



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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.

Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

Latacunga, 07 de febrero del 2022



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**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.**”, fue realizado por la señorita **Alvarado Rubio Elizabeth Estefanía**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 9 de febrero de 2022



EDWIN ALEJANDRO
CAIZALITIN
QUINALUISA

.....
Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C.C.:0503351397



TESIS-MA-LUN-08-02-2022.docx

Scanned on: 2:32 February 8, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	389
Words with Minor Changes	63
Paraphrased Words	234
Ommited Words	9265



Website | Education | Businesses



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía**, con cédula de ciudadanía n°1726525999, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"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."** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 8 de febrero del 2022

Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía

C.C: 1726525999



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía**, con cédula de ciudadanía n°1726525999, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**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.**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son mi responsabilidad.

Latacunga, 8 de febrero del 2022

Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía

C.C: 1726525999

Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo quiero dedicar primero a Dios, por protegerme cada día de mi vida, regalarme fortaleza cuando flaqueo, darme salud y permitirme llegar hasta este momento.

A mis amados padres.

A mi madre Carmy, por acompañarme a cada instante, por demostrarme su incondicional apoyo sin importar las situaciones difíciles, por la motivación, por los valores que me ha inculcado y por todo su amor.

A mi padre, Benito por ser una guía y un ejemplo a seguir de constancia y dedicación, por regalarme una sonrisa acompañada de un buen consejo lleno de palabras de aliento para seguir adelante.

A hermanos, Isaac y Alex, les dedico el esfuerzo y dedicación de este trabajo porque les quiero infinitamente.

A mi abuelita Aurorita, que hubiese disfrutado este logro tanto como yo, siempre le recordaremos.

A mis abuelitos, Dorita y Serafín, Guidito y Teresita, les quiero desde lo más profundo de mi corazón, son mi fuente de luz y alegría, me llenan de paz cuando comparto junto a ustedes.

A mi familia, a todos, toditos, todititos, a mis tías y tíos, primos y primas, todos, porque soy un pedacito de ustedes y quiero compartirles parte de lo que soy en este trabajo.

Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía

Agradecimiento

Estoy llena de gratitud a todas las personas que han formado parte de este proceso, primero quiero agradecer a Dios por todo su amor y bondad, por regalarme una vida llena de aprendizajes, gracias por darme la fortaleza para cumplir esta meta.

Agradezco a mis padres que han estado presentes no solo en esta etapa de mi vida, sino en todo momento buscando lo mejor para mí, les agradezco cada minuto que comparten a mi lado, gracias por que con cada caída me levantan y me ayudan a ser un mejor ser humano.

A mi hermano Alex, gracias por todo lo increíble que eres conmigo hermanito, gracias infinitas por acompañarme a lo largo de este camino desde el día que comencé este proceso académico y tu apoyo a lo largo de toda mi vida.

A mi hermanito Isaac, sin duda tus palabras de aliento y especial curiosidad por aprender de mi carrera me llenan de inspiración para conocer nuevos temas cada día.

A mis amistades, que me han acompañado a lo largo de este camino recorrido, Karilu, Richi, Alex, Vanesa, Irene, Chris, Sebas, Erick, Braulio, Santiago, Robert, Alexander, Juan Carlos, a todos los que me han brindado una mano, gracias porque cada día me han dado lecciones importantes con cada reto que hemos superado juntos.

A mis maestros por compartir sus conocimientos y tiempo en el desarrollo profesional de mi carrera, un especial agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Edwin Caizalítín por toda su guía y conocimientos transmitidos para poder finalizar este trabajo. A un gran docente Ing. Freddy Salazar, por sus todos sus consejos que me han ayudado a crecer como persona y como profesional.

A la Empresa Quifatex en especial a mi tutor Ing. Omar Sáenz, por permitirme realizar este trabajo de titulación en sus instalaciones junto a toda la calidez humana que me brindaron al abrirme sus puertas.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por impartirme su conocimiento a lo largo de este camino.

Alvarado Rubio, Elizabeth Estefanía

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenido.....	8
Índice de Figuras	13
Índice de tablas	17
Resumen	20
Abstract.....	21
Planteamiento del problema.....	22
Antecedentes	22
Planteamiento del problema	26
Objetivos	28
<i>Objetivo General</i>	28
<i>Objetivos específicos</i>	28
Justificación e importancia.....	29
Hipótesis	30
Variables de investigación.....	30
<i>Variable Independiente</i>	30
<i>Variable Dependiente</i>	31

Marco teórico.....	32
Salud 4.0.....	32
Aplicaciones de la Industria 4.0 en hospitales.	32
Bombas de infusión.....	34
<i>Bomba de infusión Hospira Plum A+.....</i>	<i>34</i>
<i>Bomba de infusión Hospira Plum 360.....</i>	<i>41</i>
Sistema de adquisición de datos.....	49
<i>Raspberry Pi</i>	<i>49</i>
Sistemas distribuidos.....	53
Protocolos.....	53
Modelo OSI.....	54
Modelo TCP/IP.....	55
Plataformas de desarrollo de la aplicación.....	56
<i>Base de datos SQL y NoSQL.....</i>	<i>56</i>
<i>Firebase</i>	<i>64</i>
<i>React</i>	<i>67</i>
<i>GitLab.....</i>	<i>68</i>
<i>Node js</i>	<i>68</i>
<i>JavaScript.....</i>	<i>68</i>
<i>Netlify</i>	<i>69</i>
Diseño y Construcción.....	70
Matriz QFD.....	70

Análisis de la casa de la calidad.....	74
Diseño del sistema de adquisición de datos.	74
Diseño electrónico del circuito.....	77
<i>Alimentación del circuito.....</i>	<i>78</i>
<i>Circuito módulo principal.</i>	<i>79</i>
<i>Circuito del indicador auditivo.....</i>	<i>84</i>
<i>Circuito módulo secundario.</i>	<i>86</i>
<i>Diagrama de flujo de adquisición de datos.</i>	<i>91</i>
<i>Diseño PCB.....</i>	<i>92</i>
Diseño, dimensionamiento y disposición de la estructura.....	95
<i>Disposición de elementos.....</i>	<i>95</i>
<i>Ambiente Hospitalario.....</i>	<i>97</i>
<i>Lugares de aplicación del prototipo:.....</i>	<i>100</i>
<i>Protección contra agentes externos.....</i>	<i>102</i>
<i>Selección del material.....</i>	<i>102</i>
<i>Dimensionamiento de los elementos.....</i>	<i>104</i>
Diseño de la aplicación.	105
<i>Características de la aplicación.....</i>	<i>105</i>
<i>Selección de base de datos.....</i>	<i>106</i>
<i>Selección de plataformas.....</i>	<i>108</i>
Diseño e implementación del algoritmo.....	109

Construcción e integración de los sistemas.	112
<i>Sistema de adquisición</i>	112
<i>Estructura</i>	115
<i>Aplicación</i>	118
<i>Integración del sistema</i>	137
Implementación, pruebas y resultados.....	141
Implementación del prototipo de monitoreo.....	141
Adaptación del prototipo al sistema de monitoreo.	142
<i>Conexión del sistema</i>	142
<i>Procedimiento de implementación</i>	145
Pruebas de integración del prototipo.....	151
<i>Prueba de circuitos</i>	151
<i>Comunicación de red</i>	154
<i>Comunicación del equipo con la base de datos</i>	154
<i>Visualización de datos en front end</i>	156
<i>Registro de roles</i>	157
<i>Registros de la aplicación a la base de datos</i>	160
Pruebas del funcionamiento del prototipo	161
<i>Costos del prototipo</i>	174
Validación de hipótesis	179
Conclusiones y Recomendaciones.....	182
Conclusiones	182

Recomendaciones	184
Bibliografía.....	185
Anexos	193

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Bomba de infusión Plum A+</i>	34
Figura 2 <i>Bomba de infusión Plum 360</i>	42
Figura 3 <i>Raspberry Pi4</i>	50
Figura 4 <i>Casa de la calidad</i>	73
Figura 5 <i>Módulos electrónicos de adquisición de datos</i>	78
Figura 6 <i>Optoacoplador de entrada de datos</i>	81
Figura 7 <i>Optoacoplador de selectores</i>	82
Figura 8 <i>Circuito del módulo principal</i>	83
Figura 9 <i>Circuito buzzer piezoeléctrico</i>	85
Figura 10 <i>Optoacoplador de entrada de las bombas de infusión</i>	86
Figura 11 <i>Entradas y salidas del multiplexor</i>	88
Figura 12 <i>Optoacopladores de señales de entrada</i>	88
Figura 13 <i>Circuito del módulo secundario</i>	90
Figura 14 <i>Diagrama de flujo</i>	91
Figura 15 <i>PCB módulo principal</i>	93
Figura 16 <i>Elementos electrónicos en la placa principal</i>	94
Figura 17 <i>PCB módulo secundario</i>	94
Figura 18 <i>Elementos electrónicos en la placa secundario</i>	95
Figura 19 <i>Distribución de componentes electrónicos</i>	96
Figura 20. <i>Disposición de componentes del módulo principal</i>	96
Figura 21 <i>Contenedor de los circuitos</i>	105
Figura 22 <i>Diagrama UML de bases de datos</i>	110
Figura 23 <i>Arquitectura</i>	111

Figura 24 <i>Pistas PCB diagrama</i>	113
Figura 25 <i>Baquelita PCB resultado</i>	113
Figura 26 <i>Elementos soldados</i>	114
Figura 27 <i>Placa electrónica principal y secundarios</i>	115
Figura 28 <i>Lámina frontal</i>	116
Figura 29 <i>Distribución de elementos</i>	116
Figura 30. <i>Contendor secundario</i>	117
Figura 31 <i>Módulo de sonido</i>	118
Figura 32 <i>Interfaz de inicio de sesión</i>	120
Figura 33 <i>Creación de un nuevo hospital</i>	121
Figura 34 <i>Datos de un nuevo hospital</i>	122
Figura 35 <i>Registro de áreas</i>	122
Figura 36 <i>Creación de habitaciones</i>	123
Figura 37 <i>Datos de una nueva habitación</i>	125
Figura 38 <i>Agregar Equipo- bomba de infusión</i>	125
Figura 39 <i>Datos de ingreso de una cama</i>	126
Figura 40 <i>Asignación de enfermeros</i>	127
Figura 41 <i>Datos de nueva persona</i>	128
Figura 42 <i>Nuevos usuarios dentro del hospital</i>	129
Figura 43 <i>Ingreso de datos de nueva persona administrativa</i>	130
Figura 44 <i>Interfaz de edición de pacientes</i>	131
Figura 45 <i>Datos de edición del paciente</i>	133
Figura 46 <i>Interfaz de monitoreo</i>	134
Figura 47 <i>Ventana informativa monitoreo</i>	135

