

SEP

TECNOLÓGICO NACIONAL MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

“PLATAFORMA DE GESTIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS  
MÉDICOS DEL CENTRO MÉDICO PREMIER”

PRESENTA:  
GUSTAVO FRANCISCO TELLO BERNAL  
18211592

BAJO LA ASESORÍA:  
INTERNA: M. C. GILBERTO ENRICO VÁZQUEZ ALCARAZ  
EXTERNA: ING. JORGE ALBERTO FLORES MÁRQUEZ

TIJUANA, B.C.

FEBRERO 2025

## **Agradecimientos**

Con gratitud infinita, quiero agradecer a todas las personas que, de una u otra forma, fueron fundamentales para la culminación de este proyecto y el alcance de esta importante meta en mi vida.

Igualmente, a mi padre, Gustavo Tello Torres, por acompañarme con un café en las madrugadas y, con una palmada en la espalda, motivarme a seguir adelante. No sería posible sin mi madre, Elvira Bernal Guzmán, por su apoyo inquebrantable, siempre presente en cada paso del camino. Con el respaldo constante de mis hermanas, Elvira Tello y Verónica Tello, por su aliento incondicional que siempre me hizo sentir acompañado.

Otorgo un lugar especial en este logro a Kenia Durán, cuyo amor y apoyo me han dado fuerza en los momentos difíciles y motivación para seguir. A mis amigos, por su compañía y palabras de ánimo, que me ayudaron a mantenerme enfocado y optimista. También agradezco a mis profesores, por compartir sus conocimientos y guiarme en este recorrido, y expreso mi gratitud al Ing. Jorge Flores y al Ing. Irvin Olea por la oportunidad de realizar mi residencia en el Centro Médico Premier, un espacio donde pude aplicar y expandir mis conocimientos en un entorno profesional enriquecedor.

Y a mí mismo, por mi paciencia y perseverancia en los momentos más desafiantes.

## Resumen

El Centro Médico Premier enfrenta constantes desafíos en la gestión de equipos médicos debido a la alta demanda de sus servicios y la complejidad tecnológica. Los procesos de inventario y mantenimiento, esenciales para garantizar la operatividad de los equipos, presentaban limitaciones al depender de registros manuales y dispersos, lo que generaba retrasos y costos innecesarios.

Para resolver esta problemática, se desarrolló una plataforma integral de gestión y mantenimiento de equipos médicos, utilizando tecnologías como PHP, MySQL, HTML, CSS y JavaScript. Esta herramienta centraliza la información, automatiza procesos y mejora la trazabilidad de los equipos mediante la incorporación de códigos QR, programación de mantenimientos a través de un calendario dinámico y un módulo para la gestión de órdenes de servicio. Además, se adaptó el método Fennigkoh-Smith, permitiendo priorizar equipos según su criticidad y optimizar la asignación de recursos.

La plataforma incluye funcionalidades clave como el registro, consulta y actualización de inventarios, generación de reportes y roles de usuario diferenciados que fortalecen la seguridad. Tras su desarrollo, se realizaron pruebas y capacitaciones al personal técnico, logrando reducir tiempos de gestión y facilitar el acceso a información crítica, como el historial de mantenimientos y próximos servicios programados. Con esta implementación, se mejoró significativamente la eficiencia operativa del departamento biomédico, garantizando un mantenimiento oportuno y reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos. La solución se presenta como una base escalable, con potencial para integrar módulos adicionales y extenderse a otras áreas del hospital, reforzando la toma de decisiones estratégicas en la gestión hospitalaria.

## ÍNDICE

1.1.	Descripción de la Institución o empresa.....	7
1.2.	Objetivos.....	7
1.2.1.	Objetivo general .....	8
1.2.2.	Objetivos específicos .....	8
1.3.	Justificación .....	8
Capítulo 2. Marco teórico .....		9
2.1.	Gestión de equipos médicos en entornos hospitalarios .....	9
2.1.1.	Normativas y estándares aplicables: SiNaCEAM .....	13
2.2.	Mantenimiento de equipos médicos.....	13
2.2.1.	Mantenimiento preventivo .....	14
2.2.2.	Mantenimiento correctivo .....	14
2.2.3.	Método Fennigkoh-Smith .....	15
2.3.	Sistemas de gestión de inventario y mantenimiento en el ámbito biomédico .....	17
2.3.1.	Sistemas de gestión y automatización .....	17
2.3.2.	Códigos QR.....	18
2.4.	Tecnologías de desarrollo de software aplicadas en entornos hospitalarios .....	19
2.4.1.	Desarrollo de software para hospitales .....	19
2.4.2.	Tecnologías frontend: HTML, CSS y JavaScript .....	20
2.4.3.	PHP y desarrollo Backend.....	22
2.4.4.	MySQL y Gestión de Bases de Datos .....	23
2.4.5.	Seguridad y confidencialidad de datos .....	25
2.5.	Infraestructura de servidores y hosting .....	26
2.5.1.	Introducción al hosting .....	26
2.5.2.	Función de los servidores en el sistema.....	26
2.5.3.	Tipos de Servidores Utilizados .....	27
Capítulo 3. Desarrollo y resultados.....		27
3.1.	Descripción del proceso de desarrollo .....	28
3.1.1.	Planificación y definición de requerimientos .....	28
3.1.2.	Diseño de la arquitectura del sistema (Cliente-Servidor) .....	30
3.1.3.	Infraestructura tecnológica del sistema .....	31
3.2.	Sistema de inicio de sesión y gestión de usuarios .....	32
3.2.1.	Inicio de sesión.....	33

3.2.2. Roles de usuario y gestión de accesos .....	35
3.3. Gestión de mantenimiento preventivo y correctivo .....	36
3.3.1. Proceso de programación de mantenimientos .....	37
3.4. Diseño y desarrollo del sistema de inventario .....	39
3.4.1. Implementación técnica del sistema de inventario .....	39
3.4.2. Generación y lectura de códigos QR .....	45
3.4.3. Funcionalidades de búsqueda .....	47
3.5. Sistema de gestión de manuales .....	51
3.5.1. Descripción del sistema de gestión de manuales .....	52
3.5.2. Acceso y consulta de manuales .....	53
3.6. Descripción del sistema de órdenes de servicio del equipo médico .....	54
3.6.1. Creación y gestión de órdenes de servicio .....	54
3.6.2. Priorización y asignación de órdenes de servicio: Método Fennigkoh-Smith modificado .....	56
3.6.3. Historial y monitoreo .....	58
3.7. Manuales de usuario y técnico .....	60
3.7.1. Manuales de usuario .....	60
3.7.2. Manual técnico .....	61
Capítulo 4. Conclusiones .....	63
Referencias .....	65
Anexos .....	67

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de gestión de equipos médicos, recuperado de [5] .....	12
Figura 2. QR generado como ejemplo dirigido a: <a href="https://www.tijuana.tecnm.mx/">https://www.tijuana.tecnm.mx/</a> .....	18
Figura 3. Inicio de sesión para el usuario .....	34
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de inicio y cierre de sesión .....	34
Figura 5. Pantalla principal tras el inicio de sesión, que muestra múltiples órdenes de servicio categorizadas según su prioridad, así como ejemplos de mantenimientos preventivos y correctivos. ....	35
Figura 6. Interfaz del perfil de usuario con la opción de agregar nuevos usuarios, disponible exclusivamente para administradores. ....	36
Figura 7. Vista del Calendario de mantenimientos con ejemplos de fechas programadas ....	37
Figura 8. A) Diagrama de flujo del proceso de identificación del usuario activo para iniciar nuevos eventos de mantenimiento. B) Diagrama de flujo del procedimiento para la creación y registro de eventos de mantenimiento en el calendario. ....	38

Figura 9. Esquema entidad-relación de las tablas de la base de datos. ....	44
Figura 10. Interfaz del lector QR desarrollado, que permite solicitar permisos de cámara, escanear archivos de imagen o directamente realizar consultas en tiempo real. ....	45
Figura 11. QR equipo medico .....	46
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de generación de códigos QR .....	46
Figura 13. Etiqueta de equipo medico .....	47
Figura 14. Diagrama para el proceso de consulta en Inventario.....	48
Figura 15. Ejemplo de búsqueda básica con el filtro 'Nombre de equipo es igual Desfibrilador' .....	49
Figura 16. Ejemplo de consulta avanzada por ubicación y marca .....	49
Figura 17. Diagrama del: A) Proceso de carga y almacenamiento de Archivos PDF B) Proceso de filtrado y visualización de resultados.....	52
Figura 18. Interfaz de consulta de manuales en vista de directorio. ....	53
Figura. 19 Interfaz del módulo de órdenes de servicio, mostrando órdenes activas y accesos directos a las principales funcionalidades. ....	54
Figura 20. Diagrama del proceso de creación de orden de servicio para equipos médicos ..	55
Figura 21. Interfaz para modificar prioridades, mostrando los valores actuales de un equipo.....	57
Figura 22. Interfaz del módulo de historial, mostrando un listado de órdenes cerradas disponibles para consulta. ....	58
Figura 23. Ejemplo de orden de mantenimiento cerrada en formato PDF .....	59
Figura 24 Primera página del manual de usuario, explicando como iniciar sesión. ....	61
Figura 25 Procedimientos de instalación documentados en GitHub. ....	62

## Índice de tablas

Tabla 1. Función del equipo. Recuperado y adaptado de [10].....	15
Tabla 2. Requisitos de mantenimiento. Recuperado y adaptado de [10] .....	16
Tabla 3. Antecedentes de problemas del equipo. Recuperado y adaptado de [10] .....	16
Tabla 4. Tabla de requerimientos funcionales .....	29
Tabla 5. Tabla de requerimientos No-funcionales .....	30
Tabla 6. Estructura de la tabla "Equipos Médicos" en la base de datos .....	40
Tabla 7. Estructura de la tabla "Mantenimientos " en la base de datos .....	40
Tabla 8. Estructura de la tabla "Manuales " en la base de datos .....	41
Tabla 9. Estructura de la tabla "Ordenes de servicio " en la base de datos .....	42
Tabla 10. Estructura de la tabla "Prioridades " en la base de datos.....	42
Tabla 11. Estructura de la tabla "Usuarios " en la base de datos .....	43
Tabla 12. Comparación entre búsqueda básica y avanzada .....	50
Tabla 13. Tabla de comparación entre consulta de inventario y búsqueda en toda la base de datos.....	51

## Índice de código

Código 1 Ejemplo de consulta compleja en el modo de búsqueda avanzada .....	50
---	----

## **Capítulo 1. Introducción**

Este capítulo describe el proyecto y el contexto del Centro Médico Premier, destacando los problemas actuales en la gestión de inventarios y mantenimiento de equipos médicos. Se presentan los objetivos de la plataforma, justificando su necesidad y resaltando los beneficios esperados en eficiencia operativa y calidad del servicio hospitalario.

### **1.1. Descripción de la Institución o empresa**

El Centro Médico Premier es una institución de renombre en el campo de la atención médica. Estratégicamente ubicado en Zona Río, siendo este el distrito médico de la ciudad de Tijuana, B.C., se distingue por su amplio abanico de servicios y especialidades médicas, así como por su firme compromiso con la excelencia en la atención al paciente.

La proximidad a la frontera con Estados Unidos de América ha jugado un papel fundamental en el posicionamiento de Tijuana como un destino destacado para el turismo médico. Esta ubicación privilegiada atrae a pacientes tanto locales como internacionales en busca de atención médica de primer nivel. En el Centro Médico Premier, se ofrecen 8 servicios esenciales: Imagenología, urgencias las 24 horas, laboratorio de análisis clínicos, cirugía de vanguardia, consulta médica externa, hospitalización, terapia intensiva, y financiamiento con aseguradoras. Asimismo, se cuenta con más de 25 especialistas y subespecialistas que brindan atención médica de calidad en diversas áreas, entre las que se destacan cirugía de corazón, cardiología, cirugía bariátrica, cirugía general, cirugía plástica, estética y reconstructiva, y oncología, entre muchas otras [1,2].

### **1.2. Objetivos**

A continuación, se describen los objetivos generales y específicos que orientarán la implementación del sistema, enfatizando las metas clave a alcanzar con esta plataforma.

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollar una plataforma integral de gestión y mantenimiento para equipos médicos en el Centro Médico Premier, utilizando técnicas de desarrollo web y bases de datos relacionales, para centralizar la información, automatizar procesos de inventario y mantenimiento, con la finalidad de aumentar la eficiencia operativa y la calidad del servicio hospitalario.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Implementar un sistema de inventario digital que permita el seguimiento preciso de los equipos médicos.
2. Facilitar la búsqueda y acceso ágil a la información relevante para el mantenimiento y funcionamiento de los equipos.
3. Integrar un generador y lector de códigos QR para agilizar el registro y seguimiento de los equipos en el sistema de almacén.
4. Reunir y proporcionar la documentación e información necesaria del proyecto para la certificación del Sistema Nacional de Certificación de Establecimientos de Atención Médica (SiNaCEAM), garantizando el cumplimiento de los criterios y procesos establecidos.
5. Elaborar y presentar un manual de usuario, que incluya instrucciones detalladas sobre su uso.

### **1.3. Justificación**

La gestión y mantenimiento efectivos de los equipos médicos son cruciales para garantizar la seguridad y calidad de la atención médica brindada a los pacientes. En el Centro Médico Premier, la falta de un sistema integral y especializado ha dado lugar a dificultades significativas en la gestión de inventarios, programación de mantenimiento preventivo, y seguimiento de reparaciones. Esta situación se ve agravada por la dispersión de datos en múltiples hojas de cálculo y la dependencia de registros manuales, lo que conlleva a una gestión ineficiente y errores potenciales.



La implementación de la plataforma propuesta tendrá un impacto directo en la eficiencia operativa del Centro Médico. Al centralizar la información y automatizar los procesos de gestión y mantenimiento de equipos médicos, se reducirán los tiempos de inactividad, se aumentará la disponibilidad de recursos humanos y tecnológicos.

Con el objetivo de abordar esta problemática, el presente documento propone una plataforma orientada a optimizar la gestión y el mantenimiento de equipos médicos. Previo a la descripción de su desarrollo, se exponen los principios teóricos y metodológicos que respaldan el proyecto, los cuales se desarrollan en detalle en el capítulo siguiente.

## **Capítulo 2. Marco teórico**

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y técnicos que respaldan el desarrollo de la plataforma. En él se exploran conceptos esenciales relacionados con la administración de dichos equipos, las normativas aplicables, los distintos enfoques de mantenimiento y las metodologías empleadas para priorizar tareas de manera eficiente. Asimismo, se detallan los sistemas de gestión de inventarios, el uso de tecnologías como los códigos QR, y las herramientas de desarrollo de software, con un énfasis particular en su aplicación en entornos hospitalarios. Estos aspectos ofrecen el marco teórico necesario para entender las decisiones adoptadas durante el diseño e implementación de la plataforma.

### **2.1. Gestión de equipos médicos en entornos hospitalarios**

“Un inventario sólo es eficaz si es exhaustivo y exacto.” [3, p.18]

Según el glosario Gestión de Equipos Médicos (GEM) de CENETEC-Salud (2016) [4], las tecnologías para la salud se definen como: "La aplicación de conocimientos organizados y habilidades en forma de dispositivos, equipos, medicinas, vacunas, procedimientos y sistemas desarrollados para resolver problemas de salud y mejorar la calidad de vida". Para las clínicas y hospitales, es indispensable aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles para ofrecer un mejor servicio. Parte de este

desafío es también optimizar los procesos y herramientas utilizadas en las operaciones diarias.

CENETEC-Salud hace la propuesta de clasificar y agrupar las tareas para lograr una gestión adecuada en cinco procesos:

1. Planeación
2. Incorporación
3. Instalación
4. Operación
5. Baja

El orden de los procesos es fundamental para lograr los objetivos establecidos en la GEM, y su secuencia debe respetarse para asegurar su efectividad. Cada uno de estos procesos lleva una serie de subprocesos y que a su vez contienen tareas específicas. Esta clasificación de procesos está diseñada de manera tal que las actividades de uno no se repitan en otro, además de que podemos referenciarlas con las responsabilidades de las áreas que componen una estructura organizacional de un establecimiento médico [5, p. 16].

