

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN DIGITAL PARA EL APOYO EN LOS
PROCESOS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS DE
EQUIPOS BIOMÉDICOS EN EL HOSPITAL SAN IGNACIO**

Julián David Martínez Rojas

Práctica Profesional

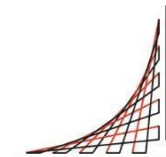
Tutores:

MSc. Pedro Antonio Aya Parra

Ing. Luis Humberto Corso



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C.**

2021

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. METODOLOGÍA	11
3.1 Problema a solucionar.....	11
3.2. Fases del proyecto.....	11
3.2.1 <i>Identificación del problema</i>	11
3.2.2. <i>Desarrollo e implementación</i>	12
3.2.3 <i>Verificación de seguridad y posibles errores</i>	16
3.2.4 <i>Validación de los algoritmos</i>	16
4. RESULTADOS	18
4.1 Interfaz para evaluación de desempeño y expedición de certificado	18
4.2 Algoritmo para el apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos	22
4.3 Verificación de seguridad	26
4.4 Validación de los algoritmos.....	26
4.4.1. <i>Interfaz para evaluación de desempeño y expedición de certificado</i>	26
4.4.2. <i>Algoritmo para el apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos</i>	28
5. DISCUSIÓN	31
6. TRABAJOS FUTUROS	32
7. CONCLUSIONES	33
8. REFERENCIAS	34
9. ANEXOS	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre la cantidad de meses atrasados y el respectivo color otorgado por el algoritmo.....15

Tabla 2. Encuesta realizada para validar la interfaz y el algoritmo desarrollado.....17

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	<i>Proceso de ejecución de la Interfaz para la expedición del Certificado</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Sección del archivo de Excel que contiene la programación de mantenimientos preventivos.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Proceso de ejecución del algoritmo para apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos de los equipos</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Libro de Excel creado para el desarrollo de los certificados.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Interfaz de Búsqueda de Equipo.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Hoja del Inventario General de Equipos.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Interfaz de información principal del equipo.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de Respiración y Temperatura cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de ECG y Saturación O2 cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de Presión no invasiva y Presión Invasiva cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Libro de Excel creado para el seguimiento a los mantenimientos preventivos</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Sección del Inventario general con los respectivos mantenimientos programados ('x')</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13</i>	<i>Sección del Inventario general con el algoritmo ya ejecutado.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 14</i>	<i>Nueva sección del Inventario general con los respectivos mantenimientos programados ('x')</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15</i>	<i>Nueva sección del Inventario general con el algoritmo ya ejecutado</i>	<i>25</i>
<i>Figura 16</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Funcionalidad de la Interfaz</i>	<i>26</i>
<i>Figura 17</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Estética de la Interfaz</i>	<i>27</i>
<i>Figura 18</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Calidad de la información de la Interfaz</i>	<i>27</i>
<i>Figura 19</i>	<i>Resultados encuesta para validar el Impacto de la Interfaz</i>	<i>28</i>
<i>Figura 20</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Funcionalidad del algoritmo</i>	<i>29</i>
<i>Figura 21</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Estética del algoritmo</i>	<i>29</i>
<i>Figura 22</i>	<i>Resultados encuesta para validar la Calidad del información del algoritmo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 23</i>	<i>Resultados encuesta para validar el Impacto del algoritmo</i>	<i>30</i>

LISTA DE ANEXOS.

<i>Anexo 1. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto</i>	<i>35</i>
<i>Anexo 2. Certificado de evaluación de monitor de signos vitales</i>	<i>36</i>
<i>Anexo 3. Mensajes de error mostrados por la Interfaz</i>	<i>39</i>
<i>Anexo 4. Mensajes de error mostrados por el algoritmo</i>	<i>40</i>
<i>Anexo 5. Nombres de las carpetas examinadas por la Interfaz</i>	<i>41</i>

RESUMEN

Introducción

El Hospital San Ignacio es una institución hospitalaria fundada en 1942, cuyo servicio ha estado dirigido hacia pacientes de escasos recursos, otorgándoles la oportunidad de recibir atención médica de calidad, continuando con la labor social de contribuir al desarrollo del sector salud del país. Con el paso de los años el hospital ha ido evolucionando, incorporando nuevos servicios de atención y nuevos departamentos para la organización y logística de estos servicios. Uno de los departamentos es el de Gestión biomédica, encargado de la adquisición, gestión, seguimiento y revisión de toda la tecnología médica dentro del hospital.

Objetivos

El objetivo de este proyecto es desarrollar un aplicativo que permita optimizar los procesos de evaluación de desempeño de la tecnología biomédica y el seguimiento a la ejecución del cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos.

Metodología

El desarrollo del proyecto se dividió en 4 fases: 1. Identificación del problema 2. Desarrollo e implementación, 3. Verificación de funcionalidad y 4. Validación. La primera fase constituyó la indagación de diferentes problemáticas dentro del departamento de biomédica con el fin de identificar aquella que pueda ser abordada dentro de un proyecto integrador y de alto impacto. Se identificaron 2 problemáticas. La segunda fase constituyó el desarrollo de la interfaz gráfica en un entorno conocido por el personal, se implementaron diferentes ventanas para la entrada de los datos dentro de una secuencia para dar solución a la primera problemática. De igual manera se desarrolló un segundo algoritmo para dar solución al segundo problema y completar el objetivo planteado. La tercera fase del proyecto incluyó una serie de pruebas con el fin de verificar el funcionamiento correcto de la interfaz y del algoritmo, identificando posibles errores al momento de ejecutarlos y dando solución a ellos. La última fase da una respuesta por parte del personal de biomédica hacia el desarrollo del proyecto por medio de una encuesta, esto con el fin de validar diferentes aspectos de la implementación.

Resultados

Se presentan diferentes gráficas representativas de la implementación de los aplicativos, las diferentes ventanas para la entrada de datos y los resultados de la implementación del algoritmo. También se representan los resultados de la encuesta de validación por medio de gráficas de barras.

Conclusiones

La implementación de este proyecto permitió un mecanismo para facilitar algunas actividades desarrolladas dentro del departamento ofreciendo una automatización de los procesos. Además, las aplicaciones cuentan con la seguridad pertinente, así como la libertad de cambiar los valores de las variables asociadas. La evaluación por parte del personal biomédico arrojó resultados positivos en los 4 aspectos evaluados, considerando como un éxito su implementación y generando un impacto positivo en el proceso.

1. INTRODUCCIÓN

El Hospital San Ignacio es una institución hospitalaria fundada en 1942 por parte del Padre Félix Restrepo S.J., y por más de 70 años se ha caracterizado por ser una institución líder en el sector salud prestando diferentes servicios cada vez más evolucionados en su campo en compañía de un escenario de práctica para los estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana y pasantes de otras instituciones educativas [1] [2].

Mediante los pilares de compromiso ético, social y humano la institución ha logrado acoger aquellos pacientes de escasos recursos, otorgándoles la oportunidad de recibir atención médica de calidad y continuando con la labor social de contribuir al desarrollo del sector salud del país. Esto ha permitido que con el paso de los años la institución haya ido evolucionando, incluyendo nuevos servicios de atención más especializados y en busca de la excelencia en la prestación del servicio. El Hospital en sus inicios contaba con los servicios de Urgencias y Consulta Externa. Posterior se dio inauguración a los servicios de Ginecología y Obstetricia los cuáles dieron paso a la estructuración de Medicina Interna y finalmente el inicio del Servicio de Cirugía [3].

Además de los diferentes servicios mencionados, el Hospital cuenta con dependencias adicionales, las cuáles contribuyen al buen funcionamiento y desarrollo de la institución. Entre ellas se encuentra el área de Gestión Biomédica, la cual se encarga de la parte de gestión metrológica, apoyo logístico, selección y adquisición de nuevas tecnologías, soporte técnico y normativas vigentes de equipos, entre muchas más funciones.

Las funciones de este departamento se pueden clasificar en 2 grupos: por una parte, la administrativa y por otra la técnica. Esto permite que el pasante logre tener una cercanía en el aprendizaje desde la evaluación de nuevas tecnologías, su documentación y puesta en servicio, hasta la intervención directa de los equipos biomédicos de múltiples servicios, logrando que se familiarice de manera directa con este sector adoptando todos los conocimientos posibles.

En la actualidad muchos de los eventos e incidentes adversos que se presentan, están asociados al uso inadecuado de los equipos por parte del personal del hospital. Entre los eventos más comunes se encuentran: el maltrato físico a los equipos como caídas y golpes con objetos, la manipulación brusca de los accesorios, configuración errónea de alarmas, la utilización de sustancias no adecuadas en la limpieza y desinfección, entre otras [4]. Estas actividades asociadas al error humano conllevan a una disminución de la vida útil del equipo y un mal uso de la tecnología.

Una correcta gestión y distribución de la tecnología médica garantiza la seguridad de todos los pacientes de la institución, por tal razón es indispensable que el personal del área biomédica sea competente y capaz de afrontar los diferentes retos que se presenten y con la asistencia requerida por el resto del personal de salud. Sin embargo, debido a la alta demanda de fallas que pueden surgir, el personal biomédico no siempre da abasto, por tal razón, es de vital importancia que el personal

ajeno al área sea capaz de evaluar por su cuenta la falla que se está presentando y poder resolverla de manera inmediata evitando un llamado y prolongando el proceso de atención al paciente. Todo esto se logra con una correcta capacitación del equipo, una guía de manejo rápido e indicaciones de falla simples que puedan ser resueltas por el personal ajeno al área de biomédica.

Ante esta situación, el área de gestión biomédica está en proceso de desarrollar las capacitaciones de manera oportuna mediante la unión de 4 parámetros importantes:

1. Video de capacitación del equipo.
2. Guía de manejo rápido.
3. Indicaciones de falla.
4. Manual de usuario.

Estos cuatro elementos pueden ser consultados a través de un código QR impreso y colocado en un lugar visible del equipo con el objetivo de poder ser consultado con facilidad y dar un buen manejo de la tecnología por parte del personal. Es importante resaltar la actualización de estas guías en función de la situación actual del mundo relacionada con la pandemia de COVID-19, incluyendo la manipulación de la tecnología, los procesos de desinfección que se deben tener en cuenta y las precauciones sanitarias, entre otras.