Figura 48 <i>Dashboard de super usuario</i>	136
Figura 49 <i>Dashboard de jefe administrador</i>	137
Figura 50 <i>Cableado interno</i>	138
Figura 51 <i>Cableado interno</i>	139
Figura 52 <i>Configuración Firestore</i>	140
Figura 53 <i>Configuración SDK</i>	140
Figura 54 <i>Conexión del módulo principal</i>	143
Figura 55 <i>Módulo secundario</i>	143
Figura 56 <i>Cable de conexión al equipo</i>	144
Figura 57 <i>Conexión de la Bomba al módulo secundario</i>	144
Figura 58 <i>Procedimiento de implementación del prototipo</i>	145
Figura 59 <i>Ficha de información</i>	146
Figura 60 <i>Código para escritura en firestore</i>	149
Figura 61 <i>Prueba individual del circuito</i>	152
Figura 62 <i>Prueba de entre circuitos</i>	153
Figura 63 <i>Prueba de circuitos</i>	153
Figura 64 <i>Conexión del procesador a la red</i>	154
Figura 65 <i>Prueba 1 de integración con la base de datos</i>	155
Figura 66 <i>Prueba 2 de integración con la base de datos</i>	156
Figura 67 <i>Mostrar datos de la base de datos en el front end</i>	157
Figura 68 <i>Cuenta con rol de super administrador</i>	158
Figura 69 <i>Cuenta con rol de jefe administrador</i>	158
Figura 70 <i>Cuenta con rol de jefe o monitor</i>	159
Figura 71 <i>Configuración de autenticación</i>	160

Figura 72 <i>Mostrar datos de la base de datos al front end</i>	161
Figura 73 <i>Disposición de elementos de prueba</i>	162
Figura 74 <i>Resumen de evaluación del funcionamiento del prototipo</i>	170
Figura 75 <i>Resumen de la evaluación de encuesta</i>	173
Figura 76 <i>Sistema de llamado de enfermería ISM</i>	176
Figura 77 <i>Sistema de monitoreo de enfermería</i>	178

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Características físicas Plum A+</i>	35
Tabla 2 <i>Características eléctricas Plum A+</i>	36
Tabla 3 <i>Características de conectividad Plum A+</i>	39
Tabla 4 <i>Características ambientales Plum A+</i>	40
Tabla 5 <i>Alarmas Plum A+</i>	40
Tabla 6 <i>Características físicas Plum 360.</i>	43
Tabla 7 <i>Características eléctricas Plum 360.</i>	44
Tabla 8 <i>Características de conectividad. Plum 360</i>	46
Tabla 9 <i>Características ambientales Plum 360</i>	48
Tabla 10 <i>Alarmas Plum 360.</i>	48
Tabla 11 <i>Alimentación Raspberry Pi 4.</i>	51
Tabla 12 <i>Integridad SQL y NoSQL</i>	56
Tabla 13 <i>Operaciones atómicas SQL y NoSQL.</i>	58
Tabla 14 <i>Escalabilidad SQL y NoSQL.</i>	59
Tabla 15 <i>Velocidad SQL y NoSQL.</i>	61
Tabla 16 <i>Consistencia y redundancia SQL y NoSQL.</i>	62
Tabla 17 <i>Desarrollo SQL y NoSQL.</i>	63
Tabla 18 <i>Ventajas y desventajas de Firebase</i>	65
Tabla 19 <i>Requerimientos del cliente</i>	70
Tabla 20 <i>Especificaciones técnicas del sistema.</i>	71
Tabla 21 <i>Simbología especificaciones</i>	72
Tabla 22 <i>Selección de dispositivo de adquisición de datos.</i>	75
Tabla 23 <i>Generación y selección del dispositivo.</i>	76

Tabla 24 Norma IPC	92
Tabla 25 Equipos con voltajes de baja tensión.....	97
Tabla 26 Selección de materiales mecánicos.....	103
Tabla 27 Dimensionamiento de los elementos.....	104
Tabla 28 Selección de base de datos	106
Tabla 29 Funcionalidades de cada rol dentro de la aplicación	119
Tabla 30 Funciones registro de hospitales	121
Tabla 31 Funciones de registro de áreas	123
Tabla 32 Funciones de creación de habitaciones.....	124
Tabla 33 Funciones de registro de equipos.....	126
Tabla 34 Funciones de interfaz de encargados.....	127
Tabla 35 Funciones de registro de usuarios.....	129
Tabla 36 Funciones de registro de pacientes.....	131
Tabla 37 Funciones de registro de paciente.....	133
Tabla 38. Registro de la información de la ficha de la figura 42	147
Tabla 39 Administración pacientes y encargados	150
Tabla 40 Administración monitoreo	151
Tabla 41 Evaluación del funcionamiento del HMI.....	163
Tabla 42 Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 1.....	165
Tabla 43 Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 2.....	166
Tabla 44 Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 3.....	167
Tabla 45 Resultados de la ficha de observación.	169
Tabla 46 Resultados de la encuesta	172
Tabla 47 Detalle de costos.....	174

Tabla 48 <i>Costo de sistema de llamado de enfermería</i>	175
Tabla 49 <i>Costo de sistema de llamado de enfermería</i>	177
Tabla 50 <i>Revisión de requerimientos del cliente</i>	180

Resumen

En el presente proyecto se realiza el 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. El prototipo diseñado tiene un sistema electrónico modular escalable basado en multiplexores que permite la conexión de varias bombas de infusión a una central de enfermería para monitorear sus alarmas, así también como una aplicación Web que permite realizar una gestión de enfermeros y pacientes dentro del hospital. El módulo principal que posee el prototipo tiene un procesador que se conecta a la base de datos Firestore de Google para guardar los estados de las alarmas en tiempo real, mientras que el módulo secundario se encarga de conectarse a los equipos para recolectar datos. La aplicación se ha realizado con la librería React.js, el versionador de código GitLab, estructura node.js y java.js. Se compila en IoT-MD mediante la aplicación de Netlify y la plataforma de Python como medio para adquirir datos. La lógica de programación se basa en la utilización de componentes y funciones que permiten Crear/Eliminar/Listar en la base de datos. 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.

Palabras clave:

- **MONITOREO CENTRALIZADO**
- **APLICACIÓN WEB**
- **FIRESTORE**
- **IoT-MD**
- **BOMBAS DE INFUSIÓN**

Abstract

In this project, the design, construction and implementation of a prototype for monitoring infusion pumps for the management of nursing care through the use of IoT-MD in the company QUIFATEX S.A. The designed prototype has a scalable modular electronic system based on multiplexers that allows the connection of several infusion pumps to a nursing central to monitor their alarms, as well as a Web application that allows the management of nurses and patients within the hospital. The main module of the prototype has a processor that connects to Google's Firestore database to store alarm status in real time, while the secondary module is responsible for connecting to the equipment to collect data. The application has been realized with the React.js library, the GitLab code versioner, node.js framework and java.js. It is compiled on IoT using Netlify application and Python platform as a means to acquire data. The programming logic is based on the use of components and functions that allow Create/Delete/List in the database. By testing the prototype under three infusion pump connection criteria, it is concluded that the integral system achieves a performance greater than 90%, where the 10% error corresponds from the user's initial perception to handle the application and the 3 minutes latency that the processor has to continue its normal operation after a power outage.

Keywords:

- **CENTRALIZED MONITORING**
- **WEB APPLICATION**
- **FIRESTORE**
- **IoT-MD**
- **PUMP FUSION**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes

“Los Hospitales Inteligentes son entes con conciencia del contexto (context-aware). Para alcanzar esta “conciencia” se valen de la computación. Un hospital se denota como “inteligente” dependiendo de la conciencia que tenga, es decir, dependiendo de los sistemas que tenga para capturar e interpretar eventos, que van desde información básica del contexto que incluye, presencia del personal médico, aparatos, instrumentos y medicaciones, hasta información compleja de correlación de datos que suministre alarmas u otro tipo de información valiosa.” (Gómez González, 2008).

“Salud 4.0 es un concepto estratégico para el ámbito sanitario derivado del concepto de Industria 4.0. El objetivo de Salud 4.0 es permitir la virtualización progresiva para posibilitar la personalización de la salud y la asistencia en tiempo real para pacientes, profesionales y cuidadores formales e informales. La personalización de la asistencia sanitaria mediante el uso masivo de CPS, la computación en la nube (Edge), el Internet de todo, incluyendo cosas, servicios y personas, y las redes de comunicación móvil en evolución (5G). Con la ayuda de los sistemas ciber físicos, los bloques de construcción de software y las herramientas de Big Data (algoritmos), los "objetos" se virtualizarán en una matriz temporal espacial. La virtualización permitirá el análisis de instantáneas del mundo físico en tiempo casi real y permitirá el diagnóstico. Esto también permitirá una medicina personalizada y de precisión.” (Thuemmler & Bai, 2017).

Los expertos de la industria coinciden en decirlo en una serie de conferencias en las que explicaron que la mecatrónica le permite desarrollar sistemas comerciales totalmente integrados, que van desde diseño del producto a las actividades de aplicación postventa, reuniendo todas las virtudes de la Industria 4.0, desde la robótica hasta el IoT y la nube (ItalianIngenio, 2021). La mayoría de los sistemas con amplios niveles de control y automatización en uso generan datos a partir de sensores instalados o de varios softwares que están integrados en estos sistemas. La conectividad de todos los dispositivos y la computación ubicua son impulsores técnicos de tendencias como Internet de las cosas (IoT), Industria4.0 e Internet industrial. Muchas aplicaciones en estas áreas se basan en la recopilación y análisis de datos y los combinan con métodos de inteligencia artificial. Su modelo digital dinámico deberá representar siempre el estado actual del sistema real. Así, se pueden realizar aplicaciones para pronosticar el comportamiento del sistema, evaluar escenarios operacionales y mejorar el desempeño del sistema. Si bien es cierto la sinergia provocada por la industria 3.0 produjo el surgimiento de una serie de tecnologías interdisciplinarias de vanguardia, de acuerdo con Aquino, Corona & Trujillo (2014). La sinergia que está provocando la Industria 4.0 hace converger una cantidad aún mayor de tecnologías que anteriormente no habían hecho interdisciplinariedad.” (Aquino et al., 2019).

“La introducción de Internet of Things para dispositivos médicos (IoT-MD), la supervisión continua y remota del registro de salud del paciente se ha convertido en una posibilidad. La creciente prevalencia de enfermedades crónicas y la demanda más estricta para reducir los costos de atención médica son algunos de los factores clave que están impulsando la necesidad de una tecnología revolucionaria en el cuidado de la salud.” (Toledo, 2018)

“Las características principales de un dispositivo IoT-MD son: Conexión a plataformas en la nube en las que se pueden almacenar los datos y exportarlos de forma sencilla, análisis de los datos capturados, intercambio de información con otros dispositivos, monitorización remota de pacientes, seguimiento de los pedidos de medicación de los pacientes y ubicación de éstos, conexión médico-paciente mejorando la experiencia de usuario y ahorro de costes a medio y largo plazo.” (Kiversal, 2017)

“A nivel mundial seis de cada diez organizaciones sanitarias ya están usando IoT para conectar a la red diversos dispositivos, como monitores de pacientes (64%) y dispositivos de rayos x/imágenes (41%). El 73% de los encuestados declararon un amplio ahorro de costes como resultado de la utilización de IoT. El 60% de las organizaciones sanitarias de todo el mundo han introducido dispositivos IoT, convirtiéndose así en el tercer sector más avanzado en su implementación. En todo el sector, el 42% de los ejecutivos menciona la monitorización el mantenimiento como el uso número uno del IoT (la cifra más alta). Esto subraya la importancia de la monitorización IoT de pacientes en la industria sanitaria”. (Quental, 2019).

