

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO DE MONITOREO DE BOMBAS DE INFUSIÓN PARA LA
GESTIÓN DEL CUIDADO DE ENFERMERÍA A TRAVÉS DEL USO DE
IOT-MD EN LA EMPRESA QUIFATEX S.A.”**

**AUTOR: ALVARADO RUBIO, ELIZABETH ESTEFANÍA
DIRECTOR: ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO**

Latacunga, 2022





Contenido



Antecedentes

Planteamiento del problema

Objetivos

Hipótesis

Necesidades del cliente

Diseño electrónico

Diseño mecánico

Diseño de la aplicación

Construcción

Pruebas

Conclusiones

Recomendaciones



Antecedentes



Hospitales inteligentes



Salud 4.0



IoT-MED



Bombas de infusión



Problema

Los hospitales del Ecuador presentan una inadecuada gestión del cuidado de enfermería, lo que provoca una atención deficiente a los usuarios de los hospitales, dentro de los cuales no existe responsabilidad en la atención de alarmas de las bombas de infusión necesaria para implementar un sistema de registros históricos de atención.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Objetivo General



Diseñar, construir e implementar de un prototipo de monitoreo de bombas de infusión para la gestión del cuidado de enfermería a través del uso de IoT-MD en la empresa QUIFATEX S.A.





Objetivos específicos



Analizar los requerimientos de la empresa QUIFATEX y estudiar el funcionamiento de la bomba actual para extraer los datos sin afectar el funcionamiento del mismo y la normativa sanitaria correspondiente.

Diseñar el sistema mecatrónico de adquisición de datos seleccionando sus elementos.

Diseñar la estructura del prototipo, sus dimensiones y disposición de los elementos para su protección.

Desarrollar el servidor web que permita alertar y visualizar las alarmas de las bombas de infusión desde la central de enfermería.

Diseñar e implementar el algoritmo de gestión de datos.

Validar la hipótesis a través de pruebas experimentales y herramientas estadísticas.





Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación del prototipo de bajo costo permitirá el monitoreo mediante IoT-MD de las bombas de infusión para la empresa QUIFATEX S.A.

Variable independiente

- Implementación de un prototipo de bajo costo

Variable dependiente

- Monitoreo de las bombas de infusión.



Justificación

- Los hospitales requieren estar a la vanguardia tecnológica para brindar un servicio más eficaz

- Fortalecerá tecnologías y herramientas que tiene el país para cumplir objetivos de atención de calidad dentro del sistema de salud

- Permitirán al sector salud ingresar al proceso para llegar a ser hospitales inteligentes con la posibilidad de reducir costos

- Este proyecto de tesis aspira realizar la implementación de este prototipo considerando una inversión baja.

- El sistema de software abierto permitirá llevar un registro de monitoreo de alarmas, brindando atención rápida a los usuarios y brindar un mejor servicio.

- Al ser un hospital un entorno complejo con diferentes protocolos, procedimientos y un grado de alta exigencia en el cuidado de vidas humanas, el proyecto permitirá gestionar de manera adecuada las alarmas obtenidas de las bombas de infusión con el mínimo de fallas.

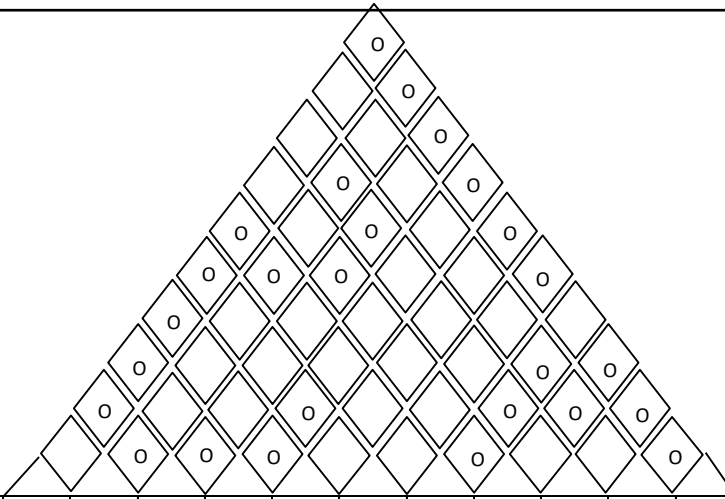


Necesidades del cliente

| Nº | Necesidad | Importancia |
|----|--|-------------|
| 1 | Pantalla de visualización. | 4 |
| 2 | Económico. | 3 |
| 3 | Evitar señales falsas. | 5 |
| 4 | Asegurar que la señal llegue. | 5 |
| 5 | Facilidad aumentar dispositivos dependiendo de la necesidad. | 4 |
| 6 | De fácil conexión, instalación. | 4 |
| 7 | Conectividad a internet. | 3 |
| 8 | Niveles de acceso a la información. | 3 |
| 9 | Historial de alarmas activas durante la jornada | 5 |
| 10 | Alarma sonora | 4 |
| 11 | Funcionamiento 24/7 | 5 |



Necesidades del cliente



| Necesidades | Importancia | Requerimientos Técnicos | | | | | | | | | | |
|--|-------------|--|---|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|-------|
| | | Diseño de interfaz de visualización de monitoreo | Sistema de adquisición de datos robusto | Sistema escalable | Selección de servidor web y local | Selección de base de datos | Seguridad de accesos a información | Normas de diseño | Dimensionamiento mecánico | Sistema electrónico fiable | Selección de Material | Costo |
| Pantalla de visualización. | 4 | ● | ○ | ○ | ● | ○ | ● | ● | | ○ | | |
| Económico. | 3 | | ○ | ○ | ● | ○ | | Δ | ● | ● | ● | ● |
| Evitar señales falsas. | 5 | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | | ○ | | ● | | |
| Asegurar que la señal sea detectada | 5 | ○ | ● | ○ | ○ | Δ | Δ | ○ | | ● | | |
| Facilidad aumentar dispositivos dependiendo de la necesidad. | 4 | Δ | ● | ● | ○ | ○ | | Δ | | ● | | |
| De fácil conexión, instalación. | 4 | Δ | ○ | ○ | Δ | Δ | | ● | ● | ○ | ○ | ● |
| Conectividad a internet. | 3 | | Δ | Δ | ● | ● | ● | | | ○ | | ○ |
| Niveles de acceso a la información. | 3 | ○ | | Δ | Δ | ● | ● | Δ | | Δ | | |
| Historial de alarmas activas durante la jornada | 5 | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | | ○ | | |
| Alarma sonora | 4 | | ● | | | | | ● | | ● | | |
| Funcionamiento 24/7 | 5 | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | | ● | | |
| Peso Absoluto | | 173 | 258 | 135 | 169 | 171 | 155 | 208 | 63 | 285 | 39 | 72 |
| Peso Relativo | | 10,012 | 14,931 | 7,8125 | 9,7801 | 9,8958 | 8,9699 | 12,037 | 3,6458 | 16,493 | 2,2569 | 4,167 |
| Importancia Relativa | | 4 | 2 | 8 | 6 | 5 | 7 | 3 | 10 | 1 | 11 | 9 |

Relación entre Qué y Cómo

| | | |
|---|-----------------|---|
| ● | Relación Fuerte | 9 |
| ○ | Relación Media | 3 |
| Δ | Relación Débil | 1 |

- ✓ Sistema electrónico fiable
- ✓ Sistema de adquisición de datos robusto
- ✓ Aplicación de Normas de diseño
- ✓ Diseño de interfaz de monitoreo

Diseño electrónico

Selección de elementos

| | Configurable (x3) | Económico (x2) | Confiable (x5) | Facilidad de ser escalable (x3) | Plug and Play (x2) | Consumo de energía (x1) | Conectividad (alámbrica o inalámbrica) (x1) | Σ |
|---------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|---|----------|
| PLC'S | 7 | 2 | 10 | 10 | 5 | 2 | 10 | 127 |
| | 21 | 4 | 50 | 30 | 10 | 2 | 10 | |
| Arduino | 10 | 10 | 3 | 2 | 2 | 7 | 9 | 91 |
| | 30 | 20 | 15 | 6 | 4 | 7 | 9 | |
| Raspberr y | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 7 | 10 | 77 |
| | 15 | 10 | 25 | 6 | 4 | 7 | 10 | |
| | 12 | 4 | 40 | 6 | 4 | 2 | 2 | |
| DAQ | 6 | 2 | 9 | 2 | 2 | 2 | 4 | 83 |
| | 18 | 4 | 45 | 6 | 4 | 2 | 4 | |
| PIC | 6 | 10 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 67 |
| | 18 | 20 | 15 | 6 | 4 | 2 | 2 | |
| FPGA | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 64 |
| | 6 | 4 | 40 | 6 | 4 | 2 | 2 | |





