



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA E INSTRUMENTACIÓN

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA COMPUTARIZADO DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTOS (CMMS) DE EQUIPOS BIOMÉDICOS CON EL FIN DE  
OPTIMIZAR LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y EL  
SEGUIMIENTO DE RENOVACIÓN DE CONTRATOS DENTRO DEL  
DEPARTAMENTO DE BIOMÉDICA DEL HOSPITAL THE PANAMA CLINIC.”**

Proyecto final de graduación presentado como requisito para optar por el título de Licenciatura  
en Ingeniería Biomédica e Instrumentación en la Universidad Latina de Panamá

Autor: Alejandro Molina

Pasaporte: 176317995

Directora de Tesis:  
Mgtr. Olga Romero

Tutor Metodológico:  
Mgtr. Alfredo Lescher

Panamá, República de Panamá

2026

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, por su apoyo constante y por inculcarme la responsabilidad y el deseo de superación.

A todas las personas que creen en la importancia de la Ingeniería Biomédica como herramienta para mejorar la calidad de vida y la atención en salud.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia y seres queridos por el soporte para culminar esta etapa.

A mi hermano José, por tenerme paciencia y apoyarme siempre durante la carrera.

Al profesor Alfredo Lescher, por su guía, paciencia y por nutrir con su conocimiento esta investigación.

A la profesora Olga Romero, por haber dirigido mi tesis.

Al Hospital The Panama Clinic, por permitirme usar sus datos para fundamentar este estudio de caso. A los ingenieros del Departamento de Ingeniería Biomédica, en especial a la ingeniera Oderay Martínez, por brindarme esta oportunidad.

A los ingenieros biomédicos que colaboraron con información y experiencias valiosas, enriqueciendo la propuesta de este trabajo.

A mis amistades, por ejercer presión para concluir esta investigación.



UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ

### DECLARACIÓN JURADA

Yo ALEJANDRO JOSÉ MOLINA RAMIREZ con pasaporte número 176317995 estudiante graduando del programa/carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA E INSTRUMENTACIÓN declaro bajo gravedad de juramento que el material que aparece en este trabajo de graduación, en la opción TESIS (Tesis, proyecto final, pasantía, otro), es de mi producción intelectual, en razón de lo cual exonero a la Universidad Latina de Panamá de cualquier responsabilidad relacionada a este aspecto.

Como constancia, firmo la presente declaración el día 23 del mes de enero del año 2026.

Firma del estudiante: Alejandro Molina

Pasaporte: 176317995

## RESUMEN

La presente investigación abordó la problemática relacionada con la gestión manual y limitada de los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías de equipos biomédicos en el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, lo cual generaba dificultades en la visualización oportuna de información crítica, retrasos operativos y ausencia de indicadores de desempeño. El objetivo general fue desarrollar un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimientos (CMMS) que permitiera optimizar dichos procesos mediante la centralización de la información. La metodología correspondió a un estudio aplicado, de enfoque cualitativo, con diseño no experimental, transversal y de campo, bajo la modalidad de estudio de caso. La población y la muestra estuvo conformada por tres profesionales del departamento, a quienes se les aplicó un cuestionario como instrumento de recolección de datos, validado por expertos. Los resultados evidenciaron la necesidad de contar con módulos de inventario, mantenimientos preventivos, contratos y reportes automáticos. La simulación de procesos mediante el software Arena permitió comparar el sistema actual con el CMMS propuesto, demostrando reducciones significativas en tiempos de espera, utilización de recursos y cargas operativas. Se concluyó que la implementación del CMMS contribuyó a mejorar la eficiencia, la toma de decisiones y la continuidad operativa del departamento, asegurando un seguimiento oportuno de los mantenimientos y de la renovación de contratos de equipos biomédicos.

**Palabras clave:** sistema computarizado de gestión del mantenimiento, equipos biomédicos, mantenimiento preventivo, gestión hospitalaria, simulación de procesos.

## ABSTRACT

This research addressed the problems associated with the manual and limited management of preventive maintenance coordination processes and the monitoring of contracts and warranties of biomedical equipment in the Biomedical Engineering Department of The Panama Clinic Hospital, which caused difficulties in the timely visualization of critical information, operational delays, and the absence of performance indicators. The general objective was to develop a Computerized Maintenance Management System (CMMS) to optimize these processes through the centralization of information. The methodology corresponded to an applied study with a qualitative approach, using a non-experimental, cross-sectional, field design under a case study modality. The population and sample consisted of three professionals from the department, to whom a questionnaire validated by experts was applied as the data collection instrument. The results revealed the need for inventory, preventive maintenance, contracts, and automated reporting modules. Process simulation using Arena software allowed the comparison of the current system with the proposed CMMS, showing significant reductions in waiting times, resource utilization, and operational workload. It was concluded that the implementation of the CMMS contributed to improving efficiency, decision-making, and operational continuity of the department, ensuring timely monitoring of maintenance activities and contract renewals for biomedical equipment.

**Keywords:** computerized maintenance management system, biomedical equipment, preventive maintenance, hospital management, process simulation.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>DECLARACIÓN JURADA</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Antecedentes del problema de investigación</b> .....	3
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	3
<b>1.3 Justificación de la investigación</b> .....	6
<b>1.4 Objetivos</b> .....	8
<b>1.4.1 Objetivo General</b> .....	8
<b>1.4.2 Objetivos Específicos</b> .....	8
<b>1.5 Alcance y límites de la investigación</b> .....	8
<b>1.6. Línea de investigación a la que pertenece el estudio</b> .....	9
<b>2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas en el tema</b> .....	11
<b>2.2. Bases teóricas que sustentan la investigación</b> .....	15

<b>2.2.1 Ingeniería Biomédica</b> .....	15
<b>2.2.2 Conceptos de Administración</b> .....	18
<b>2.2.3 Desarrollo de Software</b> .....	20
<b>2.3. Variables</b> .....	24
<b>2.3.1. Definición conceptual de la variable</b> .....	24
<b>2.3.2. Definición operacional de la variable</b> .....	24
<b>2.3.3. Mapa de Variables</b> .....	26
<b>2.4 Glosario de términos</b> .....	27
<b>3.1 Tipo y diseño de la investigación</b> .....	30
<b>3.2 Población y muestra</b> .....	31
<b>3.3 Descripción del instrumento de recolección de datos.</b> .....	32
<b>3.4 Procedimiento de la Investigación</b> .....	35
<b>4.1 Introducción</b> .....	39
<b>4.2 Análisis de datos de recopilados con encuesta de diagnóstico.</b> .....	41
<b>4.3 Discusión de los hallazgos en el diagnóstico.</b> .....	51
<b>4.4 Limitaciones del estudio</b> .....	55
<b>4.5 Conclusiones Parciales</b> .....	55
<b>5.1 Introducción a la propuesta</b> .....	57
<b>5.2 Justificación de la propuesta</b> .....	58
<b>5.3 Objetivos de la propuesta</b> .....	59

5.3.1 Objetivo General .....	59
5.3.2 Objetivos Específicos .....	60
5.4 Metas por alcanzar .....	60
5.4.1 Diseño del CMMS .....	60
5.4.2 Desarrollo e implementación del sistema .....	60
5.4.3 Propuesta de programa capacitación y pruebas con usuarios .....	61
5.4.4 Evaluación del sistema .....	61
5.5 Beneficios .....	61
5.6 Cronograma de actividades.....	63
5.8 Diseño de la propuesta .....	64
5.8.1 Diseño y estructura del CMMS.....	64
5.8.2 Desarrollo del CMMS .....	72
5.8.3 Funcionalidades clave .....	72
5.8.4 Instrumento para evaluar la percepción de usuarios .....	73
5.9 Validación de la propuesta .....	81
5.9.1 Introducción a la simulación .....	81
5.9.2 Diseño del modelo en Arena .....	82
5.9.3 Datos y Lógica de Entrada .....	87
5.9.4 Discusión de los Resultados .....	97
CONCLUSIONES.....	102

**RECOMENDACIONES..... 105**

**REFERENCIAS..... 106**

**ANEXOS..... 113**

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Mapa de variables _____	26
<b>Tabla 2</b> Distribución de frecuencias ítem 1 _____	41
<b>Tabla 3</b> Distribución de frecuencias ítem 2 _____	42
<b>Tabla 4</b> Distribución de frecuencias ítem 3 _____	43
<b>Tabla 5</b> Distribución de frecuencias ítem 4 _____	45
<b>Tabla 6</b> Distribución de frecuencias ítem 5 _____	46
<b>Tabla 7</b> Distribución de frecuencias ítem 6 _____	47
<b>Tabla 8</b> Distribución de frecuencias ítem 8 _____	48
<b>Tabla 9</b> Distribución de frecuencias ítem 8 _____	49
<b>Tabla 10</b> Distribución de frecuencias ítem 9 _____	50
<b>Tabla 11</b> Resultados de la situación actual de la herramienta utilizada _____	52
<b>Tabla 12</b> Cronograma Gantt de actividades _____	63
<b>Tabla 13</b> Definiciones de campos de base de datos _____	71
<b>Tabla 14</b> Respuesta ítem 1 de encuesta de percepción _____	74
<b>Tabla 15</b> Respuesta ítem 2 de encuesta de percepción _____	74
<b>Tabla 16</b> Respuesta ítem 3 de encuesta de percepción _____	74
<b>Tabla 17</b> Respuesta ítem 4 de encuesta de percepción _____	75
<b>Tabla 18</b> Respuesta ítem 5 de encuesta de percepción _____	75
<b>Tabla 19</b> Respuesta ítem 6 de encuesta de percepción _____	76
<b>Tabla 20</b> Respuesta ítem 7 de encuesta de percepción _____	76
<b>Tabla 21</b> Respuesta ítem 8 de encuesta de percepción _____	76

<b>Tabla 22</b> Resumen de resultados de encuesta de percepción de usuario _____	77
<b>Tabla 23</b> Comparación entre herramienta actual y el sistema propuesto _____	78
<b>Tabla 24</b> Comparación entre el sistema propuesto y los lineamientos recomendados por la OMS _____	80
<b>Tabla 25</b> Entidades y recursos asignados a cada módulo para la simulación _____	82
<b>Tabla 26</b> Parámetros de entrada para módulo de inventario _____	87
<b>Tabla 27</b> Parámetros de entrada para módulo de mantenimientos preventivos _____	88
<b>Tabla 28</b> Parámetros de entrada para módulo de contratos y garantías _____	89
<b>Tabla 29</b> KPIs definidos para la simulación _____	91
<b>Tabla 30</b> Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de inventario ____	92
<b>Tabla 31</b> Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de mantenimientos preventivos _____	94
<b>Tabla 32</b> Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de contratos y garantías _____	96
<b>Tabla 33</b> Promedio de resultados generales por indicador _____	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 1 .....	42
<b>Figura 2</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 2 .....	43
<b>Figura 3</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 3 .....	44
<b>Figura 4</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 4 .....	45
<b>Figura 5</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 5 .....	46
<b>Figura 6</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 6 .....	47
<b>Figura 7</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 7 .....	48
<b>Figura 8</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 8 .....	49
<b>Figura 9</b> Diagrama circular de frecuencias ítem 9 .....	50
<b>Figura 10</b> Diagrama de bloques .....	64
<b>Figura 11</b> Pantalla de inicio de sesión .....	65
<b>Figura 12</b> Pantalla principal del CMMS .....	66
<b>Figura 13</b> Pantalla de módulo de mantenimientos preventivos .....	67
<b>Figura 14</b> Pantalla de módulo de contratos y garantías .....	67
<b>Figura 15</b> Pantalla de módulo de inventario .....	68
<b>Figura 16</b> Pantalla pop-up para agregar equipos nuevos .....	69
<b>Figura 17</b> Pantalla pop-up para editar campos de equipos .....	70
<b>Figura 18</b> Diagrama de flujos de procesos en sistema actual .....	83
<b>Figura 19</b> Diagrama de flujos del CMMS propuesto.....	84
<b>Figura 20</b> Modelo en Arena de procesos con el sistema actual .....	85
<b>Figura 21</b> Modelo en Arena de procesos con el CMMS propuesto.....	86

<b>Figura 22</b> Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de inventario .....	93
<b>Figura 23</b> Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de mantenimientos preventivos .....	95
<b>Figura 24</b> Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de contratos y garantías .....	97
<b>Figura 25</b> Gráfica del indicador Tiempo Total por Entidad comparativa para todo el sistema...	98
<b>Figura 26</b> Gráfica del indicador Tiempo de Espera Promedio comparativa de todo el sistema..	98
<b>Figura 27</b> Gráfica del indicador Utilización del Recurso comparativa de todo el sistema.....	99

## Introducción

La ingeniería clínica es un subconjunto de la ingeniería biomédica. Mientras que la ingeniería biomédica se practica principalmente en instituciones académicas, el laboratorio de investigación y la fabricación, la ingeniería clínica se practica en los hospitales y otros entornos donde se utilizan tecnologías de dispositivos médicos (Dyro, 2019). En este sentido, un ingeniero clínico se define como un profesional que apoya y avanza la atención del paciente mediante la aplicación de la ingeniería y de competencias de gestión de la tecnología en salud (ACCE, 2025).

El área encargada de garantizar una atención de excelencia a costos razonables, mediante una eficaz gestión de la tecnología hospitalaria es el departamento de biomédica, el cual debe según el modelo de la Organización Mundial de la Salud, implementar un software de administración de tecnología y evaluación de indicadores de gestión (Montenegro, 2021).

La literatura señala que los sistemas computarizados de gestión del mantenimiento (CMMS – Computerized Maintenance Management System) permiten mejorar la disponibilidad de los equipos biomédicos, reducir tiempos improductivos y optimizar recursos humanos, así como ofrecer un enfoque estructurado, actuando como una base de datos que almacena la información de los equipos para la gestión del inventario, mantenimientos, repuestos y contratos (Cohen, Baretich, & Gentles, 2020).

Esta investigación pretende determinar la situación actual del uso del software para la gestión de equipos biomédicos a cargo del Hospital The Panama Clinic, para posteriormente desarrollar y proponer un CMMS estructurado según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

# **Capítulo 1: El problema**

## **1.1 Antecedentes del problema de investigación**

Históricamente, los Departamentos de Ingeniería Clínica/Biomédica de los hospitales se han quedado atrás en la adopción de algunas de las herramientas de sistemas de información de vanguardia utilizadas en otras industrias (Sloane, Rosow, Adam, & Shine, 2006). Sobre todo, porque las instituciones de salud son los responsables de establecer responsablemente y de manera periódica procedimientos de gestión y control de los equipos biomédicos con el fin de conservar la tecnología, minimizando así costos en la prestación de los servicios y dando cumplimiento a las recomendaciones de los fabricantes. A pesar de la importancia de este proceso, muchas instituciones lo realizan por medio de listas de chequeo y escalas de evaluación poco estructuradas, generando así problemas de estandarización y poca confiabilidad en los datos (Camacho-Cogollo, Torres-Vélez, & Chavarria, 2017).

La mayoría de los hospitales tienen una gran cantidad de dispositivos médicos y mantenerlos correctamente puede ser difícil o imposible sin un sistema de programación computarizado formalizado. Los departamentos de Física Médica deben tener un enfoque estructurado para los proyectos de mantenimiento preventivo planificados y deben implementar un sistema computarizado, o auditar, refinar y mejorar la efectividad del sistema implementado existente (Luca & Ciorap, 2011).

## **1.2 Planteamiento del problema**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de Salud (OPS), reconocen la importancia de gestionar los equipos médicos debido a que la atención en la salud y los avances dependen en gran medida de ellos, motivo por el cual, la gestión de equipos médicos es trascendental y debe contar con la participación de diferentes áreas como la ingeniería

biomédica, el área médica, el área financiera y el área administrativa de las unidades hospitalarias (Quiroz-Flores, 2020).

A medida que los dispositivos médicos se vuelven más sofisticados y desempeñan un papel más crucial en la atención médica moderna, los problemas de mantenimiento exigen una atención cada vez mayor. El problema más crítico al que se enfrenta el dispositivo médico es el tiempo de inactividad. Una de las causas más comunes del tiempo de inactividad de los dispositivos médicos es el mantenimiento deficiente. Para ese problema se deben realizar controles diarios de los dispositivos médicos, así como capacitación periódica sobre el mantenimiento de los dispositivos médicos (Fouad & Ahmad, 2012).

En los países en desarrollo, la mayoría de las instalaciones sanitarias utilizan sistemas de gestión basados en papel debido a la facilidad de uso y la limitación de recursos de las instalaciones. Sin embargo, este sistema produce muchos problemas, como un largo tiempo de respuesta a las tareas, gestión de información complicada y alta probabilidad de error (De Regil, Dorantes, Hidalgo, & Mejía, 2020).

Esto se puede solucionar empleando un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS) como recurso de información fundamental que proporciona al personal de gestión de tecnología una gran cantidad de información relacionada con el soporte, además de ayudar a la dirección en la toma de decisiones (Fouad & Ahmad, 2012). Adicionalmente, un sistema de gestión computarizado facilita el manejo de la información, reduce errores, aumenta la eficiencia de los procesos involucrados en la gestión del equipo médico y brinda la posibilidad de analizar los datos obtenidos al realizar la reparación o el mantenimiento a la tecnología médica (De Regil, Dorantes, Hidalgo, & Mejía, 2020).

Dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, se maneja el inventario de equipos biomédicos utilizando una tabla simple manejada en el software Excel (Versión 2509), la cual se compone de una fila por equipo y columnas con la información general del equipo. Estas columnas incluyen el número de visitas de mantenimientos preventivos, el mes en el que le corresponden, el proveedor encargado y la fecha de culminación de contrato o garantías (Microsoft 365, 2025).

El proceso para la coordinación de los mantenimientos preventivos empieza con el ingeniero encargado del departamento de hacer la coordinación, el cual procede a abrir la tabla en Excel y a filtrar por el mes de interés, el resultado de este filtro deja visible únicamente los equipos a los que se les debe hacer el preventivo. Posteriormente, se procede a imprimir esta lista de equipos para colocarla en un tablero dentro del departamento donde los demás ingenieros podrán observar los equipos y comenzar con el proceso de coordinación vía email o telefónica con los proveedores. Para los equipos cuyo mantenimiento preventivo esté a cargo de los ingenieros del departamento se genera un nuevo filtro y se imprime esa lista para ser repartida durante el mes. El seguimiento del cumplimiento de los MP en el mes se realiza de forma manual en la hoja impresa o en la tabla filtrada.

Por otro lado, el seguimiento de contratos y garantías solo se puede hacer accediendo a la celda donde se encuentra la fecha de culminación del contrato por equipos.

¿Se puede optimizar el proceso de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías dentro del departamento de biomédica?

¿Puede mejorar la productividad de los ingenieros que participan en el proceso al implementar un sistema de gestión computarizado?

¿Se puede evitar que equipos de alta complejidad y de soporte vital queden sin contrato activo?

Se propone mejorar estos procesos con el desarrollo de una aplicación web para la gestión de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos, calibraciones y renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic

### **1.3 Justificación de la investigación**

Esta tesis se plantea debido a los riesgos que conlleva la gestión manual de los equipos biomédicos en el departamento de biomédica de las instituciones de salud, en específico del hospital The Panama Clinic. El cual realiza la gestión de sus equipos biomédicos utilizando Excel de forma simple y no automatizada, lo que da cabida, a un mayor porcentaje de error en la planificación de mantenimientos preventivos y pérdida de cobertura de contratos o garantías de los equipos. Esta situación concuerda con lo expuesto por Lin (2024), quien señala que la ausencia de sistemas informatizados de gestión del mantenimiento en hospitales limita la trazabilidad de la información técnica y aumenta el riesgo de fallas operativas en equipos críticos.

El diseño de una aplicación que cumpla con los requisitos de un CMMS proveerá al departamento de biomédica con una herramienta que centralice y automatice la planificación en calendario de los mantenimientos preventivos y el seguimiento de contratos y garantías para lograr gestionar la renovación del contrato a tiempo y evitar que algún equipo quede inoperativo por no tener atención debido a culminación del contrato o garantía por parte del proveedor. Esto es consistente con lo indicado por Mahgoub (2021), quien afirma que los CMMS facilitan la

planificación sistemática, el control del ciclo de vida de los equipos y la reducción de tiempos de inactividad en entornos hospitalarios.

La propuesta de mejora de los procesos de gestión enfocada por esta investigación será presentada al Hospital The Panama Clinic para evidenciar cómo le convendría implementar un CMMS enfocado en equipos biomédicos, con el fin de optimizar sus procesos y asegurarse de brindar sus servicios con equipos con mantenimiento al día y cubiertos por contrato, para aquellos que lo requieran por su nivel de complejidad. Al respecto, Puello y Martínez (2018) destacan que la adopción de sistemas CMMS permite estandarizar procesos, mejorar la toma de decisiones y elevar la eficiencia de los departamentos de mantenimiento mediante el uso de información centralizada y confiable.

Por otro lado, esta tesis aporta a los conocimientos de gestión hospitalaria e ingeniería clínica mediante innovaciones tecnológicas para optimizar y automatizar procesos en los departamentos encargados de gestionar equipos biomédicos en hospitales e instituciones de salud. De acuerdo con Villarraga Lozano (2021), la incorporación de herramientas informáticas en la gestión de equipos médicos fortalece la planificación, el control y la seguridad operativa, constituyéndose en un apoyo fundamental para la calidad de la atención al paciente.

Esta tesis se desarrolla siguiendo el método científico de investigación y puede ser utilizada por otros investigadores como referencia en futuros estudios.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) de equipos biomédicos, con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de la renovación de contratos en el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Diagnosticar el estado actual del uso de herramientas para la coordinación de mantenimientos preventivos de equipos biomédicos y proceso de seguimiento de contratos en el Hospital The Panama Clinic.
2. Diseñar el sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) siguiendo los lineamientos de la serie de documentos técnicos de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
3. Validar el sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) desarrollado mediante la simulación de procesos usando el software Arena.

## **1.5 Alcance y límites de la investigación**

El desarrollo de la herramienta propuesta tiene como único enfoque mejorar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías de los equipos biomédicos gestionados por el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic ubicado en la ciudad de Panamá.

Se recolectaron los datos del estado actual de los procesos de gestión de equipos médicos durante el mes de julio de 2024 mediante una encuesta aplicada a los trabajadores del Departamento de Biomédica.

La herramienta por desarrollar será puesta a prueba utilizando solamente la información de 20 equipos biomédicos y no será implementada, ni manejará la base de datos total del hospital.

La variable de gestión departamental evaluada en esta investigación es el sistema de gestión, cualquier otra variable económica, de recurso humano, de productividad o de infraestructura no forman parte de este estudio.

#### **1.6. Línea de investigación a la que pertenece el estudio**

El estudio presentado pertenece a la línea de investigación en ciencias de la salud, específicamente en el área de Ingeniería Clínica y Gestión de la Tecnología médica de la carrera Ingeniería Biomédica, el cual propone desarrollar una aplicación para la gestión de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos, calibraciones y renovación de contratos para el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

## **Capítulo 2: Marco teórico**

## 2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas en el tema

Implementar sistemas computarizados para la gestión de equipos médicos es esencial para optimizar los procesos y garantizar su correcto funcionamiento. En este contexto, se han desarrollado diversas investigaciones que exploran estrategias para mejorar la gestión de estos equipos y su impacto en la atención hospitalaria.

En la investigación llevada a cabo por Hernández y Sandoval titulada “Aplicación de Conceptos de Ingeniería Biomédica en la Gestión de los Equipos Médicos En El Hospital Nacional “San Pedro” durante enero-septiembre de 2019, la cual tuvo como objetivo general: Identificar la aplicación de conceptos de ingeniería biomédica en la gestión de los equipos médicos en el Hospital Nacional “San Pedro” y objetivos específicos: 1) Establecer comparaciones entre la gestión de los equipos médicos realizada por el Hospital Nacional “San Pedro” y los conceptos de gestión de ingeniería biomédica. 2) Analizar el estado de implementación de los conceptos de gestión ingeniería biomédica en los equipos médicos del Hospital Nacional “San Pedro”. 3) Relacionar el estado actual de la aplicación de conceptos de ingeniería biomédica en la gestión de los equipos médicos, con posibles causas de eventos e incidentes adversos. 4) Desarrollar una propuesta de mejora para la gestión de los equipos médicos en el Hospital Nacional “San Pedro”. Se identificaron deficiencias en la documentación y sistematización de procesos, lo que afectó la trazabilidad y confiabilidad de las acciones realizadas. Además, la limitación de recursos humanos impactó la planificación y ejecución de mantenimientos, inspecciones y calibraciones, incumpliendo con estándares de ingeniería biomédica. La ausencia de un inventario técnico de equipos médicos fue destacada como una gran deficiencia, dificultando la visualización de necesidades de recambio y la ejecución de programas de mantenimiento, lo que obstaculiza la mejora en la gestión hospitalaria (Hernández & Sandoval, 2019).

