

Diseño de un Software para Apoyar tareas de Mantenimiento de Equipos de Laboratorio Clínico

Design of a Software to Support Clinical Laboratory Equipment Maintenance

Alex Fabián Guamán-Chango¹ <https://orcid.org/0009-0007-4705-3504>, Evelyn Cristina Faican-Jiménez¹ <https://orcid.org/0009-0006-6344-8082>, Ana Cecilia Villa-Parra^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-7588-9372>

¹Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador
aguamanc4@est.ups.edu.ec, efaicanj@est.ups.edu.ec

²Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica GIIB, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador
avilla@ups.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2023/07/16

Aceptado: 2023/08/20

Publicado: 2023/10/15

Resumen

El mantenimiento de los equipos que se encuentran en laboratorios clínicos es requerido para garantizar su operación eficiente y prolongar su vida útil. Actualmente los procesos de mantenimiento se están gestionando a través de herramientas informáticas que deben ser desarrolladas a partir de los requerimientos de las instituciones y empresas. En este documento se presenta la descripción de un sistema para apoyar la gestión de las tareas de mantenimiento de equipos de laboratorio clínico de la empresa Proquímica de Ecuador. Se realizó un levantamiento de información en el Departamento de Mantenimiento de la empresa para contar con la información de soporte. Se diseñó y desarrolló un sistema, basado en una página web y una aplicación móvil, que permite a los técnicos y personal encargado del mantenimiento registrar de manera precisa y ordenada todas las actividades realizadas, incluyendo detalles como fechas, tareas y repuestos. La aplicación móvil brinda el acceso a los registros actualizados de mantenimiento de forma remota. Se realizó una evaluación de usabilidad del sistema con el cuestionario PSSUQ que es una herramienta que consta de 16 preguntas para evaluar la satisfacción de un usuario sobre una aplicación enfocándose en la facilidad de uso, la eficiencia

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Análisis de Resultados y Conclusiones.

Como citar: Guamán-Chango, A., Faican-Jiménez, E., Villa-Parra, A. C. (2023). Diseño de un Software para Apoyar tareas de Mantenimiento de Equipos de Laboratorio Clínico. *Revista Tecnológica - Espol*, 35(2), 94-108. Recuperado a partir de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1060>

y la calidad percibida. En la evaluación participaron cinco voluntarios y los resultados indican un alto nivel de satisfacción de la primera versión del sistema y de los recursos que brinda para realizar las tareas de mantenimiento.

Palabras clave: mantenimiento, equipo clínico, aplicación móvil, página web.

Abstract

Periodic maintenance of equipment found in clinical laboratories is necessary to ensure its efficient operation and extend its lifespan. Currently, maintenance processes are managed through computer tools, which need to be developed based on the requirements of institutions and companies. This work presents the description of a system to support the maintenance tasks of clinical laboratory equipment at the company Proquímica, Ecuador. Information was gathered from the Maintenance Department of the company to provide supporting information for the maintenance of clinical equipment. In addition, a system was designed and developed, which includes a website and a mobile application. This allows technicians and maintenance personnel to accurately and orderly record all activities performed, including details such as dates, tasks, and spare parts. The mobile application provides remote access to up-to-date maintenance records. A usability evaluation of the system was conducted using the PSSUQ questionnaire, which consists of 16 questions to assess user satisfaction with an application, focusing on ease of use, efficiency, and perceived quality. Five volunteers participated in the evaluation, and the results indicate a high level of satisfaction with the system and the resources it provides for performing maintenance tasks.

Keywords: maintenance, clinical equipment, mobile application, website.

Introducción

El mantenimiento de equipo médico en ambientes hospitalarios y de laboratorio clínico, es trascendental para la operación eficiente de estos espacios y para garantizar la precisión de los resultados. Realizar el mantenimiento de los equipos permite prolongar su vida útil y garantizar la seguridad del personal que opera en el laboratorio e instituciones prestadoras de servicios de salud (Iadanza et al., 2019). La gestión eficaz del mantenimiento de equipos médicos además influye directamente en la calidad de la atención y es esencial para proporcionar buenos servicios de salud, reducir la mortalidad y ahorrar recursos (Badnjevic, 2023; Bahreini et al., 2019; Márquez, 2023).

Considerando que los equipos que se emplean para realizar pruebas y análisis son la base para el diagnóstico y tratamiento de las personas, estos deben contar con un plan de mantenimiento que asegure su trabajo en óptimas condiciones, con evidencias de su calibración y funcionalidad (Zamzam et al., 2021a). En este sentido, las empresas proveedoras de equipos médicos ofrecen servicios de mantenimiento y control de calidad, que deben proyectarse durante toda la vida útil del equipo. Para su puesta en marcha, el mantenimiento exige una planificación eficiente, en la cual se integren de manera efectiva los responsables del servicio técnico y los clientes como instituciones públicas y privadas. Debilidades en la correcta administración del recurso humano y en la planificación, programación y control del mantenimiento, provocan que las instituciones prestadoras de servicios de salud registren evaluaciones de la gestión del mantenimiento no satisfactorias (Cuzco et al., 2019), que exigen mejoras inmediatas en los departamentos responsables.

El mantenimiento contempla conocer el manual de usuario de los equipos, para saber en detalle cómo se utiliza correctamente el dispositivo en la práctica clínica, además se requiere llevar un registro de las fechas de adquisición e inspecciones, el diseño de planes de mantenimiento preventivo y correctivo incluyendo la capacitación en los procesos que garanticen la calibración y ajustes de los equipos (Pérez et al., 2021; WHO, 2012).