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema de adquisición de datos

Selección de elementos



PLC



Arduino



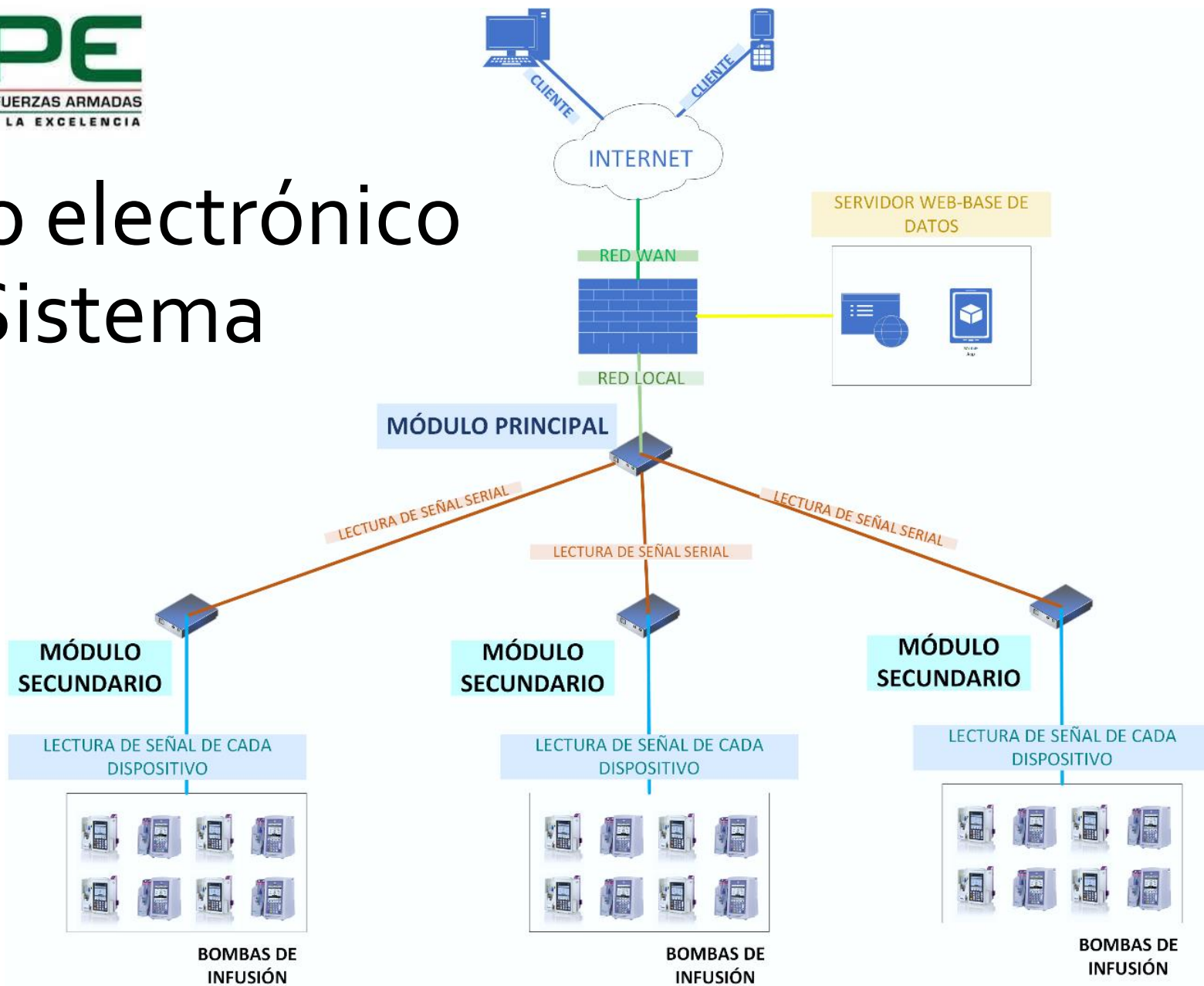
Raspberry Pi 4



DAQ



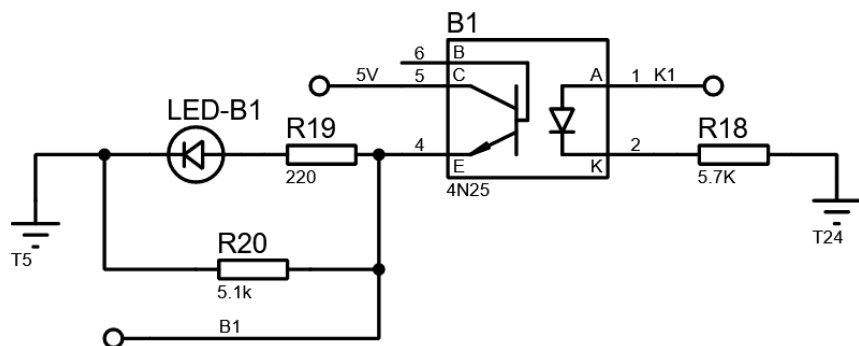
Diseño electrónico Sistema



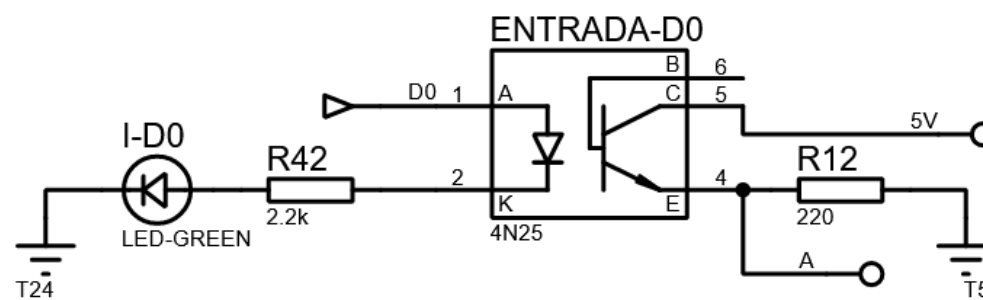
Diseño electrónico

Módulo secundario

Entrada de señal de bomba de infusión

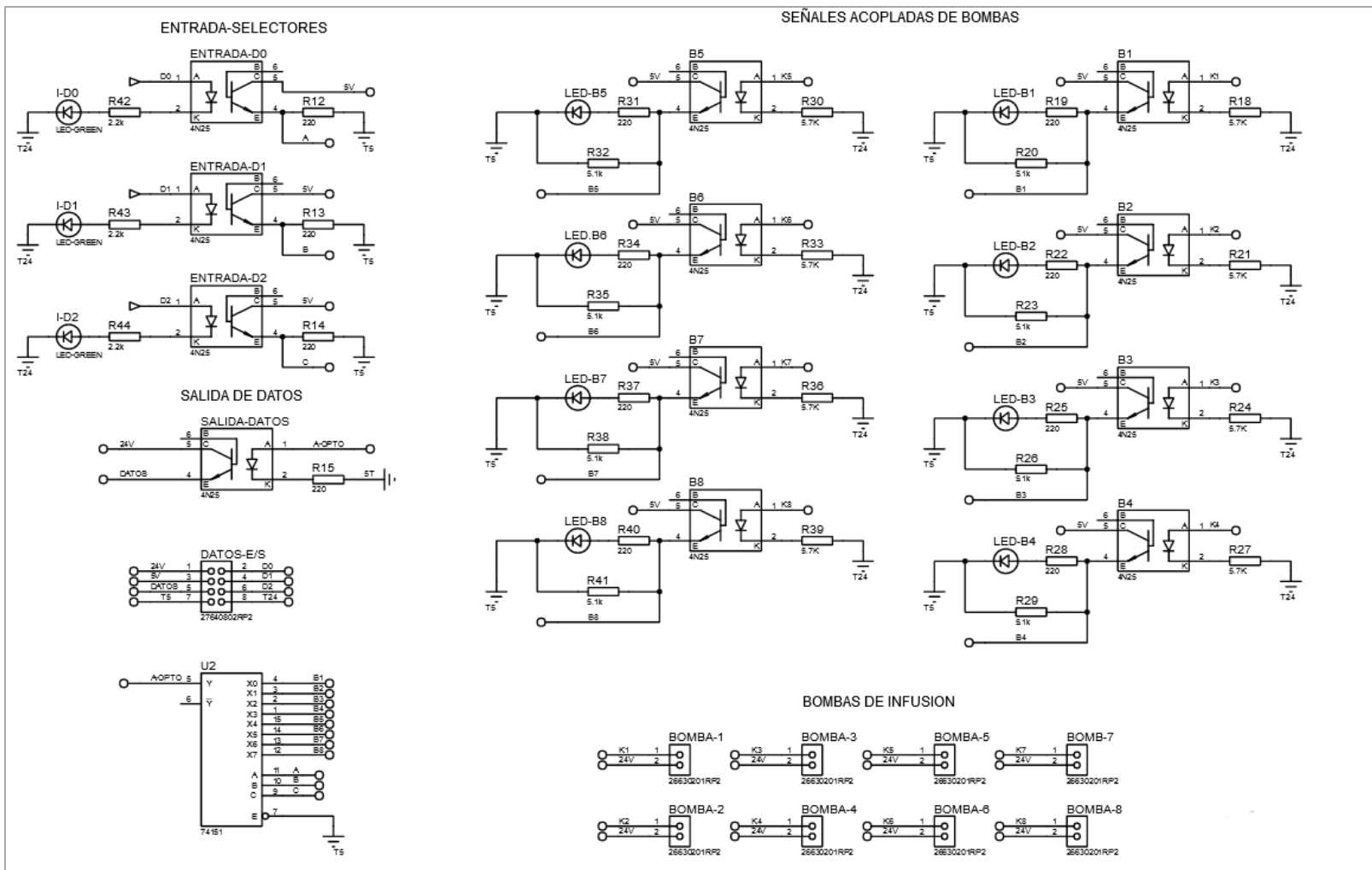


Entrada de señal de canales selectores

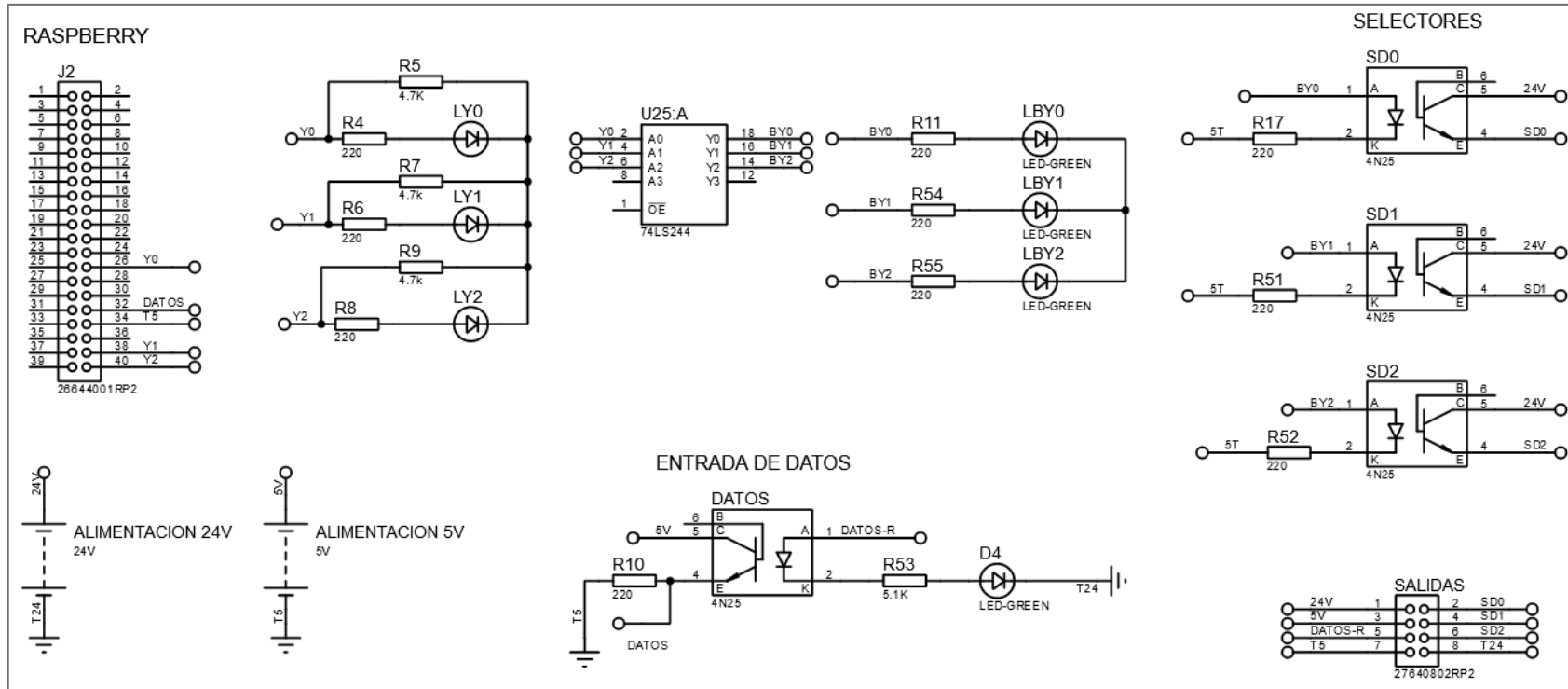




Diseño electrónico Módulo secundario



Diseño electrónico Módulo principal



- Entrada de datos
- Envío de datos





Diseño electrónico Módulo principal

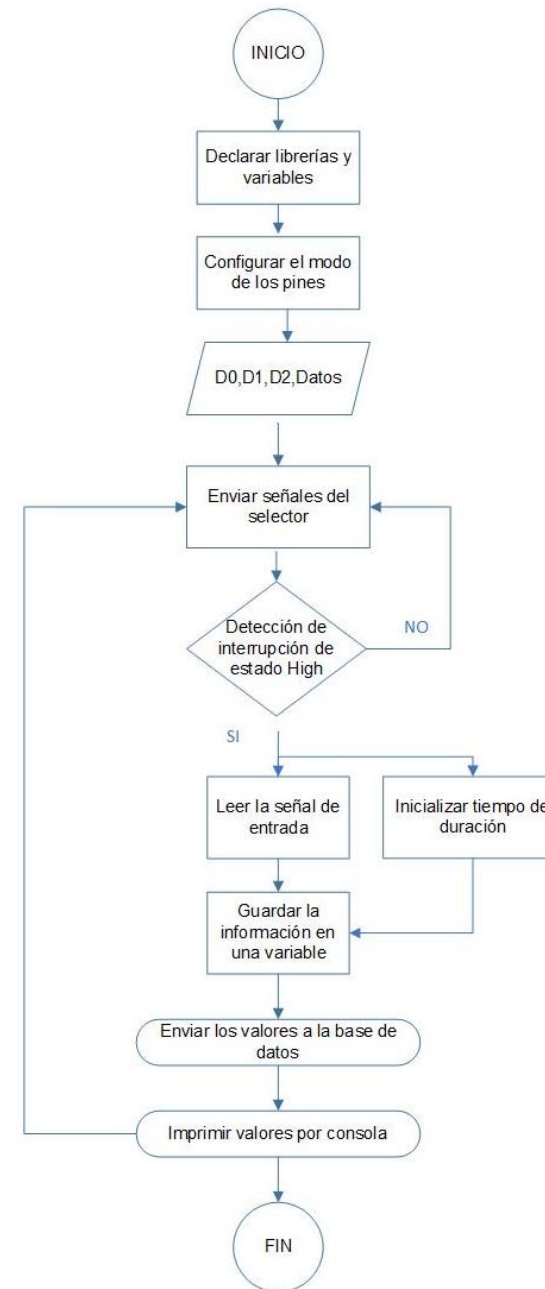


SDK:

```