Teniendo un mayor enfoque en área de gestión biomédica se desarrollan 2 funciones importantes en el transcurso del año: 1. Evaluación de desempeño de los equipos biomédicos en servicio y 2. Seguimiento al proceso de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos en servicio.

La evaluación de desempeño es el conjunto de actividades que otorgan evidencia de un buen funcionamiento de un equipo biomédico, esto puede incluir diferentes mediciones las cuáles proporcionan información sobre el desempeño ante un parámetro específico [5]. A estas actividades va asociado la calibración, la cual hace referencia al conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre las magnitudes que indica el instrumento de medición, es decir el equipo biomédico, y los valores determinados por equipos patrones [6] [7].

La Organización Mundial de la Salud establece en su documento "*Medical device regulations: Global overview and guiding principles*" que la vigilancia de los equipos médicos en el post-mercado garantiza que los equipos en uso siguen siendo efectivos y seguros [8] [9], ratificando la importancia de realizar estas actividades de manera continua durante su vida útil. De igual manera relaciona el desempeño del equipo con la seguridad del paciente, resaltando el riesgo que representa un mal funcionamiento por parte del equipo biomédico y en consecuencia la necesidad de realizar una evaluación continua de su funcionamiento [9].

El proceso de evaluación se realiza mediante la comparación de las magnitudes del equipo biomédico y un equipo patrón, el cuál simula diferentes parámetros y se evalúa la respuesta del equipo

biomédico obteniendo así mediciones como incertidumbre y trazabilidad de los datos [5] [7]. Estos resultados junto con la información personal del equipo evaluado son plasmados en certificados de desempeño suscritos a la regulación vigente, los cuáles servirán como evidencia de la realización del proceso de evaluación del equipo.

Acompañado del proceso de evaluación, las instituciones prestadoras de salud deben cumplir con los lineamientos establecidos en la Resolución 2003 de 2014, específicamente frente al mantenimiento de los equipos médicos presentes en esa institución. Esta resolución establece que: “*se debe realizar el mantenimiento de los equipos biomédicos eléctricos o mecánicos, con sujeción a un programa de revisiones periódicas de carácter preventivo y calibración de equipos, cumpliendo con los requisitos e indicaciones dadas por los fabricantes... lo anterior estará consignado en la hoja de vida del equipo*” [8] [10]. Haciendo énfasis en las revisiones de carácter preventivo, los equipos deben estar sometidos a un programa de realización de mantenimiento preventivo, el cual tiene como objetivo principal el mantener en buen estado de funcionamiento los equipos mediante la realización de diferentes acciones técnicas incluyendo la inspección sistemática, la verificación del buen estado de funcionamiento y la detección de posibles fallas antes que estas ocurran [11].

Dentro de la inspección sistemática se encuentra la limpieza del equipo, lubricación, ajuste y el reemplazo de piezas que se consideren vulnerables, conllevando así a un aumento en la vida útil del equipo y más importante, prevenir que pequeñas fallas se deriven en daños irreversibles al equipo, generando mayores costos para la institución y problemas con la prestación del servicio [12].

Este proceso de mantenimiento permite que los equipos puedan ser usados de manera permanente eliminando los posibles riesgos a futuro y brindando seguridad al paciente y al personal médico que haga uso de ellos, por tal razón, y como lo establece la regulación de equipos, se debe establecer el cronograma de mantenimientos y su debida realización [11].

Cada día la evolución de la tecnología motiva a realizar los procesos de manera digital, donde se crean grandes bases de datos con fácil acceso a la información y poco espacio de almacenamiento, dejando atrás el uso de papel y sus procesos de archivado. Por tal razón en el área biomédica se buscan nuevas oportunidades de mejora que no solo tengan alcance ambiental, con el ahorro de papel, sino en una optimización en la ejecución de las tareas mencionadas anteriormente, dando espacio para realizar otras de manera más oportuna.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un aplicativo en el entorno de Visual Basic que permita optimizar los procesos de evaluación de desempeño de la tecnología biomédica y el seguimiento a la ejecución del cronograma de mantenimiento de los equipos en el Hospital San Ignacio.

2.2. Objetivos específicos

1. Diseñar una interfaz que permita la ejecución completa del proceso de evaluación de desempeño de los equipos biomédicos, disminuyendo los tiempos en la construcción de los certificados de desempeño de los equipos.
2. Desarrollar un algoritmo capaz de hacer seguimiento al inventario de equipos biomédicos identificando aquellos cuyo mantenimiento esté programado y no se ejecute dentro del tiempo límite, estableciendo alertas en caso del vencimiento de fechas.
3. Evaluar, implementar y medir el desempeño y funcionalidad de ambas aplicaciones con el personal biomédico.

3. METODOLOGÍA

3.1 Problema a solucionar

El departamento de Biomédica realiza 2 funciones importantes relacionadas con la evaluación de desempeño y seguimiento a los mantenimientos de los diferentes equipos biomédicos del hospital. La primera función consiste en realizar una evaluación anual del desempeño de los equipos mediante la toma de datos de diferentes parámetros y posteriormente, la realización del *Certificado de evaluación de desempeño de equipos biomédicos*, el cual, contiene la información principal del equipo y el proceso de evaluación realizado.

Dado que a cada equipo le corresponde su certificado y todos los equipos difieren en su información principal y en los datos de desempeño, esta labor se convierte en un proceso extenso, tedioso y repetitivo. La solución planteada a este primer problema se presentó como una interfaz gráfica, la cual permite automatizar la ejecución de los certificados, disminuyendo los tiempos de su realización y la carga al personal biomédico encargado de los mismos.

Como segunda función del área biomédica se encuentra la planeación y seguimiento de los mantenimientos preventivos de los diferentes equipos biomédicos, esto se hace por medio de un cuadro de Excel, el cual contiene el inventario de los equipos y los meses del año, asignando a cada equipo una fecha programada para el mantenimiento y otra fecha de realización del mismo. Debido a que para el periodo 2021-1 se encuentran más de 3000 equipos, esta actividad llega a consumir tiempos importantes tanto en la búsqueda de la fecha programada de cada equipo como en la digitación de la fecha en que se realizó.

3.2. Fases del proyecto

El proyecto se dividió en 4 fases principales correspondientes a 1. Identificación del problema, 2. Desarrollo e implementación, 3. Verificación de funcionalidad y 4. Validación. El **Anexo1** presenta el diagrama de Gantt elaborado para el desarrollo de este proyecto.

3.2.1 Identificación del problema

Por medio de diferentes reuniones e interacciones con el personal del departamento de biomédica se indagaron diferentes problemáticas dentro de las funciones que cumplían y se evaluaron cuales podrían ser abordadas para el desarrollo de un proyecto integrador, que tenga un alto impacto y sea viable de implementar dentro del tiempo de la práctica. Las 2 funciones mencionadas anteriormente fueron aquellas seleccionadas para el desarrollo de este proyecto.

3.2.2. Desarrollo e implementación

Debido a que el personal biomédico emplea el entorno de Microsoft Excel para realizar las funciones abordadas en este proyecto, se partió de los formatos ya existentes con el fin de continuar con el marco al cual ya estaban familiarizados.

En primer lugar, para la evaluación de desempeño y expedición del certificado, se comenzó por el desarrollo de una interfaz gráfica en el entorno de Visual Basic, para ello se creó un nuevo libro de Excel el cual contiene los formatos para los diferentes certificados a realizar y una hoja nueva que contiene los botones de comando para iniciar la Interfaz. En un principio, se despliega la ventana de '*Búsqueda de equipo*' la cual mediante el ingreso del número activo del equipo biomédico (código de identificación dentro del hospital) permite obtener toda la información pertinente de manera inmediata y plasmarla en los campos correspondientes del certificado de evaluación. Esta información es extraída a partir de un archivo de Excel aparte el cual contiene el Inventario general de equipos.

Posterior a esto, se ingresan el nombre del evaluador, el número de certificado y la fecha en la que se realiza la evaluación. A continuación, dependiendo del equipo a evaluar se van a abrir diferentes pestañas para la entrada de los datos de evaluación obtenidos al momento de realizarse con el equipo patrón respectivo. Una vez ingresados los datos de desempeño, se extrae el certificado ya diligenciado en su totalidad en formato PDF para su almacenamiento y posterior envío. El **Anexo 2** presenta el formato del certificado del monitor de signos vitales, en el cuál se presenta los campos para la información más relevante y los parámetros a evaluar.

La implementación de la Interfaz se realizó para un total de 8 equipos: desfibrilador, electrobisturí, electrocardiógrafo, lámpara de fototerapia, máquina de anestesia, monitor de signos vitales, pulsoxímetro y ventilador. Estos constituyen la lista completa de los equipos evaluados mediante la comparación con un equipo patrón y por tal razón hacen parte de este proyecto. Es decir, el libro de Excel creado contiene un total de 9 hojas, 8 contienen los diferentes formatos de certificados de los equipos a evaluar y la última los botones de comando que permiten iniciar la interfaz y guardar el certificado en pdf

La **Figura 1** presenta los pasos desarrollados durante la ejecución de la Interfaz, desde la búsqueda del equipo hasta la expedición del certificado en formato .pdf.

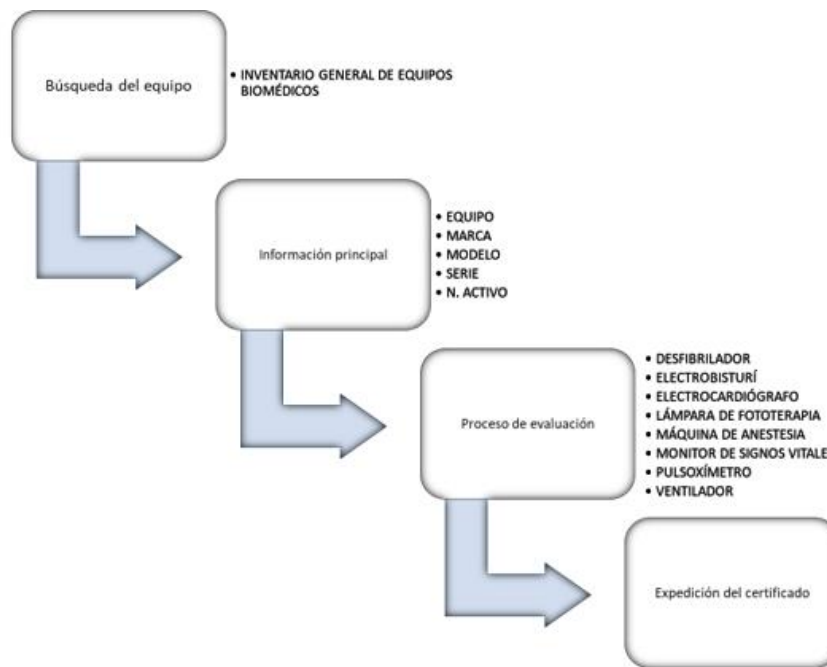


Figura 1 Proceso de ejecución de la Interfaz para la expedición del Certificado

En segundo lugar, para el apoyo al proceso de seguimiento de mantenimientos preventivos, se desarrolló un algoritmo en el entorno de Visual Basic el cual va a explorar el archivo de Excel donde se encuentra el inventario de todos los equipos del hospital, incluyendo la programación de los mantenimientos preventivos.