La evaluación del estado de los equipos médicos y la gestión de su ciclo de vida son actividades importantes durante el mantenimiento del equipo, que es clave para aumentar la disponibilidad, el rendimiento y la seguridad (Zamzam et al., 2021a). De acuerdo con Bahreini et al. (2019), entre los factores que tiene influencia directa en los sistemas de gestión de mantenimiento eficientes están: los recursos, el control de calidad, la educación y el diseño e implementación de los planes de mantenimiento. Márquez (2023) indica que, para garantizar la calidad de los dispositivos médicos en la prestación de atención médica, se deben desarrollar listas de verificación que identifiquen el estado de desempeño del mantenimiento de los equipos.

Por lo mencionado, llevar un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento realizadas es importante para contar con la información completa para la verificación de la gestión de mantenimiento. En muchos casos, la documentación básica se lleva en registros en papel, pero el uso de sistemas computarizados de gestión del mantenimiento facilita y optimiza el registro y el seguimiento del desempeño en entornos médicos (WHO, 2012), con herramientas informáticas, por ejemplo, para la gestión de mantenimiento asistido por ordenador conocidas como GMAO (Valenzuela, 2023; Ávila et al., 2022). Existen además sistemas para la gestión de tareas de mantenimiento y que son aplicadas y evaluadas en centros prestadores de salud, como el sistema computarizado de gestión de mantenimiento CMMS por sus siglas en inglés “Computerized Maintenance Management System” y el sistema para gestión de activos EAM por sus siglas en inglés “Enterprise Asset Management” (Ávila et al., 2022; Cuzco, et al., 2019). Estos recursos cuentan con funcionalidades que incluyen la gestión de inventario, la programación de visitas para el mantenimiento, la creación del historial de mantenimiento y de bases de datos tanto de proveedores como de clientes, la generación de informes, alertas y recordatorios.

Herramientas avanzadas, mediante internet de las cosas y modelos predictivos, pueden evaluar los resultados del mantenimiento y proyectar fallos y problemas en los equipos, permitiendo realizar intervenciones preventivas oportunas y eficientes (Shamayleh et al., 2020; Silva et al., 2021; Zamzam et al., 2021b).

Como indica Badnjevic (2023), para optimizar los programas de mantenimiento y reducir su costo total, las estructuras de gestión hospitalaria buscan constantemente soluciones para extender el tiempo de operación de los equipos, en los niveles técnicos y de seguridad. En el campo del laboratorio clínico, la tecnología desempeña un papel crucial para mejorar la eficiencia, la precisión y la gestión de los procesos. El software y aplicaciones móviles diseñadas para estos equipos han cambiado la forma en la que se llevan a cabo las pruebas y se gestionan los resultados, sin embargo, son pocas las opciones que realizan una interpretación de los datos generados para identificar el estado de los equipos y garantizar su vida útil. Existe el requerimiento entonces de integrar los recursos de software para que los datos generados por los equipos sean procesados para mejorar las tareas de mantenimiento (Iadanza et al., 2019).

Se debe considerar además que, el emplear un software para gestionar actividades de mantenimiento plantea a las empresas desafíos como una inversión por costo de licencias, actualizaciones y soporte técnico. Se debe considerar el nivel de complejidad en la implementación

de las funcionalidades de un software para estas aplicaciones, que requiere ser adaptado a las necesidades de las instituciones y ofrecer la capacitación a su personal, para asegurar que se adopte y utilice de manera efectiva en las rutinas de trabajo (Badnjevic, 2023).

Por esta razón, el diseño de un software para mantenimiento requiere definir los requisitos y necesidades de la institución o empresa para ajustar las funcionalidades de la herramienta informática al flujo de trabajo y procesos. Adicionalmente, es necesario que se evalúen las opciones de software comparando características, capacidades, costo y soporte ofrecidos, para elegir la que se ajuste mejor. La implementación gradual brinda la posibilidad de iniciar con una herramienta que ayude a la gestión con funcionalidades básicas que puedan migrar a procesos más complejos a la par con la capacitación del personal, que debe ingresar la información y gestionarla de manera correcta. Es importante en este proceso evaluar continuamente el rendimiento para identificar los ajustes que mejoren la interacción con el software (Kumar et al., 2021).

En este contexto, se presenta el desarrollo de un sistema para gestionar las tareas de mantenimiento de equipos de laboratorio clínico para la empresa ecuatoriana Proquímica. Se parte con la descripción del diseño del software adaptado a la empresa, que permita contar con un recurso eficiente y útil en la mejora de los procesos de mantenimiento. Posteriormente, se describe la metodología aplicada para la recolección de la información, para el desarrollo del software, de la interfaz y las pruebas. Se presentan finalmente los resultados de la evaluación de usabilidad realizada por los colaboradores de la empresa y las conclusiones.

Materiales y Métodos

Recopilación de información

El sistema desarrollado fue alimentado con la información de los procedimientos para mantenimiento seguidos por el Departamento de Mantenimiento de la empresa Proquímica (DMPQ), ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, con 25 años de experiencia como distribuidor de equipos para laboratorio clínico, control de calidad y prestador de servicios de mantenimiento de este tipo de equipos de complejidad baja y media.

Al realizar el levantamiento de información en la empresa, se consideraron los aspectos de funcionalidad, requisitos técnicos, normativas, procesos, configuración y protocolos de manipulación de muestras y seguridad. Se identificaron estos conceptos para proponer los requisitos del sistema que apoye a la gestión de tareas de mantenimiento de los equipos de laboratorio clínico que la empresa realiza posventa.

