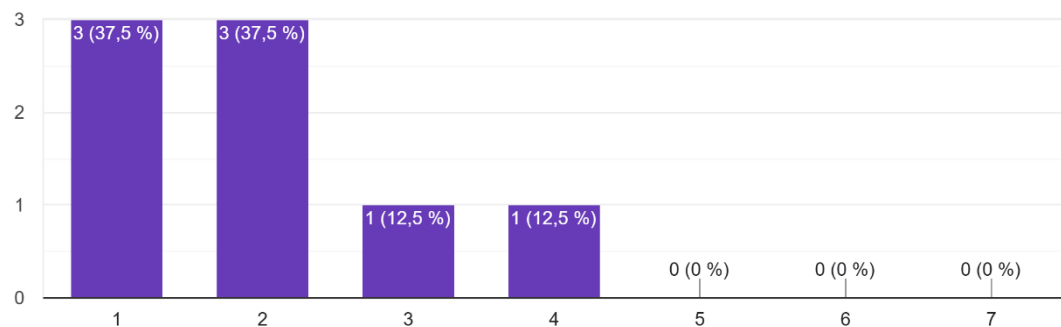
8 respuestas



**Figura 45. Respuestas de la pregunta 3. Elaboración propia**

El tiempo necesario para corregir problemas en el sistema es excesivo

8 respuestas



**Figura 46. Respuestas de la pregunta 4. Elaboración propia**

Con las respuestas obtenidas, se hizo el cálculo de la puntuación UMUX:

- Para las preguntas positivas (1 y 3), se suman los valores y se resta 2
- Para las preguntas negativas (2 y 4), se suman los valores y se restan de 14
- Ambos resultados se suman y se multiplican por  $(100/24)$  para obtener la puntuación total por usuario.
- Finalmente, las puntuaciones individuales se promedian.

Haciendo los cálculos con las puntuaciones individuales de la tabla, el promedio de usabilidad percibida según el UMUX fue de 89.06 puntos, lo que indica un muy alto nivel de satisfacción de los 8 usuarios encuestados con el sistema.

Adicionalmente, considerando el tamaño reducido de la muestra, se emplearon medidas robustas de tendencia central y dispersión. La mediana de los puntajes obtenidos fue de 93.75 puntos, que vuelve a confirmar un alto nivel de usabilidad percibida. Por su parte,

el rango intercuartílico se situó entre 77.08 y 97.92 puntos (RIC = 20.84), indicando que el 50% central de las evaluaciones se concentra en valores elevados. Estos resultados evidencian que la percepción de usabilidad del sistema es consistentemente alta entre los usuarios evaluados.

De acuerdo con Bangor et al. (56), un puntaje de 70 en la escala SUS (System Usability Scale) representa el promedio, por lo que valores superiores a este umbral indican niveles de usabilidad aceptables. En estudios recientes, el valor promedio reportado para más de 500 productos evaluados mediante SUS dio un valor similar con 68 puntos (57), lo que refuerza ese rango como referencia estándar. En contraste, sistemas similares como Excel, actualmente utilizado en la clínica, presentan una puntuación inferior, con un promedio de 56.5 puntos (58). En este contexto, el puntaje obtenido de 89 evidencia un nivel de usabilidad superior al promedio y a otras soluciones comparables.

La comparación entre los resultados de UMUX y SUS es metodológicamente válida, dado que en el estudio original de Finstad (53) se establece que el UMUX fue diseñado específicamente para generar resultados comparables a los del SUS, evidenciándose una alta correlación entre ambas métricas ( $r = 0.96$ ), lo que indica una fuerte equivalencia en la medición de la usabilidad. Asimismo, ambos instrumentos presentan altos niveles de confiabilidad, reflejados en coeficientes de consistencia interna superiores a 0.80. Adicionalmente, Lewis et al. (54) reportaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes promedio obtenidos mediante UMUX y SUS, lo que refuerza su equivalencia a nivel de medición. Ambos instrumentos también han demostrado sensibilidad, al ser capaces de detectar diferencias significativas en la usabilidad entre sistemas evaluados ( $p < 0.01$ ). Estas propiedades sustentan que los resultados obtenidos mediante UMUX puedan ser comparados e interpretados de manera equivalente utilizando como referencia los valores reportados con el SUS.

Finalmente, considerando que el tamaño de muestra de la encuesta es de solo 8 usuarios, se calculó la probabilidad de que la siguiente persona que use el sistema lo puntúe con una usabilidad aceptable. Es decir, que le dé un puntaje mayor a 70. Esto se calcula con la regla de sucesión de Laplace (59), la cual se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{s + 1}{n + 2}$$

Donde:

$s$  = Número de "éxitos" (Puntajes mayores a 68)

$n$  = Número total de respuestas.

$P$  = Probabilidad estimada.

Aplicando la fórmula se obtiene que la probabilidad de que otro usuario califique al sistema con una buena usabilidad es de 90%. Por lo tanto, se puede afirmar que, en el estado actual del sistema, este cumple de forma aceptable con los criterios de facilidad de uso desde la perspectiva del usuario final.

### **5.3. Protocolo de evaluación de desempeño funcional**

Desde la perspectiva tecnológica, la evaluación del desempeño funcional del sistema consistió en verificar que la estructura y las funcionalidades implementadas permiten operar con datos reales provenientes de los registros de la clínica. Esta evaluación tuvo como propósito comprobar que el sistema permite almacenar, organizar y recuperar información de manera consistente.

Para ello, se utilizaron los eventos correspondientes al periodo comprendido desde la incorporación del área de equipos médicos hasta abril de 2025 encontrados en diferentes archivos de Google Sheets. A partir de esta información, se analizaron distintos aspectos clave, como el tipo de actividad, la evolución en el tiempo y la distribución por unidad clínica.

Esta evaluación se estructuró basándose en el modelo de calidad propuesto por la norma ISO/IEC 25010 (60), particularmente en las características de adecuación funcional, fiabilidad y eficiencia del rendimiento. En base a este enfoque, se establecieron los siguientes criterios:

- Recuperación precisa de la información mediante consultas SQL, resultados correctos en relación con los datos almacenados (adecuación funcional).

- Procesamiento íntegro de los datos, sin pérdidas, duplicaciones ni inconsistencias durante su almacenamiento, consulta y representación (fiabilidad).
- Capacidad del sistema para manejar un volumen considerable de registros (1311 eventos) sin fallos en su ejecución (eficiencia del rendimiento).

Los pasos que se realizaron para esta evaluación fueron los siguientes:

**Paso 1:** Se recopilaron los registros de eventos provenientes de diversos archivos de Google Sheets correspondientes al periodo comprendido entre la implementación del área de equipos médicos en la clínica (diciembre del 2022) hasta finales de abril del 2025. La información se adaptó al formato requerido para su incorporación en la base de datos, proceso que se efectuó posteriormente. En total, se registraron 1311 eventos.

**Paso 2:** A partir de los datos integrados, se organizaron los eventos mediante consultas SQL personalizadas sobre la base de datos MySQL. Este proceso permitió verificar la correcta estructuración de la información, así como la recuperación íntegra de los datos sin pérdida ni duplicación. Con la información consolidada, se realizó el análisis en tres ejes principales:

- Eventos según tipo de actividad
- Evolución de eventos a lo largo del tiempo
- Eventos según UPSS

Este procesamiento permitió evidenciar que el sistema responde adecuadamente en las operaciones de almacenamiento y consulta, manteniendo la consistencia de los datos registrados.

**Paso 3:** La información obtenida fue exportada a Microsoft Excel para la elaboración de gráficos, con el fin de visualizar la distribución de los eventos según los criterios mencionados. Es importante precisar que el sistema no cuenta con funcionalidades de visualización gráfica en su versión actual; sin embargo, permite la extracción estructurada de los datos para su posterior análisis mediante herramientas externas.

#### 5.4. Resultados de la evaluación de desempeño funcional

Se analizaron los 1311 eventos registrados en la base de datos del sistema, correspondientes al periodo comprendido entre diciembre de 2022 y abril de 2025.

Los datos fueron extraídos mediante consultas SQL directamente desde la base de datos MySQL, lo que permitió estructurar la información y elaborar las tablas y gráficos utilizados en esta sección, sin comprometer su integridad.

Los resultados presentados a continuación permiten evaluar los criterios definidos, relacionados con la adecuación funcional, la fiabilidad y la eficiencia del rendimiento del sistema.

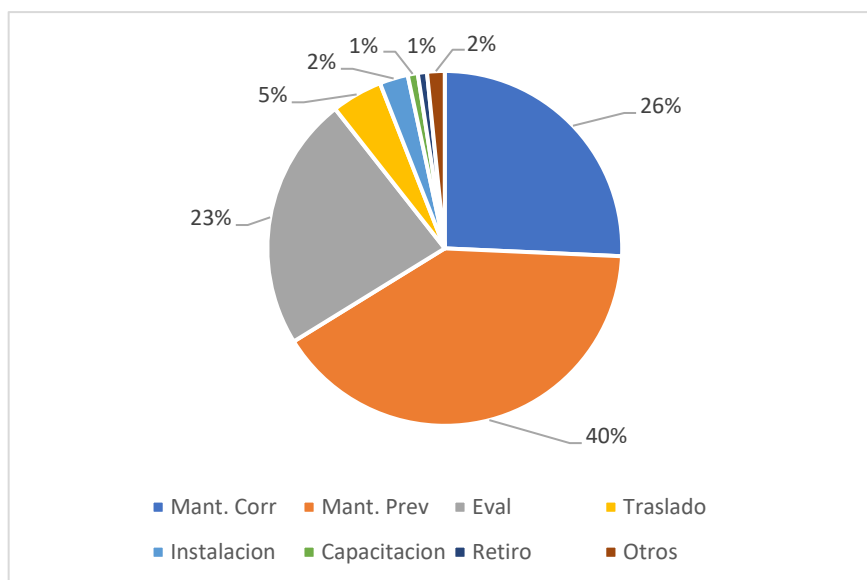
##### Distribución de eventos por tipo

Se clasificaron los eventos en diferentes categorías que comprenden: Mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, evaluación, traslado, instalación, capacitación, retiro y otros. Esta última categoría agrupa eventos registrados con poca frecuencia como actualización, recepción, calibración, reparación temporal y control de calidad. Los resultados se pueden observar en la tabla 12:

**Tabla 12. Cantidad de eventos por tipo. Datos de CMCH registrados en el sistema**

| Actividad           | Dic. 2022 | 2023 | 2024 | Hasta abril<br>2025 | Total |
|---------------------|-----------|------|------|---------------------|-------|
| <b>Mant. Corr</b>   | 21        | 212  | 79   | 25                  | 337   |
| <b>Mant. Prev</b>   | 4         | 233  | 193  | 101                 | 531   |
| <b>Evaluación</b>   | 1         | 210  | 76   | 17                  | 304   |
| <b>Traslado</b>     | 4         | 42   | 14   | 1                   | 61    |
| <b>Instalación</b>  | -         | 21   | 11   | 2                   | 34    |
| <b>Capacitación</b> | -         | 10   | 2    | -                   | 12    |
| <b>Retiro</b>       | -         | 8    | 3    | -                   | 11    |
|                     |           |      |      | <b>Otros</b>        | 21    |
|                     |           |      |      | <b>Total</b>        | 1311  |

Se observa que los eventos que constituyen la mayor parte de las actividades ejecutadas son los mantenimientos preventivos (531) seguidos de los mantenimientos correctivos (337) y las evaluaciones (304). También se registran otros tipos de eventos complementarios, aunque en menor proporción como se observa en la figura 47.