“Aunque esta tecnología puede no estar aún masificada en América Latina, en Norteamérica se usa activamente y de manera exitosa, entonces podría verse en la región en cualquier momento. Sin duda, la innovación y la actualización son fundamentales para alcanzar esta meta, y ya varios países han empezado con esta misión desde el punto de vista de inversión. Chile, por ejemplo, anunció que 57 nuevos hospitales estarían construidos en 2026, asimismo, Colombia confirmó que para 2022 estarían listos nueve hospitales nuevos. En esta misma línea, los ministerios de salud de Ecuador y Perú también han manifestado acciones concretas para mejorar las infraestructuras de sus redes de salud. Esto trae innumerables ventajas como la posibilidad de automatizar alertas para que los médicos examinen a los pacientes que han estado esperando durante más tiempo o acelerar los ingresos al permitir que los pacientes se registren con sus teléfonos inteligentes”. (TECNOseguro, 2019)

“Algunas de estas tecnologías emergentes ya han sido implementadas en Ecuador con resultados exitosos. Por ejemplo, Javier Contreras, CEO del Grupo Concina Ecuador dio a conocer durante el CenturyLink Forum 2019 que, las implementaciones de estas tecnologías han ayudado a brindar un mejor cuidado clínico, llegar a personas que no tienen acceso y cambiar los modelos de negocio persiguiendo objetivos sustentables mayores”.(Datta, 2020)

“La nueva generación de dispositivos médicos conectados permite la supervisión del paciente en tiempo real y ayuda a los profesionales médicos a responder rápidamente a las necesidades del paciente. Por ejemplo, los monitores de signos vitales, los monitores de actividad, los monitores de seguridad y los monitores de medicación se utilizan de forma rutinaria para el monitoreo de patentes y la administración de medicamentos.” Toledo (2018).

Para (Rouse, 2017):

“Las bombas de infusión que se conectan a paneles analíticos y las camas de hospital equipadas con sensores que miden los signos vitales de los pacientes son dispositivos médicos que pueden convertirse o desplegarse como tecnología IoT.”

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente en 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 y distribución de información de personal operativo y administrativo necesaria para implementar un sistema de registros históricos de atención.

“La empresa QUIFATEX S.A, tiene como propósito ser socio estratégico de negocios rentables y sustentables, a través de soluciones comerciales y logísticas, que brinden salud y bienestar a las familias ecuatorianas, esta empresa maneja bombas de infusión inteligentes como parte de sus servicios las cuales tienen posibilidades de conexión mediante IoT-MD costosas que no se encuentran implementadas.”

(QUIFATEX, 2019).

En el Ecuador los hospitales presentan una escasa operabilidad de la Industria 4.0 especialmente enfocada a IoT-MD y e-Health o Salud 4.0 dentro de su sistema de atención hospitalaria, hecho que retrasa el desarrollo del país y reduce sus niveles de calidad de atención médica dentro de los estándares internacionales.

En la actualidad la competencia entre las empresas es muy fuerte ya que el mundo del comercio se ha vuelto más competitivo, la empresa QUIFATEX está al tanto de la importancia de las normativas actuales del manejo y gestión de alarmas de enfermería por lo que para poder ofrecer un servicio de calidad y seguir siendo un referente socio estratégico busca la aplicación de un sistema que lleve a las bombas de infusión que prestan servicios de parte de la empresa, a formar parte de la industria 4.0 con una baja inversión, enfocada a la conectividad de estos equipos médicos a la red.

“ Cuando se habla de (IoT-MD) Internet of Medical Things, se considera un mercado que pasaría de valer 41 mil millones de dólares, en 2017, a 158 mil millones en 2022, el IoT estaba creciendo a un ritmo anual del 10% y se proyectaba un 13% para el 2020, pero el covid-19 se ha interpuesto en los pronósticos de todos y su impacto todavía está por verse”.(Hernández, 2020).

Según (Alegría, 2020):

“Se estima que el valor del IoT médico en el mundo alcance los 52,2 mil millones de dólares solo a la parte de segmento de dispositivos médicos, para el año 2022.

El autor (Diaz, 2020), nos muestra un ranking:

“En la figura 1, muestra un ranking de las empresas líderes del sector de tecnología médica a nivel mundial en 2017 y 2024, según el gasto en investigación y desarrollo. “

“El costo aproximado de una bomba de infusión de un canal con las siguientes características: Bibliotecas de medicamentos configurables, identificador problemas y tendencias en la administración de infusiones, recopilación de datos por cable o inalámbrica, generación de informes, conectividad inalámbrica o por cable, memoria

extendida para aumentar el almacenamiento de datos, software de seguridad de medicamentos, alertas clínicas, despliegue y monitoreo de las configuraciones de la biblioteca de fármacos, las actualizaciones del firmware. proporciona informes clínicos, informáticos y biomédicos, empleo bases de datos, sistemas y protocolos estándar de la industria. Tiene un precio de 1395 dólares”. (BIOMEDIX.MEDICAL.INC, 2020), mientras que un software de funcionamiento implementado en un equipo médico con las siguientes características: monitoreo, disco virtual, almacenamiento de archivos, gestión documental, edición de datos en lote, apis de integración, real time, manual de ayuda en línea y perfiles de usuarios, tiene un costo mensual de 995 dólares en un plan corporativo, por 15 dispositivos que usen el sistema, adicionalmente por 95 dólares mensuales una API de Big Data, (fracctal, 2020), es decir por un total de 1090 dólares al mes por 15 bombas de infusión. QUIFATEX, al ser una empresa que trabaja en Hospitales a nivel Nacional busca implementar en varios dispositivos médicos el sistema IoT.

1.3. Objetivos

1.3.1. 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.

1.3.2. 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.

1.4. Justificación e importancia

Desde el 17 de marzo del 2020, cuando inicio la emergencia sanitaria dentro del país, el sector salud se encuentra mucho más comprometido con el bienestar del Ecuador, la medicina, las estrategias de atención oportuna y la necesidad de aplicación de herramientas tecnológicas en este sector han ido incrementando, y han demostrado que los hospitales requieren estar a la vanguardia tecnológica para brindar un servicio más eficaz y rápido en la organización y gestión de recursos existentes en el país.

La implementación de este trabajo de titulación se justifica en que aportará a fortalecer la integración de tecnologías y herramientas que tiene el país para cumplir objetivos de atención de calidad dentro del sistema de salud enfocado al monitoreo de bombas de infusión del área de enfermería.

Los cambios que se realizarán permitirán al sector salud ingresar al proceso para llegar a ser hospitales inteligentes gracias a IoT-MD y aplicación de la Salud 4.0 en el país con la posibilidad de reducir costos en los procesos médicos.

Este proyecto de tesis aspira realizar la implementación de este prototipo considerando una inversión baja para la empresa QUIFATEX que requiere la aplicación de esta tecnología en su desempeño laboral.

El sistema de software abierto permitirá llevar un registro de monitoreo de alarmas sin recurrir a los proveedores pagados, brindando atención rápida a los usuarios o generando posibilidades para mejorar y brindar un mejor servicio.

El sistema al ser portable le permitirá una mayor adaptabilidad en su uso para ser parte de una solución comercial.

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.

1.5. 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.

1.6. Variables de investigación

1.6.1. Variable Independiente

Implementación de un prototipo de bajo costo.

1.6.2. *Variable Dependiente*

Monitoreo de las bombas de infusión.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Salud 4.0

“Para conceptualizar la Salud.0 se debe incluir la definición de la transformación digital por la que atraviesa la industria de la salud, que es una definición centrada en el paciente. La forma en que entendemos este concepto está cambiando lentamente a medida que entendemos la salud, los productos y servicios que los actores de la industria están desarrollando, ahora más enfocados en abordar las necesidades de los pacientes y usuarios, se necesitará más personalización, sus modelos comerciales y nuevas capacidades a medida que la tecnología está atada. para la salud. Las empresas ya han comenzado a responder a este cambio, basta ver el crecimiento de nuevas empresas en el rubro en los últimos años. La tecnología es el vehículo de esta transformación, pero su base son los datos. Las empresas que desarrollan productos y servicios relacionados con la salud ya son empresas de datos y, por lo tanto, empresas con un fuerte espíritu tecnológico.” (Savirón, 2020):

2.2. Aplicaciones de la Industria 4.0 en hospitales.

“En la actualidad las tecnologías e incluso la propia filosofía de la Industria 4.0 pueden ser aplicadas a sectores no industriales. Un hospital es un entorno complejo. Ninguna industria tiene el grado de exigencia y, al mismo tiempo, el grado de complejidad que tiene un hospital con numerosos departamentos distintos, requerimientos distintos, todos igual de complejos, un mantenimiento muy exigente e infinidad de protocolos y procedimientos diferentes. Todo ello debe funcionar de forma coordinada, eficaz, con criterios de excelencia en cuanto a calidad y con el menor coste posible”. (Norlean, 2019).

Es importante recordar que: “Los pacientes ingresados están monitorizados con sistemas electrónicos: sensores cardíacos, medidores de saturación de oxígeno en sangre, bombas de infusión intravenosa inteligentes (smartpumps), sensores de presión arterial.” Norlean (2019) en diferentes aspectos dentro de un hospital, destacando características tecnológicas, por ejemplo, según el mismo autor, en áreas como:

“Automatización, áreas como el laboratorio central de análisis de un hospital disponen de tecnología en la que la mayoría de procesos se realizan de forma automática. Robótica, los robots quirúrgicos en los que el cirujano que los controla está sentado frente a una consola de control ya están presentes en muchos quirófanos. Conectividad, los hospitales disponen de un sistema denominado PDMS (Patient Data Management System), es una red de recogida y procesamiento de datos, lo que permite desde la recepción de alarmas a distancia a la identificación correcta (usualmente mediante códigos de barras o QR) de la medicación prescrita electrónicamente, la gestión de las historias clínicas, restricciones en la dieta y, en definitiva, de todos los datos generados por el paciente antes, durante y después de su estancia en el hospital. Big Data, la cantidad de datos que se acumulan en las historias clínicas de millones de pacientes del sistema sanitario son una fuente de información valiosa para la prevención y la mejora del tratamiento de las enfermedades. El cruce y la explotación de datos a gran escala ya están dando resultados en campos como la tipificación de tumores cancerosos para optimizar el tratamiento y mejorar las expectativas de curación del paciente. Machine Learning e Inteligencia Artificial, tanto el campo del diagnóstico por imagen (radiología digital, TAC, imagen por resonancia magnética, PET, etc) como en aquellos tratamientos que requieren de uso intensivo de tecnología (como la radioterapia) los equipos más avanzados ya incorporan algoritmos que les permiten

aprender de la experiencia, algo que resulta de vital importancia para el reconocimiento de las imágenes obtenidas y su diagnóstico rápido”. Norlean (2019).

2.3. Bombas de infusión

2.3.1. Bomba de infusión Hospira Plum A+

El manual de usuario del dispositivo se define a estos equipos como:

“Sistemas de infusión volumétrica diseñados para satisfacer los requisitos de administración de fluidos de los entornos sanitarios actuales. Tiene un sistema de infusión de multifunción. Cada bomba puede utilizarse para la administración estándar, a la vez, o simultánea, esta diseñadas para administrar infusiones parenterales, parenteral, enteral o epidural en una amplia gama de velocidades de infusión de infusión desde múltiples tipos de contenedores de fluidos.” (Hospira MedNet, 2015) . El dispositivo se lo puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Bomba de infusión Plum A+



Nota. Ilustración del modelo de bomba de infusión Plum A+ de marca Hospira. Tomada de (Hospifarmacia, 2018).

Descripción del producto. Las características principales de este sistema incluyen:

“Un módulo de bombeo (infusor) y un surtido de juegos intravenosos desechables (set), accesorios opcionales y este manual. Un módulo periférico Connectivity Engine que proporciona Ethernet por cable y área local inalámbrica 802.11 a/b/g de área local para que la aplicación software en red Hospira Mednet descargue bibliotecas de medicamentos al infusor y habilitar la función de auto programación. Los accesorios conectados a las interfaces analógica y digital deben estar certificados según las normas IEC (por ejemplo, IEC 60950 para equipos de procesamiento de datos y IEC 60601-1 para equipos médicos).” Hospira MedNet (2015).