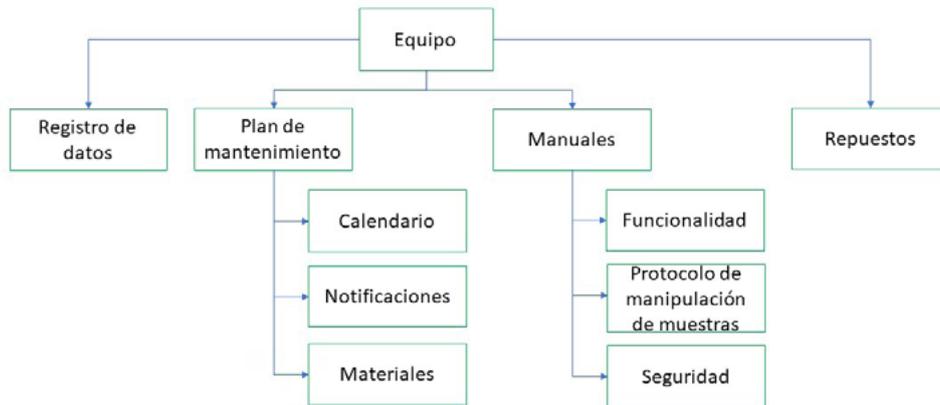
En el diagrama de la Figura 1 se muestra la propuesta de información relevante para alimentar el sistema que brinde soporte al mantenimiento de estos equipos de laboratorio clínico.

Para el registro del equipo son necesarios los datos técnicos que deberán ser ingresados al sistema para que los responsables de realizar el mantenimiento puedan crear una ficha del equipo con: nombre del equipo, modelo, número de serie, fecha de adquisición y responsable de mantenimiento. Esta información es considerada relevante para evaluar la confiabilidad de dispositivos médicos (Zamzam et al., 2021a).

El plan de mantenimiento requiere incluir un calendario para la programación de las fechas de mantenimiento y de las tareas de inspección.

Figura 1

Diagrama de bloques con la descripción de la información requerida para la gestión de mantenimiento de un equipo de laboratorio clínico



Con las notificaciones se busca implementar un sistema con indicaciones y alertas para la ejecución de tareas de mantenimiento para los equipos.

La sección de materiales busca que los técnicos cuenten con los recursos necesarios para realizar los servicios de mantenimiento a tiempo.

El acceso a los manuales y documentación técnica busca facilitar el acceso a guías de mantenimiento, especificaciones técnicas y documentación relevante para el proceso de mantenimiento. Se incluye: la descripción de las funciones y configuraciones de los equipos dependiendo de los modelos, las normas y estándares aplicables, los requisitos de verificación, calibración, mantenimiento y seguridad. Los equipos cuentan con la descripción de protocolos especiales para una manipulación adecuada de muestras. Esta información es considerada en procesos de evaluación de la gestión de mantenimiento (Cuzco et al., 2019).

La información de repuestos busca facilitar el control de existencias de los insumos necesarios para realizar el mantenimiento.

Se realizó una serie de visitas, en las cuales se conocieron los detalles de la Figura 1 y las tareas de mantenimiento llevadas a cabo para los siguientes equipos de laboratorio clínico, que son los más demandados en la empresa: centrífuga, microscopio, baño maría e incubadora. Se revisó, con previa autorización de la empresa, la documentación de los equipos y de las tareas de mantenimiento, que se encontraba registrada en hojas de papel y que fue digitalizada. El proceso de recolección, ordenamiento y análisis de toda la información se realizó en 30 días en jornadas de 8 horas de trabajo diarias.

La investigación incluyó el levantamiento de información en el DMPQ para conocer sobre el tipo de mantenimiento ofrecido por la empresa (preventivo, correctivo y predictivo), la frecuencia y la duración de las intervenciones, los materiales e insumos para llevar a cabo las actividades de mantenimiento y los procedimientos realizados para el mantenimiento de los equipos: centrífuga, microscopio, baño maría e incubadora.

En la tabla 1 se encuentra la ficha con la información solicitada al DMPQ.

Tabla 1
 Ficha para el registro de las actividades de mantenimiento llevadas a cabo en la empresa Proquímica

Actividades de Mantenimiento					
Equipo	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Duración	Materiales e Insumos	Procedimiento
	Preventivo <input type="checkbox"/>				
	Correctivo <input type="checkbox"/>				
	Predictivo <input type="checkbox"/>				

Con base en la información recopilada se creó un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para estos equipos.

