

**PROTOTIPO DE APLICACIÓN PARA EL APOYO EN SOLUCIÓN DE FALLAS
COMUNES EN EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DE ALTA COMPLEJIDAD DE
PRODUCTOS ROCHE**

Andreina del Carmen Montilla Quintero

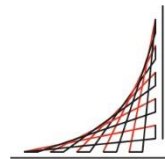
Práctica profesional

Tutor

Ing. María Paula Acero Triviño



**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
2023**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por guiarme en todo momento, brindarme la fuerza y sabiduría necesaria para alcanzar mis metas y objetivos. También quiero agradecer a mi familia por su gran apoyo y motivación para seguir adelante. Sin duda, soy la persona que soy ahora gracias a su amor incondicional y enseñanzas.

A mis compañeros de pregrado, quiero expresar mi gratitud por la gran compañía y el apoyo en estos años de aprendizaje y crecimiento, gracias a ellos pude enfrentar con éxito los retos académicos y personales que se presentaron en el camino.

Expreso un gran agradecimiento a la Universidad del Rosario y a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por convertirse en mi segundo hogar durante estos años de estudio. A los profesores por su dedicación y compromiso en compartir su conocimiento y experiencia.

Finalmente, un agradecimiento a la ingeniera Maria Paula Acero por su orientación y apoyo durante la realización de este proyecto. A la empresa Productos Roche por confiar en mi y abrirme las puertas para realizar este proyecto y fortalecer mi conocimiento en este campo.

A todos les doy mi más sincero agradecimiento por ser parte de mi formación. Todo lo que he logrado hasta ahora no habría sido posible sin su ayuda y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. General	9
2.2. Específicos.....	9
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1. Sistema Cobas	10
3.2. Cobas E	10
3.2.1. Definiciones.....	10
3.2.2. Partes del equipo	11
4. METODOLOGÍA	13
4.1. Empatizar	13
4.2. Definir.....	15
4.3. Idear.....	16
4.4. Prototipar.....	16
4.4.1. Identificación de alarmas.....	17
4.4.2. Categorización del tipo de alarmas.....	17
4.4.3. Elección de las alarmas.....	18
4.5. Validar	18
5. RESULTADOS	20
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	33
8. CONCLUSIONES	34
9. BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	36

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Base de datos “datos2” creada por la interfaz.	25
Tabla II. Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “usabilidad”	29
Tabla III. Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “satisfacción”	29
Tabla IV. Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “Aceptabilidad”	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto. Fuente propia.....	13
Figura 2. Ejemplo de visualización de alarma en un cobas 8000.Fuente propia.....	14
Figura 3. Sección del troubleshooting del equipo cobas C 701 [].....	15
Figura 4. Tareas en la etapa de prototipado en el menú de alarmas. Fuente propia.....	17
Figura 5. Distribución de las soluciones a las alarmas del cobas E801.Fuente propia.....	18
Figura 6. Pantalla principal de la aplicación. Fuente propia.....	19
Figura 7. Ventana de la guía del mantenimiento preventivo del cobas E801.....	20
Figura 8. Ventana a la guía de identificación de partes del equipo. Fuente propia.....	20
Figura 9. Segunda ventana a la guía de identificación de partes. Fuente propia.....	21
Figura 10. Pestaña “Modulo 2” en la guía de identificación de partes. Fuente propia.....	22
Figura 11. Pestaña “Modulo 3” en la guía de identificación de partes. Fuente propia.....	22
Figura 12. Ventana para la gestión de alarmas. Fuente propia.....	23
Figura 13. Ventana para la gestión de alarmas al momento de digitar. Fuente propia....	23
Figura 14. Ventana “Error solution” el cual guía al usuario. Fuente propia.....	24
Figura 15. Cantidad de soluciones realizadas por módulo. Fuente propia.....	25
Figura 16. Gráfico mostrado desde la interfaz sobre las estadísticas. Fuente propia.....	26
Figura 17. Resultados de la encuesta según usabilidad.....	27
Figura 18. Resultados de la encuesta según la satisfacción.....	27
Figura 19. Resultados de la encuesta según aceptación.....	28
Figura 20. Calificación obtenida en la encuesta sobre el prototipo desarrollado.....	30

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Categorización de las alarmas del cobas E801. Fuente propia.....	34
---	----

1. INTRODUCCIÓN

Productos Roche es una empresa que se dedica a la industria farmacéutica, fundada en Suiza en 1896, tiene sus sedes principales en las ciudades de Basilea y París. Conocida como una de las compañías de investigación biotecnológica más grande del mundo, se dedican a desarrollar medicamentos innovadores, con el fin de mejorar el estándar de atención en oncología, inmunología, enfermedades infecciosas y neurociencia [1].

Roche presenta tres líneas de negocio principales (Pharma, Cuidado de diabetes y diagnóstica). En el primero, se dedican a buscar soluciones a retos actuales como el cáncer, enfermedades neurodegenerativas y enfermedades huérfanas como la hemofilia, la esclerosis múltiple, entre otros; los cuales mediante el paso de los años siguen siendo un reto en Colombia en cuanto al sistema de salud, los pacientes y sus familiares, además, se tiene como objetivo avanzar en la medicina personalizada, con el fin de tomar decisión dirigidas al paciente en el momento oportuno y con la terapia adecuada [2]. Por otro lado, en la división de cuidado de diabetes, se tiene que el autoanálisis de los niveles de glucemia son clave para las personas que padecen de diabetes con el fin de mantener su salud bajo control. Mediante dicha técnica, se permite mantener la toma de decisiones sobre la medicación, dieta y rutinas de ejercicio; por lo que Roche desarrolla un medidor de glucemia Accu-Chek®, con el cual garantiza las mediciones rápidas y precisas de los niveles de glucosa [3]. Por último, en la división de diagnóstica, siendo el diagnóstico in vitro influyente en aproximadamente en un 66% de las decisiones clínicas y sólo el 2% del gasto total en la atención médica, Roche se posiciona como líder mundial en el negocio del diagnóstico in vitro integrando soluciones tecnológicas con sistema de información de última generación y servicios de consultoría para brindar un diagnóstico preciso. El avance tecnológico de los últimos años en el diagnóstico ha alterado el panorama de la atención de salud, debido a que el diagnóstico no da un paso directo al tratamiento, sino que incluye la intervención, el manejo adecuado de la enfermedad y la atención al paciente, mejorando el avance de la enfermedad o tratándolo antes de que comience [4].

Con el fin de cumplir con el objetivo del área de diagnóstica, la empresa desarrolla productos tecnológicos que abarcan el diagnóstico molecular, la química clínica y los inmunoensayos, el diagnóstico de tejidos y la automatización de laboratorio e IT, además de brindar soluciones de apoyo a la toma de decisiones.

Durante la década de los 1960, la familia Cobas desarrolla el primer analizador multicanal, un dispositivo que permite a los usuarios de laboratorio clínico llevar a cabo múltiples pruebas de manera simultánea. Desde ese momento, el analizador multicanal se convierte en una revolución en el campo del diagnóstico in vitro y la familia Cobas se ha mantenido hoy en día debido a la calidad y buen rendimiento de sus productos tecnológicos, los cuales tienen el objetivo de optimizar las tareas de diagnóstico y laboratorio [5].

Estos sistemas se dividen en diferentes categorías según la funcionalidad del equipo, la categoría P corresponde a los pre analizadores de muestras, C corresponde a los equipos de diagnóstico que usan la química clínica, E corresponde a los equipos que usan los inmunoensayos, y U corresponde a los equipos utilizados para el diagnóstico en muestra de orina. Cada uno de estos equipos está conformado por una serie de circuitos de neumática, hidráulica, electrónica y mecánica, además de usar técnicas de laboratorio

específicas según cada muestra lo requiera, lo que convierte a estos sistemas como equipos de alta complejidad en la ingeniería.

Productos Roche brinda el servicio de estos equipos Cobas a diferentes instituciones que tengan como finalidad realizar análisis de muestras de laboratorio, como lo son las EPS y bancos de sangre, siendo Colsanitas, Compensar e Idime los clientes más importantes de la empresa. Cada una de las instituciones a las cuales se les brinda el servicio tienen a su disposición diferentes equipos de la familia cobas según la necesidad, debido a que estos manejan un volumen muy grande de muestras diarias, la cantidad de equipos por centro es alto, y a cada uno de ellos se les exige un buen rendimiento durante las 24 horas del día tanto a nivel de aplicación, como a nivel de ingeniería; es por esto que la empresa presenta un línea de atención a los clientes el cual está conformada por asesores científicos con la profesión de bacteriología con el fin de asesorar a los usuarios el buen uso de los equipos a nivel aplicativo, e ingenieros de soporte, los cuales tienen la responsabilidad de atender los casos de mantenimiento correctivo que surgen en cada una de las zonas, además de los mantenimientos preventivos y predictivos que son programados cada seis meses por equipo. Dichos mantenimientos correctivos son diarios a nivel mundial debido a la gran demanda de uso que se les exige y la cantidad que se tienen distribuidos en la ciudad. Debido a la importancia del buen funcionamiento de los equipos por el diagnóstico que estos proporcionan y la demanda del cliente, es necesario atender los casos de la forma más inmediata posible, por lo que los ingenieros deben estar debidamente entrenados con el fin de poder satisfacer la funcionalidad total del equipo. Dicho entrenamiento es proporcionado por la empresa cuando hay disponibilidad, incluyendo el buen uso de los manuales.