La **Figura2** expone una sección de este archivo. Las primeras 4 columnas muestran información de los equipos, a partir de la quinta columna se encuentra la programación de mantenimientos preventivos para el 2021, los cuáles se ilustran con las “x” . Para cada mes ubicado en la primera fila, la columna ‘P’ hace referencia a programado, es decir donde se va a ubicar la “x” y la columna ‘R’ hace referencia a realizado, donde se escribe la fecha de realización u otro comentario adicional.

	H	I	J	K	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ
					ENERO 2021		FEBRERO 2021		MARZO 2021		ABRIL 2021		M
	PLACA INV.	EQUIPO BIOMEDICO	MARCA	MODELO	P	R	P	R	P	R	P	R	P
1607	H15873	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	26/01/2021							
1608	H15874	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	27/01/2021							
1609	H15875	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	26/01/2021							
1610	H15876	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	27/01/2021							
1611	H15877	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	26/01/2021							
1612	H22341	Ventilador H	PURITAN BENNETT	840	X	28/01/2021							
1613	H05239	Monitor De Signos Vitales H	NIHON KOHDEN	BSM - 2301K							X		
1617	C02184	Monitor De Signos Vitales C	GENERAL ELECTRIC	CARDIOCAP 5							X		
1618	H05157	Ventilador H	VIASYS	VELA					X				
1619	H05175	Ventilador H	VIASYS	VELA					X				
1620	H05185	Ventilador H	VIASYS	VELA					X				
1621	H05195	Ventilador H	VIASYS	AVEA					X				
1622	H21040	Monitor De Signos Vitales H	NIHON KOHDEN	BSM - 6301K							X		
1623	H21041	Monitor De Signos Vitales H	NIHON KOHDEN	BSM - 6301K							X		
1624	H21042	Monitor De Signos Vitales H	NIHON KOHDEN	BSM - 6301K							X		

Figura 2. Sección del archivo de Excel que contiene la programación de mantenimientos preventivos.

Para el desarrollo del algoritmo se creó un nuevo Libro de Excel el cual contiene los botones de comando para iniciar la ejecución del algoritmo. Su función será el de identificar aquellos equipos cuyo mantenimiento esté programado dentro de un periodo de tiempo comprendido entre la fecha actual y 1 año atrás.

Una vez identificado, se verifica si dicho mantenimiento ya tiene fecha de realización y en caso de no tenerla se marca al equipo correspondiente con un color característico el cual corresponderá a la cantidad de meses de atraso con respecto a la fecha actual. La **Tabla I** relaciona los colores que el algoritmo asignará en función de la cantidad de meses atrasados en la realización del mantenimiento. La **Figura3** muestra el proceso de ejecución del algoritmo.

El personal biomédico también realiza el seguimiento de mantenimientos a los equipos adquiridos por comodato, es decir por contrato de préstamo, mediante un proceso similar. De igual manera, las bombas de infusión *Baxter*, siguen un proceso de seguimiento similar. Por tal razón y dada la similitud de los cuadros de seguimiento de mantenimiento de los equipos contenidos en el inventario general con los equipos adquiridos por comodato, el algoritmo desarrollado también se implementa para estos inventarios, aumentando su alcance en el apoyo al seguimiento de mantenimientos preventivos.

Tabla 1

RELACIÓN ENTRE LA CANTIDAD DE MESES ATRASADOS Y EL RESPECTIVO COLOR OTORGADO POR EL ALGORITMO

FECHA ACTUAL	MESES PASADOS		COLOR
25/03/2021	23/02/2021	< MES	MORADO
	24/01/2021	1 MESES	AZUL
	25/12/2020	2 MESES	VERDE
	25/11/2020	3 MESES	AMARILLO
	26/10/2020	4 MESES	NARANJA
	26/09/2020	5 MESES	ROJO
	25/03/2020	1 AÑO	ROJO OSCURO

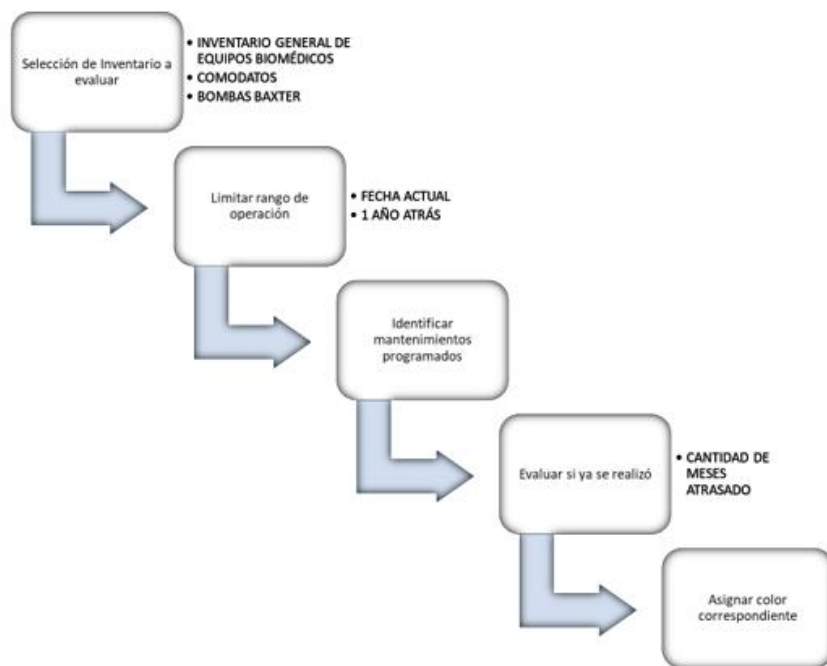


Figura 3. Proceso de ejecución del algoritmo para apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos de los equipos

3.2.3 Verificación de seguridad y posibles errores

Dado que la implementación de la Interfaz y el algoritmo lleva de trasfondo una programación interna la cual no va a ser explorada por el personal que la use, es de vital importancia asegurar que no se presente ningún fallo que conlleve a la cancelación de la ejecución del programa o fallos internos de programación. Por tal razón, durante las pruebas de funcionalidad se exploraron los posibles errores que pueden llegar a cometerse durante la ejecución de la Interfaz, tanto humanos, como sería saltarse algunos pasos, tener errores de ortografía o cerrar la interfaz de manera incorrecta o inesperada, como aquellos que van estrictamente ligados con la programación como son definición de variables o ciclos infinitos.

Para mitigar estos casos se desarrollaron múltiples avisos de error los cuales indican cual fue el fallo por parte del usuario y su inmediata solución, esto incluye nombres mal escritos o equipos que no existan dentro del inventario, entre otros. De igual manera los archivos externos que explora el algoritmo (Inventario General de Equipos), también van protegidos en caso de cambiar la ubicación o el nombre. Por la parte de seguridad, tanto la Interfaz como el algoritmo no trabajan sobre el archivo original debido a que ante un eventual fallo podría perjudicar la información contenida en el archivo, por lo que siempre que se ejecutan crean copias actualizadas del archivo original y trabajan sobre ese.

3.2.4 Validación de los algoritmos

Con el fin de validar diferentes aspectos de la implementación de estas 2 aplicaciones se realizó una encuesta al grupo de trabajo que va a hacer uso de la Interfaz y la ingeniera de dirección encargada del seguimiento y planeación de mantenimientos la cuál haría uso del algoritmo. La Mobile App Satisfaction Scale (MARS) es una escala de confianza multidimensional usada para calificar la calidad de aplicaciones móviles para la salud, mediante la agrupación de distintas secciones a evaluar como son: funcionalidad, estética, calidad de la información e impacto en el conocimiento del usuario. Dentro de las agrupaciones se encuentran los elementos a evaluar calificados de 1 (inadecuado) a 5 (excelente) y se otorga una puntuación final a cada sección [13] [14].

La **Tabla II** expone las preguntas realizadas para la validación de ambas aplicaciones

Tabla II

ENCUESTA REALIZADA PARA VALIDAR LA INTERFAZ Y EL ALGORITMO DESARROLLADO

	Valor Escala				
	1	2	3	4	5
Funcionalidad					
¿La aplicación logra completar el objetivo en su totalidad?					
¿La rapidez en la ejecución de la aplicación es apropiada?					
¿El resultado final de la aplicación se expone de manera correcta?					
Estética					
¿La disposición de colores es apropiada?					
¿El tamaño de las ventanas es apropiada?					
¿La disposición de los botones de inicio es apropiada?					
¿El lugar de despliegue de las diferentes ventanas es apropiada?					
Calidad de la Información					
¿Las interacciones son intuitivas?					
¿Los mensajes de error son pertinentes e informan de la posible solución?					
La información presentada es correcta y sin inconsistencias?					
Impacto					
¿La aplicación genera un impacto positivo respecto al ahorro de tiempo?					

4. RESULTADOS

4.1 Interfaz para evaluación de desempeño y expedición de certificado

El libro de Excel creado para la interfaz se expone en la **Figura4**, donde se muestran los botones de comando. El botón '*Nuevo Formato*' inicia la Interfaz, abriendo la pestaña de Búsqueda de Equipo. El botón '*Guardar PDF*' permite expedir el certificado en formato .pdf una vez se haya realizado la evaluación.



Figura 4.Libro de Excel creado para el desarrollo de los certificados.