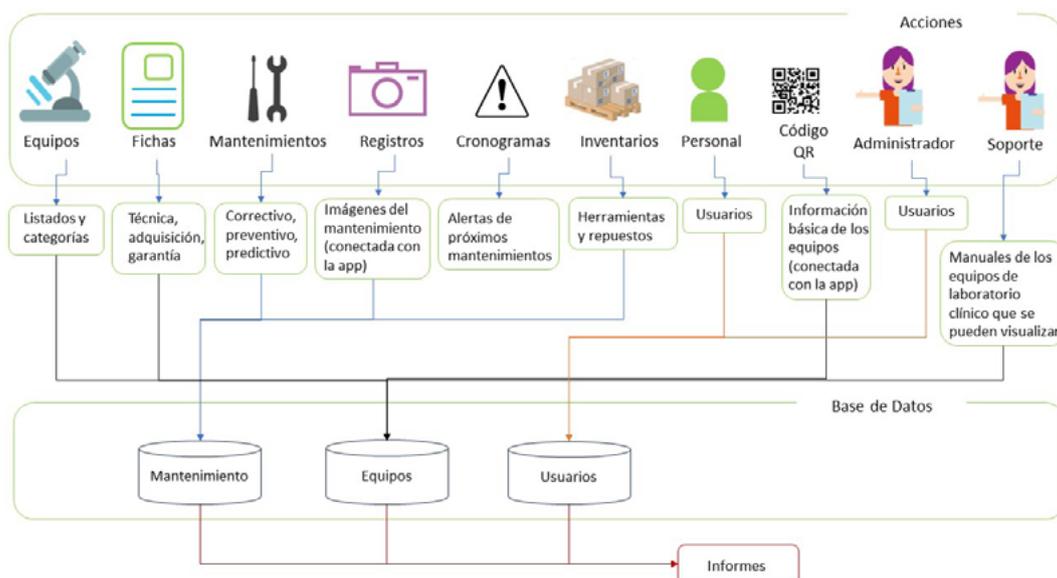
Al consultar a los ingenieros del DMPQ si existía la predisposición para incluir un sistema de apoyo a la gestión del mantenimiento de los equipos y utilizarlo como herramienta en su trabajo, se recibió una respuesta afirmativa. El DMPQ planteó como requerimiento que sea una herramienta que permita automatizar la gestión de servicios, el seguimiento de órdenes de trabajo y el registro de datos técnicos.

Se verificó que la infraestructura tecnológica del DMPQ, basada en computadoras portátiles y teléfonos inteligentes, permitía la implementación de un sistema para gestionar las tareas de mantenimiento.

Sistema para Gestionar el Mantenimiento de Equipo de Laboratorio Clínico (SGM-ELC)

En la Figura 2 se presenta la estructura del sistema SGM-ELC para gestionar el mantenimiento de equipo de laboratorio clínico, que incluye una página web, una aplicación móvil y una base de datos.

Figura 2
 Diagrama de flujo del sistema que muestra la interconexión de las acciones e información del sistema SGM-ELC para la gestión del mantenimiento de equipos de laboratorio clínico



El software incorpora información clara de los equipos con las secciones: equipo, categoría, fichas y código QR, por sus siglas en inglés “Quick Response”.

Para ayudar en el seguimiento de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos se incorporaron las secciones: mantenimiento, registro, cronogramas, inventarios y soporte. Además, se cuenta con información del personal y sus responsabilidades con las secciones: personal y administrador. Esto brinda una base que apoya las tareas de mantenimiento en el momento adecuado y de manera sistemática, para prevenir averías y reducir el tiempo de inactividad no planificado.

Para almacenar y administrar la información relacionada con el mantenimiento de equipos de laboratorio clínico, SGM-ELC crea bases de datos con la información de mantenimiento, equipos y usuarios, de tal manera que se puedan almacenar y recuperar los datos necesarios para la gestión del mantenimiento. La información puede exportarse como documentos con extensión pdf.

Para el desarrollo de la página web se utilizó Visual Code. El diseño visual de la interfaz de la página se realizó con una plantilla de la biblioteca Bootstrap, como una estructura conceptual y una base adecuada para el desarrollo de la primera versión del sistema.

Considerando que los trabajadores de la empresa usarían por primera vez un software para fines de mantenimiento de equipos se buscó que sea una herramienta que permita fácil interacción.

Durante el proceso de desarrollo, se utilizaron herramientas como Eclipse, Visual Studio o IntelliJ IDEA, que ofrecen un entorno completo para escribir, depurar y probar el software. Para gestionar el código fuente y colaborar en equipo se utilizó la herramienta de control de versiones Git.

Para realizar la comunicación y transferencia de datos entre diferentes sistemas con el software se utilizó la interfaz API, por sus siglas en inglés “Application Programming Interfaces” y servicios web. Esta interfaz permite integrar el software de mantenimiento de equipos de laboratorio clínico con otros sistemas o acceder a información externa relevante.

El sistema fue diseñado para contar con una aplicación móvil desarrollada en el software Android para permitir que los responsables de mantenimiento estén conectados con la página web y puedan gestionar información de las siguientes secciones: fichas, mantenimientos, registros, escanear código QR y soporte.

El código QR es el medio por el cual se puede acceder a la información básica de los equipos mediante la aplicación. La información de evidencias de las condiciones del equipo antes y después del mantenimiento puede ser revisada con la aplicación móvil para facilitar el envío de información por otros medios de comunicación como correo electrónico cuando se requiera.

Para crear las interfaces interactivas de usuario de la aplicación, se utilizaron las herramientas HTML, CSS y frameworks y para la gestión de las bases de datos del sistema se utilizaron MySQL, PostgreSQL, Oracle y SQL Server.

La interacción entre la página web y la aplicación se basa en las conexiones con la base de datos. La aplicación, después de establecer la conexión MySQL permite acceder a una base de datos con fotos para subir y descargar evidencias de los mantenimientos realizados. Esta información forma parte de los reportes de mantenimiento e información de los equipos.

El sistema cuenta con encriptación de datos en tránsito y en reposo, mediante protocolos HTTPS que permiten la comunicación entre el cliente y el servidor. La encriptación en reposo implica que los datos almacenados en los servidores y en las bases de datos también estén encriptados para controlar el acceso no autorizado. Para acceder se exige la autenticación de los usuarios con una contraseña. Se implementaron niveles de autorización para asegurar el acceso a los datos y a las funciones de ingreso de información del equipo de laboratorio clínico.