Como segundo antecedente se encuentra el proyecto liderado por Riapira y Forero titulado: “Desarrollo de una Herramienta Digital que Permita al Departamento de Ingeniería Biomédica de la Clínica Nueva El Lago”, cuyo objetivo general fue: Desarrollar una herramienta digital para el departamento de ingeniería biomédica de la Clínica Nueva El Lago que apoye el diligenciamiento de formatos recurrentes y la administración del inventario, y objetivos específicos: 1) Identificar la declaración de la necesidad de la gestión tecnológica del área de ingeniería biomédica de la Clínica Nueva el Lago. 2) Diseñar una interfaz que permite acceder al llenado de los formatos recurrentes, la base de datos de los accesorios y/o consumibles disponibles. 3) Implementar un algoritmo basado en tiempos que genere formatos recurrentes como reportes de mantenimiento preventivo y correctivo, rutinas, actas de entrega y salida, permitiendo hacer anotaciones específicas y acceder a la hoja de vida de los equipos médicos. 4) Determinar el inventario existente de accesorios y/o consumibles de los diferentes equipos, a partir de los reportes generados por un algoritmo basado en tiempos. El proyecto para apoyar los procesos de gestión tecnológica en el lugar de enfoque resultó en la creación de una herramienta digital llamada BioApp, la cual fue diseñada para el departamento de ingeniería biomédica. BioApp permitió la consulta de información sobre equipos médicos, el llenado de formatos de mantenimiento y actas, así como la visualización del inventario de insumos. Los resultados indicaron una reducción significativa en el uso de papel, mejorando la eficiencia en los procesos de archivo y contribuyendo al cuidado del medio ambiente. Además, el acceso en tiempo real al inventario de insumos facilitó la gestión de los mismos y garantizó su disponibilidad. BioApp fue recibida con comentarios positivos por parte del departamento de ingeniería biomédica, quienes reconocieron su potencial para agilizar la carga de archivos y reducir el uso de papel, mejorando así la eficiencia en los procesos administrativos (Riapira & Forero, 2023).

Por otro lado, también se considera el trabajo de investigación realizado por Pastrana titulado: “Diseño del Sistema de Gestión de la Calidad Basado en los Requisitos de la Norma ISO 9001:2008 para la Empresa Soluciones Integrales en Ingeniería Medico- Industrial SIINGMI S.A.S.” tuvo como objetivo principal: Diseñar el Sistema de Gestión de Calidad para la empresa SIINGMI S.A.S. basado en la norma ISO 9001:2008 y objetivos específicos: 1) Realizar un diagnóstico de la situación actual de SIINGMI S.A.S. en relación con los requisitos de la norma ISO 9001:2008. 2) Establecer con la alta gerencia la planificación y estrategia según los requerimientos de la norma ISO 9001:2008, necesarios para el desempeño de la organización. 3) Diseñar y elaborar la estructura documental requerida por la norma ISO 9001:2008. 4) Resaltar a la Alta gerencia de SIINGMI S.A.S. la importancia de la puesta en marcha del Sistema de Gestión Diseñado. Tras realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa, se determinó que el cumplimiento de ésta, frente a los requisitos de la norma, era del 35,8%, lo que evidenció la necesidad de implementar el sistema de gestión de calidad. Las conclusiones resaltaron la importancia de iniciar la implementación del sistema diseñado, evaluar su efectividad y realizar los ajustes necesarios para alcanzar la madurez, sincronización y cobertura integral de todas las actividades ejecutadas por SIINGMI (Pastrana, 2016).

Adicionalmente, la investigación de Torres se enfocó en diseñar un Modelo de Gestión de Tecnología Biomédica para un Centro de Excelencia (CEX) en el Hospital Universitario de La Samaritana (HUS). Contó con el siguiente objetivo general: Diseñar un Modelo de Gestión de Tecnología Biomédica, específicamente de equipamiento médico, para un Centro de Excelencia (CEX) en el Hospital Universitario de La Samaritana (HUS), y objetivos específicos: 1) Investigar las teorías, modelos y supuestos, asociados con los procesos de gestión de tecnología y equipamiento médico, como soporte del diseño del modelo. 2) Presentar los objetivos,

componentes e indicadores que debe tener un CEX para su implementación en el HUS. 3) Analizar la gestión del equipamiento médico del HUS, para el ciclo de vida de las tecnologías biomédicas. 4) Definir parámetros del modelo de gestión de equipamiento médico para el CEX del HUS. 5) Proponer el diseño del modelo de gestión de equipamiento médico para el CEX del HUS. Los resultados subrayaron la importancia estratégica de la tecnología en instituciones como el HUS, ya que implica la articulación sostenida de recursos para alcanzar objetivos relacionados con la recuperación de la salud de los pacientes y sus familias. Las conclusiones destacaron la importancia de aplicar de manera efectiva el modelo diseñado, ajustándolo según sea necesario y reforzando aspectos relevantes para garantizar su funcionalidad y adecuación a la especialidad a la que se aplique al CEX (Torres, 2018).

Finalmente, el proyecto liderado por Villamizar titulado: “Software para la gestión de servicios para equipos médicos en Equibiomedic S.A.S” el cual estableció el objetivo general: Desarrollar un software para la gestión de servicios para equipos médicos usando PHP, JavaScript y MySQL, y los siguientes objetivos específicos: 1) Realizar un levantamiento de requisitos y tecnologías que se puedan ajustar a las necesidades de la empresa usando la metodología SCRUM. 2) Diseñar e implementar el software usando PHP, JavaScript y MySQL y metodologías ágiles de desarrollo. 3) Validar el software desarrollado mediante una prueba piloto usando un analista funcional. A través de la metodología SCRUM, se llevó a cabo un levantamiento de requisitos y tecnologías, seguido del diseño e implementación del software. Los resultados destacaron la elección de PHP para el back-end y JavaScript y CSS para el front-end debido a su documentación y facilidad de implementación, junto con MySQL para el manejo de datos. Las conclusiones resaltaron la importancia de herramientas informáticas en empresas con alto flujo de datos, subrayando que, a pesar de algunos errores, es posible diseñar aplicaciones web efectivas que

aborden problemas de gestión de información, como la prestación de servicios técnicos de tecnología biomédica (Villamizar, 2020).

## **2.2. Bases teóricas que sustentan la investigación**

### **2.2.1 Ingeniería Biomédica**

**Ingeniería Biomédica:** La ingeniería biomédica se encarga de la gestión tecnológica hospitalaria, asegurando que los equipos médicos funcionen correctamente y se encuentren disponibles para su uso clínico, contribuyendo así a la seguridad del paciente y a la eficiencia en la atención en salud. (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024)

**Gestión de Equipos Biomédicos:** La gestión de equipos médicos comprende todas las etapas de su ciclo de vida: planeación, adquisición, instalación, operación, mantenimiento, evaluación y disposición final, de acuerdo con las necesidades institucionales (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024)

**Equipo Biomédico:** La FDA define un dispositivo médico como: “un instrumento, aparato, implemento, máquina, artilugio, implante reactivo in vitro o artículo similar o relacionado, incluido cualquier componente o accesorio, que sea:

1. Reconocido en el Formulario Nacional oficial, o en la Farmacopea de los Estados Unidos, o cualquier suplemento de los mismos;

2. Destinados a ser utilizados en el diagnóstico de enfermedades u otras afecciones, o en la cura, mitigación, tratamiento o prevención de enfermedades, en el hombre u otros animales; o

3. Destinado a afectar la estructura o cualquier función del hombre u otros animales, y que no logra su propósito principal a través de la acción química dentro o sobre el cuerpo del hombre

u otros animales y que no depende de ser metabolizado para el logro de cualquiera de sus propósitos principales previstos”.

Los dispositivos que cumplen con esta definición incluyen los desechables (algunos se reutilizan para un solo paciente y otros se desechan después de un solo uso), reutilizables e implantes (Dyro, 2019).

Manejo de tecnología biomédica: La gestión de tecnología incluye todo lo relacionado con los equipos médicos: planificación, evaluación, adquisición, pruebas entrantes, instalación y puesta en servicio, educación del personal, pruebas de garantía de desempeño, reparaciones, evaluación continua, análisis de costos del ciclo de vida, utilización, gestión de proveedores y desmantelamiento y retiro. Una gestión eficaz puede proporcionar beneficios que incluyen obtener la mejor relación calidad-precio invertido en equipos, maximizar el tiempo de actividad y minimizar el riesgo, y utilizar de manera óptima los recursos (Street, 2019).

Mantenimiento de Equipo: El mantenimiento de equipos implica todas las actividades relacionadas con proporcionar un nivel adecuado de servicio y limitar el tiempo de inactividad de los dispositivos médicos en las instalaciones. Tradicionalmente, el mantenimiento de equipos se clasifica en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo (Dyro, 2019).

Mantenimiento Preventivo: El mantenimiento preventivo (MP) es un evento programado. Los MP se programan según la clasificación de riesgo del dispositivo médico en particular. La clasificación de riesgo es un número sin unidades derivado de una fórmula que incorpora dos factores: (1) la frecuencia relativa del mantenimiento y (2) el efecto en la atención del paciente si el dispositivo falla (Dyro, 2019). El MP consiste en la realización de actividades programadas y sistemáticas de inspección, limpieza, calibración y ajuste de los equipos médicos, con el fin de

garantizar su adecuado funcionamiento y prolongar su vida útil (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024).

**Calibración y verificación de equipos biomédicos:** La calibración de equipos biomédicos es un proceso indispensable para asegurar la exactitud de las mediciones, debiendo realizarse con patrones trazables y según las recomendaciones del fabricante o normativas vigentes. (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024)

**Ingeniero Clínico:** Es un profesional que apoya y promueve la atención al paciente mediante la aplicación de ingeniería, gestión y habilidades a la tecnología del cuidado de la salud (Dyro, 2019).

**Ingeniería Clínica:** La ingeniería clínica es un subconjunto de la ingeniería biomédica. Mientras que la ingeniería biomédica se practica principalmente en instituciones académicas, el laboratorio de investigación y la fabricación, la ingeniería clínica se practica en los hospitales y otros entornos donde se utilizan tecnologías de dispositivos médicos (Dyro, 2019).

**Gestión Hospitalaria: Inventario de equipos biomédicos:** El objetivo del sistema de inventario es registrar los datos detallados producidos por todas las actividades de gestión de tecnología y convertirlos en información significativa. También debería ser posible monitorear el rendimiento, la confiabilidad y la rentabilidad de los equipos, así como ayudar en la toma de decisiones en la adquisición de equipos y la evaluación de tecnología. El sistema de inventario debe proporcionar una base de datos de protocolos integral, ampliable y fácil de usar para la realización de controles de calidad, mantenimiento preventivo y correctivo, seguridad eléctrica, calibración y pruebas de aceptación de dispositivos médicos (Miniati, Ladanza, & Dori, 2016).

Manejo de riesgos en ingeniería clínica: Las responsabilidades de ingeniería clínica para la gestión de riesgos se pueden clasificar como relacionadas con la calidad o relacionadas con litigios. La documentación de todas las reparaciones y el mantenimiento preventivo, así como el seguimiento de la programación y finalización de estas tareas, son funciones importantes en la gestión de riesgos de ingeniería clínica. El ingeniero clínico puede actuar como investigador jefe de incidentes de dispositivos médicos que causan muerte, lesiones graves o riesgo de muerte, o puede coordinar las actividades de investigación de acuerdo con los requisitos de la SMDA (Safe Medical Devices Act). Los ingenieros clínicos también pueden actuar como testigos expertos en litigios relacionados con incidentes de dispositivos médicos (Dyro, 2019).

Indicadores de Gestión: Los indicadores de gestión, tales como cumplimiento del plan de mantenimiento, disponibilidad de equipos, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), permiten evaluar la eficiencia del programa de ingeniería biomédica (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024).

Inventario y control de activos biomédicos: El inventario biomédico constituye la base de la gestión tecnológica, ya que permite identificar, ubicar y conocer el estado operativo de cada equipo médico dentro de la institución (Valadez, Quezada, Arregui, & Orencio, 2024).

### **2.2.2 Conceptos de Administración**

Administración: La administración es el arte de hacer que las cosas se realicen a través de las personas y con el uso óptimo de los recursos. (Bright, Cortes, & Gardner, 2023)

Funciones de la Administración: Las cuatro funciones principales de la administración son planificación, organización, dirección y control.

- **Planificación:** La planificación se ocupa de establecer objetivos y de determinar de antemano las acciones apropiadas necesarias para alcanzarlos.
- **Organización:** Organizar implica asignar tareas, agrupar tareas en departamentos, delegar autoridad y asignar recursos.
- **Dirección/Liderazgo:** Liderar es el proceso de motivar a las personas y dirigir sus actividades para que los objetivos organizacionales puedan lograrse.
- **Control:** Controlar es el proceso de monitorear el desempeño, compararlo con las metas y tomar medidas correctivas según sea necesario (Bright, Cortes, & Gardner, 2023).

**Toma de decisiones:** La toma de decisiones es la esencia de la administración, ya que los gerentes eligen constantemente entre alternativas para lograr los resultados deseados (Bright, Cortes, & Gardner, 2023).

**Gestión y Tecnología:** Los gerentes deben adaptarse a los cambios tecnológicos, ya que la tecnología puede remodelar las estructuras organizacionales, los procesos y las estrategias (Bright, Cortes, & Gardner, 2023).

**Enfoque Sistémico:** Es una forma de ver y resolver problemas considerando el sistema como un todo, identificando todos los componentes y sus interacciones, con el fin de optimizar el desempeño global (Nicholas & Steyn, 2020).

**Key Performance Indicator (KPI):** Un KPI o indicador clave de desempeño es una métrica seleccionada estratégicamente que permite cuantificar de manera sistemática el grado de cumplimiento de objetivos críticos para el éxito de una organización. Se enfoca en las variables

más relevantes del desempeño y sirve de guía para la toma de decisiones, el seguimiento del progreso y la mejora continua (Parmenter, 2015).

### **2.2.3 Desarrollo de Software**

**Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS):** Un CMMS es un programa informático que contiene una base de datos informática sobre las operaciones de mantenimiento de una organización. En la GTS, el CMMS se emplea para automatizar la documentación de todas las actividades relacionadas con dispositivos médicos, como son la planificación de equipos, la gestión de inventarios, los procedimientos de mantenimiento correctivos y preventivos, el control de los repuestos, los contratos de mantenimiento y órdenes de retirada de dispositivos médicos o alertas sobre los mismos (World Health Organization, 2012).

**Página Web:** La web (originalmente llamada World Wide Web, de ahí el “www” en sitio direcciones) es sólo una de las formas en que se puede compartir información a través de Internet. Es único porque permite vincular documentos entre sí mediante vínculos de hipertexto, formando así una enorme “red” de información conectada. La web utiliza un protocolo llamado HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) (Niederst, 2018).

**Desarrollo Web:** Una gran parte del proceso de creación de un sitio web implica la creación y resolución de problemas de los documentos, hojas de estilo, scripts e imágenes que componen un sitio. El desarrollo se divide en dos categorías amplias: desarrollo frontend y desarrollo backend (Niederst, 2018).

**Desarrollo Frontend:** Frontend se refiere a cualquier aspecto del proceso de diseño que aparece o se relaciona directamente con el navegador (Niederst, 2018).

**Desarrollo Backend:** Los desarrolladores de backend se centran en el servidor, incluidas las aplicaciones y bases de datos que se ejecutan en él. Pueden ser responsables de instalar y configurar el software del servidor. Los desarrolladores de backend deben estar familiarizados con la configuración y el mantenimiento de bases de datos que almacenan todos los datos de un sitio, como el contenido incluido en plantillas, cuentas de usuario, inventarios de productos y más (Niederst, 2018).

**Lenguaje de programación:** Un lenguaje de programación es un sistema de notación para escribir programas de computadora que proporciona un conjunto de reglas para generar código máquina o expresar algoritmos. (Joyanes, 2019)

**Python:** Python es un lenguaje de programación de alto nivel interpretado, conocido por su sintaxis clara, legibilidad y soporte para múltiples paradigmas de programación. Presenta tipado dinámico y gestión automática de memoria (Python Software Foundation, 2025).

**Interfaz gráfica de usuario:** Una GUI (Graphic User Interface) permite a los usuarios interactuar con dispositivos electrónicos a través de elementos gráficos como iconos, botones y ventanas, en lugar de comandos basados en texto (Sharp, Rogers, & Preece, 2019).

**UX/UI:** La Experiencia de Usuario (UX) abarca todos los aspectos de la interacción del usuario final con la empresa, sus servicios y sus productos. El Diseño de Interfaz de Usuario (UI) se refiere específicamente a los elementos visuales e interactivos que facilitan esa experiencia. (Norman & Nielsen, 2020).

**Librería Tkinter:** Tkinter es el kit de herramientas GUI estándar de Python que proporciona una forma rápida y fácil de crear aplicaciones de escritorio con apariencia nativa en múltiples plataformas (Python Software Foundation, 2025).

Visual Studio: Visual Studio es un IDE moderno e innovador que proporciona herramientas y servicios integrales para que los desarrolladores construyan, depuren e implementen aplicaciones en múltiples plataformas (Microsoft, 2025).

Base de datos: Una base de datos es una colección organizada de datos relacionados lógicamente, diseñada para cumplir con los requisitos de información de una organización. (Elmasri & Navathe, 2020)

Queries: Una query (consulta) es una solicitud específica para recuperar, insertar, actualizar o eliminar datos de una base de datos, expresada en un lenguaje de consulta estructurado (Date, 2019).

SQL: SQL (Structured Query Language) es un lenguaje de programación estándar utilizado para gestionar y manipular bases de datos relacionales (Beaulieu, 2020).

SQLite librería en Python: SQLite es una biblioteca de Python que proporciona una base de datos SQL embebida, ligera y autónoma, que no requiere un servidor separado y almacena la base de datos completa en un solo archivo (Python Software Foundation, 2025).

Simulación de procesos: La simulación de procesos es la técnica de diseñar y ejecutar un modelo computarizado de un sistema real, con el fin de conducir experimentos virtuales para entender, analizar y mejorar su desempeño a lo largo del tiempo (Law, 2022).

Software de Simulación Arena: es un software simulación de eventos discretos desarrollado por Rockwell Automation. Esta herramienta permite modelar procesos mediante la representación gráfica de entidades, recursos, colas y actividades, facilitando la construcción de modelos dinámicos que replican el comportamiento real de sistemas organizacionales. El software opera bajo el enfoque de simulación de eventos discretos, donde el sistema evoluciona en función

de eventos que ocurren en momentos específicos en el tiempo, como la generación de una orden de mantenimiento, la asignación de un técnico o la finalización de una intervención. Proporciona la máxima flexibilidad y amplitud de cobertura de aplicaciones para modelar cualquier nivel deseado de detalle y complejidad.

Los escenarios típicos incluyen:

- Análisis detallado de cualquier tipo de sistema de manufactura, incluyendo componentes de manejo de materiales.
- Análisis de sistemas complejos de servicio al cliente y gestión de clientes.
- Análisis de cadenas de suministro globales que incluyen almacenamiento, transporte y sistemas logísticos.
- Predicción del desempeño del sistema con base en métricas clave como costos, rendimiento, tiempos de ciclo y utilidades.
- Identificación de cuellos de botella en procesos, como acumulación de colas y sobreutilización de recursos.
- Planificación de requisitos de personal, equipos o materiales (Rockwell Automation Inc., 2022).

La elección del software Arena para el desarrollo de esta investigación se fundamentó en su capacidad para modelar procesos administrativos y operativos con múltiples variables interdependientes, así como en su amplia aceptación académica y profesional para el análisis de sistemas organizacionales.

Arena permite:

- Modelar procesos mediante diagramas de flujo estructurados.
- Definir tiempos de servicio con distribuciones estadísticas.
- Simular múltiples escenarios bajo diferentes configuraciones.
- Generar reportes automáticos con indicadores de desempeño.
- Comparar escenarios actuales y propuestos.

Estas características lo convierten en una herramienta adecuada para evaluar el impacto de la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) en términos de reducción de tiempos de espera, mejor utilización de recursos y optimización de la carga operativa del Departamento de Biomédica.

## **2.3. Variables**

### **2.3.1. Definición conceptual de la variable**

Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS): Un CMMS es un programa informático que contiene una base de datos informática sobre las operaciones de mantenimiento de una organización. En la gestión de tecnología de salud, el CMMS se emplea para automatizar la documentación de todas las actividades relacionadas con dispositivos médicos, como son la planificación de equipos, la gestión de inventarios, los procedimientos de mantenimiento correctivos y preventivos, el control de los repuestos, los contratos de mantenimiento y órdenes de retirada de dispositivos médicos o alertas sobre los mismos (World Health Organization, 2012).

### **2.3.2. Definición operacional de la variable**

La variable de esta investigación será medida de acuerdo con su estructura: campos y tablas, módulo de inventario, módulo de mantenimientos preventivos, módulo de gestión de

contratos y reportes, así como su tiempo de respuesta, siguiendo lo establecido para la estructura de un sistema de gestión del mantenimiento computarizado en incluida en la serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos publicada en el 2012.

Para realizar la medición se utilizará una escala cualitativa de tipo nominal, la cual será aplicada a los indicadores para hacer la evaluación del sistema utilizado actualmente por el departamento siguiendo el primer objetivo específico, y posteriormente al sistema desarrollado expuesto en el objetivo general de esta investigación.

### 2.3.3. Mapa de Variables

**Tabla 1**

*Mapa de variables*

Objetivo General	Desarrollar un sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.		
Objetivos Específicos	Variable	Dimensiones	Indicadores
1. Diagnosticar el estado actual del uso de herramientas para la coordinación de mantenimientos preventivos de equipos biomédicos y proceso de seguimiento de plazos de contratos y garantías en el Hospital The Panama Clinic.	Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado	Estructura	Tipos de campos y tablas relacionadas
		Módulo de inventario	Tabla del tipo del equipo
			Tabla del modelo del equipo Tabla de ubicación del equipo
2. Diseñar el sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) siguiendo los lineamientos de la serie de documentos técnicos de la Organización Mundial de la Salud (OMS).		Módulo de mantenimientos preventivos	Notificaciones de próximos MP
			Documentación de reportes de servicio
		Módulo de gestión de contratos	Facilidad para acceder a la información de coberturas
			Notificaciones de próximos contratos a vencer
Reportes y documentación	Reporte de avance mensual de MP		
	Reporte de contratos activos y contratos vencidos		

## 2.4 Glosario de términos

Diagrama de sitio web: Un diagrama de sitio indica la estructura del sitio web en su conjunto y cómo las páginas individuales se relacionan entre sí, proporciona una vista de la interfaz gráfica que manejará el usuario final (Niederst, 2018).

Gestión basada en el conocimiento: Conocida como KBM (Knowledge-based management) utiliza datos e información para basar las decisiones de gestión en hechos en lugar de sentimientos o intuición (McLaughlin & Olson, 2017).

Mantenimiento Correctivo: Son los mantenimientos que requieren reparación en el equipo, la reparación se define como la resolución de problemas para aislar la causa del mal funcionamiento del dispositivo y luego como el reemplazo o ajuste de componentes o subsistemas para restaurar el funcionamiento normal, la seguridad, el rendimiento y fiabilidad (Miniati, Ladanza, & Dori, 2016).

Control de calidad: El aseguramiento de la calidad comprende la planificación y realización de controles de calidad (QA) y pruebas de seguridad de equipos médicos para garantizar que se cumplan los parámetros funcionales y de seguridad de acuerdo con las instrucciones del fabricante y las normas correspondientes (Miniati, Ladanza, & Dori, 2016).

Seguridad del paciente en equipos biomédicos: La seguridad del paciente proviene, por tanto, de la capacidad de planificar y gestionar procesos capaces de, por un lado, contener los efectos de los errores que se verifican (protección) y por otro reducir la probabilidad de que tales errores se produzcan. (prevención) (Miniati, Ladanza, & Dori, 2016).

Reporte de incidentes: El reporte de incidentes es un conjunto de formas anónimas para advertir sobre eventos adversos: a través del reporte de alertas de errores y “posibles errores”, se

puede recopilar una serie de información fundamental para rastrear el camino que ha permitido la ocurrencia del evento adverso (Miniati, Ladanza, & Dori, 2016).

## **Capítulo 3: Metodología**

### **3.1 Tipo y diseño de la investigación**

Esta investigación es de tipo aplicada, siendo esta la que sigue el propósito fundamental de resolver problemas de una investigación científica llevada a cabo de forma cuidadosa, rigurosa y más organizada (Sampieri, 2018), se selecciona este tipo de investigación porque busca dar solución a un problema a ser identificado en los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimientos de contratos del departamento de biomédica del Hospital The Panama Clinic mediante el desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento computarizado (CMMS).

Adicionalmente, esta investigación se define de tipo cualitativa, la cual se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto (Sampieri, 2018) esto debido a que se realiza un diagnóstico de la situación mediante el análisis de datos no numéricos recolectados con el instrumento que dan la percepción de los participantes al respecto del tema de investigación.