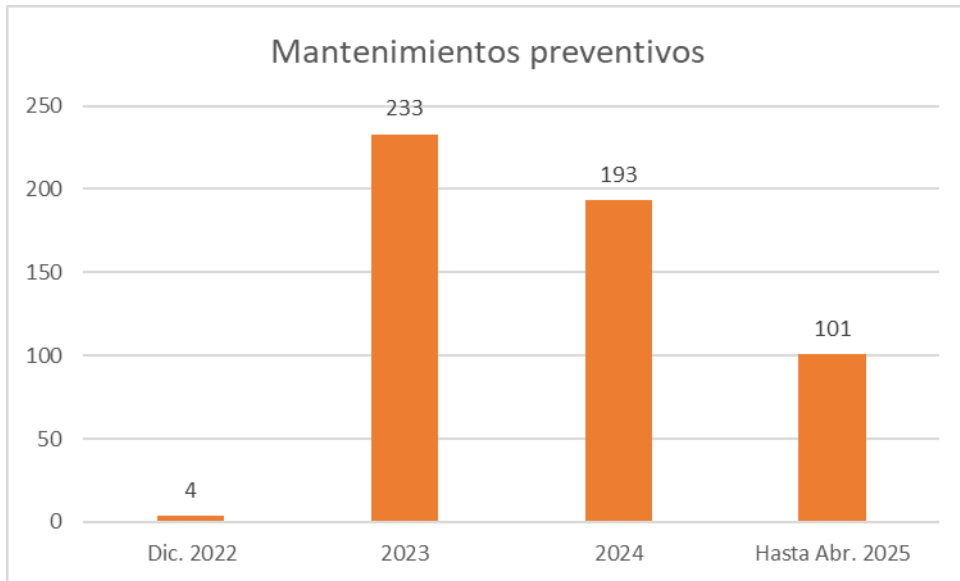
**Figura 47. Tipos de eventos en porcentaje. Elaboración propia**

Al analizar los eventos en porcentaje se observa que el 40% corresponde a mantenimientos preventivos, el 26% a mantenimientos correctivos, el 23% a evaluaciones y el 11% restante es equivalente a actividades complementarias.

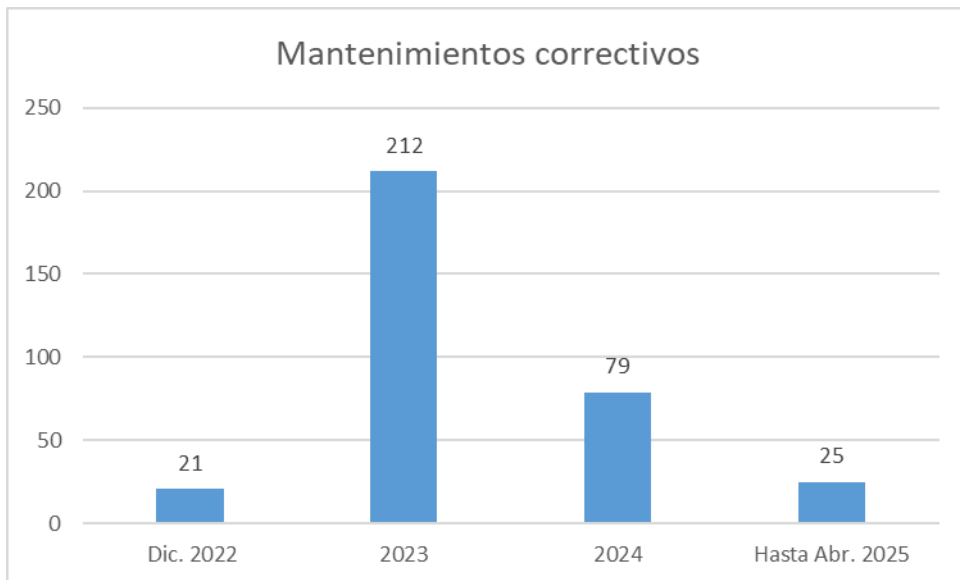
Estos resultados evidencian que el sistema permite clasificar, recuperar y organizar correctamente la información registrada, reflejando de manera consistente los datos almacenados y cumpliendo con el criterio de adecuación funcional.

### **Distribución temporal de eventos principales**

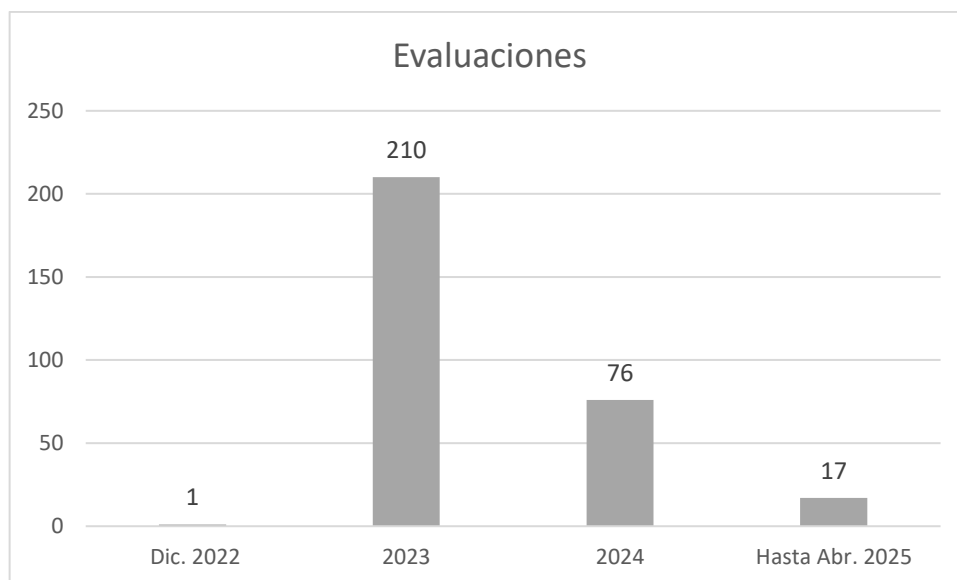
Se analizó la evolución temporal de los tres tipos de eventos más representativos: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y evaluaciones técnicas. A partir de los datos presentados en la tabla 12, se elaboraron gráficos de barras para visualizar su comportamiento a lo largo del tiempo, los cuales se muestran en las figuras 48, 49 y 50.



**Figura 48. Mantenimientos preventivos por fecha. Elaboración propia**



**Figura 49. Mantenimientos correctivos por fecha. Elaboración propia**



**Figura 50. Evaluaciones por fecha. Elaboración propia**

Los registros se inician en diciembre de 2022, en concordancia con la implementación del área de equipos médicos. Se optó por enfocarse solo en los tres tipos de eventos principales porque son los que ofrecen un panorama más amplio sobre el desarrollo progresivo del área y la capacidad del sistema para consolidar dicha información estructuradamente.

Los mantenimientos preventivos presentan el mayor volumen de registros a lo largo del periodo analizado, seguidos por los mantenimientos correctivos y las evaluaciones. Asimismo, se observa una variación en la cantidad de eventos entre los diferentes años.

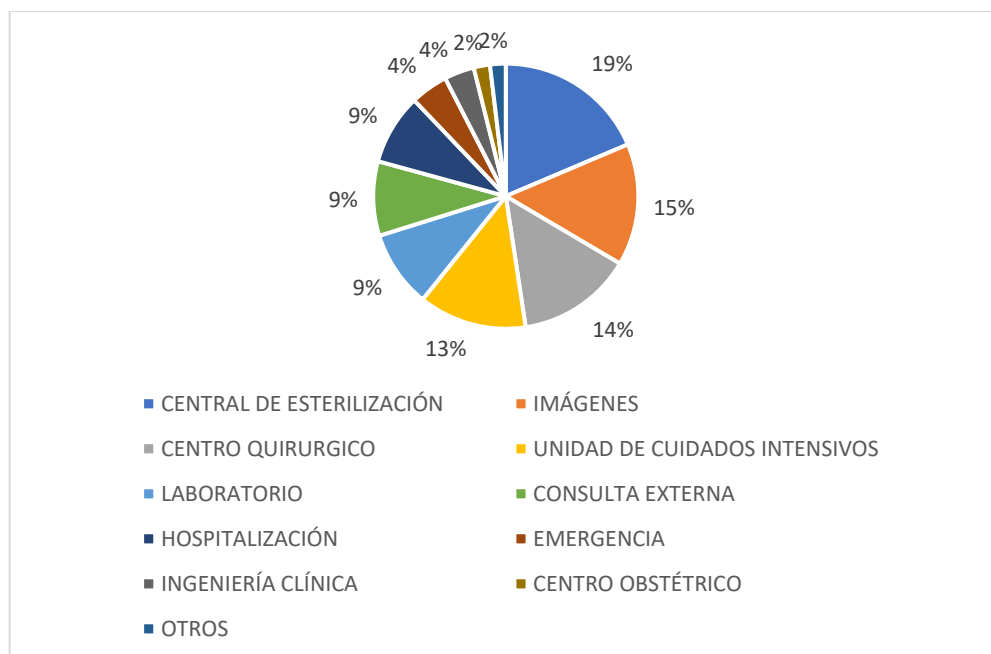
La evolución temporal de los eventos muestra una distribución coherente con el desarrollo del área de equipos médicos, evidenciando que la información registrada puede ser organizada y analizada de manera consistente a lo largo del tiempo.

### **Eventos por UPSS**

Se analizaron los eventos registrados organizados según la UPSS en la que ocurrieron, con el fin de evaluar la capacidad del sistema para estructurar la información por unidad clínica. Con esta clasificación se puede identificar en qué servicios es que se concentra la mayor parte del trabajo del área de ingeniería clínica. Los resultados se presentan en la tabla 13 y a partir de ella se elaboró la figura 51 que muestra los porcentajes:

**Tabla 13. Cantidad de eventos según UPSS. Elaboración propia**

| UPSS                          | Eventos |
|-------------------------------|---------|
| CENTRAL DE ESTERILIZACIÓN     | 244     |
| IMÁGENES                      | 195     |
| CENTRO QUIRURGICO             | 185     |
| UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS | 173     |
| LABORATORIO                   | 123     |
| CONSULTA EXTERNA              | 119     |
| HOSPITALIZACIÓN               | 113     |
| EMERGENCIA                    | 60      |
| INGENIERÍA CLÍNICA            | 48      |
| CENTRO OBSTÉTRICO             | 26      |
| OTROS                         | 25      |

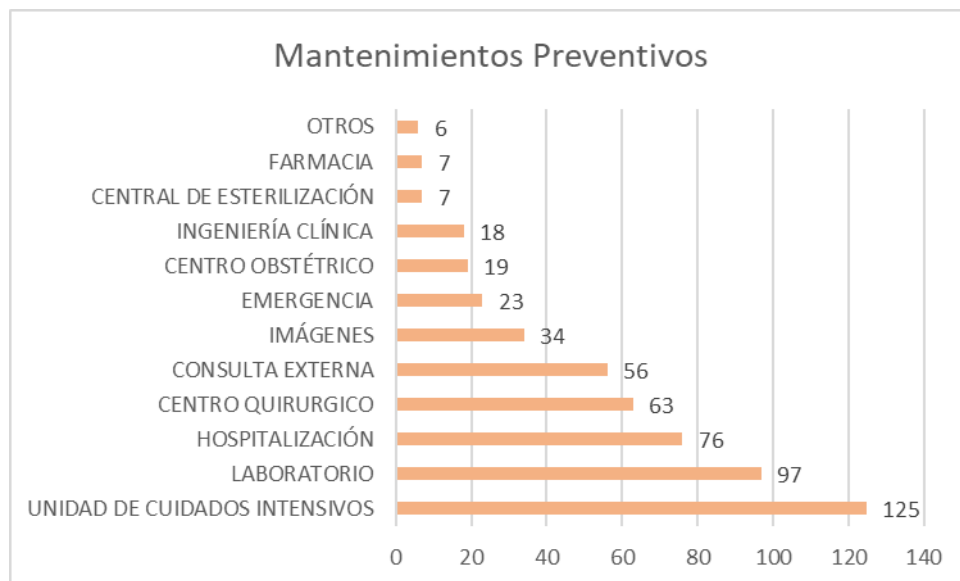


**Figura 51. Distribución en porcentaje de eventos según UPSS. Elaboración propia**

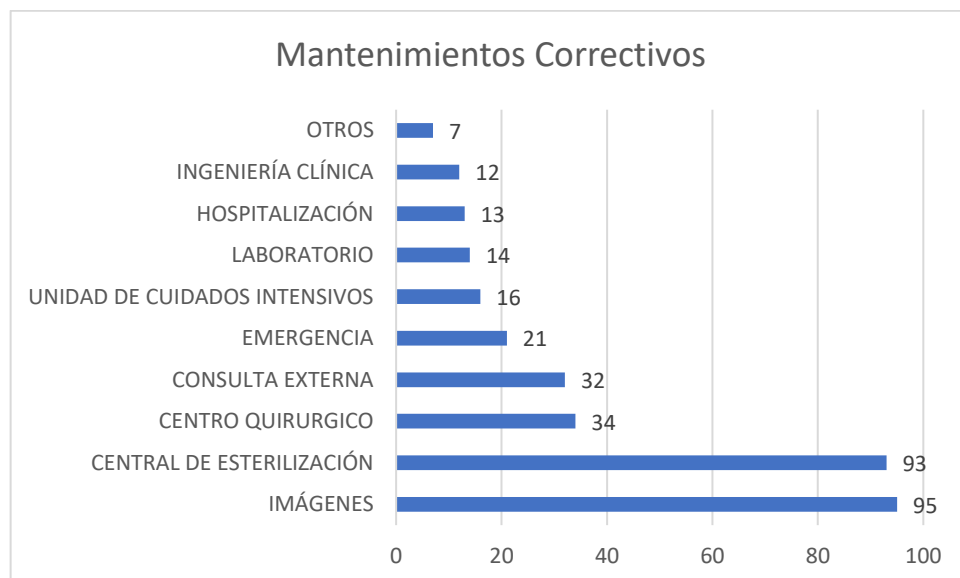
Se observa que central de esterilización, imágenes, centro quirúrgico y UCI son las que ocupan más del 60% del total. Asimismo, se aprecia que las siguientes 3 unidades que son el laboratorio, consulta externa y hospitalización presentan volúmenes similares mientras se mantienen en un rango cercano. Por último, emergencia, el taller de ingeniería clínica, centro obstétrico y otros servicios menores representan tan solo un 10% del total.

