

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Sistema de inventariado digital para el control y
mantenimiento de equipo médico en el Hospital Materno
Infantil Juan Pablo II**

Trabajo de graduación presentado por Kelly María Rodríguez González
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Biomédica

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Sistema de inventariado digital para el control y
mantenimiento de equipo médico en el Hospital Materno
Infantil Juan Pablo II**

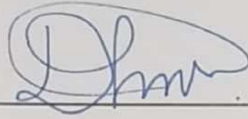
Trabajo de graduación presentado por Kelly María Rodríguez González
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Biomédica

Guatemala,

2024

Vo.Bo.:

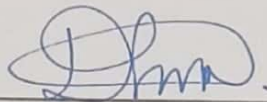
(f)



Ing. Diego Morales

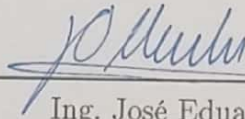
Tribunal Examinador:

(f)



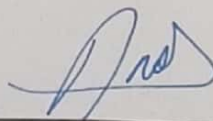
Ing. Diego Morales

(f)



Ing. José Eduardo Morales

(f)



Ing. Andrés Monterroso

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2024.

La ingeniería biomédica es una profesión que tiene un papel muy importante en la gestión y el mantenimiento de los equipos médicos, para que estos funcionen de manera eficiente. El objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar un sistema de inventariado digital para que el hospital tenga presente los mantenimientos que se deben realizar a los equipos y que estos son importantes, tanto los correctivos como los preventivos. En el transcurso de la carrera, me interesó la parte de programación y debido a las prácticas profesionales realizadas me di cuenta de lo necesario que es para los hospitales llevar un control de los mantenimientos y un inventario, pero los softwares para la administración de estos tienen un costo elevado, por esto surge el interés por realizar este proyecto ya que combina ambos temas.

Agradezco a mi asesor personal, Ing. Diego Morales, por el tiempo, conocimiento, apoyo y orientación brindada. También, agradezco al M.Sc. José Andrés Leal por su constante acompañamiento y dedicación. Gracias a ambos, por su experiencia y compromiso, que fueron indispensables para poder llevar a cabo este proyecto. Asimismo, agradezco al Hospital Materno Infantil Juan Pablo II por permitirme desarrollar este trabajo en este lugar; al Lic. Rudy Marroquín por su tiempo brindado y facilitarme el acceso a la información requerida. De igual manera me gustaría agradecer a todo el personal que estuvo dispuesto a apoyarme durante entrevistas y realización del proyecto.

Quiero expresar mis agradecimientos a mis padres, Claudia González y Hector Rodríguez, por su apoyo y amor incondicional, por su esfuerzo durante todos estos años y hacerme la persona que soy ahora. Además, gracias a mi hermana, Claudia, por su paciencia y apoyarme siempre. Han sido mi inspiración para seguir adelante y afrontar cada reto que se me presenta. Igualmente, quiero agradecer a mi tío Romeo y mi abuela Aida por su constante apoyo durante esta etapa. También, gracias a mis amigos por los momentos compartidos, comprensión y el acompañamiento mutuo durante toda la carrera.

Índice

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	7
4.1 Objetivo general	7
4.2 Objetivos específicos	7
5. Alcance	8
6. Marco teórico	9
6.1 Hospitales en Guatemala	9
6.2 Dispositivos médicos	10
6.2.1 Mantenimiento de equipos médicos	11
6.2.2 Problemas típicos con los equipos médicos	11
6.2.3 Importancia de un sistema para la administración del equipo médico	12
6.3 Bases de datos	12
6.3.1 Programación de bases de datos	15
6.3.2 Seguridad	16
6.4 Interfaz de usuario gráfica	17
6.4.1 Funcionamiento	17
6.5 Programación para la interfaz de usuario gráfica	17
6.5.1 Python	17
6.5.2 Tkinter	18
6.5.3 PyQt	19
7. Metodología	20
7.1 Análisis de las necesidades	20

7.1.1	Entrevistas	20
7.2	Estructura de la base de datos	21
7.2.1	Análisis del inventario actual	21
7.2.2	Definición de la base de datos	22
7.2.3	Creación de base de datos en MySQL	23
7.3	Implementación de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)	27
7.3.1	Prototipos	27
7.3.2	Diseño de la GUI	27
7.3.3	Integración de la GUI con la base de datos en MySQL	29
7.3.4	Programación de la GUI	30
7.4	Nueva codificación de los equipos médicos	32
7.5	Experiencia de usuario	34
8.	Resultados	36
8.1	Entrevistas	36
8.2	Estructura de la base de datos	37
8.3	Interfaz gráfica de usuario (GUI)	40
8.4	Consulta de mantenimientos y manual de usuario a través de un código QR	49
8.5	Experiencia de usuario	51
9.	Discusión	54
10.	Conclusiones	59
11.	Recomendaciones	60
12.	Bibliografía	61
13.	Anexos	66

Lista de figuras

1	Potencial y vida del equipo médico en relación a la gestión del mantenimiento. A) larga vida del equipo lograda con mantenimiento correcto y periódico. B) corta vida del equipo debido a la mala gestión. [16]	6
2	Ubicación de los hospitales nacionales del país. [18]	9
3	Descripción gráfica de una base de datos. [35]	13
4	Modelo general de una base de datos.	14
5	Tipos de modelos de bases de datos. a) Ejemplo de un modelo relacional. b) Representación de un modelo jerárquico. c) Ilustración de un modelo de red. [36]	15
6	Diagrama de flujo del análisis de las demandas del usuario. [37]	15
7	Crear base de datos desde MySQL Workbench.	25
8	Crear una tabla desde MySQL Workbench.	26
9	Crear registros en una tabla desde MySQL Workbench.	27
10	Representación gráfica de los elementos de Qt designer. a) Tab Widget. b) Label. c) Line Edit. d) Spin Box. e) Combo Box. f) Double Spin Box. g) Date Edit. h) Push Button. i) Table Widget.	29
11	Sistema de codificación inicial del hospital. (Hospital Juan Pablo II, 2017)	37
12	Diagrama entidad-relación (ERD).	38
13	Base de datos y tablas creadas en MySQL Workbench.	38
14	Columnas y tipo de datos de la tabla 'equipo medico' y 'mantenimientos'.	39
15	Evolución del inventario. a) Inventario inicial brindado por el hospital, en Word. b) Inventario ordenado, en Excel. c) Inventario registrado en la base de datos, en MySQL.	40
16	Prototipo inicial con opciones para registrar equipo, ver los equipos registrados, ver el catálogo y registrar mantenimientos.	41
17	Prototipo final.	42
18	Página de inicio.	43
19	Página para registrar nuevo equipo médico.	44
20	Página para ver los equipos registrados.	44
21	Página para ver el catálogo.	45
22	Página para registrar un nuevo mantenimiento.	45
23	Opciones extras para la versión final.	46
24	Carpetas creadas para la interfaz. A) carpeta con fotos representativas de facturas de mantenimientos. B) Carpeta con archivos de Excel con los equipos registrados por área. C) Carpetas con los manuales de los equipos registrados por área.	47

25	Funciones del calendario de la GUI final.	48
26	Solicitar acceso para las funciones de editar y eliminar registros.	48
27	Añadir registro a las tablas del catálogo.	49
28	Prototipo para acceder a los mantenimientos.	50
29	Menú principal al escanear un código QR.	50
30	Información contenido en los códigos QR. a) Tabla de mantenimientos del equipo médico. b) Manual de usuario del mismo equipo médico.	51
31	Calificación, sobre 5 puntos, obtenida en la encuesta de la interfaz gráfica de usuario (GUI). n=1	52
32	Calificación, sobre 5 puntos, obtenida en la encuesta para el sistema de QRs creado. n=1	53
33	Diagrama de bloques del funcionamiento de la interfaz gráfica de usuario.	68
34	Código QR para el ejemplo del equipo médico con id 01-38-05-01.	69

Lista de cuadros

1	Diferencias entre el diseño de una aplicación GUI y una página web.	40	. . .	18
---	---	----	-------	----

El sistema de salud de Guatemala se considera ineficiente debido a varios factores, entre estos, el mal manejo de la infraestructura biomédica en los hospitales, ya que en muchos casos no se cuenta con el equipo necesario y al equipo disponible no se le brinda el mantenimiento adecuado con la regularidad adecuada. La importancia de una buena gestión del mantenimiento de los equipos médicos es vital para que un sistema de salud sea eficiente y apropiado. Este proceso comienza desde el momento de la compra e instalación de los equipos y debe de gestionarse de acuerdo con la frecuencia de uso de los dispositivos, así como según lo estipulado por el fabricante.

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de inventariado digital para el control y mantenimiento de equipo médico en el Hospital Materno Infantil Juan Pablo II, con el fin de alargar la vida útil de los dispositivos, asegurar su correcto funcionamiento y una mejor atención para los pacientes, evitando incidentes. Para esto, se ha desarrollado una interfaz gráfica programada en Python, utilizando la herramienta Qt Designer de PyQt y la librería PySide, haciendo uso de la base de datos MySQL, con la librería mysqldb para Python. La interfaz permite el registro de nuevos equipos médicos y realizar el seguimiento debido a los mantenimientos, teniendo la clasificación de preventivos, correctivos o ambos. Además, se ha implementado un sistema de codificación con códigos QR para algunos equipos que proporciona acceso a una página web local, realizada en Flask (un framework de Python) en donde se muestra información sobre los mantenimientos realizados para cada equipo. La implementación de este sistema figura un avance importante para la eficiencia y calidad en el sistema de salud guatemalteco.

The health system in Guatemala is considered inefficient due to several factors, among them, the poor management of the biomedical infrastructure in hospitals, since in many cases the necessary equipment is not available and the available equipment is not properly maintained on a regular basis. The importance of good maintenance management of medical equipment is vital for a health system to be efficient and appropriate. This process starts from the moment of purchase and installation of the equipment and should be managed according to the frequency of use of the devices, as well as according to the manufacturer's stipulations.

The objective of this project is the implementation of a digital inventory system for the control and maintenance of medical equipment at the Hospital Materno Infantil Juan Pablo II, in order to extend the useful life of the devices, ensure their proper functioning and better care for patients, avoiding incidents. For this, a graphical interface programmed in Python has been developed, using PyQt's Qt Designer tool and the PySide library, making use of the MySQL database, with the mysqlldb library for Python. The interface allows the registration of new medical equipment and the tracking of maintenance, having the classification of preventive, corrective or both. In addition, a QR code coding system has been implemented for some equipment that provides access to a local web page, made in Flask (a Python framework) where information on the maintenance performed for each piece of equipment is displayed. The implementation of this system is an important step forward for efficiency and quality in the Guatemalan health system.

CAPÍTULO 1

Introducción

La gestión de inventario y mantenimiento eficiente de los equipos médicos es un aspecto fundamental en la operación de cualquier hospital hoy en día. El funcionamiento y disponibilidad de equipos médicos puede significar una gran diferencia al momento de tratar con pacientes. La posibilidad de un hospital de poder brindar atención médica de calidad y tener una mayor eficiencia depende de la forma en que se gestionan y controlan los recursos importantes. Actualmente, la incorporación de sistemas en los hospital se ha vuelto un factor relevante para mejorar estos aspectos en la atención médica. En Guatemala, debido al escaso financiamiento que se ha presenciado durante los años, se observa que en no todos los hospital se cuenta con un sistema adecuado para la gestión de equipos médicos, lo que incluye al Hospital Materno Infantil Juan Pablo II, ubicado en la zona 3 de Mixco, Guatemala. Además, en el país se tiene una deficiencia y mala distribución en cuanto a los recursos humanos, producto también de la falta de financiamiento, por lo que no se tiene al personal capacitado para los mantenimientos de los equipos.

El presente trabajo de graduación se enfoca en tomar estas deficiencias para la gestión de inventarios y control de mantenimientos de equipos médicos en el Hospital Juan Pablo II. En este se examinarán las prácticas actuales del hospital, identificando las áreas para mejorar. Además, se diseñará un sistema para que la persona encargada del inventario en el hospital pueda registrar equipos médicos y mantenimientos, y al mismo tiempo, que estos se puedan visualizar en tablas. Asimismo, a este sistema se añadirá un calendario para que se pueda acceder a los mantenimientos que se tendrán según el día. También, se plantea la solución de que los equipos tengan un código QR en el que al acceder a este se muestre una página web local en donde se observen los mantenimientos realizados. Con esto, se busca proporcionar al hospital herramientas que sean de utilidad para mejorar la atención médica en cuanto al funcionamiento y disponibilidad de los equipos médicos, resultando en beneficio tanto para el personal médico que hace uso de estos, como para los pacientes.

El sistema de salud en Guatemala está organizado por varios sectores, estos son: el sector público, que incluye al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) con un 32 % de cobertura y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) con el 16 %; el sector privado con 10 % de cobertura de servicios; y la sanidad militar destinado para fuerzas armadas y la policía con 0.21 %. Esto hace un total de 58.21 %, dejando a un 41.79 % de la población sin atención médica. Además de esto, un sector significativo de la población utiliza la medicina comunitaria tradicional al no tener acceso a ninguno de los servicios mencionados anteriormente. [1](#)

El gasto nacional de salud, como porcentaje del PIB (en 2017) fue del 2.08 %, por debajo del promedio de Centroamérica. El gasto privado es la principal fuente de financiamiento, esto incluye la contribución por medio del gasto directo de los hogares. Debido a este bajo presupuesto asignado al área de salud en el país existe una escasez tanto de medicamentos, como de suministros, equipo médico y tecnologías sanitarias en los hospitales y centros de salud; incluyendo el mantenimiento de estos. [2](#) [3](#)

Desde 1987, la fundación “The World Health Organization” ha lanzado un un plan de acción mundial para el mantenimiento y reparación de equipo médico en diferentes países del mundo en situación precaria. Este plan insta a que todos los países adopten una política nacional en la que se preocupen por la gestión del equipo médico, incluyendo mantenimiento preventivo y correctivo. Varios estudios han demostrado que estos procesos son una gran ayuda para la productividad y eficiencia de los hospitales, no solo en el aspecto humano, ya que se logran atender a más personas con equipo médico en buen estado, sino que financieramente, la relación costo-beneficio aumenta al realizar estos mantenimientos, debido a que se previenen daños, períodos sin uso y mayores gastos a largo plazo. [4](#)

El inventariado y control de mantenimiento de los dispositivos en hospitales públicos en países en vías de desarrollo, se realizan generalmente en papel, con reportes de las empresas encargadas de estos. En pocos casos, se tienen sistemas basados en hojas de cálculo. Para un mejor control del equipo médico en un hospital existen varias opciones comerciales, tales como softwares de gestión que pueden ser adaptados a un sistema hospitalario, por ejemplo:

Infor EAM, TeroTech, Asset Panda (incluye una aplicación con escaneo de código de barras), Fiix (más enfoque al mantenimiento); así como sistemas basados de IoT (Internet de las Cosas, por sus siglas en inglés) que son más específicos para salud, por ejemplo: Medigate (enfocada a seguridad en entornos médicos) y CenTrak (rastrea el uso y ubicación de los equipos en los hospitales en tiempo real). Todos estos están asociados con altos costos (entre \$45 y \$500 por mes, dependiendo de las características agregadas, hasta \$1300- \$1500) y los servidores con la información de los dispositivos se encuentran en otros países lo que complica su implementación en países en vías de desarrollo como Guatemala. [5](#) [6](#) [7](#) [8](#)
[9](#) [10](#)

En Guatemala, más del 50 % de la red hospitalaria del Ministerio de Salud fue construida hace más de 30 años. Los presupuestos brindados para salud han sido bajos en el mantenimiento y la reposición de equipos, fortalecimiento de la infraestructura y en implementación de tecnología. Asimismo, no se cuenta con un sistema de información con una base de datos de todos los activos (equipos médicos) con la que sea posible tener conocimiento sobre las necesidades de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. [11]

El financiamiento para el sistema de salud en el país está dividido en sectores. En el último estudio más completo realizado en el período de 1999-2005, se refleja un aumento en la participación privada (hogares y empresas) del 70 % al 79 % entre 1999 y 2005, mientras que la inversión pública (el Gobierno) se disminuyó del 27.1 % al 18.6 %. [12] [13]

Un sistema de salud se considera eficiente cuando este presta los servicios adecuados y estos servicios son entregados a la población en una forma correcta. En Guatemala, como en la mayoría de los países de Latinoamérica, se presentan dificultades para el acceso a la salud debido a la centralización de los recursos. Existe una notable acumulación de la infraestructura y recurso humano (70.9 % del personal del salud) en la capital y zonas urbanas aledañas, a pesar de que menos del 25 % de la población vive en estas áreas. La mala distribución conlleva a claras y drásticas deficiencias del sistema de salud en el interior del país. [13] [14]

El mal manejo de la infraestructura biomédica en los hospitales tiene un impacto negativo en la calidad, eficiencia y sustentabilidad de los servicios de salud, tanto en un hospital de tercer nivel, con equipos complejos utilizados para el soporte vital, como en los niveles de atención primaria donde se tiene equipo simple utilizado para el diagnóstico y tratamiento de los pacientes. En todos los niveles de los servicios de salud es necesario que los equipos médicos funcionen de manera apropiada y sean usados correctamente por personal capacitado, para que no cause ningún daño a los pacientes ni a los técnicos mismos. [15]

La tecnología en la salud es un aspecto importante que no puede ser ignorado actualmente. Todo equipo médico tiene una vida útil que dependerá del tipo de equipo y de tecnología

que contiene, así como de la frecuencia e intensidad de uso que se le de y la regularidad del mantenimiento. Debido a esto, es importante brindar atención regular a los equipos a través de mantenimientos y llevar un control claro de estos procesos para extender la vida útil. Al tener un mantenimiento técnico eficiente en el sistema de salud, se puede garantizar que los dispositivos operen al 100 % de su capacidad y se extienda su tiempo de vida, (Figura 1A). Empezando desde la adquisición del equipo, en la que el tiempo de almacenamiento, instalación y puesta en marcha debe ser corto, lo cual garantiza un funcionamiento al 100 % de su potencial desde el inicio.

Si bien existirán períodos cortos donde este potencial se reduzca, esto puede ser corregido por mantenimiento y/o reparación a tiempo. Los mantenimientos planeados siempre conllevan a tiempos donde el equipo no puede ser utilizado, sin embargo, realizarlos con frecuencia y de manera planeada y adecuada puede reducir los tiempos de espera y prolongar significativamente la vida útil del equipo. 15 16

Por otro lado, cuando se tiene una mala gestión en el mantenimiento del equipo médico, estos equipos pueden nunca alcanzar su máximo potencial desde el inicio y su vida útil se deteriorará rápida y drásticamente. Usualmente, la mala gestión inicia desde el largo e inadecuado almacenamiento de los equipos, lo que conlleva a un potencial de funcionamiento no óptimo desde el principio de uso. La falta de control sobre los equipos y su uso incorrecto o problemas, conlleva a una lenta respuesta a la hora de mostrar errores, donde se continúa el uso con potencial reducido hasta que finalmente se debe parar por completo a causa de una falla mayor. A esto debe sumársele la falta de mantenimiento periódico y la falta de conocimiento en reparación o adquisición de repuestos, lo que conlleva a largos tiempos fuera de uso del equipo. Cuando finalmente se logra una reparación, el equipo no se restablece al 100 % de su potencial y el ciclo se repite hasta que el equipo debe ser descartado (Figura 1B). La falta de cuidados y la mala gestión, no solo se reduce la vida útil del equipo, causando un mayor gasto en reparación o incluso reemplazo completo, sino que representa un peligro para los pacientes. 16

Gestionar correctamente el equipo médico es esencial para alargar la vida útil de los dispositivos y asegurar su rendimiento y funcionamiento correcto. Algunos de los beneficios que conlleva una buena administración de esto son 15:

- Brindar un servicio completo y correcto a pacientes.
- Asegurar que los equipos funcionen correctamente y sin problemas.
- Protección a pacientes y personal médico durante el uso del equipo.
- Conocimiento del estado y cantidad de cada dispositivo médico.
- Reducción de costos y tiempos sin uso de los dispositivos.
- Vida útil más larga a cada equipo.

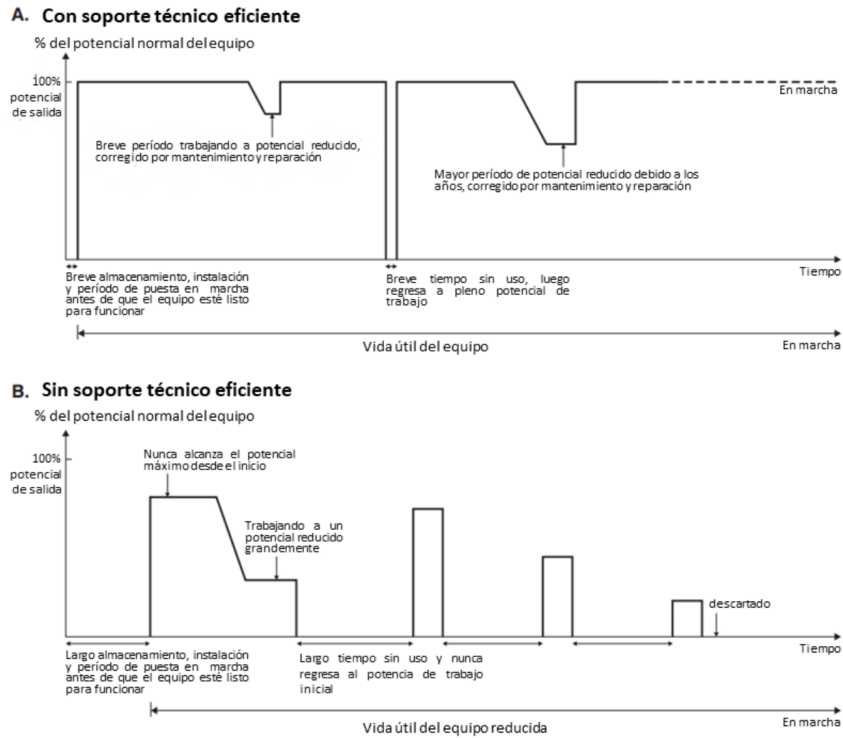


Figura 1: Potencial y vida del equipo médico en relación a la gestión del mantenimiento. A) larga vida del equipo lograda con mantenimiento correcto y periódico. B) corta vida del equipo debido a la mala gestión. [16]

Con la alta demanda de equipos médicos y su gran utilidad en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades, la buena gestión debe de ser prioritario para todos los centros de atención médica. Para ello se debe de contar con la infraestructura digital correcta y las soluciones tecnológicas que se integren en el día a día de los médicos, facilitando y asegurando la gestión correcta de los dispositivos. [17]

4.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema para el control y gestión del mantenimiento de equipo médico mediante una interfaz de usuario implementado en el Hospital Materno Infantil Juan Pablo II.

4.2. Objetivos específicos

- Analizar el contexto del sistema nacional de salud de Guatemala.
- Definir la estructura de la base de datos digital necesaria para almacenar la información más importante de los equipos médicos y el mantenimiento necesario en el hospital.
- Integrar un mecanismo de identificación/codificación único para cada dispositivo que permita el acceso a información relevante de cada uno.
- Programar e implementar una interfaz gráfica de usuario en un servidor local para una intuitiva visualización de los datos de cada equipo médico.
- Realizar pruebas sobre la experiencia del usuario y recopilar retroalimentación para que los usuarios se adapten de manera más rápida y facilitar su uso.