En cuanto al diseño, esta investigación lleva un diseño no experimental, que se realiza sin manipular deliberadamente variables y observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural para analizarlos (Sampieri, 2018), ya que no se manipula ninguna variable de forma intencional y se hace el diagnóstico mediante la opinión de los involucrados sobre el objeto de estudio para poder dar paso a proponer las mejoras.

Siguiendo un diseño transversal, cuyo propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Sampieri, 2018), ya que se realizará el diagnóstico del sistema actual en una sola oportunidad para ser analizadas y con estos datos continuar con la investigación hasta su fin.

Además, considerando la naturaleza de la investigación esta sigue un diseño de campo, en específico un estudio de caso, que utiliza los procesos de investigación cuantitativa, cualitativa o mixta para analizar profundamente una unidad holística para responder al planteamiento del problema, probar hipótesis y desarrollar alguna teoría (Sampieri, 2018), debido a que se lleva a cabo en el departamento de biomédica del Hospital The Panama Clinic, donde se busca ubicar el problema planteado y proponer una solución.

### **3.2 Población y muestra**

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, los cuales van a ser estudiados y sobre los cuales se pretende generalizar los resultados (Sampieri, 2018). Al tratarse de un hospital privado de tercer nivel que cuenta con aproximadamente 300 empleados y ofrece servicios médicos especializados de alta complejidad, el Hospital The Panama Clinic depende significativamente de la disponibilidad y correcto funcionamiento de sus equipos biomédicos para garantizar la continuidad y calidad de la atención clínica. La gestión de estos equipos se realiza a través del Departamento de Biomédica, cuya estructura organizativa está encabezada por un jefe de departamento y conformada por dos ingenieros biomédicos, quienes son responsables de la coordinación de mantenimientos preventivos, seguimiento de contratos y garantías, gestión de inventario y supervisión técnica de los activos médicos.

Dado que el departamento está compuesto únicamente por tres profesionales, la investigación trabajó con el 100% de la población disponible, enmarcándose en la modalidad de estudio de caso. Al no buscar generalización estadística sino diagnóstico interno del proceso actual de gestión, la participación total de los integrantes permite obtener una visión integral y representativa del funcionamiento del sistema actual.

En consecuencia, de seguir un diseño no experimental, el investigador realiza un muestreo no probabilístico, donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Sampieri, 2018), se sigue este tipo de muestreo a discreción del investigador por ser una investigación con un diseño de estudio de caso. Además, se toma una muestra por conveniencia, estas muestras están formadas por los casos disponibles a los cuales se tiene acceso (Sampieri, 2018).

El investigador selecciona la población como muestra debido al número que la compone, con el fin de obtener la mayor información posible al aplicar el instrumento de recolección de datos.

### **3.3 Descripción del instrumento de recolección de datos.**

La recolección de datos ocurre en los ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis (Sampieri, 2018) El instrumento de recolección de datos seleccionado por el investigador para llevar a cabo el diagnóstico del sistema actual utilizado para coordinar los mantenimientos preventivos y el seguimiento de contratos en el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, es el cuestionario el cual consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir y que debe ser congruente con el planteamiento del problema e hipótesis (Sampieri, 2018). Se optó por la aplicación de un cuestionario, ya que permite estandarizar la información recopilada, facilitar su análisis cuantitativo y reducir posibles sesgos interpretativos del investigador. Aunque la población era reducida, el instrumento sistematiza las percepciones y prácticas del equipo técnico de manera uniforme, generando insumos comparables que sirvieron como base para el diseño del sistema propuesto.

El cuestionario elaborado como instrumento de recolección de datos para diagnosticar la situación del sistema de gestión utilizado actualmente dentro del Departamento de Biomédica, contiene 9 ítems o preguntas de tipo cerradas, las cuales se delimitan para facilitar el análisis y optimizar el tiempo de respuesta de los individuos de la muestra. Por otro lado, se elabora un segundo cuestionario, el cual será utilizado como validador del sistema propuesto a partir de los requisitos obtenidos de las necesidades que presenta el sistema de gestión actual. Este último cuestionario será aplicado al presentar la propuesta únicamente al Jefe de Biomédica.

Las preguntas cerradas contienen categorías u opciones de respuesta que han sido previamente delimitadas. Es decir, se presentan las posibilidades de respuesta a los participantes, quienes deben acotarse a éstas y pueden ser dicotómicas o de múltiple respuesta (Sampieri, 2018), las cuales están dispuestas en formato horizontal para cada una de las preguntas.

El método de aplicación del cuestionario es autoadministrado, lo que significa que el cuestionario se proporciona directamente a los participantes, quienes lo contestan. No hay intermediarios y las respuestas las marcan ellos. Pero la forma de autoadministración puede tener distintos contextos: individual, grupal o por envío (Sampieri, 2018), en este caso se realiza por envío vía WhatsApp a cada uno de los participantes.

Este instrumento es aplicado a la muestra seleccionada por el investigador, la cual consta de 3 personas, los cuales son los trabajadores del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

Antes de su aplicación, el instrumento de recolección de datos es sometido a un proceso de validación, La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir, dicho proceso será llevado a cabo por la validación de

tipo de contenido, la validez de contenido se refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que se mide. La técnica utilizada para realizar la validez por contenido es la validación por expertos, se presenta el formato construido a 3 profesionales del área y se analizan los resultados. El investigador selecciona este tipo de validez debido a la naturaleza de la variable, la cual requiere expertos en ingeniería clínica e ingeniería biomédica para validar que las preguntas del cuestionario cumplan con cada uno de los indicadores para sistemas de gestión del mantenimiento computarizados y demás características importantes consideradas en los alcances y delimitaciones de esta investigación.

Como segundo requisito esencial de un instrumento de recolección de datos también se considera la medición la confiabilidad para este cuestionario, La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Todos los procedimientos para medir la confiabilidad utilizan fórmulas que producen coeficientes de fiabilidad que pueden oscilar entre cero y uno, donde un coeficiente de cero significa nula confiabilidad y uno representa un máximo de fiabilidad. Estos expresan la intercorrelación (consistencia) entre los distintos ítems, indicadores o componentes (Sampieri, 2018). Para el cuestionario utilizado en esta investigación se sigue un procedimiento de confiabilidad de consistencia interna, el cual estima la confiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach y para calcularlo se requiere una sola administración del instrumento de medición. En la mayoría de los casos se considera que el coeficiente debe estar entre 0.70 y 0.90 (Hernandez-Sampieri & Mendoza, 2018).

La fórmula más usada para calcular el coeficiente alfa de Cronbach se muestra en la Ecuación 1.

$$\alpha = \frac{k(1 - \sum \frac{s_i^2}{s_t^2})}{k-1} \quad (1)$$

Donde,  $k$  es el número de ítems del instrumento,  $s_i^2$  la varianza de las puntuaciones en el ítem  $i$ , y  $s_t^2$  la varianza de las puntuaciones totales del cuestionario o test (Rodríguez & Reguant, 2020).

### **3.4 Procedimiento de la Investigación**

1. Planteamiento del problema: En esta etapa, se identifica y formula claramente el problema y las preguntas de investigación, centrados en los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic. Se establecen los objetivos de la investigación, los cuales están guiados por el objetivo general, que plantea diseñar un sistema computarizado de gestión del mantenimientos (CMMS), cuya importancia yace en optimizar el sistema utilizado actualmente al proponer el diseño de un nuevo sistema que se acople a las necesidades y siga una estructura predeterminada.

2. Revisión de la literatura: Se desarrolla el marco teórico mediante la revisión de la literatura existente relacionada al objeto de la investigación, tomando como punto de partida las investigaciones que anteceden esta investigación hasta la definición de los términos que forman parte del glosario, con el objetivo de comprender de manera general diferentes enfoques para automatizar procesos relacionados con la gestión de equipos biomédicos en hospitales y proveedores para tomarlos como referencia para esta investigación.

3. Tipo y Diseño de investigación: Se define esta investigación de tipo aplicada y cualitativa con un diseño no experimental, específicamente con un diseño transversal y de campo de tipo estudio de caso. Se justifican las razones por las cuales se definen estos tipos y diseño la investigación de acuerdo con el enfoque de esta. Finalmente, se selecciona el instrumento de

recolección de datos, el cual es el cuestionario. Dicho cuestionario se desarrolla y se somete a procesos de validez y confiabilidad antes de su aplicación.

4. Selección de la población y de la muestra: Se presenta la población y la muestra seleccionada para llevar a cabo esta investigación, las cuales comprenden a los mismos individuos por ser una población tan reducida, esta está comprendida por los trabajadores del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, teniendo un total de 3 individuos en la muestra. Esto fue definido utilizando la técnica de muestreo no probabilístico de conveniencia.

5. Recopilación de datos: En este paso del procedimiento se implementa el cuestionario, el cual tiene como propósito, diagnosticar el sistema utilizado actualmente para los procesos contemplados en el objetivo general de esta investigación, esto para construir las bases del sistema diseñado en la propuesta. Una vez finalizado el sistema propuesto, se valida mediante un segundo cuestionario aplicado al Jefe de Biomédica.

6. Análisis de datos: Los datos recolectados se analizan mediante estadística descriptiva y análisis cualitativos. Estos datos revelan las necesidades del sistema actual y la validez del sistema propuesto.

7. Interpretación de resultados: Se procede a interpretar los resultados obtenidos en el paso anterior, siguiendo una estrecha relación con los objetivos específicos de esta investigación y se empiezan a establecer conclusiones sobre los resultados arrojados para continuar con esta investigación hasta cumplir con su objetivo general.

8. Propuesta de la investigación: Se diseña y se presenta la propuesta resultante de esta investigación a partir de las necesidades reveladas posteriores a la aplicación del cuestionario de diagnóstico. Esta propuesta consta de un sistema computarizado de gestión de mantenimientos

siguiendo el alcance definido en el capítulo 1, para el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic con el objetivo de optimizar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos de equipos biomédicos.

9. Informe de resultados: Se termina de redactar el informe de esta investigación, el cual comprende todos los aspectos del estudio, incluyendo el planteamiento del problema, los objetivos, el diseño, los métodos, los resultados y las conclusiones. El informe presentado sigue la estructura establecida por la Universidad Latina de Panamá.

## **Capítulo 4: Análisis e interpretación de los resultados**

## 4.1 Introducción

El análisis de resultados se lleva a cabo una vez obtenidos los datos sobre el problema planteado al inicio de esta investigación, donde se analizarán e interpretarán los resultados, El análisis y la interpretación de datos son dos procesos que están ligados pero que son completamente diferentes. El análisis de datos “consiste en separar los elementos básicos de la información y examinarlos con el propósito de responder a las distintas cuestiones planteadas en la investigación (Behar Rivero, 2008).

Una vez finalizada la aplicación de la encuesta confeccionada como instrumento de recolección de datos para evaluar el sistema actual utilizado en el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic para gestionar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimientos de contratos de los equipos biomédicos, aplicada a la muestra definida de 3 individuos. se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos.

Los principales métodos y técnicas de análisis, dado el tipo de investigación llevaba a cabo, corresponden a la estadística descriptiva. La estadística, en general, estudia los métodos empleados en la recolección, organización, resumen, análisis e interpretación de datos, con el fin de obtener validez en las conclusiones y tomar decisiones de manera razonable y efectiva (Spiegel, 2013). Dentro de este concepto general se puede encontrar la vertiente de la estadística descriptiva, definida como “la estadística que orientada a la presentación de datos mediante tablas y gráficas que permiten resumir o describir el comportamiento de estos, sin realizar inferencias sobre ellos debido a que son obtenidos de una parte de la población” (Posada, 2016).

Para el análisis de los datos se contempla la distribución de frecuencias absolutas y relativas, y elaboración de diagramas circulares.

La distribución de frecuencias definida como “Una distribución de frecuencias (o tabla de frecuencias) lista valores de los datos (ya sea de manera individual o por grupos de intervalos), junto con sus frecuencias (o conteos) correspondientes” (Triola, 2009). Los tipos de frecuencias seleccionadas para ser representadas en la distribución son la absoluta y la relativa. Siendo la frecuencia absoluta la cantidad de veces que se presenta un valor de la variable en la muestra o la población (Posadas, 2016). Y la frecuencia relativa definida como “el porcentaje de frecuencia absoluta con relación al total de datos de la muestra” (Posada, 2016).

Para representar el comportamiento de una variable se pueden usar varios tipos de gráficas, entre ellas están los histogramas, polígonos, ojivas, diagramas de barras y circulares (Levine, Krehbiel, & Berenson, 2014).

La gráfica utilizada para representar la distribución de frecuencias es el diagrama circular, el cual consta divisiones o sectores que representan a las diferentes categorías que tiene la distribución (Del Castillo & Salazar, 2018).

Los datos fueron procesados cuantificando las respuestas por ítem, la naturaleza de las respuestas proporciona facilidad para su agrupación, se calcularon las frecuencias absolutas y relativas para los 9 ítems.

Por otro lado, la validez del instrumento se determinó mediante la validez de contenido presentada a 2 expertos, donde se coincidió que las preguntas son válidas y pertinentes con al menos un indicador, dimensión, variable y/u objetivos planteados al inicio de esta investigación. La confiabilidad es garantizada basándose en el coeficiente de Cronbach, el cual al evaluar los datos recopilados a través de su ecuación se obtuvo un coeficiente de 0.70, aunque según Sampieri no se ha establecido un valor estricto de referencia para determinar el punto de partida de la

fiabilidad para un instrumento, algunos autores consideran un coeficiente de confiabilidad dentro de 0.70 y 0.90 (Tavakol & Dennick, 2011), otros indican aceptable un coeficiente de 0.60 para estudios exploratorios y 0.70 para confirmativos (Landau, 2013).

#### 4.2 Análisis de datos de recopilados con encuesta de diagnóstico.

La encuesta elaborada fue respondida por el 100% de la muestra contemplada para esta investigación. Se obtuvo respuesta de los 3 trabajadores del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, logrando los siguientes resultados:

**Ítem 1: ¿Considera usted que se puede optimizar el uso de la herramienta utilizada como base de datos para la gestión de equipos biomédicos dentro del departamento?**

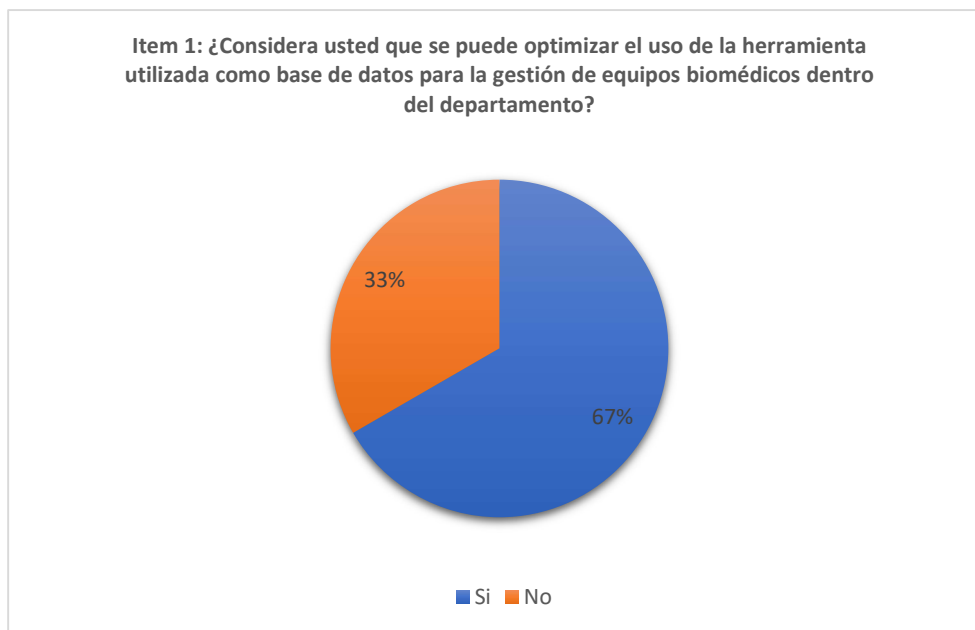
**Tabla 2**

*Distribución de frecuencias ítem 1*

¿Considera usted que se puede optimizar el uso de la herramienta utilizada como base de datos para la gestión de equipos biomédicos dentro del departamento?		
<b>Respuesta</b>	<b>F. Absoluta</b>	<b>F. Relativa</b>
Si	2	66.67%
No	1	33.33%

## Figura 1

*Diagrama circular de frecuencias ítem 1*



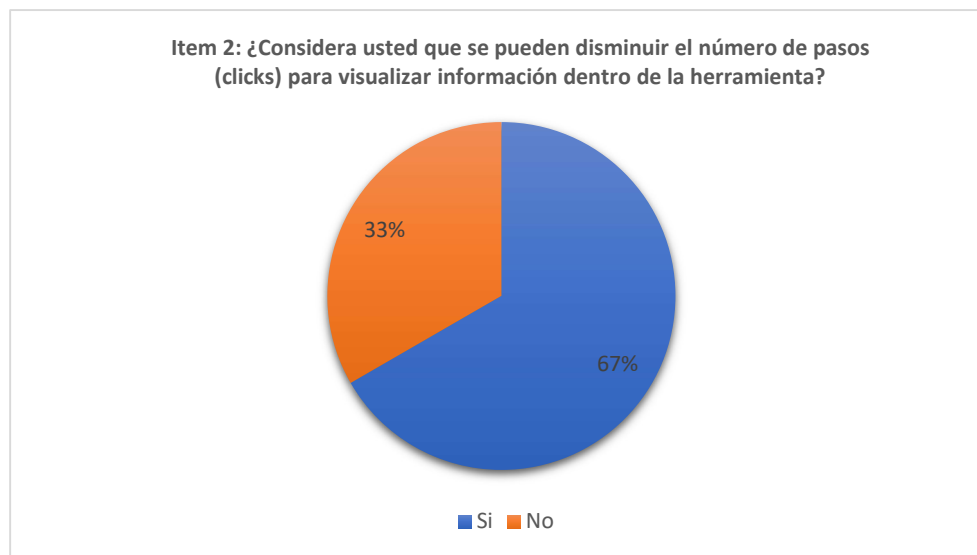
En la Tabla 2, se observa que la mayoría de los encuestados, 2 de 3 (66.7%), consideran viable la optimización del sistema, mientras que 1 persona (33.3%) piensa que no es posible. Como se representa en la Figura 1, la mayoría de la muestra considera posible optimizar la herramienta.

**Ítem 2: ¿Considera usted que se pueden disminuir el número de pasos (clics) para visualizar información dentro de la herramienta?**

**Tabla 3**

*Distribución de frecuencias ítem 2*

¿Considera usted que se pueden disminuir el número de pasos (clicks) para visualizar información dentro de la herramienta?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	2	67%
No	1	33%

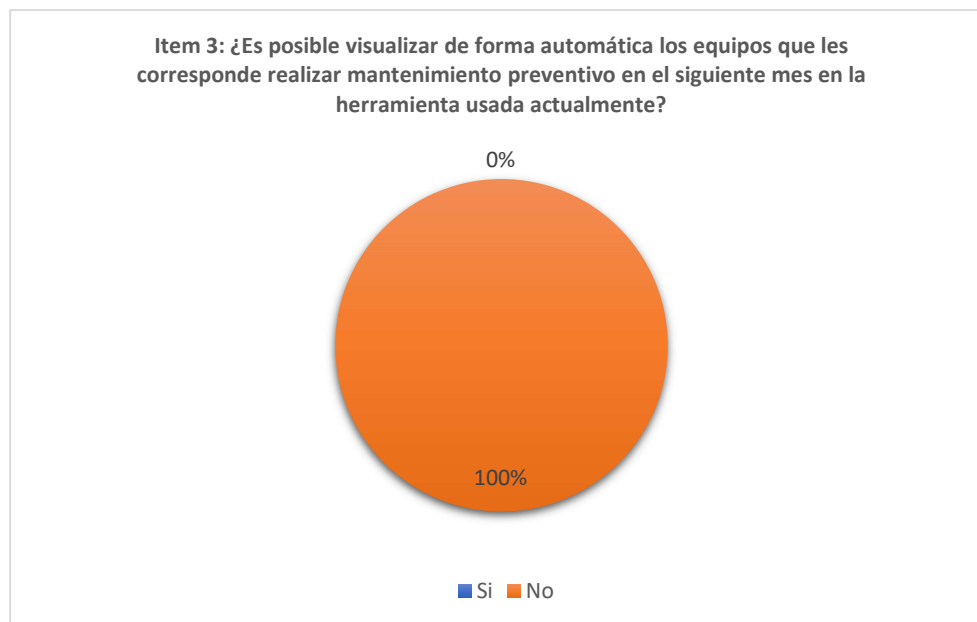
**Figura 2***Diagrama circular de frecuencias ítem 2*

Los resultados que se visualizan en la Tabla 3, indican que 2 de los 3 individuos que comprenden la muestra, consideran que se puede disminuir el número de pasos (clicks) necesarios para visualizar información dentro de la herramienta utilizada actualmente, como se gráfica en la Figura 2, este resultado corresponde al 67% de la muestra.

**Ítem 3: ¿Es posible visualizar de forma automática los equipos que les corresponde realizar mantenimiento preventivo en el siguiente mes en la herramienta usada actualmente?**

**Tabla 4***Distribución de frecuencias ítem 3*

¿Es posible visualizar de forma automática los equipos que les corresponde realizar mantenimiento preventivo en el siguiente mes en la herramienta usada actualmente?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	0	0.00%
No	3	100.00%

**Figura 3***Diagrama circular de frecuencias ítem 3*

En la Tabla 4 se observa que la totalidad de la muestra indica que no es posible visualizar de forma automática los equipos que les corresponde realizar mantenimiento preventivo en el mes próximo dentro de la herramienta utilizada actualmente, siendo el 100% como se representa en la Figura 3.

**Ítem 4: ¿Es posible visualizar los equipos cuyas vigencias de contrato/garantía están próximas a vencer dentro de la herramienta?**

**Tabla 5***Distribución de frecuencias ítem 4*

¿Es posible visualizar de forma automática los equipos cuyas vigencias de contrato/garantía están próximas a vencer dentro de la herramienta?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	0	0.00%
No	3	100.00%

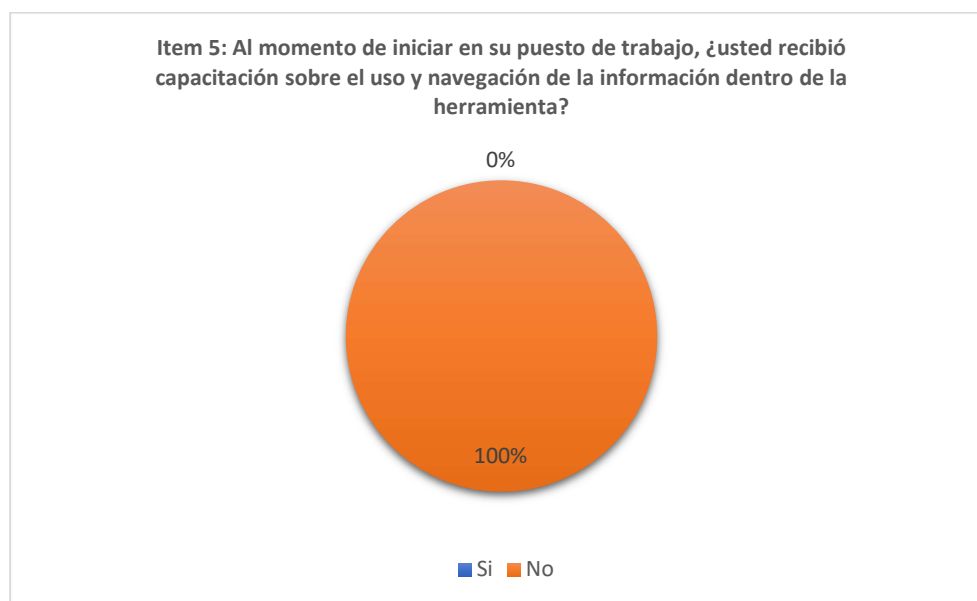
**Figura 4***Diagrama circular de frecuencias ítem 4*

En la Tabla 5 se visualiza que 3 de 3 encuestados indican que no es posible visualizar de forma automática los equipos cuya vigencia de contrato/garantía está próxima a vencer dentro de la herramienta utilizada actualmente, siendo el 100% como se representa en la Figura 4.

**Ítem 5: Al momento de iniciar en su puesto de trabajo, ¿usted recibió capacitación sobre el uso y navegación de la información dentro de la herramienta?**

**Tabla 6***Distribución de frecuencias ítem 5*

Al momento de iniciar en su puesto de trabajo, ¿usted recibió capacitación sobre el uso y navegación de la información dentro de la herramienta?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	0	0.00%
No	3	100.00%

**Figura 5***Diagrama circular de frecuencias ítem 5*

La Tabla 6 detalla que toda la muestra frecuenta la misma respuesta: ninguno recibió capacitación sobre el uso y navegación de la herramienta utilizada actualmente en el departamento, respuesta que representa el 100% como se observa en la Figura 5.