Las exigencias operativas pueden verse reflejadas mejor con el análisis del tipo de actividad realizada en cada área. Como complemento, se elaboraron gráficos que muestran la distribución de los principales tipos de eventos según la UPSS donde ocurren,

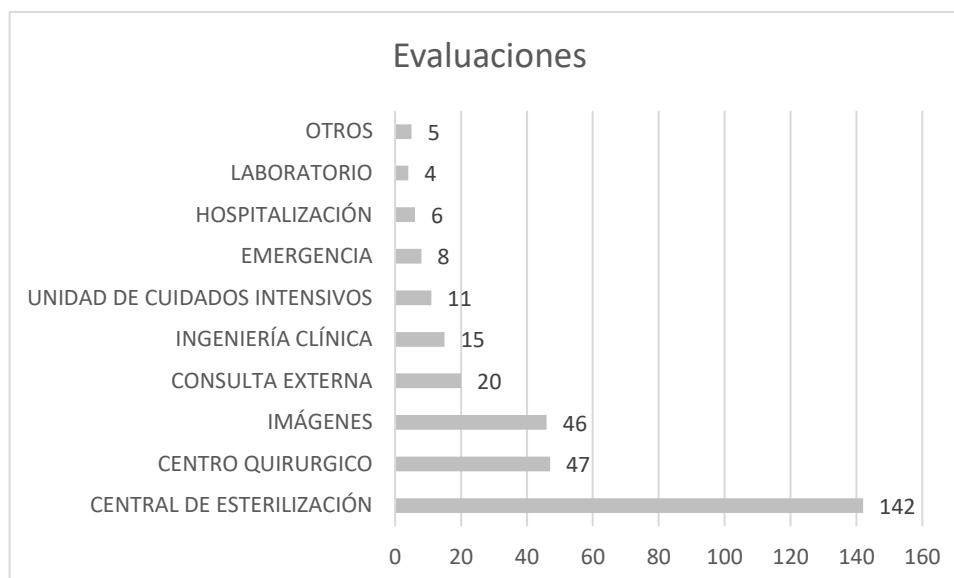
lo que permite identificar patrones con mayor precisión. Los gráficos se muestran a continuación en las figuras 52,53 y 54:



**Figura 52. Cantidad de mantenimientos preventivos por UPSS. Elaboración propia**



**Figura 53. Cantidad de mantenimientos correctivos por UPSS. Elaboración propia**



**Figura 54. Cantidad de evaluaciones por UPSS. Elaboración propia**

La distribución de los eventos según la UPSS muestra que el sistema permite clasificar y organizar la información de manera estructurada, facilitando su consulta y análisis por unidad clínica. Por otro lado, la correcta organización de un volumen considerable de registros (1311 eventos) sin inconsistencias durante su procesamiento muestra que el sistema cumple con el criterio de eficiencia del rendimiento.

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema cumple con los criterios de adecuación funcional, fiabilidad y eficiencia del rendimiento, permitiendo gestionar, almacenar y procesar información real de manera confiable. Asimismo, se demuestra que el sistema proporciona una estructura de datos organizada que facilita su posterior análisis mediante herramientas externas.

## 5.5. Comparación entre requerimientos y resultados

Para finalizar con la metodología GAITS desde la perspectiva regulatoria, se llevó a cabo la evaluación del cumplimiento de requerimientos, que consiste en la comparación entre las exigencias definidas en la etapa inicial y los resultados obtenidos tras el desarrollo del sistema.

Esta evaluación se realizó basándose en el modelo de calidad propuesto por la norma ISO/IEC 25010 (60), con el fin de contrastar los requerimientos definidos con las características de calidad presentes en el sistema desarrollado. A diferencia de la

evaluación del desempeño funcional presentada en la sección anterior, en la cual se evaluaron aspectos específicos del comportamiento del sistema, en esta etapa se emplea la norma como marco de referencia para clasificar y verificar el cumplimiento de los requerimientos desde una perspectiva más general.

En ese sentido se consideraron características como la adecuación funcional, compatibilidad, flexibilidad, capacidad de interacción, seguridad y fiabilidad en función de su relación con los requerimientos planteados inicialmente.

A continuación, se describen los principales resultados obtenidos según los requerimientos iniciales y las características evaluadas:

- **Funcionalidades (Adecuación funcional):** Se completó satisfactoriamente la inclusión del inventario de equipos, eventos y mantenimientos. Cada uno de ellos se puede registrar y modificar según los campos de los archivos de Excel que se usaban por el equipo de ingeniería. También se puede filtrar la información que aparece según campos determinados.
- **Módulos (Adecuación funcional):** Los módulos de perfil, usuarios, inventario, eventos, mantenimientos y características demostraron ser suficientes para el uso del sistema.
- **Uso portable (Compatibilidad):** El sistema fue desarrollado como una aplicación web alojada en la nube, lo que permite su acceso desde distintos dispositivos y ubicaciones.
- **Escalabilidad (Flexibilidad):** La escalabilidad está garantizada gracias al servidor virtual privado de 40 GB de almacenamiento que se tiene exclusivamente para la base de datos.
- **Usabilidad (Capacidad de interacción):** La navegación es clara y la interfaz de usuario es intuitiva como lo demuestran los resultados del cuestionario UMUX.
- **Clasificación de usuarios (Seguridad):** Se incluyeron los tres tipos de usuario: administrador, ingeniero y usuario. Esto se implementó haciendo que las páginas a las que se puede acceder son diferentes dependiendo del tipo de usuario.
- **Confiabilidad (Fiabilidad):** El sistema presenta alta disponibilidad durante su operación normal. La única excepción es cuando el proveedor del servidor virtual privado se encuentra en mantenimiento. Sin embargo, esto ocurre solo algunos días a la medianoche, horario en el cual no se usará el sitio web.

- **Compatibilidad:** El sitio web funciona en los principales navegadores web usados actualmente (Chrome, Firefox, Opera, Edge y Brave). También puede ser utilizado en los navegadores de dispositivos móviles Android o Apple.

Finalmente, en la tabla 14 se presenta la comparación entre los requerimientos iniciales y su nivel de cumplimiento.

**Tabla 14. Comparación entre requerimientos y resultados. Elaboración propia**

| <b>Deseo o Exigencia</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Completado</b>                                                                                                     |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Exigencia                | <b>Funcionalidades (Adecuación funcional):</b><br>- Incluir el inventario de equipos, eventos y mantenimientos.<br>- Registro y modificaciones detalladas de cada uno de estos campos.<br>- Filtrado de información según categorías determinadas. | <b>SÍ.</b> Todas las funcionalidades planteadas se encuentran implementadas                                           |
| Exigencia                | <b>Módulos (Adecuación funcional):</b><br>- Perfil<br>- Usuarios<br>- Inventario<br>- Eventos<br>- Mantenimiento<br>- Características                                                                                                              | <b>SÍ.</b> Los módulos de perfil, usuarios, inventario, eventos, mantenimientos y características aparecen operativos |
| Deseo                    | <b>Uso portable (Compatibilidad):</b> Se podrá acceder desde cualquier lugar a la información del sistema para facilitar el trabajo                                                                                                                | <b>SÍ.</b> El sitio se puede acceder desde móviles                                                                    |
| Exigencia                | <b>Escalabilidad (Flexibilidad):</b> La base de datos deberá tener capacidad de almacenar grandes volúmenes de información.                                                                                                                        | <b>SÍ.</b> Se tienen 40 GB de almacenamiento                                                                          |
| Exigencia                | <b>Usabilidad (Capacidad de interacción):</b> El sistema tendrá una interfaz de usuario intuitiva, con una navegación clara                                                                                                                        | <b>SÍ.</b> Se demuestra por los resultados del cuestionario                                                           |
| Exigencia                | <b>Clasificación de usuarios (Seguridad):</b> Se contará con diferentes tipos de usuarios para que la información solo pueda ser modificada por personal selecto y así evitar problemas.                                                           | <b>SÍ.</b> Se incluyeron los diferentes tipos de usuario diferenciados                                                |
| Exigencia                | <b>Confiabilidad (Fiabilidad):</b> El sistema presentará una alta disponibilidad para asegurar que se mantenga operativo en situaciones críticas.                                                                                                  | <b>SÍ.</b> El sistema siempre está operativo durante horario laboral                                                  |
| Deseo                    | <b>Compatibilidad:</b> Compatibilidad con diferentes sistemas operativos y navegadores web.                                                                                                                                                        | <b>SÍ.</b> El sitio web funciona en los principales navegadores web                                                   |

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

En relación con el objetivo general de la tesis, el desarrollo de la aplicación web hizo posible contar con una plataforma para el registro y consulta de eventos de mantenimiento correctivo, preventivo y evaluaciones de equipos médicos en la CMCH, tomando en consideración el flujo de trabajo del área. El proyecto representa una contribución concreta al entorno hospitalario al ofrecer una solución digital que mejora la organización de la información técnica, reduce la dependencia de herramientas genéricas y facilita el análisis de datos históricos.

En primer lugar, el cumplimiento del objetivo específico enfocado en la identificación de requisitos permitió determinar que las principales problemáticas del área de equipos médicos de la CMCH estaban relacionadas con la falta de estandarización en el registro de información, la dificultad para gestionar grandes volúmenes de datos y la ausencia de un sistema especializado para el seguimiento de eventos técnicos. Asimismo, se estableció que la solución debía contemplar funcionalidades como diferenciación de usuarios, acceso a información estructurada de los equipos médicos, capacidad para registrar datos adicionales y compatibilidad con dispositivos móviles. En base a ello se evidencia la necesidad de una herramienta adaptada a la operatividad real del área de equipos médicos.

En segundo lugar, gracias al diseño de la interfaz y la estructura del software se organizaron las funcionalidades del sistema en módulos orientados al inventario, eventos y mantenimientos. En ellos se incorporaron mecanismos de búsqueda, filtrado y diferenciación de accesos según roles. Además, la estructura planteada facilitó el registro, visualización y consulta de información técnica relacionada con los equipos médicos.

En tercer lugar, la fase de desarrollo de la aplicación web representó la centralización de la información correspondiente al inventario de equipos médicos y sus eventos asociados, integrando los registros en una única base de datos estructurada. Igualmente, el sistema tuvo la capacidad para gestionar más de mil registros históricos del área de equipos médicos, lo cual demuestra su funcionamiento adecuado para el almacenamiento, organización y consulta de información técnica dentro de la CMCH. Por otro lado, debido a la arquitectura implementada, el sistema presenta características de escalabilidad, ya

que tolera el incremento progresivo del volumen de información sin que la organización de los datos ni sus funcionalidades principales se vean afectadas.