Realizada la programación del sistema, se incorporó la información que brindó la empresa Proquímica, considerando subir documentos debidamente referenciados y organizados, tomando en cuenta que mucha de esta información fue recopilada directamente de los trabajadores de la empresa.

Como el sistema fue concebido de manera modular, es posible incorporar nuevos bloques que amplíen su funcionalidad.

Pruebas de usabilidad del sistema

Las pruebas de usabilidad del sistema SGM-ELC fueron realizadas por 5 voluntarios, 4 hombres y 1 mujer ($37,7 \pm 14$ años), ingenieros del DMPQ.

Los participantes recibieron una explicación-capacitación sobre todo el proceso de uso del sistema.

Se solicitó a los participantes realizar las siguientes actividades: 1) instalar la aplicación móvil. 2) ingresar la información de un equipo en todas las categorías indicadas en la Figura 2 en la página web. 3) generar los informes de las bases de datos del sistema en la página web y con la aplicación móvil. 4) verificar si los informes se encuentran completos y en el formato correcto; y 5) llenar el formulario PSSUQ, por sus siglas en inglés Post-Study System Usability Questionnaire, de la Tabla 2.

El PSSUQ es una herramienta utilizada para evaluar la satisfacción del usuario sobre un sistema o una aplicación. Este cuestionario de 16 preguntas, se enfoca en la facilidad de uso, la eficiencia y la calidad percibida del sistema y se administra a los usuarios después de que han interactuado con un sistema o producto (Hajesmaeel-Gohari et al., 2022). Los valores más cercanos a 1 representan una mejor usabilidad, el valor neutro es 4 y los más cercanos a 7 representan una menor usabilidad.

En el PSSUQ, las puntuaciones más bajas significan una mejor evaluación, lo que indica un mayor nivel de usabilidad y en la Tabla 2 se muestran las preguntas del cuestionario y las escalas para su evaluación (Villa-Parra et al., 2022).

Tabla 2

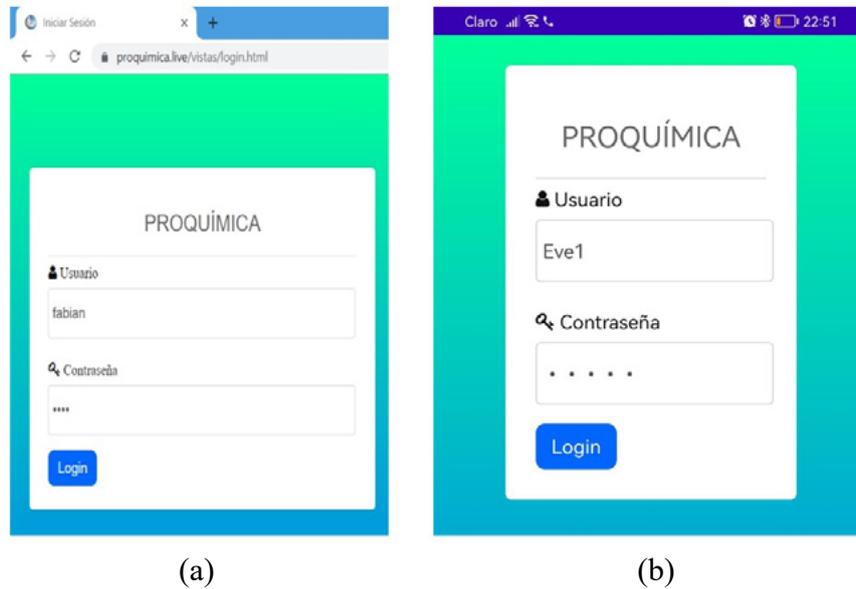
Preguntas del cuestionario PSSUQ y sus escalas aplicado para la evaluación del sistema para el mantenimiento de los equipos CEN, MIC, BM e INC

		Mayor usabilidad			Neutral			Menor usabilidad
#	Pregunta	1	2	3	4	5	6	7
1	Estoy satisfecho/a con este sistema							
2	Fue simple usar este sistema							
3	Soy capaz de completar mi trabajo rápidamente utilizando este sistema							
4	Me sentí cómodo usando este sistema							
5	Fue fácil aprender a usar este sistema							
6	Creo que me volví experto rápidamente utilizando este sistema							
7	Creo que podría volverme productivo rápidamente usando este sistema							
8	El sistema dio mensajes de error que claramente me dijeron cómo solucionar problemas							
9	Cada vez que cometía un error al usar el sistema, podía recuperarme fácil y rápidamente							
10	La información (como ayuda en línea, mensajes en pantalla y otra documentación) proporcionada con este sistema fue clara							
11	Fue fácil encontrar la información que necesitaba							
12	La organización de la información del sistema en la pantalla fue clara							
13	La interfaz de este sistema era agradable							
14	El sistema tuvo todas las herramientas que esperaba que tuviera							
15	Este sistema tiene todas las funciones y capacidades que espero que tenga							
16	En general, estoy satisfecho con este sistema							