Especificaciones del producto. En el manual de Hospira MedNet (2015) se encuentran las especificaciones eléctricas, físicas, conectividad, ambiente y alarmas detalladas en las tablas de la 1 a la 5.

Tabla 1

Características físicas Plum A+

Físicas	
Dimensiones	“Aproximadamente 8" X 8" X 6", excluyendo la protuberancia de la abrazadera del poste y el almacenamiento del cable de alimentación.” MedNet. (2015).

Físicas	
Peso	“Aproximadamente 9,5 lbs. con batería.” Hospira MedNet. (2015).
Carcasa	“Plástico de alto impacto” MedNet. (2015). Hospira MedNet. (2015).

Nota. Especificaciones físicas de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario MedNet. (2015). La tabla describe las dimensiones, pesos y material de la bomba de infusión, para consideraciones de diseño.

Tabla 2

Características eléctricas Plum A+

Eléctricas	
Requerimientos de alimentación	“100-120V, 50-60 Hz, 50 VA. Cumple con la norma UL 60601-1.” Hospira MedNet. (2015).
Fusibles	“Internos y no reemplazables” MedNet. (2015).
Cable de alimentación	“Cable de CA de grado hospitalario. 10 pies de largo, con enchufe transparente y placa de retención.” Hospira MedNet. (2015).

Eléctricas

Batería	<p>“Una batería sellada, de plomo-ácido, recargable 6 V, interna al dispositivo”</p> <p>Hospira MedNet. (2015).</p>
Duración de la batería:	<p>“Con una batería nueva completamente cargada, el infusor funciona durante un mínimo de tres horas a 125 mL/hr o menos, o entrega 250 mL si > 126 mL/hr. (El tiempo se mide desde el bombeo inicial hasta la alarma de batería Alarma de batería agotada)” Hospira MedNet. (2015).</p>
Recarga:	<p>“La batería se carga siempre que el infusor esté conectado a la red eléctrica. El tiempo de recarga es de aproximadamente seis horas con el dispositivo funcionando a 125 mL/h en una línea” Hospira MedNet. (2015).</p>

Eléctricas	
Fugas eléctricas:	<p>“Cumple la norma IEC 60601-1: Equipos médicos electrónicos Médico Electrónico, Parte 1: Requisitos generales de Seguridad.</p> <p>La alarma NURSE-CALL viene ajustada de fábrica para ser normalmente abierta (NO).” Hospira MedNet. (2015).</p>
Sistema NURSE-CALL:	<p>“Póngase en contacto con el Centro de Servicios Técnicos para realizar un ajuste interno para cambiar el dispositivo de Normalmente Abierto (NO) a Normalmente Cerrado (NC) Sistema.”. Hospira MedNet. (2015).</p>
Capacidades de los circuitos:	<p>“Voltaje-30 VDC Max. Corriente: 0,25 amperios máx. Capacidad de contacto: 3 vatios máx.” Hospira MedNet. (2015).</p>

Nota. Especificaciones eléctricas de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario MedNet. (2015). La tabla describe los requerimientos eléctricos para el uso del equipo, para consideraciones de diseño.

Tabla 3*Características de conectividad Plum A+*

Módulo de actualización de la LAN inalámbrica	
Nombre del dispositivo	“Hospira MedNet 802.11 a/b/g Wireless (Upgrade) Module.” Hospira MedNet. (2015).
Normas	“IEEE802.11a/b/g” Hospira MedNet. (2015).
Potencia de transmisión	“802.11 b/g- 17 dBm 802.11 a- 16 dBm” Hospira MedNet. (2015).
Antena	“Antena de montaje en superficie integrada” Hospira MedNet. (2015).
Certificaciones	“FCC Part 15.247, 15.407 IC RSS-210, RSS-102” Hospira MedNet. (2015).
Este dispositivo Contiene	“FCC ID: STJ80411396001 IC: 5627A- 80411396 Model: CUSTOM DWL-AG132” Hospira MedNet. (2015).

Nota. Especificaciones de conectividad de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario MedNet. (2015). La tabla detalla características del tipo de conexión que tiene la bomba de infusión a la red, para consideraciones de diseño.

Tabla 4*Características ambientales Plum A+*

Ambiente	
Temperatura de funcionamiento	5° to 40° C
Temperatura de almacenamiento	-20° to 60° C
Presión atmosférica	0 - 10.000 pies (0 - 3.000m) o equivalente presión
Humedad relativa	10 - 90% (40° C Max)

Nota. Especificaciones ambientales de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario MedNet. (2015). La tabla describe temperatura y humedad requeridas del equipo, para consideraciones de diseño.

Tabla 5*Alarmas Plum A+.*

Alarma y límites de oclusión	
	La alarma de OCCLUSIÓN DISTAL
Oclusión Distal:	suenan después de la tubería distal o el accesorio de salida del set se ocluye.
	La alarma de OCCLUSIÓN PROXIMAL
“Oclusión proximal:”	suenan si la tubería proximal al casete se ocluye.

Alarma y límites de oclusión

Hospira MedNet.

(2015).

“Límite de presión distal (sin alarma)” Hospira

MedNet. (2015).

Infusión máxima

Presión

1 a 15 psig. La presión máxima es seleccionable por el usuario. El ajuste de fábrica es de 6 psig.

20 psig

Nota. Especificaciones del tipo de alarmas de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario MedNet. (2015). La tabla describe en qué casos suena una alarma, para consideraciones de diseño.

2.3.2. Bomba de infusión Hospira Plum 360

El manual de usuario del dispositivo se define a estos equipos como:

“Es un infusor de gran capacidad apto para la administración de fluidos en diferentes terapias, como infusiones parenterales, enterales o epidurales. Puede administrar fluidos con un amplio rango de velocidades de infusión, cuenta con un diseño innovador que automatiza muchos de los aspectos de las infusiones simultáneas, secundarias y alternativas. Un casete con válvula de presión positiva permite administrar cada una de las líneas a velocidades independientes. El volumen a infundir (VAI) se administra mediante una línea al paciente. Las dos líneas se pueden administrar en el modo Simultáneo (juntas) o en el modo Alternativo (una después de la otra). ”(icumedical, 2018). El dispositivo se lo puede observar en la figura 2.

Figura 2

Bomba de infusión Plum 360



Nota. Ilustración del modelo de bomba de infusión Plum A+ de marca Hospira. Tomada de (Soma Technology, 2018).

Descripción del producto. Las características principales que posee este sistema incluyen:

“El propio infusor (módulo de bombeo) y un módulo periférico de motor de conectividad (módulo CE) anexo. El módulo CE ofrece conectividad de red de área local sin cables 802.11 a/b/g/n y mediante cable Ethernet. Esto permite al infusor conectarse a la red del centro y comunicarse con el software de aplicación en red ICU Medical MedNet opcional para descargar bibliotecas de software y farmacotecas, así como habilitar características de programación automática. También hay accesorios opcionales disponibles. En cada infusión se requiere un equipo de administración Plum desechable de un solo uso. Cada equipo de administración incluye un casete exclusivo que funciona con el mecanismo de infusión del infusor para ofrecer una administración de fluido y una gestión del aire precisas.” icumedical (2018).

Especificaciones del producto. En el manual de operación de la bomba de infusión Plum 360 de icumedical (2018) se encuentran las especificaciones eléctricas, físicas, detalladas en las tablas de 6-10.

Tabla 6

Características físicas Plum 360.

Físicas	
Dimensiones:	“Aproximadamente 8" altura x 8" anchura x 6" profundidad (20 cm de altura x 20 cm de anchura x 15 cm de profundidad), excluyendo estructura de pinza de sujeción y el almacenamiento del cable de alimentación.” icumedical (2018).
Peso:	“Aproximadamente 4,5 kg. (10 libras) con la batería” icumedical (2018).
Carcasa:	“Plástico a prueba de impactos fuertes” icumedical (2018).
Vida de servicio prevista:	“10 años” icumedical (2018).

Nota. Especificaciones físicas de la bomba de infusión Plum 360. Tomada del manual de usuario icumedical (2018). La tabla describe las dimensiones, pesos y material de la bomba de infusión, para consideraciones de diseño.

Tabla 7*Características eléctricas Plum 360.*

Eléctricas	
	“100 - 120 VCA; 50-60 Hz; 50 VA
Requisitos de alimentación	(30010-88) 220 - 240 VCA; 50-60 Hz; 50 VA (30010-11, 30010-22, 30010-34, 30010-78)” icumedical (2018).
Cable de alimentación:	“Cable CA de uso hospitalario. 3,05 m (10 pies) de longitud, con enchufe transparente y placa de retención” icumedical (2018).
Fusibles:	“Internos, no recambiables” icumedical (2018).
Fugas eléctricas:	“Cumple con la norma IEC 60601-1:2012: equipos médicos electrónicos, Parte 1: Requisitos generales de seguridad básica y rendimiento esencial.” icumedical (2018).
Batería:	“Una batería sellada, con ácido de plomo, recargable. Batería de 6 V, interna en el dispositivo” icumedical (2018).

Eléctricas	
Funcionamiento de la batería	“El tiempo de funcionamiento típico con una batería nueva y totalmente cargada es de 7 horas cuando se infunde a 25 ml/h y 4 horas a 999 ml/h.” icumedical (2018).
Carga:	“La batería se carga siempre que el infusor esté conectado a una red de alimentación eléctrica (suministro) CA. El tiempo de carga es de hasta 8 horas como máximo cuando el dispositivo funciona a una velocidad de 125 ml/h en una sola línea.” icumedical (2018).
Interfaz de llamada a enfermería:	“La interfaz de llamada a enfermera está configurada de fábrica en estado activo como Abierta normalmente (NO, «normally open»).” icumedical (2018).
Llamada a enfermería Valores del sistema de circuitos:	“Voltaje: 30 V DC” icumedical (2018). “Potencia máxima: 1 Amp” icumedical (2018).

Nota. Especificaciones eléctricas de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario icumedical (2018). La tabla describe los requerimientos eléctricos para el uso del equipo, para consideraciones de diseño.

Tabla 8

Características de conectividad. Plum 360

Motor de conectividad (Connectivity Engine)	
Características inalámbricas:	“IEEE 802.11 a/b/g/n” icumedical (2018).
Radio tecnología:	“802.11a: División de frecuencia ortogonal Múltiple 802.11b: Espectro ensanchado por secuencia directa 802.11g: División de frecuencia ortogonal Múltiple 802.11n: División de frecuencia ortogonal Múltiple” icumedical (2018).
Velocidad de transferencia de datos:	“802.11a: Hasta 54 Mbps 802.11b: Hasta 11 Mbps 802.11g: Hasta 54 Mbps 802.11n: Hasta 72,2 Mbps (Banda de frecuencia 2,4 GHz) 802.11n: Hasta 72,2 Mbps (Banda de frecuencia 5,0 GHz, canal 20 MHz) 802.11n: Hasta 150 Mbps (Banda de frecuencia 5,0 GHz, canal 40 MHz).” icumedical (2018).