#### 1. Planeación

La planeación es el primer proceso en la GEM y busca introducir racionalidad y organización en las actividades relacionadas. Este proceso garantiza la seguridad, eficacia y costo-efectividad de los equipos. Incluye la realización de un diagnóstico situacional, análisis de necesidades médicas y paramédicas, evaluación de alternativas tecnológicas, revisión de infraestructura y recursos, elaboración de estudios de mercado, obtención de financiamiento y formulación de requerimientos. La información recopilada en estos pasos permite prever y optimizar todo el ciclo de la GEM, asegurando una atención médica de calidad y la correcta operación de los equipos [5, p. 18].

## 2. Incorporación

El proceso de incorporación en la GEM implica la adquisición del bien mediante compra, arrendamiento, donación, o contratos, entre otros. Antes de decidir el mecanismo, se deben evaluar aspectos jurídicos, económicos y técnicos: asegurarse de que el método sea legal, que existan recursos financieros suficientes y que las especificaciones técnicas cubran las necesidades establecidas en la planeación. No todos los equipos requieren instalación, pero aquellos con alta complejidad pueden necesitar condiciones especiales. Es fundamental realizar un seguimiento y verificación tras la recepción del equipo, independientemente del tipo de incorporación [5, p. 21].

## 3. Instalación

El proceso de instalación de equipos médicos, especialmente aquellos con requisitos técnicos específicos, como instalaciones eléctricas, hidráulicas, suministro de gases medicinales y adecuaciones de infraestructura, debe planificarse previamente durante la adquisición. Es inherente que todas las condiciones físicas estén listas para respaldar su correcto funcionamiento. Además, este proceso incluye la realización de pruebas de funcionamiento y la capacitación inicial del personal, tanto operadores como ingenieros biomédicos, quienes se encargarán de supervisar el equipo durante su uso. El objetivo es asegurar que los equipos operen adecuadamente desde el inicio [5, p. 22].

## 4. Operación

Este proceso asegura el funcionamiento continuo de los equipos médicos durante su vida útil, conforme a su propósito y especificaciones del fabricante. Incluye el registro en inventario, seguimiento de la garantía, planes de mantenimiento preventivo y correctivo, adquisición de refacciones, y cumplimiento de cláusulas contractuales. Además, contempla programas de capacitación continua tanto para usuarios como para ingenieros biomédicos, y la implementación de tecnovigilancia. Todo esto

requiere la coordinación entre diversas áreas, así como recursos financieros para mantenimiento, consumibles, accesorios, y personal calificado, garantizando la operatividad de los equipos médicos [5, p. 23].

## 5. Baja

El proceso de baja de equipos médicos consiste en retirarlos tras una evaluación que determine si requieren reemplazo para no afectar los servicios del establecimiento. Las causas incluyen obsolescencia, deterioro, falta de rentabilidad en reparaciones, o que ya no se necesiten. También se consideran equipos funcionales que podrían ser donados o transferidos. La baja evita la acumulación de equipos inservibles y riesgosos, garantizando su disposición final según normativas aplicables. El destino de los equipos puede ser venta, donación o destrucción, según las políticas de cada hospital o unidad médica [5, p. 24].



*Figura 1. Diagrama de gestión de equipos médicos, recuperado de [5]*

Una adecuada GEM garantiza que los materiales, equipos e instrumentos utilizados en la atención médica sean planificados, incorporados, utilizados y desincorporados de manera eficiente, lo que asegura la prestación de servicios de salud de calidad [6, p.143]. Al implementar programas de gestión, se optimiza el uso de los recursos, incrementando la productividad de los equipos y reduciendo los costos de

mantenimiento. Además, una gestión eficiente minimiza los riesgos asociados al uso incorrecto o ineficaz de los equipos, lo que a su vez mejora la seguridad del paciente. La capacitación continua del personal y la coordinación entre las áreas técnica, médica, financiera y administrativa fortalecen la operatividad del hospital, asegurando que los servicios de salud sean otorgados de manera eficaz, eficiente, con calidad, calidez y seguridad.

### **2.1.1. Normativas y estándares aplicables: SiNaCEAM**

El Sistema Nacional de Certificación de Establecimientos de Atención Médica (SiNaCEAM) regula la GEM asegurando el cumplimiento de requerimientos a través de la certificación de establecimientos de salud. Según el artículo 3 del Reglamento Interno del SiNaCEAM [7]:

*"El objetivo del SiNaCEAM es coadyuvar en la mejora continua de la calidad de los servicios de atención médica y de la seguridad que se brinda a los pacientes, además de impulsar a las instituciones participantes a mantener ventajas competitivas..." [7, Artículo 3]*

La certificación implica una auditoría exhaustiva que evalúa, entre otros aspectos, cómo los establecimientos gestionan sus equipos médicos. Esto incluye la planificación, adquisición, mantenimiento y desincorporación de los equipos, asegurando que se utilicen de manera eficiente y segura. De esta manera, el SiNaCEAM asegura que los establecimientos de atención médica cumplan con los requerimientos necesarios para brindar servicios de salud de calidad, garantizando que la GEM se realice conforme a estándares que protejan la seguridad del paciente y optimicen la operatividad hospitalaria [7].

### **2.2. Mantenimiento de equipos médicos**

El mantenimiento tiene como objetivo prolongar la vida útil de los recursos que están siendo utilizados para prestar algún tipo de servicio, como en el caso de los equipos médicos; Esto implica mitigar el desgaste y la degradación de estos. Para llevar a cabo

estas acciones, se emplean dos modalidades principales: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

### **2.2.1. Mantenimiento preventivo**

Este tipo de mantenimiento se realiza de manera regular y programada para evitar fallas o problemas futuros en el equipo médico. Consiste en una serie de actividades planificadas, como inspecciones, pruebas de funcionamiento, limpieza, lubricación y calibración. El objetivo principal es identificar y corregir problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas mayores que afecten la operación del dispositivo [5]. En este enfoque, el índice de mantenimiento preventivo se utiliza como una herramienta clave para evaluar la efectividad de las prácticas implementadas en un centro médico para garantizar el cuidado oportuno de los equipos. Este índice considera diversos factores, como la puntualidad en la ejecución de las tareas de mantenimiento programadas, la cobertura de los equipos médicos dentro del programa, la calidad de las inspecciones realizadas y la eficacia en la prevención de fallas o problemas [8].

- Eficiente: Operatividad superior al 90%
- Admisible: Operatividad entre el 70% y el 90%
- Deficiente: Operatividad por debajo del 70%

### **2.2.2. Mantenimiento correctivo**

Consiste en la corrección de las averías o fallas de los equipos cuando éstas se presentan. Las correcciones se hacen de manera no planificada. Puede implicar actividades como el diagnóstico de la causa raíz del problema, la reparación de componentes dañados o defectuosos y la realización de pruebas de funcionamiento para verificar la efectividad de las reparaciones. Se enfoca en resolver problemas existentes para minimizar el tiempo de inactividad y restaurar la funcionalidad del equipo lo antes posible, un ejemplo común de mantenimiento correctivo es la sustitución de un sensor defectuoso en un monitor de signos vitales o la reparación de un circuito eléctrico en un equipo de ultrasonido [8]

### 2.2.3. Método Fennigkoh-Smith

Fennigkoh y Smith (1989) propusieron un método de evaluación de riesgos para clasificar los dispositivos médicos en función de su índice de gestión de equipos (EM, por sus siglas en inglés Equipment Management). Este índice se calcula sumando los puntajes asignados a tres factores clave: la función crítica del dispositivo, su riesgo físico y el mantenimiento que requiere:

$$EM = \text{Función crítica} + \text{Riesgo físico} + \text{Mantenimiento requerido} \quad (2.2.1)$$

Los dispositivos con un índice EM superior a un valor crítico ( $\geq 12$ ) se consideran de alto riesgo y, por lo tanto, se incluyen en los planes de inspección y mantenimiento preventivo. Esta norma permite a los hospitales eximir de inspecciones programadas o tareas de mantenimiento a ciertos equipos médicos, siempre que dichas tareas no sean necesarias para garantizar una operación segura y confiable [9].

La tabla 1 clasifica los equipos médicos según su función en el hospital, asignándoles un puntaje basado en la criticidad de su uso. Los equipos terapéuticos, utilizados en áreas de apoyo vital y cuidados intensivos, obtienen los puntajes más altos debido a su impacto directo en la vida del paciente. A medida que la función de los equipos se aleja de funciones críticas, el puntaje disminuye, como en el caso de equipos de análisis o accesorios de laboratorio [10].

Categoría	Descripción de la función	Puntaje
<b>Terapéutico</b>	Apoyo vital	10
	Cirugía y cuidados intensivos	9
	Fisioterapia y tratamiento	8
<b>Diagnóstico</b>	Control de cirugía y cuidados intensivos	7
	Control fisiológico adicional y diagnóstico	6
<b>Analítico</b>	Análisis del laboratorio	5
	Accesorios del laboratorio	4
	Computadoras y afines	3
<b>Otros</b>	Relacionadas con el paciente y otros	2

Tabla 1. Función del equipo. Recuperado y adaptado de [10]

De manera similar, en la tabla 2 se presenta una categorización de los equipos médicos según los requisitos de mantenimiento necesarios; equipos que exigen calibración frecuente o el reemplazo periódico de piezas reciben un puntaje más alto, mientras que aquellos que solo necesitan inspecciones visuales tienen un puntaje bajo. Este sistema de puntuación permite identificar qué equipos requieren mayor inversión en términos de tiempo y recursos para su mantenimiento.

Requisitos de mantenimiento	Puntaje
<b>Importantes: exige calibración y reemplazo de piezas periódicos</b>	5
<b>Superiores al promedio</b>	4
<b>Usuales: verificación de funcionamiento y pruebas de seguridad</b>	3
<b>Inferiores al promedio</b>	2
<b>Inspección visual</b>	1

*Tabla 2. Requisitos de mantenimiento. Recuperado y adaptado de [10]*

En la tabla 3 se clasifica a los equipos médicos según su historial de averías, permitiendo evaluar su confiabilidad. Los equipos con más fallas (más de una cada seis meses) obtienen un factor positivo (+2), indicando mayor necesidad de mantenimiento, mientras que aquellos con menos fallas (menos de una en 30 meses) reciben un factor negativo (-2). Esto ayuda a priorizar el mantenimiento y optimizar el uso de recursos en función del rendimiento del equipo.

Promedio de averías del equipo	Factor
<b>Significativo: más de una cada seis meses</b>	+2
<b>Moderado: una cada 6-9 meses</b>	+1
<b>Usuales: una cada 9-18 meses</b>	0
<b>Mínimo: una cada 18-30 meses</b>	-1
<b>Insignificante: menos de una en los 30 meses anteriores</b>	-2

*Tabla 3. Antecedentes de problemas del equipo. Recuperado y adaptado de [10]*

Para este proyecto, se decidió utilizar una versión modificada del método Fennigkoh-Smith en base a las necesidades del departamento de biomédica, esta versión adapta las variables originales del modelo a tres campos esenciales: riesgo, función, y



mantenimiento. El campo de riesgo evalúa el impacto potencial de un fallo en la seguridad del paciente. Función clasifica los equipos de acuerdo con su rol en el hospital, desde soporte vital hasta equipos de diagnóstico y análisis. Mantenimiento considera la frecuencia y tipo de intervención técnica requerida para cada equipo.

Este enfoque modificado se adapta a las necesidades de la clínica, ya que optimiza la gestión de los equipos al asignar recursos de manera eficiente, priorizando los dispositivos que requieren mayor atención por su criticidad. De esta forma, el método asegura que la operatividad hospitalaria se mantenga sin interrupciones, maximizando la seguridad del paciente y minimizando el tiempo de inactividad.

### **2.3. Sistemas de gestión de inventario y mantenimiento en el ámbito biomédico**

Estos sistemas son fundamentales para optimizar la gestión de suministros médicos, equipos y productos farmacéuticos en entornos sanitarios. Estos sistemas garantizan la eficiencia operativa y mejoran la atención al paciente al facilitar la disponibilidad oportuna de los recursos necesarios, minimizando así los desabastecimientos, el desperdicio y las interrupciones operativas.

#### **2.3.1. Sistemas de gestión y automatización**

El concepto de digitalización en la gestión de inventarios de equipos médicos representa un avance significativo respecto a los sistemas manuales tradicionales. Los sistemas digitales brindan seguimiento en tiempo real, reordenamiento automatizado y capacidades integrales de generación de informes, todo lo cual contribuye a mejorar la eficiencia operativa. Estos sistemas se integran con las plataformas de gestión hospitalaria existentes, agilizando procesos como el pedido de equipos, el monitoreo y la programación de mantenimiento. En comparación con los sistemas manuales, la gestión de inventario automatizada reduce el error humano, acelera la toma de decisiones y garantiza el cumplimiento de los estándares reglamentarios. Por lo tanto, los sistemas de software han transformado la gestión hospitalaria al garantizar la

disponibilidad y confiabilidad de los equipos médicos críticos y, en última instancia, mejorar los resultados de la atención al paciente [12].

### **2.3.2. Códigos QR**

Un código QR es un código bidimensional escaneable, similar en función a un código de barras tradicional que se podría encontrar en un producto en el supermercado. La principal diferencia entre ambos es que, mientras que un código de barras tradicional puede contener un máximo de 20 dígitos, un código QR puede almacenar hasta 7,089 caracteres, lo que facilita la capacidad de almacenar una mayor cantidad de información. Como se puede observar en Figura 2, los códigos QR tienen forma de un cuadrado compuesto por una combinación de píxeles blancos y negros. Los cuadrados más pequeños en las tres esquinas del código permiten que sea legible desde cualquier ángulo [11]. Los códigos QR pueden almacenar varios tipos de datos, como texto, URL de sitios web o contenido multimedia, coordenadas geográficas, y números de teléfono o contactos.



*Figura 2. QR generado como ejemplo dirigido a: <https://www.tijuana.tecnm.mx/>*

Este tipo de código tiene múltiples aplicaciones en el sector sanitario, entre ellas la optimización de la GEM.

#### **Códigos QR para gestión de equipos médicos**

El uso de códigos QR en la GEM mejora la trazabilidad y proporciona un acceso rápido a información técnica esencial y registros de mantenimiento. Simplemente escaneando un código QR adjunto a un equipo, el personal de atención médica puede recuperar instantáneamente detalles sobre el historial del dispositivo, incluidos registros de mantenimiento anteriores, instrucciones de uso e información de garantía. Un ejemplo de aplicación de esta tecnología lo podemos ver en el sistema propuesto por Chu et al. (2012) [12], donde se implementaron códigos QR para mejorar la

eficiencia en la gestión de equipos hospitalarios, garantizando un acceso rápido a información crítica y mejorando la precisión de las operaciones de mantenimiento. Este enfoque respalda un control de inventario más eficiente, un tiempo de inactividad reducido y una gestión mejorada de los equipos en entornos sanitarios.

## **2.4. Tecnologías de desarrollo de software aplicadas en entornos hospitalarios**

Este apartado examina las tecnologías y lenguajes empleados en el desarrollo del sistema. Se abordan aspectos clave como el diseño de interfaces intuitivas para los usuarios (frontend), la administración eficiente de procesos en el servidor (backend) y el manejo seguro de bases de datos. Asimismo, se destaca la relevancia de proteger la confidencialidad y seguridad de la información, asegurando el cumplimiento de normativas tanto locales como internacionales.

### **2.4.1. Desarrollo de software para hospitales**

La gestión y el mantenimiento de equipos médicos requieren soluciones de software personalizadas que sean escalables, seguras y eficientes. Los hospitales inteligentes están integrando tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y el Big Data, lo que facilita la automatización de tareas, mejora la eficiencia operativa y permite el acceso en tiempo real a los datos necesarios para la toma de decisiones. Según el artículo de revista Salud Digital Latinoamericana [13], la digitalización de los hospitales es fundamental para enfrentar los desafíos de la atención médica moderna, como la escasez de personal y la creciente demanda de servicios.

Para implementar estas funcionalidades, el sistema se desarrolló utilizando tecnologías frontend y backend que permiten una gestión eficiente de los equipos médicos y la interacción fluida con los usuarios.

### **2.4.2. Tecnologías frontend: HTML, CSS y JavaScript**

El desarrollo frontend se centra en la creación de interfaces de usuario intuitivas y funcionales, diseñadas específicamente para facilitar la interacción del personal hospitalario con el sistema.