Cuando se oprime el botón de '*Nuevo Formato*' se accede a la pestaña de búsqueda de equipo mostrada en la **Figura5**. En ella se digitaliza el código del equipo a evaluar y así el algoritmo puede buscarlo en la base de datos. El botón '*Omitir*' permite saltar este paso en caso de querer ingresar los datos del equipo manualmente en la ventana posterior. La pestaña de '*Usuario*' está implementada con el objetivo de servir en un futuro como parámetro para ingresar como administrador o usuario común, por lo que para la implementación de este proyecto no tiene relevancia dentro del proceso de ejecución de la Interfaz.

Equipo a realizar
✕

Código Activo

Usuario

BUSCAR

OMITIR

Figura 5. Interfaz de Búsqueda de Equipo.

La **Figura6.** muestra una sección de la hoja del Inventario General de Equipos, de donde el algoritmo obtiene toda la Información para ubicarla en el certificado. Las celdas señaladas en rojo contienen la información requerida.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	CARPETA	UBICACIÓN CARPETA	TIPO DE SERVICIO	SERVICIO	UBICACIÓN	PLACA	EQUIPO BIOMÉDICO	MARCA	MODELO	SERIE	PERIODICIDAD	OBSERVACIONES	Nº DE CERTIFICADO 2016	P
41	CIA - 2	6	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Infectología	Zona 41	H30147	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC-5621E	220	ANUAL			
42	ERU	15	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Unidad Renal	Unidad Renal	H03569	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	CARDIOSERV	101183602	ANUAL		DES-16-09	
43	RAD - 2	5	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Radiología e Imágenes	Hemodinamia	H09062	Desfibrilador	ZOLL	MSERIES BIPHA	TOIF23771	ANUAL		DES-16-18	
44	CEX - 3	10	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Consulta Externa	Consulta Externa	H11421	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	CARDIOSERV	101154929	ANUAL		DES-16-03	
45	SOX - 1	12	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Salas de Cirugía	Sala de Cirugía 6	H13227	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC - 5531E	01494	ANUAL		DES-16-04	
46	HLN	3	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Hospitalización Cirugía	Hospitalización Cirugía	H15057	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	RESPONDER 20	3203395	ANUAL		DES-16-15	
47	UCI - 1	8	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Unidad de Cuidado Intensivo	Unidad de Cuidado Intensivo	H15467	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	RESPONDER 20	3203812	ANUAL		DES-16-01	
48	MIN - 2	11	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Hospitalización Ortopedia	Hospitalización Ortopedia	H15871	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	RESPONDER 20	3203914	ANUAL		DES-16-12	
49	VES	6	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Salud Mental	Salud Mental	H15872	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	RESPONDER 20	3203917	ANUAL			
50	URG - 1	8	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Urgencias	Reanimación	H21420	Desfibrilador	GENERAL ELECTRIC	RESPONDER 20	3206368	ANUAL		DES-16-06	
51	URG - 1	9	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Urgencias	Urgencias	H21946	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC-5531	02929	ANUAL		DES-16-07	
52	PTL	2	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Estancia 9 Sur	Central de Enfermería	H23242	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC - 5531E	03192	ANUAL		DES-16-11	
53	CAR - 2	15	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Cardiología	Mes Cardiovasculante 2	H23243	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC-5531	03191	ANUAL		DES-16-08	
54	URN - 6	12	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Unidad de Recién Nacidos	Unidad de Recién Nacidos	H24735	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC - 5521E	03744	ANUAL			
55	PED	14	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Pediatría	Pediatría	H24736	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC - 5521E	02231	ANUAL		DES-16-13	
56	UNIDAD DE CUIDADO	7	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	Unidad de Cuidado	Unidad de Cuidado	H24737	Desfibrilador	NIHON KOHDEN	TEC - 5531E	03770	ANUAL		DES-16-05	

Figura 6. Hoja del Inventario General de Equipos.

La **Figura7.** presenta la ventana con los datos principales del equipo y los espacios para la entrada de los datos de nombre, código y fecha. El botón de 'Auto Rellenar' permite de manera automática llenar los espacios de la ventana a partir de los datos obtenidos del Inventario General de Equipos. El botón 'Borrar' limpia los espacios de la ventana

Figura 7. Interfaz de información principal del equipo.

La **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 10** exponen un ejemplo de las diferentes entradas de datos creadas, siendo para este ejemplo, el equipo a evaluar el monitor de signos vitales.

La **Figura 8**. presenta la interfaz para ingreso de datos de los parámetros de Respiración y Temperatura cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales. Los botones de 'No Aplica' permiten ocultar los cuadros en caso de que el parámetro no deba ser evaluado.

Figura 8. Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de Respiración y Temperatura cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.

La **Figura9.** presenta la interfaz para el ingreso de datos de los parámetros de ECG y Saturación de Oxígeno cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales. Dado que son parámetros obligatorios dentro de la evaluación no existe un botón de 'No Aplica'.

The screenshot shows a window titled "Formato Datos Monitor Signos Vitales" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections: "ECG" (highlighted with a green border) and "SATURACIÓN O2" (highlighted with a blue border). Below each section are several input fields corresponding to numerical values. The ECG section has values 40, 80, 120, 160, and 200. The SATURACIÓN O2 section has values 80, 85, 90, 93, 96, and 100. A central button labeled "Ingresar" is positioned below the input fields.

Figura 9. Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de ECG y Saturación O2 cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.

La **Figura10.** presenta la interfaz para el ingreso de datos de los parámetros de Presión no invasiva y Presión Invasiva cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales. El botón de 'No Aplica' permite ocultar el cuadro de Presión Invasiva en caso de que el parámetro no deba ser evaluado. El botón 'Pediátrico', cambia los valores establecidos para la evaluación.

The image shows a software window titled "Formato Datos Monitor Signos Vitales". It is divided into two main panels, "NIBP" and "IBP", each with a sub-header "Sistólica" and "Diastólica".

	Sistólica	Diastólica
60 / 30	<input type="text"/>	<input type="text"/>
120 / 80	<input type="text"/>	<input type="text"/>
150 / 100	<input type="text"/>	<input type="text"/>
200 / 150	<input type="text"/>	<input type="text"/>

At the bottom of the window, there are three buttons: "Pediátrico", "Ingresar", and "IBP No Aplica".

Figura 10. Interfaz para ingreso de datos de los parámetros de Presión no invasiva y Presión Invasiva cuando el equipo a evaluar es el monitor de signos vitales.

NOTA ADICIONAL: Para la exploración completa de los certificados de todos los 8 equipos evaluados, así como las ventanas desarrolladas e implementadas en la Interfaz para el ingreso de datos de cada equipo consultar “**Documento 1**”.

4.2 Algoritmo para el apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos

El libro de Excel creado para esta sección se expone en la **Figura11**, donde se muestran los botones de comando. El botón ‘*Evaluar*’ inicia la ejecución del algoritmo. El botón ‘*Limpiar*’ restablece los colores añadidos luego de la ejecución del algoritmo. También se muestra la tabla con las fechas a evaluar y los colores otorgados a cada una y una tabla con los nombres de los 3 posibles inventarios a evaluar.

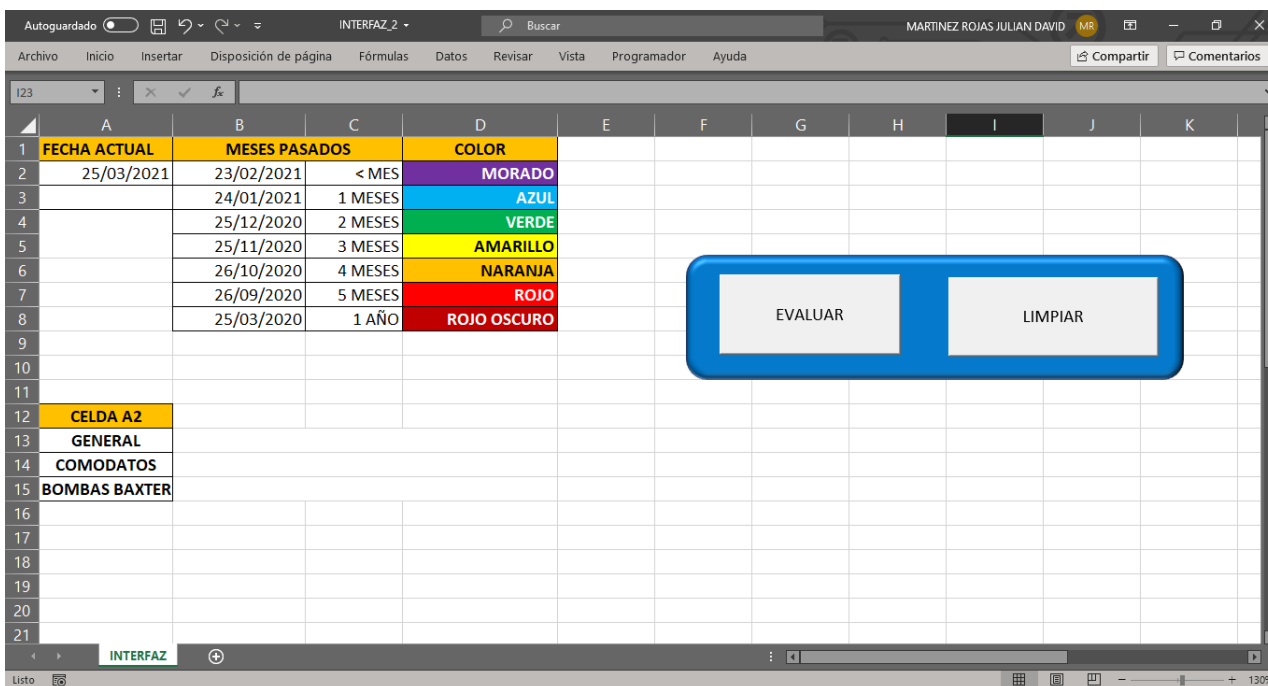


Figura 11. Libro de Excel creado para el seguimiento a los mantenimientos preventivos

En la **Figura 12** y **Figura 14** se exponen diferentes secciones del inventario de equipos antes de la ejecución del algoritmo. Las primeras 5 columnas muestran información de los equipos, a partir de la sexta columna se encuentra la programación de mantenimientos preventivos los cuáles se ilustran con las “x”. Para cada mes ubicado en la primera fila, la columna ‘P’ hace referencia a programado, es decir donde se va a ubicar la “x” y la columna ‘R’ hace referencia a realizado, donde se escribe la fecha de realización u otro comentario adicional.