Motor de conectividad (Connectivity Engine)

Banda de frecuencia IEEE 802.11a:	5,0 GHz
802.11b:	2,4 GHz
802.11g:	2,4 GHz
802.11n:	2,4 GHz, 5,0 GHz
802.11b:	GHz "icumedical (2018).
Potencia de transmisión:	"802.11a: +16 dBm (máx.) 802.11b: +15 dBm (máx.) 802.11g: +15 dBm (máx.) 802.11n: +14,5 dBm (máx.) @ 2,4 GHz +16 dBm (máx.) @ 5 GHz" icumedical (2018).
Antena:	"Antena PCB instalada en la carcasa del infusor" icumedical (2018).
LAN Ethernet:	"Cable Ethernet protegido enchufado a un Conector RJ-45" icumedical (2018).
Protocolo Ethernet:	"Servidor DHCP, dirección IP asignada, máscara de subred, puerta de enlace y DNS" icumedical (2018).
Certificaciones:	"FCC Partes 15.247, 15.407 IC RSS-210, RSS-102 ID FCC: STJ-SDMAN Número de CI: 5627A-SDMAN" icumedical (2018).

Nota. Especificaciones de conectividad de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario icumedical (2018). La tabla detalla características del tipo de conexión que tiene la bomba de infusión a la red, para consideraciones de diseño.

Tabla 9*Características ambientales Plum 360*

Características medioambientales	
Temperatura de funcionamiento:	“De 5°C a 40 °C (de 41°F a 104 °F)” icumedical (2018).
Temperatura de almacenamiento	“De -20°C a 40°C (de -5°F a 104°F)” icumedical (2018).
Presión atmosférica:	“0 a 10 000 pies (0 a 3000 m) o presión equivalente.” icumedical (2018).
Humedad relativa	“De 10 % a 90 % (punto de condensación máximo de 30°C)” icumedical (2018).

Nota. Especificaciones ambientales de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario icumedical (2018).. La tabla describe temperatura y humedad requeridas del equipo, para consideraciones de diseño.

Tabla 10*Alarmas Plum 360.*

Alarma y límites de oclusión	
Oclusión Distal:	“La alarma de OCLUSIÓN DISTAL suena cuando se obstruye el tubo o el ajuste de la descarga del

Alarma y límites de oclusión

equipo distal o se produce el vacío.” icumedical (2018).

Oclusión proximal: “La alarma de OCLUSIÓN PROXIMAL suena cuando el tubo proximal al casete se obstruye o recibe una presión excesiva.” icumedical (2018).

Límite de presión: “Límite de presión máximo: seleccionable por el usuario. Valores de configuración predeterminados de fábrica: 6 psi (310 mmHg).

distal (sin alarma) Rango seleccionable: 1 a 15 psi (52 a 776 mmHg) con precisión de ± 3 psi (± 155 mmHg)” icumedical (2018).

Infusión máxima: “20 psi (1034 mmHg)” icumedical (2018).

Presión

Nota. Especificaciones del tipo de alarmas de la bomba de infusión Plum A+. Tomada del manual de usuario icumedical (2018). La tabla describe en qué casos suena una alarma, para consideraciones de diseño.

2.4. Sistema de adquisición de datos

2.4.1. Raspberry Pi

“Es una placa computadora (SBC) de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI (Universidad de Cambridge) en 2011, con el objetivo de estimular la

enseñanza de la informática en las escuelas, aunque no empezó su comercialización hasta el año 2012. El concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal.” (Contreras, 2013)

Raspberry Pi 4. El Raspberry Pi 4 Modelo B también conocido como Pi4B es considerado como:

“El primero de una nueva generación de ordenadores que soporta más memoria RAM, un rendimiento CPU, GPU y E/S mejorado; con a una potencia y un coste similar a la Raspberry Pi3B+. Disponible con 1, 2 y 4 gigabytes de SDRAM LPDDR4 “. (Raspberry, 2019). Su imagen se puede vializar en la figura 3.

Figura 3

Raspberry Pi4



Nota: Ilustración del dispositivo Raspberry Pi4. Tomada de (Laserlicht, 2019)

Información técnica. Dentro de sus datos principales se tiene que:

“La Raspberry Pi 4 incorpora un procesador Broadcom BCM2711 con arquitecturas de 64 bits y una velocidad del procesador de 1.5GHz. Tiene un bus PCIe que interconecta los puertos USB, tanto puertos USB 2.0 como USV 3.0. Posee un

controlador de Ethernet nativo y dedicado lo cual permite obtener más de 900Mbps reales en la red local, lo que no era posible con modelos anteriores por el bus compartido que tenía. Este nuevo modelo incorpora un puerto Gigabit Ethernet nativo, lo que permite conseguir velocidades de lectura y escritura de más de 100MB/s y más de 900Mbps en la red local sin problemas.” (De Luz, 2019),

Alimentación. La documentación Raspberry (2019). Indica que

“La nueva Raspberry Pi 4 necesita de una potencia de 15W para funcionar sin ningún problema, sus principales tipos de alimentación se describen en la siguiente tabla. “

Tabla 11 *Alimentación Raspberry Pi 4.*

Tipo de alimentación	Descripción
	Necesita de una fuente de alimentación capaz de proporcionar una tensión de 5V o 5,1V, y una intensidad de corriente de 3A.
Puerto USB tipo C	Según (Raspberry, 2019), basta una fuente de alimentación de 2,5A evitando la conexión de discos duros externos que necesiten alimentación (0,5A) en los puertos USB.
PoE HAT	La alimentación a través del estándar PoE se realiza con un cable de red, proporcionándole alimentación vía switch PoE o inyector PoE.

Tipo de alimentación	Descripción
GPIO	Este tipo de alimentación requiere de 3A de intensidad de corriente.

Nota. Descripción del tipo de alimentación de Raspberry Pi 4. Tomada de Raspberry (2019). La tabla describe las posibilidades de conexión del dispositivo.

Conectividad inalámbrica. La conectividad de este dispositivo indica que:

“Dispone de conectividad-FI con los estándares 802.11b/g/n/ac y también Bluetooth 5.0 con BLE. Esta Raspberry Pi tiene dos puertos micro HDMI 2.0, jacks 3,5mm para salida de audio y también para vídeo, un slot para tarjetas micro SD para instalar el sistema operativo, un puerto para cámara (2-lane MIPI CSI) y también un puerto para display (2-lane MIPI DSI). También contiene los pines GPIO.” De Luz (2019)

Interfaz GPIO. La flexibilidad de puertos entradas y salidas describen que:

“La Pi4B pone a disposición 28 GPIOs BCM2711 a través de un cabezal estándar de 40 pines de la Raspberry Pi. Este cabezal es compatible con todas las placas Raspberry Pi anteriores con un cabezal de 40 pines. Además de poder usarse como entradas y salidas controladas por software (con pulls programables), los pines GPIO pueden conmutarse (multiplexarse) en otros modos respaldados por bloques periféricos dedicados como I2C, UART y SPI. Además de las opciones de periféricos estándar que se encuentran en los Pis heredados, se han añadido periféricos adicionales I2C, UART y SPI se han añadido al chip BCM2711 y están disponibles como opciones adicionales de mux en el Pi4. Esto ofrece a los usuarios mucha más

flexibilidad a la hora de conectar hardware adicional en comparación con los modelos más antiguos” De Luz (2019)

2.5. Sistemas distribuidos

“Un sistema distribuido es un sistema de software cuyos componentes están separados físicamente y conectados entre sí por una red de computadoras. Dichos componentes interactúan entre ellos para lograr una meta común. Las tres características principales de un sistema distribuido son: concurrencia de componentes que indica que estos pueden ejecutar sus acciones de manera concurrente e independiente, no hay un reloj global, es decir, los componentes (nodos) de un sistema distribuido no dependen de un reloj que sincronice o indique las acciones de los distintos nodos y por último falla independiente de componentes, que indica que la falla de un componente no afecta al resto de los componentes.” (Ramírez 2015)

Es importante tomar en cuenta que:

“La diferencia más importante entre un sistema distribuido y un sistema con un procesador es la comunicación entre procesos es que en un sistema con un procesador se supone la existencia de una memoria compartida, lo cual no existe en un sistema distribuido. La comunicación entre procesos debe respetar reglas llamadas protocolos.” (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2014).

2.5.1. Protocolos

“Otros de los aspectos más importantes de los Sistemas Distribuidos son los protocolos de comunicación, estos son un conjunto de reglas y formatos que se utilizan para la comunicación entre procesos que realizan una determinada tarea. La finalidad de los protocolos es permitir que componentes heterogéneos de sistemas distribuidos

puedan desarrollarse independientemente, y por medio de las capas que componen el protocolo, exista una comunicación transparente entre ambos componentes, estas capas del protocolo deben presentarse tanto en el receptor como en el emisor.”

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (2014).

Los protocolos más utilizados dentro de sistemas distribuidos son:

“IP: Protocolo de Internet. - Protocolo de la capa de Red, que define la unidad básica de transferencia de datos y se encarga del direccionamiento de la información, para que llegue a su destino en la red. TCP: Protocolo de Control de Transmisión. - Protocolo de la capa de Transporte, que divide y ordena la información a transportar en paquetes de menor tamaño para su envío y recepción. HTTP: Protocolo de Transferencia de Hipertexto. - Protocolo de la capa de aplicación, que permite el servicio de transferencia de páginas de hipertexto entre el cliente Web y los servidores.”

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (2014)

2.5.2. Modelo OSI

“Estandariza la manera en la que los componentes en una comunicación de red deben interactuar entre sí. La capa 1 (física), define las especificaciones eléctricas y físicas de la conexión, es responsable de la transmisión y recepción de datos brutos no estructurados, la capa 2 (enlace de datos), esta proporciona transferencia de nodo a nodo, un enlace entre dos nodos conectados directamente. Maneja el empaquetado y desempaquetado de datos, la capa 3 (red), esta maneja el enrutamiento de paquetes a través de funciones de conmutación y direccionamiento lógico. Cuando un nodo necesita transferir un mensaje a otros nodos, simplemente puede proporcionar el mensaje y la dirección de destino, la capa 4 (transporte) proporciona las funciones y los

medios para transferir secuencias de datos desde una fuente a un host de destino a través de una o más redes, la capa 5 (sesión), controla los diálogos (conexiones) entre computadoras. Establece y maneja las funciones de autenticación y autorización. la capa 6 (presentación) verifica los datos para asegurarse de que sean compatibles con los recursos de comunicaciones. Traduce los datos y también maneja cualquier formato de datos necesario o conversión de código, la capa 7 (aplicación), interactúa directamente con las aplicaciones de software y es la más cercana a los usuarios finales.” (FS.company, 2021).

2.5.3. Modelo TCP/IP

“El modelo TCP/IP solamente tiene cuatro capas y es conocido generalmente como TCP/IP, ya que estos son sus dos protocolos más importantes. La capa de acceso a la red es responsable de colocar los paquetes TCP/IP en el portador de datos de la red y recibir los paquetes TCP/IP situados fuera del mismo. El protocolo TCP/IP está diseñado para ser independiente del método de acceso a la red, el formato de la trama de red y el portador. Este protocolo es independiente de cualquier tecnología de red específica, lo que hace que este se pueda utilizar para conectar diferentes tipos de red, como Ethernet, Token Ring y Modo de transferencia asíncrono (ATM). La segunda capa llamada de red es responsable de las funciones de direccionamiento, empaquetado y enrutamiento del host. Los protocolos centrales de la capa de Internet son IP, Protocolo de resolución de direcciones (ARP), entre otras, en esta capa, el IP agrega la cabecera a los paquetes, lo que se conoce como dirección IP. La capa de transporte se encarga de proporcionar comunicación de sesión y datagrama a la capa de aplicación de servicios. Los protocolos principales de esta capa son TCP y UDP. TCP proporciona un servicio de comunicaciones individual, fiable y orientado a la

conexión. La capa de aplicación del modelo TCP/IP ofrece a las aplicaciones la capacidad de acceder a los servicios de las otras capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. Los protocolos de la capa de aplicación más conocidos son HTTP, FTP, SMTP, Telnet, DNS, SNMP y el Protocolo de información de enrutamiento (RIP).” FS.company (2021).