**Ítem 6: ¿Existe un instructivo al cual usted tenga acceso sobre el uso correcto de la herramienta utilizada de base de datos?**

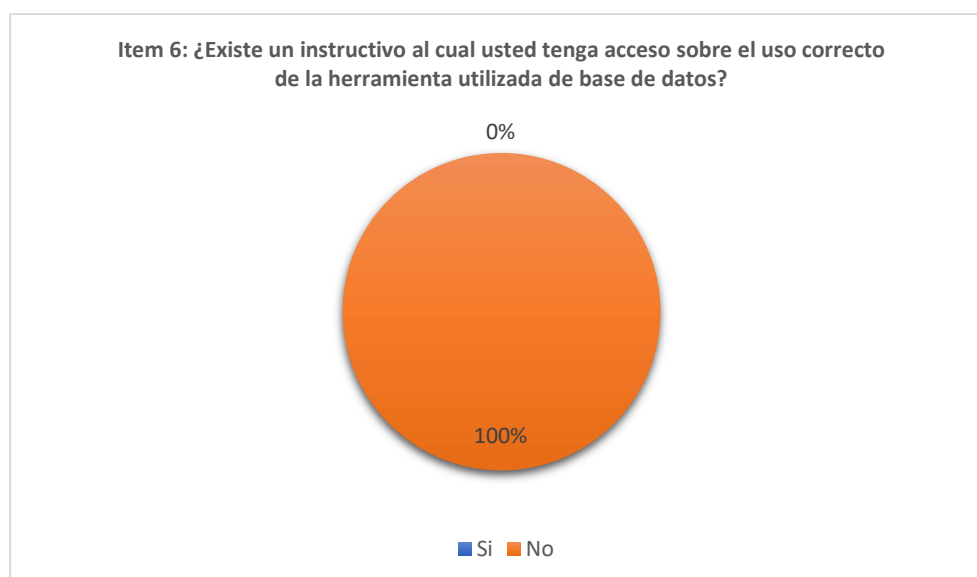
**Tabla 7**

*Distribución de frecuencias ítem 6*

¿Existe un instructivo al cual usted tenga acceso sobre el uso correcto de la herramienta utilizada de base de datos?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	0	0.00%
No	3	100.00%

**Figura 6**

*Diagrama circular de frecuencias ítem 6*



En la Tabla 7 se presentan las respuestas al ítem relacionado a la existencia a un instructivo de uso de la herramienta utilizada actualmente, donde los 3 encuestados respondieron negativamente, siendo este el 100% como se muestra en la Figura 6.

**Ítem 7: ¿Usted posee conocimiento de estándares de nomenclatura internacional para equipos médicos tal como: Universal Medical Device Nomenclature System o Global Medical Device Nomenclature System?**

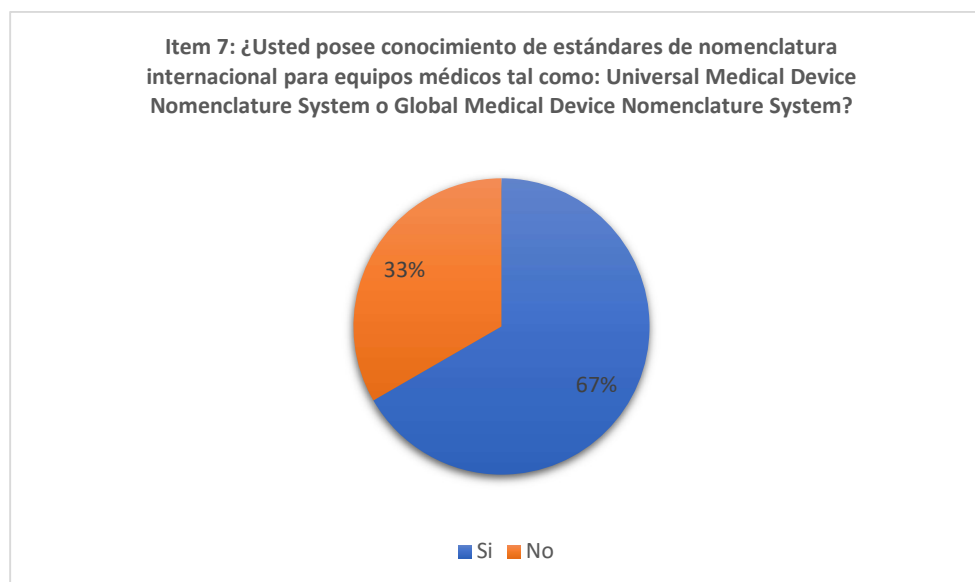
**Tabla 8**

*Distribución de frecuencias ítem 8*

¿Usted posee conocimiento de estándares de nomenclatura internacional para equipos médicos tal como: Universal Medical Device Nomenclature System o Global Medical Device Nomenclature System?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	2	67%
No	1	33%

**Figura 7**

*Diagrama circular de frecuencias ítem 7*



La Tabla 8 refleja que 2 de los 3 individuos de la muestra poseen conocimientos en sistemas internacionales de nomenclatura para equipos médicos, como se muestra en la Figura 7 estos

representan el 67% de la muestra, mientras que el individuo restante representa el 33% el cual indica no tener tales conocimientos.

**Ítem 8: ¿Existen campos que se encuentren estandarizados bajo documentación en la herramienta utilizada de base de datos?**

**Tabla 9**

*Distribución de frecuencias ítem 9*

¿Existen campos que se encuentren estandarizados bajo documentación en la herramienta utilizada de base de datos?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
Si	0	0.00%
No	3	100.00%

**Figura 8**

*Diagrama circular de frecuencias ítem 8*



La totalidad de las 3 respuestas de la Tabla 9 niegan la existencia de campos estandarizados en algún campo de la herramienta utilizada actualmente, siendo este el 100% de la muestra cómo se observa en la Figura 8.

### Ítem 9: ¿La herramienta de base de datos posee una vista con gráficas y reportes?

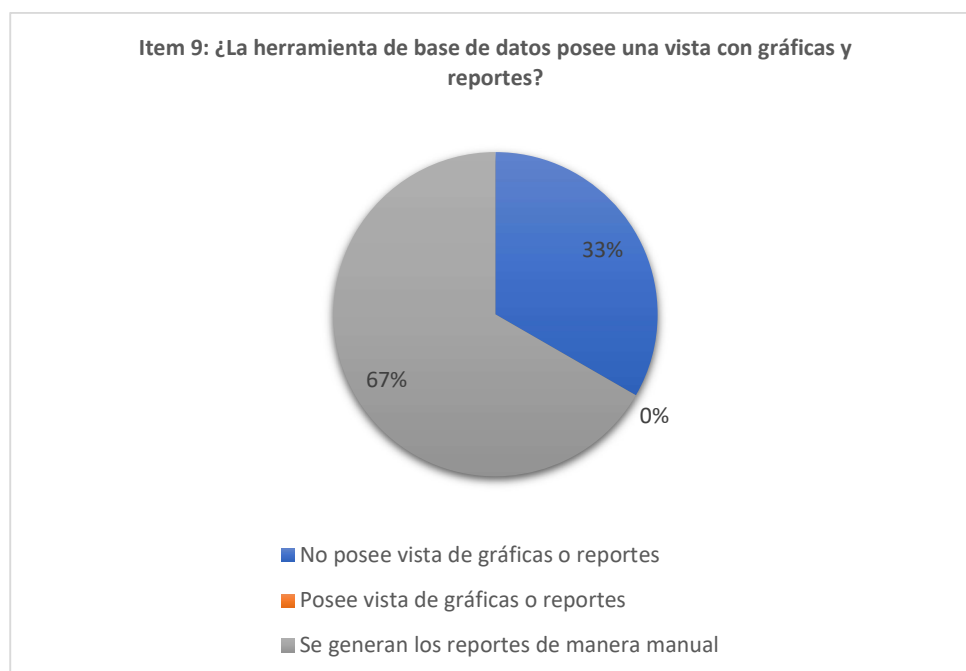
**Tabla 10**

*Distribución de frecuencias ítem 9*

¿La herramienta de base de datos posee una vista con gráficas y reportes?		
Respuesta	F. Absoluta	F. Relativa
No posee vista de gráficas o reportes	1	33%
Posee vista de gráficas o reportes	0	0.00%
Se generan los reportes de manera manual	2	66%

**Figura 9**

*Diagrama circular de frecuencias ítem 9*



En la Tabla 10, se observa que 1 individuo indica que la herramienta no posee vista de reportes, 2 refieren que los reportes se deben generar de manera manual y ninguno indica que la herramienta posee dicha vista. Esto se representa de forma gráfica en la Figura 9, donde el 67% escogió “Se generan los reportes de manera manual”, el 33% “No posee vista de gráficas o reportes” y el 0% “Posee vista de gráficas o reportes”.

### **4.3 Discusión de los hallazgos en el diagnóstico**

Los datos recopilados mediante los 9 ítems detallados en el punto 4.1 sirven para cumplir con el primer objetivo específico planteado al inicio de esta investigación: “Diagnosticar el estado actual del uso de herramientas para la coordinación de mantenimientos preventivos de equipos biomédicos y proceso de seguimiento de contratos en el Hospital The Panama Clinic”, el cuestionario aplicado al estar relacionado con la variable, las dimensiones y los indicadores permite diagnosticar la situación actual con respecto a las funcionalidades de la herramienta utilizada actualmente para la coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos de los equipos biomédicos.

**Tabla 11**

*Resultados de la situación actual de la herramienta utilizada*

Variable	Dimensión	Indicador	Ítem	Resultado
Sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS)	Usabilidad del Sistema	Tiempo de respuesta	¿Considera usted que se puede optimizar el uso de la herramienta utilizada como base de datos para la gestión de equipos biomédicos dentro del departamento?	SÍ
	Módulo de Inventario	Campo de tipo de equipo	¿Es posible visualizar de forma automática los equipos que les corresponde realizar mantenimiento preventivo en el siguiente mes en la herramienta usada actualmente?	SÍ
		Campo de modelo de equipo		NO
		Campo de ubicación de equipo		
	Módulo de mantenimientos preventivos	Notificaciones de MPs	¿Es posible visualizar los equipos cuyas vigencias de contrato/garantía están próximas a vencer dentro de la herramienta?	NO
		Documentación de reportes de MPs		
	Módulo de gestión de contratos	Información detallada del contrato	Al momento de iniciar en su puesto de trabajo, ¿usted recibió capacitación sobre el uso y navegación de la información dentro de la herramienta?	NO
		Notificaciones de contratos a vencer		
	Reportes y documentación	Reporte de cumplimiento de MPs	¿Existe un instructivo al cual usted tenga acceso sobre el uso correcto de la herramienta utilizada de base de datos?	NO
		Reporte de contratos activos y vencidos		

Variable	Dimensión	Indicador	Ítem	Resultado
Sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS)	Usabilidad del Sistema	Tiempo de respuesta	¿Usted posee conocimiento de estándares de nomenclatura internacional para equipos médicos tal como: Universal Medical Device Nomenclature System o Global Medical Device Nomenclature System?	SÍ
	Módulo de Inventario	Campo de tipo de equipo	¿Existen campos que se encuentren estandarizados bajo documentación en la herramienta utilizada de base de datos?	NO
		Campo de modelo de equipo		
		Campo de ubicación de equipo		
	Módulo de mantenimientos preventivos	Notificaciones de MPs	¿La herramienta de base de datos posee una vista con gráficas y reportes?	Se generan los reportes de manera manual
		Documentación de reportes de MPs		
	Módulo de gestión de contratos	Información detallada del contrato		
		Notificaciones de contratos a vencer		
	Reportes y documentación	Reporte de cumplimiento de MPs		
		Reporte de contratos activos y vencidos		

En la Tabla 11, se puede observar cómo fue la tendencia para cada ítem. Se aprecia en el resultado de los ítems 1 y 2, que la usabilidad del sistema puede ser optimizada según la percepción que tiene la muestra, el resultado del ítem 2 demuestra incluso que no solo se puede optimizar, sino que para el Departamento de Biomédica les es valioso contar un sistema donde se pueda acceder a la información de interés de forma más rápida al disminuir el número clicks involucrados en la navegación de la herramienta.

Los resultados de los ítems 3 y 4, evidencian que no es posible visualizar de forma automática tanto los siguientes equipos que les corresponden mantenimientos preventivos como aquellos contratos o garantías que están próximas a vencer. Además, en los ítems 5 y 6 resulta en que ninguno de los encuestados recibió capacitación sobre el uso de la herramienta y el departamento carece de un instructivo sobre su uso. Esto se traduce en la necesidad de poseer un sistema automatizado y documentado sobre su uso para que los trabajadores actuales y los futuros puedan tener a donde recurrir en caso de dudas de eso.

El personal del departamento posee conocimientos de sistemas de nomenclatura internacionales para equipos médicos, como se observa en el ítem 7 dentro de la Tabla 18. Por lo que no es necesario incluir su uso en la propuesta del sistema desarrollado.

Finalmente, la herramienta utilizada actualmente no genera reportes o gráficos de manera automática, y estos se deben realizar de manera manual por uno de los ingenieros del departamento.

El sistema utilizado actualmente presenta la necesidad de mejorar según la percepción identificada al evaluar los resultados de la encuesta, estos datos dan bases para los requisitos para

desarrollar un sistema que cumpla de mejor manera con las necesidades que tiene el departamento para optimizar los procesos considerados en esta investigación.

#### **4.4 Limitaciones del estudio**

La principal limitación para el análisis de los resultados en esta investigación es el tamaño o representatividad de la muestra a la que se le aplicó el instrumento de recolección de datos, debido a que, al tener solo 3 individuos en la muestra, los resultados no pueden ser evaluados con otras técnicas estadísticas como las que puede brindar la estadística inferencial.

Por otro lado, para el diseño y desarrollo del sistema propuesto se pueden mencionar limitaciones tecnológicas, como el uso de lenguajes de programación de menor complejidad para poder cumplir con los plazos definidos para culminar la investigación.

#### **4.5 Conclusiones Parciales**

Los principales hallazgos en los resultados se basan en la necesidad del departamento de contar con un sistema automatizado y optimizado para agilizar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías para los equipos biomédicos. Se logró identificar los requisitos para iniciar el diseño y desarrollo del sistema, el cual debe contar con módulo de reportes, mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías, además de poseer un instructivo sobre su uso que esté disponible para el personal.

En la validación del sistema desarrollado, se cumple con los requisitos identificados en el diagnóstico y se logra visualizar de forma automática la información crítica para llevar a cabo los procesos considerados.

## **Capítulo 5: Propuesta de la investigación**

## 5.1 Introducción a la propuesta

Un Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimientos (CMMS) es un activo clave en la mayoría de las instituciones que prestan servicios médicos, ya que sirve para dar seguimiento a los dispositivos médicos y mantener registros precisos de la información de los equipos. Es por ello, que se considera que la implementación de un CMMS ayuda a los hospitales a evaluar o mejorar el mantenimiento y la calidad. En este punto, los hospitales deberían considerar su capacidad para aplicar los mejores sistemas de mantenimiento para la gran cantidad de dispositivos médicos existentes (Lafi, 2020).

La creciente complejidad en los procedimientos médicos, coadyuvado en un gran porcentaje por los adelantos tecnológicos en materia de equipos ha conllevado a la necesidad de un manejo adecuado, además de una eficiente gestión, supervisión y regulación de la tecnología médica en el medio hospitalario (Montenegro, 2021).

Tomando en cuenta que una institución hospitalaria describe a la perfección una organización y éstas son concebidas como sistemas abiertos que mantienen una interacción dinámica con su entorno, importando insumos, transformándolos mediante procesos internos y exportando resultados. Bajo este paradigma, el Departamento de Biomédica constituye un subsistema crítico dentro del sistema hospitalario, cuya misión es garantizar la operatividad y seguridad de los equipos médicos. El Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) aquí propuesto actúa como el elemento integrador de este subsistema, formalizando los flujos de trabajo y facilitando la interacción con otros subsistemas organizacionales clave, optimizando así la coordinación y la eficacia global (Chiavenato, 2011).

Un CMMS funciona mejor para centralizar toda la información importante sobre las operaciones de mantenimiento relacionadas que están a cargo del departamento de biomédica de un hospital. Este software consta de un gran número de funciones que contribuirán en muchos aspectos, desde la planificación, la gestión y la administración (Amira Salami & Abdul Wahid, 2021).

Dentro de la planificación para equipos biomédicos comúnmente yacen dos tipos de mantenimientos: correctivo y preventivos, dada la naturaleza de los mantenimientos preventivos, estos permiten realizar su planificación a largo plazo. Estas estrategias ayudan a los hospitales a evaluar o mejorar el mantenimiento, la calidad y el rendimiento. En este punto, los hospitales deberían considerar su capacidad para aplicar los mejores sistemas de mantenimiento para la gran cantidad de diferentes dispositivos médicos en los procesos de gestión del mantenimiento, y es responsabilidad de las organizaciones sanitarias determinar los criterios para su correcta evaluación (Almomani, 2020).

La finalidad de esta propuesta es presentar el Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento (CMMS) desarrollado para optimizar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías de los equipos biomédicos a cargo del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

## **5.2 Justificación de la propuesta**

El análisis realizado en los capítulos previos permitió identificar que el proceso actual de gestión de mantenimientos preventivos en el Departamento de Biomédica presenta limitaciones relacionadas con la planificación eficiente, el seguimiento de contratos y la centralización de información, debido a que carecen de un sistema automatizado y estructurado. Estas deficiencias

afectan la coordinación de las actividades de mantenimiento y aumentan el riesgo de interrupciones en los servicios de salud (Beniacoub, Ntwari, Niyonkuru, Nyseen, & Van Bastelaere, 2021).

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) responde a estas necesidades al optimizar la planificación, automatizar el seguimiento de contratos y centralizar la información en una plataforma accesible. Estudios recientes han demostrado que los sistemas CMMS son herramientas efectivas para mejorar la eficiencia operativa en hospitales, lo que resulta esencial para garantizar la seguridad y disponibilidad de los equipos biomédicos (Grosman-Rimon, HY Li, Collins, & Wegier, 2023).

Cabe destacar que, el impacto esperado de este sistema incluye la reducción de tiempos en la planificación, la disminución de errores humanos y la optimización de la coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento contratos dentro del Departamento de Biomédica. Dado que el sistema está diseñado como una aplicación de escritorio de fácil uso y con bajos requerimientos técnicos, lo cual garantiza su viabilidad económica y técnica, lo que lo hace una solución sostenible para el hospital de este estudio de caso (Almehwari, Almalki, Abumilha, & Altharwi, 2024).

### **5.3 Objetivos de la propuesta**

#### **5.3.1 Objetivo General**

- Proponer la implementación del sistema computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) desarrollado para mejorar la planificación, el seguimiento y el control de los mantenimientos preventivos y la gestión de contratos de equipos biomédicos en el Departamento de Biomédica del hospital The Panama Clinic.

### **5.3.2 Objetivos Específicos**

- Describir el módulo de inventario.
- Describir el módulo de mantenimientos preventivos.
- Describir el módulo de contratos y garantías.
- Validar la propuesta a través de la simulación de procesos del sistema de gestión computarizado (CMMS) utilizando el software Arena.

### **5.4 Metas por alcanzar**

#### **5.4.1 Diseño del CMMS**

- Documento técnico con la arquitectura del sistema.
- Diagramas de flujo y modelos de datos.
- Definición de módulos y funcionalidades clave.
- Recurso técnico: lenguaje de programación Python, base de datos SQL y plataforma de desarrollo Visual Studio Code.
- Tiempo estimado: 6 semanas.

#### **5.4.2 Desarrollo e implementación del sistema**

- Programación de la aplicación de escritorio con sus respectivos módulos.
- Integración de la base de datos para el almacenamiento de información de mantenimientos y contratos.
- Pruebas iniciales de funcionamiento y corrección de errores.
- Tiempo estimado: 8 semanas.

### **5.4.3 Propuesta de programa capacitación y pruebas con usuarios**

- Realización de una sesión de capacitación a los usuarios del Departamento de Biomédica.
- Aplicación de un cuestionario de validación para medir la usabilidad y funcionalidad del sistema.
- Ajustes finales en función de la retroalimentación obtenida.
- Recursos técnicos: Material de capacitación, acceso al CMMS, computadoras y sala con proyector.
- Tiempo estimado: 1 Semana.

### **5.4.4 Evaluación del sistema**

- Informe de evaluación del desempeño del sistema basado en pruebas funcionales.
- Análisis de satisfacción de los usuarios con base en los resultados de la encuesta aplicada.
- Recomendaciones para futuras mejoras.
- Tiempo estimado: 1 semana.

## **5.5 Beneficios**

La propuesta de implementación del CMMS desarrollado para el Departamento de Biomédica conlleva una serie de beneficios:

- Centralizar la información fundamental de los equipos biomédicos a cargo del Departamento.
- Obtener visibilidad mensual de los equipos que les corresponde mantenimiento preventivo para optimizar su planificación y aumentar la tasa de cumplimiento.
- Obtener visibilidad de contratos y garantías próximas a vencer para accionar en la renovación con los proveedores.

- Implementar un CMMS para lograr dejar atrás plataformas manuales y optimizar los tiempos de planificación, además de contar con un modelo adaptado según la OMS, Considerando a la OMS una institución respetada y bien valorada a nivel mundial, se decidió usar este modelo como base fundamental para la propuesta.
- Contar con una guía de uso para facilidad de manejo del sistema para los usuarios existentes y capacitación de nuevos usuarios en el futuro.
- Al tener el CMMS en código abierto, se puede mejorar su funcionalidad y ajustar a medida que el Departamento lo requiera.

## 5.6 Cronograma de actividades

**Tabla 12**

*Cronograma Gantt de actividades*

Actividad	Tareas	Duración	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16
Diseño del CMMS	Documento técnico con la arquitectura	1 Sem																
	Diagrama de flujo	1 Sem																
	Definición de módulos y funcionalidades	4 Sem																
Desarrollo e implementación del sistema	Programación de la aplicación	4 Sem																
	Integración de base de datos	1 Sem																
	Pruebas iniciales de funcionamiento	1 Sem																
	Corrección de errores	2 Sem																
Capacitación y pruebas con usuarios	Material de capacitación	1 Sem																
	Sesión de capacitación	1 Sem																
	Aplicación de cuestionario	1 Sem																
Evaluación del sistema	Informe de la evaluación del desempeño	1 Sem																
	Análisis de satisfacción de los usuarios	1 Sem																
	Recomendaciones a futuro	1 Sem																

En la Tabla 12, se observa el cronograma Gantt considerado para llegar a cabo esta propuesta.

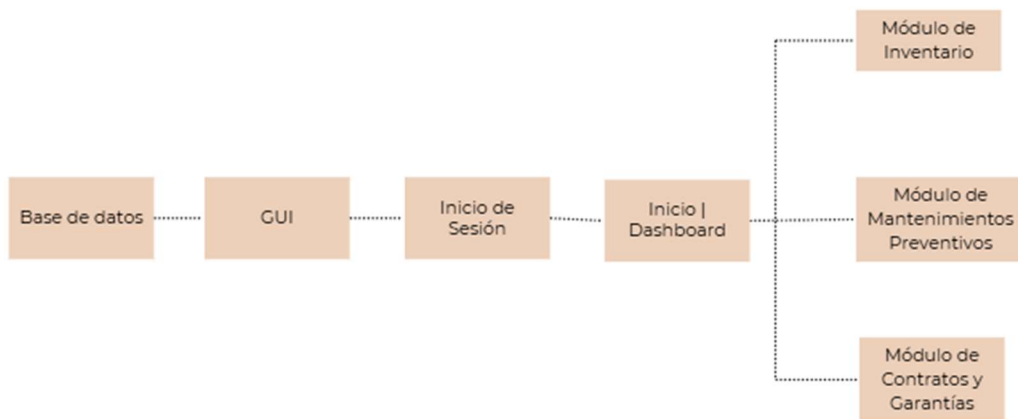
## 5.8 Diseño de la propuesta

### 5.8.1 Diseño y estructura del CMMS

Para empezar con el diseño del CMMS se partió por modelar el diagrama de bloques para definir los principales elementos del sistema.