Dentro del trabajo en campo, se puede encontrar diferentes niveles de ingeniería según la experiencia que se tiene y estos son distribuidos según la demanda; sin embargo, a todos los ingenieros se les exige una buena gestión del tiempo en el mantenimiento correctivo.

Para el manejo de las alarmas por equipo, se tiene un código el cual debe ser consultado en el manual con el fin de guiarse a la solución de este, lo que puede afectar en la gestión del tiempo.

Según lo anterior, se propone un prototipo de aplicativo con el fin de optimizar el tiempo de consulta de alarmas para un equipo de diagnóstico en campo el cual pueda guiar de manera efectiva al ingeniero con la solución de este.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Diseñar un prototipo de aplicativo que proporcione información de apoyo al personal de ingeniería de campo de una farmacéutica para la identificación y solución de las principales fallas de la máquina de diagnóstico inmunológico cobas E 801, además de proporcionar una guía sobre las principales partes del equipo y su mantenimiento preventivo.

2.2. ESPECÍFICOS

- a) Implementar un algoritmo de consulta a las principales alarmas del equipo de diagnóstico cobas E 801 a partir de la información de los manuales.
- b) Implementar una interfaz de usuario de uso intuitivo con la información necesaria para el apoyo a la solución de las fallas presentadas.
- c) Incorporar información necesaria para guiar al ingeniero durante la curva de aprendizaje sobre el equipo cobas E 801.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. SISTEMA COBAS

Los sistemas Cobas son en su totalidad automatizados y controlados por software, y tienen la finalidad de simplificar y automatizar las tareas de laboratorio relacionadas con el diagnóstico in vitro, permitiendo así, el acceso aleatorio a los mismos [6].

Este sistema se divide en diferentes categorías según la funcionalidad del equipo, aquellos que tienen como prefijo la P son los pre analizadores, La C se refiere a los equipos de diagnóstico químico, la E de diagnóstico inmunológico y la U se refiere a aquellos equipos que realizan análisis a muestras de orina. Las diferentes versiones de cada uno de los equipos trabajan bajo el mismo principio y su finalidad es la misma; sin embargo, la complejidad mecánica, electrónica, hidráulica y neumática es cada vez mayor [7].

Estos equipos pueden ser integrados en módulos compuestos por más de un equipo, conformando así, los sistemas cobas 6000, cobas 8000, cobas pro, entre otros, según la conectividad de las diferentes versiones y la complejidad de cada uno de estos [8].

3.2. COBAS E

Los equipos “Cobas E” pertenecen a la línea de equipos de inmunología Cobas, los cuales están diseñados con el objetivo de apoyar en el diagnóstico de enfermedades relacionadas al sistema inmunológico del paciente, como el VIH y la Hepatitis B y utilizan la electroquimioluminiscencia como principio de funcionamiento.

En la gama de equipos Cobas E existen diferentes versiones disponibles, como el Cobas E 601 y el Cobas E 801, los cuales se diferencian en su capacidad para procesar muestras al mismo tiempo [9].

3.2.1. DEFINICIONES

- Cobas e pack: se refiere al conjunto de reactivos que se utilizan en los sistemas Cobas E [7].
- Carryover: también conocido como arrastre, hace referencia a la contaminación de una muestra debido a la presencia de reactivos o material queda de la muestra anterior en la mezcla de reacción [7].
- Cobas link: es la infraestructura de conexión a la red que permite la transferencia de información entre la red de mantenimiento de Roche y el laboratorio del cliente mediante el flujo de información de Cobas TeleService [7].
- Micropartícula: Son las micropartículas recubiertas de estreptavidina las cuales son magnéticas y se utilizan como la fase sólida para los inmunoensayos [7].
- ProCell: es el reactivo que funciona como medio de transporte para llevar la mezcla de reacción desde una cubeta hasta la célula de medición [7].

3.2.2. PARTES DEL EQUIPO

A continuación, se describen las principales partes que conforman el módulo E 801

- **Core**

Corresponde al área de transporte de muestras. Se compone principalmente de la unidad del muestreador y rotor de racks; presenta una bandeja de entrada y salida, lector de códigos, suministro de agua e interruptores de alimentación [7].

- **Área de reactivos**

Esta área se encuentra en el lado izquierdo del analizador y está conformado por un disco de reactivos el cual se encuentra bajo una temperatura controlada de 20°C; un lector de código de barras situado en el centro del disco que se encarga de leer el código de barras matricial de los cobas e packs; un mecanismo de apertura y cierre de tapones con el fin de evitar que los reactivos se evaporen; un agitador de micropartículas situado al lado del disco de reactivos que asegura la homogeneidad de la suspensión antes de la aspiración.

También se encuentran las pipetas de reactivos, los cuales se ubican entre el disco de reactivos y el disco de incubación, estos se encargan de aspirar los reactivos desde los “cobas e packs” que se encuentran en el disco de reactivos y los dispensa en las cubetas del disco de incubación [7].

- **Área de medición**

Se encuentra en la parte central del analizador y consiste en las siguientes partes: pipetas de muestra, las cuales se sitúan en la parte trasera del módulo analítico, estas se encargan de transportar los fluidos de muestra desde los tubos que se encuentran en la posición de muestreo, hasta las cubetas que se encuentran en el disco de incubación. El mecanismo que permite que las pipetas aspiren y dispensen las muestra se compone de jeringas que se encuentran situadas en la parte frontal del módulo analítico.

El disco de incubación es el módulo que contiene las cubetas, este presenta 54 posiciones para las mismas y se encuentra ubicado en el centro de la unidad a una temperatura de 37°C con el fin de asegurar y facilitar la reacción que existe entre las muestras y los reactivos que se encuentran dispensados en las cubetas.

Por otro lado, se encuentran las pipetas “sipper” con estaciones de lavado. Este sistema se compone de dos pipetas que se encuentran situadas al lado opuesto del disco de incubación, se encargan de aspirar la mezcla de reacción que se encuentra en la cubeta correspondiente y los dirige a los canales de medición.

Por último, se encuentran las dos células de detección situadas dentro del módulo analítico y corresponden a los componentes centrales de los canales de medición para la determinación de muestras; cada una de estas unidades de detección está compuesta por un tubo fotomultiplicador, un peltier, un canal de medición de flujo continuo, un imán y una tarjeta de circuito amplificador [7].

- **Área de consumibles**

Corresponde al área que se encuentra situada al lado derecho del sistema y consta de los siguientes componentes: un “gripper”, el cual se encuentra en la esquina derecha del módulo y se encarga de transportar puntas o cubetas al incubador o del incubador a la estación de mezclado vórtex [7].

- **Área de prelavado**

Esta área se encuentra situada en la parte media trasera del módulo y se encarga de realizar una operación de prelavado en caso de que el protocolo lo requiera, con el fin de evitar cualquier contenido no necesario del suero de la muestra de reacción antes de la medición.

Es conformado por el “sipper pre-wash” que tiene como objetivo aspirar la solución de reacción de la cubeta colocada en la estación de separación, esta estación consiste en imanes permanentes que se usan para mantener capturadas las micropartículas magnéticas en la cubeta mientras el sipper aspira la solución de reacción que no se necesita.

Situado en la parte trasera del área del prelavado está el mecanismo de dispensado el cual suministra la solución del CleanCell a la cubeta una vez el sipper haya vaciado la solución de reacción correspondiente. Finalizando el procedimiento prelavado, el “gripper” coloca la cubeta en la estación de mezclado de vórtex, el cual se sitúa entre el gripper y la estación de separación, con el fin de suspender las micropartículas en la solución de CleanCell [7].

4. METODOLOGÍA

En el desarrollo del proyecto se plantea el método de desing thinking, definido como un proceso de diseño que proporciona un enfoque basado en soluciones para resolver problemáticas centradas a las necesidades humanas y dirigida a la acción [8]. Esto con el fin de garantizar que la solución propuesta corresponda a las necesidades del ingeniero que se presentan durante el trabajo en campo.