Por otra parte, la **Figura 13** y **Figura 15** exponen los mismos segmentos anteriores, una vez el algoritmo es ejecutado. La fecha de ejecución del algoritmo es del 25 de marzo.

	A	H	I	J	K	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB
						ENERO 2021	FEBRERO 2021			MARZO 2021		ABRIL 2021		MAYO 2021		JUNIO 2021
	PLACA INV. NUEVA	EQUIPO BIOMEDICO	MARCA	MODELO		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
712	GIN-5	H31046	Monitor Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 174		NUEVO									
713	GIN-5	H27910	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D					X						
714	GIN-5	H31047	Monitor Materno Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 259					X		ULTIMO POR GARANTIA				
715	GIN-5	H24345	Doppler Fetal Portatil H	HUNTLEIGH	FD3			X								
716	GIN-5	H27730	Doppler Fetal Portatil H	HUNTLEIGH	FD3			X								
717	GIN-5	H07379	Maquina Anestesia H	GENERAL ELECTRIC	EXCEL 210			X								
718	GIN-6	H27343	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D							X				
719	GIN-6	H27342	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D							X				
720	GIN-6	H27347	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D							X				
721	GIN-6	H27340	Monitor Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 172			X								
722	GIN-6	H27929	Monitor de Visualizacion H	KARL STORZ	9826N8			X								
723	GIN-6	H27930	Procesador de Video H	KARL STORZ	222010115110			X								
724	GIN-6	H27928	Neumoinflador H	KARL STORZ	264320081			X								
725	GIN-6	H27927	Fuente de Luz H	KARL STORZ	201614011			X								
726	GIN-6															
727	GIN-6	H28054	Ecografo H	PHILIPS	HD15	X	SE REALIZO EN DICIEMBRE									
728	GIN-6	H06733	Tensiometro H	WELCH ALLYN	TYCOS CEO050			X								
729	GIN-6	SIN PLACA 21	Central de Monitoreo H	TRIUM	TRIUM CTG		25/01/2021							X		
730	GIN-6	H28729	Generador de Alta Frecuencia H	COVIDIEN	VALLEVLAB LS10	X	18/01/2021									

Figura 12. Sección del Inventario general con los respectivos mantenimientos programados ('x')

	A	H	I	J	K	AV	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ
							ENERO 2021	FEBRERO 2021			MARZO 2021		ABRIL 2021		MAYO 2021
	PLACA INV. NUEVA	EQUIPO BIOMEDICO	MARCA	MODELO	PERIODICIDAD DEL MANTENIMIENTO		P	R	P	R	P	R	P	R	P
712	GIN-5	H31046	Monitor Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 174	SEMESTRAL		NUEVO							
713	GIN-5	H27910	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D	SEMESTRAL					X				
714	GIN-5	H31047	Monitor Materno Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 259	SEMESTRAL					X		ULTIMO POR GARANTIA		
715	GIN-5	H24345	Doppler Fetal Portatil H	HUNTLEIGH	FD3	SEMESTRAL			X						
716	GIN-5	H27730	Doppler Fetal Portatil H	HUNTLEIGH	FD3	SEMESTRAL			X						
717	GIN-5	H07379	Maquina Anestesia H	GENERAL ELECTRIC	EXCEL 210	SEMESTRAL			X						
718	GIN-6	H27343	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D	SEMESTRAL								X	
719	GIN-6	H27342	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D	SEMESTRAL								X	
720	GIN-6	H27347	Monitor De Signos Vitales H	GENERAL MEDITECH	G3D	SEMESTRAL								X	
721	GIN-6	H27340	Monitor Fetal H	GENERAL ELECTRIC	COROMETRICS 172	SEMESTRAL			X						
722	GIN-6	H27929	Monitor de Visualizacion H	KARL STORZ	9826N8	SEMESTRAL			X						
723	GIN-6	H27930	Procesador de Video H	KARL STORZ	222010115110	SEMESTRAL			X						
724	GIN-6	H27928	Neumoinflador H	KARL STORZ	264320081	SEMESTRAL			X						
725	GIN-6	H27927	Fuente de Luz H	KARL STORZ	201614011	SEMESTRAL			X						
726	GIN-6														
727	GIN-6	H28054	Ecografo H	PHILIPS	HD15	SEMESTRAL	X	SE REALIZO EN DICIEMBRE							
728	GIN-6	H06733	Tensiometro H	WELCH ALLYN	TYCOS CEO050	SEMESTRAL			X						
729	GIN-6	SIN PLACA 21	Central de Monitoreo H	TRIUM	TRIUM CTG	QUINQUEMESTRAL		25/01/2021							X
730	GIN-6	H28729	Generador de Alta Frecuencia H	COVIDIEN	VALLEVLAB LS10	ANUAL	X	18/01/2021							

Figura 13. Sección del Inventario general con el algoritmo ya ejecutado.

4.3 Verificación de seguridad

Los mensajes de error creados, así como las carpetas exploradas por los algoritmos se presentan en los Anexos. El **Anexo 3** y **Anexo 4** exponen los mensajes de error creados para ambas aplicaciones. El **Anexo 5** muestra las carpetas y archivos las cuales van a ser exploradas por la Interfaz.

4.4 Validación de los algoritmos

4.4.1. Interfaz para evaluación de desempeño y expedición de certificado

La **Figura16** expone los resultados de las 3 preguntas relacionadas con la funcionalidad de manera independiente representando el puntaje con gráfico de barras. Para este criterio se obtuvo una calificación promedio de 5.0 para la primera pregunta, 5.0 para la segunda y 5.0 para la tercera. De los 4 encuestados, 4 respondieron Excelente en las 3 preguntas.

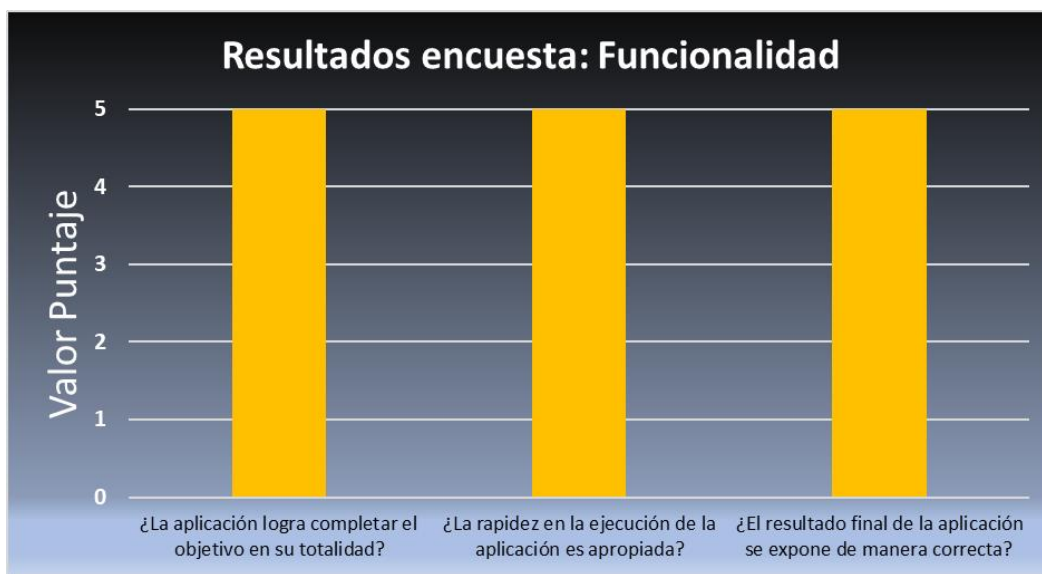


Figura 16. Resultados encuesta para validar la Funcionalidad de la Interfaz

La **Figura17** expone los resultados de las 4 preguntas relacionadas con la estética de manera independiente representando el puntaje con gráfico de barras. Para este criterio se obtuvo una calificación promedio de 5.0 para la primera pregunta, 5.0 para la segunda, 5.0 para la tercera y 4.75 para la última. De los 4 encuestados, 3 respondieron Excelente en las 4 preguntas, y 1 persona respondió Excelente en 3 preguntas.



Figura 17. Resultados encuesta para validar la Estética de la Interfaz

La **Figura18** expone los resultados de las 3 preguntas relacionadas con la calidad de la información de manera independiente representando el puntaje con gráfico de barras. Para este criterio se obtuvo una calificación promedio de 5.0 para la primera pregunta, 5.0 para la segunda y 5.0 para la tercera. De los 4 encuestados todos respondieron Excelente en las 3 preguntas.

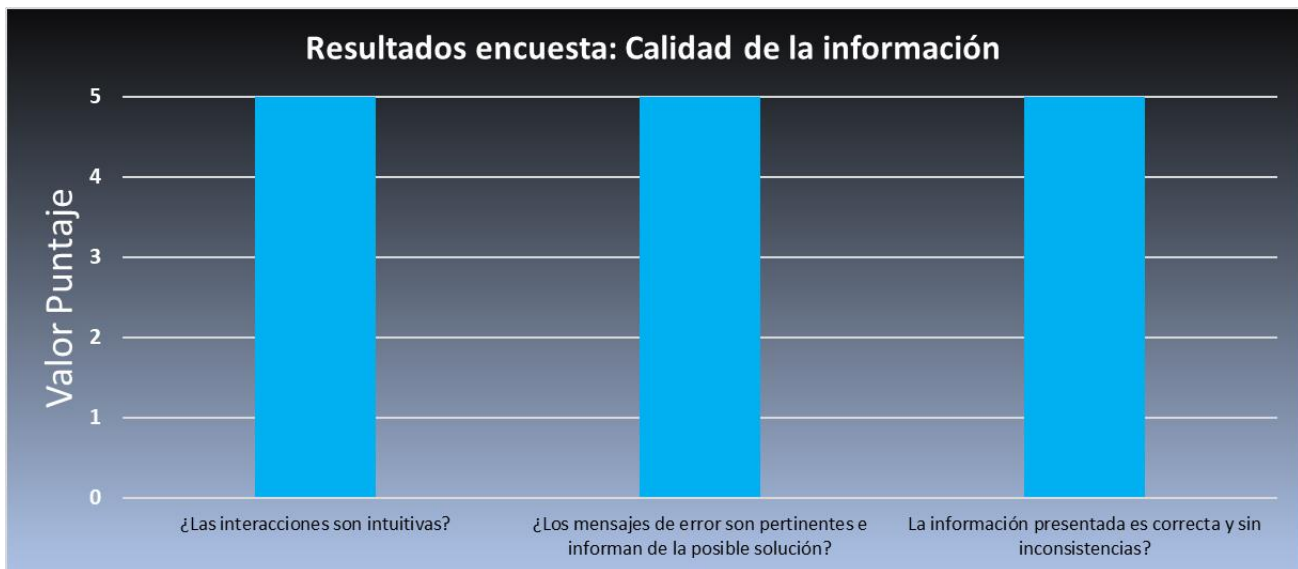


Figura 18. Resultados encuesta para validar la Calidad de la información de la Interfaz

La **Figura19** expone los resultados de la pregunta relacionada con el impacto de manera independiente representando el puntaje con gráfico de barras. Para este criterio se obtuvo una calificación promedio de 5.0. De los 4 encuestados, todos respondieron Excelente en la pregunta.