#### Figura 10

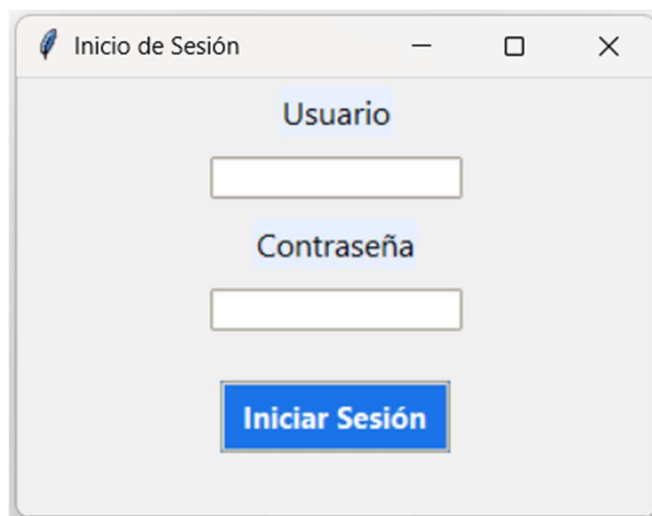
*Diagrama de bloques*



Como se muestra en la Figura 10, el diseño parte de la base de datos, la cual alimenta la interfaz de usuario (GUI) la cual, luego del inicio de sesión, da la posibilidad de acceder a cualquiera de los módulos determinados en el alcance de este diseño.

**Figura 11**

*Pantalla de inicio de sesión*



The image shows a window titled "Inicio de Sesión" (Login) with a standard Windows-style title bar. The window content is centered and contains the following elements from top to bottom: the label "Usuario" (User), a text input field, the label "Contraseña" (Password), another text input field, and a blue button with the text "Iniciar Sesión" (Login).

El sistema se abre con la ventana de inicio de sesión, la cual se puede observar en la Figura 11. Al usuario validar sus credenciales, se abre la ventana que despliega todo el CMMS la cual cuenta con un menú vertical en su lateral izquierdo, acompañado del logo del hospital. Este menú es fijo en toda la navegación por el sistema y sus módulos. En la pantalla de inicio mostrada en la Figura 12, se puede observar el menú lateral y sus posibles opciones, a su vez en esta pantalla de inicio contiene el dashboard con la información y gráficas relevantes.

## Figura 12

### *Pantalla principal del CMMS*



Para el módulo de mantenimientos preventivos, se muestra la tabla de mantenimientos en el mes seleccionado y la cantidad de mantenimientos correspondientes a dicho mes, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

*Pantalla de módulo de mantenimientos preventivos*

CMMS - Gestión de Equipos Biomédicos (Jefe)

### Calendario de Mantenimientos

<< Mes anterior 9/2025 Mes siguiente >>

Total de mantenimientos en 9/2025: 10

Equipo	Marca	Modelo	No. Serie	Ubicación General	Ubicación Específica
Autoclave	Steris	ASMC0 400	0326-31808	Central de Esterilización	Cuarto de Esterilización
Autoclave	Steris	ASMC0 600	0332-72138	Central de Esterilización	Cuarto de Esterilización
Lavadora	Steris	Vision	3626-718033	Central de Esterilización	Cuarto de Lavadoras
Electrocauterio	ERBE	VIO 3	11456641	Emergencia	Box 4 Adulto
Electrocauterio	ERBE	VIO 200 S +APC 2	11456876	Endoscopia	Cuarto de Procedimientos
Electrocauterio	ERBE	VIO 200 S + APC 2	11456880	Endoscopia	Cuarto de Procedimientos
Equipo de Criocirugía	ERBE	ERBECRYO	11469432	UCI	Almacén
Equipo Asistente para Tos	Philips	E70 Respironics	F3019309E4AF	UCI	Almacén
Monitor de Signos Vitales	Philips	CM120	CN92358170	Urología	Preparación de Pacientes
Monitor de Signos Vitales	Philips	CM120	CN92358171	Urología	Preparación de Pacientes

Se han redistribuido equitativamente los mantenimientos de base entre los biomédicos.

Cerrar Sesión

Figura 14

*Pantalla de módulo de contratos y garantías*

CMMS - Gestión de Equipos Biomédicos (Jefe)

### Contratos y Garantías

<< Mes anterior 11/2025 Mes siguiente >>

Contratos que vencen en 11/2025:

Equipo	Figura Actual	Fecha de Vencimiento	Proveedor
Autoclave	ContratoMP	01/11/2025	Promed
Autoclave	ContratoMP	01/11/2025	Promed
Lavadora	ContratoMP	01/11/2025	Promed
Bomba de Aire de Colchón	Garantía	22/11/2025	La Casa del Médico
Bomba de Aire de Colchón	Garantía	30/11/2025	La Casa del Médico
Cama Hospitalaria	Garantía	30/11/2025	La Casa del Médico
Cama Hospitalaria	Garantía	30/11/2025	La Casa del Médico
Cama Hospitalaria	Garantía	30/11/2025	La Casa del Médico

Cerrar Sesión

Como se muestra en la Figura 14, la pantalla para el módulo de contratos y garantías muestra la lista de equipos cuyo contrato/garantía vence en el mes seleccionado.

## Figura 15

*Pantalla de módulo de inventario*

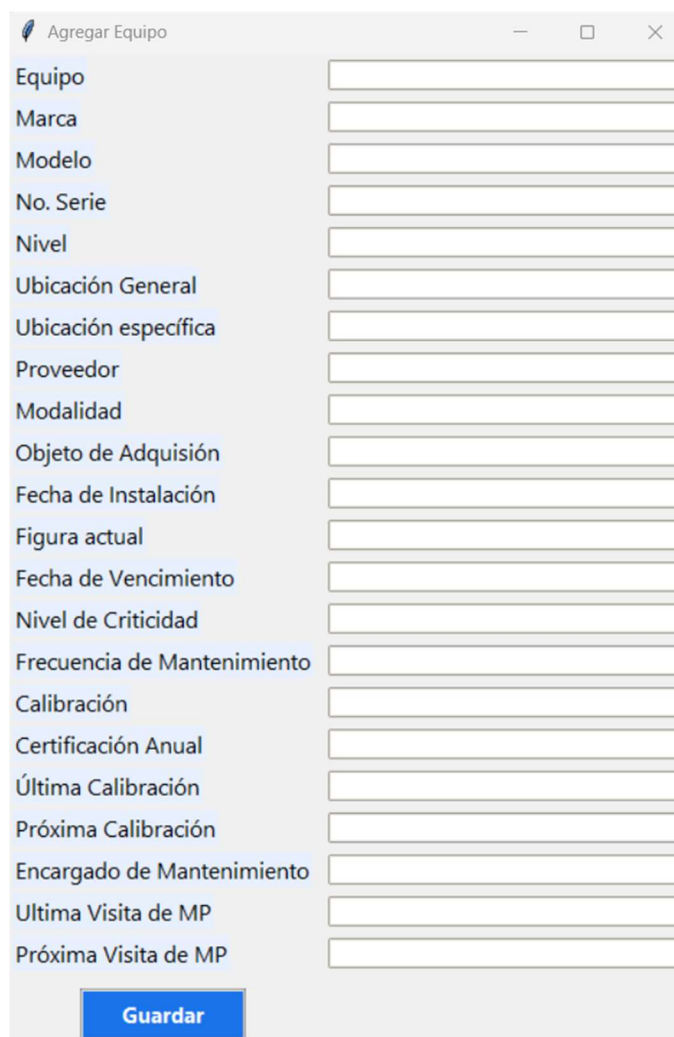
The screenshot displays the 'Inventario de Equipos' (Equipment Inventory) module. The interface includes a search bar with the text 'Buscar por nombre:' and buttons for 'Buscar' (Search) and 'Agregar Equipo' (Add Equipment). Below the search bar is a table listing equipment items. The table has columns for ID, Equipo (Equipment), Marca (Brand), Modelo (Model), Ubicación (Location), and Encargado (Responsible). The sidebar on the left contains navigation buttons for 'Inicio' (Home), 'Calendario de Mantenimientos Preventivos' (Preventive Maintenance Calendar), 'Contratos y Garantías' (Contracts and Warranties), 'Inventario de Equipos' (Equipment Inventory), and 'Cerrar Sesión' (Logout).

ID	Equipo	Marca	Modelo	Ubicación	Encargado
41	Dispensador de Medicamentos	Palex Medical	MED-FRM-104	Hospitalización	Biomédica-TPC
42	Microscopio	Nikon	Eclipse E400	Patología	Biomédica-TPC
43	Desfibrilador	Philips	DFM100	Centro Cardiopulmonar	EMSA
44	Electrocardiógrafo	Philips	TC20	Centro Cardiopulmonar	EMSA
45	Monitor Holter	Philips	DigiTrak XT	Centro Cardiopulmonar	EMSA
46	Monitor Holter	Philips	DigiTrak XT	Centro Cardiopulmonar	EMSA
47	Videolaringoscopio	Storz	Aquarios	UCI	Biomédica-TPC
48	Equipo de Urodinamia	Laborie	8403XK	Urología	Biomédica-TPC
49	Monitor de Signos Vitales	Philips	VSI	Urología	Biomédica-TPC
50	Desfibrilador	Philips	DMF100	Urología	Biomédica-TPC

Dentro del módulo de inventario de equipos, se encuentra una barra de búsqueda y la tabla con la información completa de los equipos biomédicos a cargo del Departamento tal como se muestra en la Figura 15.

**Figura 16**

*Pantalla pop-up para agregar equipos nuevos*



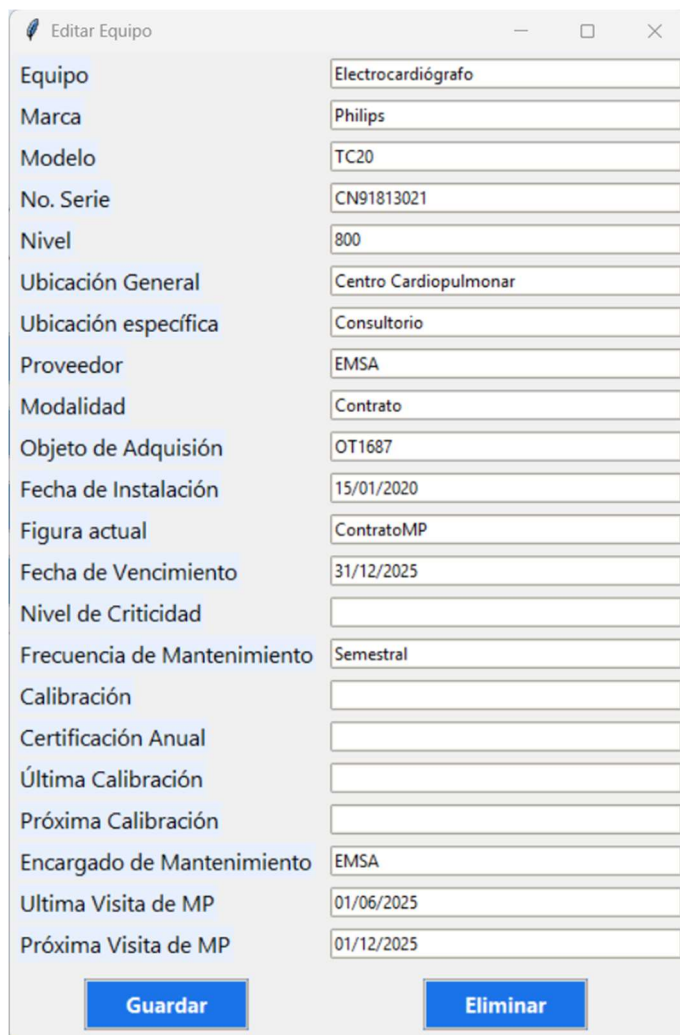
A screenshot of a web application's 'Agregar Equipo' (Add Equipment) pop-up window. The window has a title bar with a leaf icon, the text 'Agregar Equipo', and standard window controls (minimize, maximize, close). The form contains 20 text input fields, each preceded by a label. The labels are: Equipo, Marca, Modelo, No. Serie, Nivel, Ubicación General, Ubicación específica, Proveedor, Modalidad, Objeto de Adquisición, Fecha de Instalación, Figura actual, Fecha de Vencimiento, Nivel de Criticidad, Frecuencia de Mantenimiento, Calibración, Certificación Anual, Última Calibración, Próxima Calibración, Encargado de Mantenimiento, Última Visita de MP, and Próxima Visita de MP. At the bottom of the form is a blue button with the text 'Guardar'.

Label	Input Field
Equipo	<input type="text"/>
Marca	<input type="text"/>
Modelo	<input type="text"/>
No. Serie	<input type="text"/>
Nivel	<input type="text"/>
Ubicación General	<input type="text"/>
Ubicación específica	<input type="text"/>
Proveedor	<input type="text"/>
Modalidad	<input type="text"/>
Objeto de Adquisición	<input type="text"/>
Fecha de Instalación	<input type="text"/>
Figura actual	<input type="text"/>
Fecha de Vencimiento	<input type="text"/>
Nivel de Criticidad	<input type="text"/>
Frecuencia de Mantenimiento	<input type="text"/>
Calibración	<input type="text"/>
Certificación Anual	<input type="text"/>
Última Calibración	<input type="text"/>
Próxima Calibración	<input type="text"/>
Encargado de Mantenimiento	<input type="text"/>
Última Visita de MP	<input type="text"/>
Próxima Visita de MP	<input type="text"/>

**Guardar**

**Figura 17**

*Pantalla pop-up para editar campos de equipos*



The image shows a software window titled "Editar Equipo" (Edit Equipment). It contains a form with the following fields and values:

Field	Value
Equipo	Electrocardiógrafo
Marca	Philips
Modelo	TC20
No. Serie	CN91813021
Nivel	800
Ubicación General	Centro Cardiopulmonar
Ubicación específica	Consultorio
Proveedor	EMSA
Modalidad	Contrato
Objeto de Adquisición	OT1687
Fecha de Instalación	15/01/2020
Figura actual	ContratoMP
Fecha de Vencimiento	31/12/2025
Nivel de Criticidad	
Frecuencia de Mantenimiento	Semestral
Calibración	
Certificación Anual	
Última Calibración	
Próxima Calibración	
Encargado de Mantenimiento	EMSA
Ultima Visita de MP	01/06/2025
Próxima Visita de MP	01/12/2025

At the bottom of the form, there are two buttons: "Guardar" (Save) and "Eliminar" (Delete).

En este último módulo, es posible desplegar dos ventanas pop-up para agregar y editar equipos, según las Figuras 16 y 17 respectivamente. Donde se muestran los campos a llenar para ser guardados en la base de datos.

**Tabla 13***Definiciones de campos de base de datos*

<b>Campo</b>	<b>Definición</b>
Equipo	Nombre del tipo de equipo
Marca	Marca comercial dada por el fabricante
Modelo	Modelo del equipo determinado por el fabricante
Nº de Serie	Código único de identificación del equipo
Nivel	Nivel del edificio (Hospital) donde se encuentra el equipo
Ubicación General	Servicio médico al que pertenece el equipo
Ubicación Específica	Ubicación física exacta donde se encuentra el equipo
Proveedor	Empresa comercializadora del equipo
Modalidad	Modalidad de adquisición
Objeto de Adquisición	Número de referencia de documento de adquisición
Fecha de Instalación	Fecha en la que fue instalado el equipo en el hospital
Figura Actual	Figura en la que se encuentra el equipo (contrato/garantía)
Fecha de Vencimiento	Fecha que vence la figura que da cobertura al equipo
Nivel de Criticidad	Determina el riesgo que representa si el equipo falla
Frecuencia de Mantenimiento	Frecuencia de tiempo en que se debe realizar el MP
Calibración	Indica si el equipo requiere calibración
Certificación Anual	Indica si el equipo requiere certificación
Última Calibración	Fecha de última calibración
Próxima Calibración	Fecha de próxima calibración
Encargado del Mantenimiento	Equipo encargado de realizar el MP (Base o proveedor)
Último Mantenimiento	Fecha del último mantenimiento
Próximo Mantenimiento	Fecha de próximo mantenimiento

Los campos que componen la base de datos del CMMS desarrollado, se definen en la Tabla 13. Estos campos completan la información necesaria para la correcta gestión de los equipos dentro

del sistema desarrollado y es de la cual se alimentan los módulos para generar sus tablas según el proceso que corresponde.

### **5.8.2 Desarrollo del CMMS**

Una vez se llegó al diseño propuesto del CMMS, con sus módulos e interfaz se procede a determinar el lenguaje de programación en el cual desarrollarse. Se utilizó 'Python (Versión 3.14.0) por su versatilidad y amplia disponibilidad de librerías para desarrollo de interfaces y base de datos, lo que simplificó su desarrollo adaptándose a las limitaciones de esta investigación (Python Software Foundation, 2025).

Principalmente se utiliza la librería Tkinter para la visualización y construcción de la GUI determinada en el diseño, esta librería es la que contiene las funciones para definir las diferentes ventanas del CMMS y su contenido, así como su distribución en la pantalla y diseño: fuentes, colores, tamaño de fuente, imágenes, tablas, botones, etc.

Para lograr la interacción de la base de datos, se utiliza la librería SQLITE3 que permite trabajar de forma embebida con el lenguaje de SQL utilizando Python, con ella se define la base de datos que contendrá la información completa de los equipos biomédicos y los distintos queries para mostrar la data deseada en cada módulo del CMMS.

### **5.8.3 Funcionalidades clave**

Las funcionalidades claves del CMMS diseñado son optimizar el proceso de coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de contratos y garantías de los equipos biomédicos. La propuesta de implementación de este sistema impacta directamente en el cumplimiento planeación, organización y control.

Dentro del Departamento de Biomédica la planeación forma parte crucial en la ejecución de sus funciones, dentro de éstas se encuentra la ejecución de mantenimientos preventivos siguiendo como mínimo la frecuencia anual y el protocolo de mantenimiento indicado por el fabricante. Para llevar a cabo esta ejecución es necesario planificar los mantenimientos preventivos siguiendo la frecuencia a partir de la fecha de instalación del equipo en el hospital, asignando los meses donde corresponde. Seguido a esto, se debe coordinar idealmente con un mes de anticipación la fecha exacta dentro del mes en la que se realizará el mantenimiento, ya sea con el proveedor a cargo o con los ingenieros de planta del hospital.

De la misma manera se debe cumplir la planificación con la gestión de contratos y garantías, donde se debe planificar su renovación con anticipación para evitar que los equipos que dependen exclusivamente del proveedor para brindar servicios, no queden sin cobertura y se corra el riesgo de que presenten fallas y no puedan ser atendidas, lo que impacta directamente en la calidad del servicio de salud prestado por el hospital a sus pacientes.

En el pilar de la organización, ambos procesos descritos optimizados mediante el CMMS desarrollado, el cual da estructura mediante sus módulos y tablas alineados según los documentos técnicos de la OMS, donde se describen los campos específicos que conforman las tablas utilizadas para cada módulo. Esto provee la organización correcta de la información vital de los equipos biomédicos mejorando la consulta y visualización según las necesidades del usuario

#### **5.8.4 Instrumento para evaluar la percepción de usuarios**

Para obtener la percepción del sistema propuesto, se aplicó una segunda encuesta denominada encuesta percepción de usuario al jefe del departamento de biomédica.

Se obtuvo el siguiente resultado:

**Ítem 1 ¿Considera que la interfaz del sistema propuesto es intuitiva y comprensible?**

**Tabla 14**

*Respuesta ítem 1 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿Considera que la interfaz del sistema propuesto es intuitiva y comprensible?	SI

La tabla 14 muestra que el encuestado considera que el sistema propuesto es intuitivo y comprensible.

**Ítem 2 ¿Considera que se ha disminuido el número de clicks para visualizar la información?**

**Tabla 15**

*Respuesta ítem 2 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿Considera que se ha disminuido el número de clicks para visualizar la información?	SI

En la Tabla 15 se puede visualizar que el encuestado considera que se ha disminuido el número de clicks necesarios para visualizar la información dentro del sistema propuesto.

**Ítem 3 ¿El sistema propuesto proporciona la información clara para iniciar la coordinación de mantenimientos preventivos?**

**Tabla 16**

*Respuesta ítem 3 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿El sistema propuesto proporciona la información clara para iniciar la coordinación de mantenimientos preventivos?	SI

Se percibe que el sistema propuesto puede proporcionar de manera clara la información necesaria para la coordinación de los mantenimientos preventivos de los equipos, tal como indica la Tabla 16.

#### **Ítem 4 ¿El sistema propuesto facilita el seguimiento de contratos y garantías?**

##### **Tabla 17**

*Respuesta ítem 4 de encuesta de percepción*

<b>Ítem</b>	<b>Respuesta</b>
¿El sistema propuesto facilita el seguimiento de contratos y garantías?	SI

En la Tabla 17 se indica que la evaluación del sistema propuesto es positiva en cuanto a la facilidad de seguimiento de contratos y garantías de los equipos biomédicos.

#### **Ítem 5 ¿La base de datos del sistema propuesto cuenta con campos de tipo de equipo, modelo y ubicación?**

##### **Tabla 18**

*Respuesta ítem 5 de encuesta de percepción*

<b>Ítem</b>	<b>Respuesta</b>
¿La base de datos del sistema propuesto cuenta con campos de tipo de equipo, modelo y ubicación?	SI

La evaluación de la tabla que despliega la base de datos dentro del sistema propuesto cuenta con campos de tipo de equipo, modelo y ubicación, como se afirma en la Tabla 18.

**Ítem 6 ¿El sistema propuesto cuenta con un módulo de reportes, que incluya el cumplimiento mensual de MP y contratos activos?**

**Tabla 19**

*Respuesta ítem 6 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿El sistema propuesto cuenta con un módulo de reportes, que incluya el cumplimiento mensual de MP y contratos activos?	SI

Se afirma que el sistema propuesto cuenta con un módulo de reportes, donde se incluye el cumplimiento de MP mensualmente y contratos activos como se observa en la Tabla 19.

**Ítem 7 ¿El sistema propuesto posee notificaciones para mantenimientos preventivos?**

**Tabla 20**

*Respuesta ítem 7 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿El sistema propuesto posee notificaciones para mantenimientos preventivos?	NO

En la Tabla 20 se indica que el sistema propuesto no cuenta con notificaciones relacionadas a mantenimientos preventivos.

**Ítem 8 ¿El sistema propuesto posee notificaciones para contratos o garantías próximos a vencer?**

**Tabla 21**

*Respuesta ítem 8 de encuesta de percepción*

Ítem	Respuesta
¿El sistema propuesto posee notificaciones para contratos o garantías próximos a vencer?	NO

En cuanto a las notificaciones para contrato o garantías próximos a vencer, el encuestado indica que el sistema propuesto no las posee, como se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 22**

*Resumen de resultados de encuesta de percepción de usuario*

<b>Concepto</b>	<b>Resultado</b>
Interfaz gráfica intuitiva y comprensible	Si, se percibe intuitiva y comprensible
Número de clicks para visualizar la información	Se ha disminuido
Información clara de equipos para coordinar mantenimientos preventivos	Si, dentro del módulo de mantenimientos preventivos
Fácil seguimiento de contratos y garantías	SI, dentro del módulo de contratos y garantías
Existencia de campos de tipo de equipo, modelo y ubicación	Si, posee los tres campos
Módulo de reportes	Si, se cuenta con módulo de reportes actualizados de forma automática
Notificaciones para mantenimientos preventivos	No, el sistema no notifica sobre mantenimientos preventivos
Notificaciones para contratos o garantías próximos a vencer	No, el sistema no notifica sobre contratos o garantías próximas a vencer

Se puede observar en la Tabla 22, que el sistema propuesto cumple en cuanto al tener una interfaz intuitiva, su usabilidad optima mediante la disminución del número de clicks para visualizar la información, facilita la visualización de la información al presentarse clara, lo que impacta de manera positiva la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de contratos y garantías, la base de datos cuenta con campos de tipo de equipo, modelo y ubicación del equipo, y cuenta con un módulo de reportes actualizables de manera automática. También en la Tabla 18 indica que el sistema propuesto no cuenta con notificaciones para ninguno de los dos procesos evaluados: coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos y garantías, que, aunque el usuario indica que se muestran en números para los próximos 30 días, el sistema no emite notificaciones por correo electrónico o mediante pop-ups.