El análisis del contexto nacional de hospitales se realizó con el fin de tener una impresión sobre el posible alcance de un proyecto a gran escala en Guatemala donde se busque mejorar el conocimiento y mantenimiento de dispositivos.

Dentro del trabajo actual en el Hospital Materno Infantil Juan Pablo II se llevaron a cabo versiones de prueba del software de base de datos y calendarización. Sin embargo, esto solamente se hizo hasta alcanzar la versión beta, donde aún faltará analizar la experiencia de usuario y plantear cómo se puede implementar a gran escala en el hospital. Se definió la arquitectura de la base de datos a partir de la información proporcionada por el hospital, tomando en consideración que existen datos faltantes desde el origen.

De igual manera, el inventario digital y el sistema de codificación QR se realizó hasta alcanzar un estado preliminar donde los posibles usuarios puedan comprender el funcionamiento y dar retroalimentación antes de plantear cómo implementarlo de forma estable y a largo plazo. Este mecanismo de identificación se integró únicamente en los equipos que se encontraron disponibles para realizar pruebas.

Todo el sistema realizado se almacenó de forma local en una computadora con conexión a internet. No se implementó en un servidor en la nube. Además, las pruebas de experiencia de usuario solamente se realizó con el administrador de los equipos médicos en el hospital.

6.1. Hospitales en Guatemala

En Guatemala, el sistema de salud se puede dividir entre el sector público y el privado. Según datos actuales (año 2023), los establecimientos de salud públicos se dividen en: 100 puestos de salud, 100 centros de salud, 3 Centros de Atención Permanente (CAP), 11 Centros de Atención Integral Materno Infantil (CAIMI), 46 hospitales y 5 hospitales temporales COVID-19. Para el 2011, se contaba con 2287 clínicas médicas privadas y 62 hospitales y sanatorios. [18] [14].



Figura 2: Ubicación de los hospitales nacionales del país. [18]

El sistema de salud de Guatemala, al igual que otros de la región, se encuentra segmentado y fragmentado. Por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) existe poca coordinación entre los diferentes establecimientos de salud, como duplicación de servicios, ya que en muchos lugares se encuentran todos los tipos antes mencionados, pero en otros, no hay ninguno. Esto se puede observar en la Figura 2, donde la mayoría de los 46 hospitales están en la región central y metropolitana del país (31), seguido de 8 hospitales en

la región sur-occidente, 4 en Petén y 3 en la región nor-oriente, en el resto de regiones no hay ningún hospital disponible. Además de esta fragmentación, existe una deficiencia y una mala distribución de los recursos humanos (personal de salud), una inadecuada infraestructura de estos servicios, principalmente en zonas rurales y un escaso financiamiento (2.02 % del PIB, para el año 2019). Esto ocasiona una brecha en la población en cuanto al acceso a los servicios de salud, tanto en cantidad como en calidad. [19]

6.2. Dispositivos médicos

Según la FDA (Food and Drug Administration), un dispositivo se define como un instrumento, aparato, implemento, software, máquina, artefacto mecánico, implante, reactivo in vitro u otro artículo similar, incluyendo un componente o accesorio que sea destinado para usarse en el diagnóstico de enfermedades u otras condiciones, como la cura, mitigación, tratamiento y/o prevención en humanos y/o animales. [20]

La clasificación de dispositivos médicos para la FDA depende del uso de estos y también se basa en el riesgo que pueden tener sobre un paciente y/o usuario, estas son: Clase I, II y III; en donde la clase I contiene a los dispositivos con menor riesgo y la clase III los que tiene que un mayor riesgo. El primer paso para clasificar los dispositivos es buscar el número de regulación en la clasificación y para ello, existe una lista con 19 especialidades médicas, estas son: anestesiología, cardiovascular, química, gastroenterología y urología, cirugía general y plástica, hospital general, hematología, inmunología, microbiología, neurología, obstetricia y ginecología, oftalmología, ortopedia, patología, medicina física, radiología, toxicología y oído, nariz y garganta en una sola categoría. Después, se le asigna una clasificación según el riesgo que presentan. [21]

De acuerdo con el uso previsto de cada dispositivo médico descrito anteriormente, es de interés la categoría de hospital general. Para esto, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) creó un listado de dispositivos médicos prioritarios (LDMP) para el primer nivel de atención, que sirve de guía para los países de América y con esto, priorizar herramientas claves y disminuir los problemas de salud en la población [22]. Entre estos dispositivos están:

- **Aspirador (máquina de succión):** tiene como función evacuar secreciones y líquidos de la cavidad nasal o de las vías respiratorias del paciente. [23]
- **Electrocardiógrafo:** es una herramienta de diagnóstico que mide y graba la actividad eléctrica del corazón con detalle. [24]
- **Monitor de signos vitales:** mide los indicadores médicos básicos de salud, como temperatura, pulso, respiración y presión arterial. [25]
- **Resucitador manual/ambú:** es un instrumento médico que se utiliza para ventilar de forma manual a pacientes con problemas para respirar. Este se conecta por medio de mascarilla o por un tubo endotraqueal a las vías aéreas de la persona. [26]
- **Ultrasonido:** es una forma de imágenes que ha sido utilizada para el diagnóstico y guía para procedimientos quirúrgicos. El ultrasonido se define como una frecuencia por encima de la que el oído humano puede escuchar, mayor a 20 kHz. [27]

- **Desfibrilador:** este equipo restablece el ritmo cardíaco normal al aplicar una descarga eléctrica, puede ser de forma externa (sobre la piel) o implantables que se usa en ocasiones específicas. [28]
- **Autoclave:** utilizado para esterilizar materiales o herramientas médicas. [29]
- **Camilla para pacientes:** utilizadas para el transporte, desplazamiento y exploración de pacientes. Por otro lado, existen las camas hospitalarias son el sitio de descanso o de recuperación. [30]

6.2.1. Mantenimiento de equipos médicos

A diferencia de otras tecnologías (como drogas o implantes), los equipos médicos requieren de mantenimientos (programado y no programado) durante su vida útil. Estos mantenimientos son tan importantes como el diseño y desarrollo del equipo. Tanto los hospitales como cualquier organización de salud debe asegurar que los equipos médicos críticos son seguros, precisos, confiables y que operan al nivel requerido de funcionamiento. Para las inspecciones de los equipos médicos (mantenimiento preventivo), una opción es programar el mantenimiento de los equipos de acuerdo a las fechas recomendadas por los fabricantes, estas puede ser una vez cada meses u otra frecuencia. Otra opción recomendable es programarlo de acuerdo con las horas de uso. Este tipo de mantenimiento garantiza equipos fiables y que funcionan correctamente. Al momento de encontrar algún problema durante el procedimiento, el equipo debe ser apartado para repararlo y que pueda continuar con sus tareas. [31] [32]

Por otro lado, las tareas de mantenimiento correctivo no se programan y estas aumentan o disminuyen según la demanda. Por esto, para mejorar la eficiencia en este tipo de mantenimientos es importante establecer un esquema de prioridades al asignar recursos para cubrir las necesidades dentro del hospital, definir un sistema de reporte efectivo que permita a los encargados informar las fallas detectadas. La creación de un equipo especializado orientado a la resolución de problemas, en conjunto con procedimientos establecidos, facilita la respuesta a las fallas, siendo estas más rápidas y eficientes. La implementación de tecnologías o esquemas de monitoreo remoto, también resulta clave para detectar problemas antes de que se produzca un problema con el equipo médico y así, mejorar la calidad del servicio en un hospital. [32]

6.2.2. Problemas típicos con los equipos médicos

La Organización Mundial de la Salud estima que el 70 % del equipo médico que viene de países desarrollados no funciona en los hospitales de países en vías de desarrollo. Esto se debe a varios factores, siendo uno de ellos la falta de repuestos: cualquier equipo médico desarrollado para países en vías de desarrollo dejará de funcionar hasta que se requiera el primer reemplazo de alguna pieza, ya que muchas veces estas piezas se encuentran en estos países o ya no las fabrican. Un estudio realizado indica que esta es una de las causas principales al momento de reportar problemas o fallas con los equipos médicos. Al examinar equipos, los participantes de Engineering World Health (EWH), quienes trabajan principalmente en Guatemala, Uganda y Nepal, reportaron que el 12.3 % de las piezas rotas del equipo que

requerían una pieza de repuesto, no se lograron encontrar por el fabricante u otros medios. [33]

Otro de los problemas es la falta de consumibles, que son líquidos o suplementos requeridos para el uso del equipo y son no reutilizables como los electrodos, tiras de pruebas o transductores de presión arterial. Al igual que en el caso anterior, es difícil encontrar estos repuestos, ya sea comprados o donados. Además de la falta de reemplazos, existe otra barrera que es la falta de personal técnico capacitado. Al encontrar un personal calificado, a menudo sus conocimientos no son útiles ya que estos han realizado sus estudios o trabajado en países desarrollados donde el equipo no es igual o tienen tareas específicas asignadas. [33]

Asimismo, problemas comunes en los países en vías de desarrollo es la falta de energía y agua, debido a que muchos equipos están diseñados para infraestructura con estos factores mínimos. También, la falta de carreteras o de mala calidad hacen que el equipo no llegue a todos los lugares donde se requiere. [33]

6.2.3. Importancia de un sistema para la administración del equipo médico

Los activos físicos, como la tecnología de salud, son uno de los más grandes gastos en cualquier sector de salud, lo que hace evidente que sea necesario tener una buena administración de estos para asegurar que los equipos médicos están siendo usados de manera correcta y que duren lo más posible. Además, una gestión apropiada de estos contribuirá a mejorar la eficiencia dentro del sector de salud, como mejores ingresos y mejor atención a los pacientes [15]. La efectividad y eficiencia de un sistema de mantenimiento debe ser medida y monitoreada constantemente para mejorar. Esta efectividad debe medirse al evaluar factores como la tasa de fallos, incidentes con pacientes, tiempo promedio en reparar los fallos, entre otros. [34]

La gestión de mantenimiento de los equipos médicos es una herramienta de gran apoyo para el personal de ingeniería, control y dirección de estos programas, ya que permite tener un registro de los servicios que se le realizan a los equipos. En un estudio realizado en Medellín, utilizando un sistema de administración de equipos, lograron identificar que la falla más común (75 %) en los equipos del servicio de urgencias era por mal manejo de los equipos por parte de los usuarios y que 70 % del mantenimiento es realizado por personal con experiencia en el área (tecnólogos en mantenimiento de equipo biomédico e ingenieros biomédicos). Anteriormente a este sistema, las instituciones de salud públicas y privadas solo contaban con cronogramas de mantenimiento con información desactualizada con relación a las hojas de vida de los equipos y planes de mantenimiento o adquisición de estos. [17]

6.3. Bases de datos

Una base de datos se puede definir como un objeto estructurado, que actualmente suele vincularse a sistemas de cómputo. Este objeto estructurado está compuesto por dos partes: los datos y los metadatos, siendo esta última la parte estructurada. Los datos en la base de datos representan la información actual y descriptiva, como los nombres y direcciones de

clientes. Por otro lado, los metadatos describen la estructura aplicada por la base de datos a dichos datos de los clientes, por ejemplo: definición de tablas de clientes con información de ellos. Una base de datos se representa gráficamente como un disco cilíndrico, como se muestra en la Figura 3. La base de datos como tal es almacenada y ejecutada en una computadora del servidor de base de datos. Esta computadora está conectada a través de una red a los usuarios finales que ejecutan informes y, en esta imagen, también a los usuarios del navegador en línea que navegan por su sitio web. [35] [35]

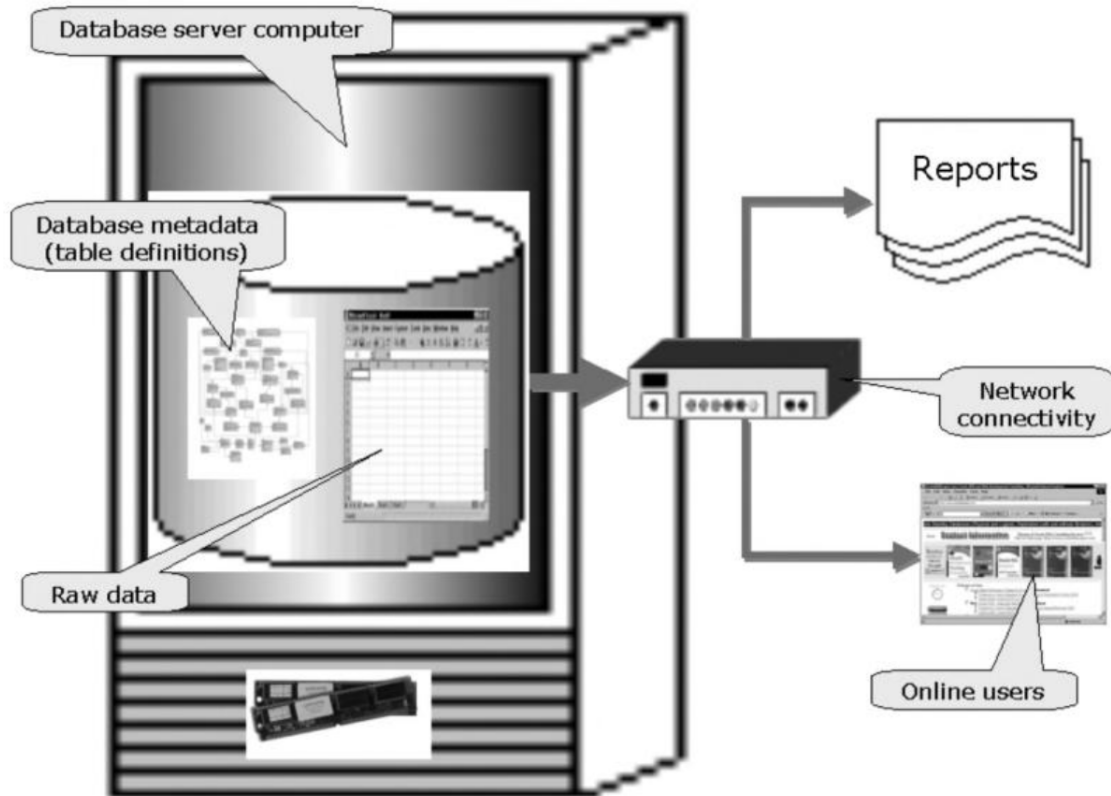


Figura 3: Descripción gráfica de una base de datos. [35]

Para el diseño de un sistema de administración de bases de datos (DBS, por sus siglas en inglés) digital se debe asegurar que el software necesario para compilar y ejecutar la manipulación de datos, así como el hardware para esto. En general, estos sistemas consisten en interfaces y lenguajes de programación que facilitan la interacción entre los usuarios y la base de datos. [36]

La Figura 4 muestra un diagrama de bloques general de una base de datos. La base de datos física (Physical Database) se refiere al almacenamiento real de información como campos, registros, archivos, páginas y tal vez, estructuras de datos como listas o árboles. La base de datos conceptual (Conceptual Database) es la percepción abstracta que los usuarios tienen sobre la estructura y organización de los datos. Después de establecido este modelo conceptual, se realiza una traducción dirigida por la sintaxis para poder convertir estos conceptos abstractos en un modelo físico implementable. La interpretación de estos elementos almacenados se refiere al resultado final de este proceso, donde los elementos del modelo conceptual se traducen a términos concretos, como tablas y relaciones. [36]

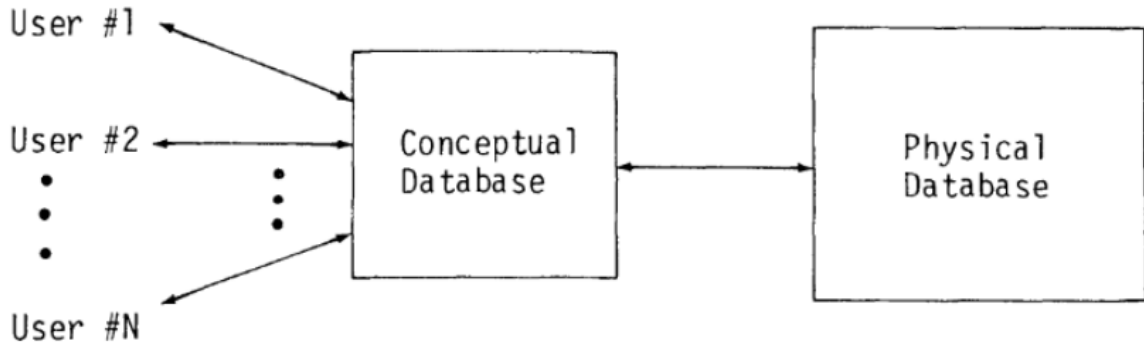


Figura 4: Modelo general de una base de datos.

Existen tres modelos de bases de datos que proporcionan los esquemas organizativos generales [36]:

- **Modelo de base de datos relacional:** los datos se organizan como tablas. Las filas son las entradas individuales de la base de datos y las columnas son las características. Este modelo es importante porque logra enfatizar el concepto de relación entre componentes gráficos principalmente e indica la relación entre los datos. El formato de almacenamiento utilizado para una base de datos es el de un archivo de registros de longitud fija en el que cada registro es una entrada individual y los campos del registros definen los atributos. En la Figura 5a, se muestra un ejemplo de una tabla de una base de datos relacional que contiene información sobre dos imágenes, en donde se identifican la cantidad de objetos que aparecen y otras descripciones.
- **Modelo de base de datos jerárquico:** los datos están organizados como un árbol, en el que la raíz es una entrada lo menos detallada posible y una hoja en el árbol contiene la información más específica, como se observa en la Figura 5b. En este modelo, una entrada toma significado solo en el contexto de sus nodos superiores e inferiores. Esto es efectivo para los datos en los que esta forma de árbol es notorio, por ejemplo en sistemas de administración de información. Usualmente, estos datos son almacenados en un archivo con un número de registros variable. Un registro es cada entrada de la base de datos y el tamaño se determina por la cantidad de características/atributos que se coloquen; además se pueden enlazar con otras entradas.
- **Modelo de bases de datos de red:** los datos son esencialmente organizados como una gráfica, cada nodo es un registro de datos y los arcos que se muestran en la Figura 5c son enlaces a otros registros. Esta puede ser considerada como una generalización del árbol del modelo jerárquico para el caso en el que no hay una única relación jerárquica entre los registros. Estos modelos pueden almacenarse como un archivo, también con cantidad de registros variable. Generalmente, es utilizada como una multilista en el que cada entrada de un registro tiene muchos indicadores a otros registros.

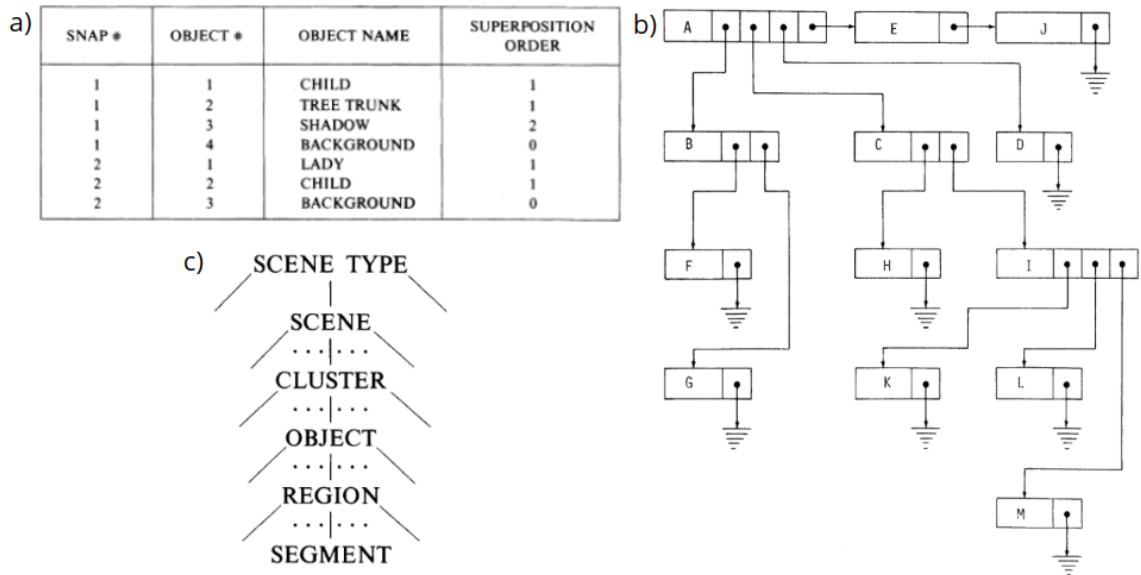


Figura 5: Tipos de modelos de bases de datos. a) Ejemplo de un modelo relacional. b) Representación de un modelo jerárquico. c) Ilustración de un modelo de red. [36]

6.3.1. Programación de bases de datos

El propósito principal de programar bases de datos es fortalecer los atributos funcionales de las bases de datos, optimizar la estructura del sistema de la base de datos y brindar una buena experiencia a los usuarios. Asimismo, al diseñar la programación de la base de datos, se debe utilizar la tecnología de programación correspondiente de acuerdo con las necesidades reales de la aplicación, con el fin de garantizar que ésta sea funcional al ponerse en práctica. Los principales lenguajes de programación de bases de datos son java (Oracle corp., CA, USA) y SQL, que se pueden utilizar para programar y diseñar las bases de datos. Para desarrollar una programación de bases de datos funcional, se debe seguir el siguiendo el flujo de la Figura 6, primero clarificando las necesidades del usuario, luego ver los requerimientos de programación. Además, analizar la información a contener en la base de datos, satisfaciendo las necesidades para cumplir los requerimientos y por último, programar la base de datos. [37]

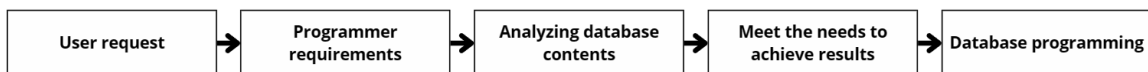


Figura 6: Diagrama de flujo del análisis de las demandas del usuario. [37]

Uno de los sistemas más utilizados para la programación de bases de datos es MySQL (Oracle, CA, USA), que es un sistema de bases de datos relacional. SQL, por sus siglas en inglés, significa Lenguaje de Consulta Estructurado, un lenguaje estandarizado para consultar, actualizar y administrar datos. Es un sistema cliente/servidor muy capaz, suficientemente seguro y estable para muchas aplicaciones. Adicionalmente, el servidor de MySQL ofrece varias librerías y conectores diseñados para trabajar en diferentes entornos de programación.

Entre ellos se encuentra la C-API que es para programación en C, así como el Conector/C++ que facilita el desarrollo en C++ y también es compatible con Python (Conector/Python). También, existe el Connector/J utilizado para Java y el Connector/ODBC que funciona como una solución para la programación en entornos Windows. Las herramientas mencionadas anteriormente permiten una integración efectiva del servidor de MySQL con las diversas aplicaciones en los entornos que se desea desarrollar. [38]

6.3.2. Seguridad

Para hablar sobre seguridad se debe considerar la diferencia entre seguridad y privacidad. Privacidad es la necesidad de restringir el acceso a los datos, ya sean secretos comerciales, datos que pueden usarse como bases para robo de identidad o información personal que por ley se debe mantener privada. Mientras que, seguridad se refiere a las medidas que se toman para garantizar esta protección e integridad de los datos. [39]

Varios autores consideran que la seguridad de la red tiene tres objetivos [39]:

- **Confidencialidad:** asegurar que los datos que deben permanecer privados, estén privados.
- **Integridad:** asegurar que los datos son exactos. Esto significa que los datos deben estar protegidos de cualquier modificación y/o destrucción desautorizada.
- **Disponibilidad:** asegurar que los datos estén accesibles cuando la organización los necesite. Esto implica proteger la red de cualquier cosa que los haga no estar disponibles, incluyendo eventos como caídas de voltajes, entre otros.