Resultados

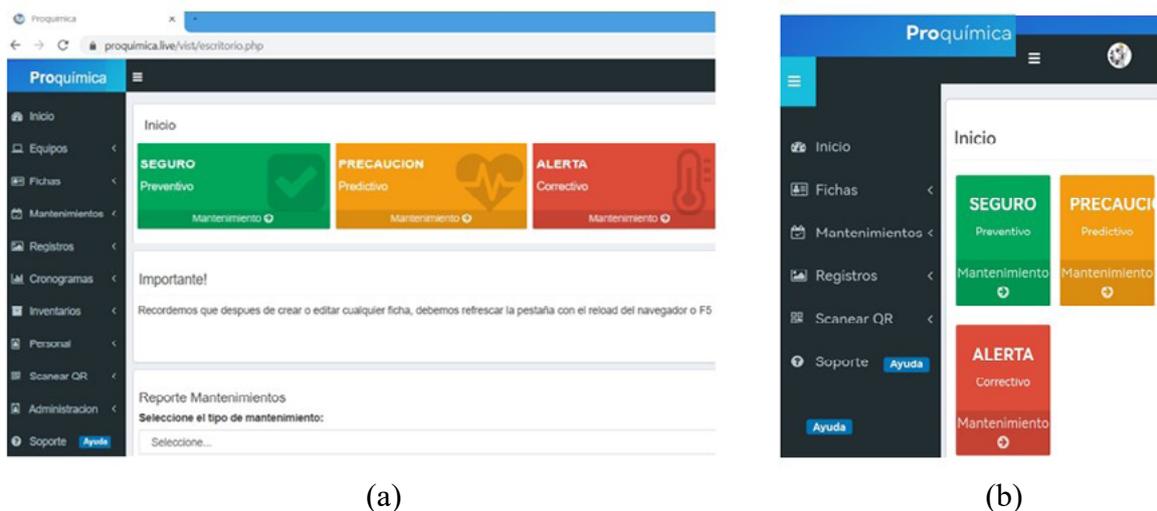
En la Figura 3 se muestran las interfaces para realizar el acceso al sistema (login), tanto para la página web mediante una PC y a la aplicación móvil mediante un teléfono inteligente. Se deben introducir los datos de usuario y la contraseña.

Figura 3
Autenticación del sistema SGM-ELC (a) página web; (b) aplicación móvil



En las páginas principales de la página web y de la App que se muestran en la Figura 4, se despliegan noticias que son incluidas por el administrador y alertas de mantenimiento que son generadas de manera automática con base en el cronograma registrado en el calendario de trabajo.

Figura 4
Interfaz del sistema SGM-ELC (a) página web; (b) aplicación móvil



Con la opción de lista de equipos, en la página web es posible imprimir en formato PDF, por sus siglas en inglés “Portable Document Format”, un informe con los datos del equipo (equipo, código, fecha), fichas (técnica, de garantía, de adquisición), y registros del mantenimiento (predictivo, correctivo, preventivo). En la Figura 5, se muestra como ejemplo la información registrada de la centrífuga.

Figura 5

Información registrada de la centrífuga que se visualiza en un documento en formato PDF

Equipos **Reporte**

Nombre(*):
CENTRIFUGA

Stock:
1

Imagen:
Seleccionar archivo Sin archivos seleccionados

Categoría(*):
Maquinaria Principal

Descripción:
LABORATORIO CLÍNICO

Código:
C1001

Generar Imprimir

C1001

Guardar Cancelar

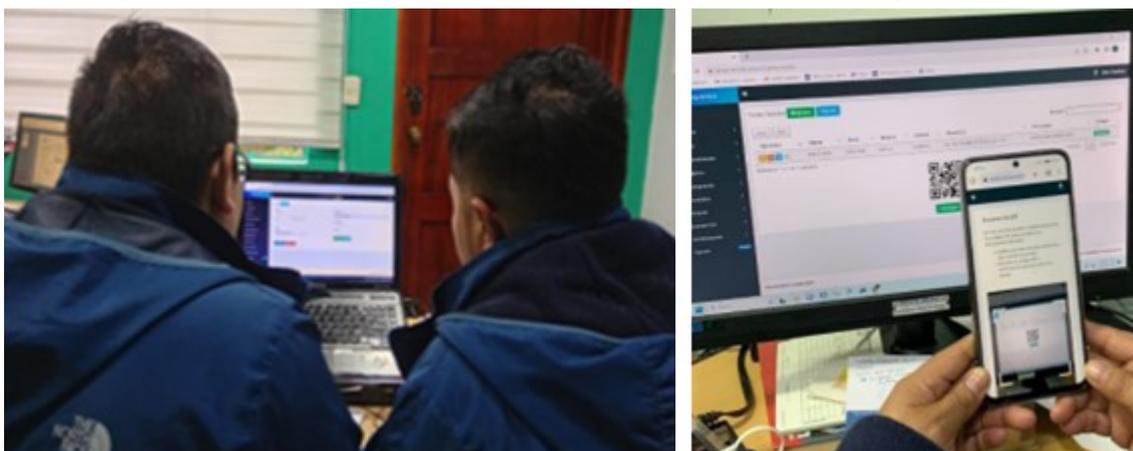
Se puede observar que se requiere el ingreso de los datos como el nombre del equipo, el número de existencias, la descripción del equipo, una imagen para especificar el tipo de equipo y el código de identificación que tendrá en el sistema.

Con la aplicación se puede acceder a la información de los equipos y se verificó que es posible acceder a los reportes fotográficos de los mantenimientos. Mediante el código QR se puede revisar la información completa que apoye el proceso de mantenimiento. En la sección de soporte se puede acceder a los documentos con la guía para realizar el mantenimiento de los equipos centrífuga, microscopio, baño maría e incubadora.