El modelo DT propuesto por la universidad de Stanford se caracteriza por cinco (5) etapas principales para generar soluciones mediante la experiencia. (i) La primera corresponde a observar y comprender a las personas del contexto por el cual se está diseñando la solución. (ii) la segunda, es el momento para definir lo observado en la primera etapa y llegar a la declaración del problema con el fin de precisar la idea del proyecto. (iii) la tercera, es el paso para la ideación de soluciones innovadoras en base a las necesidades manifestadas. (iv) la cuarta corresponde al prototipado de la convergencia en la fase de generación de ideas. (v) la quinta, consiste en la validación del prototipo final y en establecer una retroalimentación con el fin de depurar las soluciones hacia la mejora [8]. En la Figura 1 se puede observar el diagrama de Gantt utilizado para implementar las etapas mencionadas durante el tiempo de la práctica.

ETAPAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Empatizar					
Definir					
Idear					
Prototipar					
Validar					

Figura 1. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto. Fuente propia

4.1. Empatizar

Durante esta etapa, el objetivo es observar y comprender al personal de ingeniería de campo. Se presta especial atención a las necesidades presentadas durante el desarrollo del trabajo; dicha comprensión se logra mediante la inmersión en el entorno físico de la problemática, es decir, haciéndolo palpable a nuestra persona, así como también mediante el contacto establecido con el personal [11].

Se observa que una de las necesidades más destacadas durante el trabajo en campo es la optimización del tiempo de intervención, el cual puede ser afectada por diferentes variables: tiempo necesario para la identificación del problema presentado en el equipo y

tiempo necesario para la resolución del problema, el cual a su vez es afectado según el nivel de gravedad y en caso de necesitar un repuesto.

De las variables anteriormente mencionadas es posible afirmar que dichos tiempos son relativos y dependen directamente de la experiencia del ingeniero; al ser uno de los catálogos de equipos más complejos del mercado de diagnóstico IVD, la curva de aprendizaje del personal es de años de experiencia, lo cual indica que a los ingenieros junior les toma más tiempo resolver los errores presentados en los diferentes equipos.

Mediante el contacto establecido con el personal de ingeniería y durante el tiempo de la práctica, se establece que el paso a seguir común para realizar la intervención empieza consultando el código de error que muestra el equipo en el manual correspondiente, un ejemplo de esto es mostrado en la Figura 2, en donde se puede observar el código encerrado en color amarillo.

En la Figura 3 se puede observar un segmento de la tabla de alarmas que muestra el manual del equipo.

Código	Módulo	Nivel	Alarma
005-000002	SU	Atención	Ninguna bandeja en la línea de salida 2
009-000002	SU	Atención	Buffer lleno de la bandeja de salida 2
060-060746	AU2	Atención	Aspiración anómala
060-000022	AU2	Stop	Fotómetro ADC
927-030505	AU2	Stop	Subida/Bajada de la pipeta de reactivo R2
007-000001	SU	Atención	Bandeja llena en la línea de salida 1
021-801011	Control Unit	Atención	Error lectura del cód. barras de muestra
021-801013	Control Unit	Atención	Error lectura del cód. barras de muestra
029-000006	ISE	Stop	Línea ISE (línea de muestreo)

Alarma : Fotómetro ADC	Módulo : AU2
Código : 050-000022	
Descripción	
La comunicación con el convertidor analógico digital es anómala. (Error de intervalo de activador de inicio ADC)	

Figura 2. Ejemplo de las alarmas presentadas en un equipo cobas 8000. Fuente propia.

50	18	Warning	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (Log/ADC communication protocol error (ADC calibration gain < 90%))	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.
50	19	Warning	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (Log/ADC communication protocol error (ADC calibration gain > 110%))	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.
50	20	Stop	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (No ADC start trigger input)	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.
50	21	Stop	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (Insufficient number of ADC start trigger inputs)	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.
50	22	Stop	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (ADC start trigger interval error)	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.
50	23	Stop	ADC Photometer	Communication with analog-to-digital converter is abnormal. (ADC start trigger input number exceeded)	a. Perform Reset on Utility > Maintenance. b. Contact our service representative, if alarm recurs.	a. Check DC12V and replace. b. Check ADC Timing. c. Replace LOGADC. d. Replace US-CONT.

Figura 3. Sección del troubleshooting del equipo cobas C 701 [10]

Una vez identificada la alarma en el manual del equipo, se observa el paso a paso que recomienda para resolver el error, el cual se refiere a revisar diferentes partes del módulo.

Lo anterior conlleva al siguiente paso: identificar el módulo en donde se enfoca el error y las partes que controlan el funcionamiento de este, luego de esto, se procede a revisar cada una hasta encontrar el origen de la alarma y dar solución.

El procedimiento que se lleva a cabo para resolver las diferentes alarmas que arroja un equipo se convierte en una variable importante del tiempo invertido durante la intervención, lo cual puede generar presión por parte de los clientes hacia los ingenieros.

Además, se observa la necesidad de los ingenieros junior de una herramienta para la identificación de las principales partes del equipo y los pasos a seguir durante un mantenimiento preventivo [13].

4.2. Definir

Durante la etapa de la definición, el objetivo se enfoca en reunir lo captado durante la observación del contexto con el fin de realizar una declaración de la problemática y precisar la idea del proyecto [11].

A partir de lo mencionado en las etapas anteriores, se detecta que una principal problemática presentada al momento de resolver las alarmas de los equipos es el tiempo invertido en la consulta del manual, ya que durante este tiempo es necesario identificar el código, consultar la tabla de alarmas, identificar las partes y resolver el paso a paso, todo esto en diferentes tiempos debido a que no se encuentra la información en una misma sección del manual, es por esto que se evidencia la necesidad de una herramienta que

permita optimizar la consulta de alarmas de los equipos, lo cual sería relevante en el tiempo invertido en la realización de esta tarea, lo cual también estaría afectando positivamente en la satisfacción de los clientes.

4.3. Idear

El paso de la ideación se caracteriza por explorar un amplio espacio de ideas en la solución del problema definido. El objetivo de esta etapa es unificar la información recopilada anteriormente para proseguir a la acción y se plantea una solución innovadora en base a las necesidades establecidas [11].

Se analizan los siguientes puntos con el fin de idear una solución a la problemática.

- Deseabilidad: más allá de cumplir un deseo, se plantea la necesidad de crear algo transformacional que resuelva la necesidad manifestada con tal de que sea significativa y usable para el usuario [14].
- Factibilidad: en este punto es necesario analizar si la tecnología existe y si se cuenta con las herramientas para llevarla a cabo, como lo son las habilidades, organización, conocimientos y recursos, así como también las limitaciones existentes en el desarrollo [14].
- Viabilidad: significa conocer si la solución es apropiada, con el fin de cautivar al usuario [14].

Haciendo unión de lo analizado en los puntos anteriores, se plantea la realización de un prototipo de aplicación, el cual brindaría a los ingenieros de campo la facilidad de consultar las alarmas que arroje un equipo con el objetivo de disminuir el tiempo de intervención, además de mostrar una guía sobre los módulos y las partes que conforman al mismo, una guía del paso a paso a seguir en los mantenimientos preventivos y la opción de crear una base de datos que guarde información sobre la solución de cada alarma lo que ayudaría a analizarlos estadísticamente y ser de ayuda para soluciones futuras.

En cuanto a la factibilidad de la solución, se observa que una de las limitaciones existentes en el desarrollo de este es el tiempo debido a que Productos Roche presenta un gran catálogo de equipos de diagnóstico in vitro, por lo que se plantea el prototipo a un solo equipo durante el tiempo de la práctica.

La solución del mismo corresponde al equipo cobas E 801, ya que, según diferentes estudios realizados por la empresa, Colombia es el país número uno (1) en el mundo que presenta la mayor cantidad de intervenciones de servicio a este equipo.

4.4. Prototipar

En esta etapa, el objetivo es dar resultado a la convergencia de la generación de ideas, por lo que se hace tangible la solución de la idea propuesta [10].

Durante esta etapa se definió la herramienta a utilizar para crear el aplicativo, siendo Python la selección final, esto debido a la familiaridad que se tiene en el uso de la herramienta y la amplia variedad de librerías que proporciona para la creación de una interfaz de usuario.

Posterior a la elección de la herramienta, se procede a realizar los menús establecidos para la aplicación, los cuales son: guía del mantenimiento preventivo, guía para las partes del equipo, guía de alarmas y finalmente, estadísticas sobre la gestión de alarmas.

Ahora bien, para la realización de la guía de las alarmas se realiza el procedimiento mostrado en la Figura 4. En primer lugar se identifica el total de las alarmas que arroja el cobas e 801 y se categorizan según el tipo de alarma (advertencia o stop), siguiente a esto, se realiza un estudio de las mismas, obteniendo la cantidad de cada tipo de alarma, así como también si la solución es correspondiente al usuario, al área de aplicaciones o al área de servicio de ingeniería, una vez obtenido este resultado, se analiza qué alarmas se incluirán en el prototipo según el impacto de los mismos, finalmente se procede a realizar el menú para la guía de solución a las alarmas con la información obtenida en el paso anterior.