2.6. Plataformas de desarrollo de la aplicación.

2.6.1. Base de datos SQL y NoSQL.

Según (Mendoza, 2017),

“Existen varios aspectos para comparar bases de datos relacionales y no relacionales, entre ellos se encuentran”:

“**Integridad de datos.** Es la garantía de que los datos almacenados mantendrán su exactitud y consistencia a través del tiempo. En la tabla 12, se describe la integridad de cada base de datos.” (Mendoza, 2017).

Tabla 12

Integridad SQL y NoSQL

SQL	NoSQL
“Las tablas tienen estructuras rígidas. Cada dato tiene un tipo definido y no se puede almacenar más de un dato en un mismo campo. Todos los registros cumplen las mismas reglas, si el código funciona con un solo registro, servirá con todos los demás.	No exige definir el tipo de datos a almacenar. Un campo puede ser un número y luego pasar a ser un string o array. La prioridad se basa en cómo acceder a la data.

SQL	NoSQL
<p>Aplicable para datos que requieran mantenerse exactos y consistentes a través del tiempo. Ideal en sistemas intolerantes a las fallas, por ejemplo, software bancario y empresarial. No adecuado para prototipos o lanzamiento temprano de una app, con datos maleables.” (Mendoza, 2017),</p>	

Nota. Cuadro comparativo de la integridad de las bases de datos SQL y No SQL.

Tomado de (Mendoza, 2017),

“Operaciones atómicas. Son aquellos cambios que al realizarse afectan a múltiples entidades de la base de datos al mismo tiempo. Esto suele acompañarse con el concepto de “transacciones”. Las transacciones comunican a la BD de un cambio en todas las tablas al mismo tiempo, o ningún cambio y la base de datos queda intacta (el famoso “rollback”, todo o nada).” (Mendoza, 2017),

“La atomicidad no es barata para la máquina, consume capacidad de procesamiento y afecta el rendimiento de la base de datos, es más lenta a diferencia de NoSQL, con una velocidad de respuesta mayor, pero in dar prioridad a la consistencia de datos. En la tabla 13, se puede apreciar la comparación entre ambas bases de datos.” (Mendoza, 2017).

Tabla 13

Operaciones atómicas SQL y NoSQL.

SQL	NoSQL
“Tienen atomicidad gracias a que sus tablas están conectadas y pueden rechazar cambios nuevos hasta que termine una transacción.” (Mendoza, 2017),	“Datos no relacionales, es decir no existen relaciones sobre las que hacer una transacción atómica.” (Mendoza, 2017),
“No aconsejable para operaciones donde se necesite cambiar datos de varias entidades al mismo tiempo.” (Mendoza, 2017),	“Para realizar un cambio en varias entidades diferentes habrá una llamada diferente a la base de datos una detrás de otra.” (Mendoza, 2017),
“Aplicable para operaciones como procesar una factura, donde se suelen actualizar varias entidades.” (Mendoza, 2017)	“Existe un alto riesgo de tener un “race condition”, 2 clientes queriendo tener una versión diferente del mismo dato.” (Mendoza, 2017),

Nota. Cuadro comparativo de operaciones atómicas de las bases de datos SQL y No SQL. Tomado de (Mendoza, 2017),

“**Escalabilidad.** Es la capacidad de crecimiento de la base de datos, se refiere a la cantidad de registros que se pueden almacenar antes que la BD empiece a dar problemas.” (Mendoza, 2017),

“**Escalabilidad vertical.** Es el poder de una máquina para que pueda aguantar una mayor cantidad de datos.” (Mendoza, 2017),

“**En la escalabilidad horizontal.** Se refiere a el número de máquinas diferentes que se puede usar para dividir la BD, para repartir la carga.” (Mendoza, 2017)

“Las bases de datos relacionales ya vienen equipadas para crecer verticalmente, suficiente para el desarrollo de empresas pequeñas y grandes, proyectos personales, blogs entre otros, mientras se mantenga una maquina con la capacidad requerida.” (Mendoza, 2017),

En la tabla 14 se puede visualizar una comparación de las características de estas bases de datos en función de su escalabilidad.

Tabla 14

Escalabilidad SQL y NoSQL.

SQL	NoSQL
“Alto soporte de escala vertical” (Mendoza, 2017),	“Al no tener consistencia de datos como prioridad, distribuir y replicar la base de datos en múltiples máquinas es intrascendente.”
“No adecuado para mantener la información de la base de datos consistente para todos los usuarios, al hablar de miles y millones de	(Mendoza, 2017),

SQL	NoSQL
registros, pues aún con una máquina muy potente, se requiere dividir la base de datos entre diferentes procesadores y hasta servidores.” (Mendoza, 2017),	“Excelente para bases de datos que necesitan escalar horizontalmente (por ejemplo, en Big Data, donde una sola máquina se queda corta sumamente rápido).” (Mendoza, 2017),
“Microsoft lleva años trabajando con SQL, pero tiene un alto costo económico y de procesamiento.” (Mendoza, 2017),	
“Tiene riesgo de presentar inconsistencias, pues la BD debe revisar que todo esté en orden a través de diferentes máquinas.” (Mendoza,	
2017),	

Nota. Cuadro comparativo de la escalabilidad de las bases de datos SQL y No SQL.

Tomado de (Mendoza, 2017),

“**Velocidad.** Se refiere a que tan rápidas son las lecturas y escrituras a la BD, es una necesidad básica, un ejemplo es Realtime Database de Firebase que sincroniza datos en milisegundos.”

Ambos modelos se pueden optimizar hasta obtener un rendimiento aceptable, pero en NoSQL se puede diseñar la base de datos en función de las consultas dándole una ventaja muy grande. Sus características se pueden observar en la tabla 15.

Tabla 15

Velocidad SQL y NoSQL.

SQL	NoSQL
“Al tener relaciones entre entidades existe un riesgo de utilizar “joins”, para hacer consultas de múltiples entidades y la búsqueda puede tardar minutos y hasta horas debido a la gran cantidad de datos que está revisando.” (Mendoza, 2017),	“Las bases de datos no relacionales cuentan con mecanismos de búsqueda sumamente rápida para conseguir un dato específico entre millones.” (Mendoza, 2017),

Nota. Cuadro comparativo de la velocidad de las bases de datos SQL y No SQL.

Tomado de (Mendoza, 2017),

“**Consistencia y redundancia.** Son las características que definen a cada base de datos, su selección depende de su aplicación, algunas necesitan consistencia de datos, pero otras prefieren el incremento en velocidad. El espacio de almacenamiento es barato y solo se abarata más cada año, pero el procesamiento y los datos móviles son de vital importancia para los usuarios finales” (Mendoza, 2017),

La base de datos NoSQL tiene redundancia y está diseñada así para optimizar las consultas rápidas. En la tabla 16 se describe de mejor manera sus diferencias.

Tabla 16

Consistencia y redundancia SQL y NoSQL.

SQL	NoSQL
<p>“La consistencia de datos que tiene asegura que un único dato este una única vez en toda la base de datos; y se suele lograr con el proceso de “Normalización” (reducir la cantidad de datos “repetidos” en la BD).” (Mendoza, 2017),</p>	<p>“Redundancia es repetir de forma intencional los datos a conveniencia en varias partes de la BD (datos “desnormalizados”).” (Mendoza, 2017),</p>
<p>“La consistencia garantiza que, al buscar el nombre de alguien en la BD, sea el mismo para cualquier usuario, si están conectados a la misma base de datos.” (Mendoza, 2017),</p>	<p>“Si cambian los datos de una persona en la entidad de “Persona”, no necesariamente se reflejará este cambio en las otras entidades” (Mendoza, 2017),</p>

Nota. Cuadro comparativo de la redundancia y consistencia de las bases de datos SQL y No SQL. Tomado de (Mendoza, 2017),

“Comodidad para el desarrollador. Se puede decir que NoSQL tiene más facilidades y ventajas a corto plazo, mientras que los beneficios de SQL se observan con el paso del tiempo. En la tabla 17 se puede identificar las diferencias.” (Mendoza, 2017),

Tabla 17

Desarrollo SQL y NoSQL.

SQL	NoSQL
<p>“La comunidad SQL lleva décadas madurando, y esto se traduce no solo en mejores herramientas administrativas, sino en estándares mejores definidos, mayor documentación, y hasta comunidades más grandes de desarrolladores.” (Mendoza, 2017),</p>	<p>“Factores como que los datos no necesiten tipos o la redundancia, hacen más flexible el desarrollar con NoSQL.” (Mendoza, 2017),</p> <p>“Las ventajas de prototipar aplicaciones es que los cambios son más rápidos y tienen menos consecuencias.” (Mendoza, 2017),</p> <p>“Cuando se tiene el conocimiento de que datos quiere visualizar el usuario, el diseño de bases de datos</p>

SQL	NoSQL
	especializadas en servir exacta y rápidamente la información se facilita.” (Mendoza, 2017),

Nota. Cuadro comparativo de la integridad de las bases de datos SQL y No SQL.

Tomado de (Mendoza, 2017),

2.6.2. Firebase

“Es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil. Está disponible para distintas plataformas (iOS, Android y web), con lo que es más rápido trabajar en el desarrollo. Aunque fue creada en 2011 pasó a ser parte de Google en 2014, comenzando como una base de datos en tiempo real. Sin embargo, se añadieron más funciones que permitieron agrupar los SDK de productos de Google con distintos fines, facilitando su uso. Su función esencial es hacer más sencilla la creación de tanto aplicaciones webs como móviles y su desarrollo, procurando que el trabajo sea más rápido, pero sin renunciar a la calidad requerida. La base de datos Firestore y Real time son de tipo NoSQL y pueden almacenar los mismos tipos de datos y las bibliotecas cliente funcionan de manera similar. En la siguiente tabla se lista las ventajas y desventajas de cada uno.” (Lopez, Mora, 2020).

Tabla 18*Ventajas y desventajas de Firebase*

Características	Cloud Firestore	Real time Database
Modelo de datos	Almacena datos como colecciones de documentos.	Almacena datos como un gran árbol JSON.
	Los datos complejos y jerárquicos son más fáciles de organizar a escala, con sub colecciones dentro de los documentos. Necesita menos compactación de datos	Los datos complejos y jerárquicos son más difíciles de organizar a escala.
Compatibilidad sin conexión y tiempo real	Ambos tienen SDK en tiempo real centrados en dispositivos móviles y ambos admiten el almacenamiento de datos locales para las apps que funcionan sin conexión.	
Consulta	Consultas indexadas con ordenamiento y filtrado compuestos.	Consultas directas con funciones de ordenamiento y filtrado limitadas.
Escritura y transacciones	Las transacciones pueden leer y escribir datos atómicamente desde	Las transacciones son atómicas en un subárbol de datos específico.