#### **Frontend**

El término *frontend* hace referencia a la interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) con la que los usuarios pueden interactuar de forma directa, como los menús de navegación, los elementos de diseño, los botones, las imágenes y los gráficos. En términos técnicos, una página o pantalla que el usuario ve con varios componentes de la interfaz de usuario se denomina modelo de objetos del documento (DOM) [14].

#### **HTML**

HTML (Por sus siglas en inglés, HyperText Markup Language) es el lenguaje base utilizado para estructurar el contenido en la Web. En el contexto de este proyecto, HTML es fundamental para definir la estructura de las páginas que conforman la interfaz del sistema de GEM, permitiendo que los usuarios naveguen por el contenido y accedan a la información de manera organizada. Este lenguaje se utiliza para crear los elementos clave de la interfaz de usuario, como formularios, tablas y menús, que permiten al personal hospitalario acceder rápidamente a los datos necesarios, como el historial de mantenimiento o los registros de uso de cada equipo. Gracias a HTML, la plataforma puede ofrecer una estructura clara y accesible que facilita la interacción entre el usuario y el sistema, garantizando que la información crítica esté bien organizada y disponible en todo momento [15].

#### **CSS**

Hojas de Estilo en Cascada (Por sus siglas en inglés, Cascading Style Sheets) o CSS es el lenguaje de estilos utilizado para describir la presentación de documentos HTML. CSS describe cómo debe ser renderizado el elemento estructurado en la pantalla, en

papel, en el habla o en otros medios. CSS es uno de los lenguajes base de la Open Web y posee una especificación estandarizada por parte del W3C [16].

## **JavaScript**

JavaScript (Por sus siglas en inglés, JS) es un lenguaje de programación ligero, interpretado, o compilado justo-a-tiempo (just-in-time) con funciones de primera clase. Si bien es más conocido como un lenguaje de scripting (secuencias de comandos) para páginas web, y es usado en muchos entornos fuera del navegador. JS es un lenguaje de programación basada en prototipos, multiparadigma, de un solo hilo, dinámico, con soporte para programación orientada a objetos, imperativa y declarativa (por ejemplo, programación funcional).

JavaScript se ejecuta en el lado del cliente de la web, y se puede utilizar para estilizar/programar cómo se comportan las páginas web cuando ocurre un evento. JavaScript es un potente lenguaje de scripts y fácil de aprender, ampliamente utilizado para controlar el comportamiento de las páginas web [17].

Este lenguaje permite la ejecución de acciones en tiempo real, como la validación automática de formularios para la creación o actualización de registros, la actualización dinámica de datos sin necesidad de recargar la página (a través de tecnologías como AJAX), y la personalización de la interfaz según las necesidades del usuario. Gracias a JavaScript, la plataforma ofrece una experiencia más fluida, facilitando el acceso rápido a información crítica, como el estado actual de un equipo o los registros de mantenimiento.

HTML, CSS y JavaScript forman la base del desarrollo frontend, que es crucial para proporcionar una interfaz de usuario intuitiva y accesible. HTML se utiliza para estructurar el contenido, CSS para definir el diseño visual y la apariencia de la plataforma, mientras que JavaScript añade interactividad y dinamismo. Estas tecnologías permiten crear un entorno web fácil de usar, donde el personal hospitalario

puede acceder rápidamente a la información necesaria para la gestión y el mantenimiento de los equipos.

### **2.4.3. PHP y desarrollo Backend**

El backend es responsable de manejar las solicitudes generadas por los usuarios, administrar las bases de datos y asegurar el correcto funcionamiento del sistema. En este apartado se explica cómo PHP, como lenguaje de programación para el servidor, facilita la implementación de procesos robustos y seguros para la gestión de datos hospitalarios, optimizando el flujo de información entre los usuarios y las bases de datos.

#### **Backend**

En ocasiones denominado servidor, el backend de la aplicación administra la funcionalidad general de la aplicación web. Cuando el usuario interactúa con el frontend, la interacción envía una solicitud al backend en formato HTTP. El backend procesa la solicitud y devuelve una respuesta. Cuando el backend procesa una solicitud, normalmente interactúa con los siguientes elementos:

- Servidores de bases de datos para recuperar o modificar datos relevantes.
- Microservicios que realizan un subconjunto de las tareas solicitadas por el usuario.
- API de terceros para recopilar información adicional o realizar funciones adicionales.

El backend utiliza varios protocolos y tecnologías de comunicación para completar una solicitud. Además, gestiona miles de solicitudes distintas de forma simultánea. El backend combina técnicas de concurrencia y paralelismo, como la distribución de solicitudes en muchos servidores, el almacenamiento en caché y la duplicación de datos [14].

## **PHP**

PHP (Por sus siglas en inglés, Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de programación ampliamente utilizado en el desarrollo web para la creación de aplicaciones dinámicas del lado del servidor. Desde su creación en 1995 por Rasmus Lerdorf, PHP ha evolucionado para convertirse en uno de los lenguajes más populares para el desarrollo backend de sitios web y aplicaciones, siendo utilizado en más del 80% de los sitios web actuales, incluidas plataformas importantes como Facebook y Wikipedia [18].

Su flexibilidad y compatibilidad con bases de datos como MySQL permiten gestionar de manera eficiente grandes volúmenes de información, como el inventario y el historial de mantenimiento de los equipos médicos. Gracias a su flexibilidad, PHP facilita la gestión eficiente de las órdenes de mantenimiento, asegurando que los equipos médicos estén siempre disponibles y operativos.

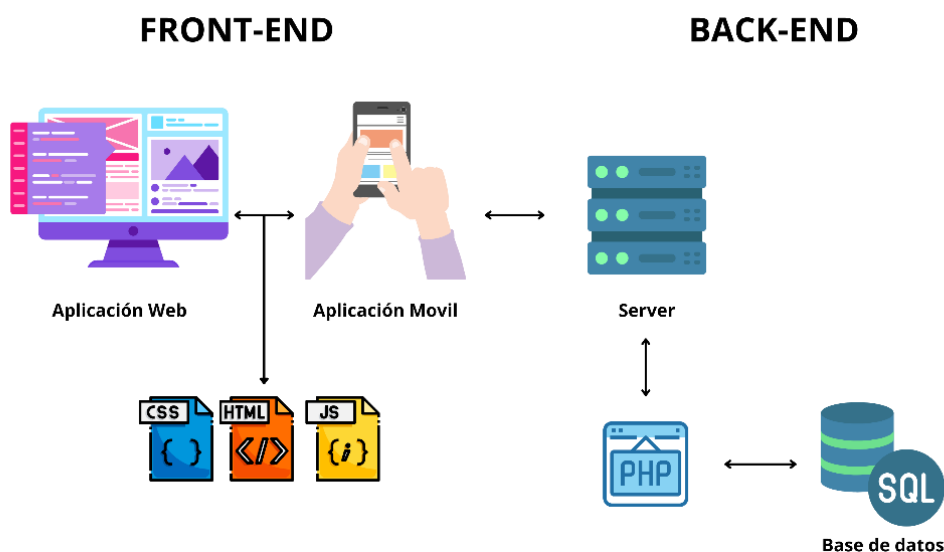
### **2.4.4. MySQL y Gestión de Bases de Datos**

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos (DBMS, por sus siglas en inglés) relacional de código abierto, ampliamente utilizado como repositorio de datos en aplicaciones, sitios web y productos comerciales. Con más de dos décadas de desarrollo respaldado por una comunidad activa, MySQL se caracteriza por ser un sistema seguro, estable y confiable basado en “Structured Query Language” (Por sus siglas en inglés, SQL). Su versatilidad lo hace ideal para un amplio rango de aplicaciones, desde entornos de misión crítica y sitios web interactivos hasta su integración como base de datos embebida en diversos tipos de software, hardware y dispositivos [19].

Una base de datos (DB, por sus siglas en inglés, o BD, por sus siglas en español) es un conjunto organizado de datos estructurados, almacenados y accesibles digitalmente, lo cual permite una administración eficiente de la información. En el ámbito digital, las bases de datos se emplean para almacenar, estructurar y recuperar

datos de forma ágil y precisa. Los sistemas de gestión de bases de datos (DBMS), como MySQL, permiten realizar la administración de estos datos utilizando lenguajes especializados, como SQL, facilitando operaciones como la adición, consulta, actualización o eliminación de datos de manera controlada y segura.

La BD MySQL se utiliza para almacenar y gestionar toda la información relacionada con los equipos médicos, incluidas las órdenes de mantenimiento, registros de uso y el historial de cada dispositivo. Su fortaleza y eficiencia en la manipulación de grandes conjuntos de datos permiten asegurar que la información esté disponible en todo momento, optimizando la toma de decisiones y el monitoreo de los dispositivos.



*Figura 3. Diagrama de frontend y backend (Elaboración propia)*

En resumen, el sistema de gestión hospitalaria utiliza una combinación eficiente de tecnologías Frontend y Backend. El Frontend (HTML, CSS, JavaScript) proporciona una interfaz intuitiva para que el personal hospitalario interactúe con el sistema. El Backend (PHP, MySQL) gestiona las peticiones, procesa los datos y los almacena de forma segura, garantizando un flujo eficiente de información. Como se muestra en el diagrama Figura 3, el Frontend y Backend trabajan juntos para ofrecer respuestas rápidas y optimizadas a los usuarios. Este sistema permite una gestión fluida del inventario y mantenimiento de equipos médicos, esencial para mejorar la operatividad y la toma de decisiones en entornos hospitalarios.



#### **2.4.5. Seguridad y confidencialidad de datos**

En el contexto de la gestión y mantenimiento de equipos médicos, la seguridad y confidencialidad de los datos son aspectos críticos que deben ser garantizados, especialmente considerando el tipo de información que se maneja en los hospitales y centros de salud. La protección de los datos sensibles, tanto de los pacientes como de los equipos médicos, es fundamental para evitar brechas de seguridad, robo de información o el uso indebido de los mismos. En este sentido, existen normativas y regulaciones que proporcionan un marco legal y técnico para asegurar que la información sea tratada con el nivel adecuado de protección.

En México, la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (por sus siglas, LFPDPPP) establece directrices claras sobre cómo se debe manejar la información personal en cualquier ámbito, incluyendo el sector salud.

La plataforma deberá cumplir con estos principios clave de seguridad y confidencialidad, tales como:

1. **Cifrado de datos:** Si bien la ley no menciona explícitamente el cifrado de datos, se establece la obligación de proteger los datos contra el daño, pérdida o acceso no autorizado, lo que implica la posibilidad de aplicar medidas como el cifrado para cumplir con esta obligación (Artículo 19).
2. **Almacenamiento seguro:** En el artículo 19, se establece que los responsables deberán implementar medidas de seguridad administrativas, técnicas y físicas, que podrían incluir firewalls, sistemas de detección de intrusiones y otras herramientas para proteger los servidores y las bases de datos donde se almacenan los datos.
3. **Confidencialidad de los datos:** El artículo 21 establece la obligación de confidencialidad para el tratamiento de los datos personales. Cualquier acceso no autorizado o violación de esta confidencialidad está prohibido y puede ser sancionado.

Aunque no se mencionan de manera explícita términos como cifrado, MFA, o firewalls, los principios generales establecidos en la ley, como la protección contra el acceso no autorizado y la confidencialidad, sugieren la necesidad de aplicar medidas técnicas y administrativas de seguridad, que podrían incluir estas prácticas en el desarrollo de plataformas que manejen datos sensibles [20].

## **2.5. Infraestructura de servidores y hosting**

En el ámbito de los sistemas de gestión hospitalaria, los servidores representan un componente esencial para asegurar la disponibilidad, la seguridad y el rendimiento general del sistema. Funcionan como el pilar fundamental de la infraestructura tecnológica, facilitando el almacenamiento, el procesamiento y el acceso a la información desde diversos dispositivos conectados a la red.

### **2.5.1. Introducción al hosting**

El hosting o alojamiento web es un servicio que almacena una aplicación o página web y la hace accesible desde diversos dispositivos, como computadoras de escritorio, móviles y tabletas. Las aplicaciones web están compuestas por diversos archivos, como imágenes, vídeos, texto y código, que necesitan ser almacenados en ordenadores especializados denominados servidores.

El proveedor de servicios de hosting gestiona, configura y opera estos servidores físicos, los cuales pueden alquilarse para almacenar y ejecutar los archivos de un sistema. Además del espacio de almacenamiento, los servicios de hosting incluyen soporte adicional en áreas como seguridad, copias de seguridad y optimización del rendimiento, permitiendo a los desarrolladores enfocarse en las funcionalidades principales de su aplicación [22].

### **2.5.2. Función de los servidores en el sistema**

Los servidores en este proyecto tienen como función principal procesar las solicitudes de los usuarios, almacenar datos y proporcionar acceso seguro a las funcionalidades del sistema. Entre las tareas específicas que realizan se incluyen:

- **Procesamiento de solicitudes HTTP:** Gestionan las interacciones entre el frontend (usuarios) y el backend (base de datos y lógica de negocio).
- **Almacenamiento de datos:** Resguardan la información crítica del sistema, como el inventario de equipos médicos, los mantenimientos realizados y los manuales técnicos.
- **Autenticación de usuarios:** Verifican credenciales y administran sesiones para garantizar que solo los usuarios autorizados puedan acceder al sistema.
- **Gestión de archivos:** Almacenan manuales y otros documentos relacionados con los equipos médicos, permitiendo su consulta en tiempo real.

### **2.5.3. Tipos de Servidores Utilizados**

El sistema se implementa sobre una arquitectura de servidor dedicada a garantizar un alto rendimiento y una respuesta eficiente a las solicitudes de los usuarios. Los tipos de servidores involucrados incluyen:

1. **Servidor Web (Apache):**
  - Utilizado para procesar y servir páginas web al usuario final.
  - Maneja solicitudes HTTP y comunica al frontend con el backend.
2. **Servidor de Aplicaciones:**
  - Responsable de ejecutar la lógica del sistema desarrollada en PHP.
  - Coordina las interacciones entre las bases de datos y los usuarios.
3. **Servidor de Base de Datos (MySQL):**
  - Almacena y administra los datos estructurados del sistema, como el inventario y las órdenes de mantenimiento.

## **Capítulo 3. Desarrollo y resultados**

Este capítulo describe las etapas clave del desarrollo del sistema, incluyendo la planificación, diseño de la arquitectura, implementación de la base de datos, integración de códigos QR, gestión de inventarios, mantenimiento, órdenes de servicio, manuales y usuarios. Se complementa con diagramas y ejemplos prácticos que ilustran los avances del proyecto.

### 3.1. Descripción del proceso de desarrollo

En esta sección, se inicia con la planificación y definición de los requisitos, identificando las necesidades específicas del Centro Médico Premier. A continuación, se detalla el diseño de la arquitectura del sistema cliente-servidor, resaltando los componentes del frontend, backend y la base de datos. Este enfoque facilita la comprensión de cómo se estructuró y ejecutó el desarrollo para optimizar la gestión de inventarios y mantenimientos.

#### 3.1.1. Planificación y definición de requerimientos

Las necesidades identificadas en el Centro Médico Premier se centran en la gestión del inventario, la planificación de los mantenimientos y el seguimiento de las reparaciones, procesos que actualmente se llevan a cabo de manera manual, principalmente a través de hojas de cálculo y registros físicos. A partir de estos, se pueden definir los requerimientos funcionales y no funcionales para optimizar dichos procesos.

#### Requerimientos Funcionales

Tal como se describe en el libro *Mastering the Requirements Process* [21], “Un requisito funcional describe una acción que el producto debe realizar para ser útil para su operador; surgen del trabajo que sus partes interesadas necesitan llevar a cabo. Casi cualquier acción (calcular, inspeccionar, publicar, u otros verbos activos) puede ser un requisito funcional.” [21, p. 10]. A continuación, se detallan los requisitos funcionales, los cuales han sido formulados específicamente para este proyecto. Estos se organizan conforme a los objetivos propuestos y las necesidades identificadas.