Figura 4. Pasos por seguir en la etapa de prototipado en el menú de alarmas. Fuente propia

4.4.1. Identificación de las alarmas

En esta etapa se analiza la sección de alarmas del manual correspondiente al equipo cobas E 801 y se encuentra que cada código de alarma contiene dos números, como se muestra en la Figura 2, donde el primer número corresponde al módulo o parte del equipo en donde se enfoca el problema, y el segundo corresponde a la problemática como tal.

Se identifican un total de 100 principales módulos en donde se generan las alarmas, cada uno presenta una cantidad diferente de errores, es decir que en total se encuentran 1169 alarmas para el equipo, dentro de los cuales pueden ser de tipo “warning” (advertencia) o “stop” (parada), y estos pueden ser solucionados por el servicio de ingeniería, aplicaciones o únicamente por el usuario, adicional a esto, se observa que algunas alarmas están reservadas para un uso futuro.

Según lo anteriormente mencionado, se decide categorizar estas alarmas con el fin de obtener los pertinentes para el equipo de ingeniería.

4.4.2. Categorización del tipo de alarmas

En esta etapa, se procede a categorizar las 1169 alarmas según la cantidad de errores que presenta cada módulo y si su solución se basa en una intervención del usuario, del servicio de aplicaciones o el servicio de ingeniería.

Teniendo los datos correspondientes a cada una de las categorías mencionadas, se analiza el impacto de cada módulo según la cantidad de errores que presentan sobre el total de las alarmas. Lo anterior se puede observar en el Anexo 1.

Ahora bien, mediante los datos del Anexo 1, se obtiene que la cantidad de alarmas cuya solución corresponde a una intervención de ingeniería es 867, mientras que 55 corresponden a una intervención del usuario y 64 a una intervención del servicio de aplicaciones, obteniendo la proporción que se muestra en la Figura 5.

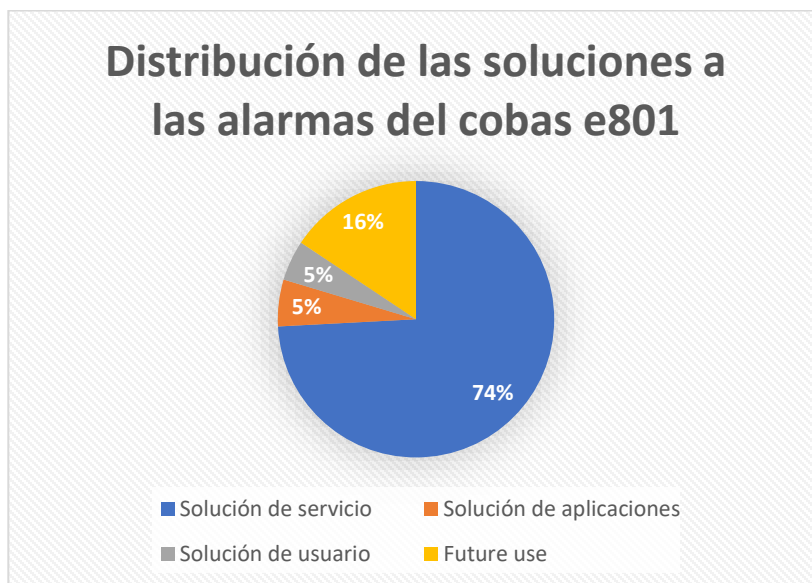


Figura 5. Distribución de las soluciones a las alarmas del cobas e801. Fuente propia

4.4.3. Elección de las alarmas

Debido a la limitación del tiempo de realización del proyecto, se procede a analizar los resultados del Anexo 1 en la columna de “influencia sobre total de alarmas” y se eligen aquellas alarmas que presenten una influencia igual o mayor al 2% y que su solución corresponda al servicio de ingeniería; es decir que del total de 867 se incluirán 534 alarmas en el prototipo.

4.5. Validar

La etapa de validación consiste en someter el prototipo final a una exposición grupal con el fin de establecer una retroalimentación para validar la solución hacia la mejora. Es decir, en esta etapa se conecta la validación con la empatía obtenida en la primera etapa [10].

Para cumplir con el objetivo de esta etapa, se expone el prototipo realizado al grupo de ingenieros, con el fin de que identifiquen la utilidad y usabilidad de la aplicación. Se involucró el uso de la aplicación durante el trabajo en campo con el fin de obtener una retroalimentación de los usuarios en cuanto a la usabilidad, funcionalidad y eficacia de la aplicación.

Finalmente, se realiza una encuesta a los usuarios en donde se les pide la valoración de diferentes aspectos de la aplicación como el tiempo ahorrado en la consulta de los

manuales para la gestión de alarmas, así como también aspectos a mejorar en el desarrollo de la aplicación.

5. RESULTADOS

Se desarrolló una aplicación de escritorio con el objetivo de satisfacer la necesidad de optimizar el tiempo de consulta de las alarmas del equipo cobas e801, además de establecer una guía para identificar de las principales partes del equipo y la realización del mantenimiento preventivo. Dicha aplicación se desarrolló en Python mediante el uso de la librería Tkinter. A continuación, se mostrarán las diversas pantallas y características que compone el aplicativo diseñado durante la práctica.

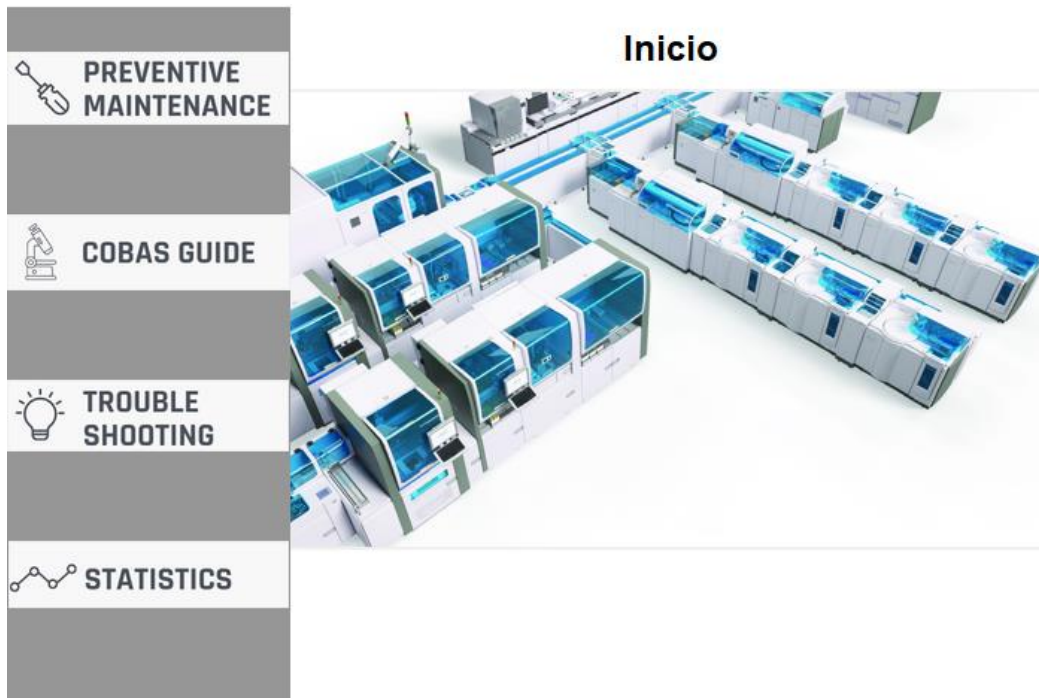


Figura 6. Pantalla principal del aplicativo. Fuente propia

En la Figura 6 se observa la pantalla principal del aplicativo, siendo una interfaz sencilla e intuitiva, el idioma del aplicativo es en inglés, debido a que es desarrollado a partir de los manuales que se encuentran en su idioma original y las imágenes utilizadas en ella pertenecen al manual del equipo cobas E801 [15].

En esta primera pantalla se pueden observar los 4 botones principales del prototipo: “Preventive maintenance” (Mantenimiento preventivo), “Cobas guide” (Guía de Cobas), “Troubleshooting” (Solución de alarmas) y “Statistics” (Estadísticas). A partir de estas opciones, los ingenieros pueden acceder a las principales funciones de la aplicación, como lo es la guía para el mantenimiento preventivo, identificación de las partes del equipo, gestión de alarmas, y las estadísticas sobre la solución de estos.

Preventive Maintenance

- Power off the instrument
- Remove the covers
- Replace syringe seals
- Replace measurement cells
- Replace the pinch tube
- Power on the instrument
- Perform 5 system air purge
- Perform 5 system prime
- Perform 10 MC preparation
 - Attach Covers
- Perform Calibration data reset
- Perform cell counter reset
- Perform a blank cell calibration

Preventive Maintenance

- Power-off-the-instrument
- Remove-the-covers
- Replace-syringe-seals
- Replace measurement cells
- Replace the pinch tube
- Power on the instrument
- Perform 5 system air purge
- Perform 5 system prime
- Perform 10 MC preparation
 - Attach Covers
- Perform Calibration data reset
- Perform cell counter reset
- Perform a blank cell calibration

Figura 7. Ventana sobre la guía del mantenimiento preventivo del cobas e801.