**Tabla 23***Comparación entre herramienta actual y el sistema propuesto*

Dimensión	Indicador	Herramienta actual		Sistema propuesto	
		MP	Contratos	MP	Contratos
Usabilidad del Sistema	Tiempo de respuesta	6 Clicks	N/A	2 Clicks	2 Clicks
Módulo de Inventario	Campo de tipo de equipo	Posee campo de tipo de equipo, pero no se encuentra estandarizado		Posee campo de tipo de equipo estandarizado	
	Campo de modelo de equipo	Posee campo de modelo de equipo, pero no se encuentra estandarizado		Posee campo de modelo de equipo estandarizado	
	Campo de ubicación de equipo	Posee campo de ubicación, pero no se encuentra estandarizado		Posee campo de ubicación de equipo estandarizado	
Módulo de mantenimientos preventivos	Notificaciones de MPs	No hay notificaciones para mantenimientos preventivos		No hay notificaciones para mantenimientos preventivos	
	Documentación de reportes de MPs	No posee documentación dentro de la herramienta		No posee documentación dentro del sistema	
Módulo de gestión de contratos	Información detallada del contrato	Solo incluye vigencia del contrato/garantía		Incluye la información completa del contrato	
	Notificaciones de contratos a vencer	No hay notificaciones para vencimiento de contratos		No hay notificaciones para vencimiento de contratos	
Reportes y documentación	Reporte de cumplimiento de MPs	Los reportes son generados manualmente		El sistema posee módulo de reportes que incluye seguimiento de MP	
	Reporte de contratos activos y vencidos	Los reportes son generados manualmente		El sistema posee módulo de reportes que incluye contratos activos	

En la Tabla 23 se puede observar una comparativa entre la herramienta utilizada actualmente por el departamento versus el sistema de gestión propuesto en esta investigación, utilizando los indicadores propuestos en el mapa de variables como puntos de comparación. Para la dimensión de usabilidad del sistema, medida con el número de clicks necesarios para acceder a la información, se observa que en la herramienta actual se requieren 6 clicks para visualizar la lista de equipos a las que les corresponde mantenimiento preventivo en un mes determinado, esto debido a que es un proceso completamente manual dentro de la herramienta, donde se aplican filtros a una hoja de cálculo, mientras que en el sistema propuesto con solo dos clicks se puede acceder a la lista de equipos del mes deseado. Por otro lado, para el proceso de seguimiento de contratos, en la herramienta actual no es posible visualizar ni la fecha de inicio ni de vencimiento del contrato/garantía. Mientras que en el sistema propuesto se obtiene la lista de forma automática al entrar al módulo de contratos y seleccionar (2 clicks) el mes en el cual se desea saber la lista de equipos que quedaran fuera de cobertura, demostrando así la existencia de un Módulo de Mantenimientos Preventivos y un Módulo de Gestión de Contratos en el sistema propuesto, de los cuales la herramienta utilizada actualmente carece. En cuanto al Módulo de Inventario, ambos cuentan con los tres campos mencionados, pero en el sistema propuesto se tienen de manera estandarizada. Para los indicadores que consideran notificaciones, ninguno de las dos cuentas con dicha funcionalidad.

Para cumplir con el tercer objetivo planteado: “Validar el sistema de gestión desarrollado mediante los documentos técnicos de sistemas computarizados de gestión de mantenimiento (CMMS) publicados por la OMS” se realiza una comparación entre los resultados de la encuesta de percepción y la estructura/funcionalidad recomendada para CMMS por la OMS.

**Tabla 24**

*Comparación entre el sistema propuesto y los lineamientos recomendados por la OMS*

<b>Definición OMS</b>		<b>Sistema propuesto</b>
Estructura de un CMMS	La base de datos está compuesta por campos, tablas, módulos y pantallas.	El sistema está compuesto por módulos y pantallas, alimentados por una base de datos que contiene tablas y campos
Codificación de Campos	La codificación de campos estandariza la base de datos, lo que resulta en campos estandarizados y homogéneos.	Se codifican los campos de tipo de equipo, ubicación, proveedor y encargado del MP
Módulo de Mantenimiento	Ayuda al usuario del CMMS a gestionar de forma eficaz su calendario de mantenimiento.	El sistema cuenta con un módulo de mantenimiento preventivo donde se calendarizan los equipos según el mes que les corresponde
Módulo de Gestión de Contratos	Se utiliza para realizar el seguimiento de todos los servicios de mantenimiento prestados por entidades externas	El sistema cuenta con un módulo de gestión de contratos donde se puede hacer seguimiento de la vigencia de los contratos
Reportes	Permiten controlar las actividades relacionadas con la gestión de los equipos médicos.	El sistema cuenta con pantalla de reportes tipo dashboard
Documentación	El departamento de ingeniería clínica debe conservar una documentación clara, exacta y completa de todos los componentes del sistema.	En la propuesta se incluye la documentación del sistema desarrollado

En la Tabla 24 se observa que el sistema propuesto cumple con las 6 definiciones seleccionadas para su diseño y evaluación.

La estructura del sistema propuesto satisface los requisitos de campos, tablas, módulos y pantallas planteados para la estructura de un CMMS para equipos biomédicos, los campos a su vez cumplen con la codificación estandarizada para obtener una base de datos homogénea y de fácil entendimiento.

Los módulos de mantenimiento y de gestión de contratos forman parte de la estructura del sistema propuesto, aportando a lo que sus definiciones indican. Además, el sistema cuenta con una

pantalla de reportes que permite monitorear el avance de los mantenimientos preventivos y el seguimiento de contratos y garantías.

En última instancia, la propuesta de esta investigación con el sistema desarrollado incluye la documentación pertinente para su uso y capacitación como lo indican los documentos técnicos para CMMS para dispositivos médicos de la OMS (World Health Organization, 2012).

## **5.9 Validación de la propuesta**

La validación de la propuesta presentada en este capítulo será realizada mediante la simulación de los procesos involucrados como objeto de optimización el cual ha sido planteado en los objetivos generales y específicos, en la cual se utilizó el software ‘Arena Simulation (16.20.09)’ software que permite modelar flujos de entidades, recursos y tiempos de espera, así como configurar diferentes escenarios que se aproximen al uso real del sistema una vez implementado (Rockwell Automation, 2025).

### **5.9.1 Introducción a la simulación**

Esta simulación se basó en los flujos lógicos para los tres módulos principales que componen el CMMS desarrollado: Módulo de Inventario, Módulo de Mantenimientos Preventivos y Módulo de Contratos y Garantías, se consideran estos procesos en dos escenarios, llevándose a cabo mediante el sistema utilizado actualmente por el departamento de biomédica, el cual es manual basado en hojas de Excel, y como segundo escenario llevando estos procesos a cabo a través del sistema desarrollado CMMS a lo largo de esta tesis.

El uso de sistemas manuales como Excel, puede aumentar el riesgo de omisión por error humano e invertir mucho tiempo en la coordinación y seguimiento. Al hacer una comparativa entre el sistema manual y el CMMS propuesto, se cuantifica la optimización de tiempos empleados, y

análisis de estos resultados, pueden influir significativamente en la toma de decisiones para su implementación.

### 5.9.2 Diseño del modelo en Arena

El diseño del modelo en Arena se realizó aislando los tres módulos del CMMS para ser simulados por separado, considerando que las entidades de entrada a cada uno de estos módulos son distintas entre sí. Se estableció una simulación por módulo, modelando el paso a paso de los procesos antes (manual) y después (CMMS propuesto), dando un total de 6 simulaciones realizadas.

**Tabla 25**

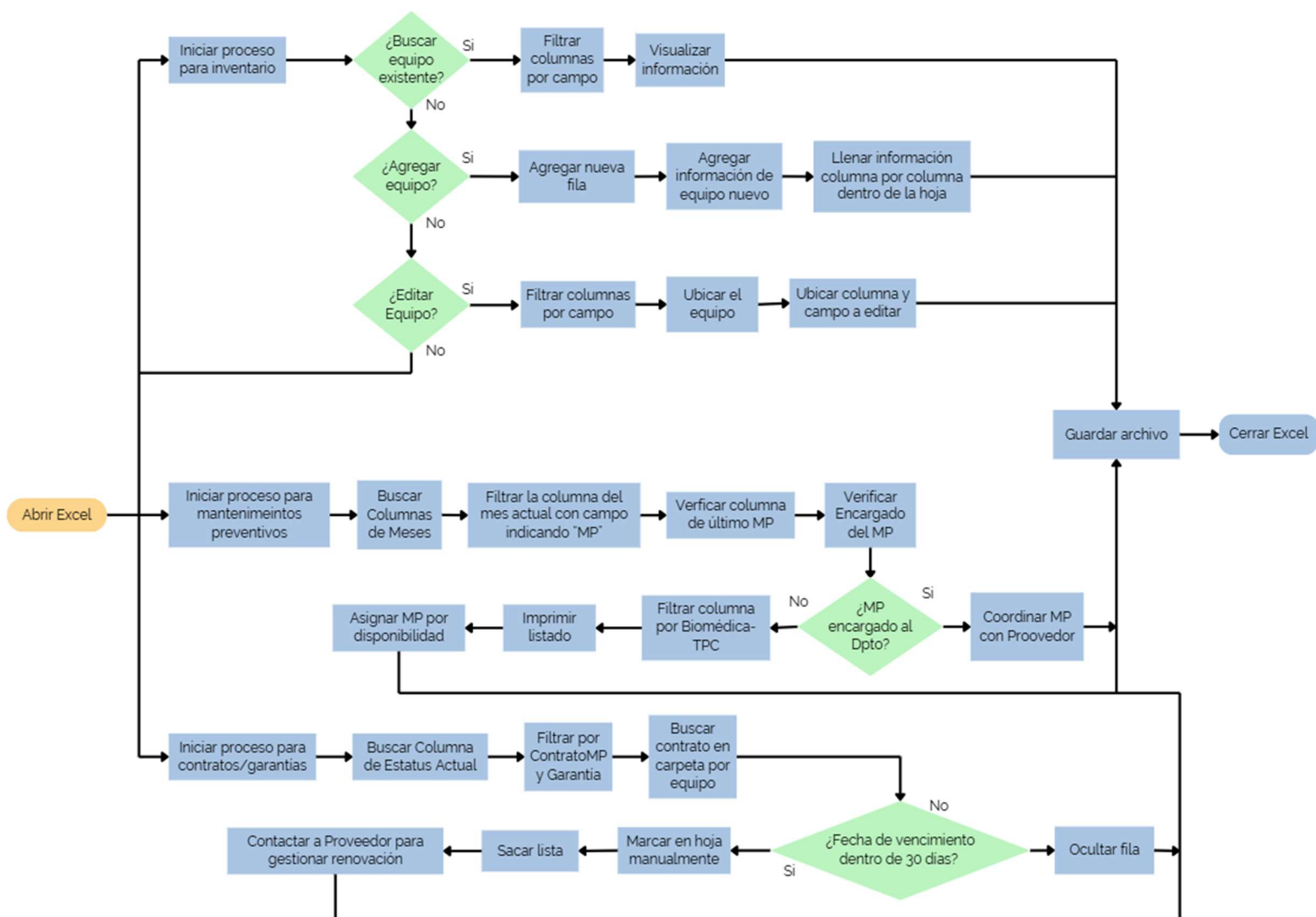
*Entidades y recursos asignados a cada módulo para la simulación*

<b>Proceso</b>	<b>Entidad</b>	<b>Recurso</b>
Módulo de Inventario	Equipos Biomédicos	Ingeniero Biomédico
Módulo de Mantenimientos Preventivos	Ordenes de trabajo	
Módulo de Contratos y Garantías	Contratos y Garantías	

Como se muestra en la Tabla 25, se establecen las entidades para cada módulo, las cuales atravesarán el flujo del proceso correspondiente y se asigna el recurso encargado para todos los procesos, según la estructura del Departamento.

Figura 18

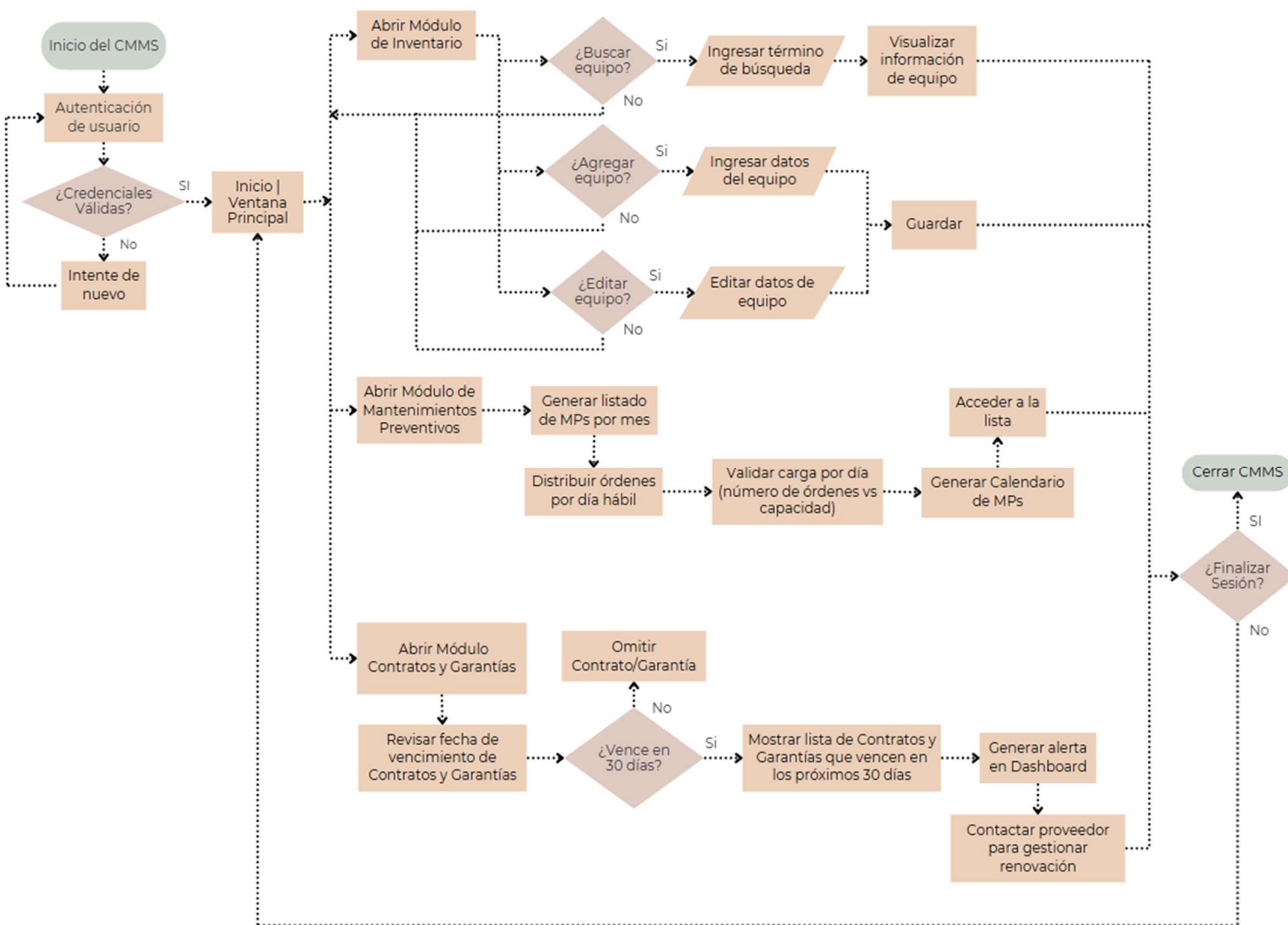
Diagrama de flujos de procesos en sistema actual



La Figura 18 presenta el diagrama de flujo de procesos que se ejecuta actualmente por el ingeniero encargado dentro del Departamento de Biomédica, se sigue el paso a paso del procedimiento establecido dentro de la hoja de Excel.

Figura 19

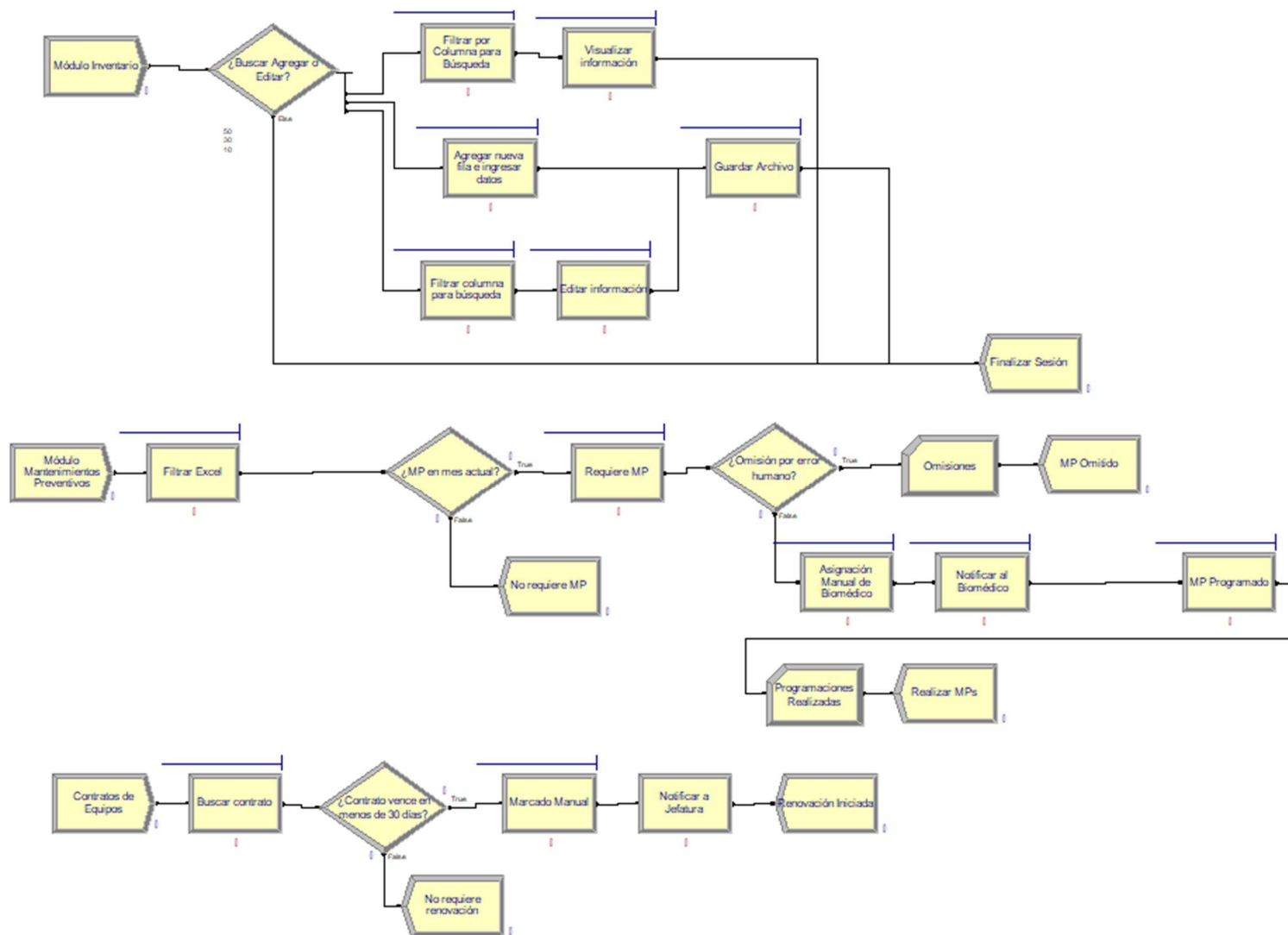
Diagrama de flujos del CMMS propuesto



El diagrama de flujo de los procesos ahora llevados a cabo mediante el CMMS, se puede observar en la Figura 19, donde se minimizan la cantidad de procesos gracias a la automatización propuesta.

**Figura 20**

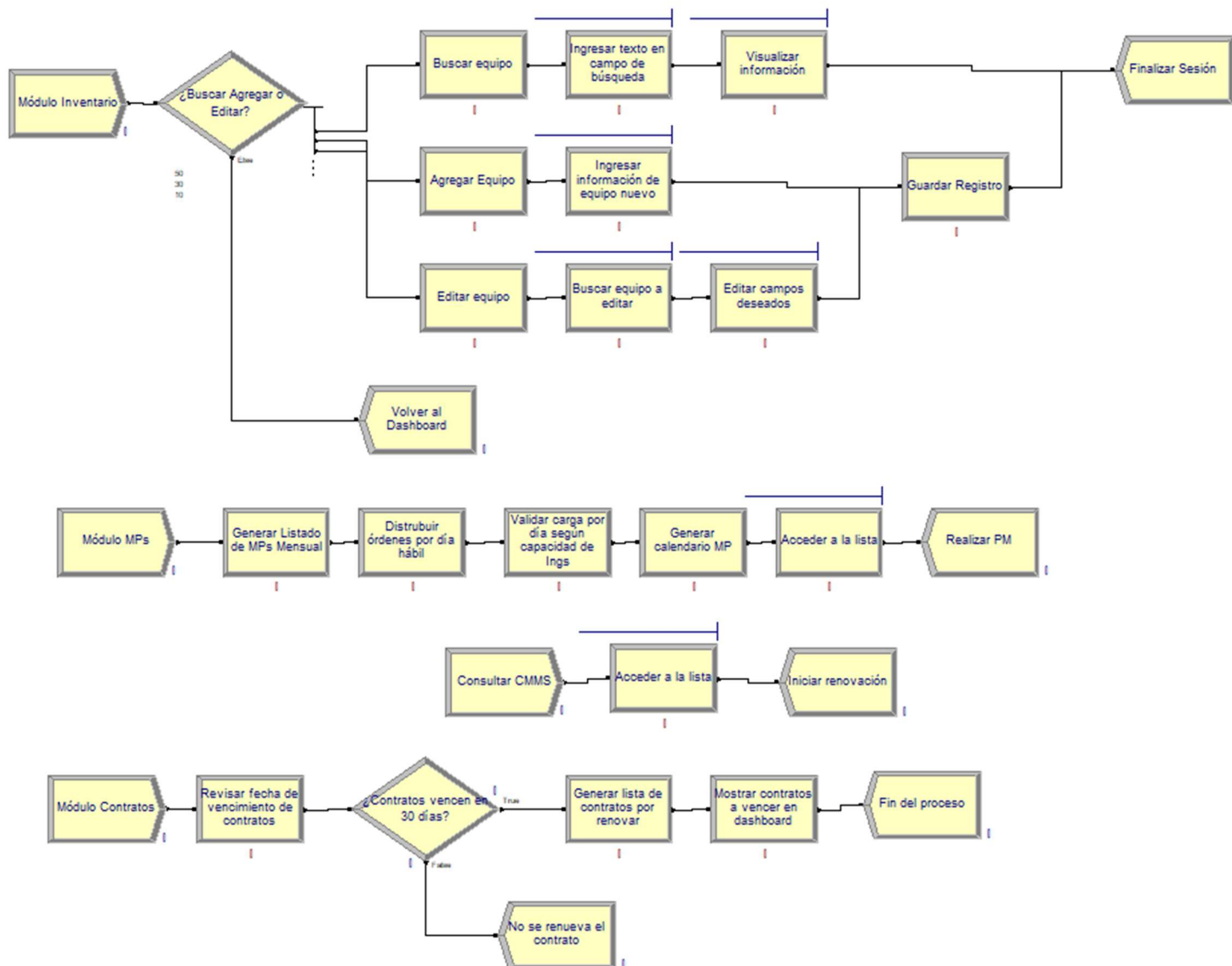
*Modelo en Arena de procesos con el sistema actual*



Los diagramas de flujo sirvieron de base para el modelado de la simulación en Arena, utilizando los bloques para construir el modelo en Arena ilustrado en la Figura 20, para los procesos con el sistema actual dentro del Departamento.

**Figura 21**

*Modelo en Arena de procesos con el CMMS propuesto*



De la misma forma, se modela en Arena el flujo con base al diagrama correspondiente al sistema CMMS propuesto, como se muestra en la Figura 21.

Ambos modelos representan los flujos para cada módulo correspondiente al escenario del estado actual (manual) y al escenario automatizado (CMMS propuesto) a ser simulados.

### 5.9.3 Datos y Lógica de Entrada

El Departamento de Biomédica del Hospital The Panamá Clinic trabaja de lunes a viernes por 8 horas diarias y los sábados por 4 horas. Considerando un promedio mensual de 26 días hábiles, el departamento estaría trabajando 11520 minutos al mes. Se consideran todas las unidades de tiempo en minutos para tener consistencia y poder cuantificar los resultados.

Para el Módulo de Inventario, se toma una curva de entrada de entidades dada por una expresión exponencial, como estas entidades representan consultas al inventario de equipo biomédicos, esta curva genera de forma aleatorias durante el día la llegada de estas consultas. Se consideran para la simulación 5 consultas diarias, lo que para 26 días hábiles da un total de 130 revisiones al mes. Como se muestra en la Ecuación 2, el cálculo de la media para el argumento de la exponencial se obtiene:

$$\text{Cálculo de media} = \frac{\text{Total de minutos hábiles}}{\text{Revisiones al mes}} = \frac{11520}{130} = 88.62 \quad (2)$$

**Tabla 26**

*Parámetros de entrada para módulo de inventario*

<b>Parámetros de entrada para Módulo de Inventario</b>	
Type	Expression
Expression	Expo(82.62)
Entities per Arrival	1
Max Arrivals	130
First Creation	0.0

En la Tabla 26 se muestran los parámetros de entrada de las entidades al módulo de inventario, donde llega una sola entidad (consulta al inventario) cada cierto tiempo determinado por la exponencial con una media de 82.62 minutos.

Se considera un tiempo de simulación de 26 días hábiles (37440 minutos), ya que este proceso es repetitivo durante el mes, los ingenieros del departamento deben consultar el inventario para buscar, agregar o editar información de equipos en la base de datos.