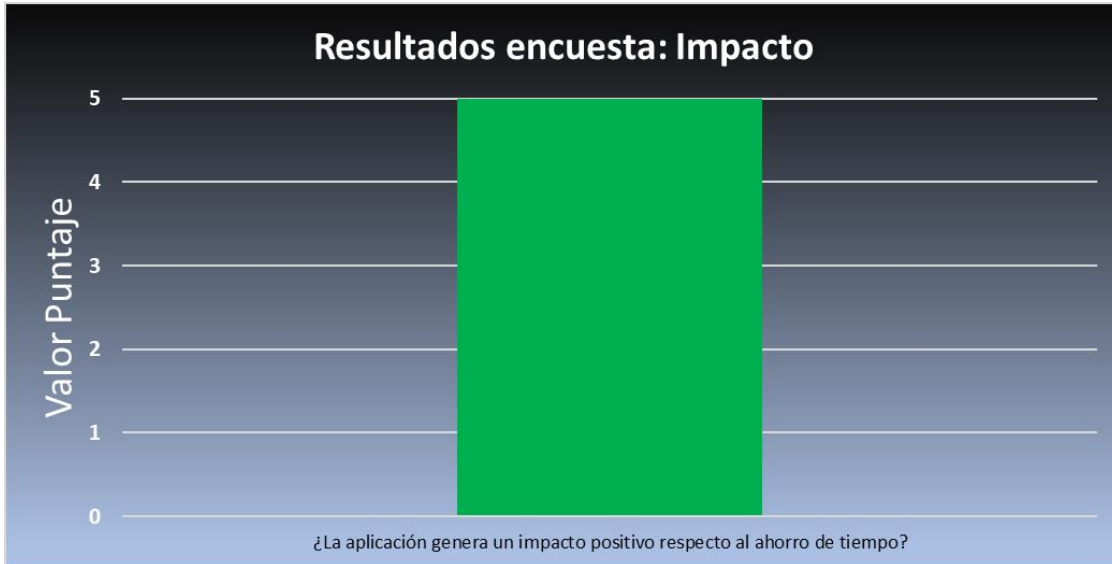


Figura 19. Resultados encuesta para validar el Impacto de la Interfaz

4.4.2. Algoritmo para el apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos

La evaluación del algoritmo se realizó con una sola persona del departamento debido a que es aquella que va a hacer uso de la implementación de este. La **Figura20**, **Figura21**, **Figura22**, y **Figura23** muestran los resultados de la encuesta de validación para los aspectos de funcionalidad, estética, calidad de la información e impacto respectivamente.

Para el aspecto de Funcionalidad se obtuvo una calificación de 4.0 en 2 de las 3 preguntas asociadas, siendo el cumplimiento del objetivo total y el tiempo de ejecución las características implicadas.

Para el aspecto de Estética se obtuvo una calificación de 5.0 de todas las 4 preguntas. Respecto a al aspecto de calidad de la información, se obtuvo una calificación de 4.0 en la pregunta asociada a si las interacciones son intuitivas, y una calificación de 5.0 en las otras 2 preguntas.

Finalmente, en el aspecto del Impacto se obtuvo la calificación de 5.0 para la pregunta asociada.

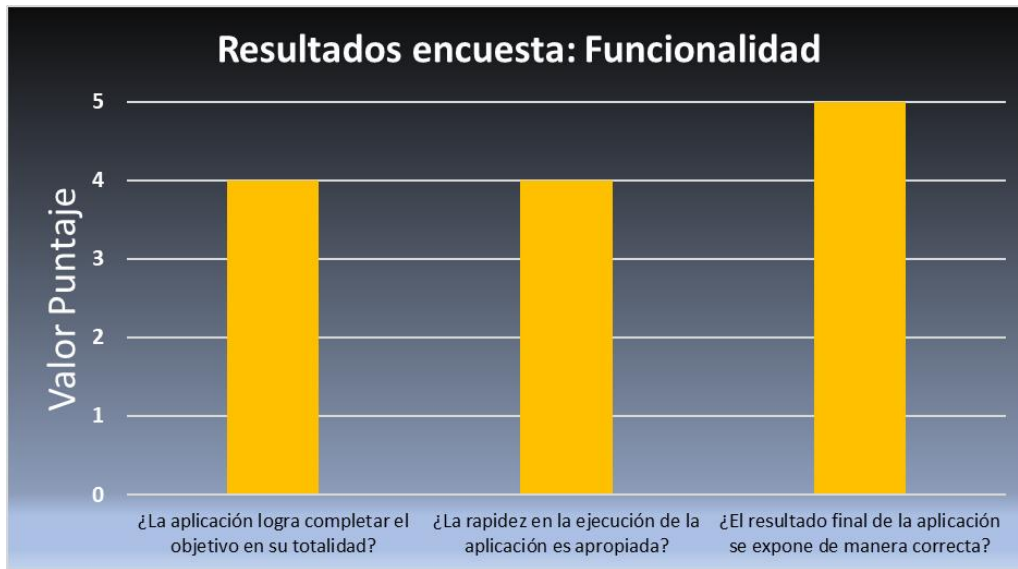


Figura 20. Resultados encuesta para validar la Funcionalidad del algoritmo



Figura 21. Resultados encuesta para validar la Estética del algoritmo

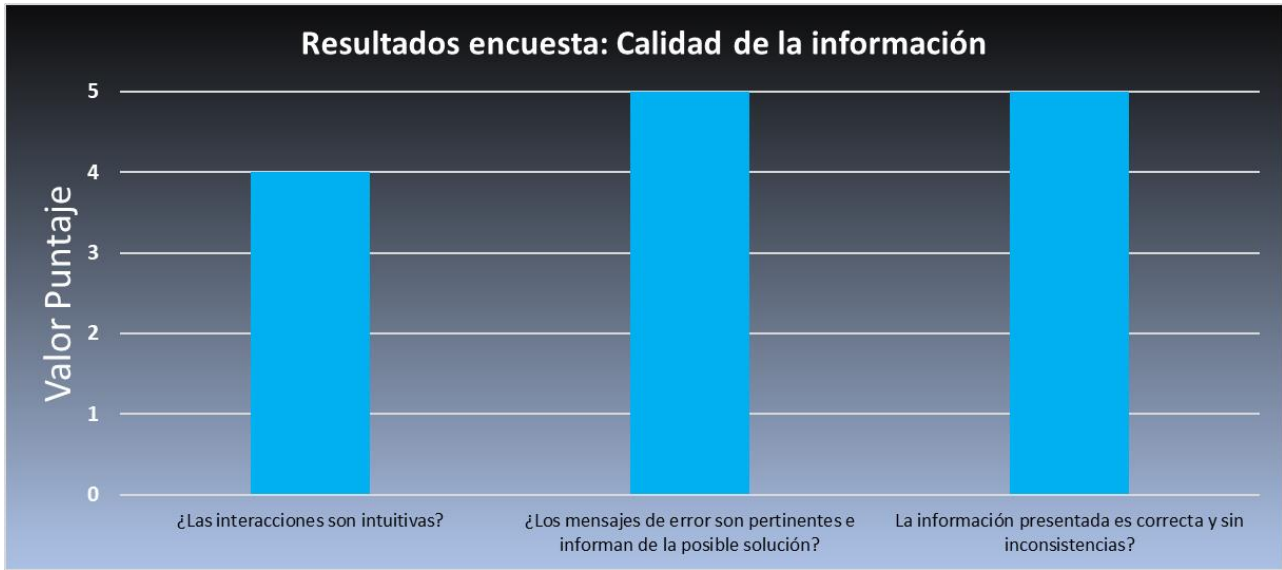


Figura 22. Resultados encuesta para validar la Calidad del información del algoritmo

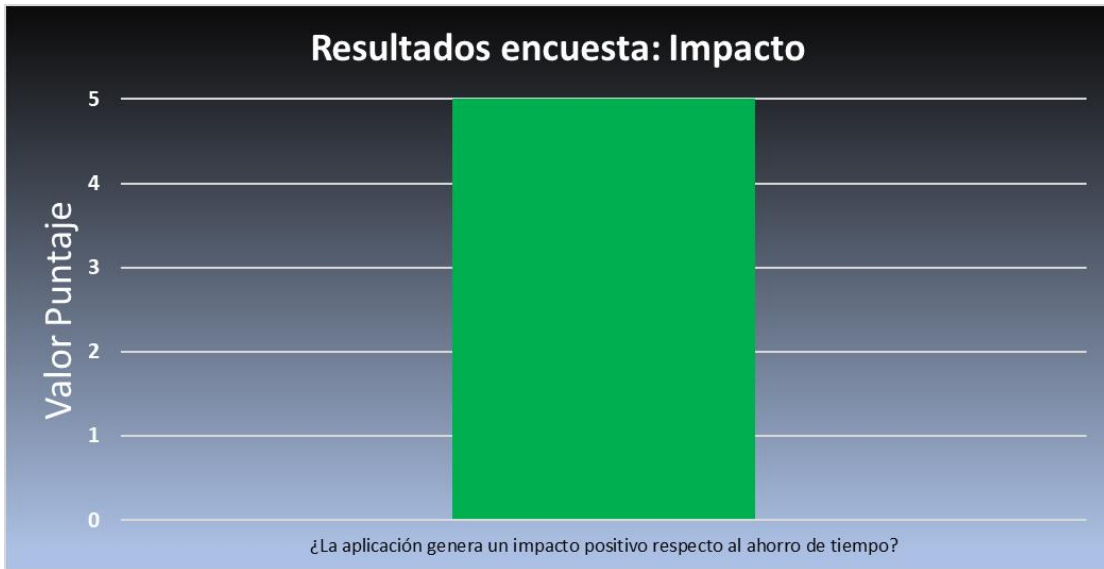


Figura 23. Resultados encuesta para validar el Impacto del algoritmo

5. DISCUSIÓN

Una vez implementadas las aplicaciones se percibió gran expectativa por parte del personal de biomédica hacia su uso, dada la impresión de tener una herramienta que facilite los procesos abordados en el proyecto. La fácil ejecución de los botones de comando y la visualización de las distintas ventanas de la Interfaz significan una interacción más amigable con la función que se está realizando, ya que logra reducir actividades tediosas como es la transcripción de la información principal del equipo. Al momento del desarrollo de la Interfaz se buscó que su visualización no sea simple respecto a lo estético, ni tampoco llena de información, la incorporación de imágenes y colores tienen como objetivo mostrar la aplicación como una Interfaz interactiva y no simplemente un formato a rellenar.