export GOOGLE_APPLICATION_CREDENTIALS="archivo"
```

```
import firebase_admin  
from firebase_admin import credentials  
from firebase_admin import firestore
```

```
doc_ref=db.collection("Hospital -A").document("Bomba ")  
doc_ref.set({  
    'Valor':o,  
    'Estado':False,  
    'Duracion':T,  
})
```





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño electrónico PCB



Norma

IPC 2221B

Disposicion del circuito

La separacion de los circuitos son separados por su funcion:

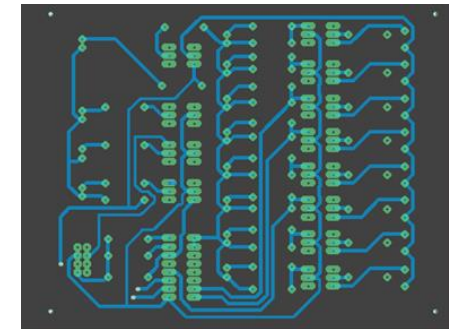
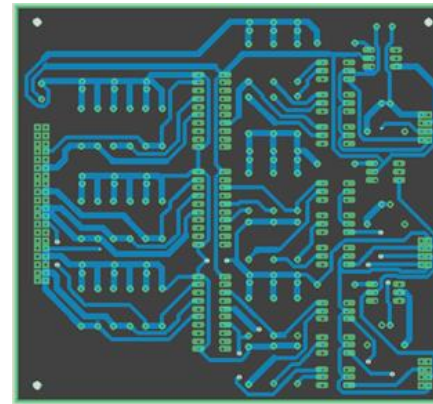
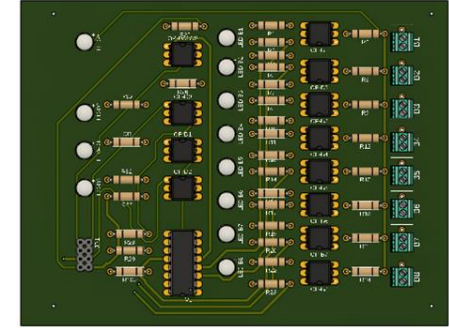
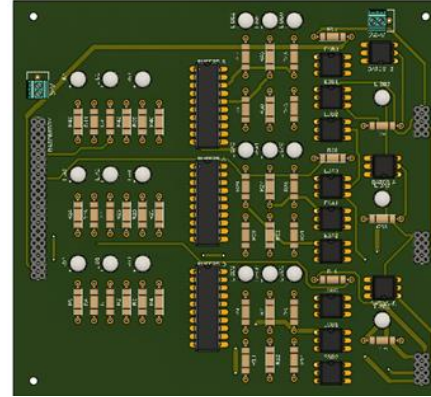
- Alimentación
- Circuito Análogo
- Circuito Digital

Los elementos se encuentran 1.2 mm del borde del PCB.