Esta seguridad digital se puede aplicar al utilizar identificadores de usuarios y contraseñas (que los usuarios sepan), que funciona como la primera línea de defensa para cualquier red de autenticación. Los usuarios no son la principal parte de este tipo de seguridad, si no que es la contraseña, estas deben ser: contraseñas largas preferiblemente, que tenga combinación de letras, números y caracteres especiales, que no compartan su contraseña con nadie más ni escribirla en algún lugar que otros puedan encontrarla, las contraseñas deben cambiarse regularmente. [39]

Asimismo, existen los métodos de seguridad física, entre estos se encuentran las cámaras de seguridad afuera del lugar donde se encuentre el servidor o las máquinas, con el fin de grabar quien entra y sale del área. Además, se pueden colocar smart locks en la puerta del cuarto donde está el servidor para que la persona que deba entrar coloque el código y que el paso sea más restringido (estos también pueden ser por identificación biométrica si se desea). [39]

6.4. Interfaz de usuario gráfica

6.4.1. Funcionamiento

La interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) es la parte más importante de cualquier sistema informático debido a que es la parte visible, tangible y/o audible que conecta al software con el usuario. El objetivo del diseño de interfaces es simple y claro: simplificar, aumentar la productividad y brindar una experiencia agradable durante la interacción con el sistema. Una interfaz de usuario se define como una colección de técnicas y mecanismos para interactuar con un sistema. En una interfaz gráfica, el primer mecanismo de interacción es un dispositivo señalador de algún tipo, funcionando como el equivalente electrónico a la mano de un humano. Los usuarios interactúan con un conjunto de elementos denominados objetos, realizando operaciones que incluyen el acceso y modificación mediante acciones como señalar, seleccionar y/o manipular. [40]

Los sistemas gráficos tienen una serie de características, como: una sofisticada representación visual, interacción de seleccionar y hacer clic, un conjunto restringido de las opciones de la interfaz, visualización, orientación a objetos, el uso de la memoria de una persona y el desempeño de las funciones como tal. Estas características se traducen en un rendimiento óptimo de las funciones de un sistema.

Asimismo, la aplicación de estos principios pueden ser utilizados en el ámbito web, en donde el objetivo es construir una jerarquía de menús y páginas, que estén bien estructurada, que sea fácil de usar y confiable. La línea entre el diseño de una página y una aplicación no siempre es clara. En general, el diseño de páginas web tiene la intención de proveer información; mientras que una aplicación se diseña para que una persona realice acciones específicas y le permita guardar información de manera interactiva. Otra diferencia entre estas es que el diseño de una página web es más complicado por varias razones, entre estas el lenguaje de programación. Para observar más comparaciones entre una interfaz y un sitio web, se presenta el Cuadro 1, en donde se detalla más información para tomar la decisión de cuál forma realizar. [40]

6.5. Programación para la interfaz de usuario gráfica

El lenguaje de programación más utilizado para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUIs) es Python y este cuenta con varias bibliotecas que ayudan a que este proceso sea más sencillo y eficiente. Entre ellas, Tkinter y PyQt son las más destacadas. La elección entre estas dos opciones depende de los requisitos específicos del proyecto y la preferencia del desarrollador.

6.5.1. Python

Python es un lenguaje multiplataforma, es decir, el mismo programa de Python puede ser ejecutado en diferentes sistemas operativos simplemente copiando el archivo en el que se creó. Esto puede ser utilizado para programar en estilo procedimental y orientado a obje-

Tabla 1: Diferencias entre el diseño de una aplicación GUI y una página web. [40]

	GUI	WEB
Dispositivos	Las características del hardware del usuario están bien definidas: la pantalla aparece exactamente como se especifica.	La apariencia de la pantalla está influenciada por el hardware utilizado.
Enfoque del usuario	Datos y aplicaciones	Información y navegación
Tareas del usuario	Instalar, configurar, personalizar, iniciar, usar y actualizar programas. Abrir, usar y cerrar archivos de datos. Se puede permanecer mucho tiempo en la aplicación.	Enlazar a un sitio, buscar o leer páginas, llenar formularios, registro para servicio, participar en transacciones, descargar y guardar cosas. Movimiento entre páginas y sitios muy rápido.
Elementos de presentación	Ventanas, menús, controles, datos, barras de herramientas, mensajes y más.	Dos componentes: buscador y página. En la página hay combinación de texto, imágenes, audio, video y animación-
Seguridad	Estrictamente controlado, proporcional al grado de voluntad de invertir recursos y esfuerzo. No es un problema para la mayoría de usuarios de computadoras de casa.	Reconocido por las exposiciones de seguridad. Las opciones de seguridad proporcionadas por el navegador no son comprendidas por los usuarios promedio.

tos, brindando flexibilidad en la elección del enfoque de programación. Una de las grandes ventajas de utilizar Python es que además de la muy completa librería estándar que ya posee, tiene miles de librerías más disponibles para que se puedan utilizar, como las antes mencionadas, que facilitan el desarrollo eficiente de aplicaciones. [41]

6.5.2. Tkinter

Es una librería de Python diseñada para crear interfaces gráficas de usuario (GUI). Se destaca por su versatilidad y diversas ventajas que la hacen adecuada para distintas aplicaciones. Está disponible en cualquier entorno en donde se encuentre presente Python. Tkinter ofrece ventajas como [42]:

- Está disponible en cualquier entorno se encuentre Python, pero en ocasiones se requiere instalarla y crear ambientes virtuales para su uso.
- Es estable: el código correrá por años sin cambios significativos, brindando una base sólida para aplicaciones a largo plazo.
- Es una sola caja de herramientas, es decir, no necesita enlazarse con otras librerías para funcionar.
- Es simple e intuitiva: utiliza un diseño de interfaces orientado a objetos sencillos, no se deben aprender cientos de clases de widgets para programarlas o un lenguaje distinto.

Sin embargo, Tkinter no es perfecto y presenta ciertas limitaciones [42]:

- Ha recibido críticas por su apariencia, debido a que puede parecer antigua. Sin embargo, esto se puede mejorar mediante la personalización y ajustes.
- Carece de widgets más complejos, como aquellos destinados a la representación de texto enriquecido o HTML, pero tiene la opción de poder crearlos mediante la combinación y personalización de elementos más simples.

6.5.3. PyQt

Qt es más que una librería para GUIs, es un marco de aplicación, debido a que no se limita únicamente a la parte visual, sino que también incluye toda la parte del desarrollo de software. Contiene docenas de módulos con cientos de clases, entre estas: clases para agrupar tipos de datos simples como fechas, hora, URLs o valores de colores. Esta tiene componentes como botones, entradas de texto o cajas de diálogos, además tiene interfaces para hardware como cámaras y sensores móviles. Posee una biblioteca para redes, subprocesos y bases de datos. Qt se presenta como una estructura integral, facilitando el desarrollo de aplicaciones completas, brindando una base sólida para construir software de forma eficiente. [43]

Python es conocido por su facilidad de aprendizaje y se combina muy bien con Qt, que es probablemente la mejor librería para el desarrollo de aplicaciones GUI. La combinación de ambos, PyQt, hace posible el desarrollo de aplicaciones en cualquier plataforma y que corra sin cambios en Windows, Linux, Mac OS y la mayoría de sistemas basados en Unix. Esta librería es utilizada para escribir todos los tipos de aplicaciones de GUI, desde aplicaciones contables hasta herramientas de visualización utilizadas por científicos e ingenieros. [44]

7.1. Análisis de las necesidades

7.1.1. Entrevistas

Para poder entender la situación del hospital respecto al equipo médico que utilizan en las distintas áreas, se realizan una serie de entrevistas semi-estructuradas. Estas entrevistas tienen una menor rigidez que las entrevistas estructuradas, ya que son preguntas fijas, pero las personas a entrevistar tienen la libertad de elegir la pregunta que más convenga según fluya la conversación. [45]

Como herramienta para la recolección de datos se recurrió a Google Forms (Google Inc., CA, USA) [46], el cual permite crear formularios y poder obtener la información requerida por los usuarios. En este caso, como entrevistadora, se realizan las preguntas, mientras se escribe en el Google Forms la respuesta por parte de los trabajadores del hospital y al mismo tiempo, esto estaba siendo grabado con su consentimiento. Las preguntas realizadas son las siguientes:

- Nombre (puede ser anónimo)
- Cargo/departamento
- ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en el hospital?
- Durante el tiempo que lleva aquí, ¿se ha arruinado algún equipo mientras lo está usando? o ¿ha querido usar un equipo y no pudo porque estaba en mal estado?
- ¿Qué tan seguido le pasan estas situaciones?

- Normalmente, ¿estas fallas se observan más en equipo grande o que usan con mayor frecuencia o en cualquiera?
- Mencione alguna experiencia que le haya pasado con alguna de estas situaciones
- ¿Llevan algún registro de las veces que utilizan el equipo?
- Antes de utilizar los equipos, ¿les dan algún tipo de entrenamiento o ustedes aprenden a usarlos por su cuenta?
- ¿Sabén en dónde están los manuales de los dispositivos o si estos existen dentro del hospital?
- ¿Sabe si existe algún procedimiento para cuando un equipo presenta fallas? Si sí, ¿cuál es?
- ¿Existe alguna persona encargada del mantenimiento periódico de los equipos?
- ¿Considera necesario que exista una persona encargada de revisar los equipos constantemente para que estos no presenten fallas en situaciones importantes?
- Cuéntenos, ¿cómo sería su solución ideal para ser más eficiente el proceso de arreglar los equipos?
- Comentarios

Estas preguntas fueron realizadas a las personas encargadas de realizar/revisar su inventario en cada área del hospital o que tienen la responsabilidad sobre el equipo, es decir, que están pendientes del mantenimiento o compra de estos.

7.2. Estructura de la base de datos

7.2.1. Análisis del inventario actual

El análisis del inventario es necesario para poder identificar datos útiles de los equipos médicos, conocer qué información se tiene y qué podría faltar. Como primer paso, se obtiene el inventario actual del hospital y se evalúan los distintos tipos de equipos, su clasificación y la cantidad que se encuentran registrados. Luego de esto, se verifican los datos realizando una inspección física de los equipos en búsqueda de discrepancias en lo que está en el inventario y poder solucionarlo. Además se busca que los equipos que se encuentran actualmente en el hospital estén registrados en el inventario ya brindado por ellos mismos, es decir, que esté actualizado.

Un aspecto que resulta útil para la verificación del inventario es utilizar la clasificación que se brinda por parte del hospital y si no existe alguna, se pueden verificar los equipos existentes por área, para que sea un proceso más ordenado. Como segundo punto también es importante obtener la ficha técnica de los equipos médicos, donde se encuentre información más detallada, si es que no lo está en el inventario proporcionado, sobre encargados del mantenimiento de cada uno, datos, técnicos, entre otros.

De no existir un inventario actual o ficha técnica para los equipos, esta es la información mínima que se debe tener de cada equipo:

- **Datos generales del equipo**
 - ID del equipo (si existe alguno)
 - Tipo y nombre del equipo
 - Ubicación dentro del hospital
 - Estado (en uso, descartado o en bodega)
 - Fecha de instalación
- **Información técnica**
 - Marca, modelo y serie del equipo
 - Año de fabricación
 - Vida útil
 - Alimentación eléctrica
 - Manual de usuario
- **Información de proveedores**
 - Tipo de adquisición del equipo (donado o compra)
 - Proveedor de compra
 - Fecha y precio de compra
 - Garantía y fecha de vencimiento de esta
 - Proveedor de mantenimiento

7.2.2. Definición de la base de datos

A partir de la información que se detalla dentro del inventario, se organiza de forma visual para entender mejor. Para esto, se realizan tablas en donde se agrupan los datos relacionados de una base de datos. Las tablas tienen columnas y filas (registros) y se realizan en una hoja de cálculo. En estas tablas también se definen las claves primarias (PK) que sirven como identificadores únicos de cada registro.

A cada columna de datos se le asigna el tipo de dato correspondiente para mantener consistencia entre cada registro de la tabla. Algunos de los tipos de datos que se utilizan son:

- **char:** almacena textos breves de hasta 255 caracteres de longitud.
- **varchar:** almacena texto de longitud desconocida y variable entre cada registro. La longitud máxima permitida actualmente es de 65.535 caracteres.
- **text:** utilizado para escribir textos muy largos, como comentarios.

- **date:** permite almacenar fechas con el formato “AAAA-MM-DD”, que corresponde a año-mes-día.
- **time:** almacena horas, minutos y segundos utilizando el formato “HH:MM:SS”.
- **year:** permite almacenar un año con dos o cuatro dígitos. El rango es desde el año 1901 hasta el 2155.
- **int:** es un número entero y el rango va de 0 hasta 429,4967,295.
- **decimal(M, D):** utilizado para almacenar valores monetarios, debido a que se requiere una máxima exactitud, no hay redondeo. Donde M es el número de dígitos y D es la cantidad de decimales a utilizar.

Si se desea obtener más información sobre más tipo de datos, referirse a [\[47\]](#).

Al tener establecidas las tablas, se identifica el tipo de relación entre estas y se realiza la normalización de los datos. Para este caso, la relación es de uno a muchos, donde un elemento de la tabla principal puede tener muchas correspondencias en otra tabla. La elección de este tipo de relación busca modelar situaciones en las que un único registro en la tabla principal pueda ser asociado con varios registros en la tabla secundaria, por ejemplo, la tabla principal del equipo médico tiene un campo sobre proveedores de mantenimiento, entonces esta tabla principal se asocia a la tabla secundaria de proveedores de mantenimiento, en donde puede escoger uno de varios registros en esta tabla. Mientras que para la normalización, se escoge la normalización de la primera forma normal (1FN), garantizando que cada celda de la tabla posea un único valor, evitando redundancias y asegurando que cada fila tenga un identificador único. Estas decisiones mejoran la eficiencia de la base de datos al proporcionar una estructura clara y minimizando la posibilidad de inconsistencias.

7.2.3. Creación de base de datos en MySQL

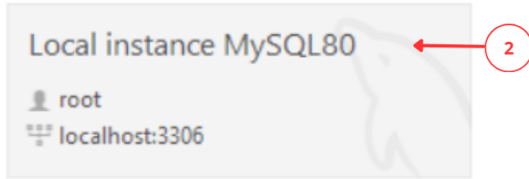
Antes de crear la base de datos se crea un diagrama entidad-relación combinado con un diagrama de flujo de datos (DFD). Los diagramas entidad-relación son utilizados para mostrar cómo las entidades, tales como: tipo de equipo, estado y otros, están relacionadas entre sí dentro de un mismo sistema. Estos diagramas están compuestos por entidades, relaciones y tributos. Las entidades son los objetos en los que pueden almacenarse datos, en este caso, para el tipo de equipo (entidad) se puede almacenar el id del tipo a ingresar y el tipo como tal, estos se conocen como atributos que son los que nos permiten describir las propiedades de la entidad. Las relaciones se refieren a cómo están asociados entre ellos, en este caso el sistema se relaciona con otras entidades distintas. Además, en esta se describe una cardinalidad que para este diagrama es de uno a uno o muchos.

Para la creación de la base de datos se utiliza MySQL (Oracle, CA, USA) que es un sistema de gestión de bases de datos relacional [\[48\]](#). Como primer paso se descarga MySQL Server y MySQL Workbench. Luego, se crea la conexión en MySQL Workbench hacia MySQL Server y se agrega la contraseña que se solicita. Al ingresar, se muestran las ventanas de **schemas** y **Adminsitration**, se selecciona **schemas** que es donde aparecen las bases de datos que están ya por definición en el programa y las que se irán agregando.

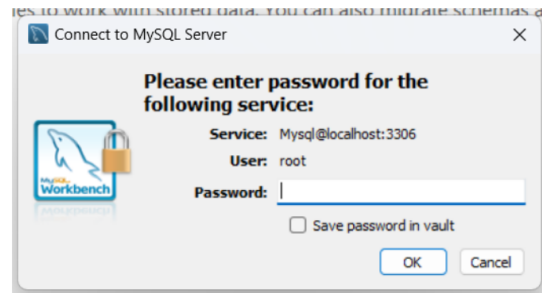
Hay distintos métodos para crear la base de datos, uno de ellos es crearla directamente desde MySQL Workbench, al igual que las tablas. Para esto, se presiona el icono de crear una nueva base de datos, se escribe el nombre con el que se desea llamar a la base de datos, sin espacios, y se presiona en “Aplicar”. Después, otra vez en “Aplicar” y ya se muestra la nueva base de datos creada en la sección de **schemas**. Esta explicación se puede ver de forma más gráfica en la Figura [7](#).

1. Conexión desde MySQL Workbench hacia MySQL Server.

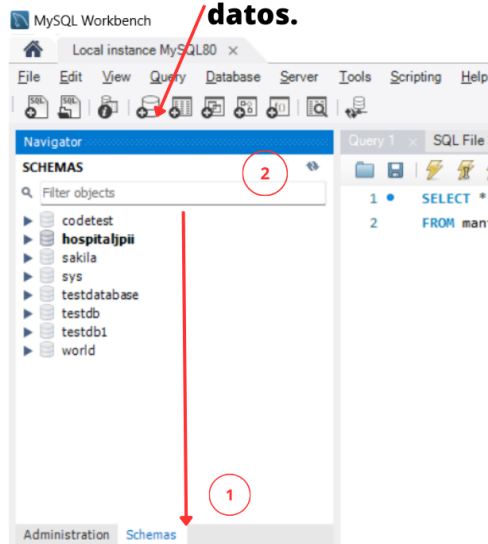
MySQL Connections  



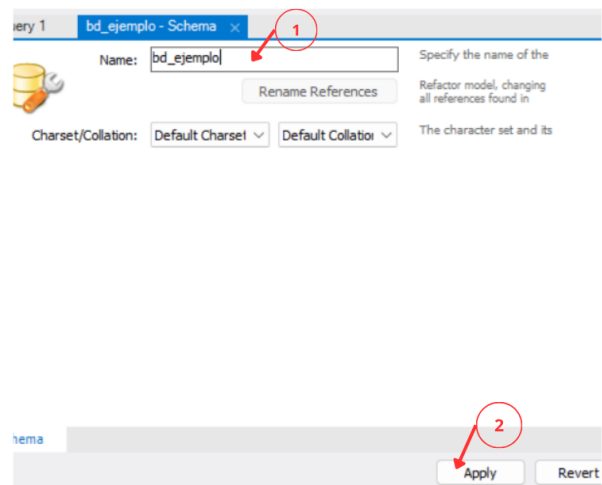
2. Ingresar contraseña y clic en OK.



3. Ubicarse en schemas y presionar el botón para crear una base de datos.



4. Escribir el nombre para la base de datos y clic en Aplicar.



5. Nuevamente clic en Aplicar y en la siguiente ventana en Finalizar.

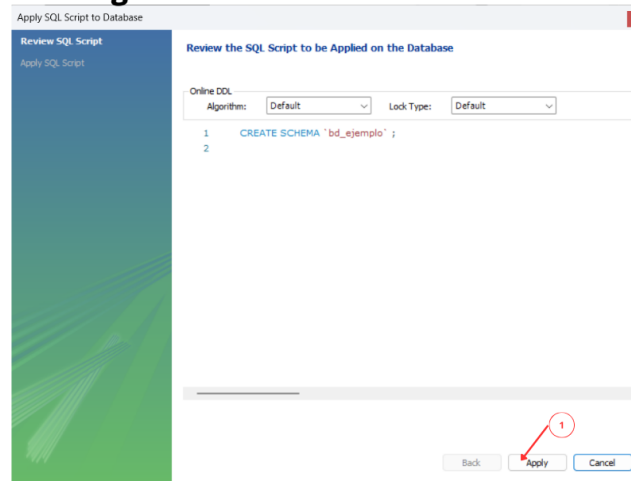
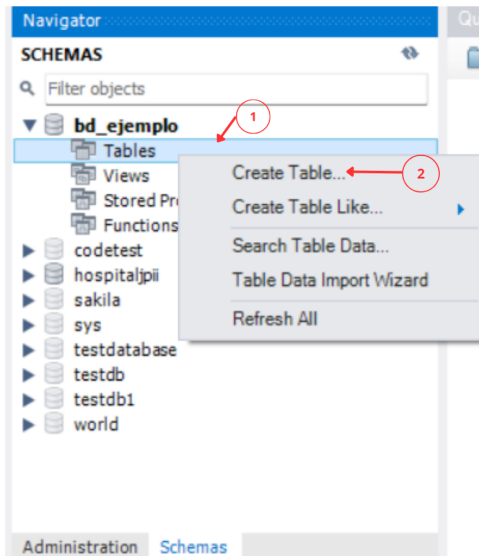


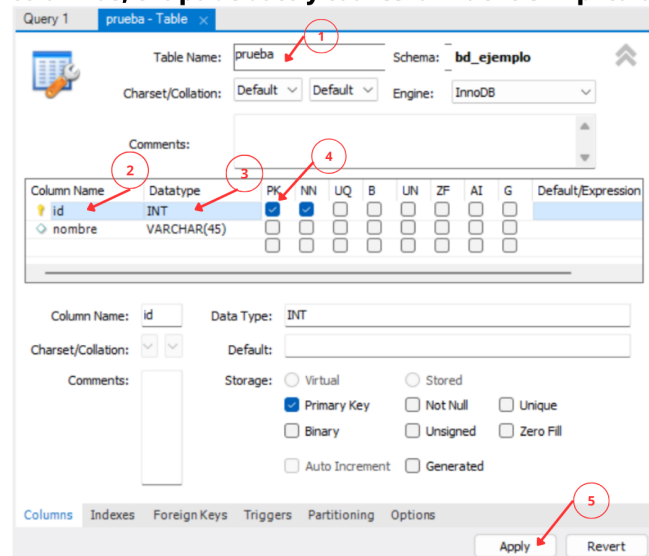
Figura 7: Crear base de datos desde MySQL Workbench.

Para la creación de las tablas, se observa que debajo de donde se ha creado la base de datos, hay una opción de “Tablas”, hacer clic derecho en esta opción y seleccionar “Crear tabla”. Con esto, aparece una ventana del lado derecho, colocar el nombre de la tabla y en la pestaña de “Columnas”, se escribe el nombre de cada columna a crear y el tipo de dato a utilizar. Además, se selecciona la columna que sirve como llave primaria (PK). Al tener ya todos los datos listos, hacer clic en “Aplicar” y aparece una nueva ventana, se vuelve a hacer clic en “Aplicar”. Este procedimiento se debe repetir con cada tabla que se requiera para la aplicación. Para una explicación más gráfica, ver la Figura 8.

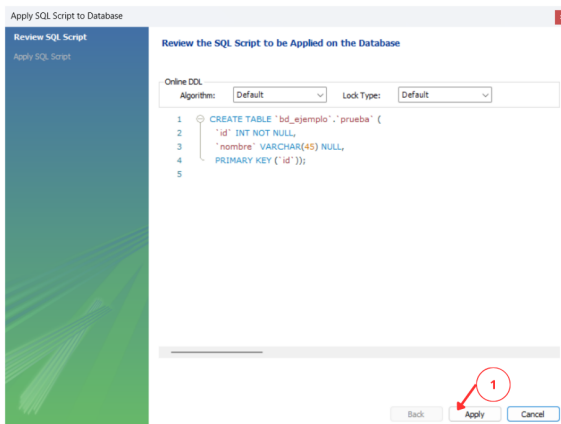
1. En “Tablas”, clic derecha y seleccionar “Crear tabla”.