En segundo lugar, el algoritmo implementado para el apoyo en el seguimiento de mantenimientos preventivos únicamente contiene los botones de comando para la ejecución del algoritmo, por lo que el componente estético es muy limitado. Sin embargo, se buscó que la asignación de colores al momento de la evaluación tenga un orden especial y significancia con respecto a la gravedad, siendo el rojo el más grave y el morado el menos grave. Con respecto a la funcionalidad, el algoritmo presentó un tiempo de ejecución de alrededor de 3 minutos debido a la magnitud del archivo de Excel que contiene el inventario general de los equipos del hospital, esto, aunque implique un gran tiempo, mantiene una ventana enorme con respecto a hacerlo de manera manual, abordando tiempos de más de 1 hora.

Con respecto a la validación de las aplicaciones se obtuvo una calificación sobresaliente y una postura positiva por parte del personal evaluado hacia el uso de esta herramienta, recibiendo una buena acogida, aquellos criterios que se desempeñaron en menor medida deben ser corregidos con el fin de ofrecer la mejor solución al problema planteado y que el personal se sienta cómodo con el uso de la Interfaz y algoritmo.

Debido a que se está implementando una herramienta digital el elemento de seguridad debe ser un componente primordial, Excel permite proteger sus archivos cuando el usuario lo requiera con el fin de no ser modificados y en consecuencia dañados. Para este proyecto se tiene planeado, una vez el personal esté completamente familiarizado con los aplicativos, proteger el algoritmo y evitar posibles cambios que afecten su funcionamiento.

Es importante resaltar que en el desarrollo del algoritmo se dejaron todas las variables asociadas a carpetas, libros de Excel y nombres entre otros, libres de modificarse en caso de que se requiera un cambio en la ubicación de los archivos que el algoritmo evaluaría. Esto con el objetivo de que no se requiera acceder al algoritmo ni la necesidad de modificarlo.

Finalmente es importante resaltar el impacto que puede tener este proyecto como iniciativa e invitación a implementar soluciones digitales ofreciendo ventajas sobre el uso de papel como el gasto de este, la automatización de procesos, el acceso por parte de diferentes personas, entre otras. También el hecho de dejar abierta la posibilidad de mejorar en un futuro esta aplicación con el fin de adaptarse a las nuevas medidas o requerimientos del departamento de biomédica. La plataforma de Excel nos ofrece inmensidad de oportunidades y funciones para trabajar y con la magnitud de información que maneja la gestión de equipos biomédicos en el hospital este tipo de iniciativas que fomenten el uso de las herramientas que nos ofrece Excel permiten una mejor gestión y organización de la información.

6. TRABAJOS FUTUROS

La implementación de una aplicación digital significa un gran avance en el desarrollo de las diferentes actividades realizadas por el personal biomédico, por tal razón a pesar de que se implementaron varios mensajes de error y la libertad de modificar los datos sin necesidad de entrar directamente a la programación, es importante que dentro del equipo haya una persona con conocimientos de programación capaz de resolver, si llega a presentarse, algún inconveniente con la implementación de los algoritmos y de ser necesario modificar parte del código.

Esto supone que un trabajo futuro sea la actualización de estas aplicaciones con el fin de adaptarse a las nuevas necesidades del personal y poder desarrollar su función de la manera más óptima posible.

Se recomienda proteger los archivos que contienen la programación con el fin de no perderlos ni borrarlos, Excel permite esta acción de una manera sencilla la cuál puede ser implementada en un futuro cercano.

7. CONCLUSIONES

La implementación de este proyecto permitió un mecanismo para facilitar algunas actividades desarrolladas dentro del departamento ofreciendo una automatización de los procesos generando la sensación de ahorro de tiempo y gestión de la información.

Las aplicaciones cuentan con la seguridad pertinente para evitar los posibles errores al momento de hacer uso de ellas, así como la libertad de cambiar los valores de las variables asociadas a las carpetas de almacenamiento, los nombres del personal, entre otras. Esto permite que se pueda modificar la Interfaz sin necesidad de ser el desarrollador del algoritmo, una característica vital para la implementación en un futuro.

La evaluación por parte del personal biomédico arrojó resultados positivos en los 4 aspectos evaluados, considerando como un éxito su implementación y generando un impacto positivo en el proceso.

8. REFERENCIAS

- [1] Hospital San Ignacio, "Nuestra Institución," [Online]. Available: <https://www.husi.org.co/historia>. [Accessed 10 Febrero 2021].
- [2] Hospital San Ignacio, "Nuestra Institución," [Online]. Available: <https://www.husi.org.co/mision>. [Accessed 10 Febrero 2021].
- [3] Hospital San Ignacio, "Nuestra Institución," [Online]. Available: <https://www.husi.org.co/servicios-y-especialidades>. [Accessed Febrero 2021].
- [4] J. Camacho, "MAL USO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS: UN ENEMIGO INVISIBLE DE LAS INSTITUCIONES DE SALUD," 27 junio 2016. [Online]. Available: <https://www.elhospital.com/blogs/Mal-uso-de-dispositivos-medicos,-un-enemigo-invisible-de-las-instituciones-de-salud+113471>. [Accessed 10 Febrero 2021].
- [5] M. P. V. J. H. G. M. Correa, "Protocolos para evaluación de desempeño en equipos médicos," Grupo de Investigación en Bioinstrumentación e Ingeniería Clínica - GIBIC, Programa de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Medellín, Colombia, Medellín, 2017.
- [6] ICONTEC, "Vocabulario de términos básicos y generales de metrología," 2004.
- [7] L. F. O. Mendoza, "Desarrollo de procedimientos para la evaluación de desempeño de los equipos biomédicos presentes en la red de salud del oriente ese," Santiago de Cali, 2019.
- [8] MINSALUD, "ABECÉ Mediciones en equipos biomédicos".
- [9] World Health Organization, "MEDICAL DEVICE REGULATIONS: Global overview and guiding principles," 2003.
- [10] MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, "RESOLUCIÓN NÚMERO 00002003 DE 2014," 2014.
- [11] Á. C. Q. J. C. J. C. E. Luís Alberto Tena Aguilar, "PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPAMIENTO BIOMEDICO," 2009.
- [12] B. N. David, "¿Porque es importante realizar el mantenimiento preventivo?," 15 enero 2015. [Online]. Available: <https://procesosbiomedicos.com/mantenimiento-preventivo-de-equipos-medicos/>.
- [13] L. H. D. J. K. O. Z. Stoyan R Stoyanov, "Mobile App Rating Scale: A New Tool for Assessing the Quality of Health Mobile Apps," Queensland University of Technology, Queensland, 2015.
- [14] P. P. S. L. S. D. P. S. B. M. e. a. Terhorst Y, "Validation of the Mobile Application Rating Scale (MARS)," 2020.

9. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto

	Nombre de la tarea	Fecha de inicio	Fecha de finalización
1			
2	PROYECTO 1	20.01.2021	26.05.2021
3	Exploración de oportunidades de mejora	25.01.2021	05.02.2021
4	Definición del proyecto	04.02.2021	06.02.2021
5	Revisión de conceptos	04.02.2021	21.02.2021
6	Validación proyecto	10.02.2021	11.02.2021
7	Primera Entrega	22.02.2021	23.02.2021
8	Desarrollo de la interfaz	15.02.2021	17.03.2021
9	Desarrollo del algoritmo para seguimiento de mant. Prevent.	15.02.2021	17.03.2021
10	Implementación y pruebas de funcionalidad Interfaz y algoritmo	18.03.2021	23.03.2021
11	Revisión con el personal biomédico	22.03.2021	29.03.2021
12	Segunda Entrega	29.03.2021	30.03.2021
13	Corrección documento	01.04.2021	29.04.2021
14	Tercera Entrega	03.05.2021	04.05.2021
15	Sustentación Proyecto	25.05.2021	26.05.2021

Anexo 2. Certificado de evaluación de monitor de signos vitales



CERTIFICADO No _____							
DATOS DEL SERVICIO							
SERVICIO	_____			UBICACIÓN	_____		
CIUDAD	Bogotá			FECHA DE EVALUACIÓN	_____		
EQUIPO BIOMÉDICO EVALUADO							
EQUIPO	No. ACTIVO FIJO	MARCA	MODELO	SERIE			
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO PATRÓN E INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD							
NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE				
SIMULADOR DE MULTIPARAMETROS	FLUKE	PROSIM 8	2179062				
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		FECHA ÚLTIMA CALIBRACIÓN		PERIODO DE CALIBRACIÓN			
V3412-20		23-dic-20		ANUAL			
IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO							
MÉTODO DE EVALUACIÓN							
Comparación directa entre el patrón de referencia y el equipo bajo prueba.							
PRUEBA DE PRESIÓN NO INVASIVA - NIBP							
Parámetro	Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)
		1	2	3			
1	Sístole	60					±
	Diástole	30					±
2	Sístole	120					±
	Diástole	80					±
3	Sístole	150					±
	Diástole	100					±
4	Sístole	200					±
	Diástole	150					±
RESOLUCIÓN	1 mmHg	RANGO CALIBRACIÓN		(30 - 200) mmHg	ERROR MÁXIMO	0,00	
Los valores de la tabla se expresan en mmHg.							
PRUEBA DE PRESIÓN INVASIVA - IBP (ARTERIAL)							
Parámetro	Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)
		1	2	3			
1	Sístole	60					±
	Diástole	30					±
2	Sístole	120					±
	Diástole	80					±
3	Sístole	150					±
	Diástole	100					±
4	Sístole	200					±
	Diástole	150					±
RESOLUCIÓN	1 mmHg	RANGO CALIBRACIÓN		(30 - 200) mmHg	ERROR MÁXIMO	0,00	
Los valores de la tabla se expresan en mmHg.							
PRUEBA DE SATURACIÓN - SPO2							
Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)	
	1	2	3				
80						±	
85						±	
90						±	

93						±	
96						±	
100						±	
RESOLUCIÓN	1%	RANGO CALIBRACIÓN	(80 - 100) %	ERROR MÁXIMO	0,00		
Los valores de la tabla se expresan en % de Oxígeno.							