Requerimiento	Nombre	Descripción
Req-1	Registro de Equipos	El sistema debe permitir el registro de los equipos médicos con información detallada, como el nombre del equipo, número de serie, ubicación y fecha de adquisición.
Req-2	Editar y Eliminación	El sistema debe permitir la edición y eliminación de la información del equipo según sea necesario, asegurando que solo los usuarios autorizados puedan realizar estos cambios.
Req-3	Búsqueda Avanzada	Los usuarios deben poder buscar equipos médicos por nombre, número de serie, estado y ubicación, con opciones de filtrado avanzado por fecha de mantenimiento y prioridad.

<b>Req-4</b>	Calendario de Mantenimiento	El sistema debe generar un calendario de mantenimiento preventivo basado en las fechas establecidas durante el registro de los equipos.
<b>Req-5</b>	Notificación de Mantenimiento	El sistema debe enviar notificaciones automáticas al usuario responsable al menos 7 días antes de la fecha programada de mantenimiento.
<b>Req-6</b>	Registro de Mantenimiento Preventivo	El sistema debe permitir el registro de las actividades de mantenimiento preventivo realizadas, con detalles del técnico que lo ejecutó, la fecha, y los resultados obtenidos.
<b>Req-7</b>	Solicitudes de Mantenimiento Correctivo	El sistema debe permitir el registro de solicitudes de mantenimiento correctivo, especificando el equipo afectado, la descripción del problema, y la prioridad de la reparación.
<b>Req-8</b>	Historial de Reparaciones	El sistema debe almacenar un historial detallado de todas las reparaciones realizadas, incluyendo la causa del fallo, piezas reemplazadas y tiempo de reparación.
<b>Req-9</b>	Notificación de Reparación	El sistema debe notificar al técnico asignado cuando una solicitud de reparación se ha registrado y aprobado.
<b>Req-10</b>	Generación de Código QR	El sistema debe generar un código QR único para cada equipo registrado en la base de datos, con información accesible sobre su historial y estado.
<b>Req-11</b>	Reportes de Equipos	El sistema debe permitir la descarga de reportes completos sobre cada equipo médico, directamente desde la página de información accesible a través del código QR.
<b>Req-12</b>	Marcar Reparación Completada	El sistema debe permitir que los técnicos marquen una reparación como completada, y generar un reporte automático con detalles de la reparación.
<b>Req-13</b>	Impresión de Código QR	El sistema debe permitir que el código QR se imprima o descargue para su colocación física en el equipo médico.
<b>Req-14</b>	Acceso a Información por QR	Al escanear el código QR, los usuarios deben poder acceder rápidamente a la información del equipo, incluidos detalles de mantenimientos anteriores y programación futura.
<b>Req-15</b>	Actualización por QR	El sistema debe permitir la actualización directa de los registros del equipo a través de la interfaz móvil tras escanear el código QR, facilitando la revisión y actualización del estado del equipo.
<b>Req-16</b>	Autenticación de Usuarios	El sistema debe incluir autenticación de usuarios mediante nombre de usuario y contraseña, con niveles de acceso diferenciados.
<b>Req-17</b>	Gestión de Acceso	Los usuarios administradores deben poder gestionar el acceso al sistema mediante la creación y eliminación de cuentas, así como la asignación de roles.

*Tabla 4. Tabla de requerimientos funcionales*

## Requerimientos no funcionales

En Mastering the Requirements Process [21] se menciona que “Los requisitos no funcionales son características o cualidades que el producto debe poseer para ser aceptable tanto para su propietario como para su operador.” [21, p. 10]. Estos requisitos suelen abarcar aspectos como el rendimiento, la estética, la facilidad de uso,

la seguridad y el cumplimiento de normativas legales. Los requerimientos no funcionales específicos al proyecto son los siguientes:

Requerimiento	Nombre	Descripción
<b>Req-NF1</b>	Escalabilidad	El sistema debe ser capaz de gestionar el crecimiento en el número de equipos médicos registrados y usuarios, sin comprometer el rendimiento.
<b>Req-NF2</b>	Tiempo de Respuesta	Las búsquedas de equipos médicos, generación de reportes y otras acciones clave deben tener un tiempo de respuesta inferior a 10 segundos bajo condiciones normales de uso.
<b>Req-NF3</b>	Compatibilidad Multiplataforma	El sistema debe ser compatible con los principales navegadores web (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge) y debe ser accesible desde dispositivos móviles (Android y iOS) y de escritorio (Windows, MacOS, Linux).
<b>Req-NF4</b>	Seguridad en Autenticación	El sistema debe implementar autenticación segura mediante contraseñas fuertes, con la opción de integración futura para autenticación de dos factores (2FA) para mayor seguridad.
<b>Req-NF5</b>	Arquitectura Modular	El sistema debe estar desarrollado de forma modular, permitiendo su fácil actualización o modificación para agregar nuevas funcionalidades.
<b>Req-NF6</b>	Usabilidad	La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, con accesibilidad adecuada para usuarios con conocimientos informáticos básicos.

*Tabla 5. Tabla de requerimientos No-funcionales*

### 3.1.2. Diseño de la arquitectura del sistema (Cliente-Servidor)

Este proyecto utiliza un enfoque basado en la arquitectura cliente-servidor, donde el frontend y el backend trabajan en conjunto para proporcionar las funcionalidades del sistema. La comunicación entre ambos componentes se lleva a cabo mediante solicitudes HTTP (Por sus siglas en inglés), permitiendo al frontend interactuar con el backend. Este último se encarga de procesar las solicitudes y gestionar la comunicación con la base de datos, manejando información clave como el inventario de equipos médicos y los registros de mantenimiento. Esta estructura modular permite una administración eficiente y escalable del sistema. Los elementos clave que la componen son: el frontend, el backend y la base de datos, cada uno con funciones específicas y tecnologías particulares empleadas en su desarrollo, los cuales se describen a continuación.

## **Frontend**

El frontend está desarrollado utilizando HTML, CSS y JavaScript, ofreciendo una interfaz gráfica intuitiva y accesible que facilita la interacción del usuario con el sistema. El diseño responsivo asegura que la plataforma sea completamente funcional tanto en dispositivos móviles como en equipos de escritorio, proporcionando una experiencia de usuario óptima y garantizando la compatibilidad con múltiples navegadores.

## **Backend**

El backend, implementado en PHP, maneja la lógica del sistema y responde a las solicitudes enviadas desde el frontend. Incluye funcionalidades específicas como el registro y actualización de información sobre equipos médicos. Este enfoque centralizado mejora la eficiencia en la gestión de datos y garantiza un procesamiento rápido y confiable de las operaciones solicitadas por los usuarios.

## **Base de Datos (MySQL)**

La base de datos relacional, diseñada en MySQL, se encarga de almacenar y gestionar toda la información relevante del sistema, como el inventario de equipos médicos, las órdenes de servicio y los registros de mantenimiento. Su estructura ha sido optimizada para garantizar consultas rápidas y precisas, preservando la integridad y la disponibilidad de los datos críticos para el sistema.

### **3.1.3. Infraestructura tecnológica del sistema**

La implementación de la plataforma requirió una infraestructura tecnológica robusta, proporcionada íntegramente por el hospital. Este apartado describe los recursos y configuraciones empleados para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

## **Servidores y Dominio**

El hospital proporcionó tanto los servidores como el dominio necesario para la plataforma, utilizando un servicio de internet en la nube diseñado previamente para

aplicaciones hospitalarias. Para el despliegue del sistema, se asignó un subdominio exclusivo al departamento de biomédica, lo que permitió un acceso más directo y estructurado a la plataforma.

### **Almacenamiento y Recursos Asignados**

En cuanto al almacenamiento, se reservaron 10 GB en el servidor para alojar la aplicación, la base de datos y los archivos generados durante el uso del sistema. Esta capacidad fue calculada como suficiente para manejar los datos principales, tales como inventarios, órdenes de servicio y manuales técnicos en formato PDF, asegurando una gestión eficiente de la información.

### **Servicios Implementados**

El sistema fue desplegado sobre una infraestructura de servidores con las siguientes configuraciones:

- Servidor Web (Apache):
  - Procesa y entrega páginas web a los usuarios.
  - Maneja las solicitudes HTTP entre el frontend y el backend.
- Servidor de Base de Datos (MySQL):
  - Administra los datos estructurados, como los inventarios, las órdenes de servicio y los manuales técnicos.

Esta infraestructura garantiza la disponibilidad, seguridad y desempeño adecuados para que el sistema opere de manera eficiente. Asimismo, permite que los usuarios autorizados accedan a la información desde cualquier dispositivo conectado a la red hospitalaria, facilitando una gestión centralizada y confiable.

### **3.2. Sistema de inicio de sesión y gestión de usuarios**

El sistema de gestión de usuarios es una pieza fundamental para garantizar el control de acceso y la seguridad de la información en el sistema desarrollado. Este módulo



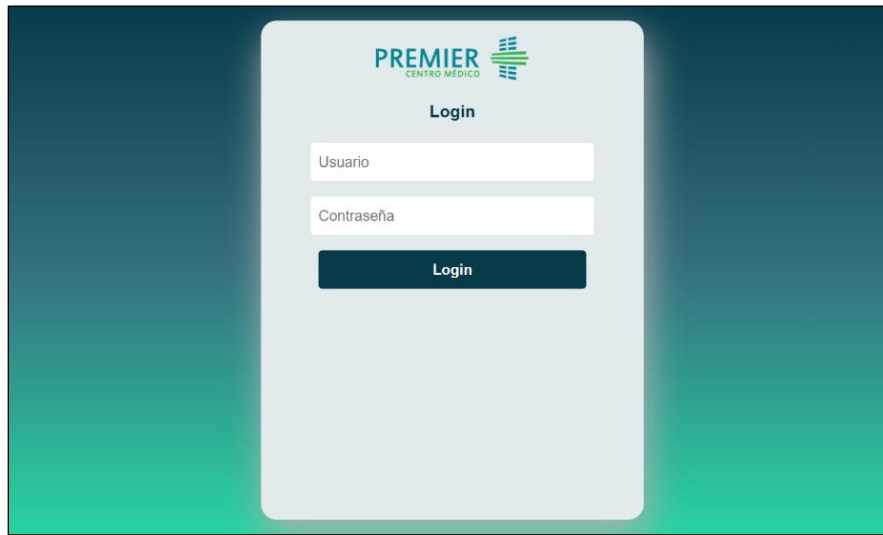
permite autenticar a los usuarios mediante credenciales únicas y gestionar sus roles dentro de la plataforma, asegurando que cada uno acceda solo a las funcionalidades y datos pertinentes a su nivel de autorización.

### **3.2.1. Inicio de sesión**

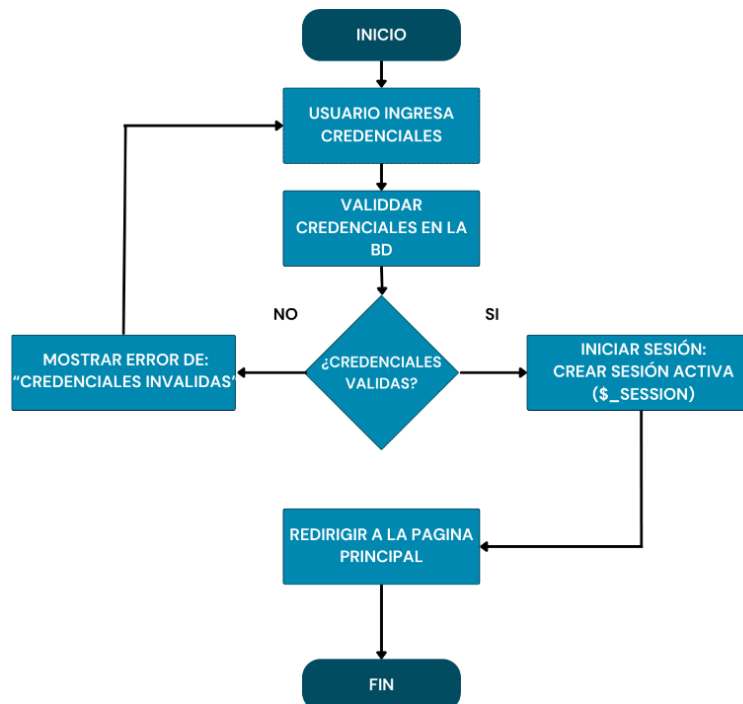
El sistema de inicio de sesión autentifica a los usuarios mediante credenciales compuestas por un nombre de usuario y una contraseña. Este proceso asegura que solo los usuarios autorizados puedan acceder al sistema, y personaliza su experiencia según el rol asignado.

El procedimiento inicia cuando el usuario introduce sus credenciales en un formulario (Figura 4). Una vez recibida esta información, el sistema verifica la validez de las credenciales comparándolas con los datos almacenados en la BD. Para proteger la privacidad de los usuarios, las contraseñas se almacenan de forma cifrada, utilizando algoritmos como “*password\_hash()*” en PHP.

Si las credenciales son válidas, se crea una sesión que asocia al usuario con su rol específico y otra información necesaria para personalizar el acceso a las funcionalidades del sistema. Por otro lado, si las credenciales no son correctas, el sistema deniega el acceso. Este proceso de validación y los pasos que sigue el sistema para autenticar al usuario o denegar el acceso se describen en el diagrama de flujo de la Figura 5. Para proteger las páginas clave, el sistema implementa un control de acceso que redirige automáticamente a la página de inicio de sesión a los usuarios no autenticados. Asimismo, los usuarios tienen la opción de cerrar sesión de manera segura, eliminando las variables de sesión y garantizando que no quede información sensible en el navegador.



*Figura 3. Inicio de sesión para el usuario*



*Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de inicio y cierre de sesión*

Una vez autenticado, el usuario es redirigido automáticamente a la pantalla principal del sistema, diseñada para ofrecer una vista centralizada y práctica de las órdenes de servicio y el estado de los mantenimientos. En esta pantalla, como se muestra en la Figura 7, se destacan las órdenes de servicio prioritarias en la parte superior, categorizadas con íconos y colores que indican su nivel de urgencia. Además, la información de los mantenimientos preventivos y correctivos se presenta en tablas organizadas por criterios clave como modelo, marca, ubicación, responsable y tiempo

restante para la acción requerida. Esta interfaz permite a los usuarios acceder de manera rápida y eficiente a la información más relevante, optimizando la gestión de equipos médicos a partir del inicio de su sesión.

**PREMIER CENTRO MÉDICO**

**Inicio**

**ORDENES DE SERVICIO**

Camilla - Urgencias - Habitación - No se eleva a la altura deseada

Electrocardiografo - Urgencias - Habitación - No enciende

Autoclave de Vapor - Urgencias - Habitación - No termina el ciclo

**PREVENTIVO**

Modelo	Marca	Ubicación	Equipo	Responsable	Dentro de
29525	Covidien	Hospitalización	Compresor de medias	gt1121	4 Dias
29525	Covidien	Hospitalización	Compresor de medias	gt1121	18 Dias
29525	Covidien	Hospitalización	Compresor de medias	gt1121	32 Dias
29525	Covidien	Hospitalización	Compresor de	gt1121	53 Dias

**CORRECTIVO**

Modelo	Marca	Ubicación	Equipo	Responsable	Requerido en
Lifepak20e	Medtronic	Urgencias	Desfibrilador	jc0624	3 Dias
Lifepak20e	Medtronic	Urgencias	Desfibrilador	jc0624	33 Dias
Lifepak20e	Medtronic	Urgencias	Desfibrilador	jc0624	64 Dias
Lifepak20e	Medtronic	Urgencias	Desfibrilador	jc0624	95 Dias
Lifepak20e	Medtronic	Urgencias	Desfibrilador	jc0624	123 Dias

Figura 5. Pantalla principal tras el inicio de sesión, que muestra múltiples órdenes de servicio categorizadas según su prioridad, así como ejemplos de mantenimientos preventivos y correctivos.

### 3.2.2. Roles de usuario y gestión de accesos

El sistema está diseñado para operar con niveles de acceso diferenciados, que se ajustan a los roles asignados a los usuarios. Este enfoque garantiza que cada persona acceda exclusivamente a las funciones que corresponden a sus responsabilidades dentro del Centro Médico Premier. Los roles definidos son los siguientes:

- **Administrador:** Este perfil cuenta con privilegios completos sobre el sistema, incluyendo la gestión de usuarios, la modificación de registros y la configuración de parámetros esenciales. Como se muestra en la Figura 7, los administradores pueden acceder a una vista centralizada de su perfil, donde también disponen de la opción para agregar nuevos usuarios al sistema.
- **Técnico Biomédico:** Este rol está orientado a la gestión operativa, permitiendo al usuario registrar y supervisar actividades relacionadas con el mantenimiento

de los equipos médicos. Sus permisos incluyen la generación de órdenes de servicio, la actualización del inventario y el acceso a manuales técnicos.