En la Figura 7, se puede observar la ventana correspondiente al momento de acceder al botón “Preventive maintenance”, esta tiene el objetivo de mostrar al ingeniero el paso a paso que se debe seguir durante el mantenimiento preventivo del equipo cobas e801 y se encuentra diseñada de tal manera de que se pueda ir completando la lista dando clic sobre la casilla de cada ítem, lo que hace que el texto cambie a un color azul y sea tachado, esto permite dar una retroalimentación visual al usuario de lo que se ha realizado del procedimiento [16].

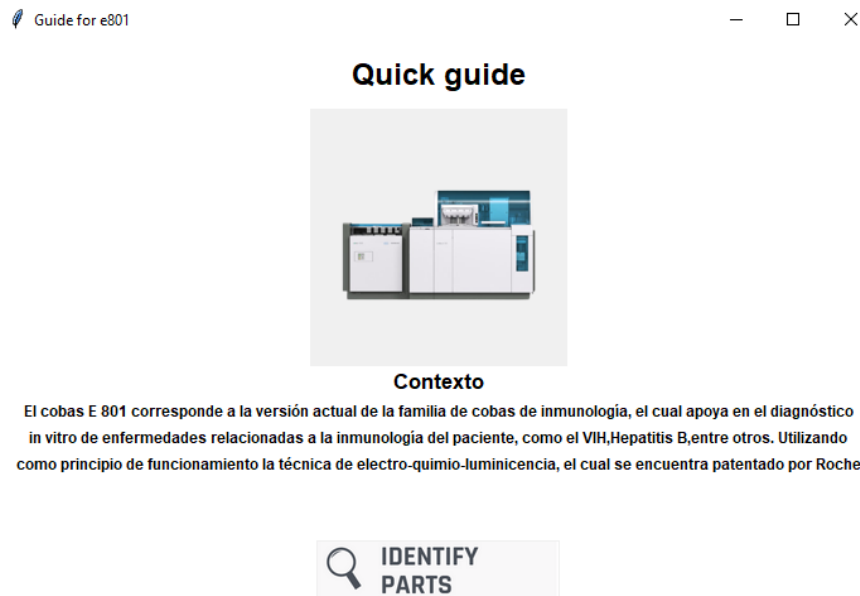


Figura 8. Primera ventana para la guía de identificación de partes del equipo. Fuente propia.

Al seleccionar el botón “Cobas guide” de la pantalla principal, se abre la ventana que se muestra en la Figura 8. En esta pantalla se identifica el equipo cobas e801 y se realiza un pequeño contexto sobre el mismo, con el fin de guiar al ingeniero junior en los primeros pasos de la curva de aprendizaje como lo es la identificación de los principales módulos y partes que componen el equipo.

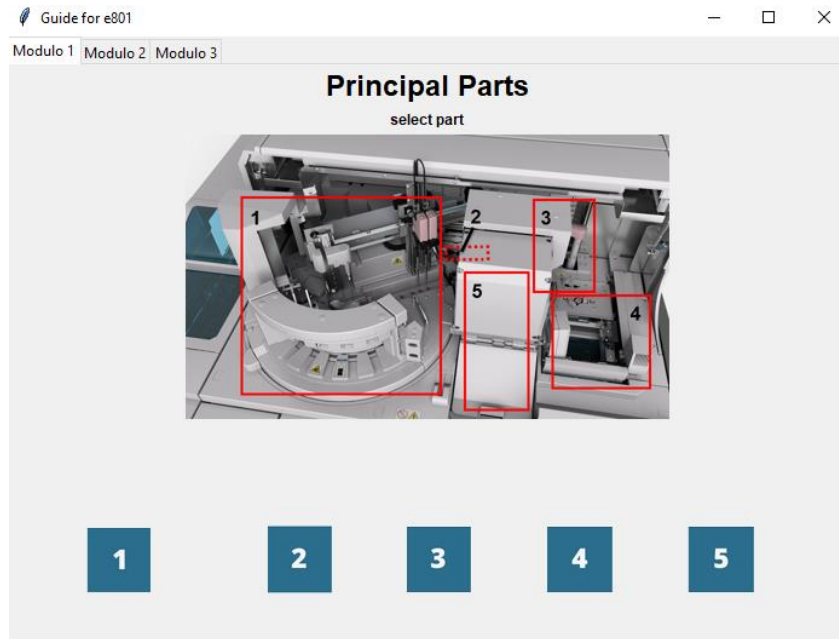


Figura 9. Segunda ventana para la guía de identificación de partes. Fuente propia

Ahora bien, cuando se da clic sobre el botón “Identify parts” ubicado en la ventana anterior, se abre la ventana que se muestra en la Figura 9.

En esta pantalla se puede observar tres (3) pestañas en la parte superior izquierda: “Modulo 1”, “Modulo 2” y “Modulo 3”. En la primera pestaña se observa una imagen correspondiente a los principales módulos del equipo cobas e801 y cinco (5) botones correspondientes a cada módulo, esto con el objetivo de que el usuario haga clic en cada uno de los botones, los cuales harán que se muestre un breve video identificando las partes que componen cada módulo. El 1 corresponde al área de reactivos, el 2 al área de prelavado, el 3 al área de muestreo, el 4 al área de consumibles y el 5 al área de medición.

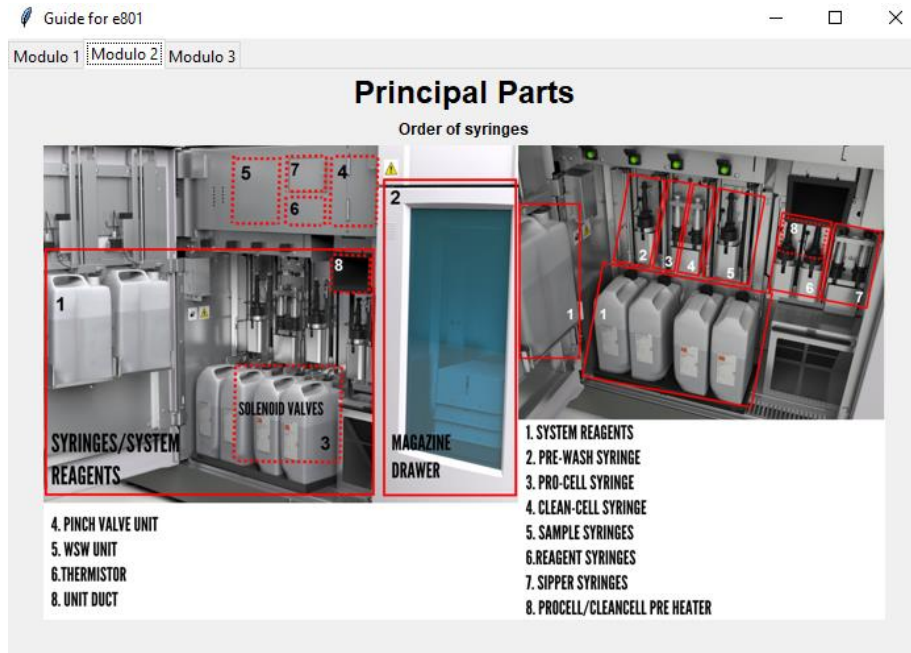


Figura 10. Pestaña “Módulo 2” en la guía de identificación de partes. Fuente propia

En la segunda pestaña, “Modulo 2” se identifican las partes principales de la parte frontal del equipo, así como también el orden de las jeringas correspondientes a las probetas del equipo. Esto se puede observar en la Figura 10.

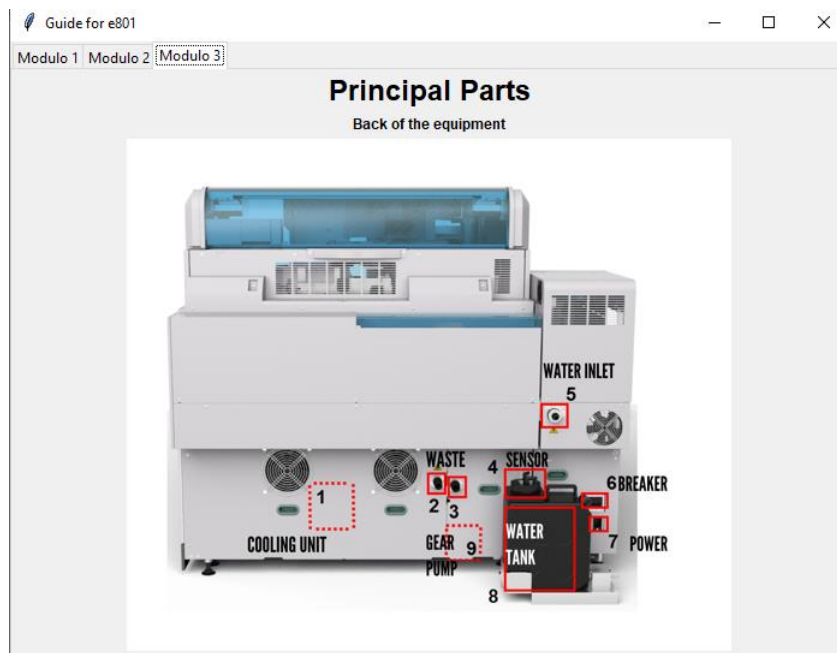
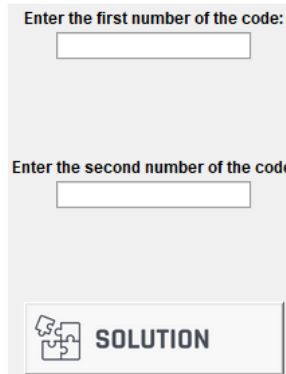


Figura 11. Pestaña “Modulo 3” en la guía de identificación de partes. Fuente propia.