2. Colocar el nombre a la tabla, escribir nombre de las columnas, el tipo de dato y cuál es la PK. Clic en Aplicar.



3. Clic en aplicar nuevamente y luego en finalizar.



4. Ya se muestra la tabla en la base de datos.

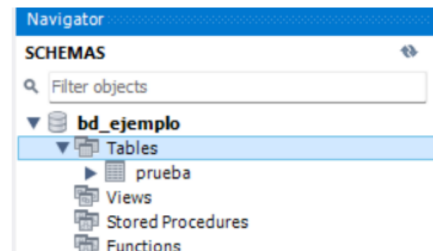


Figura 8: Crear una tabla desde MySQL Workbench.

Para agregar registros a las tablas, también se puede realizar desde MySQL Workbench. Esto se logra desde el panel de consulta, escribiendo lo siguiente:

```
SELECT *
FROM nombre_tabla
```

Para ejecutar esta consulta, se presiona Ctrl+Enter o en la pestaña superior de “Query”, se selecciona la opción de “Ejecutar”. Esto muestra la tabla a la que se hace referencia en la consulta y se agregan los registros, como se observa en la Figura 9. Al tener todos los registros deseados, hacer clic en “Aplicar”(punto 3), aparece otra ventana y nuevamente clic en “Aplicar”. Siguiendo este procedimiento, se guardan los datos insertados o modificados.

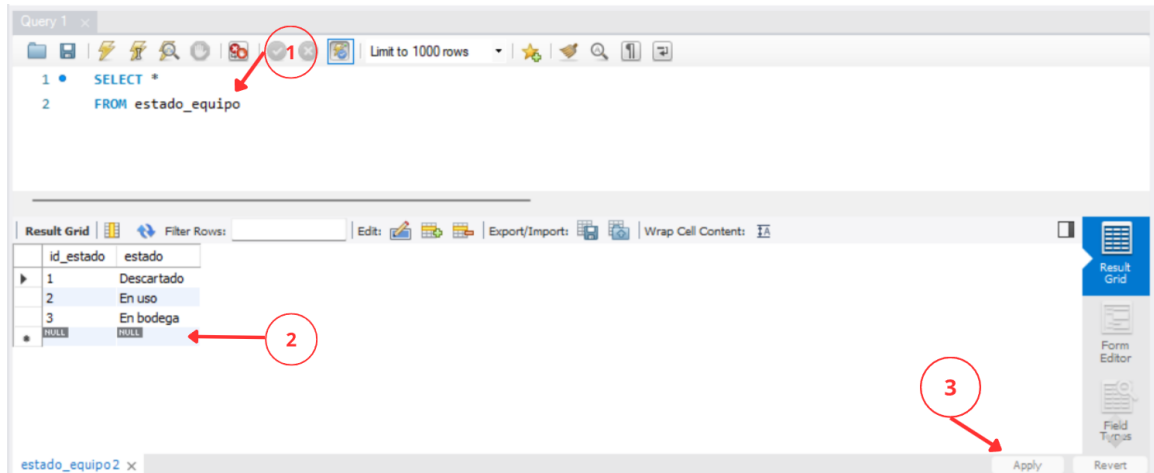


Figura 9: Crear registros en una tabla desde MySQL Workbench.

7.3. Implementación de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

7.3.1. Prototipos

Los prototipos de la interfaz gráfica se realizan de acuerdo a las necesidades del hospital que han sido analizadas en las secciones anteriores. En esta fase, se identifican todas las funciones deseadas por el personal del hospital y luego, se realiza una interpretación gráfica utilizando Canva (Word Inc., Sidney, Australia), un sitio web con herramientas para crear diseños de manera sencilla. Se enfatiza la importancia de que las funciones de la aplicación a desarrollar sean intuitivas para el usuario, asegurando que sea fácil de comprender para el personal que lo utilice.

7.3.2. Diseño de la GUI

Para la creación de la interfaz gráfica se utilizan las siguientes herramientas :

- **Qt:** es una biblioteca usada para desarrollar interfaces gráficas de usuario usando C++. Fue creado por The Qt Company con sede en Oslo, Noruega [49].
- **PyQt:** es un enlace de Qt creado por Riverbank Computing Ltd con sede en Ohio, Estados Unidos. Con esto se une la biblioteca Qt a Python y es necesario instalar PyQt5 tools para poder hacer uso de Qt Designer que es la herramienta para la creación de las interfaces [50].

- **PySide:** es otra biblioteca que puede ser utilizada con PyQt. Esta se usa al descargar el código de Qt Designer para poder crear las funcionalidades en Python. También fue desarrollado por Riverbank Computing Ltd y avalado por The Qt Company [50].
- **Visual Studio Code (VS Code):** es un editor de código creador por Microsoft con sede en Washington, Estados Unidos [51].

Antes es necesario descargar Visual Studio Code, luego se debe asegurar que Python esté instalado y por último se instala PyQt y PyQt5 tools para poder utilizar Qt Designer. Para iniciar con el diseño de la interfaz, abrir Qt Designer desde la terminal de VS Code escribiendo:

```
>pyqt5-tools designer
```

Con esto, se inicia la aplicación y se pueden utilizar los elementos disponibles, tales como:

- **Botones**

- Push Button: es el más utilizado en cualquier interfaz gráfica. Se presiona el botón para que se ejecute una acción, (Figura 10h).

- **Vistas de elementos**

- Table View: implementa una vista de tabla que muestra los elementos de un modelo, es más flexible porque solo es de vista.

- **Widgets de elementos**

- List Widget: brinda una vista de lista y permite agregar/eliminar elementos.
- Table Widget: proporciona funciones de visualización de tablas estándar (Figura 10i). Esta no tiene su propio modelo de datos.

- **Contenedores**

- Tab Widget: genera una barra de pestañas y un área utilizada para mostrar las distintas páginas que se relacionan a cada pestaña (Figura 10a).
- Stacked Widget: similar al Tab Widget donde hay páginas relacionadas, pero esta tienen pestañas, se pueden asociar a algún botón o función.
- Frame: utilizados para crear marcos de marcador de posición simples. Estos se pueden estilizar y dar forma.

- **Widgets de entrada**

- Combo Box: permite presentar una lista de opciones al usuario (Figura 10e).
- Line Edit: permite al usuario ingresar texto (Figura 10c).
- Text Edit: similar al Line Edit, pero este permite textos más grandes, párrafos.
- Spin Box: diseñado para manejar números enteros (Figura 10d).
- Double Spin Box: maneja números de tipo flotante (Figura 10f).
- Date Edit: permite al usuario ingresar una fecha (Figura 10g).

- Date/Time Edit: se puede ingresar tanto fecha como hora.

- **Widgets de visualización**

- Label: utilizado para mostrar texto o una imagen (Figura 10b). El usuario no puede realizar ninguna interacción.

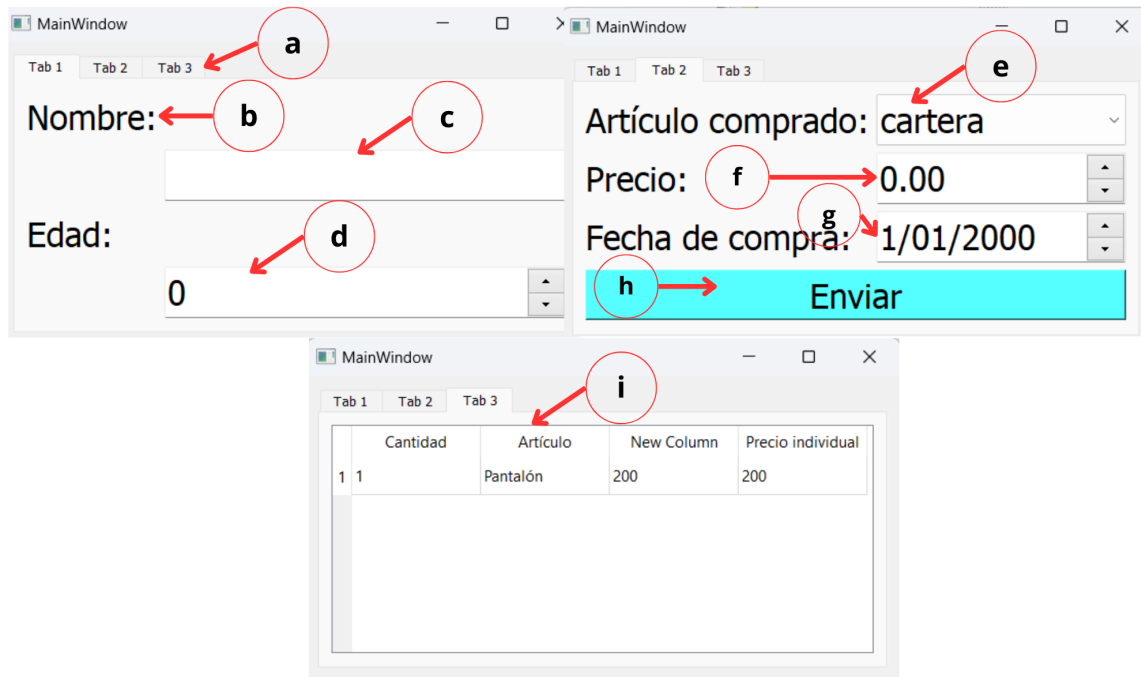


Figura 10: Representación gráfica de los elementos de Qt designer. a) Tab Widget. b) Label. c) Line Edit. d) Spin Box. e) Combo Box. f) Double Spin Box. g) Date Edit. h) Push Button. i) Table Widget.

Existe una gran cantidad de elementos disponibles para la creación de una GUI para diversas aplicaciones [52]. Luego de la creación de la GUI, se programan las funciones para darle la utilidad deseada al programa. La GUI que se obtiene de Qt Designer, no tiene ninguna funcionalidad, solamente es gráfico. Para poder programar las funciones, se guarda en Qt Designer, luego se presiona la pestaña de “Form” y se selecciona la opción de “Ver Código en Python”. Después, se muestra una ventana con todo el código, se hace clic en el icono de Guardar y se selecciona la ubicación deseada. Con esto, se procede a abrir el archivo con el código en python y se continúa programando las funciones necesarias.

7.3.3. Integración de la GUI con la base de datos en MySQL

Para esta integración se debe instalar la librería de mysqldb en python, utilizando el siguiente comando en la consola:

```
pip install mysqldb
```

Al instalar esto, se llama la librería en el código principal y se crea la conexión de la siguiente forma:

```
mydb = mysql.connector.connect(  
    host="localhost",  
    user="yourusername",  
    password="yourpassword"  
)  
  
mycursor = mydb.cursor()
```

Con el código anterior, solo se debe sustituir el *host*, *user* y *password* con los datos de la base de datos en la conexión que se creó en MySQL Workbench. La última línea mostrada se utiliza para poder ejecutar las consultas SQL en la base de datos. A partir, de esto se crean consultas para poder acceder o insertar información a las tablas. Algunos de los comandos utilizados para realizarlas son: INSERT, SELECT, UPDATE O DELETE. Para conocer más consultas o cómo realizarlas, consultar la siguiente página [53](#).

7.3.4. Programación de la GUI

En VS Code, se abre la carpeta donde se guardó el código anterior y crear un nuevo archivo .py para ejecutar el código principal en este. En el código de Qt Designer se da la estructura y diseño de la interfaz, por lo que es necesario llamar a este archivo en el código principal de la siguiente manera:

```
from nombre_archivo import Ui_MainWindow
```

También es necesario llamar al resto de librerías de Python que serán utilizadas para la aplicación, que en este caso fueron **PySide2**, **shutil** utilizada para copiar archivos de una carpeta a otra, **pandas** y **openpyxl** para exportar archivos de Excel y **datetime** para obtener la fecha actual. Además, se utiliza la librería de **mysqldb** para conectarse a la base de datos de MySQL.

Posteriormente, se inicia la codificación del programa. Primero, se crea la clase de la ventana principal que hereda de QMainWindow. Esto es una estructura utilizada en PyQt donde se pueden utilizar las funcionalidades de QMainWindow, como barra de menú, área de visualización de la GUI. Luego, se inicializa la ventana principal, llamando al constructor `__init__`. Después, se crea una variable que almacene al objeto que tiene la interfaz gráfica de Qt Designer que ya fue llamada anteriormente, esto para poder acceder a los atributos y todas las funciones de `Ui_MainWindow` por medio de esta variable. Y para finalizar con esto se llama al método `setupUi` para configurar la interfaz de usuario en esta ventana. Esto se puede ver aproximadamente:

```
class MainWindow(QMainWindow):  
    def __init__(self):  
        QMainWindow.__init__(self)  
        self.ui = Ui_MainWindow()  
        self.ui.setupUi(self)
```

Después de esto, se empieza a configurar la ventana, se puede agregar un nombre único y un ícono. Se definen funciones conforme las tareas que se desea que haga la aplicación. La estructura general de una función es de la siguiente forma:

```
def nombre_funcion(argumentos):  
    #codigo de la funcion...
```

Algunas funciones generales que se pueden utilizar para esta aplicación son las siguientes:

- **def** mantenimientos(self): esta función se crea para poder acceder a la fecha seleccionada en el calendario colocado en QtDesigner y este datos se envía a función de taskList.
- **def** taskList(self, date): recibe el dato de la fecha seleccionada para realizar la consulta en la base de datos en la tabla de mantenimientos, buscando los mantenimientos que están con esa fecha y mostrarlos donde corresponda.
- **def** registrarEquipo(self): con esta función se cargan todos los datos necesarios para el registro de equipo, si existen tablas en la base de datos que sean utilizadas en los combobox para selección del usuario se debe hacer aquí, además se colocan las funcionalidades de los botones como **subir_pdf** y **generar_codigo**, descritas a continuación:
 - **def** generar_codigo(self): esta función es útil cuando se desea generar un código automáticamente, por ejemplo, utilizando la ubicación, nombre y tipo de equipo.
 - **def** subir_pdf(self): si se desea subir un pdf como manual de usuario, en esta función se colocan las tareas a realizar para llegar a esa acción.
 - **def** guardar_datos(self): al presionar un botón de Guardar, cuando ya se hayan llenado los datos requeridos para el equipo médico, en esta función se podrán guardar los datos en la base de datos. Además, se utiliza para copiar el pdf subido a una carpeta específica y poder después acceder a todos juntos.
- **def** limpiar_campos_registros(self): una función de este tipo es útil para que al regresar a una ventana o terminar de guardar los datos, esta pueda ser llamada y limpiar todos los campos que se llenaron.
- **def** datos_tabla(self): puede ser creada para visualizar los datos de los equipos médicos registrados y puede contener las siguientes funcionalidades:
 - **def** editar_equipo(self): función para permitir la edición de algún equipo registrado.
 - **def** eliminar_equipo(self): si se desea eliminar algún equipo que se haga tanto en la tabla que se muestra como en la base de datos, al igual que la función de editar.
 - **def** exportar_excel(self): en caso el hospital requiera tener un excel para enviarlo como reporte, el usuario puede descargar un archivo de Excel.
- **def** ver_catalogo(self): si se tienen distintas tablas en la aplicación, por ejemplo de encargados de los equipos, ubicaciones, tipo de equipo, entre otros, estas pueden ser mostradas y también se le pueden agregar las funcionalidades de agregar registro, editar o eliminar.

- **def registrar_mantenimiento(self)**: al igual que con **registrar_equipo**, en esa función se muestran todas las labels y campos a llenar por el usuario para poder registrar un nuevo mantenimiento, que también pueden las siguientes funciones:
 - **def subir_foto_mant(self)**: esta función similar a la de **subir_pdf** se puede configurar para que solo admita archivos png o jpg, según sea la preferencia y que permita subir las fotos de las facturas de los mantenimientos.
 - **def guardar_mantenimiento(self)**: tal como la función de **guardar_datos**, esta función guarda los datos que se ingresaron en registrar mantenimiento y se entra al presionar un botón de guardar, para que se almacene en la base de datos. También, se copia la foto de la factura subida a otra carpeta específica.
- **def ver_mantenimientos(self)**: aquí se pueden colocar las acciones necesarias para poder visualizar una tabla con los mantenimientos registrados y de igual forma se pueden agregar funciones como editar y eliminar mantenimientos.
- **def ver_manuales_usuario(self)**: si se desea tener un botón para ver los manuales de usuario que se han subido, al presionarlo se hace uso de esta función para acceder a la carpeta donde se copiaron todos los archivos pdf correspondientes a los manuales de usuario.
- **def ver_excels(self)**: con una idea similar a lo anterior, se tiene un botón para acceder a los archivos de Excel que se han exportado, tanto de los equipos médicos como de los mantenimientos.
- **def ver_fotos_mant(self)**: para poder acceder a las facturas de mantenimiento subidas, se presiona un botón para “Ver facturas” y se muestra la carpeta donde se copiaron todas estas fotos subidas al registrar el mantenimiento.
- **def solicitar_password(self)**: esta función se utiliza para poder editar o eliminar ya sea equipo médico, como información del catálogo o de mantenimientos, con el fin de que no cualquier persona pueda ingresar a estas funciones, por lo que se muestra una ventana de diálogo que pide el ingreso de una contraseña cuando se llama.
- **def verificar_password(self)**: esta función lee lo que se escribe en el campo donde se solicita la contraseña y verifica si esta es correcta. Además, en cada función de editar/eliminar donde se llama, se codifica para que solo permita 3 intentos como máximo.

7.4. Nueva codificación de los equipos médicos

Con la función mencionada en la sección anterior de **def generar_codigo(self)** se toma el tipo, nombre y ubicación del equipo médico para crear un nuevo código, buscando si en la base de datos ya se tiene algún equipo registrado con esas características y si es así, ir aumentando el número solamente del equipo.

Con esta nueva codificación, se realizan los códigos QRs específicos para cada equipo, en los que se pueda acceder a los mantenimientos registrados para cada uno. Para esto se utiliza Flask, un framework web de Python que funciona para crear páginas web pequeñas

de una manera simple. Junto a este framework se usa MySQL que es donde se almacenan los datos a los que se accederán en la página web. Estos códigos se colocan en algunos equipos médicos dentro del hospital.

Para el uso de Flask en python, es necesario realizar la instalación:

```
pip install flask
```

La librería de MySQL usada para la interfaz no es la misma que la que se usa con Flask. Para esto existe una librería en específico que se instala de la siguiente forma en VS Code:

```
pip install flask -mysqldb
```

Teniendo las librerías instaladas, se empieza a crear el código. El primer paso es importar la clase Flask de la librería flask instalada anteriormente. Luego, se crea una instancia de esta clase en el que se coloca el nombre del paquete de la aplicación `__name__`.

```
from flask import Flask
app = Flask(__name__)
```

Para estas aplicaciones se utiliza el decorador `route()` para indicarle a Flask el enlace que debe activar la función a realizar. En esta función se colocan las acciones que se deseen ejecutar y el tipo de contenido es HTML, que es un lenguaje para crear y estructurar páginas web. Generalmente se crea un archivo HTML y se llama en la aplicación de flask. Para más información sobre cómo crear aplicaciones con Flask, dirigirse a la página [54](#).

En esta aplicación, lo que se desea ver es información de un equipo en específico al escanear el código, por lo que el decorador `route()` contendrá el id del equipo a buscar, de la siguiente forma:

```
@app.route('/<string:id>')
```

En esta línea de código se hace referencia a que el id del equipo es un string. Luego de esto se configura la función para poder llamar a la tabla de la base de datos de MySQL que contiene la información de los mantenimientos y mostrarlos en una tabla creada con HTML, que se crea con `<table>`, ver más información en [55](#). La información de la base de datos se realiza con consultas SQL de la misma forma en que se realizan en la interfaz gráfica de usuario.

El QR se puede crear con diversos recursos en línea que lo hacen de forma gratuita. Para este caso se utiliza la página QR Code Generator [56](#). Al ser un servidor local, se coloca la dirección IP de la computadora en la que se tiene esta aplicación, se agrega el puerto y el id del equipo para que este sea único. Al escanearlo es donde deberá aparecer la página web creada donde se encuentra la tabla con los mantenimientos.

Un dato importante al momento de crear el código HTML, es que debe crearse una carpeta llamada 'templates' en la misma ubicación donde se está creando la página con Flask. Al momento de llamarla en la función que se desea que aparezca se hace de la siguiente forma:

```
return render_template('hello.html', name=name)
```

En este código 'hello.html' es el archivo html creado que está dentro de la carpeta 'templates', ya que Flask buscará automáticamente el nombre de esta carpeta.

Además de mostrar los mantenimientos, en esta página se muestra el manual de usuario del equipo correspondiente. Para esto, se crea otro archivo html para configurar el visualizador de PDF, el cual también se encuentra en la carpeta 'templates'. Primero, para acceder a los manuales al escanear el QR, es necesario que estos estén almacenados en una carpeta llamada 'static' en el mismo lugar donde está el código de Flask para esta aplicación. Esta carpeta, al igual que 'templates', es específica de Flask, la diferencia es que esta es utilizada para buscar archivos como PDFs. Para realizar el almacenamiento de los manuales en esta carpeta de forma automática, se modifica una sección de la interfaz gráfica. Al momento de registrar un equipo médico y subir el archivo del manual de usuario, la interfaz automáticamente copia este documento a la carpeta que corresponde, según la ubicación del equipo. El cambio que se realiza es que también este documento se copie a la carpeta 'static' para poder acceder a este mediante los códigos QR.

7.5. Experiencia de usuario

Para evaluar la experiencia del usuario y obtener retroalimentación sobre el sistema presentado, se realizan encuestas. Se crea una encuesta para la interfaz gráfica y otra para los códigos QRs. Las preguntas a realizar abordan aspectos clave que permiten identificar áreas de fortaleza y oportunidades de mejora. Las preguntas para la interfaz realizadas son:

- Pregunta 1: Del 1 al 5, ¿qué tan fácil es usar la aplicación para el inventariado y control de mantenimientos?
- Pregunta 2: ¿Qué le gusta más de la aplicación?
- Pregunta 3: ¿Le disgustó algo de la aplicación o algo que quisiera cambiar?
- Pregunta 4: ¿Qué le resultó difícil de utilizar?
- Pregunta 5: Del 1 al 5, ¿cuánto le da a la apariencia de la aplicación?
- Pregunta 6: Del 1 al 5, ¿cómo calificaría la percepción de los íconos laterales?
- Pregunta 7: ¿Considera que se consiguió lo que se pretendía con la aplicación?
- Pregunta 8: ¿Cree que es de utilidad tener un inventario digital?

Para los QRs creados se realiza otra encuesta diferente, con las siguientes preguntas:

- Pregunta 1: Del 1 al 5, ¿qué tan útil considera que es la información contenida en los QRs?
- Pregunta 2: Del 1 al 5, ¿cuánto le da a la apariencia de la página?
- Pregunta 3: Del 1 al 5, ¿qué tan funcional es esta aplicación para ver los mantenimientos y manuales comparado con lo que hacían anteriormente?