Por último, en cuarto lugar, la evaluación del sistema verificó su funcionamiento desde tres enfoques. Al evaluar la usabilidad, mediante la aplicación de la encuesta UMUX a ocho participantes, la puntuación promedio obtenida fue de 89.06 sobre 100, con una mediana de 93.75 y un rango intercuartílico entre 77.08 y 97.92 puntos, evidenciando una percepción favorable respecto a la facilidad de uso del sistema. Desde la perspectiva funcional, el sistema gestionó correctamente 1311 eventos históricos correspondientes al área de equipos médicos de la CMCH, organizando la información según diferentes criterios, sin inconsistencias durante el procesamiento de datos. Asimismo, tomando como referencia el modelo de calidad ISO/IEC 25010, se evaluó el cumplimiento de 7 características de calidad: adecuación funcional, compatibilidad, flexibilidad, capacidad de interacción, seguridad, fiabilidad y eficiencia del rendimiento, confirmando que el sistema responde adecuadamente a los requerimientos definidos inicialmente.

## **6.2. Recomendaciones**

A partir de la experiencia obtenida en esta investigación, se presentan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros o proyectos relacionados:

La incorporación de otros profesionales vinculados al uso y gestión de equipos médicos podría complementar los requisitos identificados inicialmente, permitiendo recabar distintas perspectivas que antes se habrían omitido.

Se recomienda continuar optimizando la interfaz del sistema mediante evaluaciones cualitativas periódicas con usuarios finales, a fin de mejorar la experiencia de uso y facilitar aún más la consulta y registro de información.

La arquitectura implementada facilita la incorporación progresiva de nuevas funcionalidades, por lo que futuras versiones del sistema podrían incluir herramientas orientadas a reportes, órdenes de servicio y gestión de costos.

Futuras evaluaciones podrían considerar una mayor cantidad de participantes y periodos de utilización más extensos, con la finalidad de obtener una valoración más amplia del comportamiento del sistema en condiciones de uso continuo dentro del área de equipos médicos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Introduction to medical equipment inventory management. WHO Medical Device Technical Series; 2011.
2. World Health Organization. Medical equipment maintenance programme overview. WHO Medical Device Technical Series; 2011.
3. Abd Rahman NH, Ibrahim AK, Hasikin K, Abd Razak NA. Critical Device Reliability Assessment in Healthcare Services. J Healthc Eng. 2023; 2023:3136511.
4. Corciovă C, Andrițoi D, Luca C. A Modern Approach for Maintenance Prioritization of Medical Equipment [Internet]. Operations Management - Emerging Trend in the Digital Era. IntechOpen; 2021. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.92706>
5. Wu H, Liu G. Building the Quality Control System for Medical Equipments in Hospital. In: 2010 International Conference on Management and Service Science. 2010. p. 1–4.
6. Beniacoub F, Myszkowski M, Worm A, Fabrice N, Arakaza EC, Van Bastelaere S. Implementation of a decentralised maintenance model with a measurable impact on the functionality and availability of medical equipment in healthcare facilities in Burundi. Health Technol (Berl) [Internet]. 2023;13(3):485–94. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12553-023-00755-1>
7. Lozada Valdés AJ, García Peña BS, Duque Suarez OM. Sistema Automatizado De Gestión De Mantenimiento De Equipos Biomedicos. RIINN [Internet]. 18 de noviembre de 2021 [citado 5 de septiembre de 2023]; Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2672>
8. Hillebrecht M, Schmidt C, Saptoka BP, Riha J, Nachtnebel M, Bärnighausen T. Maintenance versus replacement of medical equipment: a cost-minimization analysis among district hospitals in Nepal. BMC Health Serv Res [Internet]. 2022;22(1):1023. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08392-6>
9. Saleh N, Salem AR. An Automated Medical Equipment Management System Proposed for Small-Scale Hospitals. J Clin Eng [Internet]. 2017;42(4). Available from:

[https://journals.lww.com/jcejjournal/fulltext/2017/10000/an\\_automated\\_medical\\_equipment\\_management\\_system.13.aspx](https://journals.lww.com/jcejjournal/fulltext/2017/10000/an_automated_medical_equipment_management_system.13.aspx)

10. World Health Organization. Decommissioning of Medical Devices WHO Medical Device Technical Series; 2019.
11. AKAR N, ÜLGEN Y, ÖZTÜRK-IŞIK E. A Comprehensive Medical Equipment Management Software System for Increased Patient Safety. In: 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA). 2019. p. 1–5.
12. Hsin-Chen Wu, Jia-Xian Yang, Wan-Lun Hsu et al. Point-of-Care Biomedical Engineering Equipment Management System, 03 November 2021, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-953193/v1>]
13. Miranda L, Takayama K, Implementación de una plataforma informática avanzada que sirva de soporte a los procesos que intervienen en la gestión de equipos médicos en establecimientos de salud peruanos [tesis de grado]. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.; 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8805>
14. Valenzuela J, Sistema de información para la gestión del mantenimiento del equipamiento biomédico del hospital regional del Cusco [tesis de grado]. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.; 2023. Disponible en: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5477>
15. Reyes E, Gutiérrez M, Desarrollo de un software para la gestión del mantenimiento a equipos biomédicos mediante PHP, bajo lineamientos OMS [tesis de grado]. Arauca, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.; 2015. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/items/c088b3f1-8bf0-4d39-b544-9707088d5d29>
16. World Health Organization. Computerized maintenance management system. WHO Medical Device Technical Series; 2012.
17. Hospital facilities [Internet]. Fiix. 2015 [citado el 13 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://fiixsoftware.com/cmms/industry-solutions/hospital-facilities/>

18. TINC CMMS - Gestión del Mantenimiento para Activos de la Salud [Internet]. Cmmstinc.com. [citado el 13 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://cmmstinc.com/>
19. Clínica Cayetano Heredia servicios de salud en Lima Norte [Internet]. Clínica Cayetano Heredia. [citado el 24 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.cmch.pe/nosotros-cayetano-heredia.aspx>
20. SAP library - overview of plant maintenance (PM) [Internet]. Sap.com. [citado el 24 de abril de 2024]. Disponible en: [https://help.sap.com/doc/erp\\_sfi\\_addon10/1.0/en-US/5b/ae2cf64b8611d182ba0000e829fbfe/frameset.htm](https://help.sap.com/doc/erp_sfi_addon10/1.0/en-US/5b/ae2cf64b8611d182ba0000e829fbfe/frameset.htm)
21. Salamanek D. SAP plant maintenance work order: How to attach files [Internet]. SEAL Systems AG. SEAL Systems; 2021 [citado el 2 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://www.sealsystems.com/blog/how-to-attach-plant-maintenance/>
22. QS - Software CMMS para ingenieros clínicos y toda la industria de la salud [Internet]. QS. [citado el 17 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://qsystems.com.co/>
23. Organización Mundial de la Salud. Formulación de políticas sobre dispositivos médicos. Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos; 2011.
24. EsSalud. VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS MÉDICOS (CONSIDERACIONES TECNOLÓGICAS Y OTROS). Boletín Tecnológico N°04 – 2019. Disponible: [http://www.essalud.gob.pe/ietsi/BOLETINES\\_TECNOLOGICOS/pdf/boletin\\_tecnologico\\_004\\_2019.pdf](http://www.essalud.gob.pe/ietsi/BOLETINES_TECNOLOGICOS/pdf/boletin_tecnologico_004_2019.pdf)
25. Medical equipment lifecycle management [Internet]. SoftPro Medical Solutions. 2022 [citado el 20 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.softpromedical.com/medical-equipment-lifecycle-management/>
26. Medicines and Healthcare products Regulatory Agency. Managing medical devices. 2021. Disponible en: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/982127/Managing\\_medical\\_devices.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/982127/Managing_medical_devices.pdf)

27. Beniacoub F, Ntwari F, Niyonkuru JP, Nyssen M, Van Bastelaere S. Evaluating a computerized maintenance management system in a low resource setting. *Health Technol (Berl)*. 2021;11(3):655–61.
28. Home - public GAITS site - GAITS [Internet]. Public GAITS Site. [citado el 2 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://www.gaits.org/>
29. Pressman, R., & Maxim, B. (2015). *Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico* (8va Ed.). McGraw-Hill.)
30. Saravanos A, Curinga MX. Simulating the Software Development Lifecycle: The Waterfall Model. Vol. 6, *Applied System Innovation*. 2023. p. 108.
31. Washizaki H, (ed.), Olszewska JI. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge v4.0*. Piscataway, New Jersey: IEEE Computer Society, 2024. 413 p.
32. Shaker AA, Austin SF, Jørgensen MS, Sørensen JA, Bechmann H, Kinnerup HE, et al. Facilitating In-House Mobile App Development Within Psychiatric Outpatient Services for Patients Diagnosed With Borderline Personality Disorder: Rapid Application Development Approach. *JMIR Hum factors*. 2023 Nov;10:e46928.
33. Gräßler I, Hentze J. The new V-Model of VDI 2206 and its validation. - *Autom*. 2020 Apr 30; 68:312–24.
34. Rodríguez A, DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN CMMS PARA CENTROS DE SALUD EN SAN PEDRO SULA [tesis de grado]. San Pedro Sula, Honduras: Universidad Tecnológica Centroamericana; 2023. Disponible en: <https://repositorio.unitec.edu/items/594f1eb3-4a82-4657-a908-dbeb49399456>
35. Gräßler I, Wiechel D, Roesmann D, Thiele H. V-model based development of cyber-physical systems and cyber-physical production systems. 31st CIRP Design Conference 2021 (CIRP Design 2021) [Internet]. 2021;100:253–258. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121005916>
36. ISO 55000:2024, Gestión de activos — Vocabulario, descripción general y principios, International Organization for Standardization (ISO). Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:55000:ed-2:v1:en>
37. Ministerio de Salud [Internet]. Gob.pe. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/192077-533-2016-minsa>

38. Mysql.com. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/introduction.html>
39. Getting started [Internet]. Getting Started | Accessing data with MySQL. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://spring.io/guides/gs/accessing-data-mysql>
40. Describing the UI [Internet]. React.dev. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://react.dev/learn/describing-the-ui>
41. About [Internet]. Postgresql.org. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.postgresql.org/about/>
42. What is .NET? [Internet]. Microsoft. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/learn/dotnet/what-is-dotnet>
43. Vue.js [Internet]. Vuejs.org. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://vuejs.org/about/faq.html>
44. SQL Server 2022 [Internet]. Microsoft.com. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-2022>
45. Php.net. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.php.net/manual/es/faq.general.php>
46. What is angular? [Internet]. Angular.dev. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://angular.dev/overview>
47. ISO 9241-210:2019, Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems, International Organization for Standardization (ISO). Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>
48. Cohen T, Baretich MF, Gentles WM. Chapter 34 - Computerized maintenance management systems. In: Iadanza EBTCEH (Second E, editor. Academic Press; 2020. p. 208–18. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128134672000341>
49. Con elástica eres capaz de más - Elástica.pe [Internet]. Elastika.pe. [citado el 2 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://elastika.pe/>

50. What is heuristic evaluation? [Internet]. The Interaction Design Foundation. Interaction Design Foundation; 2016 [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/heuristic-evaluation>
51. Flaherty K. Evaluate interface learnability with cognitive walkthroughs [Internet]. Nielsen Norman Group. 2022 [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/cognitive-walkthroughs/>
52. Think.design. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://think.design/user-design-research/task-analysis/>
53. Finstad K. The Usability Metric for User Experience. Interact Comput [Internet]. 2010;22(5):323–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095354381000038X>
54. Lewis J. Measuring Perceived Usability: The CSUQ, SUS, and UMUX. Int J Hum Comput Interact. 2018 Jan 9;34:1–9.
55. UNE-EN ISO 9241-11:2018— Usabilidad: Definición y conceptos, International Organization for Standardization (ISO). Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
56. Bangor A, Kortum P, Miller J. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. J Usability Stud. 2009 Apr 1;4:114–23.
57. Sauro J, Lewis J. Consumer software UX & NPS benchmarks 2020 [Internet]. Measuringu.com. [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://measuringu.com/ux-consumer-software-2020/>
58. Kortum P, Bangor A. Usability Ratings for Everyday Products Measured with the System Usability Scale (SUS). Int J Human-computer Interact - IJHCI. 2012 Jan 1;29.
59. Melissourgos G. Presenting quantitative usability test results [Internet]. Blucadò - Designing for human efficiency, happiness, and ethicality. Blucadò; 2022 [citado el 6 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://blucado.com/presenting-quantitative-usability-test-results/>
60. ISO/IEC 25010:2023, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality

model, International Organization for Standardization (ISO). Disponible en:  
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:25010:ed-2:v1:en>