Las pistas estan 0.75mm de cualquier elemento mecánico.

IPC2221B

Enrutamiento Colocar en la misma capa Vcc y Gnd juntos para evitar retorno de la señal.





Diseño mecánico



| Características | Acrílico | PLA | Chapa metálica |
|------------------------------|----------|-----|----------------|
| Costo (x5) | 10 | 2 | 10 |
| Estética (x5) | 10 | 8 | 8 |
| Nivel de aislamiento (x5) | 10 | 10 | 2 |
| Tiempo de fabricación (x2) | 10 | 2 | 10 |
| Facilidad de ensamblaje (x4) | 8 | 7 | 9 |
| Σ Total | 202 | 132 | 156 |

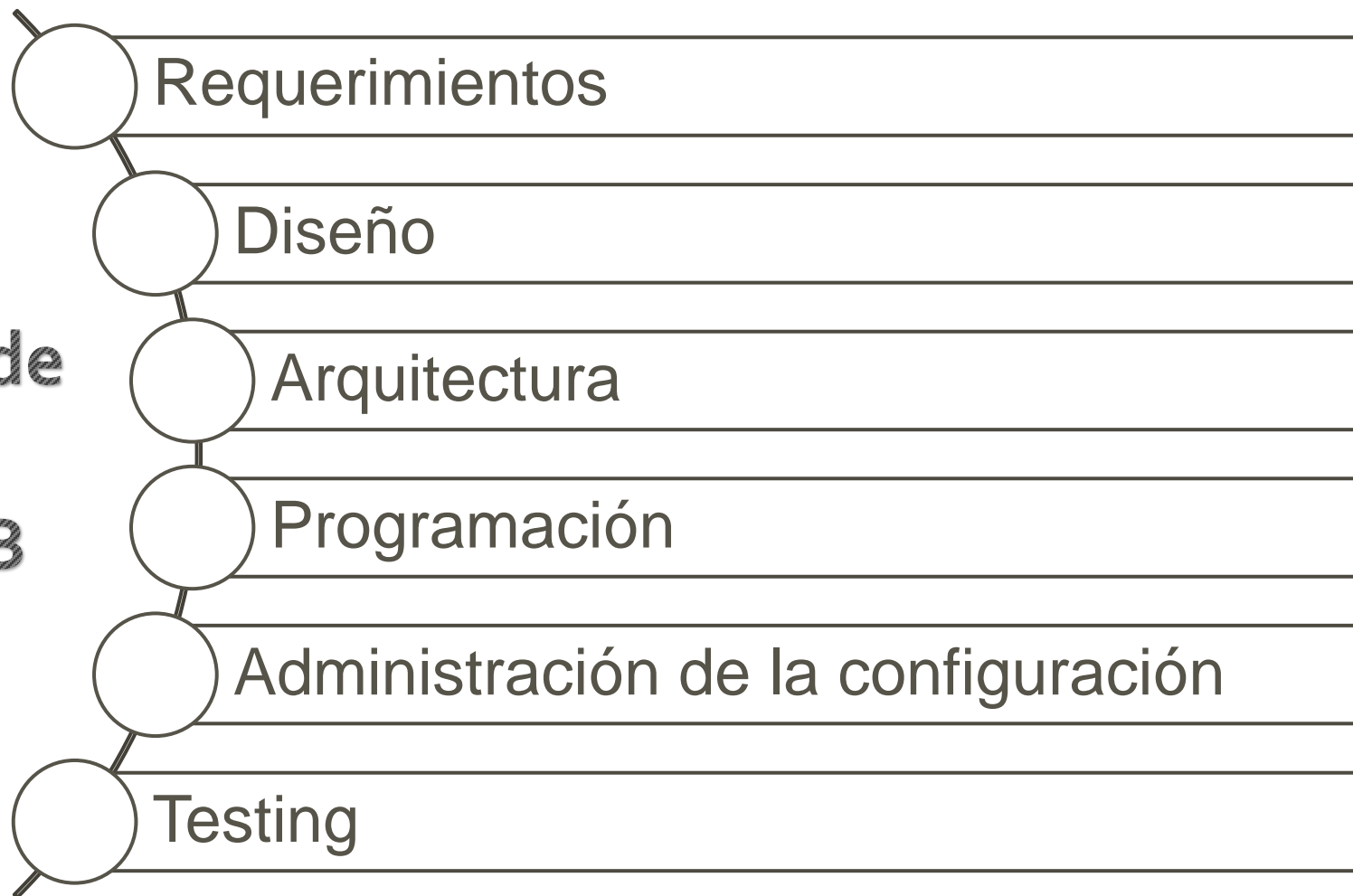


Norma IP21/IP22 hace referencia a equipos electrónicos en habitaciones y bajo toldos ya que están protegidas contra caídas y condensación de humedad