En la última pestaña correspondiente al “Modulo 3” se identifican las partes principales de la parte trasera del equipo, como se observa en la Figura 11.

Guide for troubleshooting

The following is a quick guide to resolving the different errors that the cobas e 801 machine throws.



Enter the first number of the code:

Enter the second number of the code:


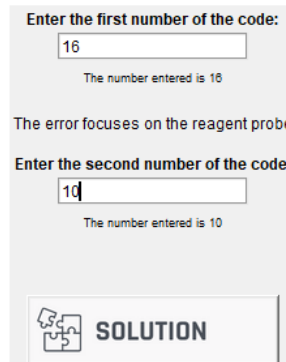
 SOLUTION

Figura 12. Ventana para la gestión de alarmas correspondientes al cobas e801. Fuente propia

Guide for troubleshooting

The following is a quick guide to resolving the different errors that the cobas e 801 machine throws.



Enter the first number of the code:

The number entered is 16

The error focuses on the reagent probe

Enter the second number of the code:

The number entered is 10


 SOLUTION

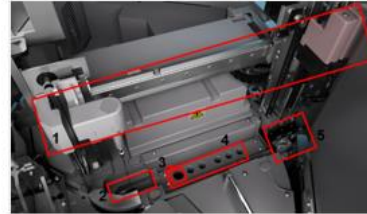
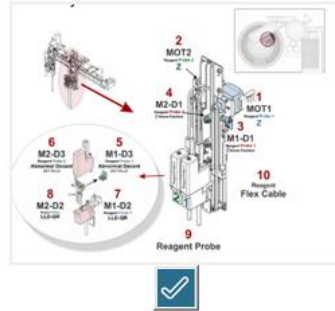
Figura 13. Ventana de gestión de alarmas al momento de digitar el código. Fuente propia

Una vez se hace clic en el botón “Troubleshooting” que se encuentra en la ventana principal de la aplicación, se muestra la pantalla correspondiente a la consulta de alarmas, el cual se puede observar en la figura 12.

En esta ventana se encuentran dos casillas libres con el fin de que el usuario ingrese el código de la alarma a consultar. Como se mencionó anteriormente, el primer número corresponde al área o módulo en el cual se enfoca el motivo de la alarma y se indica al momento de digitar el valor, esto se puede observar en la Figura 13, donde también se evidencia que se hace una verificación al usuario del número ingresado con el fin de realizar una retroalimentación de este y evitar confusiones al momento de digitar, lo anterior también aplica en el segundo valor del código de alarma.

ERROR SOLUTION

- a. Check the M1-D1 sensor signal and replace it. b. Check the adjustment position of reagent probe (1).



- c. Check motor MOT1 and replace the unit

- d. Replace the DO4 PCB.



Figura 14. Ventana “Error solution” el cual guía al usuario a la solución.

Ahora bien, una vez se haga clic en el botón “Solution” que se encuentra en la ventana “Troubleshooting” se abre la pantalla que se muestra en la Figura 14. Este tiene el objetivo de guiar al ingeniero a la solución de la alarma correspondiente, mostrando una serie de posibles soluciones enumerados alfabéticamente, acompañados de las imágenes necesarias para ubicar al usuario durante todo el momento de la revisión del módulo.

Por otro lado, se encuentra una serie de botones con el símbolo “check” debajo de cada sección a revisar, esto con el fin de que al momento de que el usuario encuentre el origen de la alarma en el paso correspondiente, se haga clic en él, lo que hará que se cree un archivo Excel dentro del escritorio llamado “datos2” (Tabla I).

Tabla I
Base de datos “datos2” creada por la interfaz.

UNIT	solution A	solution B	solution C	solution D	solution E
Bead mixer	5	1	0	1	0
Sipper gripper	0	0	0	0	0
Reservoir 1	0	4	0	0	0
Reservoir 2	0	1	0	0	0
Sample probe	0	0	0	0	0
Reagent probe	0	0	0	0	0
Reagent loader	0	0	0	0	0
Reagent cap o/c	0	0	0	0	0
Reagent bottle	0	0	0	0	0
Motor controller	0	0	0	0	0
Abnormal temperature	0	0	0	0	0
Tip/cup gripper	0	0	0	0	0
pre wash mixer	0	0	0	0	0
Clean cell short	0	0	0	0	0
RFID communication	0	0	0	0	0
Total	5	6	0	1	0

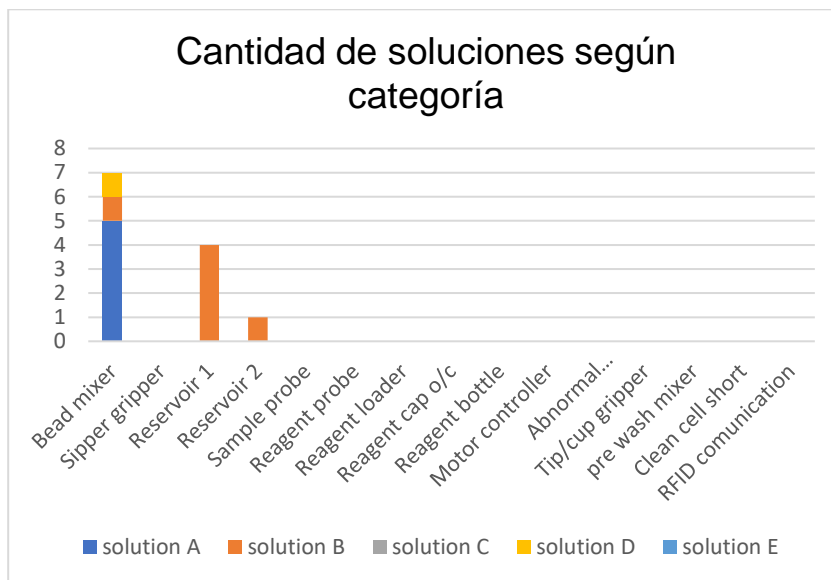


Figura 15. Gráfica sobre la cantidad de soluciones realizadas.

En la Tabla I se muestra la base de datos en el archivo Excel que se crea desde la interfaz de usuario al momento de darle “clic” a una solución por primera vez. La primera columna corresponde a los módulos del equipo que se incluyeron en las alarmas del aplicativo, las siguientes cinco (5) columnas corresponden a la categoría de la solución desde la A hasta la E, inicialmente estos valores se encuentran en cero (0) y se irá contando cada vez que se haga clic en las soluciones realizadas.

Dentro de este mismo archivo de Excel se muestra la gráfica de la Figura 15 el cual se encarga de mostrar de manera visual el conteo realizado dentro de la Tabla I. Esta funcionalidad de la aplicación tiene el objetivo de realizar un análisis sobre la cantidad de alarmas que se han presentado en cada uno de los módulos y con qué categoría de

solución (A, B, C, D o E) es comúnmente solucionada, debido a que estas aumentan en complejidad [17].

Finalmente, cuando se hace clic en el botón “Statistics” que se encuentra en la ventana principal mostrada en la Figura 6, se abre una gráfica de barras como la que se muestra a continuación en la Figura 16, en esta se observa de manera más general, los datos correspondientes a la Tabla I.