Las encuestas muestran una puntuación de 1 a 5, donde 1 es una categoría para 'insatisfecho' y 5 para 'muy satisfecho'. Estas encuestas se realizan a las personas interesadas o que podrían hacer uso de este sistema, en este caso, se realizan al encargado del inventario en el hospital. Estas preguntas buscan obtener perspectivas valiosas desde la posición del encargado del inventario, quien desempeña un papel fundamental en la gestión eficiente de los equipos médicos.

8.1. Entrevistas

Las entrevistas se realizaron a 5 personas encargadas de distintas áreas: enfermería, maternidad, sala de operaciones, odontología y el encargado de realizar el inventario de todos los equipos así como del área de laboratorio. De esto se obtuvo que las 4 personas encargadas de áreas mencionaron que solo el encargado de los mantenimientos es el que tiene acceso a los manuales de usuario. El 100 % de las personas entrevistadas estuvieron de acuerdo en que es necesaria una persona dedicada únicamente a estar pendiente de los mantenimientos de los equipos, ya que no saben cuándo estos tienen mantenimientos preventivos y para cuando se arruina un equipo, pasa un tiempo considerable para que estos puedan ser reparados y poder usarlos nuevamente.

La persona encargada del laboratorio del hospital es la misma persona que realiza el inventario de los equipos médicos y además, realiza inspecciones en los equipos para verificar las fallas reportadas por las personas encargadas de áreas. Si es una falla mayor, la reporta y hace los trámites necesarios para que llegue la empresa encargada a corregirlas. Debido a esto, las personas entrevistadas mencionan que es importante tener a una persona específica para los mantenimientos y para mantener al inventario actualizado.

Como parte de la recolección de datos para conocer la situación del Hospital Juan Pablo II, se obtuvo el inventario que ellos utilizaban, con algunos dispositivos desactualizados desde 2017 y otros desde 2020. Este inventario ya contaba con un sistema de codificación muy sólido, basado en recomendaciones por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En la Figura [11](#) se observa la información que tomaron en cuenta para crear los códigos, en donde el primer par de dígitos indica el departamento o área del hospital al que pertenece el dispositivo médico. El segundo par de dígitos hace referencia a la clasificación del dispositivo, si este es un equipo médico, un accesorio o un repuesto. El tercer par de dígitos indica el tipo específico de dispositivo médico, por ejemplo, si es un estetoscopio, una máquina de rayos X, un desfibrilador, entre otros. Por último, el cuarto par de dígitos se refiere al número del equipo en toda esta clasificación, por ejemplo, si está en el área de

maternidad, es un equipo médico, un doppler fetal y es el primer equipo que se registra en esta línea de clasificación, el código finalizaría con 01.

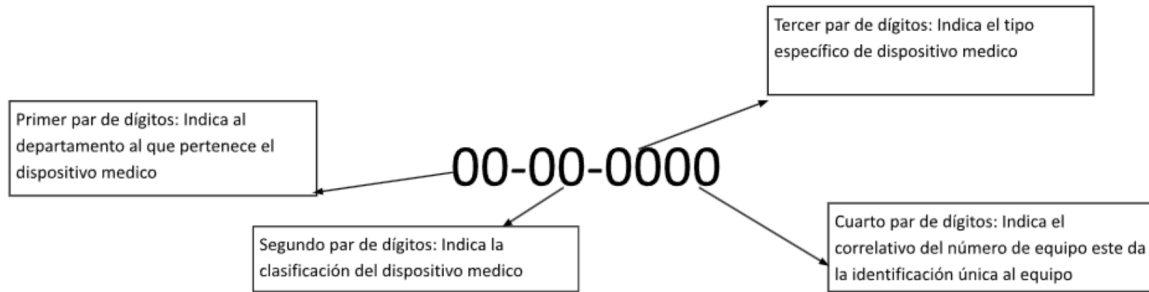


Figura 11: Sistema de codificación inicial del hospital. (Hospital Juan Pablo II, 2017)

Todos los equipos médicos dentro del hospital están codificados de esta manera, tanto los equipos principales como accesorios por individual y repuestos. En total, el proceso de colocar las etiquetas con los códigos y tener el inventario actualizado, el cual era una tabla en un documento de Word, tomó alrededor de dos años y ya no se continuó.

Tomando como base el inventario y datos brindados anteriormente, se identificaron los datos útiles que les servirían tener en consideración para cada equipo médico. Además, el hospital dio a conocer que es importante para ellos poder tener un calendario donde puedan observar los mantenimientos que se deben realizar en los equipos y las facturas asociados a estos.

8.2. Estructura de la base de datos

Este diagrama de entidad-relación, mostrado en la Figura [12](#) se realizó a partir de los datos encontrados con el análisis de las necesidades del hospital, uniendo información con la que ya contaban, como el tipo de equipo, nombre y ubicación y agregando el resto de datos que son de utilidad para la buena gestión de los equipos médicos. En el diagrama se muestra la tabla principal de `equipo_medico`, en donde se muestran las distintas entidades, como `id_equipo`, `tipo_equipo`, entre otras. Asimismo, se muestra el tipo de relación de uno a muchos, que se puede observar en el tipo de línea que une a la tabla principal con la secundaria, en donde la parte de la línea conectada con la segunda tabla se representa con muchas puntas, indicando que se puede relacionar la entidad de la tabla principal con varios atributos de la secundaria.

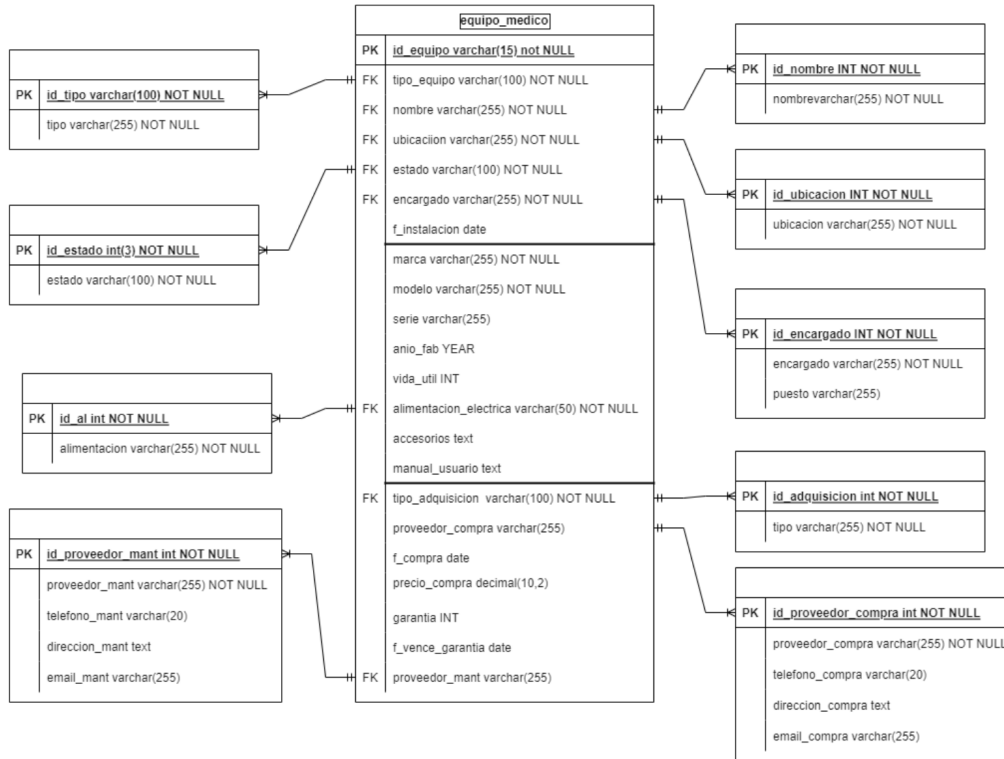


Figura 12: Diagrama entidad-relación (ERD).

Se realizó la base de datos en MySQL Workbench para tener la información brindada por parte del hospital de manera ordenada. Con esto, se pueden realizar consultas en el futuro y son útiles en la aplicación para seguir registrando equipos, mantenimientos, entre otros. Se creó una base de datos llamada 'hospitaljpii' que contiene varias tablas dentro de esta, como se observa la Figura 13. Los nombres de las tablas mostrados en esta figura corresponden a los mismos que se muestran en el diagrama de la Figura 12.



Figura 13: Base de datos y tablas creadas en MySQL Workbench.

La tabla principal es 'equipo_medico' que es donde se encuentra la información completa de cada equipo con su código de identificación único. Otra tabla principal es la de

'mantenimientos' que es donde se van almacenando cada mantenimiento realizado. Los datos a ingresar en cada uno son los que se muestran en la figura 14.

Table: equipo_medico		Table: mantenimientos	
Columns:		Columns:	
id_equipo	varchar(15) PK	id_mant	int PK
tipo_equipo	varchar(100)	fecha_mant	date
nombre	varchar(255)	hora_mant	time
ubicacion	varchar(255)	tipo_mantenimiento	varchar(45)
estado	varchar(255)	id_equipo	varchar(45)
encargado	varchar(255)	proveedor_mant	varchar(45)
f_instalacion	date	persona_encargada	varchar(45)
marca_eq	varchar(255)	telefono_encargado	varchar(45)
modelo_eq	varchar(255)	descripcion_solucion	text
serie_eq	varchar(255)	estado_mant	varchar(45)
anio_fab	year	costo_mant	decimal(10,2)
vida_util	int	foto	text
alimentacion_electrica	varchar(50)		
accesorios	text		
manual_usuario	text		
tipo_adquisicion	varchar(100)		
proveedor_compra	varchar(255)		
f_compra	date		
precio_compra	decimal(10,2)		
garantia	int		
f_vencimiento_garantia	date		
proveedor_mant	varchar(255)		

Figura 14: Columnas y tipo de datos de la tabla 'equipo medico' y 'mantenimientos'.

Las tablas restantes contienen la información que el usuario seleccionará más adelante en la interfaz para registrar equipos y mantenimientos. Estos datos fueron obtenidos con la información brindada por el hospital con los equipos que tienen, las áreas existentes, los proveedores que han tenido o que tienen registro, el tipo de equipo que se desea registrar, entre otros datos.

Para realización de la base de datos para la tabla principal del `equipo_medico`, se realizó un proceso de análisis en el que primero, se tenía el inventario original (Figura 15a), luego se creó un Excel (Figura 15b) y por último se llegó a la base de datos (figura 15c) en el que se muestra un equipo de prueba para fines de demostración.

a)

Código	Nombre	Características	Localización
01-02-0301/0101	Lámpara de unidad dental	Sin Marca	Clínica dental No. 4
01-02-0302/0102	Lámpara de unidad dental	Marca Evolution	Clínica dental No.2
01-02-0201/0103	Lámpara de unidad dental	Marca Castle	Clínica dental No.1

b)

Localización	Clasificación	Tipo	ID	Descripción	Modelo	Marca
01	01	06	01	Pieza de mano de alta velocidad	COMPACT Torque 636	Kavo
01	01	06	02	Pieza de mano de alta velocidad	Pana III S	NSK
01	01	06	03	Pieza de mano de alta velocidad	Basic Line HC-2011	MK Dent
01	01	06	04	Pieza de mano de alta velocidad	Extra Torque 506	Kavo

Marca	No. de Serie	Ubicación	Ficha técnica al 2023 (1 sí 0 no)	Existencia física al 2023 (1 sí 0 no)	Donado/compra	Estado
Kavo	07-1011505	Clínica Dental 3	ficha técnica	0	donación	en servicio
NSK		Clínica Dental 3	ficha técnica	1	donación	en servicio
MK Dent		Clínica Dental SOP	ficha técnica	0	compra	en servicio
Kavo		Clínica Dental SOP	ficha técnica	1	compra	en servicio

Proveedor de mantenimiento	Encargado dentro del hospital	Fecha de elaboración de la ficha	Etiqueta 0-no 1-sí 2-sticker a mano	Funcionamiento 0-dar de baja 1-perfecto funcionamiento 2-funciona con fallas
Ceredent	Dra. Vivian Ulban	2016	1	
Ceredent	Dra. Vivian Ulban	2016	0	1
Ceredent	Dra. Vivian Ulban	2016	0	
Ceredent	Dra. Vivian Ulban	2016	0	

c)

id_equipo	tipo_equipo	nombre	ubicacion	estado	encargado	f_instalacion
01-12-07-01	Equipo médico	Báscula digital	Sala de operaciones de maternidad	En uso	E.P. Yessica Pixola	2017-01-02
01-19-07-01	Equipo médico	Estetoscopio	Sala de operaciones de maternidad	En uso	E.P. Yessica Pixola	2017-01-02
01-24-13-01	Equipo médico	Negatoscopio	Especialidades	En uso	E.P. Elda Aguilar	2017-03-01

marca_eq	modelo_eq	serie_eq	anio_fab	vida_util	alimentacion_electrica	accesorios	manual_usuario
Olympic	NA	25-1403	2013	96	No aplica	Cable d...	D:/kelly/Documents/ma...
Littmann	Clasic II Infant 3M	L15K22599	2017	90	No aplica	Ninguno	D:/kelly/Documents/ma...
Wolg X-RAY Corp	M67	NA	2017	69	110-120V/60Hz	Ninguno	D:/kelly/Documents/ma...

tipo_adquisicion	proveedor_compra	f_compra	precio_compra	garantia	f_vencimiento_garantia	proveedor_mant
Compra	Desconocido	2017-01-02	500.00	3	2017-04-02	Meditek
Compra	Desconocido	2023-11-22	180.00	0	2023-11-22	Biokim
Compra	Desconocido	2017-03-01	2200.00	2	2017-05-01	Servicios Quirúrgicos

Figura 15: Evolución del inventario. a) Inventario inicial brindado por el hospital, en Word. b) Inventario ordenado, en Excel. c) Inventario registrado en la base de datos, en MySQL.

8.3. Interfaz gráfica de usuario (GUI)

Para el prototipo inicial, sabiendo que se tienen datos sobre el equipo médico a ingresar, se debe tener una sección de “Registrar equipo médico” y otra para poder visualizar estos datos. Además, se debe agregar una sección para registrar los mantenimientos de los equipos. Con esta idea inicial, se presenta el prototipo al hospital para verificar si los datos les parecen correctos o si es necesario agregar o quitar información. Luego, de la primera validación se comienza a trabajar en la interfaz.

Primero se realizó un prototipo inicial (Figura 16) en donde se tomaron en cuenta las necesidades básicas del hospital, como registrar y ver el equipo médico, ver el catálogo, que son las tablas creadas en MySQL y registrar mantenimientos. Originalmente, la interfaz contaba con botones individuales para: registrar equipo, ver equipos registrados, catálogo y mantenimientos. Estas funciones fueron determinadas como las más importantes por el personal del hospital, ya que necesitaban un sistema con el cual realizar y acceder al inventario de manera más sencilla.

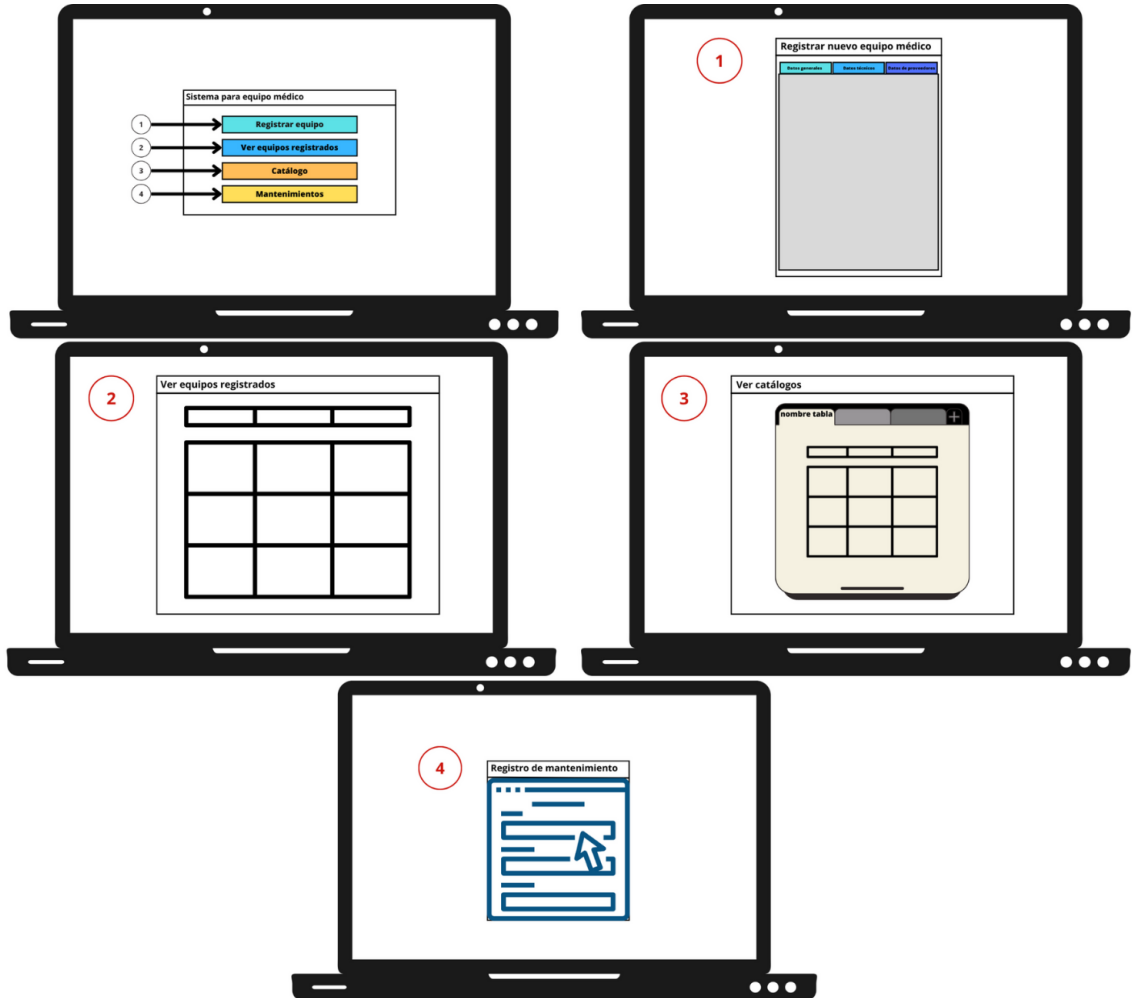


Figura 16: Prototipo inicial con opciones para registrar equipo, ver los equipos registrados, ver el catálogo y registrar mantenimientos.

En el prototipo inicial se tenían 4 funcionalidades principales, pero faltaba la opción para ver los mantenimientos registrados. En la opción de registrar equipo se tienen 3 secciones, una para ingresar los datos generales del equipo como tipo, nombre, ubicación, entre otros. En la segunda sección se tienen los datos técnicos, como marca, modelo, número de serie. Para la última sección se deben ingresar los datos de proveedores, tanto de compra como de mantenimiento. Para la opción de ver los equipos registrados solamente se muestra una tabla en donde se mostrarían estos equipos en la aplicación funcional. En la opción de ver catálogos, se muestra una ventana con distintas pestañas en donde deben aparecer los nombres de cada

tabla (Figura 13). Mientras que para la opción de registrar mantenimientos solamente se muestra un formulario para ingresar información sobre estos, aún faltaría especificar más información sobre la que se desea almacenar.

El prototipo final (ver Figura 17) se realizó con el fin de mejorar la estética de la aplicación y que esta sea más intuitiva para el usuario. Para este prototipo se añade una sección en donde se pueda ver un calendario con los mantenimientos a realizar o ya realizados. Además, la forma de acceder a las funciones que tiene la interfaz es más interactiva y más gráfica para el usuario que la utilice.

En este prototipo final, en la opción de registrar equipo, se mantienen las 3 secciones sobre información del equipo: datos generales, información técnica e información de proveedores. Al igual que en el prototipo inicial, en la opción de ver equipos se muestran una tabla para observar los equipos registrados. Para la opción de los catálogos se observa una diferencia, cambiando la ventana con pestañas por una sola tabla con un “menú de las tablas” para seleccionar la que se desea ver, esto con el fin de tener una interfaz más interactiva y con una mejor visualización. Luego, en el registro de mantenimientos, se tiene un ejemplo de un formulario para ingresar los datos requeridos. Por último, se agrega una ventana con un calendario en donde se mostrarán los mantenimientos registrados.

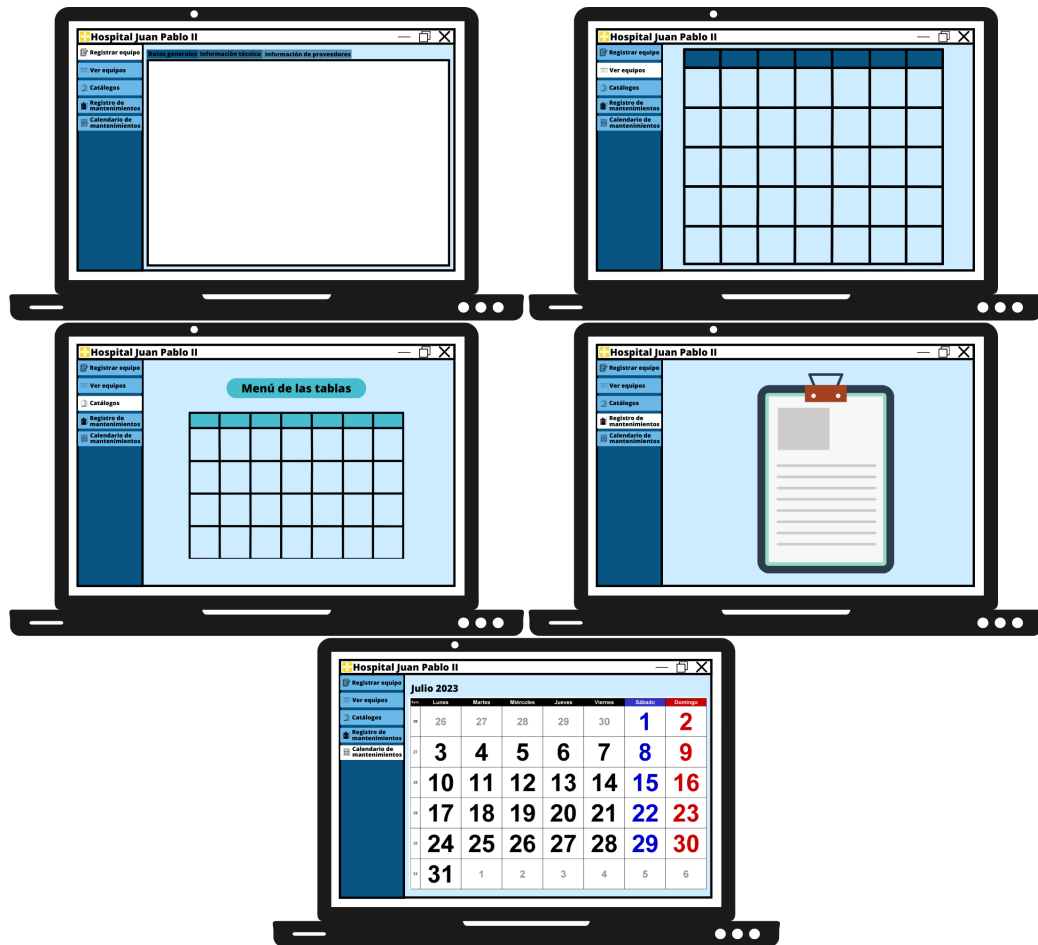


Figura 17: Prototipo final.