Diseño de la Aplicación

Buenas prácticas de desarrollo de aplicaciones WEB



Diseño de la Aplicación

Autenticación de usuarios

Monitoreo de habitaciones en tiempo real

Registro rápido de pacientes

Asignación de encargados de habitación

Requerimientos



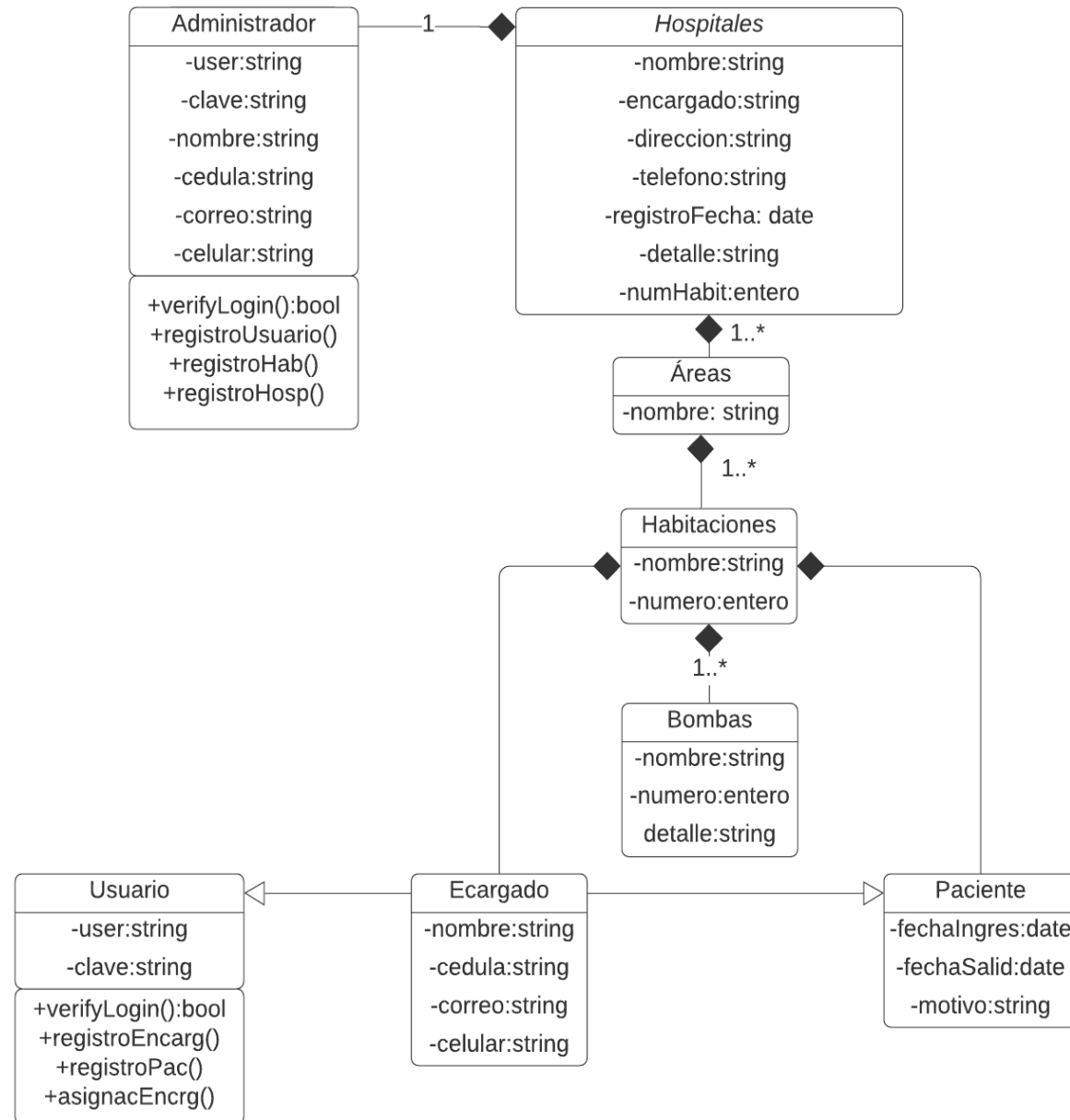
Diseño de la aplicación

Selección de la base de datos

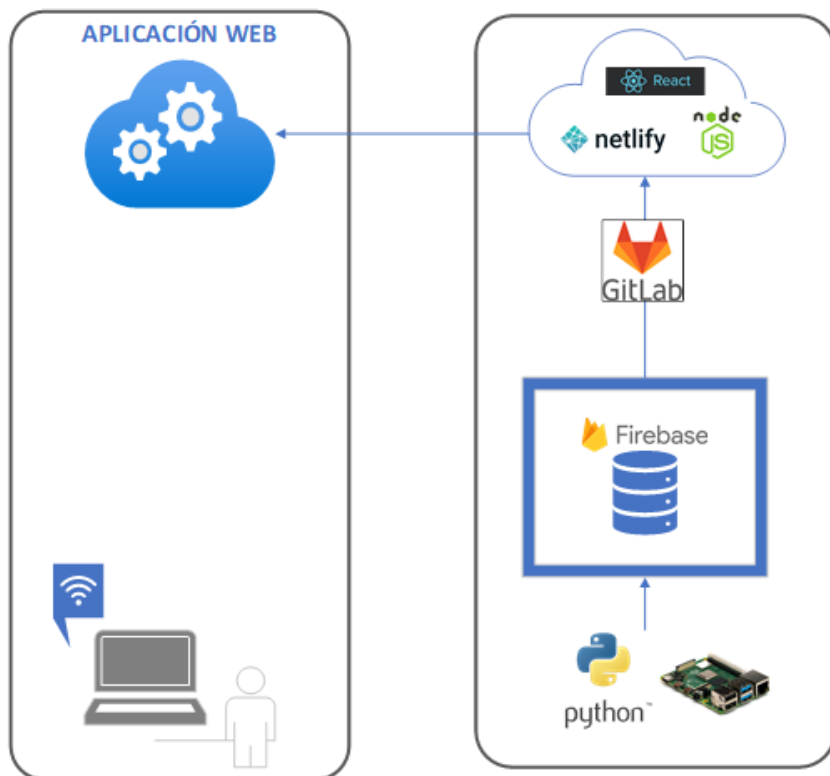
| | SQL | NoSQL |
|--------------------------|---------|--------|
| Integridad de datos (x4) | 10 (40) | 7(28) |
| Escalabilidad (x4) | 4(16) | 10(40) |
| Velocidad (x5) | 5(25) | 10(50) |
| Redundancia (x3) | 3(9) | 10(30) |
| Tiempo real (x5) | 3(15) | 10(50) |
| Σ Total | 105 | 198 |



Diseño de la base de datos



Diseño de la aplicación Arquitectura y plataformas



Netlify

GitLab

Firebase

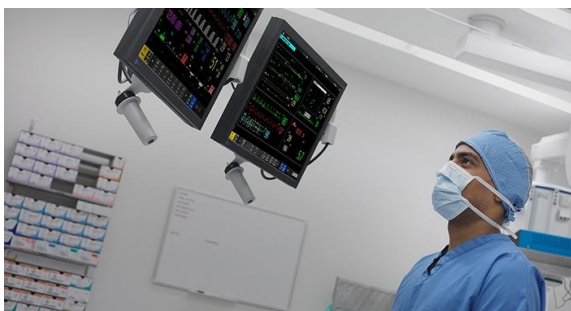
Python

React.js



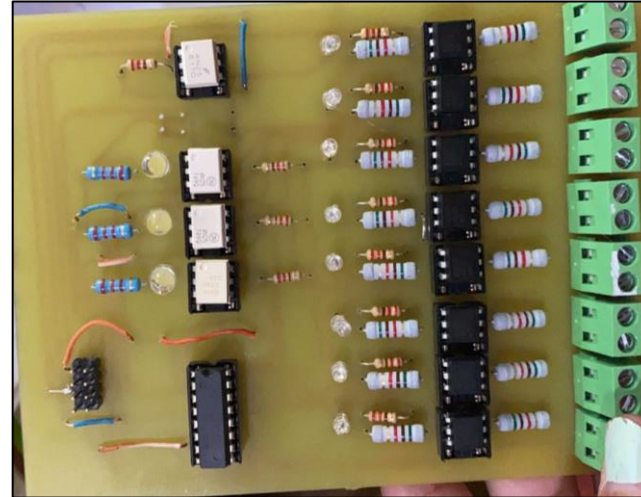
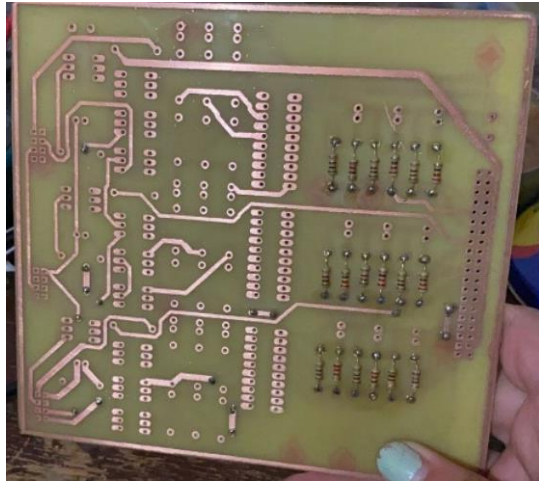
Diseño de la aplicación

Usuarios



| | Super Administrador | Administrador | Monitor |
|---|------------------------|---------------|---------|
| Iniciar sesión | X | X | X |
| Registrar, editar, eliminar hospitales | X | | |
| Registrar, editar, eliminar habitaciones | X | | |
| Crear áreas | X | | |
| Registrar, editar, eliminar quipos | X | | |
| Registrar, editar, eliminar al personal encargado de las habitaciones | X | X | |
| Registrar y eliminar administradores de un hospital | X | | |
| Registrar, editar, eliminar al monitor de cada hospital | X | | |
| Registrar, editar, eliminar pacientes | | X | |
| Visualizar el monitoreo en tiempo real | | | X |
| Generar reportes | | X | |