## ANEXOS

### Anexo A: Relación de preguntas y documentos de referencia

**Tabla A.1 Relación de preguntas y documentos de referencia. Preguntas elaboradas en base a los documentos.**

| <b>Pregunta</b>                                                                                                                                        | <b>Documentos</b>                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué herramientas utiliza actualmente el área de equipos médicos para el registro del inventario y el seguimiento de las actividades de mantenimiento? | OMS - Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico (Página 19)                                               |
| ¿Qué dificultades se presentan en relación con la estandarización y consistencia de los datos registrados?                                             | OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 13 -14)                                                  |
| ¿Qué limitaciones se identifican al momento de presentar información relevante de equipos médicos a la gerencia u otros usuarios?                      | OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 10)                                                      |
| En caso de implementarse un sistema para la gestión de los equipos médicos, ¿qué características de acceso deberían contemplarse?                      | OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 20)                                                      |
| ¿Qué información considera indispensable registrar para cada equipo médico durante su incorporación al inventario?                                     | OMS - Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico (Página 16)                                               |
| ¿Qué otras características funcionales servirían para facilitar la gestión de los equipos médicos?                                                     | OMS - Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico (Página 16)                                               |
| Durante la interacción con el sistema, ¿qué limitaciones existen al momento de buscar un equipo específico dentro del inventario?                      | ISO 9241-210 (Página 21)<br>OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 21)                          |
| ¿La organización de los datos mostrados en las vistas principales del sistema permiten identificar fácilmente la información relevante?                | ISO 9241-210 (Página 21)<br>OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 21)                          |
| ¿Qué niveles de acceso deberían tener los distintos tipos de usuario a implementar en el sistema?                                                      | <i>Clinical Engineering Handbook</i> (Página 234)<br>OMS – Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Página 20) |

## Anexo B: Capturas de pantalla del sitio web

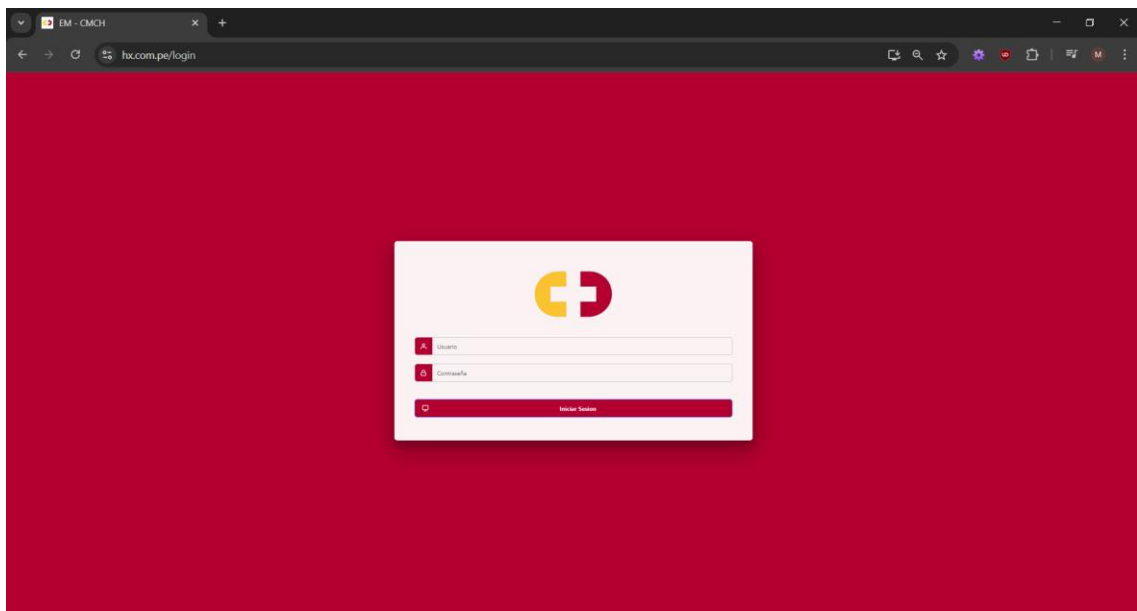


Figura B.1. Página de inicio de sesión del sitio web. Elaboración propia

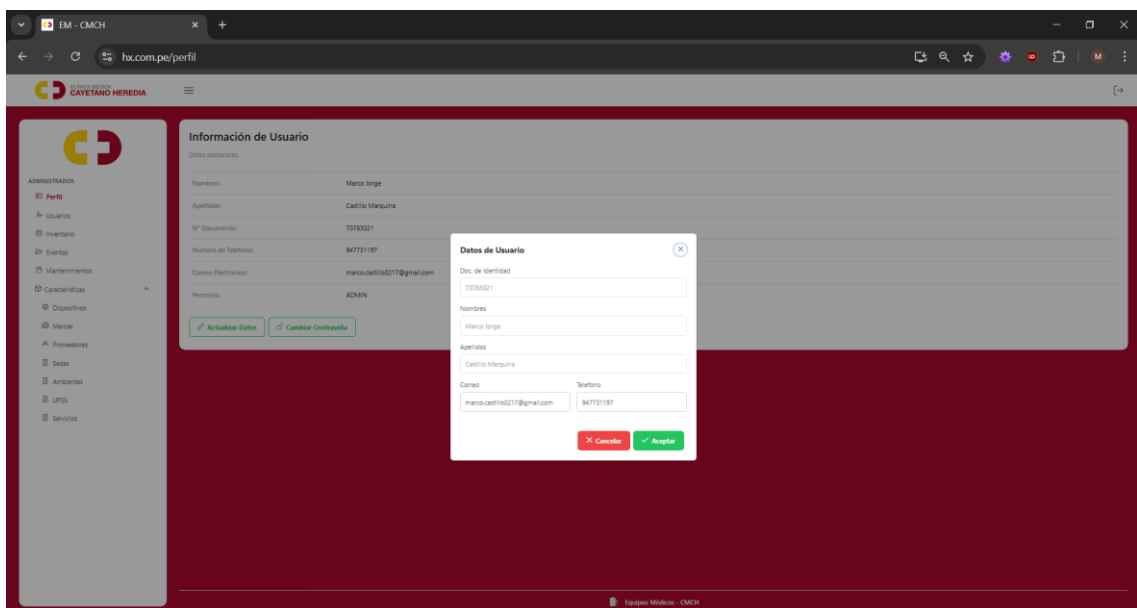
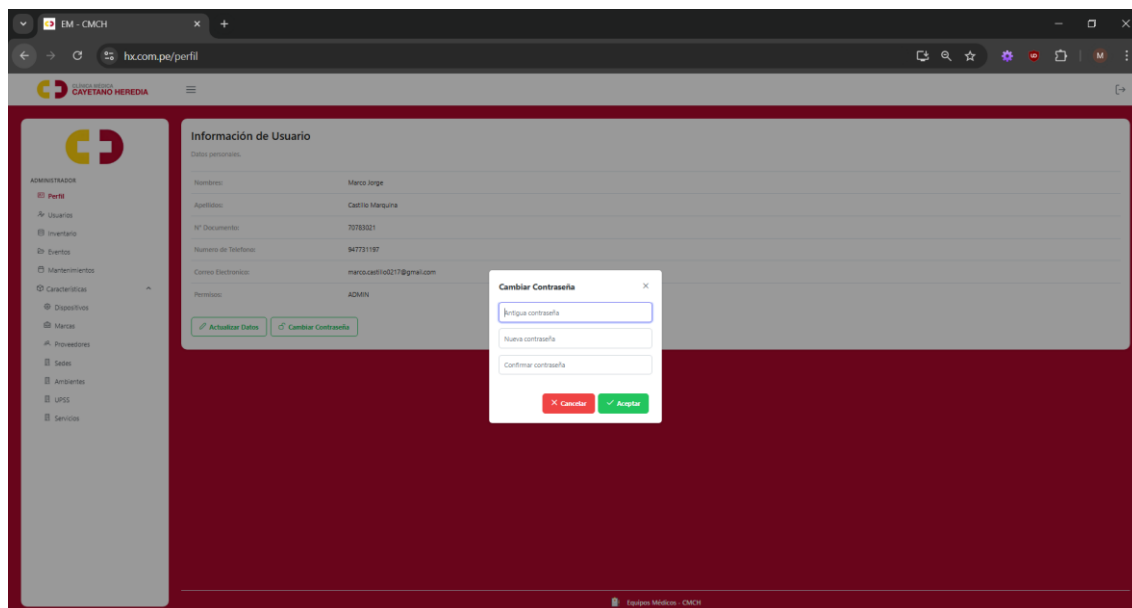
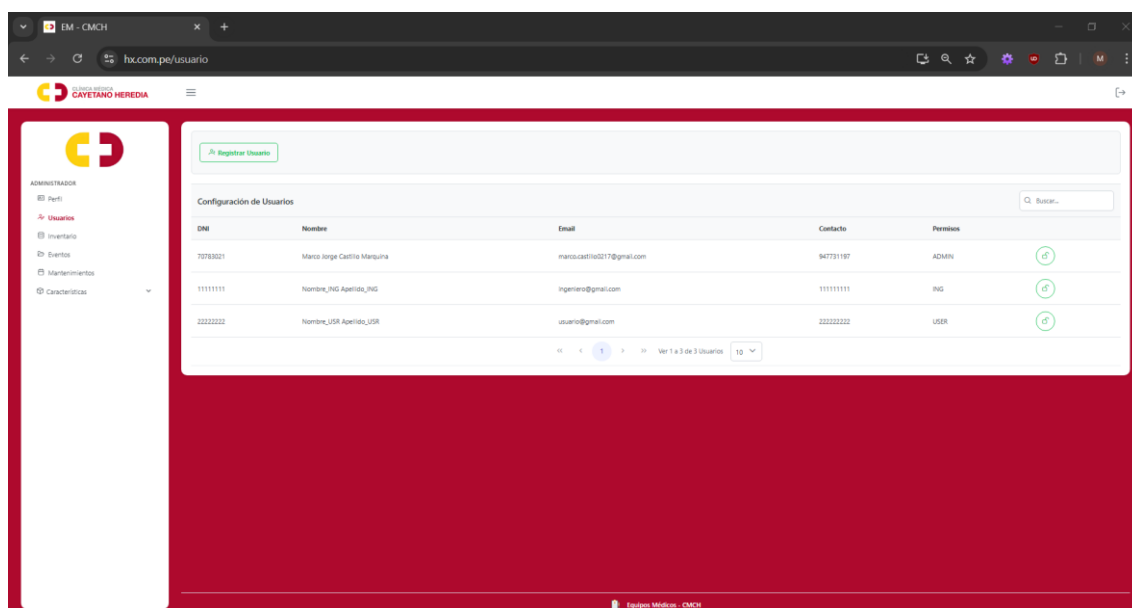


Figura B.2. Formulario de actualización de datos en “Perfil”. Elaboración propia



**Figura B.3. Formulario de cambio de contraseña en “Perfil”. Elaboración propia**



**Figura B.4. Página de “Usuarios” del administrador. Elaboración propia**

EM - CMCH

hx.com.pe/usuario

ADMINISTRADOR

- Perfil
- Usuarios
- Inventario
- Eventos
- Mantenimientos
- Características

Registrar Usuario

Configuración de Usuarios

| DNI      | Nombre                       | Email | Contacto  | Permisos |
|----------|------------------------------|-------|-----------|----------|
| 7278321  | Marco Jorge Castillo Maruina |       | 947731197 | ADMIN    |
| 11111111 | Nombre_ING Apellido_ING      |       | 111111111 | ING      |
| 22222222 | Nombre_USR Apellido_USR      |       | 222222222 | USER     |