- **Usuario General:** Enfocado en el personal médico, este perfil está diseñado para ofrecer acceso restringido a información básica, como datos sobre equipos y manuales técnicos, sin capacidad para realizar modificaciones en el sistema.



*Figura 6. Interfaz del perfil de usuario con la opción de agregar nuevos usuarios, disponible exclusivamente para administradores.*

Este esquema jerárquico facilita un manejo eficiente y seguro de la información, reduciendo los riesgos asociados con accesos no autorizados y promoviendo la protección de los datos críticos del sistema.

### **3.3. Gestión de mantenimiento preventivo y correctivo**

La programación de los mantenimientos se gestiona a través de un sistema de calendario dinámico implementado con *FullCalendar*. Este calendario, como se muestra en la Figura 8, permite a los usuarios visualizar, editar y organizar los eventos de mantenimiento de manera clara y estructurada. Tanto los mantenimientos preventivos como los correctivos se representan con etiquetas diferenciadas dentro del calendario, lo que facilita su identificación rápida. Además, la aplicación permite asignar usuarios responsables para cada tarea, agregar observaciones específicas y registrar los resultados obtenidos tras la ejecución del mantenimiento.



Figura 7. Vista del Calendario de mantenimientos con ejemplos de fechas programadas

### 3.3.1. Proceso de programación de mantenimientos

La programación de mantenimientos en el sistema se basa en la periodicidad establecida para cada tipo de equipo médico, que puede ser diaria, semanal o mensual, según lo requerido. Esta periodicidad se selecciona al momento de crear un nuevo evento de mantenimiento en el sistema, garantizando un control eficiente de las actividades.

Cuando se define un mantenimiento, se genera un evento en el calendario con los siguientes detalles:

- Fecha planificada: Día en que se llevará a cabo el mantenimiento.
- Responsable: Usuario asignado a la tarea.
- Tipo de mantenimiento: Preventivo o correctivo.
- Observaciones: Detalles relevantes o específicos para el mantenimiento.
- Equipo relacionado: Se asigna el equipo a través de su número de serie y otros identificadores.

El flujo general para la gestión de mantenimientos se inicia conforme al proceso representado en la Figura 8.A). Este esquema detalla cómo el sistema verifica la identidad del usuario activo en la sesión, extrae los eventos relevantes desde la base de datos y organiza las tareas en dos categorías: asignadas y no asignadas. Posteriormente, se genera y despliega el calendario en la interfaz de usuario. Este paso inicial asegura que toda la información necesaria esté estructurada y accesible para su consulta.

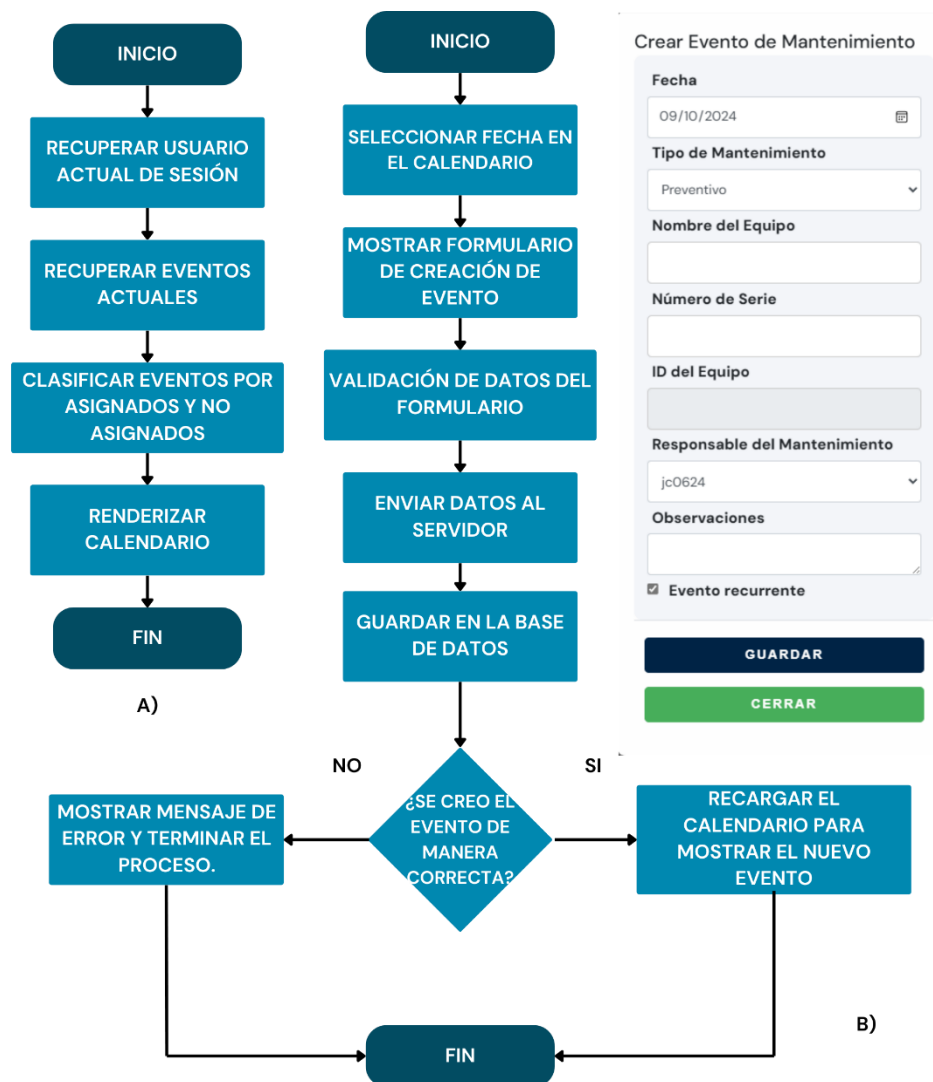


Figura 8. A) Diagrama de flujo del proceso de identificación del usuario activo para iniciar nuevos eventos de mantenimiento. B) Diagrama de flujo del procedimiento para la creación y registro de eventos de mantenimiento en el calendario.

Por otro lado, la Figura 8.B) describe el procedimiento para crear un evento de mantenimiento. Este proceso comienza seleccionando una fecha en el calendario, seguido del llenado de un formulario que captura los detalles del evento, incluyendo los datos del usuario activo, tal como se especifica en el diagrama anterior. Una vez que los pasos se han completado correctamente, el sistema registra el evento y redirige al usuario al calendario, donde podrá visualizar la nueva entrada.

### **3.4. Diseño y desarrollo del sistema de inventario**

Este apartado aborda el diseño del sistema de inventario destinado a la gestión de equipos médicos, destacando su objetivo de resolver problemas mediante una plataforma centralizada. Esta plataforma permite la administración eficiente de registros relacionados con mantenimiento, localización y manuales técnicos. Basado en una base de datos relacional en SQL, el sistema organiza la información clave de forma estructurada y accesible, garantizando un acceso seguro y sencillo para el personal autorizado que requiera consultar o actualizar los datos.

#### **3.4.1. Implementación técnica del sistema de inventario**

Este apartado aborda la implementación técnica del sistema de inventario, con énfasis en el desarrollo de una base de datos relacional utilizando SQL. Se describe el empleo de herramientas específicas y los componentes técnicos que garantizan la operatividad del sistema. El diseño de la base de datos contempla la integración de diversas tablas interrelacionadas, cada una destinada a representar aspectos clave relacionados con el inventario y el mantenimiento de los equipos médicos. Además, se detalla la estructura y la función de cada tabla en el contexto del sistema.

#### **Tabla Equipos médicos**

La tabla "Equipos Médicos" almacena información detallada de cada dispositivo, incluyendo nombre, modelo, marca, número de serie y ubicación en el hospital. Además, registra las fechas del último y próximo mantenimiento. La clave primaria, ID\_equipo, garantiza una identificación única de cada equipo en el inventario. Atributos

como Estado, Área y No\_inventario son esenciales para una gestión eficaz y la localización precisa de cada dispositivo.

Nombre de columna	Descripción
ID_equipo	Identificador único del equipo
Nombre_equipo	Nombre descriptivo del equipo médico
Modelo	Modelo del equipo
Marca	Marca del equipo
Numero_serie	Número de serie único del equipo
Ubicación	Ubicación del equipo en el hospital
Estado	Estado actual del equipo (ej. operativo, en mantenimiento)
Fecha_ultimo_mantenimiento	Fecha del último mantenimiento realizado
Fecha_proxima_revision	Fecha programada para la próxima revisión
Notas	Observaciones adicionales sobre el equipo
Area	Área del hospital donde se encuentra el equipo
Piso	Piso en el que se encuentra el equipo
No_inventario	Número de inventario del equipo

*Tabla 6. Estructura de la tabla "Equipos Médicos" en la base de datos*

### Tabla mantenimientos

La tabla "Mantenimientos" registra las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos médicos. Incluye campos esenciales como Frecuencia, Tipo\_mantenimiento, Responsable\_mantenimiento y Fecha\_planificada, que facilitan la planificación y documentación detallada de cada intervención. La relación con los equipos médicos se establece mediante la clave foránea ID\_equipo, y Responsable\_mantenimiento enlaza esta tabla con los usuarios encargados, permitiendo un seguimiento efectivo de las tareas asignadas.

Nombre de columna	Descripción
ID_mantenimiento	Identificador único de cada mantenimiento
ID_equipo	Referencia al equipo relacionado
Numero_serie	Número de serie del equipo
Frecuencia	Frecuencia del mantenimiento (ej. mensual, anual)
Tipo_mantenimiento	Tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo)
Responsable_mantenimiento	Responsable del mantenimiento del equipo
Observaciones	Observaciones sobre el mantenimiento
Fecha_planificada	Fecha programada para el mantenimiento
Resultados	Resultados del mantenimiento realizado

*Tabla 7. Estructura de la tabla "Mantenimientos " en la base de datos*



### Tabla manuales

Registra las referencias a los manuales específicos de operación y mantenimiento de cada equipo, incluyendo campos como Tipo\_manual, Nombre\_manual y Enlace\_archivo. Esta tabla se vincula con equiposmedicos mediante la clave foránea ID\_equipo, asegurando que cada equipo acceda directa y rápidamente a su manual correspondiente. Así, el personal puede consultar eficientemente los documentos técnicos necesarios para su labor.

Nombre de columna	Descripción
ID_manual	Identificador único del manual
Tipo_manual	Tipo de manual (ej. operativo, técnico)
Nombre_manual	Nombre del manual
Descripción	Descripción del contenido del manual
Versión	Versión del manual
Enlace_archivo	Enlace al archivo digital del manual
ID_equipo	Referencia al equipo asociado

*Tabla 8. Estructura de la tabla "Manuales " en la base de datos*

### Tabla ordenes de servicio

Esta tabla administra y monitorea las órdenes de servicio, registrando cada solicitud con campos como problema, prioridad, estado, responsable y fecha de resolución. Se relaciona con la tabla equiposmedicos mediante ID\_equipo para asociar órdenes a equipos. Campos como Departamento, Ubicación, Descripción\_problema y Costo optimizan la organización y seguimiento, mientras que Usuario\_cierre asegura una trazabilidad integral.

Nombre de columna	Descripción
ID_orden	Identificador único de la orden de servicio
ID_equipo	Referencia al equipo relacionado con la orden
Fecha_creacion	Fecha de creación de la orden
Descripción_problema	Descripción del problema reportado
Estado	Estado actual de la orden de servicio
Prioridad	Nivel de prioridad de la orden
Responsable_orden	Usuario responsable de la orden
Fecha_resolucion	Fecha en la que se resolvió la orden
Solucion_proporcionada	Descripción de la solución aplicada
Costo	Costo asociado al servicio
No_Serie	Número de serie del equipo involucrado

Departamento	Departamento relacionado con la orden
Ubicación	Ubicación del equipo en el momento de la orden
Falla_reportada	Descripción de la falla reportada
Tipo_servicio	Tipo de servicio solicitado
Descripción_servicio	Descripción del servicio requerido
Observaciones	Observaciones adicionales sobre la orden
Firma	Firma digital del usuario responsable
Usuario_cierre	Usuario que cierra la orden de servicio
pdf_url	Enlace al archivo PDF asociado a la orden

*Tabla 9. Estructura de la tabla "Ordenes de servicio " en la base de datos*

### Tabla prioridades

En esta tabla se organizan los equipos por prioridad de mantenimiento, basada en el método Fennigkoh-Smith. La clave primaria ID\_prioridad y la clave foránea ID\_equipo facilitan su relación con la tabla equiposmedicos. Esto permite clasificar los equipos por niveles de prioridad, ayudando al sistema a asignar intervenciones preventivas o correctivas según su grado de criticidad.

Nombre de columna	Descripción
ID_prioridad	Identificador único de la prioridad asignada
ID_equipo	Referencia al equipo relacionado
Riesgo	Nivel de riesgo asociado al equipo
Función	Importancia de la función del equipo
Mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento requerido
Prioridad	Nivel de prioridad asignado

*Tabla 10. Estructura de la tabla "Prioridades " en la base de datos*

### Tabla users

La tabla "Usuarios" almacena datos de los usuarios del sistema, incluyendo nombre, apellido, rol y firma digital. Cada usuario posee un ID único que se asocia con sus actividades y órdenes de servicio. Esta configuración garantiza la seguridad y el control de acceso, permitiendo la asignación de roles específicos y responsabilidades en las tareas de servicio y mantenimiento.

Nombre de columna	Descripción
ID	Identificador único del usuario
user	Nombre de usuario para iniciar sesión
password	Contraseña del usuario

email	Correo electrónico del usuario
Nombre	Nombre del usuario
Apellido	Apellido del usuario
Rol	Rol del usuario dentro del sistema
Departamento_area	Departamento o área del usuario
Firma	Firma digital del usuario

*Tabla 11. Estructura de la tabla "Usuarios " en la base de datos*

Después de diseñar e implementar las tablas correspondientes al sistema de inventario, se llevó a cabo la migración de los datos desde Excel a SQL mediante un proceso ETL (Extracción, Transformación y Carga). En primer lugar, se extrajeron los datos desde las hojas de Excel y se realizó una depuración exhaustiva para garantizar su integridad. Posteriormente, se procedió a cargar esta información en las tablas del sistema utilizando scripts SQL, asegurando en todo momento la consistencia de los datos y la integridad referencial dentro de la base de datos.

### **Diagramas entidad-relación (ER) para la estructura de datos del inventario.**

El diagrama ER de la BD muestra cómo se interconectan las principales entidades, permitiendo una estructura de datos relacional clara y coherente. A continuación, se detallan las relaciones establecidas entre las tablas principales del sistema:

1. Relación entre equipos médicos y mantenimientos: Se establece una relación uno-a-muchos, donde cada equipo registrado en la tabla equipos médicos puede tener múltiples entradas de mantenimiento asociadas en la tabla mantenimientos.
2. Relación entre equipos médicos y manuales: La tabla manual mantiene una relación uno-a-uno con equipos médicos, de modo que cada equipo cuenta con un único manual asignado, vinculado mediante la clave foránea ID\_equipo.
3. Relación entre equiposmedicos y ordenes servicio: La tabla ordenes servicio presenta una relación uno-a-muchos con equiposmedicos, permitiendo que cada equipo tenga varias órdenes de servicio asociadas, gestionadas a través de la clave foránea ID\_equipo.

4. Relación entre equiposmedicos y prioridades: Aquí se configura una relación uno-a-uno, en la que cada equipo en equiposmedicos puede tener un nivel de prioridad específico asignado en la tabla prioridades, utilizando ID\_equipo como clave foránea.
5. Relación entre mantenimientos y users: La tabla mantenimientos se vincula con users mediante el campo Responsable\_mantenimiento, que actúa como clave foránea para identificar al usuario encargado de cada actividad de mantenimiento.
6. Relación entre orden servicio y users: Similarmente, la tabla ordenesservicio se conecta con users a través del campo Responsable\_orden, identificando al usuario responsable de gestionar cada orden de servicio.