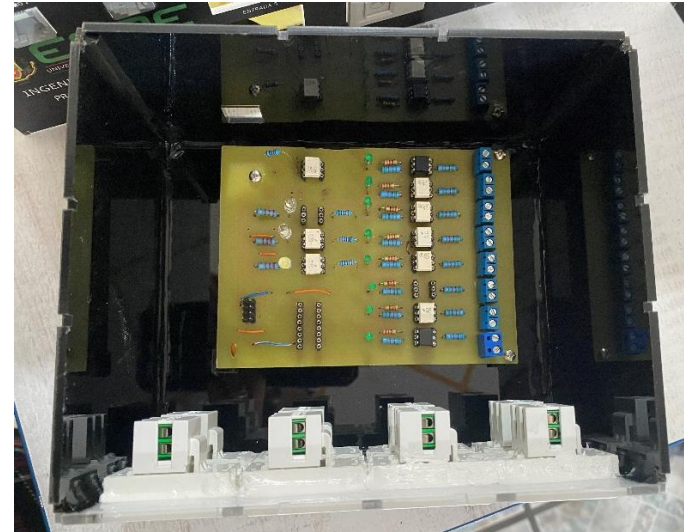
Construcción, pruebas y resultados



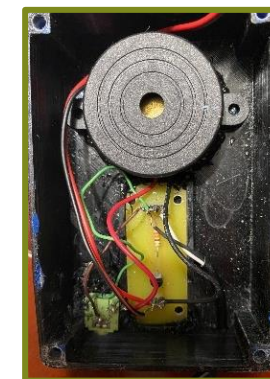
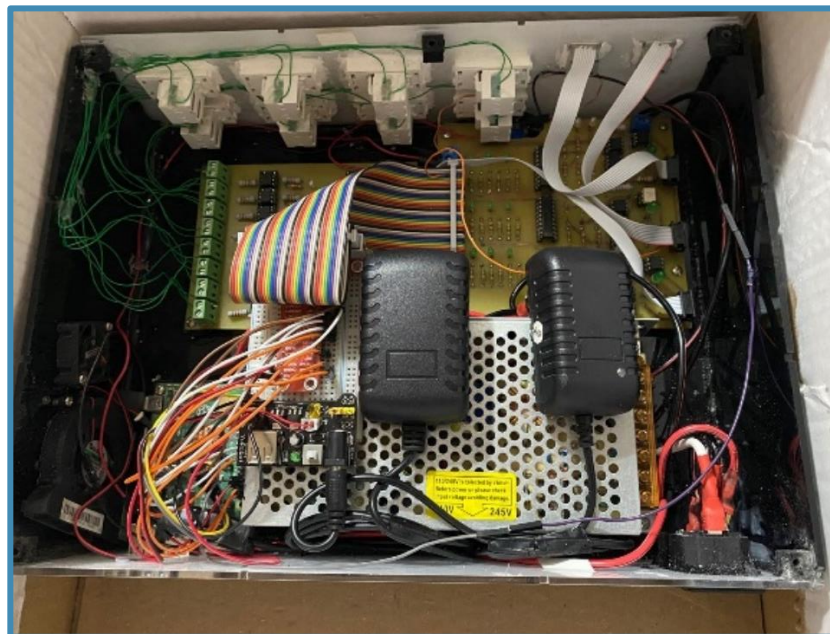
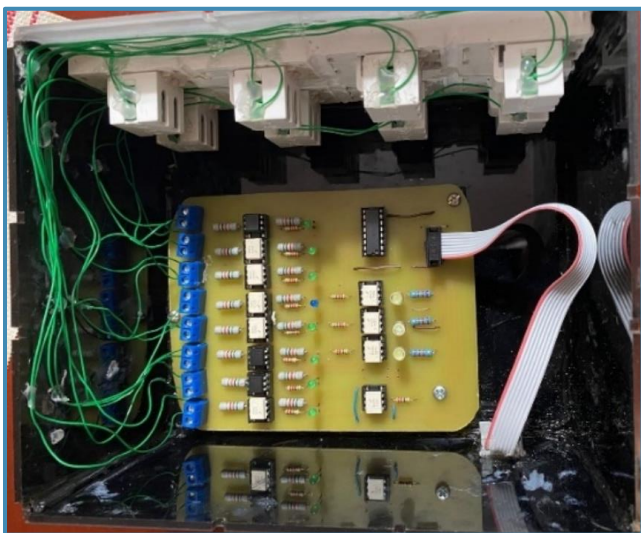


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción, pruebas y resultados



Construcción, pruebas y resultados





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción, pruebas y resultados





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción, pruebas y resultados



Inicio de sesión



MONITOREO IoT

BOMBAS DE INFUSIÓN

Correo electrónico *

Contraseña *

INGRESAR

[¿Olvidaste tu contraseña?](#)

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.




Construcción, pruebas y resultados

Nuevo Hospital



Wed Jan 26 2022 15:07:25 GMT-0500 Monitoreo de equipos 🔔 👤 Eli

 NUEVO HOSPITAL

| Nombre | Direccion | Telefono | Detalle | Fecha de creación | Acciones |
|------------|-------------|-----------|---------|-------------------|---|
| Edison 2 | Eloy Alfaro | 123 | ejemplo | 2022-01-24 |     |
| HOSPITAL 1 | NORTE | 024909561 | ++++++ | 2022-01-25 |     |

Filas por página 10 ▼ 1-2 of 2 ◀ ▶



Construcción, pruebas y resultados

Registro de áreas



022 01:05:48 GMT-0500 **Monitoreo de equipos**

Administración > Áreas administrativas

Áreas y habitaciones [NUEVA ÁREA](#)

ONCOLOGIA UCI EMERGENCIA

[+ NUEVA HABITACION](#)

| Nombre | Número | Fecha de creación | Acciones |
|--------|--------|-------------------|---|
| 0102 | 2 | 2022-01-31 |    |
| 0104 | 4 | 2022-01-31 |    |
| 0103 | 3 | 2022-01-31 |    |
| 0101 | 1 | 2022-01-31 |    |

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.



Construcción, pruebas y resultados

Gestión de enfermeros



The screenshot shows a web application interface for nurse management. The top navigation bar includes the date and time 'Wed Jan 26 2022 20:00:55 GMT-0500', the page title 'Monitoreo de equipos', and a user profile for 'Jose'. A sidebar on the left contains a nurse icon and menu items: 'Dashboard', 'Administración', and 'Enfermeros'. The main content area features a 'NUEVO ENFERMERO' button and a table with the following data:

| Nombre | Apellido | Cedula | Fecha creación | Acciones |
|-----------|----------|----------|----------------|---|
| Lic. Juan | Andres | 12345678 | 2022-01-26 |   |

At the bottom right of the table, there are pagination controls: 'Filas por página 10', '1-1 of 1', and navigation arrows.



Construcción, pruebas y resultados

Gestión de enfermeros



Wed Jan 26 2022 20:00:55 GMT-0500 Monitoreo de equipos Jose

 NUEVO ENFERMERO

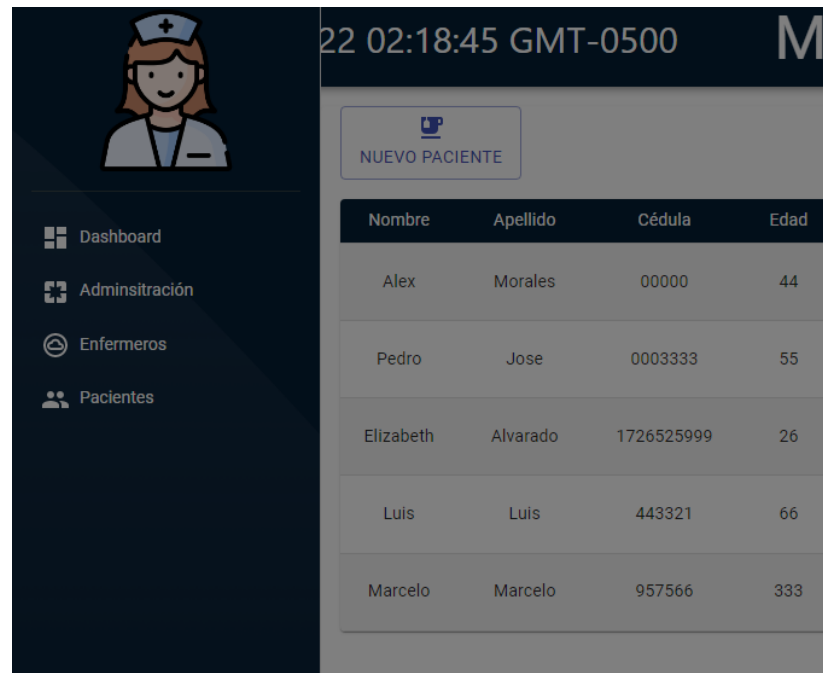
| Nombre | Apellido | Cedula | Fecha creación | Acciones |
|-----------|----------|----------|----------------|---|
| Lic. Juan | Andres | 12345678 | 2022-01-26 |   |

Filas por página 10 1-1 of 1




Construcción, pruebas y resultados

Gestión de pacientes



22 02:18:45 GMT-0500

 NUEVO PACIENTE

| Nombre | Apellido | Cédula | Edad |
|-----------|----------|------------|------|
| Alex | Morales | 00000 | 44 |
| Pedro | Jose | 0003333 | 55 |
| Elizabeth | Alvarado | 1726525999 | 26 |
| Luis | Luis | 443321 | 66 |
| Marcelo | Marcelo | 957566 | 333 |

Paciente ×

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Nombre Alex | Apellido Morales |
| Número de Cedula 00000 | Edad 44 |
| Diagnostico ++++ | |