**Detalles de Usuario**

Doc. de Identidad

Nombre de Usuario

Nombres

Apellidos

Correo

Número de Celular

Cancelar Aceptar

**Figura B.5. Formulario de registro de usuario. Elaboración propia**

EM - CMCH

hx.com.pe/inventario

ADMINISTRADOR

- Perfil
- Usuarios
- Inventario
- Eventos
- Mantenimientos
- Características

Registrar Equipo

Filtros

Config

**Detalles de Equipo**

Dispositivo

Marca

Modelo

Serie

Tipo

Estado

Nivel

Fecha de fabricación

Proveedor

Sede

Ambiente

UPS

Servicio

Cancelar Aceptar

| Id | Nombre                                     | Marca         | Modelo          | Serie        | Estado    | Nivel     | Fecha de fabricación | Proveedor | Sede    | Ambiente | UPS        | Servicio         | Imagenes | Detalles |
|----|--------------------------------------------|---------------|-----------------|--------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|---------|----------|------------|------------------|----------|----------|
| 5  | ANALIZADOR CUANTITATIVO DE INFLUENZAS      | GETEN         | GETEH1100       | 110380218041 | OPERATIVO | PRINCIPAL | 2020                 | PHOT      | CLÍNICA | 1º Piso  | EMERGENCIA | TÓRRE DE CIRUGÍA |          |          |
| 6  | ANALIZADOR DE COAGULACIÓN SEMIAUTOMATIZADO | HUMAN         | HUMANCLOTQUATRO | K2470284     | OPERATIVO | PRINCIPAL | 2020                 | PHOT      | CLÍNICA | 1º Piso  | EMERGENCIA | TÓRRE DE CIRUGÍA |          |          |
| 7  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS         | NOVAROMEDICAL | ANAUZERPRIMECS  | PP18207153C  | OPERATIVO | PRINCIPAL | 2020                 | PHOT      | CLÍNICA | 1º Piso  | EMERGENCIA | TÓRRE DE CIRUGÍA |          |          |
| 8  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS         | NOVAROMEDICAL | ANAUZERPRIMECS  | PG07028750C  | OPERATIVO | PRINCIPAL | 2020                 | PHOT      | CLÍNICA | 1º Piso  | EMERGENCIA | TÓRRE DE CIRUGÍA |          |          |

**Figura B.6. Formulario de detalles. Elaboración propia**

**Datos de Equipo**

Dispositivo:  Marca:  Modelo:  Serie:

Tipo:  Estado:  Nivel:  Fecha de fabricación:  Proveedor:

Sede:  Ambiente:  UPS:  Servicio:

Enlace fabricante:  Enlace imágenes:

**Figura B.7. Formulario de registro de equipos. Elaboración propia**

**Filtros**

MONITOR DE SIGNOS VITALES  Nihon Kohden  OPERATIVO

Seleccionar Sede:  Seleccionar Ambiente:  Seleccionar UPS:

Seleccionar Nivel:  Seleccionar Proveedor:  Seleccionar Tipo:  Seleccionar Servicio:

**Configuración de Equipos**

| N°  | Dispositivo               | Marca        | Modelo    | Serie   | Estado    | Servicio            | Fabricante | Imágenes | Detalles |
|-----|---------------------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------------------|------------|----------|----------|
| 208 | MONITOR DE SIGNOS VITALES | NIHON KOHDEN | BSM-2301K | 32389   | OPERATIVO | NEONATOLOGIA        |            |          |          |
| 499 | MONITOR DE SIGNOS VITALES | NIHON KOHDEN | BSM-4301K | 2206    | OPERATIVO | SALA DE OPERACIONES |            |          |          |
| 308 | MONITOR DE SIGNOS VITALES | NIHON KOHDEN | BSM-2301K | 32400   | OPERATIVO | URGENCIA PEDIATRICA |            |          |          |
| 523 | MONITOR DE SIGNOS VITALES | NIHON KOHDEN | PWA-2701  | 0122668 | OPERATIVO | RESONANCIA          |            |          |          |
| 526 | MONITOR DE SIGNOS VITALES | NIHON KOHDEN | BSM-2301K | 32386   | OPERATIVO | TALLER              |            |          |          |

Ver 1 a 5 de 5 Equipos

**Figura B.8. Inventario con tres filtros activados. Elaboración propia**

**Datos de Evento**

Equipo: [Dropdown]

Fecha del Evento: [Calendar] Hora del Evento: [Time] Responsable: [Text]

Fecha de Atención: [Calendar] Hora Inicio: [Time] Hora Fin: [Time] Duración Atención: [Text] Duración Inop: [Text]

[Eliminar] [Editar] [Reactivar]

[Cancelar] [Aceptar]

**Figura B.9. Formulario de registro de eventos. Elaboración propia**

**Reporte de Actividades**

| Nº  | Dispositivo        | Serie        | Estado    | Servicio           | Responsable | Fecha de Evento     | Hora de Evento | Fecha de Atención   | Hora de Atención | Fin de Atención | Duración de Atención | Duración de Inoperatividad | Actividad                | Problema                                         |
|-----|--------------------|--------------|-----------|--------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|
| 191 | ELECTROCARDIOGRAFO | 109170018123 | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS | IC          | 2023-09-06 00:00:00 | 8:00 am        | 2023-09-06 00:00:00 | 10:27 am         | 11:00 am        | 00:00                | 3:00                       | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | El chip de ECG se encontraba en                  |
| 501 | ELECTROCARDIOGRAFO | 109170018123 | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS | IC          | 2024-02-22 00:00:00 | 12:00:00       | 2024-02-22 00:00:00 | 12:00:00         | 13:00:00        | 01:00:00             | 01:00:00                   | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | El equipo no detecta la derivada V "Lead V2 OFF" |
| 318 | ELECTROCARDIOGRAFO | 109170018123 | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS | IC          | 2024-05-12 00:00:00 | 08:00:00       | 2024-05-12 00:00:00 | 12:30:00         | 13:00:00        | 00:30:00             | 04:07:00                   | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | Los indicadores de los remotes se en             |

Ver 1 a 3 de 3 Eventos

**Figura B.10. Eventos con filtros activados. Elaboración propia**

**Datos de Mantenimiento**

Equipo:

Responsable:

Fecha:  Completado:

Frecuencia:  Nivel:

Período 1:

Período 2:

| Serie    | Tipo    | Frecuencia (Meses) | Nivel | Responsable | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sept | oct | nov | dic | Completado | Observación |
|----------|---------|--------------------|-------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------------|-------------|
| 1563     | PROPO   | 12                 |       | EM          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |            |             |
| 712385   | TORCERO | 12                 |       | VORTCH      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |            |             |
| NH50639P | PROPO   | 12                 |       | EM          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |            |             |
| E30389   | PROPO   | 12                 |       | EM          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |            |             |
|          |         |                    |       | PIOT        |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |            |             |

**Figura B.11. Formulario de registro de mantenimientos. Elaboración propia**

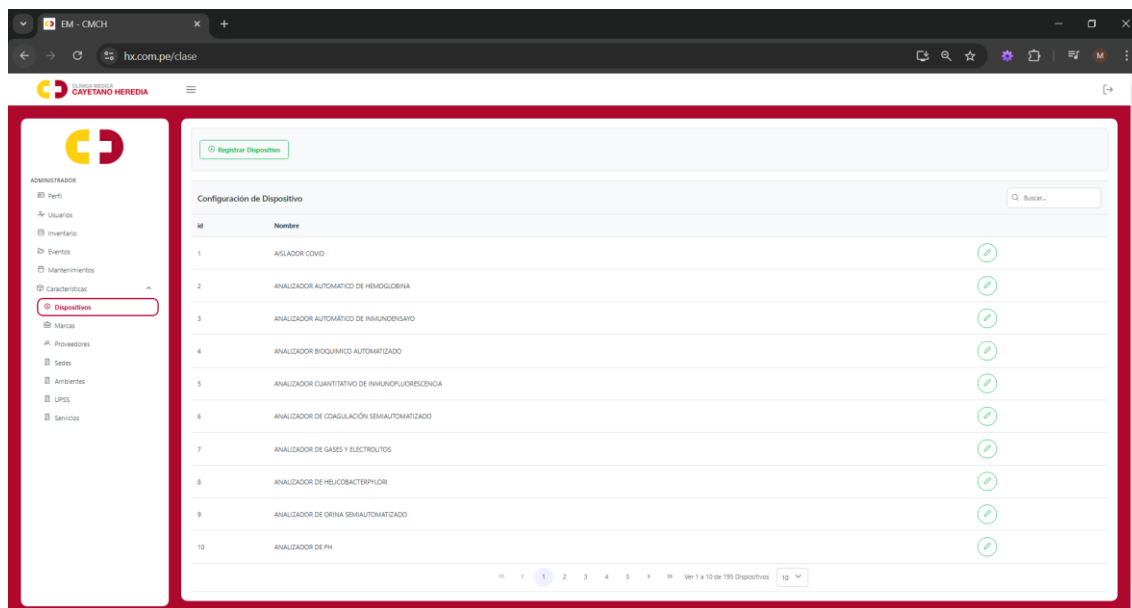
**Filtros**

BOMBA DE INYECCIÓN | ICUNMEDICAL | Completado | UC ADULTO

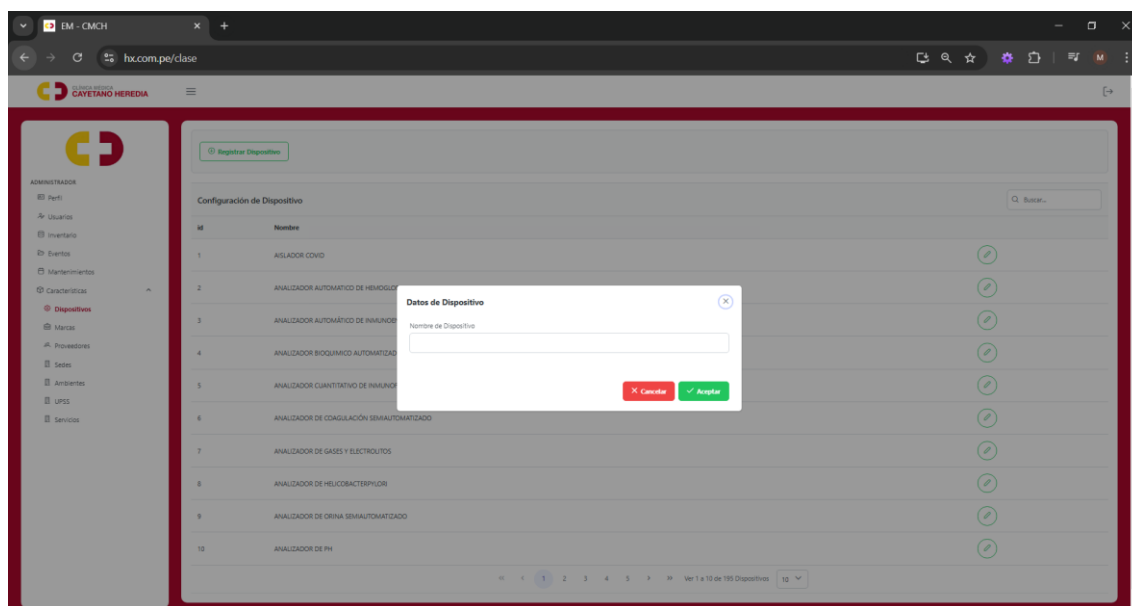
**Configuración de Mantenimientos**

| Serie    | Tipo     | Frecuencia (Meses) | Nivel | Responsable | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sept | oct | nov | dic | Completado | Observación |
|----------|----------|--------------------|-------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------------|-------------|
| 42406437 | COMODATO | 12 MESES           |       | ICUNMEDICAL |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     | X   | ESPERA     |             |
| 42406632 | COMODATO | 12 MESES           |       | ICUNMEDICAL |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     | X   | ESPERA     |             |
| 42406795 | COMODATO | 12 MESES           |       | ICUNMEDICAL |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     | X   | ESPERA     |             |
| 18300850 | COMODATO | 12 MESES           |       | ICUNMEDICAL |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     | X   | ESPERA     |             |
| 42406828 | COMODATO | 12 MESES           |       | ICUNMEDICAL |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     | X   | ESPERA     |             |