Características	Cloud Firestore	Real time Database
	cualquier parte de la base de datos.	
Confiabilidad y rendimiento	Aloja los datos en varios centros de datos de distintas regiones, lo que garantiza una escalabilidad global y una confiabilidad sólida.	Está disponible en configuraciones regionales. Las bases de datos se limitan a la disponibilidad zonal de una región.
Escalabilidad	El escalamiento es automático. Los límites de escalamiento son de 1 millón de conexiones simultáneas y 10,000 operaciones de escritura por segundo.	El escalamiento necesita fragmentación. Escala hasta alrededor de 200,000 conexiones simultáneas y 1,000 escrituras por segundo en una misma base de datos.
Seguridad	Reglas sin formato de cascada que combinan autorización y validación.	Lenguaje de reglas en cascada que separa la autorización de la validación.
Precios	Se cobra principalmente por operaciones ejecutadas en la base de datos (lecturas,	Se cobra solo por ancho de banda y

Características	Cloud Firestore	Real time Database
	escrituras y eliminaciones) y, con una tarifa menor, por ancho de banda y almacenamiento.	almacenamiento, pero con una tarifa mayor.

Nota. Cuadro de ventajas y desventajas de Firebase Cloud Firestore y Data Real Time de Firebase. Tomado de (Lopez, Mora, 2020).

2.6.3. React

“También conocido como React.js o ReactJS, es una librería JavaScript OpenSource diseñada para crear interfaces de usuario. Ha sido concebida para facilitar el desarrollo de SPA, Single Page Applications, obteniendo un gran rendimiento y ofreciendo una forma de desarrollo más cercana a la creación de videojuegos que a la de aplicaciones. Esta librería está mantenida por Facebook, Instagram y una gran comunidad de desarrolladores independientes y corporaciones. El origen de React comienza en 2011 cuando Pete Hunt y un pequeño equipo en Facebook comienzan a crear un port de XHP, una versión de PHP que Facebook creó meses antes. XHP fue diseñada para minimizar los ataques XSS (Cross Site Scripting), permitiendo una sintaxis XML con el propósito de crear elementos HTML customizables y reusables. Pero apareció un problema no contemplado con XHP: las aplicaciones con tipología SPA requieren de un mayor número de peticiones al servidor, y XHP no conseguía resolverlo. Con esta problemática, un pequeño grupo de ingenieros de Facebook solicitó a sus jefes intentar utilizar XHP en el navegador usando JavaScript y estos les concedieron seis meses para probarlo. El resultado fue ReactJS. La tecnología desarrollada no se liberó como OpenSource hasta el año 2013.” , (Membreño, 2016)

2.6.4. GitLab

Según (Quirantes Puertas 2020) Gitlab:

“Es un servicio web de control de versiones y desarrollo de software colaborativo basado en Git, gestor de repositorios, este ofrece también alojamiento de wikis y un sistema de seguimiento de errores, todo ello publicado bajo código abierto”

2.6.5. Node js

“Es un entorno de tiempo de ejecución multiplataforma de código abierto que se basa en el motor de JavaScript de Google Chrome. Node.js se usa para desarrollar aplicaciones de red y de servidor rápidas y escalables. Las aplicaciones están escritas en JavaScript y funcionan a la perfección en el entorno de tiempo de ejecución de Node.js en Mac OS, Windows y Linux. Al usar Node.js como entorno de ejecución para el backend de una aplicación web, JavaScript se convierte en el idioma principal para toda la pila web para fines de desarrollo. Node.js posee muchas características atractivas, incluida una biblioteca rica en módulos de JavaScript, así como un modelo asíncronico y basado en eventos que hace que Node.js sea liviano y eficiente, lo cual es óptimo para aplicaciones de datos en tiempo real que necesitan ejecutarse impecablemente en diferentes dispositivos.” (Khatri 2017)

2.6.6. JavaScript

“Es un popular lenguaje de programación de scripts para añadir funcionalidades interactivas y otros contenidos web dinámicos a las páginas web. Algunos ejemplos conocidos de contenido en JavaScript son los formularios rellenables, las presentaciones de galerías de fotos y los gráficos animados. Además, JavaScript es relativamente intuitivo y fácil de aprender. Es un excelente punto de partida para

aquellos que buscan aprender más sobre el desarrollo de sitios web. JavaScript es la última capa de funcionalidad en los sitios web altamente interactivos. HTML proporciona la estructura básica de la página. CSS es el elemento de moda de tu sitio web: determina el estilo de tu sitio”. (Kinsta 2022)

2.6.7. Netlify

“Es una compañía que ofrece servicios de hosting y serverless backend para aplicaciones web y sitios web estáticos. Como la mayoría de las soluciones actuales tiene suscripciones de varios precios, pero lo mejor es que ofrecen una gratuita llamada Starter, permite: Builds automáticos desde Git, vistas previas del sitio para cada push, rollbacks instantáneos a cualquier versión, desplegar activos estáticos y funciones dinámicas sin servidor” (Román 2020).

Capítulo III

3. Diseño y Construcción

3.1. Matriz QFD

Para (Yacuzzi Enrique, 2003):

“El despliegue de la función de calidad (QFD) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce a características técnicas y operativas satisfactorias”

Las demandas del cliente o “que” se han obtenido mediante una entrevista personal al jefe de equipo técnico de QUIFATEX S.A, mismas que se resumen en la tabla 19.

Tabla 19

Requerimientos del cliente

N°	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

N°	Necesidad	Importancia
9	Historial de alarmas activas durante la jornada	5
10	Alarma sonora	4
11	Funcionamiento 24/7	5

Nota. Esta tabla describe la importancia de cada necesidad que tiene cliente considerada para el diseño del prototipo.

Bajo esta metodología, se ilustra la traducción de las demandas del cliente a las especificaciones o “como se realizará” la construcción técnica del producto en la tabla 20.

Tabla 20

Especificaciones técnicas del sistema.

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

Nota. Esta tabla enumera las especificaciones técnicas que requiere el sistema. Son los requerimientos del cliente traducidos a lenguaje técnico.

Para poder visualizar la correlación entre las características técnicas y los requerimientos del cliente se utiliza símbolos y ponderaciones propios de esta metodología asociados en la tabla 21.

Tabla 21

Simbología especificaciones

Relación entre Qué y Cómo		
⊙	Relación Fuerte	9
o	Relación Media	3
Δ	Relación Débil	1

Nota: La tabla muestra el significado de la figura que relaciona las necesidades del cliente y especificaciones técnicas.

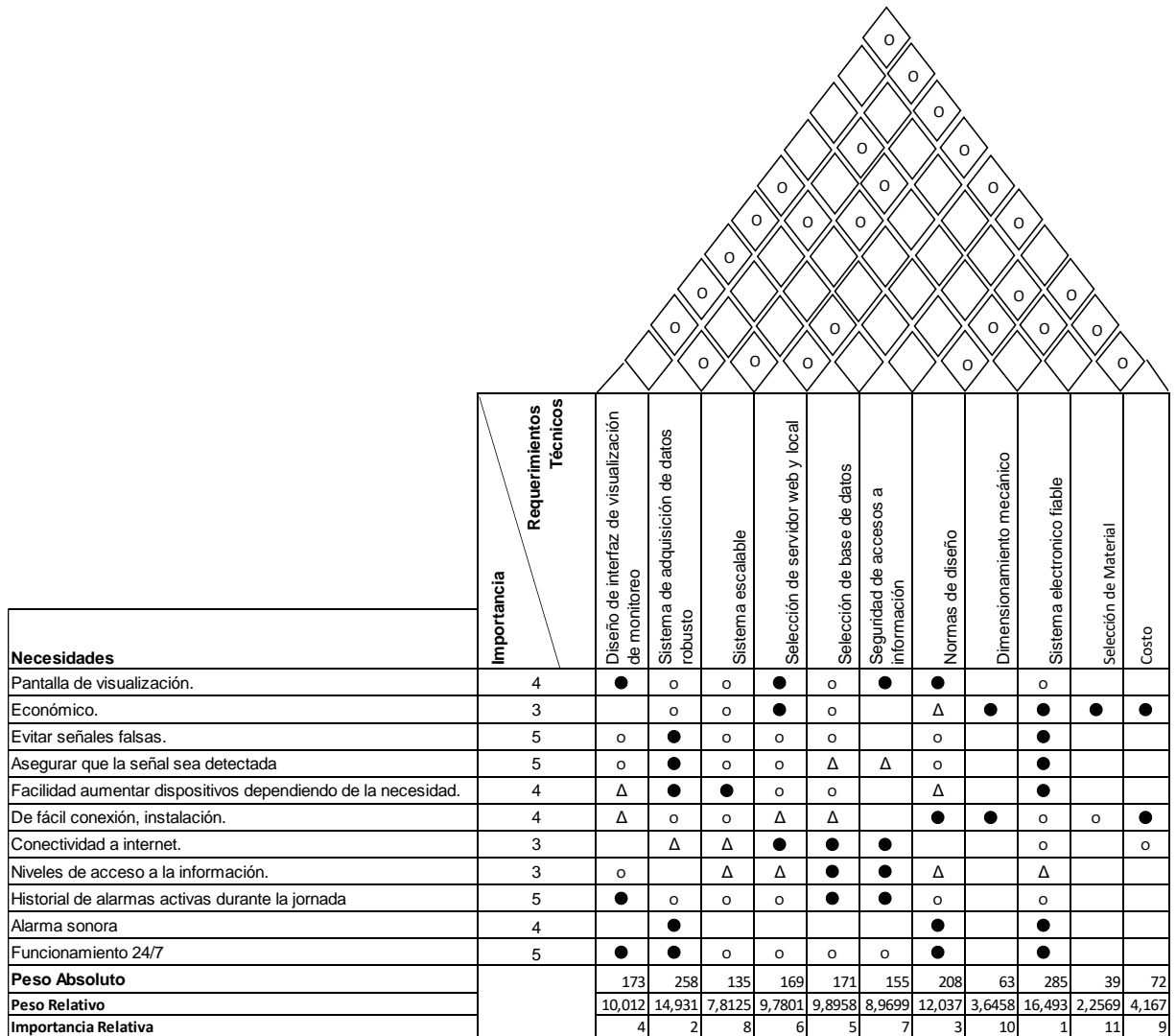
Las correlaciones según .(Arroyave, 2017)

“Permiten conocer el efecto que tiene un requisito técnico sobre los demás”

La simbología utilizada representa **O** para una correlación positiva y una **X** para una correlación negativa. En la figura 4 se puede visualizar el despliegue de la casa de la calidad aplicando la relación y correlación de sus elementos

Figura 4

Casa de la calidad



∑ Peso Absoluto	1728
∑ Peso Relativo	100

Nota. Casa de la calidad. Correlaciones entre las necesidades del cliente con los subsistemas para el desarrollo del prototipo.

3.2. Análisis de la casa de la calidad

Las necesidades principales del cliente se han clasificado mediante el peso relativo, los resultados que arroja la matriz para un diseño que cumpla satisfactoriamente los requerimientos de la empresa son:

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

3.3. Diseño del sistema de adquisición de datos.

Los elementos del sistema de adquisición de datos se basan en las características deseables por parte de la empresa.

El sistema debe ser capaz de leer las señales de forma clara y fiable por el ambiente médico en el que se desenvuelve. El grado de importancia del producto es mayor en la robustez y confiabilidad de la adquisición de la señal de las bombas de infusión, así como también la visualización de las señales en una interfaz amigable e intuitiva para el personal operativo de este dispositivo médico.

Los dispositivos que se detallan en la tabla 22, se comparan basados en las características generales técnicas del sistema obtenidas con la metodología QFD, definiendo un grado de importancia para cada uno.