PRUEBA DE FRECUENCIA CARDIACA POR DERIVADAS							
Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)	
	1	2	3				
40						±	
80						±	
120						±	
160						±	
200						±	
RESOLUCIÓN	1 bpm	RANGO CALIBRACIÓN	(40 - 200) bpm	ERROR MÁXIMO	0,00		
Los valores de la tabla se expresan en bpm.							

PRUEBA DE RESPIRACIÓN							
Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)	
	1	2	3				
15						±	
30						±	
45						±	
60						±	
RESOLUCIÓN	1 rpm	RANGO CALIBRACIÓN	(15 - 60) rpm	ERROR MÁXIMO	0,00		
Los valores de la tabla se expresan en rpm.							

PRUEBA DE TEMPERATURA							
Valor Patrón	Lectura Equipo			Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (Ue)	
	1	2	3				
30						±	
34						±	
38						±	
42						±	
RESOLUCIÓN	0,1 °C	RANGO CALIBRACIÓN	(30 - 42) °C	ERROR MÁXIMO	0,00		
Los valores de la tabla se expresan en °C.							

PRUEBA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA IEC-NTC-ISO 60-601					
PRUEBA REALIZADA	ACTIVO		Medición	Unidad	PASA/FALLA
	Especificación				
Voltaje de Línea	110	V		V	
Resistencia de Protección a Tierra	≤	0,2		Ω	
Resistencia de Aislamiento L1-L2-Case	≥	2		MΩ	
Resistencia de Aislamiento Partes Aplicadas-Case	≥	2		MΩ	
Fuga de Corriente Tierra (Pol Normal)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente Tierra (L2 Open)	≤	1000		μA	
Fuga de Corriente Tierra (Pol Inv)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente Tierra (Pol Inv - L2 Open)	≤	1000		μA	
Fuga de Corriente Chasis (Pol Normal)	≤	100		μA	
Fuga de Corriente Chasis (L2 Open)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente Chasis (Earth Open)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente Chasis (Pol Inv)	≤	100		μA	
Fuga de Corriente Chasis (Pol Inv - L2 Open)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente Chasis (Pol Inv - Earth Open)	≤	500		μA	
Fuga de Corriente PA (Pol Normal)	≤	10		μA	
Fuga de Corriente PA (L2 Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente PA (Earth Open)	≤	50		μA	

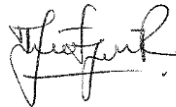
Fuga de Corriente PA (Pol Inv)	≤	10		μA	
Fuga de Corriente PA (Pol Inv - L2 Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente PA (Pol Inv - Earth Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (Pol Normal)	≤	10		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (L2 Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (Earth Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (Pol Inv)	≤	10		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (Pol Inv - L2 Open)	≤	50		μA	
Fuga de Corriente Aux PA (Pol Inv - Earth Open)	≤	50		μA	
Partes Aplicadas MAP (Normal)	≤	50		μA	
Partes Aplicadas MAP (Reverse)	≤	50		μA	

OBSERVACIONES

Apto para usar

EMITIDO POR:

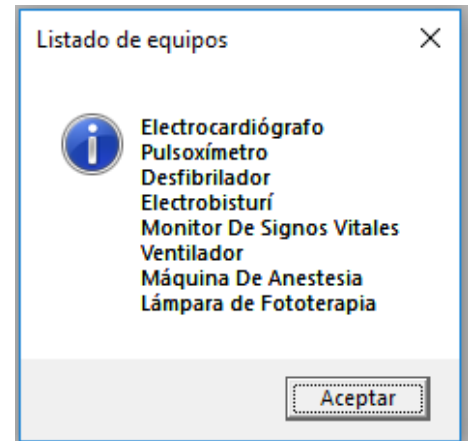
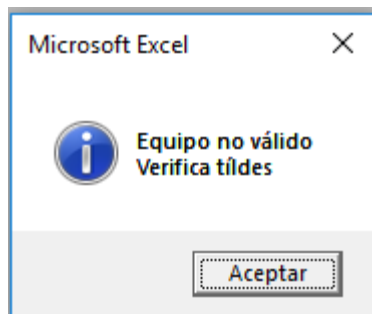
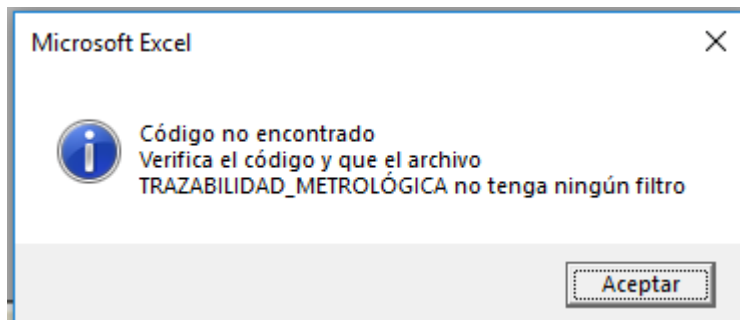
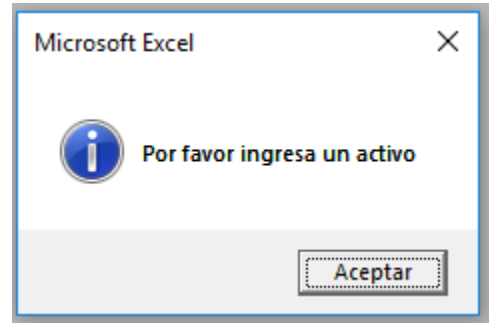
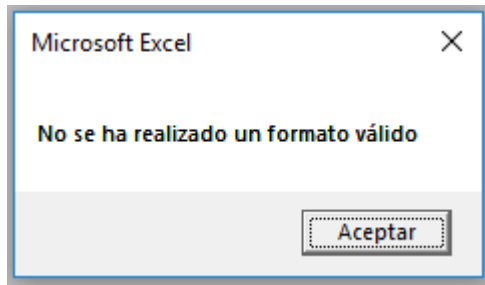
ELABORADO POR:

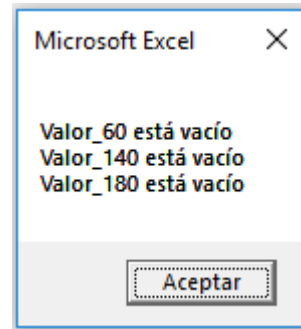
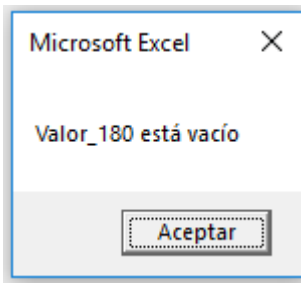
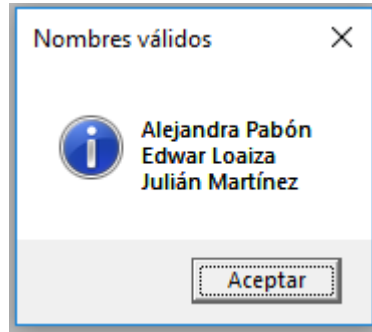
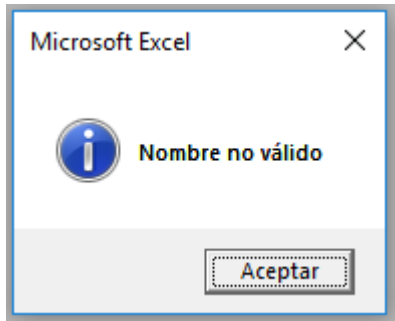


DEISY PATRICIA GUEVARA RONCANCIO

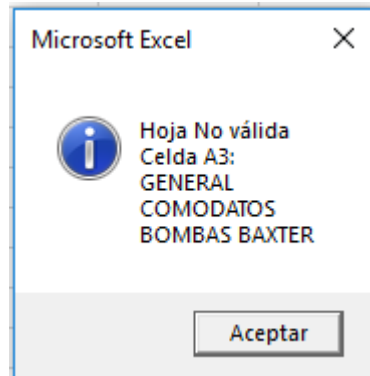
La Oficina de Gestión Biomédica, Apoyo Logístico y Mantenimiento, garantiza que los patrones utilizados en el procedimiento de calibración son trazables con el Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones que los vincula a los patrones primarios pertinentes a las unidades de medición del SI. Éste certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Apoyo Logístico no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Anexo 3. Mensajes de error mostrados por la Interfaz





Anexo 4. Mensajes de error mostrados por el algoritmo



Anexo 5. Nombres de las carpetas examinadas por la Interfaz

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		RESPALDO			VARIABLES			CARPETAS PDF	
2		Nuevo Formato	ctrl + f		Carpeta	gestion_biomedica		Desfibrilador	Desfibriladores
3		PDF	ctrl + j		Año	2021		Electrobisturí	Electrobisturis
4					Formatos Excel	PlantillasEXCEL		Electrocardiógrafo	Electrocardiografos
5					Inventario	TRAZABILIDAD_METROLÓGICA		Lamp. Fototerapia	Lámparas de fototerapia
6					Hoja	TRAZABILIDAD METROLOGICA		Máquina Anestesia	Máquinas de Anestesia
7								Monitor	Monitores de Signos Vitales
8								Pulsoxímetro	Pulsoxímetros
9					Nuevo 1	Julián Martínez	JULIAN MARTINEZ	Ventilador	Ventiladores
10					Nuevo 2				
11					Nuevo 3				
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									