Asignar cama

+ AGREGAR





Construcción, pruebas y resultados



Tue Feb 01 2022 17:02:58 GMT-0500 **Monitoreo de equipos** 🔔 Mo

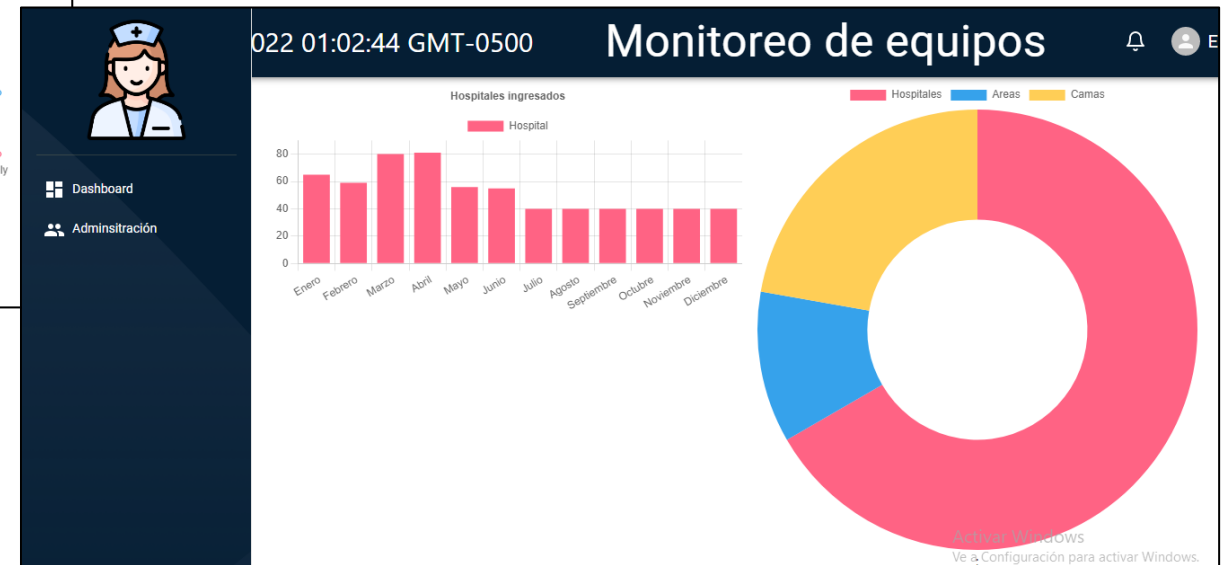
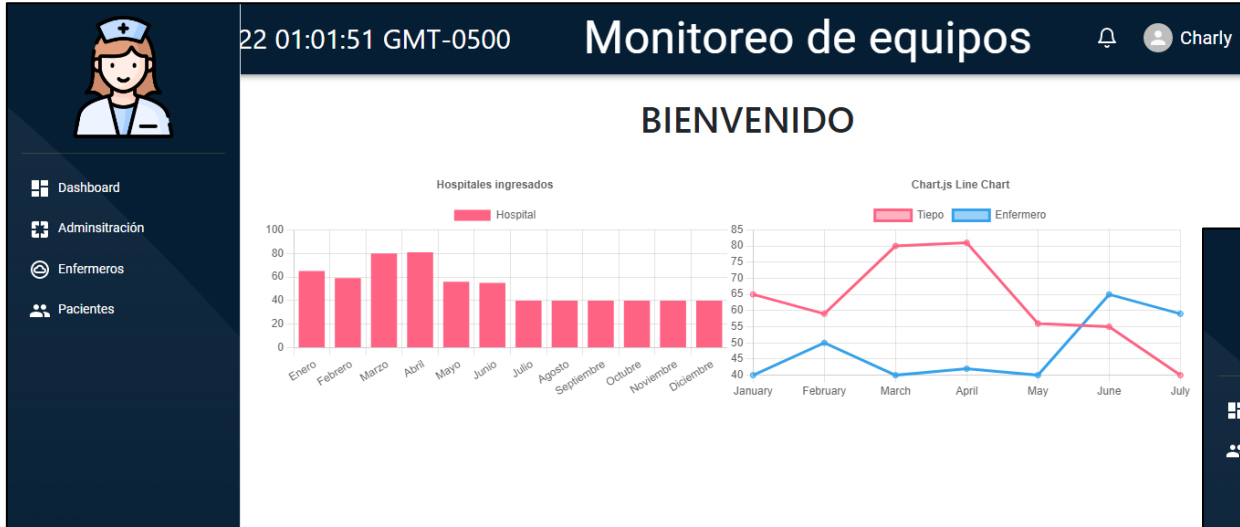
| Habitación | Tiempo | Hora | Alarma encendida | | | Alarma apagada | | |
|------------|---------|----------|------------------|------|------|----------------|--|--|
| E101 | 0:05.91 | 17:16:09 | U103 | U104 | O102 | | | |
| U102 | 0:11.03 | 17:11:13 | | | | | | |
| U101 | 0:11.94 | 17:11:13 | | | | | | |
| O104 | 0:17.38 | 17:08:21 | E102 | E103 | E104 | | | |
| O103 | 0:20.51 | 17:07:42 | | | | | | |
| E102 | 0:16.29 | 17:07:41 | | | | | | |
| U101 | 0:28.29 | 16:55:14 | U101 | E101 | O104 | | | |



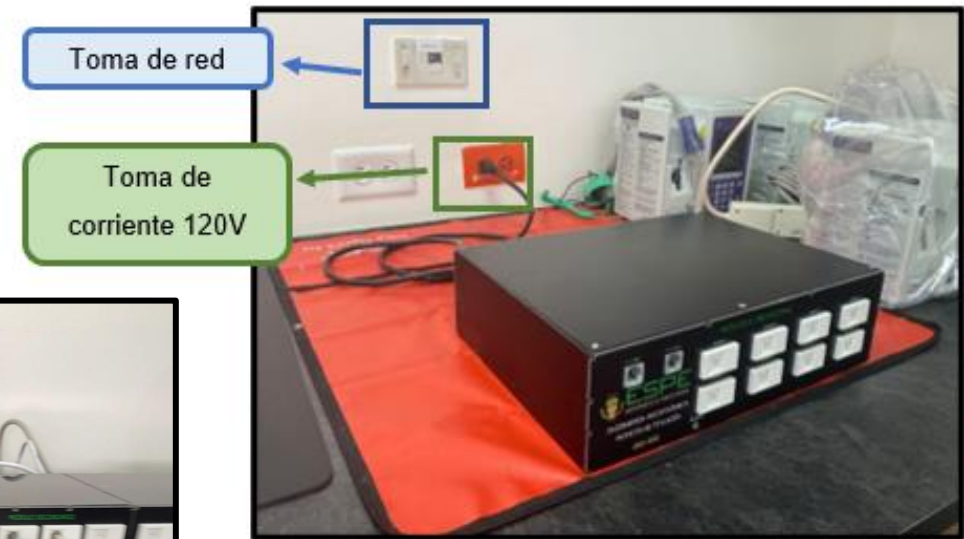
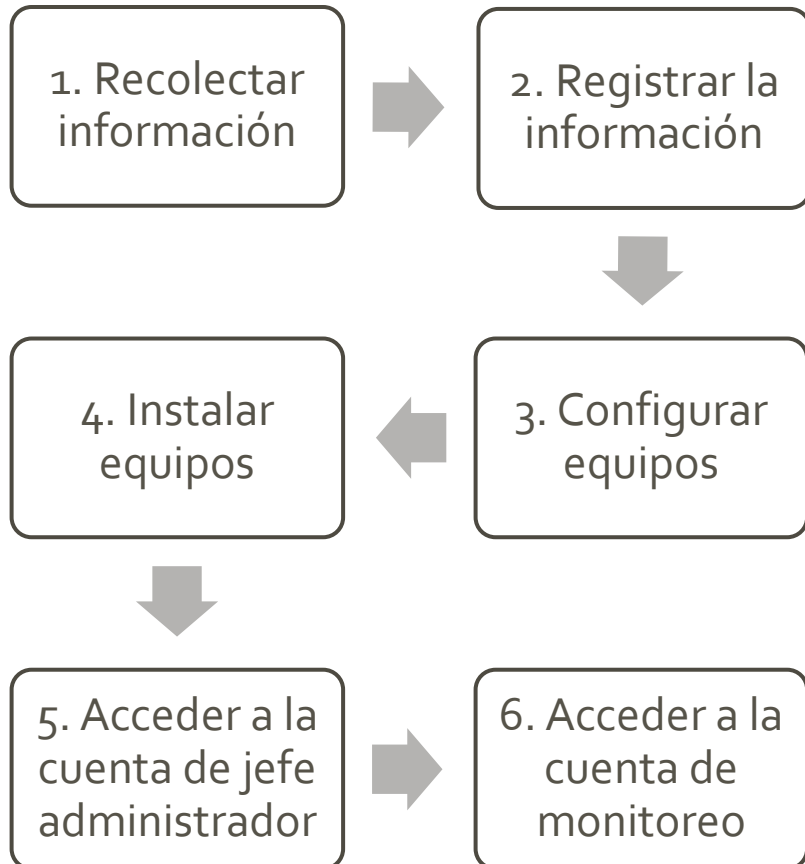