En ambos prototipos se presenta la misma idea de aplicación, lo distinto es la presentación. Primero, se programó la GUI para el primer prototipo con la librería Tkinter de Python, usando VS Code. A continuación se mostrará en contraste las ventanas de ambas interfaces y el funcionamiento general se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 33.

Para la primera página (Figura 18) que se muestra al correr el programa hay diferencias significativas entre ambas versiones. En la primera se ve una ventana simple con las opciones a la vista, mientras que en la segunda la ventana que se muestra es el calendario con un menú lateral que contiene las distintas opciones junto a un calendario para una mejor visualización de los mantenimientos realizados o a realizar.

Además, en la versión final el menú lateral es desplegable, en la Figura 18 se ve desplegado presionando el botón superior izquierdo "MENÚ" y al volver a presionarlo se observan solo los íconos, como en la Figura 19.

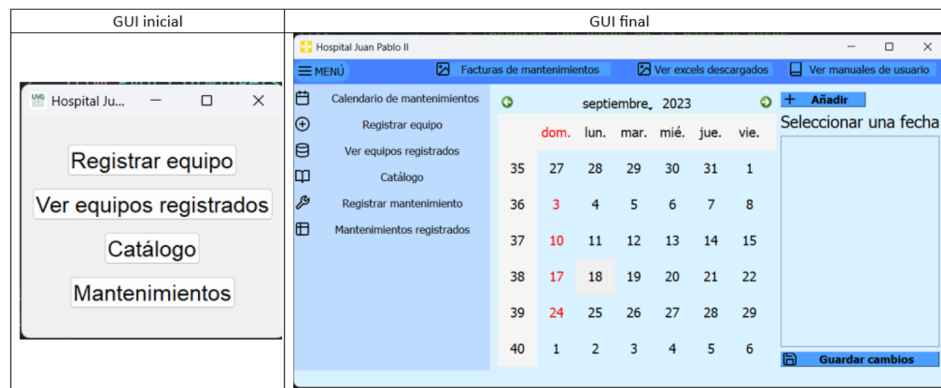


Figura 18: Página de inicio.

Para la opción de **Registrar equipo** de ambas interfaces (Figura 19), los campos a solicitar son los mismos, solamente cambia la apariencia de estos. La diferencia es que para la GUI final el ID del equipo se crea automáticamente, al seleccionar el tipo de equipo, nombre del equipo, ubicación dentro del hospital y luego presionar el botón de "Generar código". También, se agregaron botones de **Siguiente** y **Atrás** para navegar entre las pestañas.

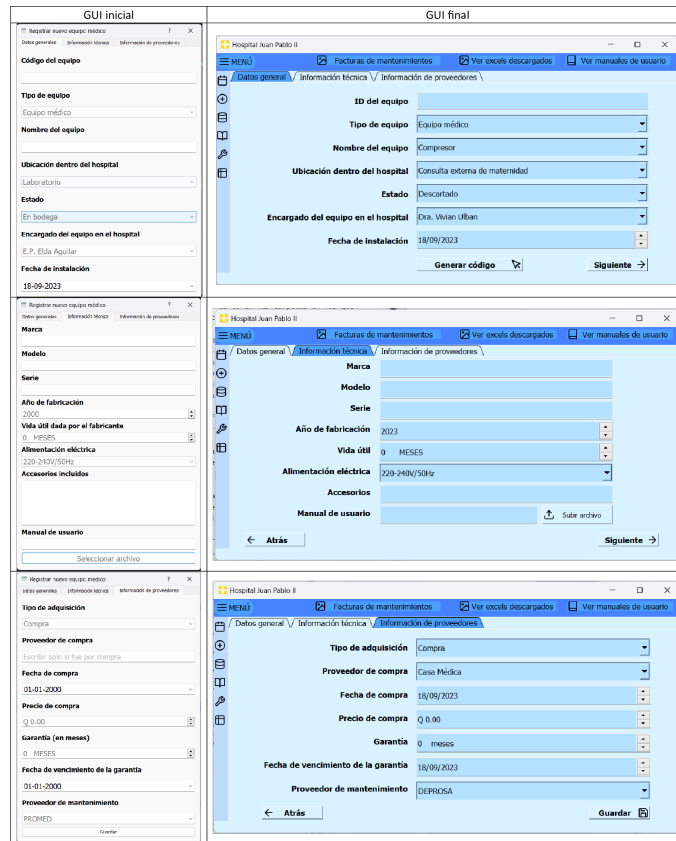


Figura 19: Página para registrar nuevo equipo médico.

Para la página de ver equipo (Figura 20) se muestra una tabla con todos los registros. Para la versión final, se tienen los botones de añadir, editar y eliminar; además de un filtro por ubicación y un botón para exportar la tabla a un archivo .xlsx.



Figura 20: Página para ver los equipos registrados.

La diferencia entre GUI inicial y final para el catálogo (Figura 21) es la forma en que se

escoge cada tabla, en la inicial son pestañas y para la final es una combobox. Para registrar un nuevo mantenimiento (Figura 22) se dividió en dos secciones para la GUI final, esto con el fin de mejorar la experiencia del usuario. Ambas tienen las opciones de agregar, editar y eliminar registros.

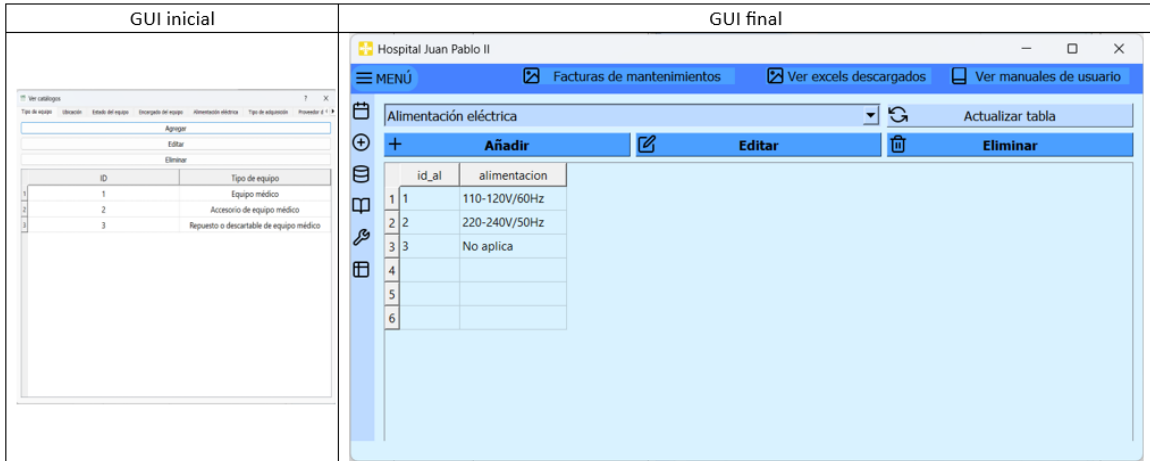


Figura 21: Página para ver el catálogo.

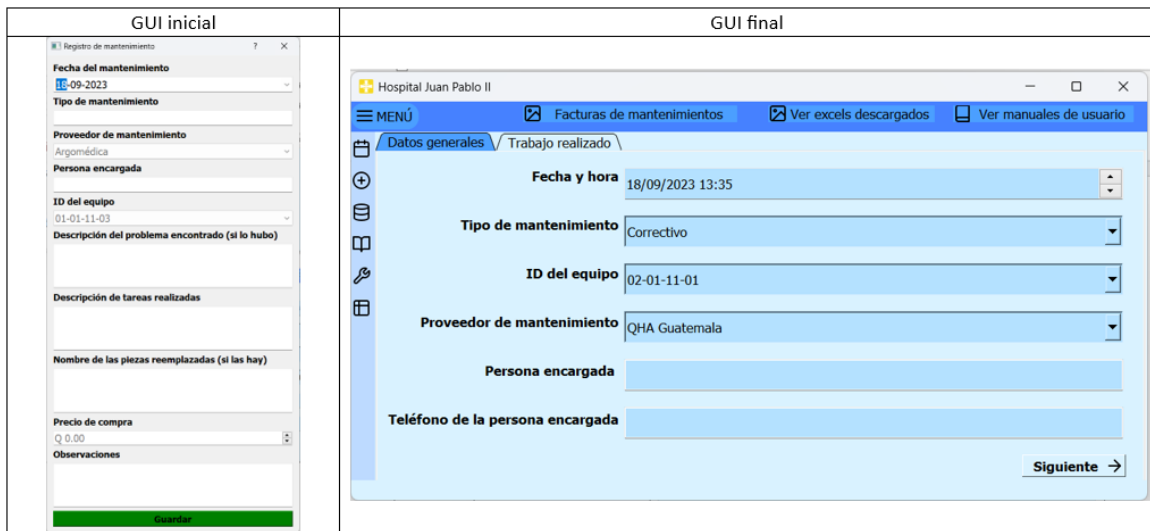


Figura 22: Página para registrar un nuevo mantenimiento.

En la GUI final se agregó una página extra para poder ver la tabla de mantenimientos (Figura 23) y estos pueden filtrarse por tipo: todos, correctivo o preventivo. Además, se muestran tres botones en la barra superior que son para ver las facturas de mantenimientos que se agregaron en el registro de mantenimientos, otro botón para ver los archivos de excel descargados refiriéndose a los que se pueden exportar en la página de ver equipos o mantenimientos registrados y por último un botón para ver los manuales de usuario subidos al registrar un nuevo equipo médico. Las tres opciones abren las carpetas en las que están ubicados los archivos.

ID	Fecha	Hora	Tipo de mantenimiento	ID del equipo	Proveedor de mantenimiento
16	2023-08-28	12:11:00	Preventivo	01-01-06-02	Denteco
17	2023-08-28	15:01:00	Preventivo	01-01-17-02	PROMED
18	2023-08-29	18:33:00	Correctivo	01-01-08-01	ST Medic
19	2023-08-29	18:33:00	Correctivo	01-01-08-01	Casa Médica
20	2023-08-29	22:05:00	Correctivo	01-01-17-01	JUAMA
21	2023-08-29	18:33:00	Correctivo	01-01-08-01	Otto Federico Vásquez
22	2023-08-29	18:33:00	Correctivo	01-01-08-01	Casa Médica
23	2023-08-30	04:50:00	Correctivo	02-01-05-01	Otto Federico Vásquez
24	2023-08-30	04:50:00	Preventivo	02-01-05-01	Otto Federico Vásquez
25	2023-08-30	05:08:07	Correctivo	02-01-11-01	Mediev

Figura 23: Opciones extras para la versión final.

Las carpetas están en rutas específicas cada una y se pueden observar en la Figura 24, donde en la Figura 24A se muestran como ejemplo unas fotos del logo UVG y cada uno tiene un nombre distinto ya que con al subir la foto de la factura (como sería en la realidad), se obtiene el id del equipo que se va a guardar y se le coloca en el nombre del archivo para que se copie a esta nueva ubicación. En la Figura 24B se muestran archivos de Excel que corresponden a las tablas para ver los equipos y la otra tabla para ver los mantenimientos registrados. En esta se condensan ambas descargas y para el nombre, en el caso de la tabla para ver equipos, si se tiene algún filtro de ubicación se coloca primero ese nombre y luego la fecha en la que se descargó esta información. Para la tabla de ver mantenimientos registrados se sigue la misma lógica, si hay algún filtro colocado se coloca primero ese nombre (correctivo, preventivo o todos) y luego la fecha.

En la Figura 24C se observan varias carpetas que se identifican con un número y una ubicación, el número corresponde al id que tiene esa ubicación en la base de datos y al registrarse un nuevo equipo del que se subió un manual de usuario, primero se busca si ya existe una carpeta con el nombre de la ubicación donde se encuentra el equipo y si no hay, se crea, para luego acceder a esta y copiar el manual en esta ubicación. El nombre del archivo para este caso se mantiene igual al que se sube, pero se identifica por carpeta.

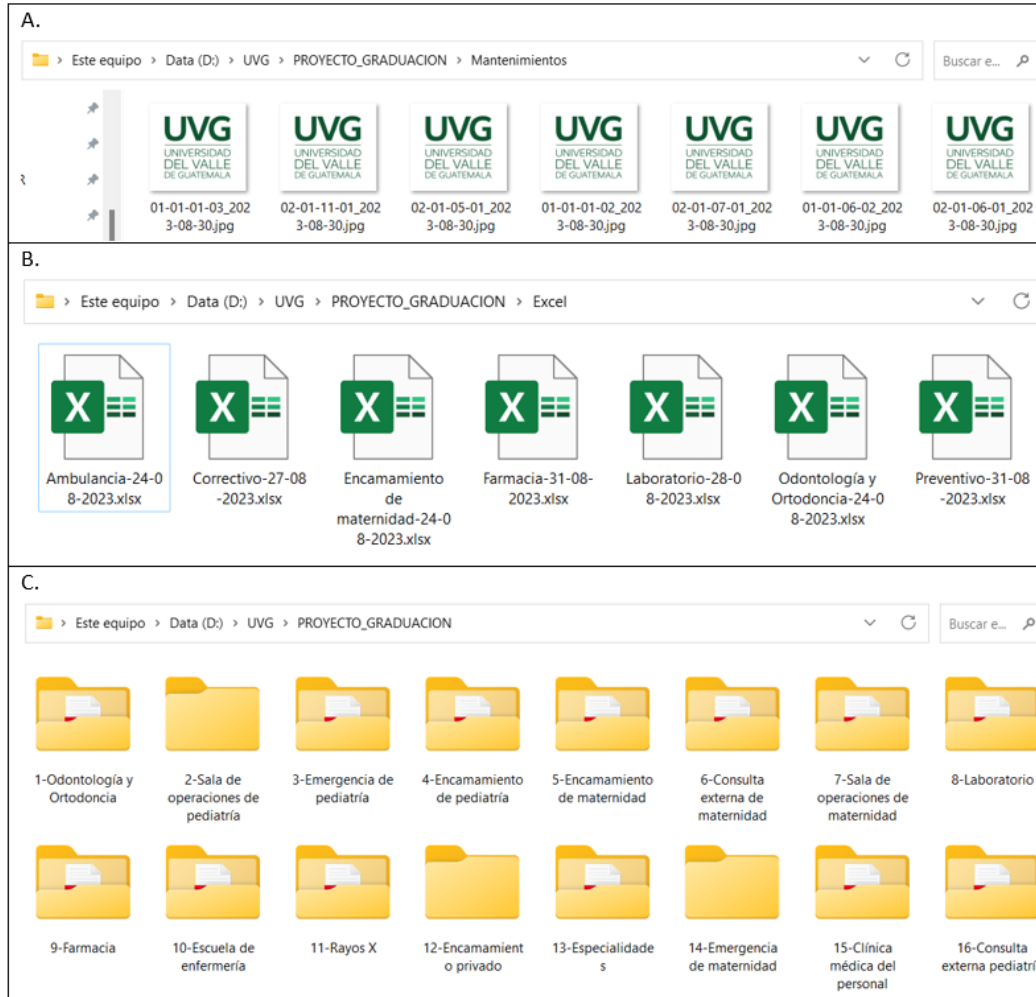


Figura 24: Carpetas creadas para la interfaz. A) carpeta con fotos representativas de facturas de mantenimientos. B) Carpeta con archivos de Excel con los equipos registrados por área. C) Carpetas con los manuales de los equipos registrados por área.

El calendario donde se muestran los mantenimientos (Figura 25), tiene una widget de lista a la derecha, que al presionar una fecha, muestra los mantenimientos registrados con el formato "Tipo de mantenimiento: ID del equipo". Estos contienen una casilla de verificación que permite confirmar si un mantenimiento ya se ha realizado o no. Al realizar esto, se debe presionar el botón de "Guardar cambios" para que se actualice también en la base de datos.



Figura 25: Funciones del calendario de la GUI final.

Otra función presente en la versión final es poder introducir una contraseña para poder habilitar las opciones de editar y eliminar registros (Figura 26) tanto para la página de 'Ver equipos registrados' como para la de 'Mantenimientos registrados'. Para la opción de 'Editar' se redirige a una página dentro del Stacked Widget igual a la de registrar equipo o mantenimiento, pero destinadas solo para la función de editar.

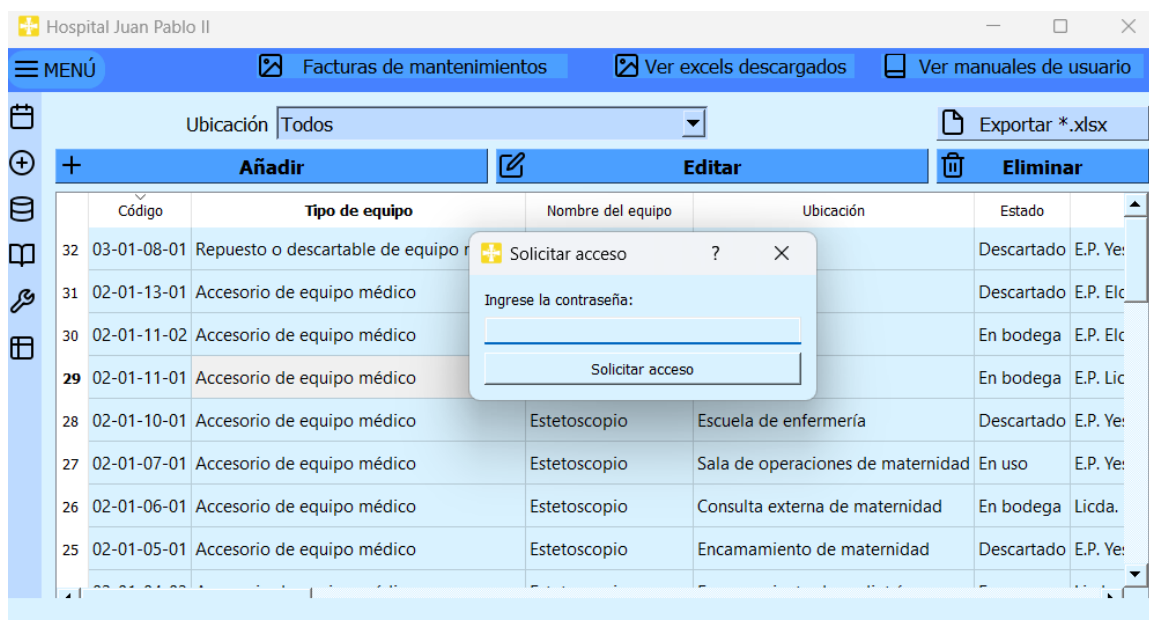


Figura 26: Solicitar acceso para las funciones de editar y eliminar registros.

En el caso de la página de 'Catálogos' (Figura 21) también pide el acceso, pero en este

caso para las tres opciones: añadir, editar y eliminar. Para la opción de añadir, al ser una combobox la que se muestra para seleccionar la tabla que se desea ver, el nombre de la tabla se toma para realizar la consulta en la base de datos y colocar en una ventana de diálogo (Figura 27) los nombres de las columnas para que el usuario pueda ingresar un nuevo registro.

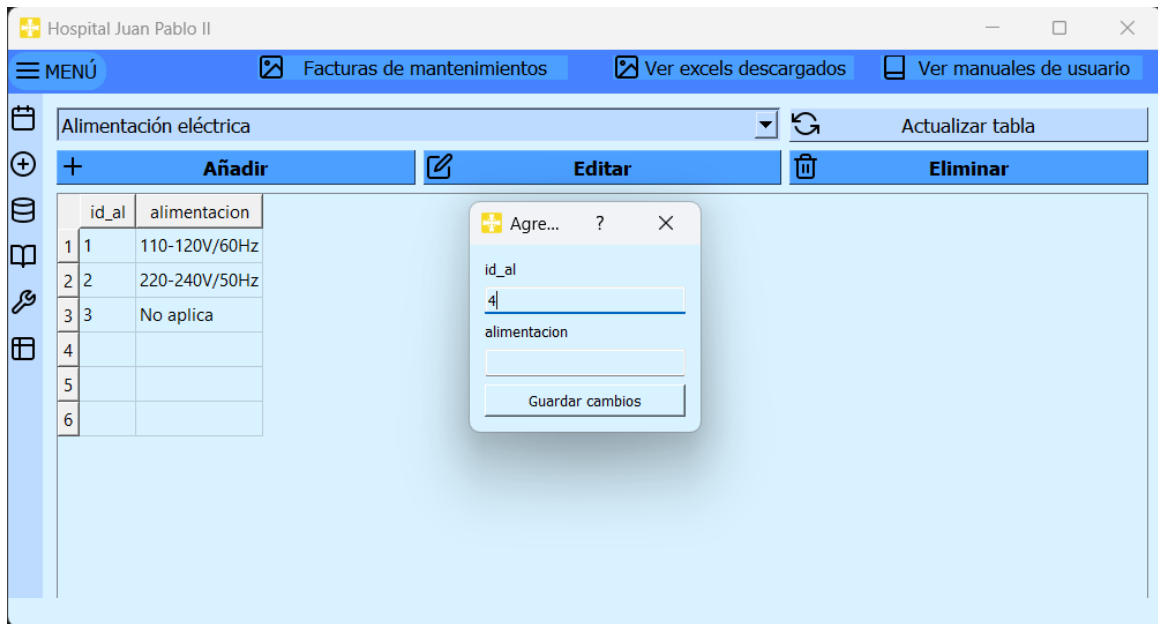


Figura 27: Añadir registro a las tablas del catálogo.

El código (id) de cada tabla se coloca automáticamente, al realizar el conteo de cuántos registros hay actualmente y el siguiente número se coloca de forma automática en este espacio, por lo que el usuario solo coloca el resto, en el caso de la Figura 27 es otro tipo de alimentación, pero para el caso de los encargados, sería el nombre y el puesto. Además, otra función útil es la de 'Actualizar tabla' para poder visualizar los datos después de añadirlos, editar alguno o eliminarlo.

8.4. Consulta de mantenimientos y manual de usuario a través de un código QR

Para la creación de la página web, primero se realizó un prototipo (Figura 28) simple de cómo sería el proceso para acceder a la información. Esto se realizó tomando en cuenta que en las entrevistas se mencionó que no sabían las fechas de mantenimientos los equipos, por lo que con esto será posible que accedan a verlos y sepan quién es el encargado en caso de algún problema.

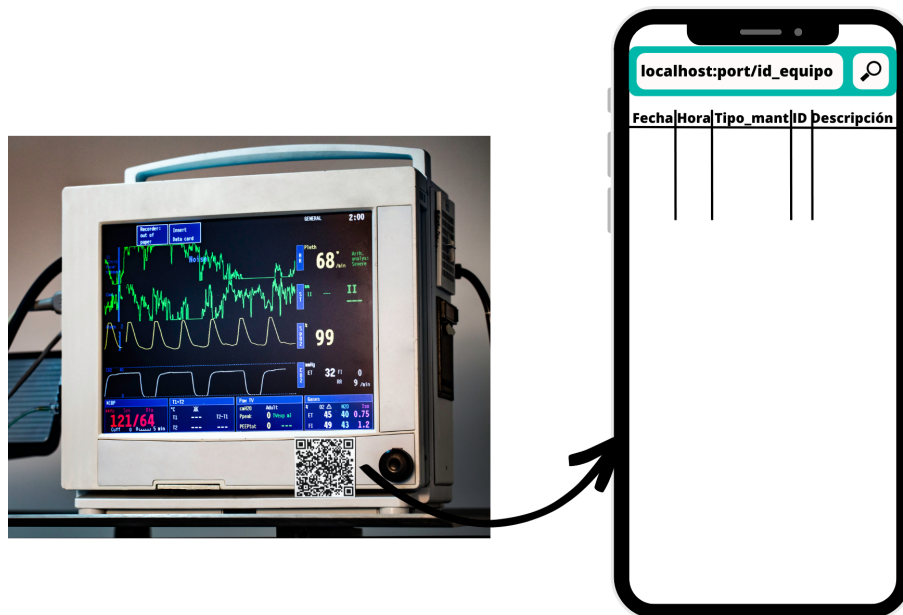


Figura 28: Prototipo para acceder a los mantenimientos.