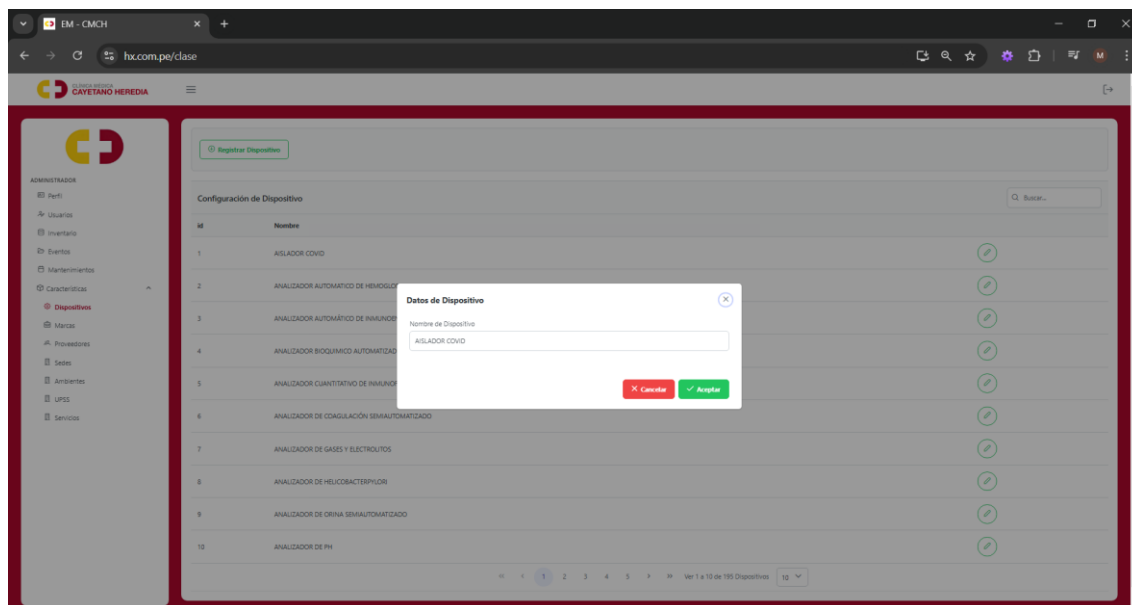
**Figura B.12. Mantenimientos con filtros activados. Elaboración propia**



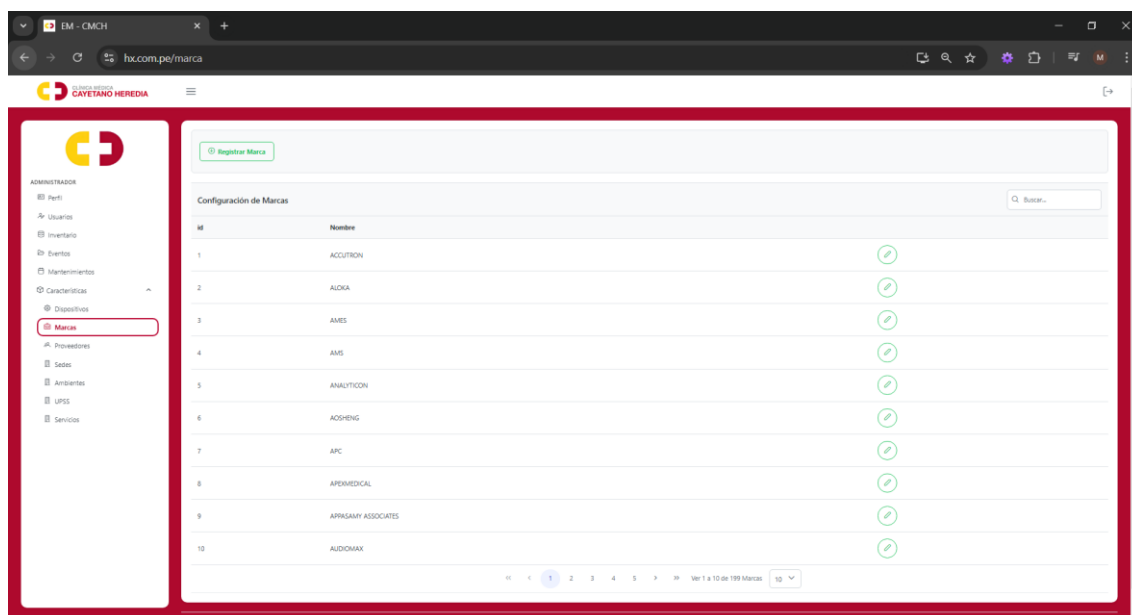
**Figura B.13. Característica “Dispositivos”. Elaboración propia**



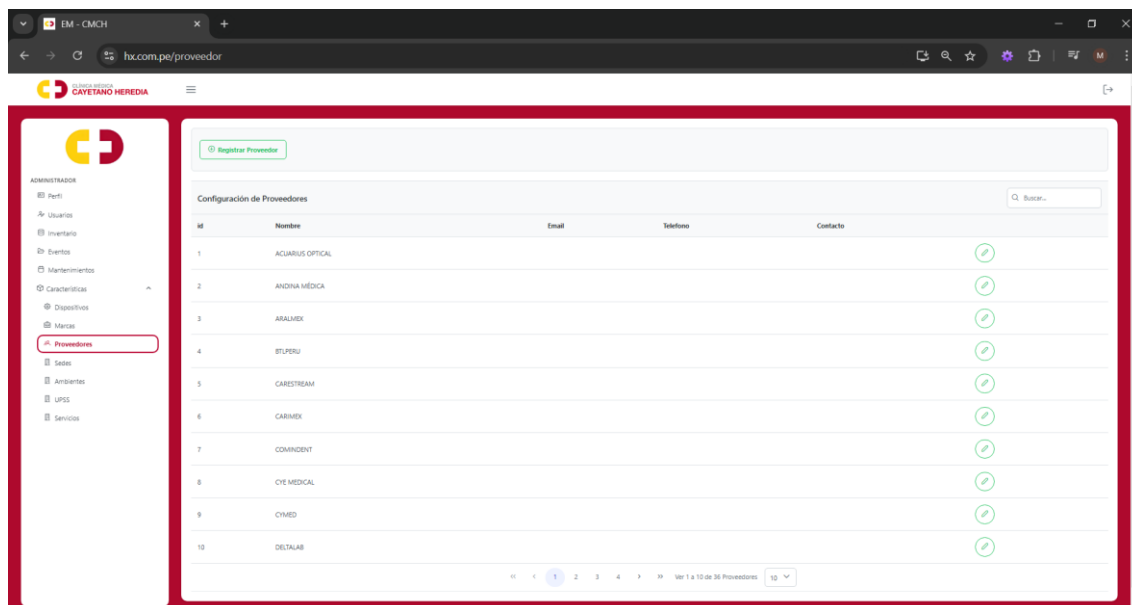
**Figura B.14. Registro de Dispositivos. Elaboración propia**



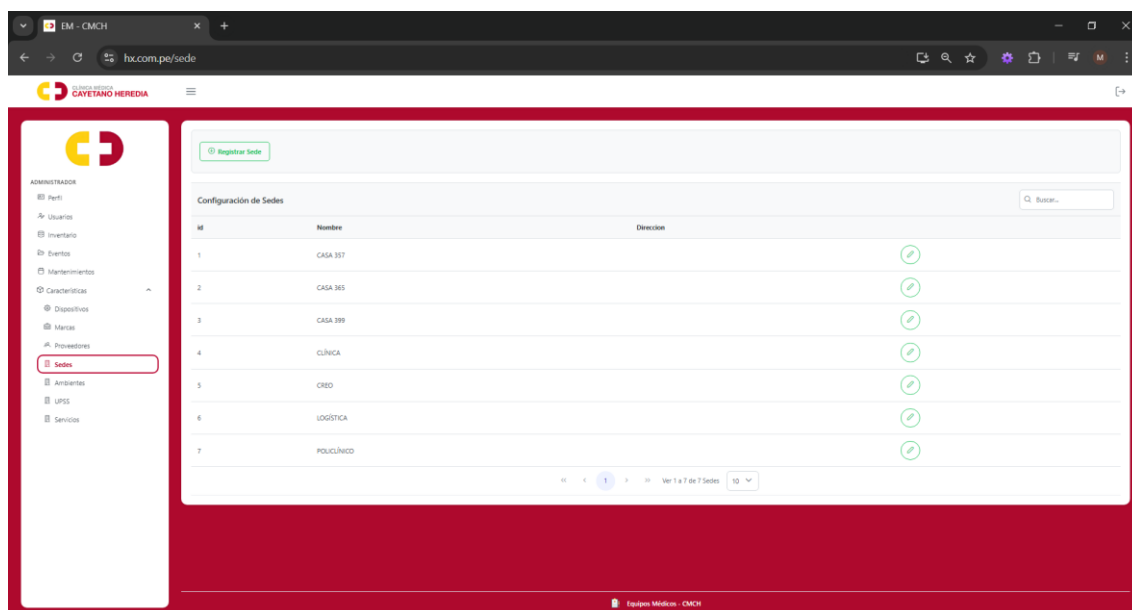
**Figura B.15. Modificación de Dispositivos. Elaboración propia**



**Figura B.16. Característica “Marcas”. Elaboración propia**



**Figura B.17. Característica “Proveedores”. Elaboración propia**



**Figura B.18. Característica “Sedes”. Elaboración propia**

EM - CMCH

hx.com.pe/publicacion\_fisica

UNIVERSIDAD MEDICA CAYETANO HEREDIA

ADMINISTRADOR

- Perfil
- Usuarios
- Inventario
- Eventos
- Mantenimientos
- Características
- Dispositivos
- Marcas
- Proveedores
- Sedes
- Ambientes**
- UPSS
- Servicios

Registrar Ambiente

Configuración de Ambientes

| id | Nombre                         |  |
|----|--------------------------------|--|
| 1  | 1° PISO                        |  |
| 2  | 2° PISO                        |  |
| 3  | 3° PISO                        |  |
| 4  | 4° PISO                        |  |
| 5  | ASILADOS                       |  |
| 6  | ALMACÉN                        |  |
| 7  | ALMACÉN HOSPITALIZACIÓN CRUGIA |  |
| 8  | ÁREA AZUL                      |  |
| 9  | ÁREA ROJA                      |  |
| 10 | BOK 1                          |  |

Ver 1 a 10 de 48 Ambientes

**Figura B.19. Característica “Ambientes”. Elaboración propia**

EM - CMCH

hx.com.pe/area

UNIVERSIDAD MEDICA CAYETANO HEREDIA

ADMINISTRADOR

- Perfil
- Usuarios
- Inventario
- Eventos
- Mantenimientos
- Características
- Dispositivos
- Marcas
- Proveedores
- Sedes
- Ambientes
- UPSS**
- Servicios