Para los módulos de mantenimientos preventivos y contratos y garantías, las entidades entran de forma constante, debido a que estos módulos consideran procesos que se deben hacer antes de iniciar el mes y consideran una carga de trabajo que debe realizarse máximo en dos días, por lo que se debe revisar la información de los equipos para determinar las listas de mantenimientos preventivos para el próximo mes y los contratos/garantías por vencerse durante el mes siguiente.

**Tabla 27**

*Parámetros de entrada para módulo de mantenimientos preventivos*

<b>Parámetros de entrada para Módulo de Mantenimientos Preventivos</b>	
Type	Constant
Value	0
Entities per Arrival	100
Max Arrivals	1
First Creation	0.0

**Tabla 28**

*Parámetros de entrada para módulo de contratos y garantías*

<b>Parámetros de entrada para Módulo de Contratos y Garantías</b>	
Type	Constant
Value	0
Entities per Arrival	100
Max Arrivals	1
First Creation	0.0

La Tabla 27 y la Tabla 28 muestran los parámetros de entrada para ambos módulos, se considera una curva constante (recta) con un Value 0, para que todas las entidades entren al proceso en el primer instante, es decir, todos los equipos y todos los contratos/garantías para ser revisados. En ambos casos se toma una muestra de 100 entidades para entrar a la simulación.

Para ambos módulos se considera el tiempo de simulación de 2 días (16 horas o 960 minutos) considerando este tiempo el máximo que debe tomar el ingeniero encargado en procesar y obtener la información de mantenimientos preventivos y contratos/garantías que ejecutar/renovar el próximo mes correspondiente.

Una vez realizadas todas las simulaciones, se definen los principales KPIs (Key Performance Indicator) a tomar en consideración para la comparativa de los procesos antes y después de la propuesta. Se utiliza la Ecuación 3 para calcular el porcentaje (%) de mejora en comparación de los escenarios simulados.

$$\%Mejora = \frac{Manual - CMM}{Manual} \times 100 \quad (3)$$

El cálculo de este porcentaje permite cuantificar la optimización de los procesos entre los escenarios.

**Tabla 29***KPIs definidos para la simulación*

<b>KPI</b>	<b>Definición</b>	<b>Magnitud (Unidad)</b>
<b>Tiempo Total por Entidad</b>	Tiempo promedio que tarda cada entidad en atravesar todo el proceso simulado.	Minutos
<b>Tiempo de Espera Promedio</b>	Tiempo promedio que las entidades permanecen en espera dentro de las colas antes de ser atendidas.	Minutos
<b>Tiempo VA (Value-Added)</b>	Tiempo efectivo que el recurso dedica a actividades de valor agregado (ej. revisión, ejecución de MP, gestión de contrato).	Minutos
<b>Número en Cola (Number Waiting)</b>	Promedio de entidades en cola en cada punto del sistema durante la simulación.	Cantidad de entidades
<b>WIP (Work In Process)</b>	Promedio de entidades que están siendo procesadas activamente en el sistema (no terminadas).	Cantidad de entidades
<b>Utilización de Recurso</b>	Proporción de tiempo en que un recurso (ej. biomédico o coordinador) estuvo ocupado respecto al tiempo disponible.	Porcentaje %

*Nota:* (Rockwell Automation Inc., 2022).

Como se observa en la Tabla 29, se definen 6 indicadores (KPIs) para tomar como puntos de comparación cuantificables entre los escenarios de simulación.

**Tabla 30**

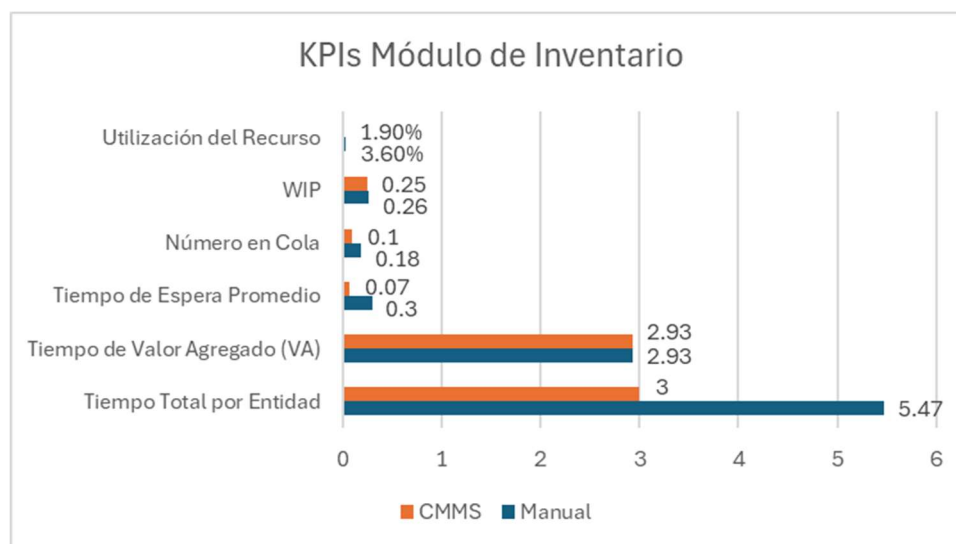
*Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de inventario*

<b>Módulo</b>	<b>KPI</b>	<b>Manual</b>	<b>CMMS</b>	<b>Mejora (%)</b>
<b>Inventario</b>	Tiempo Total por Entidad	5.47	3.00	<b>45.2%</b>
	Tiempo de Espera Promedio	0.30	0.07	<b>76.7%</b>
	Tiempo de Valor Agregado (VA)	2.93	2.93	<b>0%</b>
	Número en Cola	~0.18	~0.10	<b>44.4%</b>
	WIP	~0.26	~0.25	<b>3.8%</b>
	Utilización del Recurso	3.6%	1.9%	<b>47.2%</b>

En la Tabla 30, se encuentran los resultados por indicador para la simulación del Módulo de Inventario, se observa como disminuyen significativamente los indicadores con la simulación del modelo del sistema CMMS propuesto. Principalmente, se logra una reducción del 45.2% en el tiempo total que tarda una entidad a través de todo el proceso y 76.7% menos en tiempos de espera promedio, además se observa la disminución de la utilización del recurso humano cerca de la mitad en comparación con el proceso llevado actualmente por el departamento.

## Figura 22

*Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de inventario*



En la Figura 22, se muestra gráficamente la disminución en todos los indicadores medidos en la simulación, donde los datos para el CMMS propuesto se reducen muy considerablemente, Tiempo Total por Entidad se reduce cerca de la mitad, el Tiempo VA se mantiene, Tiempo de Espera Promedio de 0.3 min a 0.07 min y la utilización del recurso del 3.60% al 1.90%.

**Tabla 31**

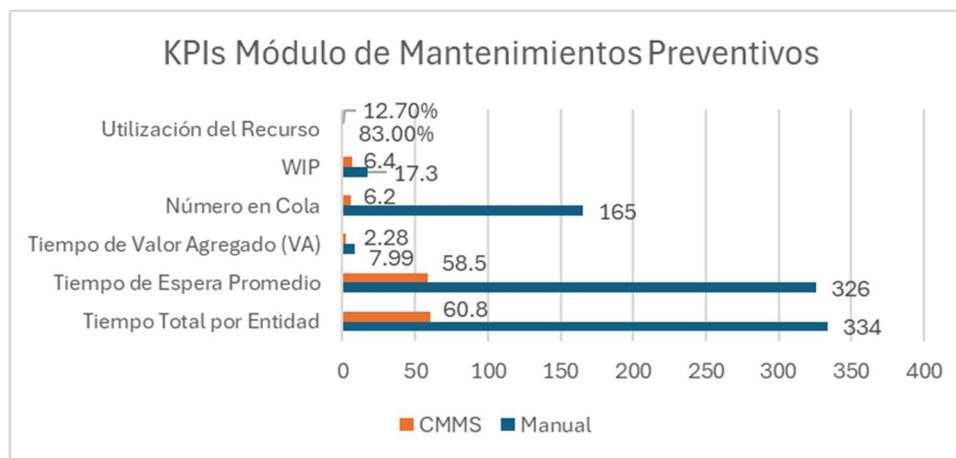
*Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de mantenimientos preventivos*

<b>Módulo</b>	<b>KPI</b>	<b>Manual</b>	<b>CMMS</b>	<b>Mejora (%)</b>
<b>Mantenimientos Preventivos</b>	Tiempo Total por Entidad	334.0	60.8	<b>81.8%</b>
	Tiempo de Espera Promedio	326.0	58.5	<b>82.1%</b>
	Tiempo de Valor Agregado (VA)	7.99	2.28	<b>71.5%</b>
	Número en Cola	165.0	6.2	<b>96.2%</b>
	WIP	~17.3	~6.4	<b>63.0%</b>
	Utilización del Recurso	83.0%	12.7%	<b>84.7%</b>

Como se puede observar en la Tabla 31, en los indicadores para la simulación del Módulo de Mantenimientos preventivos destaca la reducción de entidades en cola para ser procesadas de 165 a 6 entidades en el modelo propuesto del CMMS, reduciendo un 96.2% entre los escenarios. Los indicadores de tiempo también se vieron disminuidos mejorando aproximadamente un 80% ambos indicadores. Finalmente, la utilización del recurso se redujo en un 84.7%, de 83% a 12.7% de utilización en este módulo.

### Figura 23

Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de mantenimientos preventivos



Como se muestra en la Figura 23, la cual presenta gráficamente los resultados de los indicadores medidos para el módulo de mantenimientos preventivos, los cuales se reducen en el segundo escenario simulado. Destacan los indicadores de tiempo, los cuales disminuyen de 300 minutos a 60 minutos aproximadamente, también se aprecia la diferencia en los números de entidades en WIP (Work in process) y número en cola, así como en la utilización del recurso, la cual se reduce de 83% a 12.70%, mostrando una optimización significativa en los resultados.

**Tabla 32**

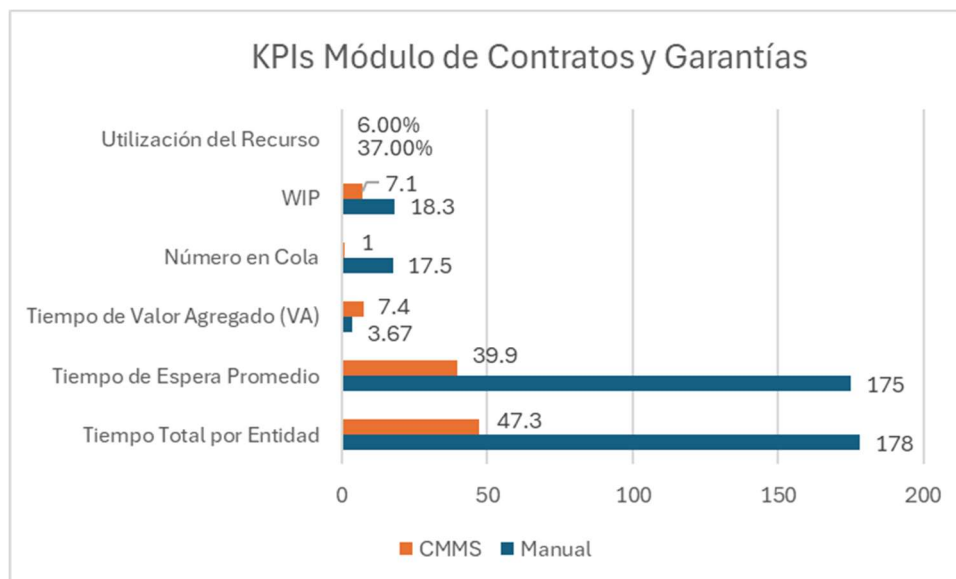
*Resultados de indicadores obtenidos en la simulación del módulo de contratos y garantías*

<b>Módulo</b>	<b>KPI</b>	<b>Manual</b>	<b>CMMS</b>	<b>Mejora (%)</b>
<b>Contratos / Garantías</b>	Tiempo Total por Entidad	178.0	47.3	<b>73.4%</b>
	Tiempo de Espera Promedio	175.0	39.9	<b>77.2%</b>
	Tiempo de Valor Agregado (VA)	3.67	7.40	<b>101.6%</b>
	Número en Cola	17.5	1.0	<b>94.3%</b>
	WIP	~18.3	~7.1	<b>61.2%</b>
	Utilización del Recurso	37.0%	6.0%	<b>83.8%</b>

En la simulación del Módulo de Contratos y Garantías, los resultados de la simulación que se muestran en la Tabla 32 representan una reducción significativa en los números del escenario del CMMS propuesto, donde el tiempo total por entidad y tiempo de espera promedio se disminuyen en un 70%, el número de entidades en cola en un 94.3% y la utilización del recurso en un 83.8%.

## Figura 24

Gráfica general del comparativo de indicadores de la simulación del módulo de contratos y garantías



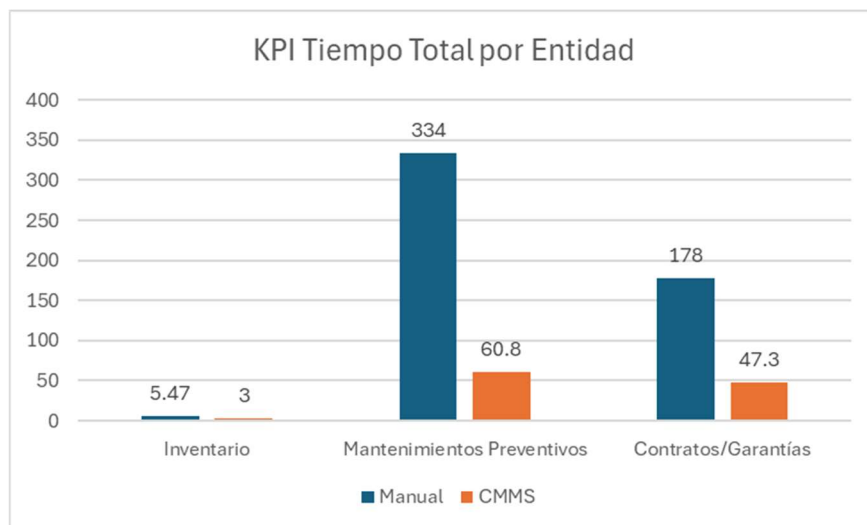
Se puede observar de forma gráfica en las barras de la Figura 24, como los indicadores disminuyen para este módulo de contratos y garantías. Los tiempos de espera y total se reducen cerca de un tercio en comparación del sistema manual, mientras que el tiempo de valor agregado aumenta con la simulación del CMMS propuesto. Por otro lado, los indicadores por entidad, donde el número en cola se ve disminuido drásticamente de 17.5 a 1 entidad, y el WIP por debajo de la mitad de los valores de la simulación del sistema manual. Para la utilización del recurso en este módulo, se disminuye del 37% al 6%.

### 5.9.4 Discusión de los Resultados

Con el objetivo de visualizar los resultados de los indicadores para los tres módulos que componen el CMMS propuesto, se grafican los resultados de los módulos para los indicadores de Tiempo Total por Entidad, Tiempo de Espera Promedio y Utilización del Recurso.

## Figura 25

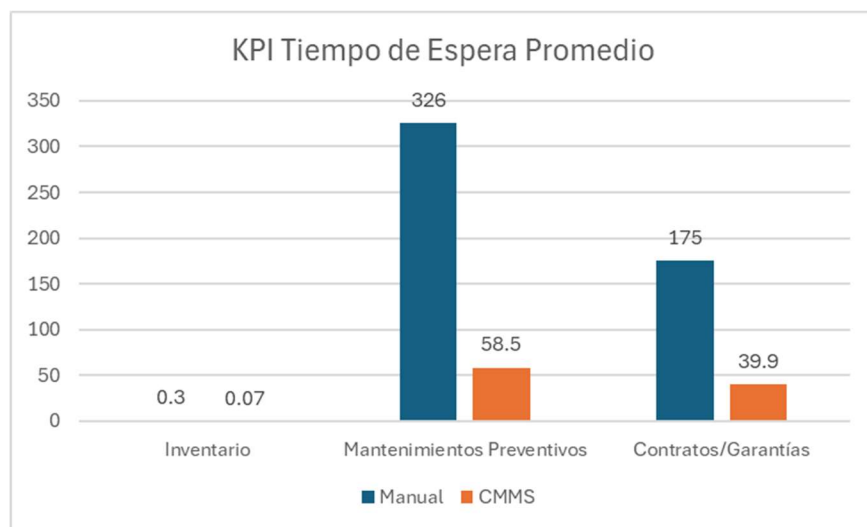
Gráfica del indicador Tiempo Total por Entidad comparativa para todo el sistema



En la Figura 25 se distinguen los resultados de Tiempo Total por Entidad, en la cual se evidencia la disminución del indicador en los tres módulos, siendo el Módulo Mantenimientos Preventivos donde se ubica la diferencia más relevante.

## Figura 26

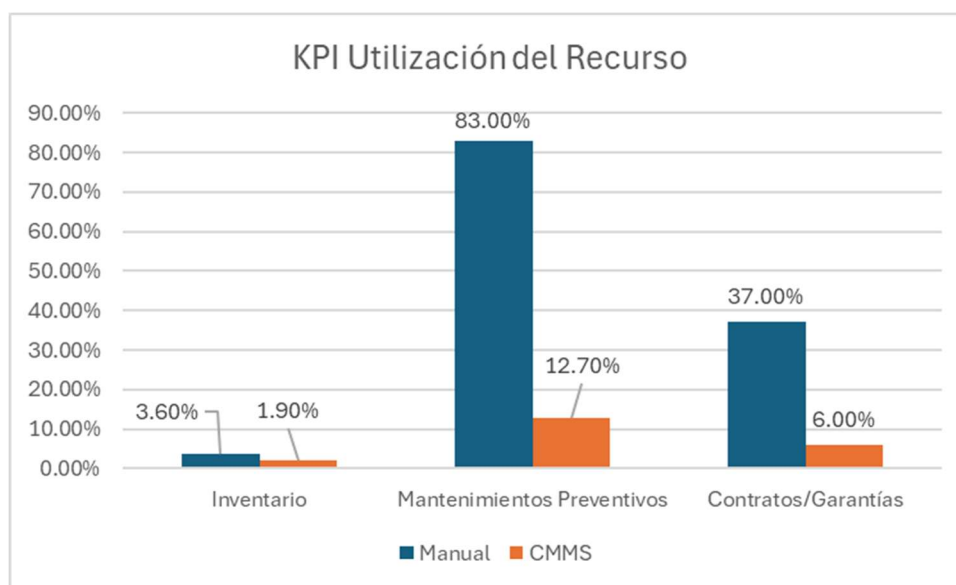
Gráfica del indicador Tiempo de Espera Promedio comparativa de todo el sistema



Tal como refleja la Figura 26, el indicador de Tiempo de Espera promedio para la comparativa de los tres módulos se disminuye, la diferencia más grande se ubica en el Módulo de Mantenimientos Preventivos, seguido por el Módulo de Contratos y Garantías.

### Figura 27

*Gráfica del indicador Utilización del Recurso comparativa de todo el sistema*



La Figura 27 presenta la reducción del indicador Utilización del Recurso para los tres módulos, donde se comprueba la reducción de la simulación de procesos manual frente a los procesos automatizados con el CMMS propuesto, y se evidencia que se optimiza el uso del recurso. Siendo el Módulo de Mantenimientos Preventivos el que lidera la mayor diferencia de 83% a 12.70%, en segundo el Módulo de Contratos y Garantías de 37% a 6%, y por último el Módulo de Inventario de 3.60% a 1.90%.

Para englobar los resultados de la simulación, se procedió a construir una tabla que promedia todos los resultados para los tres procesos (módulos) simulados con el fin de obtener los valores de los indicadores, tanto para los procesos simulados de forma manual, siguiendo el paso

a paso del sistema utilizado actualmente, como para los módulos que conforman el Sistema de Gestión del Mantenimiento (CMMS) desarrollado para el Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic que se detalla en esta propuesta.

**Tabla 33**

*Promedio de resultados generales por indicador*

<b>KPI</b>	<b>Promedio Manual</b>	<b>Promedio CMMS</b>	<b>Mejora Promedio (%)</b>
Tiempo total por entidad (min)	339 min	93 min	<b>72%</b>
Tiempo de valor agregado (VA) (min)	5.1 min	4.9 min	<b>4%</b>
Tiempo de espera (Wait) (min)	334 min	88 min	<b>74%</b>
Utilización promedio de recurso (%)	37%	25%	<b>32%</b>
Número promedio en cola (WIP/Queue)	17	6	<b>65%</b>

Tomando los promedios de cada indicador, se calculó el porcentaje de mejora en la última columna de la Tabla 33, dicha tabla expone los resultados promedio de ambos escenarios simulados para todos los indicadores y evidencia que con el CMMS propuesto se generan mejoras significativas en la eficiencia de los procesos. El Tiempo Total por Entidad se reduce de 339 min a 93 min, lo que se traduce en una mejora del 72%, esto indica que el CMMS automatiza el proceso

de los tres módulos, agilizando la gestión del inventario, coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos.

Para el segundo indicador, el Tiempo de Espera Promedio es el que expone el mayor porcentaje de mejora con un 74%, lo que confirma que la automatización de tareas reduce los cuellos de botella asociados a la navegación en el sistema manual.

En contraste, el indicador de Tiempo de Valor Agregado muestra una variación mínima, del 4%, dado que las actividades técnicas y de análisis que realmente aportan valor al área biomédica se mantienen.

Con respecto al promedio de utilización del recurso, la reducción es del 32%, lo que evidencia que la persona encargada dedicaría menos tiempo en realizar tareas manuales o repetitivas y le otorgaría una menor carga laboral para realizar el resto de las responsabilidades relacionadas al departamento. Finalmente, el número en cola promedio se disminuye en un 65%, que representa un flujo de trabajo con menos acumulación de tareas pendientes.

En conjunto, los resultados demuestran que el CMMS no solo mejora los tiempos operativos, sino que también optimiza la distribución de la carga de trabajo y reduce significativamente los tiempos muertos, aportando evidencia cuantitativa de su impacto positivo en la eficiencia del Departamento de Biomédica.

## Conclusiones

Se logró presentar mediante los resultados expuestos y analizados en el capítulo cuatro que el sistema utilizado actualmente para el manejo del inventario, coordinación de mantenimientos preventivos y seguimientos de contratos y garantías presenta distintas oportunidades de mejora en cuanto a: automatización del sistema, usabilidad, tiempo de respuesta, visibilidad de datos de interés como número de mantenimientos preventivos por mes y número de contratos por vencer, capacitación para el uso del sistema, contar con manual de usuario y acceso directo a reportes generados automáticamente, dando un estado actual crítico que da bases a la presentación de una solución automatizada.

El desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento (CMMS) para los equipos biomédicos bajo responsabilidad del Departamento, permitió representar las mejoras considerables en los procesos, a partir de la comparación de los procesos manuales del estado actual frente a la propuesta automatizada con el CMMS. La simulación de ambos escenarios resultó en evidenciar la reducción de los indicadores: el tiempo total por entidad mejoró en un 72%, el tiempo de valor agregado en un 4%, el tiempo de espera en un 74%, la utilización de recurso en un 32% y el número promedio en cola en un 65%, en promedio de las simulaciones de los tres módulos para un total del promedio de optimización del CMMS propuesto de un 49.4%. La mayor reducción se refleja en indicadores de tiempos, los cuales constituyen la mayor proporción de ineficiencias en el estado actual.

En relación con los objetivos planteados, se cumplió con el diagnóstico del sistema actual mediante los resultados del instrumento de recolección de datos, los cuales dieron paso al diseño y desarrollo del CMMS propuesto considerando los módulos siguiendo la guía de documentos

técnicos de la OMS para el uso de CMMS para equipos biomédicos, cumpliendo así con el segundo objetivo planteado. Asimismo, se logró validar la propuesta mediante la simulación en Arena comparando los indicadores de tiempo, entidades y recurso humano. Esta simulación ayuda a responder las preguntas planteadas al inicio de esta investigación:

- Si, se pueden optimizar los procesos de coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de garantías, automatizando procesos manuales que disminuyen los tiempos en los indicadores en un 70% con el CMMS propuesto.
- Si, se puede mejorar la productividad de los ingenieros que participan en ambos procesos al implementar el sistema CMMS propuesto, que disminuye el indicador de utilización del recurso humano en un 32%, permitiendo mayor tiempo para ejecución del resto de sus actividades.
- Si, se puede evitar que equipos de alta complejidad y soporte vital queden sin contrato activo gracias al Módulo de Contratos y Garantías que permite el seguimiento e indica al personal que tiene que iniciar la renovación 30 días antes de su vencimiento.

Los hallazgos de esta investigación aportan evidencia de como un CMMS puede mejorar la eficiencia operativa en departamentos de biomédica en instituciones hospitalarias, sobre todo en aquellos donde se mantienen sistemas manuales, y contribuye en ofrecer un modelo accesible que se alinee con directrices de organizaciones como la OMS y que pueda ser replicado y adaptado para las instituciones.