El código QR que se crea especial para cada equipo funciona al ser escaneado en un dispositivo conectado a la misma red de la computadora donde se encuentra la aplicación, por lo que para comprobar su funcionamiento se utilizó un teléfono conectado a la misma red y se escaneó el código y se pudo ver la tabla de los mantenimientos, ver Figura 29. En esta figura se observa la ventana principal al momento de escanear el código QR, en donde se puede escoger si se desea ver el mantenimiento o el manual de usuario.



Figura 29: Menú principal al escanear un código QR.

En la Figura 30 se muestra la información al presionar una opción del menú principal. En el caso de la Figura 30a se observa la tabla de mantenimientos que se han realizado a ese equipo médico en específico. Cabe resaltar que estos mantenimientos fueron registrados con fines ilustrativos debido a que en el hospital no poseen esta información. Por otro lado, en la Figura 30b, se muestra el pdf del equipo médico, el cual se obtiene al momento de registrar un equipo médico desde la interfaz. Este manual tiene como nombre el mismo código del equipo médico al que pertenece.

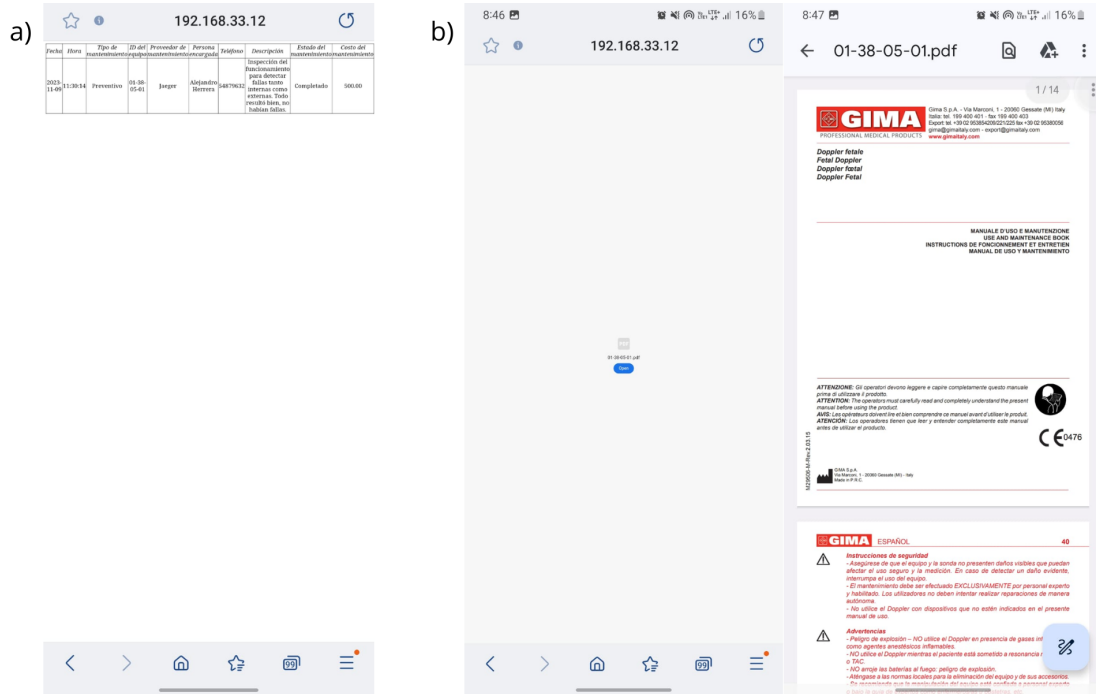


Figura 30: Información contenido en los códigos QR. a) Tabla de mantenimientos del equipo médico. b) Manual de usuario del mismo equipo médico.

La información mostrada solo es un ejemplo para un equipo registrado en la interfaz con el id 01-38-05-01, cuyo QR puede verse en la Figura 34. El código relacionado con la interfaz gráfica de usuario y la página web creada en Flask se encuentra en un repositorio privado en Github.

8.5. Experiencia de usuario

De las dos encuestas realizadas al encargado del inventario de los equipos en el hospital (Figura 31), se obtuvo que, en general, la aplicación le pareció fácil de utilizar (Pregunta 1), con una buena apariencia (Pregunta 5). Además, los íconos laterales le resultaron fáciles de interpretar (Pregunta 6), considera que se consiguió el objetivo de la aplicación que era tener un sistema para tener un inventario digital y poder consultarlo de manera más rápida (Pregunta 7), por lo que también afirma que este sistema sí es de utilidad para el hospital (Pregunta 8). Por otro lado, comentó que lo que más le gustó de la aplicación son los catálogos (Pregunta 2), que es la sección donde la persona que administra el sistema, puede

editar las opciones que se muestran en la opción para ingresar un nuevo equipo médico. Asimismo, comentó que la aplicación fue fácil de utilizar (Pregunta 4) y no hubo nada que le resultara complicado, así como no hubo algo que le disgustara (Pregunta 3).

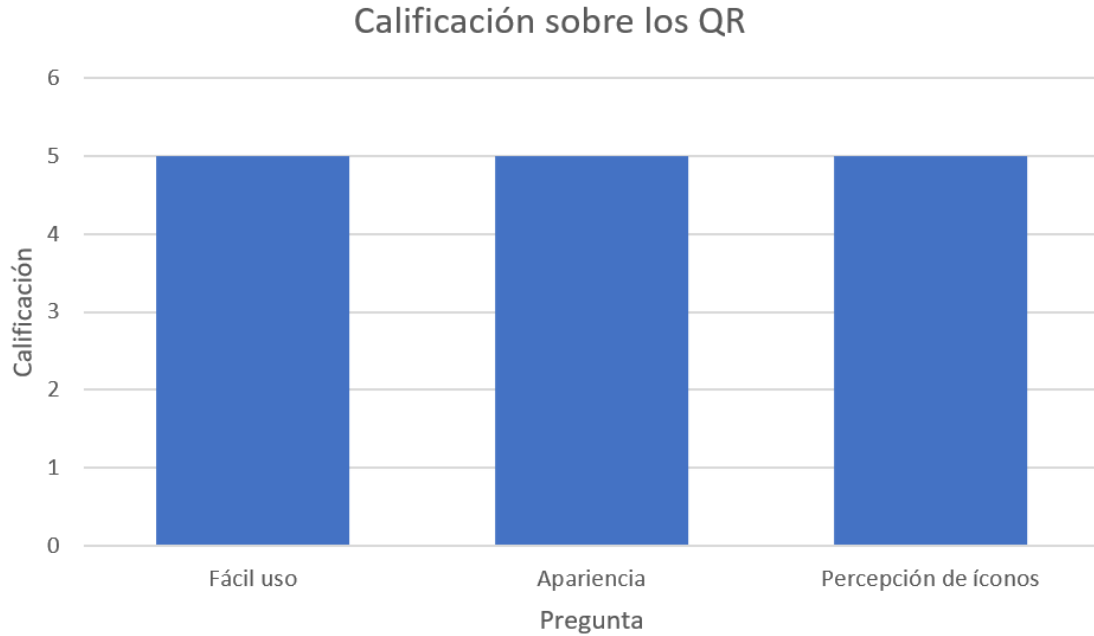


Figura 31: Calificación, sobre 5 puntos, obtenida en la encuesta de la interfaz gráfica de usuario (GUI). n=1

De igual forma, se realiza la encuesta sobre los QRs creados al mismo encargado del inventario (Figura 32). En esta se encuentra que le resultó útil la información contenida en los QRs, ya que es más fácil de esta forma acceder a los mantenimientos y manuales de usuario (Pregunta 1). Anteriormente para los mantenimientos consultaban las fichas o constancias de algún mantenimiento realizado en el equipo, mientras que para el manual de usuario mencionaron que solo el encargado del inventario tenía acceso para los equipos que tenían el manual físico y era buscado en bodega, por esto en funcionalidad de la aplicación recibe una calificación de 5/5 (Pregunta 3), ya que facilita el proceso de búsqueda y los usuarios que utilicen los equipos médicos podrían acceder al manual. Aunque para la pregunta 1, se obtuvo una calificación de 4/5 debido a que se mencionó que podría tener más información, como una ficha técnica del equipo en la que se muestre la información resumida de lo que se registró en la interfaz. Por otro lado, la apariencia de la página le resultó agradable (Pregunta 2) y muy fácil de utilizar (Pregunta 4)

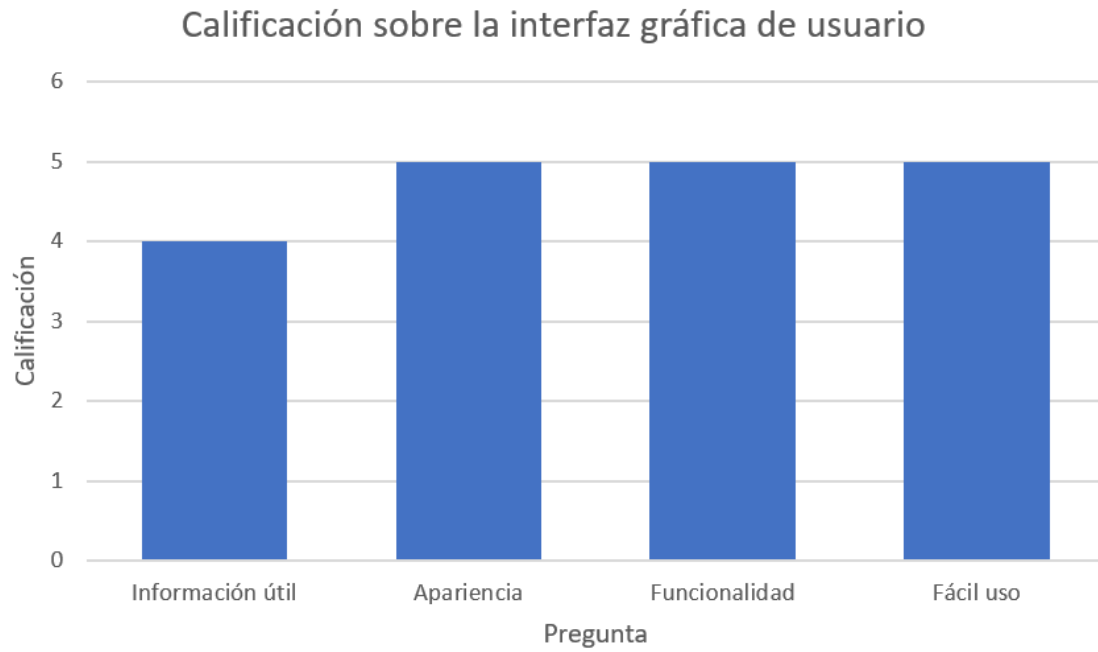


Figura 32: Calificación, sobre 5 puntos, obtenida en la encuesta para el sistema de QRs creado. n=1

Este trabajo de graduación tiene como objetivo desarrollar un sistema para el control y gestión del mantenimiento de equipo médico para esto se logró hacer una interfaz gráfica de usuario y un inventario con una nueva codificación para los dispositivos.

Las entrevistas realizadas reflejaron la situación de muchos hospitales del país, donde se tienen inventarios actualizados de los equipos médicos que poseen y no tienen un personal capacitado para realizar los mantenimientos o verificaciones respectivas a estos para brindar un servicio de calidad y evitar problemas durante su uso. Según la OPS [19], el sistema de salud en Guatemala no tiene un presupuesto lo suficientemente distribuido para todo el territorio nacional para infraestructura ni recursos humanos para los establecimientos de salud, lo que dificulta crear un área específica con personal para realizar estos mantenimientos e inventarios.

Con el inventario obtenido por el hospital, se pudo realizar la transición de un inventario en Word a uno en Excel, verificando los equipos que estaban incluidos. Esta transición del inventario del hospital ha sido un proceso útil para mejorar la gestión de recursos. Al migrar la información más detallada de los equipos médicos se ha logrado una organización más eficiente, aprovechando las funciones de Excel, como tablas para facilitar la identificación así como modificación y filtrado de información clave. La transición no solo mejora el acceso a la información, sino que también permite realizar actualizaciones más fluidas. En este proceso se observó que no todos los equipos que estaban en este inventario, estaban en existencia en el hospital debido a que no era un inventario actualizado a la fecha y viceversa, habían equipos que no estaban en el inventario, pero sí en el hospital porque fueron adquiridos recientemente.

De acuerdo con Orozco, W y Cortés, F en [17], una buena gestión del mantenimiento incluye: tener la información relevante del equipo y que sea confiable; operarlos de manera efectiva, incluyendo que se garantice que el personal tenga los conocimientos adecuados para poder utilizar y aprovechar el equipo al máximo; realizar mantenimientos y reparaciones del equipo. Por esta razón, se incluye en el nuevo inventario información importante del equipo, como se observa en la Figura [13] en la tabla de `equipo_medico`, se amplían los datos a tomar

de cada uno para tener un mayor contexto de lo que se tiene.

Después de tener la información organizada en un excel y actualizada hasta el punto en el que se pudo llegar con el hospital (Figura 15), se procedió a realizar la base de datos. Para esto primero se crea el diagrama de entidad-relación (Figura 12) y así tener de manera visual la información que se necesita, para luego crear las tablas correspondientes en MySQL Workbench. En esta parte es importante especificar el tipo de dato que se va a utilizar, por ejemplo para el `id_equipo` se utiliza el tipo `varchar` debido a que en este campo van a haber tanto letras como símbolos (01-01-01-01) y además se especifica la longitud de estos para que esta sea más eficiente y ahorrar espacio de almacenamiento, en este caso es de 15 porque no se espera que se tengan más de 15 caracteres, mientras que para el nombre del equipo, encargado y otros, es necesario tener una mayor longitud en caso estos tengan varias letras. En el caso de accesorios y el manual de usuario se utiliza el tipo `text` porque se espera que el texto sea largo y no se sabe una longitud para aproximarla.

MySQL es una base de datos que se utiliza bastante por varias razones, algunas de ellas son: que es gratuita y también permite crear las bases de datos de manera visual, por lo que se facilita su uso; además, es posible crear bases de datos muy grandes si fuese necesario [38]. Esta base de datos es posible conectarla con Python usando la librería `mysqldb` y con esta realizar consultas SQL desde el código de Python para poder acceder a la información que se necesita.

Para crear registros en las tablas también se realizó en MySQL Workbench debido a que es más fácil. Actualmente, se pueden agregar registros directamente desde la interfaz para que el usuario no tenga que ingresar a la base de datos y hacerlo desde allí. Específicamente para la tabla de `nombre_equipo` se realizó un proceso más específico porque en el inventario original que brindaron por parte del hospital tenían un total de 95 nombres de equipos registrados, pero al hacer la verificación física de los equipos, algunas de las personas encargadas mencionaron que no les servía tener una etiqueta para cada parte. Anteriormente, se utilizaban etiquetas separadas para cada componente, como en el caso del vaporizador y el flujómetro, partes de una máquina de anestesia, contaban con una etiqueta distinta cada uno, lo cual resultaba poco práctico. Con el objetivo de simplificar y mejorar la gestión de recursos, se decidió destacar la máquina de anestesia como un equipo principal, mientras que sus partes individuales se han reubicado bajo la categoría de "accesorios" en la interfaz, al momento de registrar el equipo. Este ajuste facilita la identificación y actualización del inventario así como promueve una estructura más coherente y organizada de los recursos asociados a un equipo médico.

Como consecuencia de esto, la lista de nombres de equipos médicos se redujo de 95 a 79, ya que eran varios equipos los que se encontraban en esta situación. Mientras que otras tablas como las ubicaciones y el tipo de equipo se mantuvieron igual. Una de las tablas que se creó desde cero fue la de los encargados de los equipos. En el hospital cuentan con 'fichas de responsabilidad' o 'ficha técnica', que son hojas con un formato en la que escriben el nombre del equipo, marca, modelo, entre otros datos que no están incluidos en el inventario como tal y en estas también se encuentra un encargado del equipo según el área en el que se encuentre. Con el propósito de actualizar la información en las fichas, se procedió a recopilar todos los nombres de los encargados que aparecían en dichos registros. Se llevó a cabo un proceso de verificación en colaboración con el responsable del inventario, en el que se comprobó que la lista de encargados también estaba desactualizada y se realizó una nueva. Con esto, ya

se pudo crear cada registro de la tabla de encargados con nombre y puesto que desempeña dentro del hospital.

Otro aspecto importante en estas fichas es que para los equipos se mencionaba si eran comprados o donados y de aquí surge la tabla de `tipo_adquisicion` (ver Figura 13), para que el usuario pueda solamente seleccionar cuál de estas es la situación del equipo a registrar. De esta misma forma se recopila la información para las tablas de proveedores de compra y de mantenimiento. En el caso de la tabla de mantenimiento, se contaba con el nombre de la empresa encargada de realizar estos mantenimientos en los equipos, por lo que luego de tener los nombres se realizó una búsqueda en internet de los datos de la empresa como correo electrónico, dirección y número de teléfono. Este proceso fue útil para enriquecer la información disponible dentro la interfaz y proporcionar a los usuarios en el hospital un acceso rápido y efectivo a los detalles de contacto de los proveedores. Este enfoque garantiza que en caso de emergencia, el personal encargado pueda comunicarse de manera eficiente con los proveedores correspondientes, teniendo la información más visible, situación que anteriormente no era así y con esto se mejoró la capacidad de respuesta en situaciones críticas con los equipos médicos. Lo mismo se hizo para los proveedores de compra, pero no se tiene información de ningún proveedor de compra en estas fichas, por lo que actualmente en la tabla se tiene un proveedor de prueba y ya con el uso de la interfaz, estos puedan empezar a crearse conforme se compra el equipo con el tiempo.

Al tener la información relevante lista en la base de datos, ya puede accederse a esta en la interfaz. Para la interfaz gráfica de usuario, inicialmente se decidió hacerla con la librería `Tkinter` de Python por ser una librería de fácil aprendizaje, es simple e intuitiva, con objetos diseños sencillos 42. Esto se decidió cambiar a una nueva interfaz mucho más intuitiva y más agradable para el usuario, utilizando la librería `PyQt` debido a que posee una herramienta en donde se puede diseñar la interfaz de forma más gráfica, seleccionando los elementos a utilizar y con esto ya solo descargar el código del diseño. Esto facilita la parte de diseño y se puede centrar la atención más en las funcionalidades.

Para la primera interfaz, utilizando `Tkinter`, la colocación de elementos, como los botones, resultó considerablemente más complicado debido a que se debía especificar manualmente las coordenadas exactas de su ubicación. Caso contrario con al emplear la herramienta de `PyQt`, `Qt Designer`, en el que se simplificó significativamente este proceso, ya que solo se debía colocar el botón en la ventana y la herramienta se encargaba automáticamente de asignar la posición correspondiente, facilitando ordenar los elementos de manera visual. `Tkinter` requiere realizar el diseño de forma manual, definir colores, tipo de letra con código en Python. Mientras que `Qt Designer` ofrece una experiencia más intuitiva, en la que permite seleccionar y ubicar los elementos directamente en la interfaz. Además, los colores, tipo de letra y estilos se puede realizar por medio de 'Hojas de estilos' 57, facilitando el proceso al escribir directamente desde `Qt Designer` un código simple, en donde se pueden personalizar estas características. Por estas razones se tomó la decisión de rediseñar la interfaz con `Qt Designer`, logrando así una interfaz más amigable para el usuario y con mayor facilidad de modificación en futuras versiones.

Otro reto encontrado al realizar la interfaz final fue al implementar la funcionalidad de los botones de editar, tanto para la tabla de ver equipos como de ver mantenimientos. Para este botón, al seleccionar la fila o registro que se desea editar y luego presionar el botón de editar, se redirigía a la ventana donde se registran los nuevos equipos o mantenimientos,

pero al momento de presionar el botón de guardar se producía un error.

Este error surgía debido a la existencia de dos funciones diferentes asociadas al botón de guardas: una para guardar un nuevo equipo y otra para guardar los cambios realizados. Ambas acciones, guardar un nuevo equipo y editar, dirigían a la misma página, por lo que el programa presentaba la ambigüedad de elegir entre las dos funciones, resultando en un error. La solución para este problema fue crear una página adicional en el Stacked Widget, la cual permanece oculta a menos que se acceda específicamente a través del botón de editar. Esta página presenta la misma estructura y diseño que la página que se muestra al presionar el botón de registrar equipo, pero se cambian los nombres de las etiquetas y campos para no crear problemas en el código. Además, el botón de guardar, ahora es el botón de guardar cambios y su función únicamente es actualizar la base de datos en lugar de crear un nuevo registro de un equipo médico. Este enfoque también se aplicó para el caso de los mantenimientos, existe una página para registrar nuevos mantenimientos y otra página oculta que se muestra al presionar el botón de editar mantenimientos. Esto proporciona una solución efectiva al problema de ambigüedad y permite una gestión clara de las funciones asociadas a la edición sin interferir con la creación de nuevos registros.

Otro desafío enfrentado se relacionó con la gestión de los archivos pdf (manuales de usuario) debido a que no era posible mostrarlos directamente como enlaces o visualizar su contenido de manera inmediata desde la interfaz. Para solucionar esta limitación, se decidió implementar un botón para ver los manuales de usuario y que se mostraran los archivos de esta forma. La visualización de los pdfs en la interfaz se tomó como una recomendación o punto de mejora a futuro. Se reconoció la importancia de facilitar el acceso y visualización de los manuales de usuario y se consideró esto como sugerencia de un punto clave a tomar en cuenta para futuras mejoras del sistema.

Por otro lado, una de las decisiones tomadas fue la de colocar contraseña para poder acceder a las funciones de editar, añadir y eliminar registros de las tablas. Esta medida fue tomada con el objetivo de establecer un sistema de seguridad simplificado, donde únicamente la persona encargada de administrar el sistema y que posea la contraseña, pueda realizar estos cambios. La razón detrás de esta medida es asegurar que solo el personal capacitado y autorizado tengan acceso para modificar o eliminar registros de equipos médicos o mantenimientos. Esto tiene como objetivo principal preservar la integridad de la información y asegurar que las acciones importantes en el sistema sean realizadas exclusivamente por personal calificado, minimizando la posibilidad de errores.

La segunda parte del proyecto fue diseñar un sistema que permita a los usuarios o personas interesadas realizar un seguimiento de los mantenimientos de los equipos médicos que utilizan, esto produce una optimización de los recursos y puede resultar en una mejora en la calidad de atención a los pacientes porque se tiene el conocimiento si el equipo ha cumplido con los mantenimientos requeridos. Al ya tener la aplicación donde se registran los mantenimientos que se realizan, solamente se debe acceder a la base de datos de MySQL para poder mostrarlos, pero en este caso no se usa la librería de `mysqldb` si no que se utiliza `flask-mysqldb` que es una extensión de Flask y este está diseñado para hacer más simple la unión entre MySQL y el framework para desarrollo de páginas web, Flask.