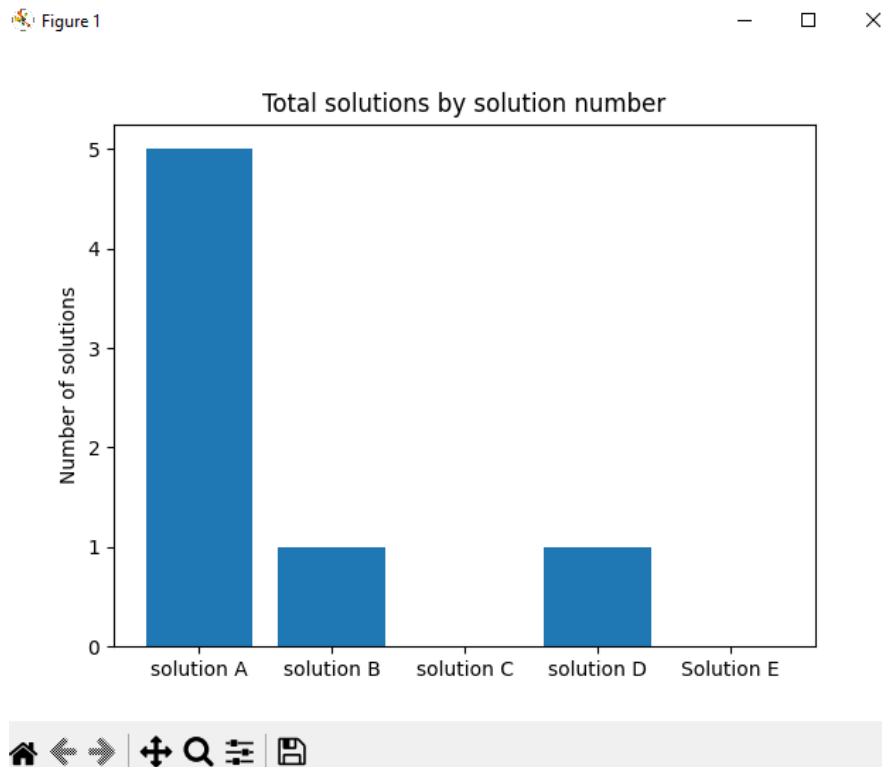


Figura 16. Gráfica mostrada desde la interfaz de usuario sobre las estadísticas. Fuente propia

Ahora bien, se procede a realizar la encuesta realizada en Microsoft forms a los ingenieros de campo con el fin de evaluar la usabilidad, satisfacción y aceptabilidad de la aplicación obteniendo los siguientes resultados a las preguntas realizadas [18].

Aprendí a usar rápido la aplicación

[Más detalles](#)

Información

● Si	13
● A veces	1
● No	0



Creo que la aplicación es fácil de usar

[Más detalles](#)

Información

● Si	14
● A veces	0
● No	0



La aplicación dejó de funcionar

[Más detalles](#)

Información

● Si	0
● A veces	1
● No	13



Figura 17. Resultados de la encuesta según la usabilidad.

Me gustaría seguir usando la aplicación

[Más detalles](#)

Información

● Si	7
● A veces	7
● No	0



La aplicación me fue útil

[Más detalles](#)

Información

● Si	9
● A veces	5
● No	0



Figura 18. Resultados de la encuesta según la satisfacción.

Considera que la aplicación ayudará a los ingenieros junior en la curva de aprendizaje

[Más detalles](#)

[Información](#)

De acuerdo	14
Indeciso	0
Desacuerdo	0



Es fácil de instalar en el dispositivo

[Más detalles](#)

[Información](#)

De acuerdo	14
Indeciso	0
Desacuerdo	0



Considero que la aplicación disminuye el tiempo de consulta de alarmas

[Más detalles](#)

De acuerdo	10
Indeciso	4
Desacuerdo	0



Figura 19. Resultados de la encuesta según aceptación.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos con respecto a la usabilidad se pueden observar en la Tabla II, los cuales han sido positivos con respecto a la facilidad de aprendizaje y eficacia de la aplicación, los ítems correspondientes a la facilidad de aprendizaje superan el 70% para las respuestas “Si”, mientras que en cuanto a la eficacia se observa que la aplicación funcionó bien en un 93%.

Tabla II
Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “Usabilidad”

Pregunta	Si	A veces	No
Aprendí a usar rápido la aplicación	93%	7%	0%
Creo que la aplicación es fácil de usar	100%	0%	0%
La aplicación dejó de funcionar	0%	7%	93%

En cuanto a la satisfacción sobre el uso de la aplicación se obtienen las dimensiones de la Tabla III, en él se puede observar una intención de seguir utilizando la aplicación al menos una vez según el 50% obtenido en la respuesta “A veces”, mientras que el otro 50% afirma el deseo de seguir usándola. Además, se observa un 64% como puntaje para la utilidad de la aplicación, lo que afirma que en la mayoría de los casos se cumplió el objetivo de guiar al ingeniero a la solución de las alarmas.

Tabla III
Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “Satisfacción”

Pregunta	Si	A veces	No
Me gustaría seguir usando la aplicación	50%	50%	0%
La aplicación me fue útil	64%	36%	0%

Finalmente, los resultados relacionados a la aceptabilidad de la aplicación se observan en la Tabla IV, obteniendo un buen puntaje con respecto a la ventaja relativa, siendo un 100% el porcentaje que considera que la aplicación ayudará en el proceso de aprendizaje de los ingenieros junior y un 71% que considera que la aplicación cumplió con el objetivo de disminuir el tiempo de consulta de alarmas durante la intervención.

Tabla IV
Frecuencias obtenidas en los ítems de la variable “Aceptabilidad”

Pregunta	Si	A veces	No
Considera que la aplicación ayudará a la curva de aprendizaje	100%	0%	0%
Es fácil de instalar en el dispositivo	100%	0%	0%
Considero que disminuye el tiempo de consulta a las alarmas	71%	29%	0%

Se incluyó en la encuesta un espacio para que los usuarios manifiesten un aspecto a mejorar de la aplicación, siendo la más común el incluir más equipos y más detalles de estos, lo que enfatiza el deseo de avanzar el prototipo incluyendo más equipos del

catálogo de la empresa y el deseo de los usuarios de seguir usándola. La calificación final obtenida por los ingenieros fue de 4.50, según lo encuestado en la etapa de validación, esto se puede ver en la Figura 20.



Figura 20. Calificación obtenida en la encuesta sobre el prototipo de aplicación desarrollado. Fuente propia

En base a los hallazgos obtenidos, se puede concluir que el prototipo resultó ser fácil de usar e intuitivo para los usuarios, lo que lo hace eficiente y funcional. Como resultado, los usuarios evaluaron positivamente la aplicación y demostraron interés en su desarrollo continuo.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros se recomienda la recolección de información esencial sobre los diferentes equipos de diagnóstico in vitro que constituyen el catálogo de Productos Roche, con el fin de lograr una aplicación completa, así como también incluir la opción de añadir comentarios al momento de solucionar las alarmas de tal manera de que pueda ser una ayuda al repetirse estas además de las estadísticas inicialmente incluidas en el prototipo, lo que permitiría predecir las fallas de los equipos y su solución [19].

Por otra parte, al obtener la opción de la guía para el mantenimiento preventivo, se podría incluir la creación de una base de datos sobre los realizados incluyendo información del equipo como el serial y fecha del mantenimiento, con el fin de tener un orden de estos.

En cuanto a la interfaz de usuario, este podría implementarse de tal manera de que sea compatible en los móviles, con el fin de que sea mucho más accesible y cómodo para los usuarios [20].

8. CONCLUSIONES

Del anterior trabajo presentado, se puede concluir que el prototipo desarrollado para la identificación y solución de las principales fallas del equipo de diagnóstico in vitro cobas e801 obtuvo un resultado positivo, teniendo un puntaje del 71% sobre el cumplimiento del objetivo principal del mismo.

El prototipo presentado cumple con un 100% de aceptación como guía para la curva de aprendizaje de los ingenieros de campo, debido a que contiene la información necesaria para la identificación de los módulos y las partes principales del equipo, además de una guía del paso a paso a seguir durante el mantenimiento preventivo del mismo.