En la Figura 6 se muestra la interacción de los participantes en las pruebas con la página web y con la aplicación del sistema.

Figura 6

Participantes realizando las pruebas de usabilidad del sistema SGM-ELC en la empresa Proquímica (a) interacción con la página web; (b) acceso a la aplicación móvil



(a)

(b)

En el marco de la capacitación para la instalación y uso del sistema, se respondieron a las dudas que surgieron en el proceso.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la aplicación del cuestionario PSSUQ a los participantes de las pruebas, en donde 1 representa una mayor usabilidad, 4 es un valor neutro y los valores cercanos a 7 representan una menor usabilidad.

Tabla 3

Resultados del cuestionario PSSUQ aplicado a los participantes de las pruebas del sistema SGM-ELC

Preguntas																
Voluntario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Análisis de Resultados

En la recolección, organización y análisis de la información fue importante contar con la ayuda del personal de la empresa, quienes sirvieron de guía para proporcionar la información más importante al sistema.

El levantamiento de información, basada en la experiencia de los ingenieros que laboran en la empresa Proquímica, permitió que los planes de mantenimientos puedan ser ingresados al sistema para que futuros trabajadores puedan tener acceso a información relevante de la empresa.

Durante el desarrollo de las pruebas no existieron problemas con la instalación de la aplicación móvil y con el manejo de la página web en los computadores de la empresa. Durante la capacitación para la instalación y el uso se realizaron preguntas sobre la sincronización de la aplicación móvil con la página web. Se destacó que se brindaron explicaciones claras sobre la instalación y el uso del sistema.

Con base en los resultados del cuestionario PSSUQ presentados en la Tabla 3, entre las preguntas mejor evaluadas, están las preguntas 3, 8, 11, 12, 13 y 14, las cuales recibieron la respuesta de una mayor usabilidad por parte del 100% de los participantes. La pregunta 3 resalta el apoyo que puede brindar el sistema a las tareas de mantenimiento de los equipos. Las preguntas 8, 11, 12, 13 y 14, indican que los voluntarios perciben que el sistema posee la información necesaria y brinda una guía útil para interactuar con el mismo.

Las preguntas 5 y 6, relacionadas al nivel de dificultad para aprender a usar este sistema, presentan una menor puntuación. El 60% de los participantes manifestaron plena satisfacción. Cabe mencionar, que los participantes de mayor edad del grupo (40%) requirieron de mayor tiempo para acceder al sistema y no manifestaron estar totalmente satisfechos con el sistema. Por estos resultados, es necesario brindar un proceso de capacitación que profundice en la explicación del manejo de recursos informáticos.

En las preguntas 1, 2, 4, 7, 9, 10 y 15, al menos un voluntario no evaluó con plena satisfacción el sistema, es decir, el 80% manifestó estar de acuerdo con la usabilidad del sistema. Estas preguntas están relacionadas a temas sobre la simplicidad, comodidad, experticia y contenido. Estos resultados estarían vinculados a la necesidad de un tiempo mayor de capacitación sobre el manejo del sistema, para que los usuarios puedan conocer todas sus funcionalidades y se cuente con un periodo de práctica. Esta afirmación se puede respaldar por

lo indicado por Pérez et al. (2021), quien manifiesta que la capacitación es fundamental para que las tareas de mantenimiento sean eficaces. En este caso, mejorar la planificación de la etapa de capacitación para el manejo de esta herramienta informática es importante para lograr insertar correctamente este recurso en la gestión de mantenimiento del DMPQ de la empresa Proquímica. Se recomienda entonces brindar una capacitación del software, en términos de cómo incluir este recurso en las tareas de mantenimiento, indicando tanto como programar un cronograma y como mantener actualizada la información para garantizar la generación de la documentación completa de respaldo. Resulta importante considerar este hecho para evaluar la aplicación del sistema con una muestra mayor, además de evaluar la aceptación al cambio y el impacto en la carga de trabajo del personal.

Es necesario resaltar que para el buen manejo del sistema SGM-ELC es importante mantener actualizada la información e ingresarla correctamente, concordando con otros trabajos de desarrollo de sistemas para apoyar la gestión de mantenimiento (Ávila et al., 2022; Valenzuela 2023). Ávila et al. (2022) indica que el inventario de equipos y los reportes de mantenimientos son pilares fundamentales para el buen funcionamiento de un software para la gestión de mantenimiento y Valenzuela (2023) establece que la información de inventario, ficha técnica, registro de proveedores, registro de usuarios, programación de mantenimiento preventivo e historial de mantenimiento permite planificar adecuadamente el mantenimiento de equipos médicos.

Las respuestas recopiladas proporcionaron información valiosa orientada a la mejora del sistema SGM-ELC. De esta manera se puede proponer una segunda versión que brinde una herramienta para apoyar la gestión y la evaluación del mantenimiento, con acceso a información actualizada y a tiempo real, factores clave en la evaluación del mantenimiento de equipos médicos, como manifiesta Bahreini et al. (2019), Márquez (2023) y Zamzam et al. (2021a).

Como trabajo futuro, se propone mejorar el sistema con base a las recomendaciones de los participantes dando seguimiento al manejo del software para identificar los ajustes requeridos (Kumar et al., 2021). Posteriormente se planteará evaluar el impacto directo del uso del sistema SGM-ELC con todos los responsables de tareas de mantenimiento en la empresa Proquímica. Para esta última etapa se deberá considerar el adquirir datos a mediano y largo plazo, que permitan obtener métricas para conocer los porcentajes de la mejora en la gestión, planificación y ejecución del mantenimiento de los equipos, verificar la disminución de los gastos asociados a la reparación y la mejora en la calidad de atención a los clientes de la empresa. Información que debe ser evidenciada como parte de las mejoras de los servicios de las instituciones médicas y de los proveedores de equipos médicos (Badnjevic, 2023; Cuzco et al., 2019).