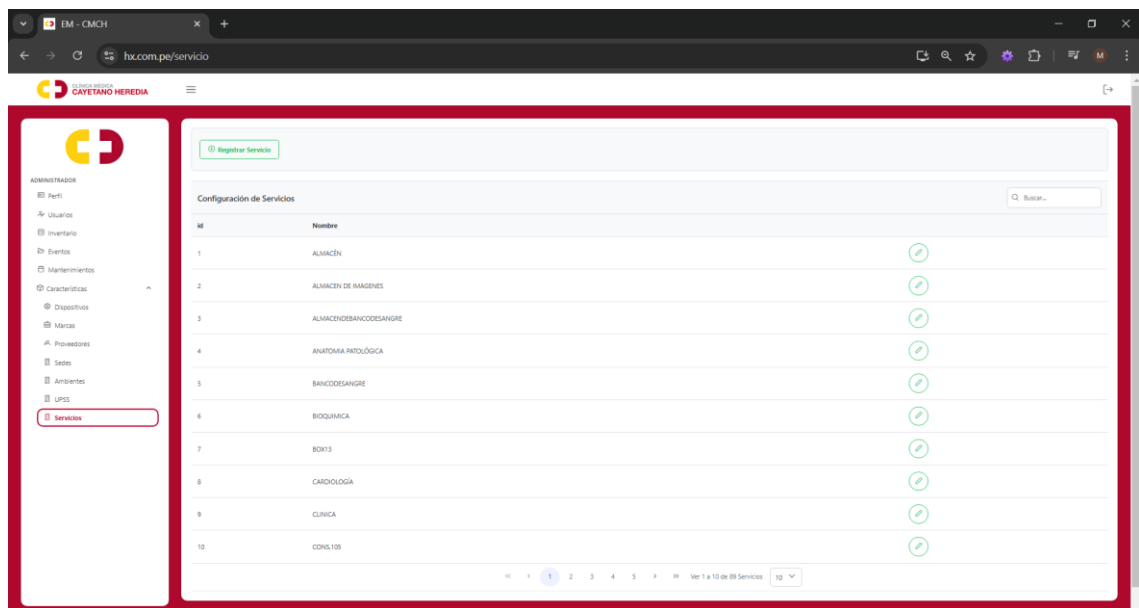
Registrar UPSS

Configuración de UPSS

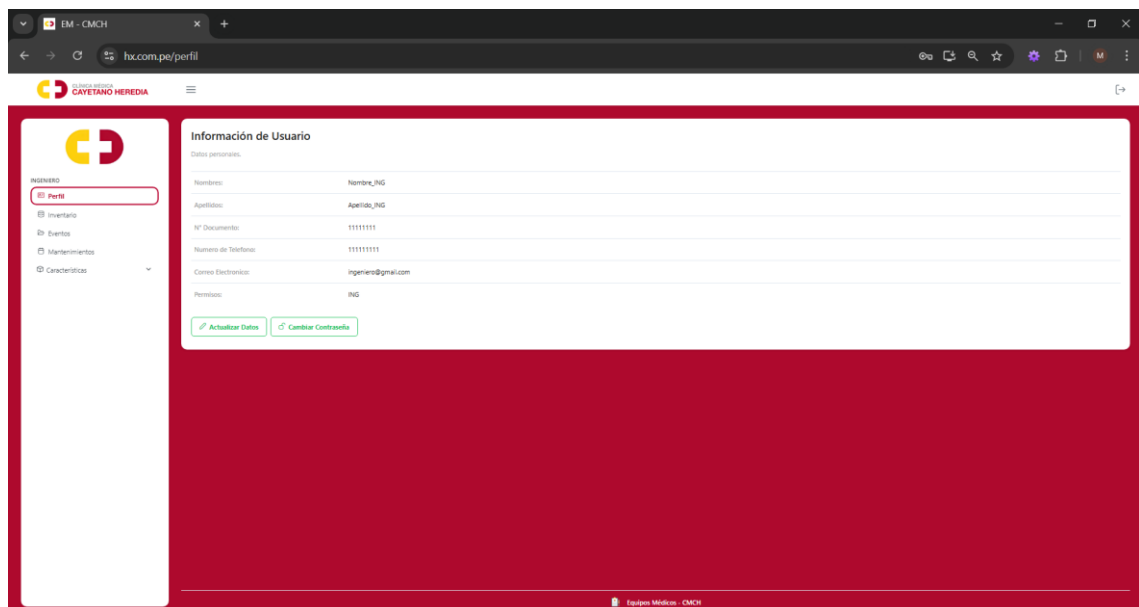
| id | Nombre                    |  |
|----|---------------------------|--|
| 1  | ANATOMIA PATOLÓGICA       |  |
| 2  | CENTRAL DE ESTERILIZACIÓN |  |
| 3  | CENTRO OBSTÉTRICO         |  |
| 4  | CENTRO QUIRÚRGICO         |  |
| 5  | CLÍNICA                   |  |
| 6  | CONSULTA EXTERNA          |  |
| 7  | CUBÍCULO ENFERMERA        |  |
| 8  | EMERGENCIA                |  |
| 9  | FARMACIA                  |  |
| 10 | HOSPITALIZACIÓN           |  |

Ver 1 a 10 de 19 UPSS

**Figura B.20. Característica “UPSS”. Elaboración propia**



**Figura B.21. Característica “Servicios”. Elaboración propia**



**Figura B.22. Ingreso como ingeniero. Elaboración propia**

**Filtros**

Seleccionar Dispositivo  Seleccionar Marca  Seleccionar Estado  Seleccionar Tipo   
 Seleccionar Sala  Seleccionar Ambiente  Seleccionar UPEL  Seleccionar Servicio   
 Seleccionar Nivel  Seleccionar Proveedor

**Equipos**

| N° | Dispositivo                                    | Marca           | Modelo           | Serie        | Estado    | Servicio           | Fabricante | Imágenes | Detalles |
|----|------------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------|-----------|--------------------|------------|----------|----------|
| 1  | ASILADOR COVID                                 | RED LEAF        | NP-303           | 2020K19306   | OPERATIVO | TÓRICO DE CIRUGÍA  |            |          |          |
| 2  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE HEMOGLOBINA           | PREMIER         | HB8210           | 100099       | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 3  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE INMUNOENSAYO          | HITACHI         | COBAS411         | 8740-29      | OPERATIVO | INMUNOLOGÍA        |            |          |          |
| 4  | ANALIZADOR BIOQUÍMICO AUTOMATIZADO             | WENGLAB         | Wiener Lab C8350 | 40121462     | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         |            |          |          |
| 5  | ANALIZADOR CUANTITATIVO DE INMUNOFLUORESCENCIA | GETIN           | GETIN1100        | 1103W0018041 | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 6  | ANALIZADOR DE COAGULACIÓN SEMIAUTOMATIZADO     | HUMAN           | HUMANCLQTQUATRO  | K247084      | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 7  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS             | NOVABIO MEDICAL | ANALYZERPRIMECS  | PP16200150C  | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS |            |          |          |
| 8  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS             | NOVABIO MEDICAL | ANALYZERPRIMECS  | P007200750C  | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         |            |          |          |
| 9  | ANALIZADOR DE HELICOBACTERPYLORI               | HEADWAY         | HURF-20          | 2016123      | OPERATIVO | INMUNOLOGÍA        |            |          |          |

**Figura B.23. Vista del inventario como ingeniero. Elaboración propia**

**Información de Usuario**

Datos personales

Nombre:   
 Apellido:   
 N° Documento:   
 Número de Teléfono:   
 Correo Electrónico:   
 Permisos:

**Figura B.24. Ingreso como usuario. Elaboración propia**

**Filtros**

Seleccionar Dispositivo  Seleccionar Marca  Seleccionar Estado  Seleccionar Tipo   
 Seleccionar Sala  Seleccionar Ambiente  Seleccionar UFES  Seleccionar Servicio   
 Seleccionar Nivel  Seleccionar Proveedor

**Equipos**

| N° | Dispositivo                                    | Marca           | Modelo           | Serie        | Estado    | Servicio           | Fabricante | Imágenes | Detalles |
|----|------------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------|-----------|--------------------|------------|----------|----------|
| 1  | ASILADOR EDVID                                 | RED LEAF        | NP-303           | 2020K19306   | OPERATIVO | TÓRICO DE CIRUGÍA  |            |          |          |
| 2  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE HEMOGLOBINA           | PREMIER         | HBE210           | 100099       | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 3  | ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE INMUNOGENSAVO         | HITACHI         | COBAS411         | 8740-29      | OPERATIVO | INMUNOLOGÍA        |            |          |          |
| 4  | ANALIZADOR BIOQUÍMICO AUTOMATIZADO             | WENIERLAB       | Wiener Lab CB350 | 40121462     | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         |            |          |          |
| 5  | ANALIZADOR CUANTITATIVO DE INMUNOFLUORESCENCIA | GENTEN          | GENTEN1100       | 1103W0018041 | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 6  | ANALIZADOR DE COAGULACIÓN SEMIAUTOMATIZADO     | HUMAN           | HUMANCLLOTQUATRO | K247084      | OPERATIVO | HEMATOLOGÍA        |            |          |          |
| 7  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS             | NOVABIONMEDICAL | ANALYZERPRIMECS  | PP18200150C  | OPERATIVO | EMERGENCIA ADULTOS |            |          |          |
| 8  | ANALIZADOR DE GASES Y ELECTROLITOS             | NOVABIONMEDICAL | ANALYZERPRIMECS  | P007200750C  | OPERATIVO | BIOQUÍMICA         |            |          |          |
| 9  | ANALIZADOR DE HELICOBACTERPYLORI               | HEADWAY         | HURT-20          | 2018123      | OPERATIVO | INMUNOLOGÍA        |            |          |          |

**Figura B.25. Vista del inventario como usuario. Elaboración propia**

**Filtros**

Seleccionar Actividad  Seleccionar Sala  Seleccionar Allocated  Seleccionar Responsable   
 Seleccionar Dispositivo  Seleccionar Servicio  Seleccionar Sala  Seleccionar Estado   
 Seleccionar Fecha de Evento  Seleccionar Hora de Evento  Seleccionar Fecha de Atención  Seleccionar Hora de Atención  Seleccionar Fin de Atención  Seleccionar Duración de Atención  Seleccionar Duración de Inoperatividad  Seleccionar Actividad

**Reporte de Actividades**

| N° | Dispositivo                            | Serie      | Estado      | Servicio                         | Responsable | Fecha de Evento     | Hora de Evento | Fecha de Atención   | Hora de Atención | Fin de Atención | Duración de Atención | Duración de Inoperatividad | Actividad                | Problema                                                          |
|----|----------------------------------------|------------|-------------|----------------------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1  | ECOGRAFO                               | V58201878  | OPERATIVO   | CONSULTORIO DE GINECOOBSTETRICIA | IC          | 2023-05-03 00:00:00 | 14:00:00       | 2023-05-03 00:00:00 | 14:00:00         | 14:30:00        | 30                   | 30                         | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | El trabajo presenta un movimiento lento                           |
| 2  | CENTRIFUGA                             | 2018320985 | OPERATIVO   | MICROBIOLOGIA                    | IC          | 2023-05-03 00:00:00 | 16:00:00       | 2023-05-03 00:00:00 | 16:00:00         | 16:45:00        | 45                   | 45                         | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | La centrifuga no detecta que la puerta está correctamente cerrada |
| 3  | ELECTROSTURDI                          | 128537030X | OPERATIVO   | SALA DE OPERACIONES              | MEDTRONIC   | 2023-05-04 00:00:00 | 3:40 p.m       | 2023-05-04 00:00:00 | 03:45:00         | 5:00 p.m.       | 01:15:00             | 01:15:00                   | MANTENIMIENTO PREVENTIVO | Mantenimiento programado                                          |
| 4  | ESTERILIZADOR DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO | E-33085    | INOPERATIVO | ESTERILIZACIÓN                   | IC          | 2023-05-05 00:00:00 | 17:00:00       | 2023-05-04 00:00:00 | 17:00:00         | 19:30:00        | 02:30:00             | 02:30:00                   | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | El equipo presenta errores de temperatura                         |

**Figura B.26. Vista de los eventos como usuario. Elaboración propia**



## Anexo C: Encuesta UMUX

### Encuesta

Marque la casilla que refleje su respuesta inmediata a cada afirmación.

El sistema cumple con los requerimientos para el trabajo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Usar el sistema es una experiencia frustrante

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

El sistema es fácil de usar

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

El tiempo necesario para corregir problemas en el sistema es excesivo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

**Figura C.1. Encuesta estandarizada UMUX. Adaptado de Finstad et al.**

## Anexo D: Presupuesto

Tesis: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL REGISTRO Y CONSULTA DE EVENTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS EN LA CLÍNICA MÉDICA CAYETANO HEREDIA (CMCH)

|              |                                                         |             |                                      |                  |                                                            |
|--------------|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|
| 1) Bienes    | a) Laptop                                               | Valor (\$/) | Supuestos                            | Unidad de medida | Observaciones                                              |
|              |                                                         | 3,000       | Q = Cantidad<br>PU = Precio unitario | 1<br>3000 Soles  | Equipo utilizado para el desarrollo y pruebas del sistema. |
| 2) Servicios | b) Movilidad                                            | Valor (\$/) | Supuestos                            | Unidad de medida | Observaciones                                              |
|              |                                                         | 200         | Q = Cantidad<br>PU = Precio unitario | 8<br>25 Soles    | Viajes Ida y vuelta                                        |
|              | c) Software                                             | Valor (\$/) | Supuestos                            | Unidad de medida | Observaciones                                              |
|              |                                                         | -           | Q = Cantidad<br>PU = Precio unitario |                  | Software de uso libre (Sin costo)                          |
|              | d) Servicio de alojamiento en la nube para el sitio web | Valor (\$/) | Supuestos                            | Unidad de medida | Observaciones                                              |
|              |                                                         | 400         | Q = Cantidad<br>PU = Precio unitario | 2<br>200 Soles   | Año<br>2x Servidor privado virtual                         |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| Total | 3,600 | Soles |
|-------|-------|-------|

**Figura D.1. Presupuesto total del proyecto de tesis. Formato de Tesis 1**