La interfaz de usuario fue desarrollada de manera exitosa, cumpliendo con el objetivo de usabilidad y obteniendo un puntaje promedio del 95,33% sobre esta característica, además, se identifica un deseo en seguir desarrollando el prototipo incluyendo más equipos del catálogo de la empresa.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Roche Colombia, "Roche Colombia - Innovando para la salud", [En línea]. Disponible en: <https://www.roche.com.co>. [Accedido en: mayo 15, 2023].
- [2] A. González, "Presentación de las líneas de negocio de Roche: Pharma, Cuidado de diabetes y diagnóstica," Revista de Investigación en Salud, vol. 10, no. 2, pp. 25-32, 2022.
- [3] Roche Colombia, "Divisiones de Roche Colombia", [En línea]. Disponible en: <https://www.roche.com.co/es/acerca-de-roche/roche-co/divisiones.html>. [Accedido en: mayo 15, 2023].
- [4] R. García, "Roche's Three Main Business Lines: Pharma, Diabetes Care, and Diagnostics," IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 16, no. 2, pp. 51-54, May 2021.
- [5] Roche Diagnostics, "cobas® 8000 analyzer series", [En línea]. Disponible en: <https://diagnostics.roche.com/global/en/products/systems/cobas-8000-analyzer-series-sys-128.html>. [Accedido en: mayo 15, 2023].
- [6] Y. Leguizamon, "Manual de descripción del equipo cobas 6000 (e601) hemocentro distrital", [En línea]. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/Biblioteca%20Manuales/Provisión%20de%20Servicios/MANUAL%20DESCRIPCIÓN%20EQUIPO%20COBAS%206000.pdf>. [Accedido en: mayo 15, 2023].
- [7] J. González, "Descripción de los sistemas cobas de Roche," Revista de Tecnología e Innovación en Salud, vol. 5, no. 2, pp. 47-52, 2021.
- [8] Kadivar M, Teimoori-Toolabi L, Amani A, et al. "Clinical evaluation of the cobas 6000 analyzer series compared with the Olympus AU5400 analyzer". Biochemia Medica. 2011;21(2):157-164. doi: 10.11613/BM.2011.024
- [9] Pérez-Romero CA, González-Quiróz M, Rivas-García E, et al. "Comparative study of HIV, HBV and HCV serological screening in blood donors performed by an automated chemiluminescent assay". Gaceta Médica de México. 2018;154(4):431-439. doi: 10.24875/GMM.18002737
- [10] M. Muñoz, "La metodología Desing thinking para la innovación centrada en la persona", (2021). [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348657912_La_metodologia_Design_Thinking_para_la_innovacion_y_centrada_en_la_persona. [Accedido en: mayo 15, 2023].
- [11] G.Magrígal, "Manual de Desing Thinking", (2018). [En línea]. Disponible en: http://www.uts.edu.mx/vidaEstudiantil/pdf/pdf_pades/manual_design_thinking.pdf. [Accedido en: mayo 15, 2023]
- [12] Roche Diagnostics International, "Manual de servicio del Equipo cobas C701," Cobas 6000, 1ª edición, Basilea, 2012.

- [13] M. C. Zárate-López, G. García-Ramírez, and R. Romero-Castro, "Identificación de necesidades formativas en mantenimiento preventivo en ingenieros junior: Estudio de caso en una empresa farmacéutica," in Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, 2020, pp. 336-345.
- [14] Naranjo, F., & Mena, E. (2017). Diseño y validación de un instrumento para la evaluación de la calidad de los procesos de diseño centrados en el usuario. *Ingeniería y Universidad*, 21(2), 287-310.
- [15] Roche Diagnostics International, "Manual de servicio del Equipo cobas E801," Cobas 6000, 1ª edición, Basilea, 2012.
- [16] Rohrbach, L., & Gendron, B. (2017). Visual Feedback and User Experience in Human-Computer Interaction. In *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems* (pp. 1453-1464). ACM.
- [17] Cleveland, W. S. (1984). Graphical methods for data presentation: Full scale breaks, dot charts, and multibased logging. *The American Statistician*, 38(4), 270-280.
- [18] Hornbæk, K. (2006). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International journal of human-computer studies*, 64(2), 79-102.
- [19] M. Rodríguez, J. Palacio, and J. Ortiz, "Analysis of the historical behavior of a biomedical equipment to predict failures," in *2019 IEEE Biomedical Engineering Conference (BME)*, 2019, pp. 1-4. DOI: 10.1109/BME48447.2019.8967693.
- [20] M. Jones, "Mobile accessibility: How smartphones, tablets and wearables are making our world more accessible," *2016 11th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, Nagoya, 2016, pp. 69-72, doi: 10.1109/ICCSE.2016.7580894.

ANEXOS

Anexo 1. Categorización de las alarmas del cobas E 801. Fuente propia

área	# de errores	Solución de servicio	Solución de aplicaciones	Solución de usuario	Future use	Influencia en errores totales
Bead mixer	25	25	0	0	0	2,1%
Sipper Gripper	42	25	0	0	17	3,6%
Reservoir 1	43	29	0	0	14	3,7%
Reservoir 2	43	29	0	0	14	3,7%
Incubator disk	15	15	0	0	0	1,3%
Sample probe	28	27	0	0	1	2,4%
Sipper Syringe 1	4	4	0	0	0	0,3%
Sipper Syringe 2	4	4	0	0	0	0,3%
Sample Syringe	6	4	2	0	0	0,5%
Reagent Probe	51	44	0	0	7	4,4%
Reagent disk	11	10	1	0	0	0,9%
Reagent loader	23	16	0	1	6	2,0%
Reagent Syringe	10	9	1	0	0	0,9%
Procell Syringe	4	4	0	0	0	0,3%
Cleancell Syringe	4	4	0	0	0	0,3%
Pre wash Syringe	4	4	0	0	0	0,3%
Reagent cap o/c	49	40	0	0	9	4,2%
Reagent bottle shift	58	40	0	0	18	5,0%
Disk position	2	2	0	0	0	0,2%
Loader position	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent position	1	0	0	1	0	0,1%
ADC	10	1	0	0	8	0,9%
Barcode	3	3	0	0	0	0,3%
Reagent short	6	0	0	6	0	0,5%
Diluent short	1	0	0	1	0	0,1%
Reagent level	1	0	0	1	0	0,1%
Diluent level	1	0	0	1	0	0,1%
Reagent error	1	0	0	1	0	0,1%
Reagent pack	1	0	0	1	0	0,1%
abnormal execution condition	2	2	0	0	0	0,2%
Reagent probe	7	7	0	0	0	0,6%
Interlock	2	1	0	0	0	0,2%
Reagent probe	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent probe	1	1	0	0	0	0,1%

Abnormal DC power	5	5	0	0	0	0,4%
Fuse failure	12	12	0	0	0	1,0%
Watchdog timer	3	3	0	0	0	0,3%
Motor controller	66	66	0	0	0	5,6%
Calibration error	6	0	6	0	0	0,5%
Instrument check	1	1	0	0	0	0,1%
Operacional error	1	1	0	0	0	0,1%
Rack ID error	2	2	0	0	0	0,2%
Rack barcode	5	1	0	0	4	0,4%
Procesing line 1	15	14	0	0	1	1,3%
Procesing line 2	15	14	0	0	1	1,3%
Carry out Handling mechanism	16	16	0	0	0	1,4%
Carry out Gripper	8	8	0	0	0	0,7%
Cooling unit	1	1	0	0	0	0,1%
Abnormal temperatue control	119	94	0	0	25	10,2%
temperature motoring	1	0	0	0	0	0,1%
Cooling unit	3	3	0	0	0	0,3%
Transmision error 2	15	13	0	0	2	1,3%
CPU temperature	1	1	0	0	0	0,1%
Transmission error	5	5	0	0	0	0,4%
Detector masked	1	1	0	0	0	0,1%
System error	74	0	51	0	23	6,3%
Sample short	3	3	0	0	0	0,3%
Tip cup gripper	42	40	0	0	0	3,6%
Magazine lifter	19	18	0	0	1	1,6%
Magazine feeder	11	10	0	0	1	0,9%
Magazine fixer	9	9	0	0	0	0,8%
Magazine receiver	21	19	0	1	1	1,8%
Magazine drawer	9	8	0	0	1	0,8%
Magnet drive	10	8	0	0	2	0,9%
Assay cup mixer	3	3	0	0	0	0,3%
Pre wash gripper	32	17	0	0	15	2,7%
Pre wash mixer	6	6	0	0	0	0,5%
Pre wash sipper	15	11	0	0	4	1,3%
Solid waste	9	9	0	0	0	0,8%
Pre clean short	15	4	0	11	0	1,3%
Abnormal MC condition	4	4	0	0	0	0,3%
Blank cell error	10	9	0	0	1	0,9%
Measurement channel	1	1	0	0	0	0,1%
Cancelation of test	7	1	2	4	0	0,6%

Abnormal MC condition	4	4	0	0	0	0,3%
Pro cell registration	3	3	0	0	0	0,3%
Clean cell short	42	11	0	25	6	3,6%
Pro cell bottle mask	1	0	0	0	0	0,1%
Abnormal low signal	1	1	0	0	0	0,1%
Pro cell	1	0	0	0	0	0,1%
	1	0	0	0	0	0,1%
Interruption	1	0	0	0	0	0,1%
Wash sippers flow paths	3	3	0	0	0	0,3%
Mgazine cannot be replaced	2	2	0	0	0	0,2%
Interruption	1	0	0	0	0	0,1%
Remaining assay cup	1	0	1	0	0	0,1%
Autolader led	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent information mismatch	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent loader switch	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent scan error	1	1	0	0	0	0,1%
Reagent information mismatch	6	6	0	0	0	0,5%
Foam detection unit	4	3	0	0	1	0,3%
RFID comunication error	31	31	0	0	0	2,7%
Supply system water	1	1	0	0	0	0,1%
Start measurement	1	1	0	0	0	0,1%
Start shutdown	1	1	0	0	0	0,1%
RFID reader error	1	1	0	0	0	0,1%
Sample clot	1	1	0	0	0	0,1%
Sample foam	1	1	0	0	0	0,1%