Conclusiones

La implementación de un sistema basado en una página web, una aplicación móvil y una base de datos permitió contar con una herramienta para la empresa Proquímica que puede ser incluida en la gestión del mantenimiento para acceder a información actualizada, automatizar la gestión de servicios, brindar seguimiento de órdenes de trabajo y registrar datos técnicos como apoyo en la gestión. El diseño se realizó con base en las necesidades de la empresa.

La evaluación realizada a partir de los resultados del cuestionario PSSUQ ha permitido comprender mejor la percepción y aceptación del sistema y la aplicación de esta propuesta. Se ha definido que es necesario mejorar la estrategia para capacitar al personal que usará el sistema. Se recomienda hacer énfasis en brindar acompañamiento al grupo humano que no se encuentra

familiarizado con el manejo de recursos informáticos para que esta herramienta de software pueda ser incluida de manera satisfactoria como recurso para la gestión de mantenimiento.

En el marco del proceso de mejora del DMPQ de la empresa Proquímica, se propone como trabajo futuro realizar la evaluación del sistema a largo plazo, con una muestra mayor para obtener estadísticas que verifiquen el impacto positivo de la aplicación del sistema SGM-ELC en la empresa.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento de Mantenimiento de la empresa Proquímica y a sus autoridades por su apoyo para la ejecución de este proyecto.

Referencias

- Ávila Cochancela, S. S., & Crespo Guillén, S. G. (2022). *Diseño plan de mantenimiento preventivo para equipos médicos del Hospital Santa Inés* (Bachelor's thesis).
- Badnjevic, A. (2023). Evidence-based maintenance of medical devices: Current shortage and pathway towards solution. *Technol. Health Care*, 31, 293-305.
- Bahreini, R., Doshmangir, L., & Imani, A. (2019). Influential factors on medical equipment maintenance management: In search of a framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 128-143.
- Cuzco, M. V., Villacrés-Parra, S., Gallegos-Londoño, C., & Negrete-Costales, H. (2019). Evaluación de la gestión del mantenimiento en hospitales del instituto ecuatoriano de seguridad social de la zona 3 del Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (22), 59-71.
- Hajesmaeel-Gohari, S., Khordastan, F., Fatehi, F., Samzadeh, H., & Bahaadinbeigy, K. (2022). The most used questionnaires for evaluating satisfaction, usability, acceptance, and quality outcomes of mobile health. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-01764-2>
- Iadanza, E., Gonnelli, V., Satta, F., & Gherardelli, M. (2019). Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation. *Medical & biological engineering & computing*, 57, 2215-2230.
- Kumar, J. N., Pankaj, B., Kuldeep, S., Vibha, J., & Praveen, S. (2021). Assessment of computerized medical equipment management and maintenance System from health technology assessment (HTA) perspective: need and approach. *Health Technology Assessment in Action*.
- Márquez, F. P. G. (2023). *Operations Management and Management Science*.
- Pérez Hernández, Y., Vanega Osorio, R., Montero Sotolongo, F., Isaac, Z. J., & Caveda Medina, O. (2021). La capacitación del electromédico en gerencia para el mantenimiento a equipos médicos. *Educación Médica Superior*, 35(1).
- Shamayleh, A., Awad, M., & Farhat, J. (2020). IoT based predictive maintenance management of medical equipment. *Journal of medical systems*, 44, 1-12.
- Silva, J. P. V., Salas, C. J. L., Cordero, M. F. M., Forero, L. J. A., & Pereira, C. J. A. (2021, August). Development of predictor software to determine the periodicity of patient monitors preventive maintenance in the intensive care unit of a health care institution. In *2021 2nd Sustainable Cities Latin America Conference (SCLA)* (pp. 1-5). IEEE.
- Valenzuela Valenzuela, J. M. (2023). *Sistema de información para la gestión del mantenimiento del equipamiento biomédico del Hospital Regional del Cusco*.

Villa-Parra, A. C., Criollo, I., Valadão, C. A. A., Da Silva, L. F., Coelho, Y. L., Lampier, L., Rangel, L., Sharma, G., Delisle-Rodriguez, D., Calle-Siguencia, J., Urgiles-Ortiz, F., Díaz, C. A. R., Caldeira, E., Krishnan, S., & Bastos-Filho, T. (2022). Towards Multimodal Equipment to Help in the Diagnosis of COVID-19 Using Machine Learning Algorithms. *Sensors*, 22(12), 4341. <https://doi.org/10.3390/s22124341>

World Health Organization. (2012). *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos*. Organización Mundial de la Salud.

Zamzam, A. H., Abdul Wahab, A. K., Azizan, M. M., Satapathy, S. C., Lai, K. W., & Hasikin, K. (2021a). A systematic review of medical equipment reliability assessment in improving the quality of healthcare services. *Frontiers in Public Health*, 9, 753951.

Zamzam, A. H., Al-Ani, A. K. I., Hasikin, K., & Wahab, A. K. A. (2021b, July). A Strategic Corrective Maintenance Prioritization Assessment for Medical Equipment. In *Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering* (pp. 133-141). Cham: Springer International Publishing.