La elección de Flask para implementar la página es debido a su simplicidad, lo que lo hace ideal para proyectos medianos [58]. Además, se integra de forma eficiente con varias

extensiones y complementos, lo que facilita la utilización de MySQL. Algunas de las dificultades que podrían considerarse para la realización de esta parte es el diseño de la página, ya que esta debe ser intuitiva y simple de usar para el usuario. En este caso, se optó por crear una tabla simple con la información necesaria. Por esta razón, la factura de mantenimiento no se encuentra dentro de esta tabla, ya que el enfoque principal era proporcionar una visión rápida y clara sobre la ejecución de los mantenimientos y detectar posibles problemas. Esta tabla contiene detalles fundamentales, como la información de la persona responsable del mantenimiento y de la empresa pertinente. Esta decisión de diseño tiene como objetivo facilitar el proceso de identificación y solución de problemas, brindando una perspectiva directa sobre el estado de los mantenimientos.

Una función que se incorpora a esta página es la posibilidad de acceder al manual de usuario del equipo escaneado. Esto permite a los usuarios consultar el manual de usuario de manera inmediata, buscando mejorar la experiencia, facilitar la comprensión y utilización adecuada de los equipos médicos. Se decidió incluir esta función debido a que en las entrevistas realizadas, se mencionó que solo la persona encargada del inventario de los equipos tenía acceso a estos recursos. La implementación de esta nueva función aborda directamente esta preocupación, además, se espera que con esto se contribuya a mejorar la eficacia y eficiencia en la gestión de la información relacionada con los equipos médicos en el hospital.

Para este proyecto, se realizó un análisis de la utilidad y funcionalidad del sistema creado, tanto de la interfaz gráfica de usuario como del sistema de seguimiento mediante códigos QR. Esta evaluación se realizó a través de encuestas diseñadas para obtener perspectivas valiosas de la persona encargada del inventario en el hospital, debido a su papel central en la gestión de los equipos médicos. Estas encuestas se centraron en aspectos clave como la facilidad de uso de la interfaz, eficacia y relevancia del sistema. Los resultados obtenidos proporcionan una mayor comprensión de la experiencia del usuario y brindan un mejor panorama sobre posibles áreas de mejora y refinamiento de ambas partes, la GUI y los códigos QR. Por esto se decide realizar este análisis, para destacar la importancia de la retroalimentación del usuario en la evolución y mejora continua de los sistemas tecnológicos en entornos hospitalarios.

Este proyecto intenta tomar todas las consideraciones mencionadas en las entrevistas a los trabajadores del hospital, realizando un sistema en el que se pueda realizar de una manera más fácil el inventario, poder acceder esta información de manera intuitiva, pudiendo filtrar por ubicación los equipos registrados. Además, de tener un control de mantenimientos más concreto, poder registrar los días en los que se deben realizar, poder acceder a estos desde dos partes, la interfaz como tal y la página web a través de los QRs que los encargados de área o personal que utilice el equipo pueda escanear. Este trabajo pretende brindar un aporte significativo al hospital al mejorar la gestión de los equipos médicos. Se busca establecer una base sólida para la eficiente administración de estos recursos y se aspira a crear un sistema interactivo que no solo cumpla con las necesidades actuales del hospital, sino que también esté diseñado para evolucionar continuamente, facilitando la implementación de mejoras futuras.

- Se identificó la necesidad de mejorar la gestión de equipos médicos y el mantenimiento por medio de las entrevistas realizadas en el Hospital Materno Infantil Juan Pablo II.
- La carencia de una base de datos interactiva impacta el flujo de trabajo en el hospital por la dificultad de acceso y actualización de la información de forma rápida.
- La definición de una arquitectura de datos basado en un diseño de tablas relacionales permitió hacer un uso eficiente y seguro de la información.
- La integración del mecanismo de identificación única generará una mejora en la accesibilidad de la información relevante para cada equipo médico disponibilizándola de forma inmediata.
- El sistema de codificación permite un acceso eficiente a la información de mantenimientos de los equipos médicos así como identificarlos de forma única.
- La interfaz gráfica de usuario y la página creada en Flask combinan tanto una gestión intuitiva y fácil de los equipos médicos, así como el registro y visualización de los mantenimientos. Su diseño simple se centra en la utilidad para el usuario, conteniendo la información esencial.
- El desarrollo del software, basado en el diseño de un prototipo creado a partir de especificaciones funcionales obtenidas mediante entrevistas con los usuarios finales, ha facilitado la organización del proyecto al definir claramente su funcionalidad.
- Los resultados de las encuestas indican que tanto la interfaz gráfica de usuario como el sistema de seguimiento con los códigos QR cumplen con los requisitos de facilidad de uso y funcionalidad.

- Mejorar la seguridad tanto de la página web local como la de la interfaz gráfica de usuario es esencial para proteger la información importante de los equipos médicos.
- Mantener contacto con las personas encargadas del inventario en el hospital para poder tener acceso a la información de forma ágil y que esta sea precisa.
- Contar con un personal comprometido en el hospital para que se mantengan la base de datos actualizada.
- Implementar el sistema de identificación único en más equipos médicos dentro del hospital, priorizando los equipos médicos más críticos o que utilizan con más frecuencia.
- Capacitar al personal del hospital para que utilicen el sistema de codificación único y puedan acceder a la información de los mantenimientos de los equipos médicos, maximizando los beneficios de esta implementación, buscando al mismo tiempo retroalimentación de los usuarios para continuar con mejoras.
- Solicitar una contraseña al momento de ingresar a la interfaz gráfica de usuario para validar las credenciales del usuario y permitir el acceso a la base de datos y toda la información que se contiene en estas, con el fin de que la información esté protegida de personas no autorizadas.
- Se recomienda expandir el sistema de seguimiento mediante códigos QR de local a global e incluir protocolos de seguridad.

-
- [1] Cottom, H, «Análisis crítico del sistema nacional de salud en Guatemala,» Tesis de maestría, Universidad Rafael Landívar, 2004.
 - [2] Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, *Plan estratégico 2018-2022*, https://www.isdmguatemala.org/wp-content/uploads/2019/03/Plan_Estrategico_MSPASnov2018.pdf, Accedido en 11 de abril de 2023, 2018.
 - [3] Datos macro, *Gasto público en Salud 2022*, <https://datosmacro.expansion.com/estado/gasto/salud>, Accedido en 10 de julio de 2023.
 - [4] A. Khalaf, «Maintenance Model for Minimizing Risk and Optimizing Cost-Effectiveness Of Medical Equipment In Palestine,» *IFMBE Proceedings*, vol. 14, 2007.
 - [5] H. EAM, *HXGN EAM (Formerly Infor EAM)*, Disponible en: <https://www.infor.com/hexagon-eam>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [6] K. TEROTECH, *TEROTECH*, Disponible en: <https://www.terotech.no/>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [7] A. Panda, *Asset Management Software and Asset Tracking - Asset Panda*, Disponible en: <https://www.assetpanda.com/>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [8] R. Automation, *Fiix*, Disponible en: <https://www.fiixsoftware.com/>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [9] Claroty, *Medigate by Claroty for Healthcare*, Disponible en: <https://claroty.com/healthcare-cybersecurity/medigate>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [10] Centrak, *CENTRAK*, Disponible en: <https://centrak.com/>, Accedido en 17 de abril de 2023, 2023.
 - [11] P. A. H. Organization, «Health Systems Profile: Guatemala,» USAID, 2007.
 - [12] P. de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), «Análisis de Política No. 1: ¿Quién financia el sistema de salud de Guatemala?» USAID, 2008.
 - [13] W. Flores, «El sistema de salud en Guatemala: ¿hacia dónde vamos?» Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2008.

- [14] V. Becerril-Montekio y L. López-Dávila, «Sistema de salud de Guatemala,» *Salud Pública de México*, vol. 2, pág. 197, 2011, Accedido en 23 de abril de 2023. dirección: <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/5041/10021>.
- [15] C. Temple-Bird, M. Kaur, A. Lenel et al., *How to Organize the Maintenance of Your Healthcare Technology*, Accedido en 23 de abril de 2023, TALC, PO, 2005. dirección: https://www.humatem.org/telecharger_document_base_documentaire/100.
- [16] A. Mallouppas y W. H. Organization, «Division of Strengthening of Health Services,» USAID, 1986.
- [17] W. Orozco y F. Cortés, «Caracterización de la gestión del mantenimiento de equipo biomédico en servicios de urgencia de clínicas y hospitales de Medellín en el periodo 2008-2009,» *Ciencias de la Salud*, vol. 11, n.º 1, págs. 35-44, 2013.
- [18] M. de Salud Pública y Asistencia Social, *Listado de establecimientos*, https://establecimientosdesalud.mspas.gob.gt/establecimientos/listado-de-establecimientos.html?task=filter&option=com_bt_property&view=properties&searchword=&prstatus=&location_lv1=&location_lv2=&location_lv3=&category_select=6&method=AND&Itemid=355, Accedido en 12 de mayo de 2023, 2020.
- [19] Organización Panamericana de la Salud. «Estrategia Nacional de Redes Integradas de Servicios de Salud de Guatemala 2019.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2019), dirección: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&alias=51081-estrategia-nacional-de-redes-integradas-de-servicios-de-salud-de-guatemala-2019&category_slug=sistemas-servicios-salud-1934&Itemid=270&lang=es.
- [20] U.S. Food and Drug Administration (FDA). «Definition of a Medical Device.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (), dirección: <https://www.fda.gov/media/131268/download>.
- [21] U.S. Food and Drug Administration (FDA). «Classify Your Medical Device.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2020), dirección: <https://www.fda.gov/medical-devices/overview-device-regulation/classify-your-medical-device>.
- [22] Organización Panamericana de la Salud (OPS). «Which Are the Key Medical Devices for Primary Health Care Services.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2019), dirección: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15353:which-are-the-key-medical-devices-for-primary-health-care-services&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0.
- [23] W. H. Organization, *WHO Technical Specifications of Neonatal Resuscitation Devices* (DOCUMENTS FOR SALE). World Health Organization, 2016, ISBN: 9789241510264. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=JnOyDwAAQBAJ>.
- [24] D. K. Ojha y M. Subashini, «Analysis of Electrocardiograph (ECG) Signal for the Detection of Abnormalities Using MATLAB,» *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, vol. 8, n.º 2, págs. 120-123, 2014, ISSN: eISSN: 1307-6892. dirección: <https://publications.waset.org/vol/86>.
- [25] News-Medical.Net. «Vital Signs Monitors.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2023), dirección: <https://www.news-medical.net/Clinical-and-Diagnostics/Vital-Signs-Monitors>.

- [26] Material Médico. «Resucitador Manual AMBU.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2017), dirección: <https://materialmedico.org/resucitador-manual-ambu/>.
- [27] C. L. Moore y J. A. Copel, «Point-of-Care Ultrasonography,» *New England Journal of Medicine*, vol. 364, n.º 8, págs. 749-757, 2011, PMID: 21345104. DOI: [10.1056/NEJMra0909487](https://doi.org/10.1056/NEJMra0909487). eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMra0909487>. dirección: <https://doi.org/10.1056/NEJMra0909487>.
- [28] Fundación del Corazón. «Desfibrilador.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2022), dirección: <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/tratamientos/desfibrilador.html>.
- [29] J.-I. Sasaki y S. Imazato, «Autoclave sterilization of dental handpieces: A literature review,» *Journal of Prosthodontic Research*, vol. 64, n.º 3, págs. 239-242, 2020, ISSN: 1883-1958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.013>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1883195819303652>.
- [30] Revista Médica. «Clases de Camillas y Camas Hospitalarias.» Accedido en 12 de mayo de 2023. (2023), dirección: <https://revistamedica.com/clases-camillas-camas-hospitalarias/>.
- [31] A. Jamshidi, S. A. Rahimi, D. Ait-Kadi y A. R. Bartolome, «Medical devices inspection and maintenance; a literature review,» en *IIE annual conference. Proceedings*, Institute of Industrial y Systems Engineers (IISE), 2014, pág. 3895.
- [32] O. M. de la Salud, *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos*. Organización Mundial de la Salud, 2012, ISBN: 9789243501536. dirección: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44830/9789243501536_spa.pdf;sequence=1.
- [33] R. A. Malkin, «Barriers for medical devices for the developing world,» *Expert Review of Medical Devices*, vol. 4, n.º 6, págs. 759-763, 2007. DOI: [10.1586/17434440.4.6.759](https://doi.org/10.1586/17434440.4.6.759). eprint: <https://doi.org/10.1586/17434440.4.6.759>. dirección: <https://doi.org/10.1586/17434440.4.6.759>.
- [34] A. Khalaf, K. Djouani, Y. Hamam e Y. Alayli, «Evidence-based mathematical maintenance model for medical equipment,» en *2010 International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications*, 2010, págs. 222-226. DOI: [10.1109/ICEDSA.2010.5503071](https://doi.org/10.1109/ICEDSA.2010.5503071).
- [35] G. Powell, *Beginning database design*. Organización Mundial de la Salud, 2006, ISBN: 9780764574900. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=HbAhv1zAIQ8C&oi=fnd&pg=PR17&dq=database+design&ots=iXUOVZyT2-&sig=1e6m07jwdssPRWU9muZKZIdJNpY&redir_esc=y#v=onepage&q=database%20design&f=false.
- [36] e. González R.C. Chi-Heng Yu, *Advances in information systems science*. Center for Information Research, University of Florida, 1985, ISBN: 9781461294498. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=9UTaBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=physical+and+digital+structure+for+databases&ots=fNDgjj6Gi2&sig=Qjp6MxNIjF50xOC17Qu0ipAr1JU&redir_esc=y#v=onepage&q=physical%20and%20digital%20structure%20for%20databases&f=true.

- [37] X. Zheng, L. Zhu y Z. Wan, «Database programming technology based on computer software engineering analysis,» en *International Conference on Mechanisms and Robotics (ICMAR 2022)*, Z. Pei, ed., International Society for Optics y Photonics, vol. 12331, SPIE, 2022, 123315F. DOI: [10.1117/12.2653093](https://doi.org/10.1117/12.2653093). dirección: <https://doi.org/10.1117/12.2653093>.
- [38] M. Koffler, «What Is MySQL?» En *The Definitive Guide to MySQL*. Berkeley, CA: Apress, 2004, págs. 3-19, ISBN: 978-1-4302-0669-9. DOI: [10.1007/978-1-4302-0669-9_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0669-9_1). dirección: https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0669-9_1.
- [39] J. L. Harrington, *Relational database design and implementation*, 4.^a ed. ELSEVIER, 2016, ISBN: 9780128043998. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=yQgfCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=database+design&ots=qPJtj_SG_x&sig=M649CwYMJ4PTvrZ1HscrdvIBAxo&redir_esc=y#v=onepage&q=database%20design&f=false.
- [40] W. O. Galitz, *The Essential Guide to User Interface Design: An introduction to GUI Design Principles and Techniques*, 3.^a ed. Wiley Publishing, Inc., 2007, ISBN: 9780470053423. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=Q3Xp_Awu49sC&oi=fnd&pg=PR5&dq=gui+design&ots=IOa1DY6f2-&sig=g8wFHRMcIKpoVHG9j97vBnAcklA&redir_esc=y#v=onepage&q=gui%20design&f=true.
- [41] M. Summerfield, *Programming in Python 3: A complete introduction to the Python Language*, 2.^a ed. Pearson Education, Inc., 2010, ISBN: 9780321680563. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=H9emM_LGFDEC&oi=fnd&pg=PR9&dq=programming+in+python+%22complete+introduction%22&ots=ZcbNblM9pR&sig=oXcoe7SXCZH9pEKbC2ZWrUvml_o&redir_esc=y#v=onepage&q=programming%20in%20python%20%22complete%20introduction%22&f=true.
- [42] A. D. Moore, *Python GUI Programming with Tkinter*. Packt Publishing, 2018, ISBN: 9781788835886. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=2kBBdWAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=gui+programming+tkinter&ots=NfxmRYKSol&sig=avN4aDkirhLGTJDDTY-KlUkCyGM&redir_esc=y#v=onepage&q=gui%20programming%20tkinter&f=true.
- [43] A. D. Moore, *Mastering GUI Programming with Python*, 1.^a ed. Packt Publishing, 2019, ISBN: 9781789612905. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=fkeaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=gui+programming+pyqt&ots=4xT7ofimtB&sig=6j7XSwTM6T75HgpTjLbfQPPvGsk&redir_esc=y#v=onepage&q=gui%20programming%20pyqt&f=true.
- [44] M. Summerfield, *Rapid GUI Programming with Python and Qt*, 1.^a ed. Prentice Hall, 2007, ISBN: 9780132354189. dirección: https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=9oRa4WJLlGkC&oi=fnd&pg=PT16&dq=gui+programming+pyqt&ots=XqizZwJwvm&sig=9qVhcGo1ZgMP87Z-xgrJlJcRK-4&redir_esc=y#v=onepage&q=gui%20programming%20pyqt&f=true.
- [45] C. Lopezsoza, «Entrevistas semiestructuradas con NVivo: pasos para un análisis cualitativo eficaz,» *Anuario de Métodos de Investigación en Comunicación Social*, vol. 1, págs. 88-97, 2020.
- [46] Google, *Producto útiles para todo el mundo*, <https://about.google/intl/es-419/products/>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.

- [47] H. Delgado, *Tipos de datos en MySQL para una base de datos SQL*, <https://disenowebakus.net/tipos-de-datos-mysql.php>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.
- [48] E. K. C. for Information Technology, *MySQL*, <https://www.ticportal.es/glosario-tic/mysql>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.
- [49] Qt, *About Qt*, https://wiki.qt.io/About_Qt, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.
- [50] M. Fitzpatrick, *PyQt vs PySide Licensing*, <https://www.pythonguis.com/faq/pyqt-vs-pyside/>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.
- [51] D. K. Taft, *Microsoft VS Code: Winning developer mindshare*, <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/news/252496429/Microsoft-VS-Code-Winning-developer-mindshare>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2021.
- [52] Qt, *Qt Widgets C++ Classes*, <https://doc.qt.io/qt-6/qtwidgets-module.html>, Accedido en 08 de septiembre de 2023, 2023.
- [53] W. Schools, *Python MySQL*, https://www.w3schools.com/python/python_mysql_create_db.asp, Accedido en 09 de septiembre de 2023, 2023.
- [54] Pallets Projects. «Flask Quickstart.» Accedido en 12 de septiembre de 2023. (2010), dirección: <https://flask.palletsprojects.com/es/latest/quickstart/>.
- [55] HTMLQuick. «Tutorial de HTML: Tablas.» Accedido en 12 de septiembre de 2023. (2023), dirección: <https://www.htmlquick.com/es/tutorials/tables.html>.
- [56] bitly. «QR Code Generator.» Accedido en 20 de septiembre de 2023. (2023), dirección: https://www.qr-code-generator.com/free-generator/?gclid=Cj0KCQiA67CrBhC1ARIsACKAa8QhVqP14feYaAnYOEALw_wcB&campaignid=9725198318&adgroupid=99974822872&cpid=8794173e-3373-43ee-aae4-c99e709be5f8&gad_source=1.
- [57] «Qt Stylesheet Reference.» Accedido en 24 de septiembre de 2023. (), dirección: <https://doc.qt.io/qt-6/stylesheet.html>.
- [58] P. Tutorial. «What is Flask Python.» Accedido en 10 de septiembre de 2023. (2021), dirección: <https://pythonbasics.org/what-is-flask-python/>.

CAPÍTULO 13

Anexos

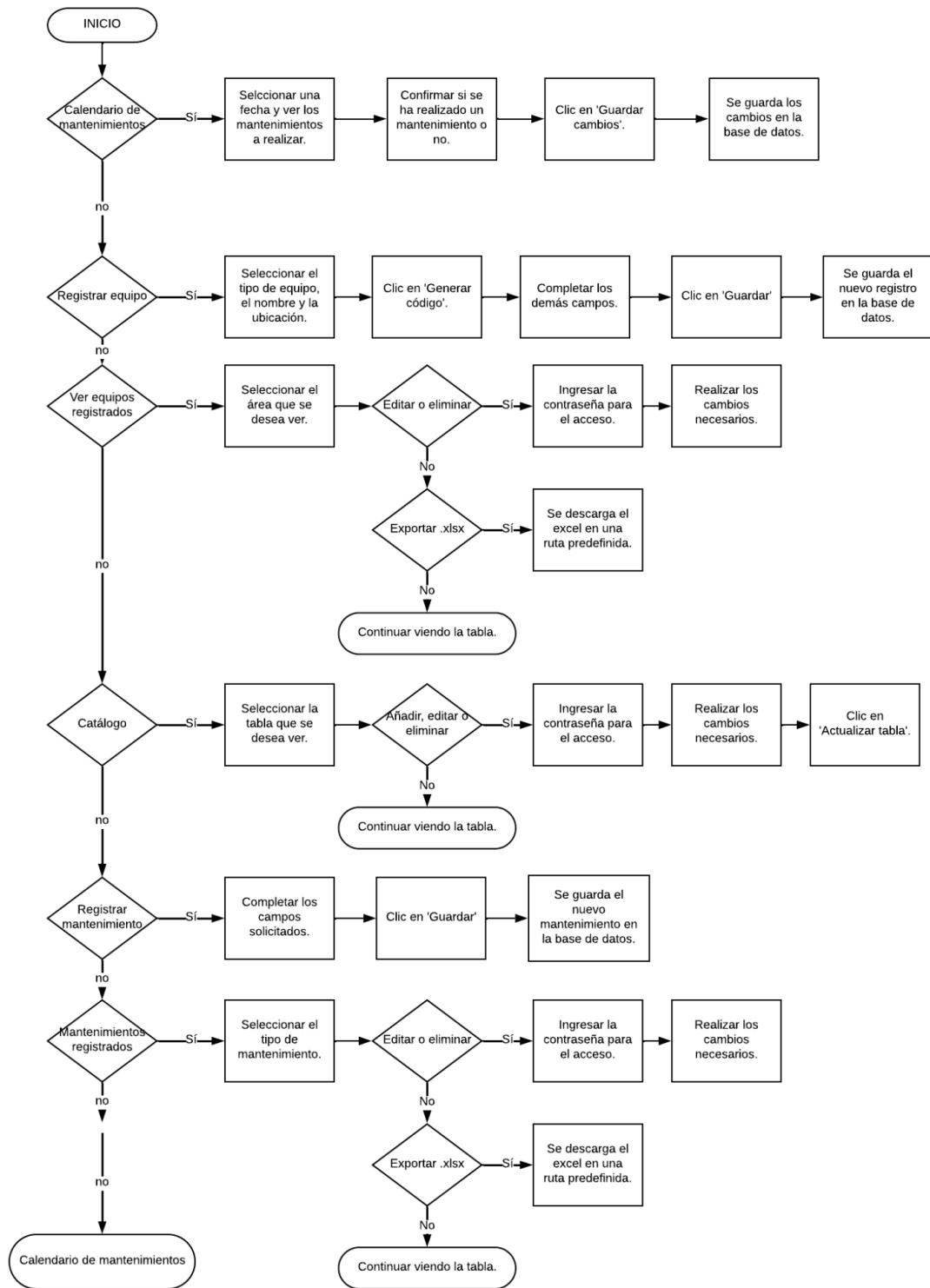


Figura 33: Diagrama de bloques del funcionamiento de la interfaz gráfica de usuario.



Figura 34: Código QR para el ejemplo del equipo médico con id 01-38-05-01.