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción, pruebas y resultados



Construcción, pruebas y resultados





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción, pruebas y resultados

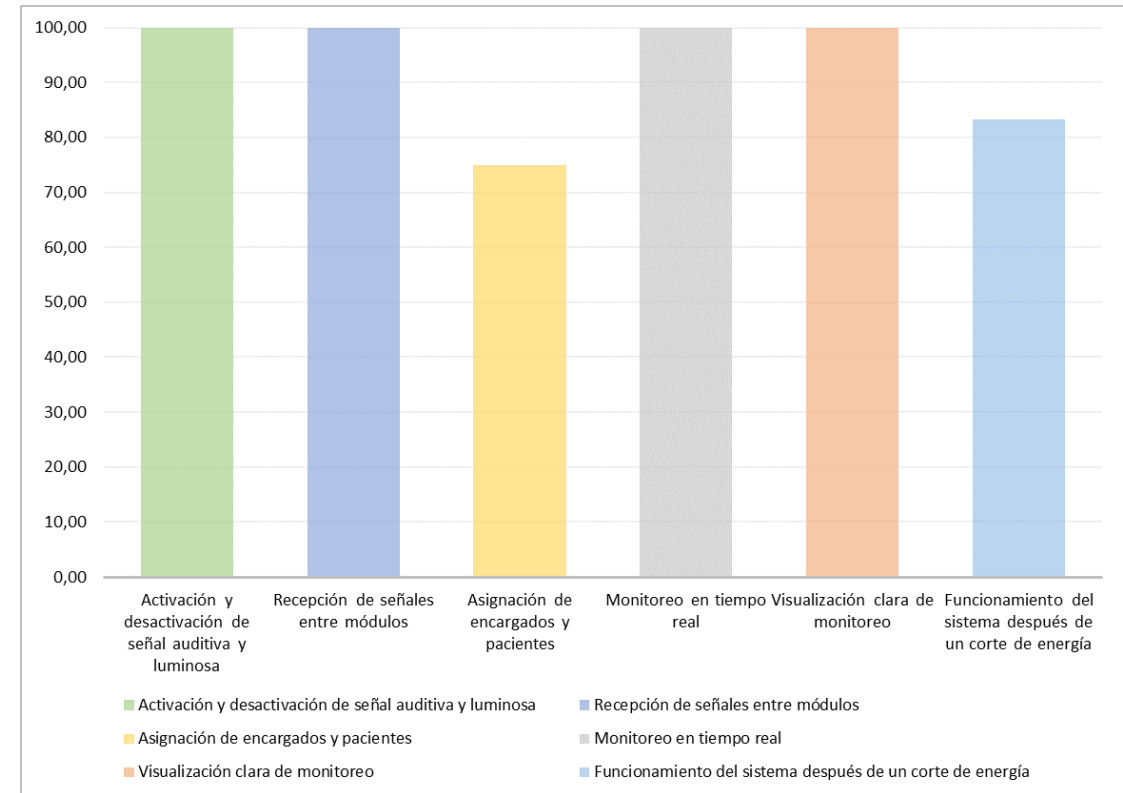




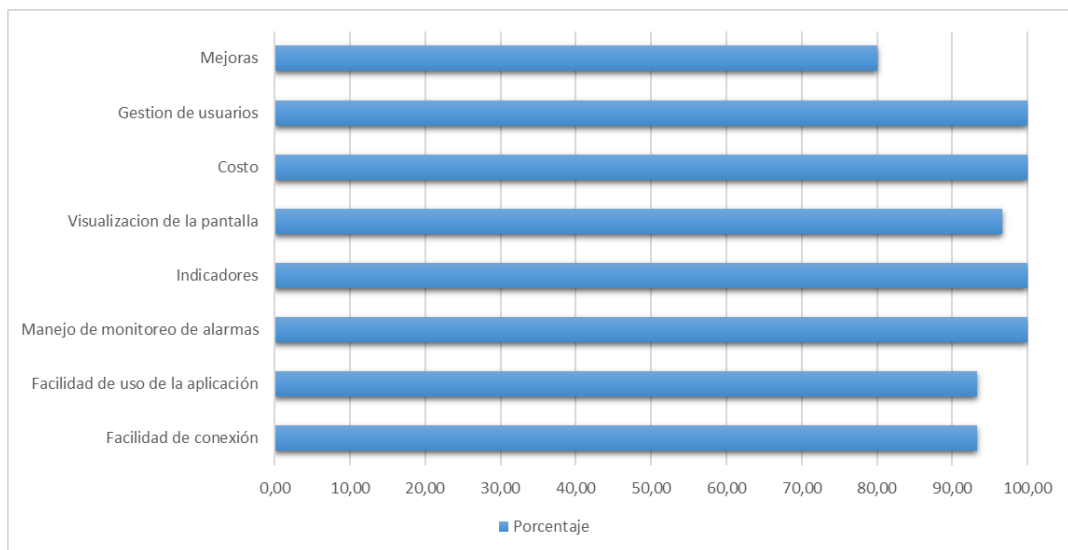
Construcción, pruebas y resultados



| | E1 | E2 | E3 | % |
|---|-------------|-------------|-------------|--------|
| Activación y desactivación de señal auditiva y luminosa | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| Recepción de señales entre módulos | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| Asignación de encargados y pacientes | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 75,00 |
| Monitoreo en tiempo real | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| Visualización clara de monitoreo | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| Funcionamiento del sistema después de un corte de energía | 7,5 | 7,5 | 10 | 83,33 |
| TOTAL | 55 | 55 | 57,5 | |
| PROMEDIO | 9,16 | 9,16 | 9,58 | |



Construcción, pruebas y resultados



| Pregunta | Persona 1 | Persona 2 | Persona 3 | TOTAL % |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| 1 | 10 | 10 | 8 | 93,33 |
| 2 | 10 | 10 | 8 | 93,33 |
| 3 | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| 4 | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| 5 | 10 | 10 | 9 | 96,67 |
| 6 | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| 7 | 10 | 10 | 10 | 100,00 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 80,00 |
| 9 | 10 | 10 | 8 | 93,33 |
| TOTAL | 88 | 88 | 79 | |
| PROMEDIO | 9,78 | 9,78 | 8,77 | |





Construcción, pruebas y resultados



| | Especificaciones técnicas | Revisión |
|---|---|----------|
| 1 | Interfaz de visualización de monitoreo | Cumple |
| 2 | Sistema de adquisición de datos robusto | Cumple |
| 3 | Sistema escalable | Cumple |
| 4 | Servidor web | Cumple |
| 5 | Manejo de registros y base de datos | Cumple |
| 6 | Seguridad de accesos a información | Cumple |
| 7 | Normas de diseño | Cumple |
| 8 | Dimensionamiento mecánico | Cumple |
| 9 | Sistema electrónico fiable | Cumple |

La verificación y validación es el nombre que se da a los procesos de comprobación y análisis que asegura que el sistema que se desarrolla está acorde a su especificación y cumple las necesidades de los clientes. Comienza con las revisiones de los requisitos, continúa con las revisiones del diseño y termina con las pruebas de validación.



Conclusiones

Se diseñó, construyó e implementó de un prototipo de monitoreo de bombas de infusión para la gestión del cuidado de enfermería a través del uso de IoT-MD en la empresa QUIFATEX S.A.

Mediante las pruebas realizadas al prototipo bajo tres criterios de conexión de bombas de infusión, se concluye que el sistema integral alcanza un desempeño mayor al 90%, donde el 10% de error corresponde de la percepción inicial del usuario para manejar la aplicación y la latencia de 3 minutos que tiene el procesador para continuar su funcionamiento normal después de un apagón.

Los resultados arrojados en la evaluación de la interfaz del monitoreo de los equipos muestran una satisfacción en funcionamiento del 100% por parte del usuario al igual que la validación de funcionalidad del HMI referente a ingreso y autenticación en la aplicación con los 3 roles, registro de hospitales y sus respectivos usuarios y equipos.



Conclusiones

El prototipo tiene un hardware y software escalable, el diseño de su sistema electrónico basado en multiplexores, permite que el monitoreo de 24 bombas de infusión en tiempo real se pueda adaptar a conectar un máximo de hasta 64 dispositivos médicos por procesador, mientras que el diseño de la aplicación web basada en Firestore que permite manejar una gran cantidad de datos y React.JS, permite su crecimiento a gran escala mediante componentes que optimizan la programación basadas en su reutilización.

La aplicación web maneja 3 roles diferentes de usuarios, limitando sus funciones al gestionamiento del sistema que le corresponde a cada uno, así el rol de super usuario se limita a gestionar los equipos por hospital, el usuario administrador a la gestión de enfermeros y pacientes y por último el rol monitor a mostrar en pantalla el estado de los equipos en tiempo real.

La configuración de la base de datos Firestore es fundamental para iniciar con la programación, esta contempla habilitar el método de autenticación por correo, codificar las reglas del proyecto para leer y escribir datos, configuración de la conexión de los datos con la cadena de código que se genera en la plataforma y por último mediante la API SDK solicitar permisos de escritura desde el procesador.



Conclusiones

El algoritmo de la aplicación se basa en funciones y componentes, las funciones principales son: Login, Crear/Eliminar/Listar/Editar campos en la base de datos y el principal componente es el de formulario de ingresos.

La optimización de procesos de diseño tanto del hardware como del software se basan en un adecuado levantamiento de información sobre los requerimientos del cliente para obtener mejores resultados.

La ventaja de la aplicación del prototipo en una institución de asistencia médica es la centralización alarmas para optimizar el cuidado del paciente, y gestión administrativa de enfermeros encargados de las áreas de la institución.

Bajo las recomendaciones de los asesores empresariales el prototipo cumple la etapa de diseño y puede empezar a ser un sistema comercial para producción en serie.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Recomendaciones



Se recomienda incluir más campos de información en la aplicación, referentes al enfermero y paciente, para poder realizar una búsqueda más rápida y óptima en la gestión de enfermería.

Realizar un plan de capacitación dirigido al personal de enfermería con énfasis en los jefes de enfermería para optimizar el manejo de la aplicación.

Se recomienda expandir la capacidad de monitoreo hacia dispositivos de naturaleza IoT o Smart dentro de la aplicación Web para tener un control mas amplio de la gestión de personal de enfermería.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



GRACIAS