Estas relaciones están representadas gráficamente en el modelo relacional mostrado en la Figura 9, ilustrando de manera clara y visual cómo interactúan las entidades del sistema. Este diagrama es esencial para garantizar la integridad referencial y optimizar la administración de los datos del inventario y sus procesos asociados.

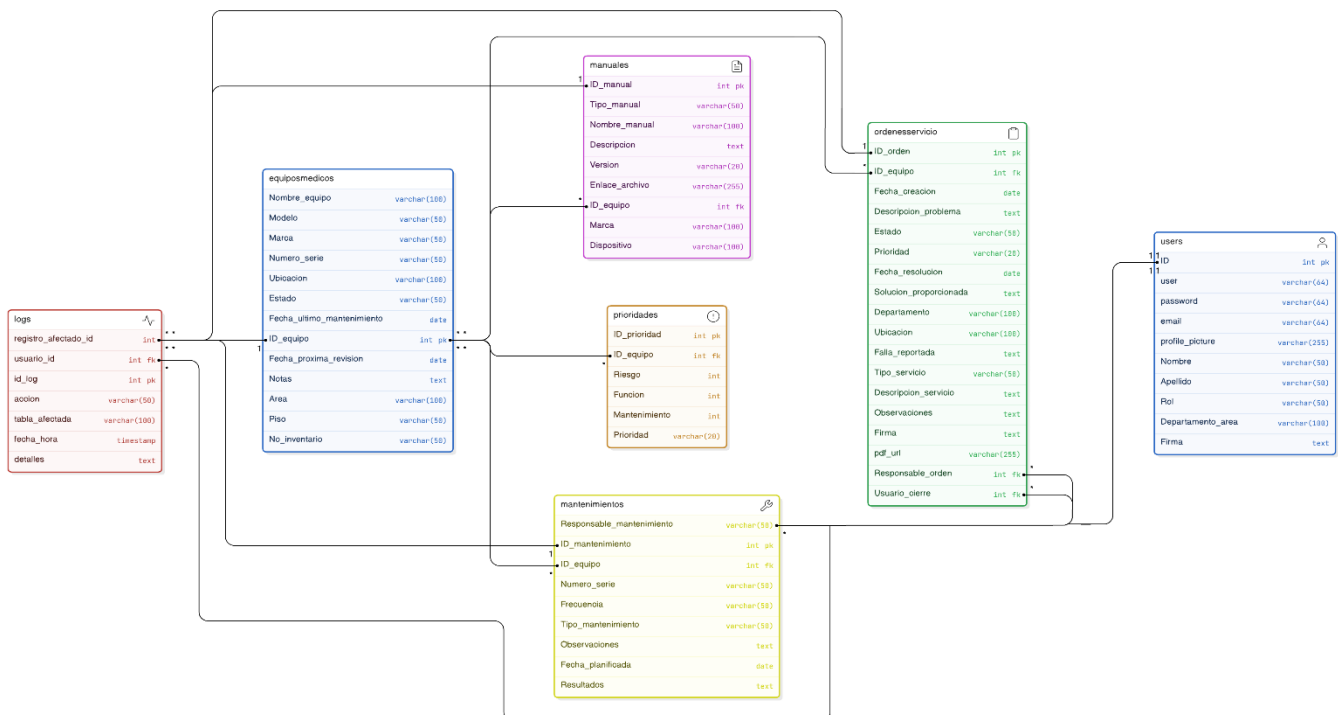


Figura 9. Esquema entidad-relación de las tablas de la base de datos. Imagen a resolución completa en anexo.

### 3.4.2. Generación y lectura de códigos QR

En el sistema desarrollado, la generación y lectura de códigos QR cumplen un rol fundamental en la identificación y gestión de los equipos médicos, facilitando la trazabilidad y consulta de información en tiempo real. La generación de códigos QR se realiza a partir de datos únicos de cada equipo, como el identificador de inventario, el modelo y la marca, asegurando que cada código QR sea único y asociado exclusivamente a un equipo específico.

#### Proceso de Generación de Códigos QR

La Figura 11 muestra la interfaz gráfica del lector QR integrada en el sistema, que permite escanear códigos QR mediante la cámara del dispositivo o archivos de imagen. Además, incluye opciones para crear etiquetas QR, generar etiquetas individuales, consultar la última etiqueta generada e imprimirla.



*Figura 10. Interfaz del lector QR desarrollado, que permite solicitar permisos de cámara, escanear archivos de imagen o directamente realizar consultas en tiempo real.*

El sistema implementa la biblioteca *phpqrcode* en PHP para crear imágenes de códigos QR, las cuales incorporan enlaces únicos asociados a la información específica de cada equipo mediante su ID. Estas imágenes se guardan en el servidor para ser utilizadas posteriormente (Figura 13). Por otro lado, para la lectura de códigos

QR, se utiliza la biblioteca *Html5Qrcode* en JavaScript. Esta herramienta permite escanear y decodificar los códigos en tiempo real a través de la cámara del dispositivo, lo que agiliza el acceso directo a la información del equipo desde el navegador web.



Figura 11. QR equipo medico

El flujo del proceso de generación de códigos QR se presenta en la Figura 11. Este diagrama ilustra cómo se obtienen los datos del equipo, se genera el código QR, y se verifican las condiciones necesarias para crear y almacenar la imagen QR y el PDF correspondiente.

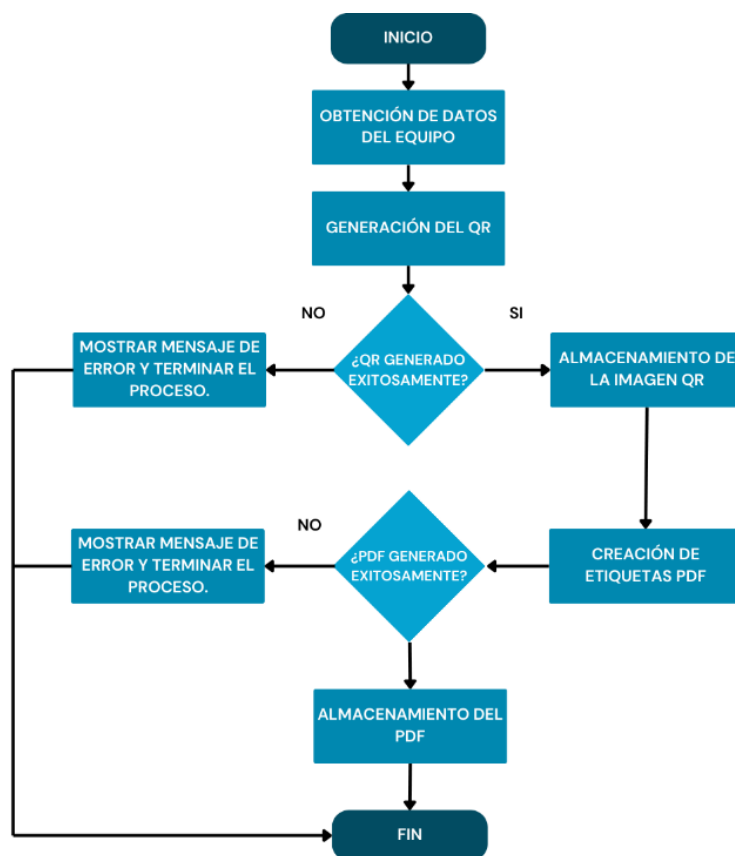
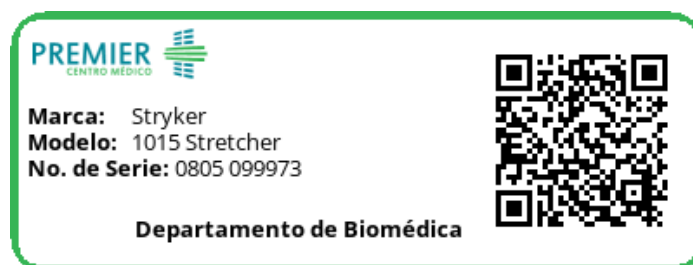


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de generación de códigos QR

La Figura 14 muestra un ejemplo de etiqueta de identificación generada por el sistema, la cual contiene información esencial como la marca, modelo y número de serie del equipo, así como un código QR único que facilita el acceso a su información en tiempo real.



*Figura 13. Etiqueta de equipo medico*

Con la implementación de códigos QR para garantizar una identificación rápida y única de los equipos médicos, el sistema incorpora herramientas avanzadas de búsqueda.

### **3.4.3. Funcionalidades de búsqueda**

La administración de un inventario de equipos médicos demanda herramientas que faciliten la localización precisa y eficiente de la información. Para ello, el sistema implementado incluye funciones avanzadas y básicas de búsqueda, diseñadas para mejorar tanto el acceso como la actualización de datos esenciales.

La sección de búsqueda y actualización de equipos en la plataforma permite realizar consultas específicas en el inventario de equipos médicos. A través de opciones de búsqueda básica y avanzada, los usuarios pueden filtrar la información por campos clave, como el nombre del equipo, modelo, marca y ubicación. La funcionalidad de búsqueda avanzada permite la combinación de varios filtros mediante operadores lógicos, lo cual facilita obtener resultados específicos según las necesidades de gestión y mantenimiento de los equipos.

### **Descripción de la implementación de búsquedas en Inventario**

A nivel técnico, las búsquedas se implementan con consultas SQL dinámicas, adaptadas a los parámetros seleccionados por el usuario. Este proceso, ilustrado en la Figura 14, abarca desde la conexión a la base de datos hasta la ejecución de

consultas optimizadas para devolver resultados precisos y relevantes. Estas funcionalidades mejoran la eficiencia y precisión en la gestión del inventario. La flexibilidad en el diseño de estas consultas facilita la obtención de resultados detallados, contribuyendo a una gestión y mantenimiento más eficiente de los equipos médicos en el sistema.

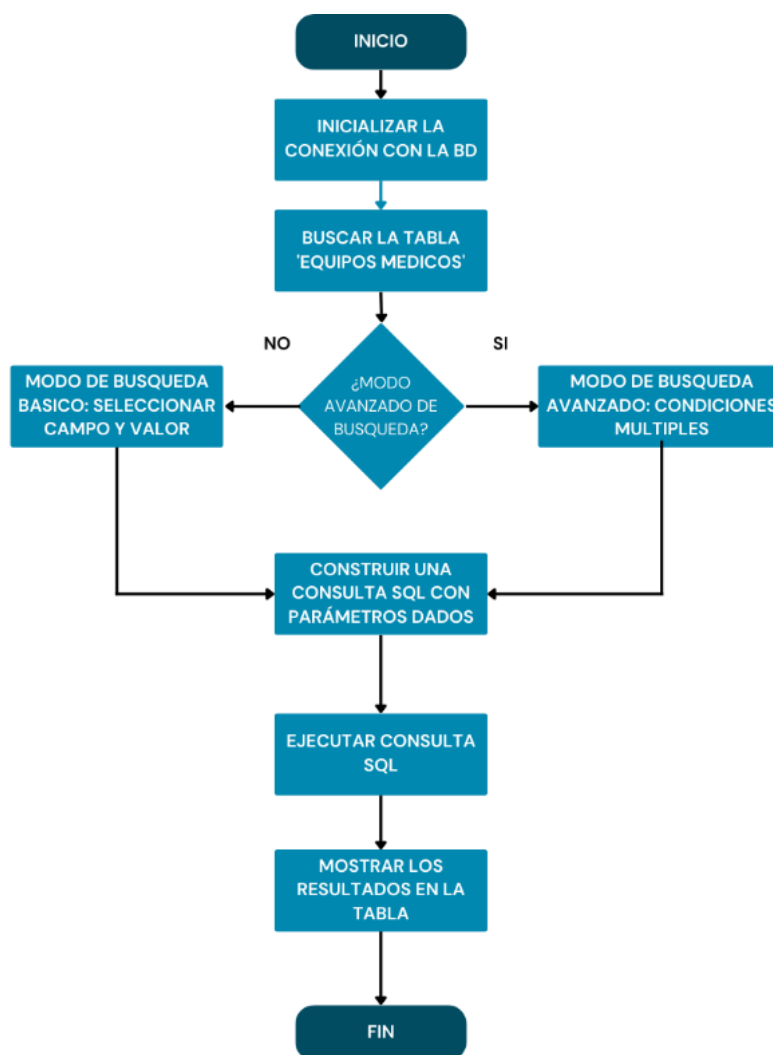


Figura 14. Diagrama para el proceso de consulta en Inventario

### Búsqueda Básica

La búsqueda básica se implementa mediante la selección de un campo y un valor de filtro en la interfaz del usuario, como se muestra en la Figura 15, que presenta la vista gráfica de esta funcionalidad dentro del sistema. Esta opción es ideal para usuarios que necesitan una búsqueda rápida sin complejidades adicionales.



### BÚSQUEDA BÁSICA

Campo de filtro:

Nombre del equipo

Valor a filtrar:

Desfibrilador

Features ▶

Buscar

Activar Búsqueda Avanzada

### AGREGAR EQUIPO NUEVO

Agregar

### INVENTARIO

ID Equipo	Nombre Equipo	Modelo	Marca	Numero Serie	Ubicacion	No Inventario
8	Desfibrilador	Lifepak20e	Medtronic	31762672	Urgencias	CMP-URG-008
93	Desfibrilador	Heartstart XI	Philips	USO0453720	Hospitalización	CMP-HOSP-040
94	Desfibrilador	Lifepak20	Medtronic	34017808	Hospitalización	CMP-HOSP-041
123	Desfibrilador	Heartstart XI	Philips	USO0233647	Recuperación	CMP-RQX2-005
158	Desfibrilador	HeartStart MRX	Philips	M3539A	Obstetricia	CMP-QXI-021

Figura 15. Ejemplo de búsqueda básica con el filtro 'Nombre de equipo es igual Desfibrilador'

## Búsqueda Avanzada

La búsqueda avanzada está dirigida a usuarios que necesitan realizar consultas detalladas y complejas, integrando múltiples condiciones y operadores. La Figura 17 muestra cómo se puede interactuar con esta funcionalidad en el sistema. Este tipo de funcionalidad permite personalizar la consulta mediante el uso de varios campos y operadores relacionales para obtener resultados con un alto grado de especificidad.

### BÚSQUEDA AVANZADA ▼

Introduce tu consulta:

Ubicacion = 'Urgencias' AND  
Marca = 'Stryker'

Features ▶

Buscar

Activar Búsqueda Básica

### AGREGAR EQUIPO NUEVO

Agregar

### INVENTARIO

ID Equipo	Nombre Equipo	Modelo	Marca	Numero Serie	Ubicacion	No Inventario
5	Camilla	1015 Stretcher	Stryker	0805 099961	Urgencias	CMP-URG-005
3	Camilla	ST1-X	Stryker	4508100018610003	Urgencias	CMP-URG-003
4	Camilla	1015 Stretcher	Stryker	0805 099973	Urgencias	CMP-URG-004
2	Camilla	ST1-X	Stryker	4508100018610001	Urgencias	CMP-URG-002
1	Camilla	ST1-X	Stryker	4508100018610002	Urgencias	CMP-URG-001
6	Camilla	1015 Stretcher	Stryker	0805 099967	Urgencias	CMP-URG-006
7	Camilla	747	Stryker	2020005601384	Urgencias	CMP-URG-007

Figura 16. Ejemplo de consulta avanzada por ubicación y marca

## Introducción de Consulta Compleja

Los usuarios pueden introducir consultas avanzadas utilizando operadores relacionales (como =, <>, >, <, etc.) y combinarlos mediante operadores lógicos (como AND y OR) para establecer múltiples condiciones simultáneamente. Esto permite

realizar búsquedas con un alto grado de especificidad, seleccionando resultados que cumplan con criterios combinados:

```
1. Nombre_equipo = 'Ecógrafo' AND Ubicacion = 'Almacén 3'.
```

*Código 1 Ejemplo de consulta compleja en el modo de búsqueda avanzada*

La Figura 17 muestra cómo esta consulta avanzada se introduce en la interfaz del sistema, permitiendo a los usuarios combinar múltiples condiciones en un único campo para realizar búsquedas detalladas.