Los resultados obtenidos coinciden con las investigaciones previas que destacan que el uso de sistemas o procesos manuales, tanto hojas de cálculo digitales como llevar archivos físicos con el inventario de equipos se han quedado obsoletos y requieren mucha más intervención humana

en pasos repetitivos en los procesos, por ello se señala que utilizar herramientas digitales automatizadas como un CMMS son efectivas para la optimización de los procesos considerados.

Los resultados reflejan distintas implicaciones prácticas, mostrando como el uso del CMMS propuesto mejora la trazabilidad de equipos biomédicos, optimiza la coordinación de mantenimientos preventivos y alerta sobre el vencimiento de contratos y garantías, lo que ayuda a garantizar la continuidad en la prestación de servicios del hospital, y cabe destacar el aprovechamiento del recurso humano.

Las principales limitaciones de esta investigación yacen en la cantidad de módulos considerados para el CMMS, debido a que no se integran módulos como: mantenimientos correctivos, repuestos o presupuestos. Otra limitación, es que no se implementó la propuesta, imposibilitando la obtención de métricas del desempeño en cuando al uso de los equipos y atención a usuarios. Sin embargo, estas limitaciones pueden ser traducidas en propuestas para futuras investigaciones, donde se pueden ampliar las funcionalidades del sistema incluyendo nuevos módulos, validar su desempeño en un entorno hospitalario real e incluso considerar la integración con otros sistemas del hospital.

Esta investigación se llevó a cabo sin comprometer datos sensibles de pacientes, respetando leyes y principios éticos, así como los permisos de acceso a la información otorgados por el hospital.

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos permite concluir que la propuesta del sistema desarrollado presenta una herramienta efectiva para optimizar los procesos de gestión biomédicos considerados en los alcances de esta investigación, evidenciando la capacidad que tiene de optimizar tiempos, procesos y recursos para aportar valor al sistema hospitalario.

## Recomendaciones

Se considera que la principal recomendación, resultando de las limitaciones de la investigación, sería realizar la implementación del sistema por un periodo considerable de prueba para evaluar los indicadores y el desempeño del CMMS propuesto, su escalabilidad y estabilidad con una demanda de uso real. Esto vendría acompañado de la segunda recomendación: establecer programas completos de capacitación para los usuarios en el uso correcto de la propuesta presentada.

Se recomienda agregar módulos de mantenimientos correctivos, repuestos y presupuesto para incluir indicadores de tiempo de reparación, tiempo de equipos fuera de servicio, inventario y disponibilidad de repuestos, gestión del presupuesto del departamento, entre otros. Para escalar las funciones y automatizar de forma completa los procesos, también teniendo un módulo de mantenimientos correctivos, se puede generar un historial de datos, facilitando la toma de decisiones en cuanto a adquirir o reparar equipos, según su costo y el historial de fallas.

Siendo este un sistema informático, no deja de ser susceptible a programas malignos y a penetración a la información por terceros no deseados, por lo que se recomienda implementar principios de ciberseguridad y políticas para la protección de datos hospitalarios, que mantengan la confidencialidad de la información.

Por último, se recomienda explorar la integración del CMMS propuesto con tecnologías emergentes como el internet de las cosas (IoT) o inteligencia artificial para expandir y maximizar el uso del sistema.

## Referencias

- ACCE. (2025). *American College of Clinical Engineering*. Retrieved from Clinical Engineer:  
<https://accenet.org/about/Pages/ClinicalEngineer.aspx>
- Almehwari, S., Almalki, I., Abumilha, B., & Altharwi, B. (2024). Improving Hospital Efficiency and Cost Management: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus Journal of Medical Science*. doi:10.7759/cureus.71721
- Almomani, H. (2020). Using Computerized Maintenance Management System (CMMS) in Healthcare Equipments Maintenance Operations. *The Hashemite University*.
- Amira Salami, N. N., & Abdul Wahid, E. A. (2021). Implementation of the Computerized Maintenance Management System (CMMS) in Government Hospital Facility Management Services (FMS). *Penerbit UTHM*, 204-2013.
- Beaulieu, A. (2020). *Learning SQL: Generate, Manipulate, and Retrieve Data (3rd ed.)*. O'Reilly Media.
- Behar Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom.
- Beniacoub, F., Ntwari, F., Niyonkuru, J., Nyseen, M., & Van Bastelaere, S. (2021). Evaluating a computerized maintenance management system in a low resource setting. *National Library of Medicine*, 655–661. doi:<https://doi.org/10.1007/s12553-021-00524-y>
- Bright, D., Cortes, A., & Gardner, D. (2023). *Principles of Management*. OpenStax.
- Camacho-Cogollo, J., Torres-Vélez, D., & Chavarria, T. (2017). Gestión de equipos médicos: implementación y validación de una herramienta de auditoría. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(1), 76-92. doi:[dx.doi.org/10.17488/RMIB.38.1.5](https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.5)

Chiavenato, I. (2011). *Administración de Recursos Humanos*. Río de Janeiro: McGraw Hill.

Cohen, T., Baretich, M., & Gentles, W. (2020). *Clinical Engineering*. Academic Press.

doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813467-2.00034-1>

Date, C. (2019). *An Introduction to Database Systems (8th ed.)*. Addison-Wesley.

De Regil, G., Dorantes, G. B.-Z., Hidalgo, Q., & Mejía, R. (2020). Diseño de un Sistema de Gestión Computarizado Local para Departamentos de Ingeniería Biomédica. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica*. doi:[dx.doi.org/10.24254/CNIB.20.47](https://doi.org/10.24254/CNIB.20.47)

Del Castillo, R., & Salazar, R. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*.

Dyro, J. (2019). *Clinical Engineering Handbook*. New York: Elsevir Academic Press.

Elmasri, R., & Navathe, S. (2020). *Fundamentals of Database Systems (7th ed.)*. Pearson Education.

Fouad, R., & Ahmad, A. (2012). DESIGNING A COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR MEDICAL DEVICES IN ROYAL MEDICAL SERVICES. *International journal of research and reviews in applied sciences*.

Grosman-Rimon, L., HY Li, D., Collins, B., & Wegier, P. (2023). Can we improve healthcare with centralized management systems, supported by information technology, predictive analytics, and real-time data?: A review. *National Library of Medicine*.

doi:<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000035769>

Hernández, E., & Sandoval, J. (2019). APLICACIÓN DE CONCEPTOS DE INGENIERÍA BIOMÉDICA EN LA GESTIÓN DE LOS EQUIPOS MÉDICOS EN EL HOSPITAL

- NACIONAL “SAN PEDRO”, ENERO-SEPTIEMBRE 2019. *Universidad de El Salvador*.
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Joyanes, L. (2019). *Fundamentos de Programación*. McGraw Hill.
- Lafi, M. (2020). Using Computerized Maintenance Management System (CMMS) in Healthcare Equipment Maintenance Operations. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 1345-1350.
- Landau, K. (2013). An Introduction to Cronbach's  $\alpha$ . *Annual Meeting of Southwest Educational Research Association*. doi:10.13140/2.1.1816.8328
- Law, A. M. (2022). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill Education.
- Levine, D., Krehbiel, T., & Berenson, M. (2014). *Estadística para Administración*. Pearson Education.
- Luca, C., & Ciorap, R. (2011). Software System for Medical Device Management and Maintenance. *IFMBE*.
- Mahgoub, A. (2021). Computerized Maintenance Management System for Medical Equipment (CMMS). *Sudan University of Science & Technology*.
- McLaughlin, D., & Olson, J. (2017). *Healthcare Operations Management*. Chicago: Health Administration Press,.
- Microsoft. (2025). *Microsoft Visual Studio*. Retrieved from Visual Studio 2026: <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/>

- Microsoft 365. (2025). *Microsoft Excel (Versión 2509) [Software]*. Redmond, Washington: Microsoft. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel-c>
- Miniati, R., Ladanza, E., & Dori, F. (2016). *Clinical Engineering: From Devices to Systems*. Amsterdam: Elsevier Works Press.
- Montenegro, A. (2021). PROPUESTA DE UNA GUÍA PARA ESTABLECER EL DEPARTAMENTO DE BIOMÉDICA EN EL HOSPITAL SANTA FE DE PANAMÁ SIGUIENDO EL MODELO DE LA OMS”. *Universidad Latina de Panamá*.
- Nicholas, J., & Steyn, H. (2020). *Project Management for Business, Engineering, and Technology*. Oxford: Elsevier.
- Niederst, J. (2018). *Learning Web Design*. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Norman, D., & Nielsen, J. (2020). *The UX Book: Agile UX design for a quality user experience*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPI*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from [https://kpiacademy.uk/wp-content/uploads/2022/04/Key-Performance-Indicators-KPI-Developing-Implementing-and-Using-Winning-KPIs-David-Parmenter-z-lib.org\\_.pdf](https://kpiacademy.uk/wp-content/uploads/2022/04/Key-Performance-Indicators-KPI-Developing-Implementing-and-Using-Winning-KPIs-David-Parmenter-z-lib.org_.pdf)
- Pastrana, X. (2016). Diseño del Sistema de Gestión de la Calidad Basado en los Requisitos de la Norma ISO 9001:2008 para la Empresa Soluciones Integrales en Ingeniería Medico-Industrial SIINGMI S.A.S. *Universidad Nacional Abierta*.
- Posada, G. (2016). *Elementos Básicos de Estadística Descriptiva para el Análisis de Datos*. Editorial Luis Amigo.

- Puello, A., & Martínez, L. (2018). Una revisión sistemática en Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora. *Teknos Revista Científica*.  
doi:10.25044/25392190.923
- Python Software Foundation. (2025). *Python*. Retrieved from Documentación:  
<https://docs.python.org/es/3/library/tkinter.html>
- Python Software Foundation. (2025). *Python (Versión 3.14.0) [Software]*. Beaverton, OR: Python. Retrieved from <https://www.python.org/downloads/release/python-3140/>
- Quiroz-Flores, C. P. (2020). The Management of Medical Equipment in the Challenges of the National Health System: A review. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*.
- Riapira, J., & Forero, A. (2023). DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL QUE PERMITA AL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DE LA CLÍNICA NUEVA EL LAGO APOYAR LOS PROCESOS DE GESTIÓN TECNOLÓGICA. *Universidad del Rosario*.
- Rockwell Automation. (2025). *Arena Simulation Software (Versión 16.20.09) [Software]*. Milwaukee, WI: Rockwell. Retrieved from <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation.html>
- Rockwell Automation Inc. (2022, July 6). *Rockwell Automation*. Retrieved from Arena Simulation Software: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation.html>

- Rodríguez, J., & Reguant, M. (2020). Calcular la fiabilitat d'un qüestionari o escala mitjançant l'SPSS: el coeficient alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 13(2). doi:<https://doi.org/10.1344/reire2020.13.230048>
- Sharp, H., Rogers, Y., & Preece, J. (2019). *Diseño de Interacciones*. Wiley.
- Sloane, E., Rosow, E., Adam, J., & Shine, D. (2006). Clinical/Biomedical Engineering Strategic Graphical Dashboard to Enhance Medical Device Maintenance and Asset Management. *AMCIS 2006 Proceedings*. Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/amcis2006/320>
- Spiegel, M. (2013). *Probabilidad y Estadística*. McGraw Hill.
- Street, L. (2019). *Introduction to Biomedical Engineering Technology*. Boca Raton: CRC Press.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making Sense of Cronbach's Alpha. *International Journal of Medical Education*, 53-55. doi:10.5116
- Torres, J. (2018). Modelo de Gestión de Tecnología Biomédica para un Centro de Excelencia (CEX) en el Hospital Universitario de La Samaritana (HUS). *Universidad de La Sabana*.
- Triola, M. (2009). *Estadística*. Pearson Education.
- Valadez, F., Quezada, H., Arregui, J., & Orenco, E. (2024, Marzo). *Secretaría de Salud*. Retrieved from [https://hgm.salud.gob.mx/normateca/manuales\\_de\\_procedimientos/DAF/MAN\\_PROC\\_DPTO\\_ING\\_BIO\\_2024.pdf](https://hgm.salud.gob.mx/normateca/manuales_de_procedimientos/DAF/MAN_PROC_DPTO_ING_BIO_2024.pdf)
- Villamizar, E. (2020). Software para la gestión de servicios para equipos médicos en Equibiomedic S.A.S. *Universidad de Antioquia*.

Villarraga, O. (2020). Metodología gerencial para el mantenimiento preventivo de equipos médicos mínimos usados en habilitación de cirugías ambulatoria. *Universidad Militar Nueva Granada*. doi:10.15332/24631140.6342

World Health Organization. (2012). *World Health Organization*. Retrieved from Computerized maintenance management system:  
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241501415>

## Anexos

### Anexo 1

#### *Encuesta de recolección de datos para el diagnóstico del estado actual*

##### **Cuestionario**

El siguiente cuestionario tiene como propósito recolectar información de manera anónima para ser utilizado únicamente para el desarrollo de la tesis titulada “Desarrollo un sistema de gestión de mantenimientos computarizado (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.” la cual está siendo llevada a cabo por el estudiante: Alejandro Molina y asesorada por la profesora Olga Romero en la Universidad Latina de Panamá.

Las respuestas de este cuestionario serán analizadas y servirán de bases para presentar la propuesta al culminar esta investigación.

Este cuestionario le tomará aproximadamente 6 min para ser completado.

De antemano se agradece la disposición y el tiempo dedicado para completarlo.

Instrucciones:

Este cuestionario ha sido elaborado con respuestas de selección única, por favor responder con la opción que mejor represente la percepción que tiene usted de la herramienta utilizada para la base de datos (Excel) actualmente para la coordinación de mantenimientos preventivos y seguimiento de contratos de los equipos biomédicos del Departamento de Biomédica del Hospital The Panamá Clinic.

Lea cuidadosamente cada pregunta antes de contestar.

1. ¿Considera usted que se puede optimizar el uso de la herramienta utilizada como base de datos para la gestión de equipos biomédicos dentro del departamento?

Sí

No

2. ¿Considera usted que se pueden disminuir el número de pasos (clicks) para visualizar información dentro de la herramienta?

Sí

No

3. ¿Es posible visualizar de forma automática los equipos que les corresponde realizar mantenimiento preventivo en el siguiente mes en la herramienta usada actualmente?

Sí

No

4. ¿Es posible visualizar de forma automática los equipos cuyas vigencias de contrato/garantía están próximas a vencer dentro de la herramienta?

Sí

No

5. Al momento de iniciar en su puesto de trabajo, ¿usted recibió capacitación sobre el uso y navegación de la información dentro de la herramienta?

Sí

No

6. ¿Existe un instructivo al cual usted tenga acceso sobre el uso correcto de la herramienta utilizada de base de datos?

Sí

No

7. ¿Usted posee conocimiento de estándares de nomenclatura internacional para equipos médicos tal como: Universal Medical Device Nomenclature System o Global Medical Device Nomenclature System?

Sí

No

8. ¿Existen campos que se encuentren estandarizados bajo documentación en la herramienta utilizada de base de datos?

Sí

No

9. ¿La herramienta de base de datos posee una vista con gráficas y reportes?

- No posee vista de gráficas o reportes

- Posee vista de gráficas o reportes

- Se generan los reportes de manera manual

## Anexo 2

### Cálculo de coeficiente de confiabilidad alfa de Cronbach

ENCUESTADOS	ÍTEMS									SUMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
E1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	14
E2	1	1	2	2	2	1	2	2	3	16
E3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	19
VARIANZA	0.222	0.222	0.000	0.000	0.000	0.222	0.000	0.000	0.889	
SUMATORIA DE VARIANZAS	1.556									
VARIANZA DE LA SUMA DE LOS ÍTEMS	4.222									

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

$\alpha$ : Coeficiente de confiabilidad del cuestionario

$k$ : Número de ítems del instrumento

$\sum_{i=1}^k S_i^2$ : Sumatoria de las varianzas de los ítems.

$S_T^2$ : Varianza total del instrumento.

→ 0.71

→ 9

→ 1.556

→ 4.222

**Anexo 3***Formulario de validación del instrumento*

Universidad Latina de Panamá  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Biomédica e Instrumentación  
Proyecto de Grado

Instrumento de Validación para el Cuestionario utilizado para la recolección de datos dentro del proyecto de grado titulado: “Desarrollo un sistema de gestión de mantenimientos computarizado (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic”.

Autor: Alejandro Molina  
Pasaporte: 176317995

Asesora: Olga Romero

Estimado Profesor Validador.

Principalmente, le agradezco su cooperación y disposición del tiempo dado a esta solicitud.

Me dirijo a usted por su valiosa experiencia en el campo de la ingeniería biomédica con el propósito de realizar la validación por expertos del instrumento de recolección de datos que será utilizado en mi proyecto de grado titulado: “Desarrollo un sistema de gestión de mantenimientos computarizado (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic”.

El presente instrumento tiene como objetivo obtener retroalimentación sobre los ítems que componen el cuestionario, para evaluar su pertinencia con relación a los objetivos planteados, variable, dimensiones e indicadores considerados para este proyecto.

Descrito lo anterior, se presenta el instrumento de validación el cual consta de una tabla que incluye el objetivo general, los objetivos específicos, la variable, las dimensiones y los indicadores, seguido de cada uno de los ítems propuestos para el cuestionario y finalmente se presentan las columnas para evaluar la pertinencia de cada uno de estos de acuerdo con su criterio, marcando en las casillas P (Pertinente) o NP (No Pertinente) para cada ítem.

Atentamente,

Alejandro Molina

P:176317995

**1. Identificación del Profesor Validador:****2. Título de la Investigación**

Desarrollo un sistema de gestión de mantenimientos computarizado (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

**3. Objetivos de la Investigación****3.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de computarizado de gestión de mantenimientos (CMMS) de equipos biomédicos con el fin de optimizar la coordinación de mantenimientos preventivos y el seguimiento de renovación de contratos dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic.

**3.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el estado actual del uso de herramientas para la coordinación de mantenimientos preventivos de equipos biomédicos y proceso de seguimiento de contratos en el Hospital The Panama Clinic.
- Diseñar el sistema de gestión y la interfaz de usuario para que sea fácil de entender y navegar por el usuario.
- Validar el sistema de gestión desarrollado mediante los documentos técnicos de sistemas computarizados de gestión de mantenimiento (CMMS) publicados por la OMS.

**4. Población y muestra**

La muestra tomada para esta investigación corresponde a la misma población, la cual está compuesta por los trabajadores del departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic, que consta de 3 individuos. A los cuales se les aplicará el cuestionario una vez validado.

**5. Técnicas e Instrumentos aplicados**

El instrumento de recolección de datos elaborado es el cuestionario, el cual se compone de 9 ítems, formulados como preguntas cerradas de tipo dicotómico y de una respuesta. El cual se aplicará de manera autoadministrada y de forma virtual.

**6. Variable****6.1 Definición conceptual de la variable**

Sistema de Computarizado de Gestión de Mantenimientos (CMMS): Un CMMS es un programa informático que contiene una base de datos informática sobre las operaciones de mantenimiento de una organización. En la GTS (Gestión de Tecnologías de Salud), el CMMS se emplea para automatizar la documentación de todas las actividades relacionadas con dispositivos médicos,

como son la planificación de equipos, la gestión de inventarios, los procedimientos de mantenimiento correctivos y preventivos, el control de los repuestos, los contratos de mantenimiento y órdenes de retirada de dispositivos médicos o alertas sobre los mismos (World Health Organization, 2012).

## **6.2 Definición operacional de la variable**

La variable de esta investigación será medida de acuerdo con su estructura: campos y tablas, módulo de inventario, módulo de mantenimientos preventivos, módulo de gestión de contratos y reportes, así como su tiempo de respuesta, siguiendo lo establecido para la estructura de un sistema de gestión del mantenimiento computarizado en incluida en la serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos publicada en el 2012.

Para realizar la medición se utilizará una escala cualitativa de tipo nominal, la cual será aplicada a los indicadores para hacer la evaluación del sistema utilizado actualmente por el departamento siguiendo el primer objetivo específico, y posteriormente al sistema desarrollado expuesto en el objetivo general de esta investigación.

## **7. Tabla de construcción de ítems**

En la siguiente página encontrará la tabla para la evaluación de los ítems, por favor marcar en las casillas la pertinencia de cada uno de los ítems con los objetivos, variable, dimensión, indicador y la formulación de la pregunta.





### Juicio de expertos

En este apartado se solicita su criterio sobre las secciones presentadas anteriormente, cualquier punto marcado como insuficiente por favor justificarlo en el campo de observaciones.

1. De forma general, considera usted que los indicadores de la variable de acuerdo con sus definiciones la miden en forma:  
Suficiente\_\_\_  
Parcialmente\_\_\_  
Insuficiente\_\_\_
2. Considera que los ítems del cuestionario miden los indicadores seleccionados para las variables de manera:  
Suficiente\_\_\_  
Parcialmente\_\_\_  
Insuficiente\_\_\_
3. Basado en su juicio, usted considera el cuestionario:  
Válido\_\_\_      No válido\_\_\_

Observaciones:

Fecha de validación:

Firma:

### Referencias

World Health Organization. (2012). World Health Organization. Obtenido de Computerized maintenance management system:  
<https://www.who.int/publications/i/item/978924150141>

**Anexo 4***Señores**UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ**E. S. D.*

Estimados Señores:

La (el) suscrita (o) notifica haber revisado por solicitud del estudiante Alejandro José Molina Ramírez con pasaporte número 176317995, el proyecto de Investigación Final de Graduación titulado “DESARROLLO DE UN SISTEMA COMPUTARIZADO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS (CMMS) DE EQUIPOS BIOMÉDICOS CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y EL SEGUIMIENTO DE RENOVACIÓN DE CONTRATOS DENTRO DEL DEPARTAMENTO DE BIOMÉDICA DEL HOSPITAL THE PANAMA CLINIC.” Y a su vez doy fe de que el documento cumple satisfactoriamente con todos los requisitos formales de ortografía y de redacción exigidos por el idioma español.

Atentamente

 2026-005RE**Firma del Profesor (a) de Español****Nombre del o la profesor(a):****Cédula de identidad:**

*NOTA: Este es un formato de carta para que el o la profesor (a) de español que le revise el proyecto final de graduación.*

UNIVERSIDAD DE PANAMA  
\*004492\*

# UNIVERSIDAD DE PANAMA

LA FACULTAD DE  
**Ciencias de la Educación**

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LA LEY Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,  
HACE CONSTAR QUE

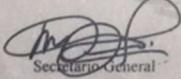
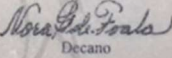
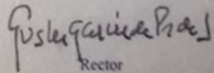
## Raquel Elida Escala Díaz

HA TERMINADO LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS  
QUE LE HACEN ACREEDOR, CON ALTOS HONORES, AL TÍTULO DE

### Profesora de Educación Media con Especialización en Español

Y EN CONSECUENCIA SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS,  
HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE  
ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMÁ, A LOS *diecinueve*  
DÍAS DEL MES DE *junio* DEL AÑO DOS MIL *siete*.

Diploma **148,376**  
Identificación Personal **8-376-39**

  
Secretario General
   
Decano
   
Rector

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**  
**TRIBUNAL ELECTORAL**

**Raquel Elida Escala Diaz**

NOMBRE USUAL:  
FECHA DE NACIMIENTO: **27-MAY-1971**  
LUGAR DE NACIMIENTO: **PANAMÁ, PANAMÁ**  
SEXO: **F** TIPO DE SANGRE:  
EXPEDIDA: **06-JUN-2019** EXPIRA: **06-JUN-2029**

**8-376-39**

*Raquel Escala*




**Anexo 5**

Formulario de entrega



SEDE CENTRAL

**FORMULARIO DE ENTREGA DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**

*Nota: Llenar este formulario a máquina de escribir. Entregar este formulario junto con el Proyecto Final de Graduación y los Paz y Salvo*

Por este medio, notifico que el Proyecto Titulado “Desarrollo de un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimientos (CMMS) de Equipos Biomédicos con el Fin de Optimizar la Coordinación de Mantenimientos Preventivos y el Seguimiento de Renovación de Contratos Dentro del Departamento de Biomédica del Hospital The Panama Clinic” Correspondiente al estudiante Alejandro José Molina Ramírez de la carrera Licenciatura en Ingeniería Biomédica e Instrumentación.

Doy fe que he revisado y autorizado la entrega del Proyecto Final de Graduación (Documento Final), a Secretaría Académica, por reunir los requisitos y acatamientos exigidos por la Universidad Latina de Panamá y sugiere se le asigne la fecha para su defensa oral (sustentación).

***Autorización del Director del Proyecto Final de Graduación:***

Nombre del Profesor Director: Ing. Olga Romero.

Firma de Autorización: \_\_\_\_\_

Teléfono: 66435544***Autorización del Profesor responsable del Curso Proyecto Final de Graduación:***

Nombre del Profesor: Ing. Alfredo Lescher.

Firma de Autorización: \_\_\_\_\_

Teléfono: 61263467