Comparación de Búsqueda Básica y Avanzada		
Característica	Búsqueda básica	Búsqueda avanzada
Complejidad de uso	Baja	Alta
Niveles de filtro	Un único campo y valor	Múltiples condiciones con operadores
Flexibilidad	Limitada	Alta, permite condiciones complejas
Casos de uso	Consultas rápidas y sencillas	Consultas detalladas, específicas, y guardado de marcadores
Ejemplo de consulta	Selección de campo y valor a buscar	Nombre_equipo = 'Ecógrafo' AND Ubicacion = 'Almacén 3'

*Tabla 12. Comparación entre búsqueda básica y avanzada*

## Proceso de Implementación de la Búsqueda General en la Base de Datos

El sistema de búsqueda permite al usuario seleccionar tanto la tabla como el campo específico que desea consultar. A continuación, se describen los pasos clave de su funcionamiento:

1. **Selección de Tabla y Campo de Búsqueda:** El usuario selecciona la tabla en la que quiere realizar la búsqueda. Entre las opciones disponibles están equiposmedicos, mantenimientos, manuales y ordenesservicio. Al seleccionar una tabla, los campos asociados a esta se cargan automáticamente en el selector de "Campo para buscar," lo que asegura que el usuario visualice solo las opciones pertinentes a la tabla seleccionada

2. **Generación Dinámica de la Consulta SQL:** Una vez elegido el campo de búsqueda y especificado el valor a buscar, el sistema genera dinámicamente una consulta SQL empleando el operador LIKE.
3. **Presentación de Resultados:** En caso de encontrar coincidencias, los resultados se muestran en una tabla dentro de la interfaz del usuario. Si no se encuentran resultados, el sistema notifica al usuario mediante un mensaje adecuado.

La búsqueda básica y la avanzada están diseñadas para atender diferentes necesidades de los usuarios según el nivel de detalle requerido. Mientras que la búsqueda básica es ideal para consultas rápidas y directas, la búsqueda avanzada permite realizar consultas más complejas mediante la combinación de múltiples filtros y operadores. La siguiente tabla (Tabla 13) resume las diferencias clave entre ambas funcionalidades para ayudar a los usuarios a seleccionar la opción más adecuada según sus requerimientos:

Comparación de consulta de Inventario y de toda la Base de Datos		
Característica	Consulta de Inventario	Búsqueda en Toda la Base de Datos
<b>Alcance</b>	Limitada a la tabla equiposmedicos	Abarca varias tablas en la base de datos
<b>Facilidad de Acceso</b>	Proporciona acceso rápido a información específica de equipos	Ofrece flexibilidad para acceder a cualquier registro en la BD
<b>Objetivo de Uso</b>	Consultas rápidas de inventario	Consultas detalladas y búsqueda integral en todas las tablas
<b>Casos de uso</b>	Consultas rápidas y sencillas	Consultas detalladas, específicas, y guardado de marcadores

*Tabla 13. Tabla de comparación entre consulta de inventario y búsqueda en toda la base de datos*

### 3.5. Sistema de gestión de manuales

El sistema implementado para la gestión de manuales en este proyecto proporciona una plataforma centralizada y segura destinada a la organización y consulta de la

documentación técnica relacionada con los equipos médicos. Esta solución permite un acceso ágil a manuales actualizados, garantizando que el personal cuente con la información esencial para la operación y el mantenimiento correctos de los equipos. Su estructura está diseñada para optimizar tanto el almacenamiento como la recuperación eficiente de documentos técnicos fundamentales.

### 3.5.1. Descripción del sistema de gestión de manuales

El sistema permite centralizar el almacenamiento y acceso a manuales técnicos, asociando cada documento al equipo médico correspondiente mediante una base de datos relacional. Durante el proceso de registro, se recaban datos esenciales como el nombre del equipo, modelo y número de serie, mientras que los archivos en formato PDF son almacenados de manera segura en el servidor, garantizando su disponibilidad para consultas futuras. La Figura 21.A muestra el flujo de trabajo del sistema, el cual abarca desde la selección del archivo y el llenado del formulario hasta el almacenamiento de la información en la base de datos y el servidor. Este proceso asegura una gestión eficiente y una organización estructurada de los documentos técnicos.

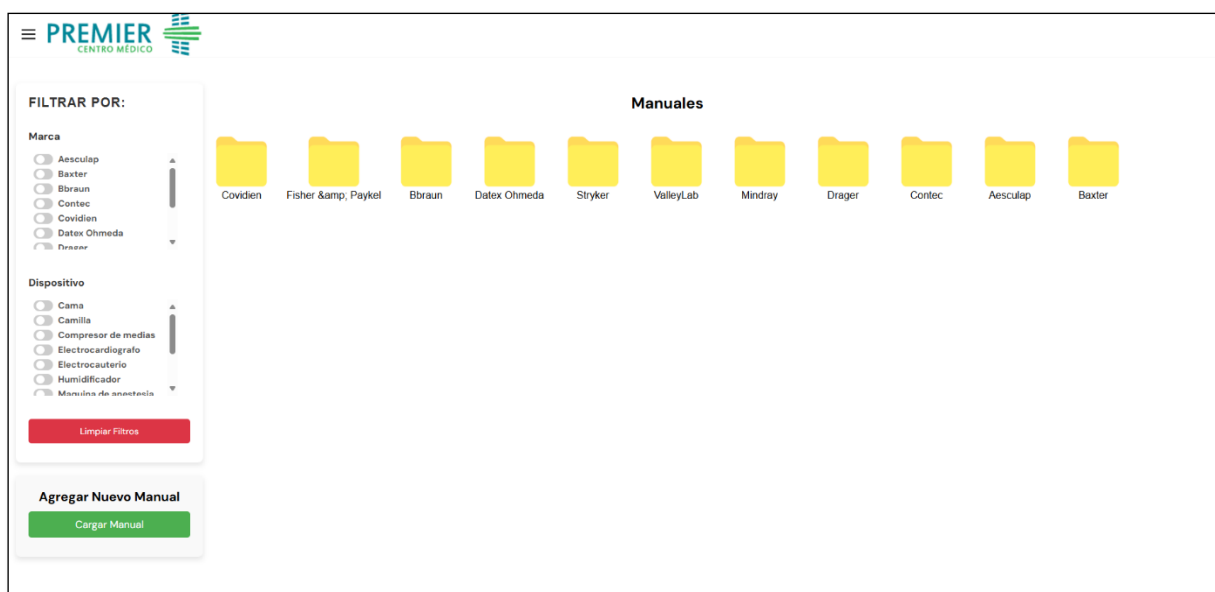


Figura 17. Diagrama del: A) Proceso de carga y almacenamiento de Archivos PDF B) Proceso de filtrado y visualización de resultados

### 3.5.2. Acceso y consulta de manuales

El sistema cuenta con una interfaz diseñada para facilitar su uso, permitiendo a los usuarios localizar manuales mediante filtros específicos, como la marca, el modelo o el tipo de equipo. Los resultados de estas búsquedas se muestran directamente en la pantalla, ofreciendo opciones para visualizar los documentos o descargarlos en formato PDF.

En la Figura 22, se muestra la vista principal de la interfaz de manuales, donde los documentos están organizados en carpetas categorizadas según la marca o el dispositivo. Esta organización permite al usuario explorar visualmente los manuales en una estructura tipo directorio cuando no se aplican filtros. Además, la sección lateral ofrece opciones para filtrar los resultados y limpiar los filtros aplicados. La funcionalidad de agregar un nuevo manual también está integrada en esta pantalla, facilitando una gestión eficiente de los documentos.



*Figura 18. Interfaz de consulta de manuales en vista de directorio.*

La Figura 21.B complementa esta funcionalidad mostrando el flujo del proceso de filtrado y visualización de resultados. Este diagrama detalla cómo se seleccionan los filtros, se aplican las condiciones, y se renderizan los resultados para garantizar que el acceso a los documentos sea rápido y efectivo.

### 3.6. Descripción del sistema de órdenes de servicio del equipo médico

El sistema de órdenes de servicio para el equipo médico fue diseñado con el objetivo de facilitar la creación, gestión y seguimiento de las solicitudes de mantenimiento de los equipos médicos. Este sistema permite optimizar el flujo de trabajo de los técnicos, garantizar el mantenimiento adecuado del equipo médico y priorizar las órdenes de acuerdo con la criticidad de cada equipo. En esta sección se detallan los procesos de creación, asignación y monitoreo de las órdenes de servicio.

#### 3.6.1. Creación y gestión de órdenes de servicio

La creación de órdenes de servicio es el primer paso en la gestión de mantenimiento de equipos médicos. Este proceso comienza cuando un usuario identifica la necesidad de un servicio, ya sea por un problema identificado en el equipo (correctivo) o una solicitud programada (preventivo).

El sistema proporciona una interfaz gráfica intuitiva que organiza las órdenes de servicio de manera clara y accesible, como se muestra en la Figura 19. En esta pantalla, se presentan las órdenes activas junto con información clave:

- Nombre y ubicación del equipo.
- Descripción del problema reportado.

Además, el sistema ofrece opciones para:

1. Crear una nueva orden de servicio.
2. Modificar una orden existente.
3. Cambiar la prioridad de un equipo.
4. Visualizar órdenes cerradas en formato PDF.



*Figura. 19 Interfaz del módulo de órdenes de servicio, mostrando órdenes activas y accesos directos a las principales funcionalidades.*

El proceso para crear una orden de servicio se detalla en la Figura 20, que incluye los siguientes pasos:

1. **Seleccionar "Crear Orden de Servicio":** El usuario accede al sistema y elige esta opción desde la interfaz principal.
2. **Llenar el formulario con información del equipo:** Se registran datos esenciales como el equipo, número de serie, departamento, ubicación, y el problema identificado.
3. **Describir el problema:** Se especifica la falla reportada y el tipo de servicio requerido (correctivo, preventivo u otro).
4. **Enviar el formulario:** Los datos ingresados se procesan y la orden queda registrada en el sistema.

El formulario mostrado en la Figura 20 permite al usuario completar los campos necesarios de manera clara y estructurada, asegurando que los técnicos cuenten con información suficiente para atender la solicitud.



Figura 20. Diagrama del proceso de creación de orden de servicio para equipos médicos

Una vez creada la orden de servicio, el sistema procede a priorizarla utilizando un modelo adaptado a las necesidades del hospital, como se describe a continuación.

### **3.6.2. Priorización y asignación de órdenes de servicio: Método Fennigkoh-Smith modificado**

La correcta asignación de responsabilidades y la priorización en las órdenes de servicio resultan fundamentales para garantizar una gestión eficaz en el mantenimiento de equipos médicos. Este proyecto emplea una adaptación del método Fennigkoh-Smith, con el propósito de evaluar y clasificar los equipos médicos conforme a su criticidad y demanda de mantenimiento. La modificación del método responde a las necesidades particulares del departamento de biomédica del Centro Médico Premier, permitiendo un ajuste más preciso y orientado al contexto específico de esta institución.

#### **Modificación al método Fennigkoh-Smith**

En su formulación original, los dispositivos con un índice EM igual o superior a un valor crítico ( $\geq 12$ ) se consideran de alto riesgo, y se incluyen en los planes de mantenimiento preventivo. Este sistema permite que ciertos equipos se excluyan de tareas de mantenimiento rutinario si no son necesarias para su operación segura y confiable. Para mejorar la gestión de prioridades en las órdenes de servicio, el sistema integra una versión personalizada del método Fennigkoh-Smith, incorporando campos específicos en la tabla de prioridades que facilitan una evaluación más detallada y alineada con las necesidades del Centro Médico Premier.

#### **Principales Modificaciones:**

1. **Escala Ampliada para Evaluación de Mantenimiento y Función Crítica:** En esta versión modificada del método, el campo de "Mantenimiento" se califica en una escala de 1 a 10 en lugar del rango original de +2 a -2. La "Función Crítica" también se valora en esta misma escala ampliada de 1 a 10, permitiendo una evaluación más detallada y precisa de las necesidades de cada equipo.



2. **Tabla Personalizada para la Clasificación de Prioridades:** Se ha implementado una tabla de prioridades que incluye los campos Riesgo, Función, Mantenimiento y Prioridad. Esta tabla facilita la clasificación adaptable y específica de cada equipo médico, considerando las particularidades y requerimientos propios de la institución.
3. **Automatización del Cálculo de Prioridades:** El sistema asigna automáticamente la prioridad de cada equipo con base en los valores de riesgo, función crítica y mantenimiento ingresados. La clasificación sigue el siguiente criterio:
- Si el riesgo del equipo es de 4 o superior, la prioridad se establece directamente como "Alta."
  - En caso contrario, la prioridad se calcula en función de la suma total de los valores de riesgo, función y mantenimiento: si el total alcanza o supera 15, la prioridad es "Alta"; si está entre 7 y 14, es "Media"; y para valores inferiores a 7, la prioridad se clasifica como "Baja"

En la Figura 21, se muestra un humidificador con los siguientes valores: Riesgo = 1, Función = 3, y Mantenimiento = 1. La suma total es:

$$Total = 1 + 3 + 1 = 5$$

Según los criterios del sistema, este equipo tiene una prioridad "Baja" porque el puntaje es menor a 7. Este cálculo se realiza automáticamente, pero los valores pueden ajustarse mediante el botón "Modificar."

MODIFICAR PRIORIDAD							
ID Prioridad	ID Equipo	Nombre del Equipo	Riesgo	Función	Mantenimiento	Prioridad	Acciones
1	112	Humidificador	1	3	1	Bajo	Modificar

Figura 21. Interfaz para modificar prioridades, mostrando los valores actuales de un

Estas modificaciones garantizan que los equipos con mayor impacto operativo sean atendidos con prioridad, lo que mejora la eficacia del mantenimiento.

### Beneficios de las Modificaciones:

- **Mayor Precisión:** La evaluación detallada facilita una priorización más exacta, garantizando que los equipos con un impacto significativo en la atención reciban mantenimiento en el momento adecuado.
- **Eficiencia en el Uso de Recursos:** La asignación automatizada disminuye la carga administrativa y optimiza el uso de los recursos disponibles.
- **Adaptabilidad Mejorada:** Las modificaciones permiten que el método se ajuste al entorno clínico específico del Centro Médico Premier, incrementando la capacidad de respuesta frente a diversos escenarios.

### 3.6.3. Historial y monitoreo

El sistema de gestión de órdenes de servicio implementa un módulo de “Órdenes en PDF” que permite acceder a las órdenes cerradas y consultarlas en formato PDF. Esta funcionalidad es fundamental para la trazabilidad de los trabajos de mantenimiento y el seguimiento de problemas históricos de cada equipo médico. Como se muestra en la Figura 22, las órdenes cerradas están organizadas en un listado que incluye:

- **Número de Orden:** Identificador único para cada solicitud.
- **Descripción del Problema:** Resumen breve del motivo de la orden.
- **Fecha de Cierre:** Indicación de cuándo se completó el servicio.



*Figura 22. Interfaz del módulo de historial, mostrando un listado de órdenes cerradas disponibles para consulta.*

Los usuarios pueden seleccionar cualquier orden del listado para abrir el archivo PDF correspondiente, como se ilustra en la Figura 23. Este archivo contiene información clave, tales como:

- **Equipo y Ubicación:** Detalles del dispositivo y su localización en el hospital.

- Tipo de Servicio: Especificación del servicio realizado (correctivo, preventivo u otro).
- Descripción del Servicio y Observaciones: Información detallada sobre las acciones realizadas.
- Firmas: Registro de conformidad, incluyendo la firma del técnico responsable y del personal autorizado.

	<b>Centro médico Premier</b> <small>Av. Antonio Caso 2055, Zona Urbana Río, Nivel 2 Tijuana, Baja California C.P. 22010 Tel: (664) 478-3000</small>	<b>Fecha:</b> 03 / 08 / 2024
<b>ORDEN DE SERVICIO</b>		
Equipo: <u>Monitor de signos vitales</u>		No. Serie: <u>KN-14101665</u>
Departamento: <u>Enfermería</u>		Ubicacion: <u>Hospital</u>
Falla reportada: <u>No muestra O2 correctos</u>		
<b>Tipo de servicio:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Correctivo <input type="checkbox"/> Preventivo <input type="checkbox"/> Otro (Especificar): _____		
<b>Descripción del servicio:</b> No muestra O2 correctos		
<b>Observaciones:</b> No muestra O2 correctos		
 <b>Gustavo Tello</b> Departamento de Ingeniería Biomédica	 <b>Nombre y firma</b> Conformidad	

*Figura 23. Ejemplo de orden de mantenimiento cerrada en formato PDF*

### **3.7. Manuales de usuario y técnico**

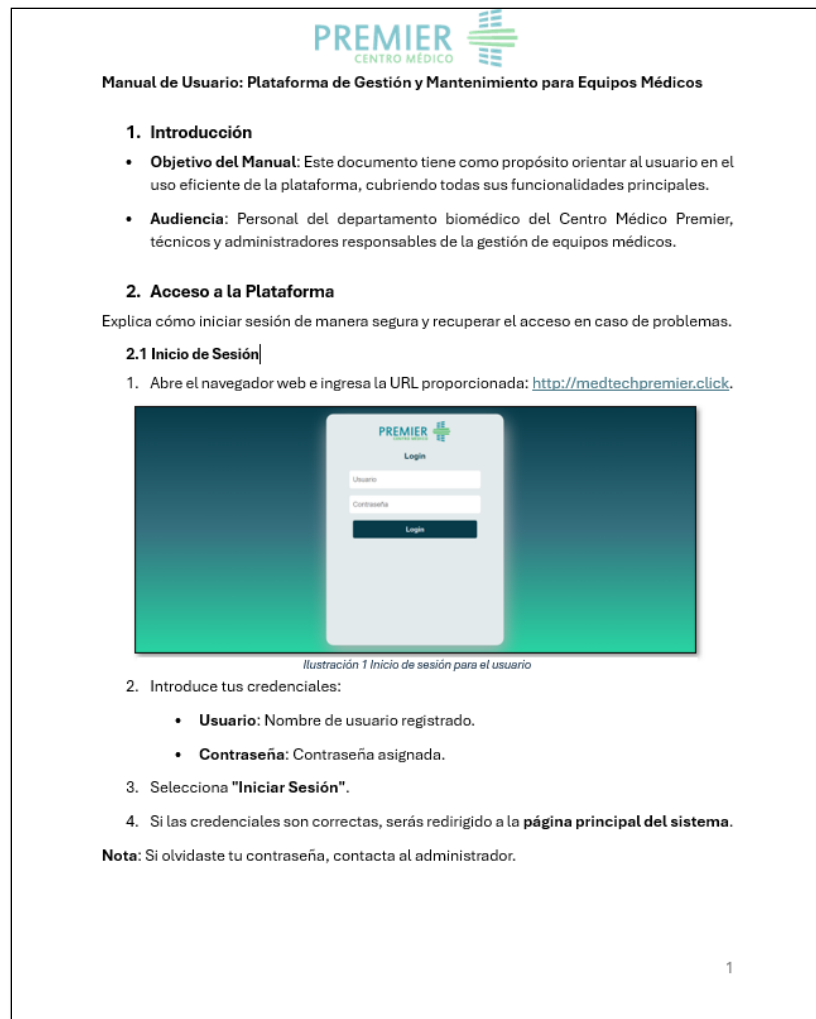
Como parte integral del desarrollo de la plataforma, se elaboraron dos manuales con el propósito de facilitar su uso y garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Estos manuales son esenciales para cumplir con los requisitos de la certificación del SiNaCEAM y para asegurar que tanto los usuarios finales como el personal técnico puedan operar y mantener el sistema de manera efectiva.

#### **3.7.1. Manuales de usuario**

El Manual de Usuario está dirigido al personal del departamento biomédico, incluyendo técnicos y administradores, y proporciona una guía completa sobre las funcionalidades de la plataforma. Su contenido incluye:

1. Acceso a la plataforma: Instrucciones claras para iniciar sesión de manera segura y recuperar credenciales en caso de pérdida.
2. Gestión de equipos médicos: Procedimientos para registrar, consultar y actualizar información del inventario.
3. Uso de códigos QR: Guía para generar y leer códigos, facilitando la identificación y acceso al historial de los equipos.
4. Gestión de mantenimientos: Pasos detallados para programar y completar mantenimientos preventivos y correctivos mediante el calendario interactivo.
5. Gestión de órdenes de servicio: Detalles sobre la creación, monitoreo y priorización de órdenes basadas en el método modificado de Fennigkoh-Smith.

Por ejemplo, la Figura 24 destaca la interfaz de inicio de sesión, diseñada con un enfoque intuitivo y accesible, acompañada de instrucciones claras que aseguran una experiencia eficiente para los usuarios.



*Figura 24 Primera página del manual de usuario, explicando como iniciar sesión.*

Este manual asegura que los usuarios puedan aprovechar al máximo las herramientas de la plataforma, optimizando los procesos del departamento biomédico.

### 3.7.2. Manual técnico

El Manual Técnico está disponible en el repositorio de GitHub asociado al proyecto y está destinado a desarrolladores y personal técnico encargado del mantenimiento y actualización de la plataforma. Este documento abarca:

1. Introducción a la arquitectura del sistema: Descripción detallada del diseño relacional de la base de datos, incluyendo tablas principales y diagramas ER.

2. Tecnologías utilizadas: Información sobre el stack tecnológico empleado, como PHP, MySQL, HTML, CSS y JavaScript, con dependencias clave como phpqrcode y Html5Qrcode.
3. Procedimientos de instalación: Pasos para la configuración inicial, desde la clonación del repositorio hasta la configuración de permisos y variables de entorno.
4. Tareas de mantenimiento: Guía para respaldos automáticos de la base de datos, monitoreo de logs y actualizaciones del sistema.

Por ejemplo, la Figura 25 muestra el proceso de configuración inicial desde GitHub, destacando pasos clave como la clonación del repositorio y la correcta asignación de permisos.

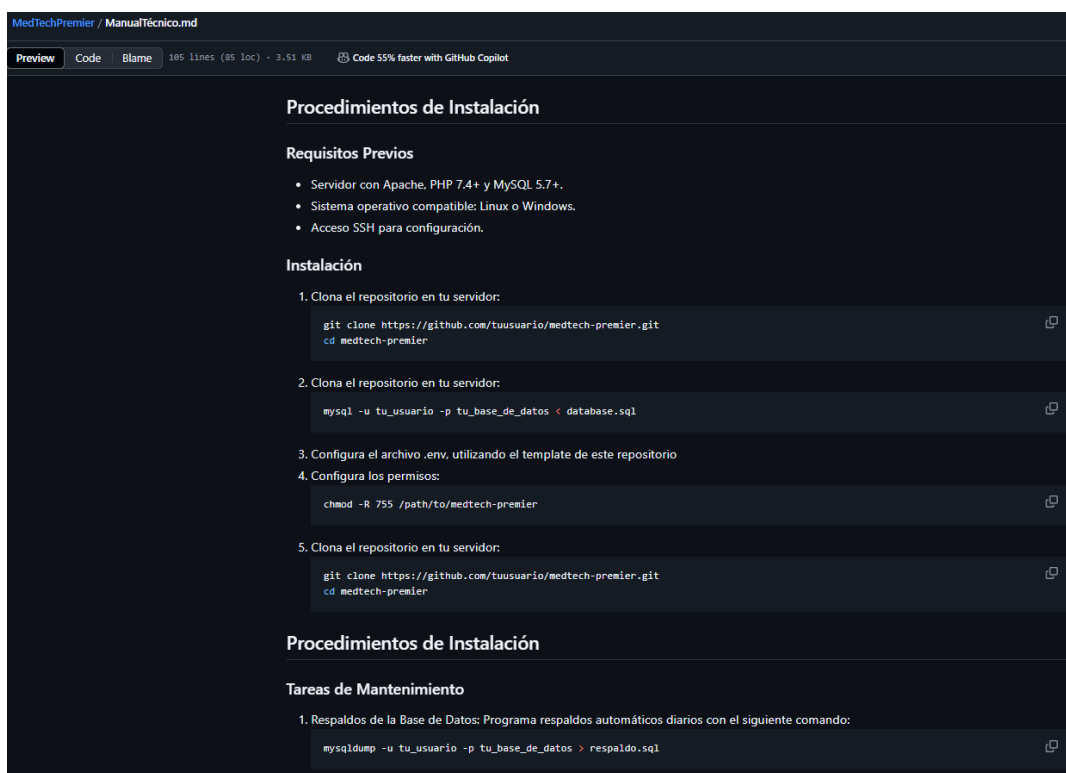


Figura 25 Procedimientos de instalación documentados en GitHub.

Este manual técnico es fundamental para garantizar la sostenibilidad y operatividad de la plataforma, permitiendo implementar buenas prácticas y resolver problemas técnicos de manera eficiente.

## Capítulo 4. Conclusiones

El sistema de gestión desarrollado respondió eficazmente a las necesidades específicas del departamento de biomédica del Centro Médico Premier, proporcionando una solución integral para la administración de inventarios, la planificación de mantenimientos preventivos y correctivos, y la gestión de órdenes de servicio. Diseñado con tecnologías como PHP, MySQL y bibliotecas especializadas, este sistema automatiza una amplia gama de procesos administrativos, reduciendo significativamente el tiempo y esfuerzo necesarios para llevar a cabo estas actividades. Este tipo de herramientas tecnológicas es un apoyo fundamental para los ingenieros biomédicos en el cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos para la certificación hospitalaria SiNaCEAM, al mismo tiempo que contribuye al mantenimiento de los estándares de calidad en las instituciones de salud.

Entre sus principales funciones destacan el seguimiento del historial de mantenimientos, la trazabilidad de los equipos médicos mediante códigos QR, y la centralización de los procedimientos definidos por el Consejo de Salubridad General, presentados de forma organizada y digital. La automatización de tareas clave, como el control de mantenimientos y la generación de reportes, se tradujo en un incremento notable de la productividad y eficiencia del departamento. La precisión en el manejo de fechas permitió evitar redundancias en los mantenimientos programados, mientras que la implementación de firmas digitales garantizó que los documentos generados cumplieran con los estándares de certificación sin necesidad de impresiones físicas, lo que se podría traducir en costos asociados al uso de papel reducidos y eliminó problemas relacionados con la pérdida y desorganización de registros.

Aunque el proyecto fue concebido inicialmente como una solución para la gestión de inventarios y mantenimientos, durante su desarrollo se añadieron funcionalidades adicionales, como formularios dinámicos para la incorporación y baja de equipos, así como un diseño optimizado para la generación de reportes en PDF. Estas mejoras

ampliaron el alcance y utilidad del sistema, adaptándolo más estrechamente a las necesidades del hospital.

Uno de los retos más significativos fue asegurar la validez de los documentos mediante la implementación de firmas digitales, una función esencial para cumplir con los requisitos de certificación hospitalaria. Este desafío se superó mediante un módulo que permite capturar y almacenar dichas firmas como imágenes, asegurando la continuidad y validez de los procesos digitales.

El sistema, actualmente instalado en el hospital en una fase de pruebas, ha operado de manera estable y sin errores. Se prevé un periodo de evaluación de un año para identificar posibles áreas de mejora. Este proyecto marca el inicio de una transformación tecnológica en la gestión hospitalaria, con un enfoque escalable y adaptable. Entre las mejoras previstas para futuras versiones se incluyen la incorporación de gráficos y estadísticas sobre los costos de mantenimiento, la creación de nuevos formatos de reportes, y la ampliación de funcionalidades relacionadas con la administración de usuarios.

En conclusión, el sistema desarrollado alcanzó los objetivos planteados, demostrando ser una herramienta eficiente para optimizar los procesos de gestión y mantenimiento hospitalarios. Además, permitió la aplicación de competencias técnicas en áreas como bases de datos, programación y estándares de ingeniería biomédica, logrando una solución tecnológica alineada con los requerimientos normativos del sector salud. Este proyecto no solo solucionó necesidades actuales, sino que también sentó las bases para una gestión hospitalaria más tecnológica y eficiente en el futuro.



## Referencias

- [1] Centro Médico Premier, "Servicios - Centro Médico Premier," Centro Médico Premier, Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://centromedicopremier.com/servicios>.
- [2] Centro Médico Premier, "Especialidades - Centro Médico Premier," Centro Médico Premier, Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://centromedicopremier.com/especialidades>.
- [3] World Health Organization, \*Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico\*, Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos, Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2012. [Online]. Available: [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44817/9789243501390\\_spa.pdf;sequence=10](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44817/9789243501390_spa.pdf;sequence=10)
- [4] Secretaría de Salud, \*Glosario de gestión de equipo médico\*, 1st ed., Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, México, 2016. ISBN 978-607-460-549-2. [Online]. Available: [http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipoMedico/IB\\_Publicacion\\_Glosario\\_8\\_27Jun16.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipoMedico/IB_Publicacion_Glosario_8_27Jun16.pdf)
- [5] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, \*Gestión de equipo médico\*, 1st ed., Secretaría de Salud, Ciudad de México, México, 2020. [Online]. Available: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/589993/Documento\\_GEM.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/589993/Documento_GEM.pdf)
- [6] C. P. Quiroz-Flores, "The management of medical equipment in the challenges of the National Health System: A review," \*Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica\*. doi: 10.17488/rmib.41.1.11.
- [7] E. J. D. Ruelas Barajas, "Reglamento Interno del Sistema Nacional de Certificación de Establecimientos de Atención Médica," \*Diario Oficial de la Federación\*, pp. 61-66, May 19, 2009. [Online]. Available: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo88891.html>
- [8] E. De Redacción, "Importancia de realizar mantenimiento a sus equipos médicos," May 14, 2019. [Online]. Available: <https://www.promedco.com/noticias/importancia-mantenimiento-de-equipos-medicos>
- [9] S. Taghipour, D. Banjevic, and A. K. S. Jardine, "Prioritization of medical equipment for maintenance decisions," \*Journal of the Operational Research Society\*, vol. 62, no. 9, pp. 1666–1687, Sep. 2011, doi: 10.1057/jors.2010.106.
- [10] S. Salinas, D. Antonieta, A. Soto, and J. Gabriel, "Modificación del algoritmo de Fennigkoh y Smith para el cálculo de la frecuencia de mantenimiento preventivo en equipos médicos," INAOE, Puebla, México, 2015. [Online]. Available: [https://www-optica.inaoep.mx/~tecnologia\\_salud/2015/memorias/pdf/MyT2015\\_71\\_E.pdf](https://www-optica.inaoep.mx/~tecnologia_salud/2015/memorias/pdf/MyT2015_71_E.pdf)
- [11] H. Crompton, J. LaFrance, and M. van't Hooft, "QR codes 101," \*ISTE Learning and Leading with Technology\*, vol. 39, no. 8, pp. 22-25, 2012. [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ982842.pdf>

- [12] L.-C. Chu, C.-L. Lee, and C.-J. Wu, "Applying QR code technology to facilitate hospital medical equipment repair management," in \*2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology\*, 2012, doi: 10.1109/ICCECT.2012.31.
- [13] R. S. D. L. América, "Hospitales inteligentes: el futuro digital de la salud global," \*Health Care Global\*, 2018-2019. [Online]. Available: <https://www.revistasaluddigital.com/es/noticia/hospitales-inteligentes-el-futuro-digital-de-la-salud-global>
- [14] Amazon Web Services, Inc., "Front end frente a back-end: diferencia entre el desarrollo de aplicaciones - AWS." [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/compare/the-difference-between-frontend-and-backend/>
- [15] "HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto," MDN Web Docs, jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>
- [16] "CSS" MDN Web Docs, Jun. 06, 2024. [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/CSS>
- [17] "Acerca de JavaScript," MDN Web Docs. [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/conflicting/Web/JavaScript>
- [18] W. H. Mitchell, "PHP," CSC 337, Fall 2013, The University of Arizona, 2013. [Online]. Available: <https://www2.cs.arizona.edu/classes/cs337/fall13/files/slidesets/php.pdf>
- [19] "What is MySQL? - MySQL relational databases explained - AWS," Amazon Web Services, Inc. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/rds/mysql/what-is-mysql/>
- [20] De Datos LF, \*Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares\*, \*Diario Oficial de la Federación\*, jul. 5, 2010. [Online]. Available: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf>
- [21] S. Robertson and J. Robertson, \*Mastering the Requirements Process: Getting Requirements Right\*, 3rd ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., 2013, p. 10.
- [22] "¿Qué es el alojamiento web? - Explicación sobre el servicio de alojamiento web - AWS," Amazon Web Services, Inc. [Online] Available: <https://aws.amazon.com/what-is/web-hosting/>

Anexos