Tabla 22*Selección de dispositivo.*

	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	
Raspberry	5	5	5	2	2	7	10	77
	15	10	25	6	4	7	10	
DAQ	12	4	40	6	4	2	2	83
	6	2	9	2	2	2	4	
PIC	18	4	45	6	4	2	4	67
	6	10	3	2	2	2	2	
FPGA	18	20	15	6	4	2	2	64
	2	2	8	2	2	2	2	
	6	4	40	6	4	2	2	

Nota. La calificación se encuentra en una escala de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación

aplicado en función de la importancia que le da la empresa a cada requerimiento

Los dispositivos que cumplen con las características son los PLC'S, Arduino, Raspberry y DAQ. La siguiente selección se realiza en función del dispositivo más adecuado para el proyecto. Estas características se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Generación y selección del dispositivo.

	Tiempo de programación (x2)	Costos de implementación (x3)	Tiempo de implementación (x3)	Σ
PLC'S	7	0	10	44
	14	0	30	
Arduino	9	10	8	72
	18	30	24	
Raspberry	4	8	6	50
	8	24	18	
DAQ	9	1	10	51
	18	3	30	

Nota. La calificación se encuentra en una escala de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función de la importancia de cada parámetro dentro del proyecto.

El dispositivo más adecuado según la tabla es el dispositivo Arduino, pero se lo descarta por su inadecuado funcionamiento ante el ruido que presenta al sobrepasar un número determinado de bombas y su visualización en el monitor.

El dispositivo DAQ, requiere un software de tipo propietario, se debe cancelar una licencia, por lo que no es adecuado para el proyecto. Se selecciona el dispositivo Raspberry con entradas opto aisladas y filtros para eliminar el ruido.

3.4. Diseño electrónico del circuito

La adquisición de las señales de las bombas se realizará mediante dos módulos:

- Principal
- Secundario

El módulo principal contiene el procesador que se encarga de enviar señales al selector del multiplexor para que lea cada canal correspondiente a una bomba de infusión, este módulo también recibe los datos de forma serial y se conecta al servidor web para mostrar en pantalla los dispositivos que mantienen su alarma activa, gestionar datos y controlar accesos de usuario como se observa en la figura 5.

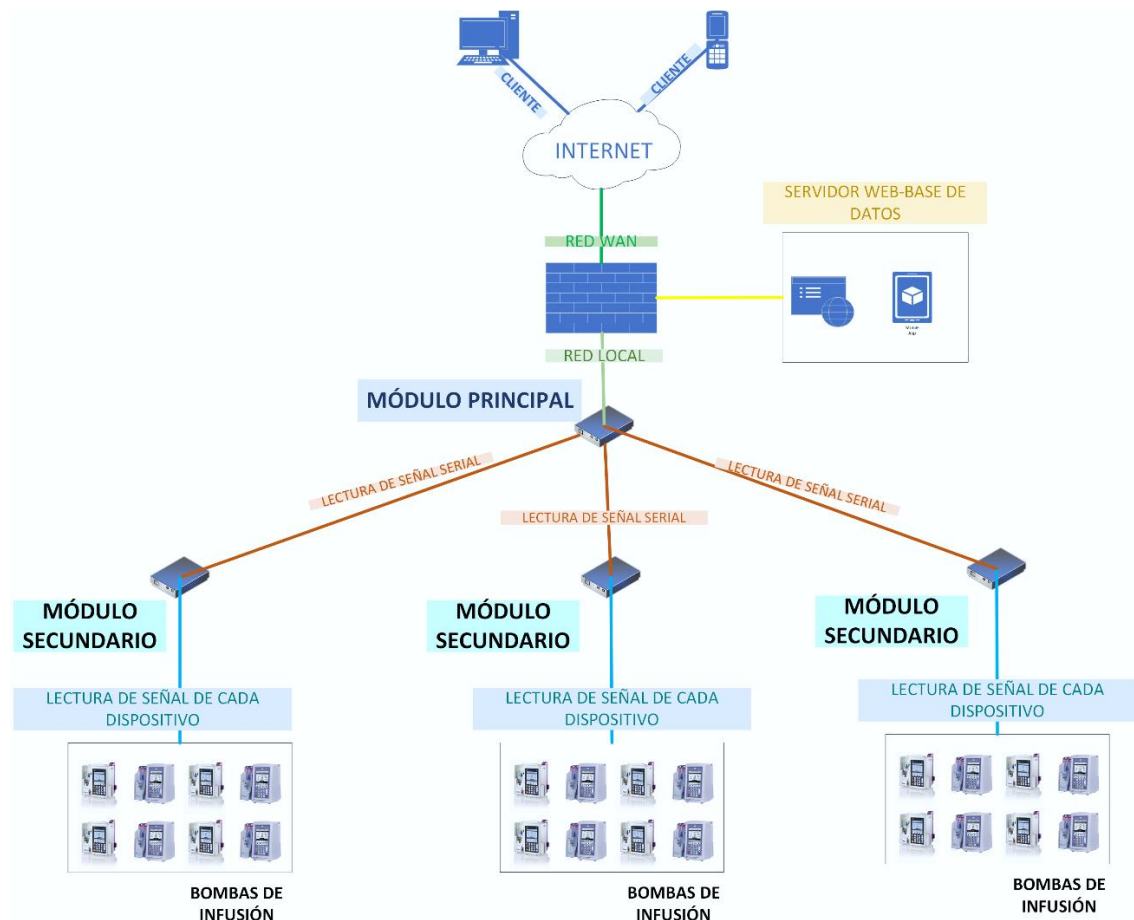
Este módulo se ubicará en una central de monitoreo por lo que también emite una señal de activación a un indicador auditivo cuando los dispositivos tengan su alarma accionada.

El procesador ubicado en el módulo principal posee 40 pines para lectura y escritura. El envío de los datos desde el módulo secundario al principal se basa en comunicación serial, la que requiere de la disponibilidad de 4 pines GPIO por módulo, por lo cual su escalabilidad está limitada al número de E/S disponibles. El módulo procesador contiene 26 GPIO'S, mismos que indican una capacidad de conexión máxima de 6 dispositivos secundarios es decir un total de 48 bombas de infusión.

El módulo secundario que se encontrará cercano a los equipos médicos, cuenta con un multiplexor que permite la lectura de 8 bombas de infusión. Cada módulo secundario tiene la característica de enlazarse al módulo principal mediante conectores ethernet de forma Plug & Play.

Figura 5

Módulos electrónicos de adquisición de datos



Nota. Distribución de conexión de módulos. Los módulos secundarios se conectan directamente a 8 bombas de infusión mientras que el módulo principal se conecta a la red de internet para generar el front-end.

3.4.1. Alimentación del circuito.

La alimentación de los integrados TTL es de 5V mientras que los opto-transistores recibirán una señal de entrada de 24V, que según (Universidad Zaragoza, 2009) este voltaje:

“Es considerado como tensión de seguridad por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión aprobado por el R.D. 2431/73”

Es decir que no produce efectos patológicos sobre una persona, aun cuando esté expuesta indefinidamente a esa tensión, recomendada en ambientes secos. El optoacoplador responderá a las señales de entrada de conmutación ON / OFF. A la salida del optoacoplador se encuentra una señal de 5V que dependiendo de la señal de conmutación de entrada emitirá voltaje en los rangos estándar. Los rangos estándar según (Unicrom, 2019) son:

“High y Low, su funcionamiento entra en los rangos de (0-0.8) V y (2-5) V respectivamente.”

Al tener dos voltajes de funcionamiento se requiere la presencia de los optoacopladores para aislar las señales.

“El optoacoplador 4N25 se describe en su hoja de datos como una opción económica enfocada a aplicaciones de conmutación de velocidad media y circuitos de conmutación de uso general de acoplamiento de diferentes impedancias. Es un integrado comercial de fácil adquisición dentro del país. Tiene un voltaje de ruptura entre el colector y emisor de 70V, y de 3V en el diodo de activación.” (Motorola, 2019)

3.4.2. Circuito módulo principal.

El circuito contiene un integrado 74LS244 un buffer que se utiliza para transmisión de buses de datos, optoacopladores con sus respectivas resistencias limitadoras de corriente, leds indicadores, un módulo procesador y fuentes de alimentación de 24V y 5V.

La salida del procesador según su hoja de datos permite un voltaje de 3,3V a la entrada y salida de cada GPIO, también se puede obtener una corriente de 16mA de salida y 3mA de entrada, por lo que se ubica el integrado 74LS244 a la salida de los pines para hacer una adaptación de voltajes e impedancias entre los 3,3V de salida del dispositivo con 5V necesarios para la activación de los optoacopladores.

Los leds indicadores Y0, Y1, Y2 muestran la salida de señal del procesador, cada uno con una resistencia de 220Ω y los leds BY0, BY1, BY2 señalan la salida de la señal del buffer.

La configuración para la recepción de datos del optoacoplador 4N25 que se muestra en la figura 6 se realiza en base a su hoja de datos que indica que este disipa una potencia de entrada de 100mW, por lo que su resistencia limitadora se la calcula con la siguiente fórmula.

$$P_{diss} = \frac{V^2}{R}$$

Donde:

V : Voltaje de entrada

P_{diss} : Potencia disipada por el optoaislador

R : Resistencia limitadora

$$R_{53} = \frac{V^2}{P_{diss}}$$

$$R_{53} = \frac{(24V)^2}{0,1W}$$

$$R_{53} = 5760 \Omega$$

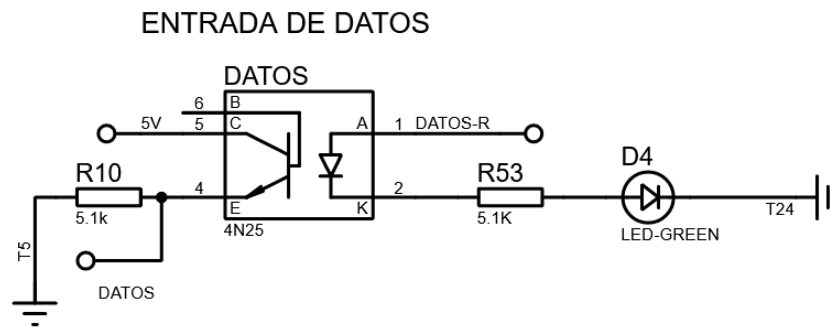
El valor de la resistencia comercial es de 5.7kΩ que arroja una corriente de:

$$I_{LED} = \frac{24V - 2,2V}{5.7k\Omega} = 3.82mA$$

El valor de la resistencia R10 en la salida del optoacoplador, se obtiene mediante la configuración en modo PULL UP, las resistencias que se recomiendan según, indica un valor de 10k, o a su vez valores entre 1k – 10k. Debido a que el uso de resistencias de mayor valor genera una detección de datos lenta, se determina un valor intermedio de 5kΩ.

Figura 6

Optoacoplador de entrada de datos



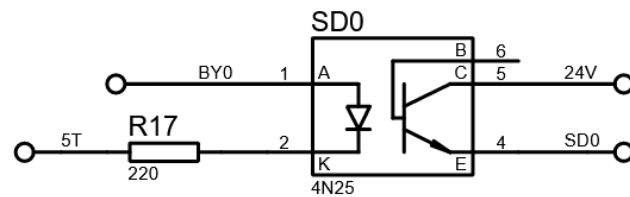
Nota. Configuración del optoacoplador que recoge la entrada de datos en el módulo principal.

La configuración del optoacoplador que envía la señal a los selectores del multiplexor lleva la misma configuración que el optoacoplador de recepción de datos

como se puede observar en la figura 7, con la única diferencia de que la resistencia limitadora de salida del dispositivo se encuentra en el módulo secundario.

Figura 7

Optoacoplador de selectores

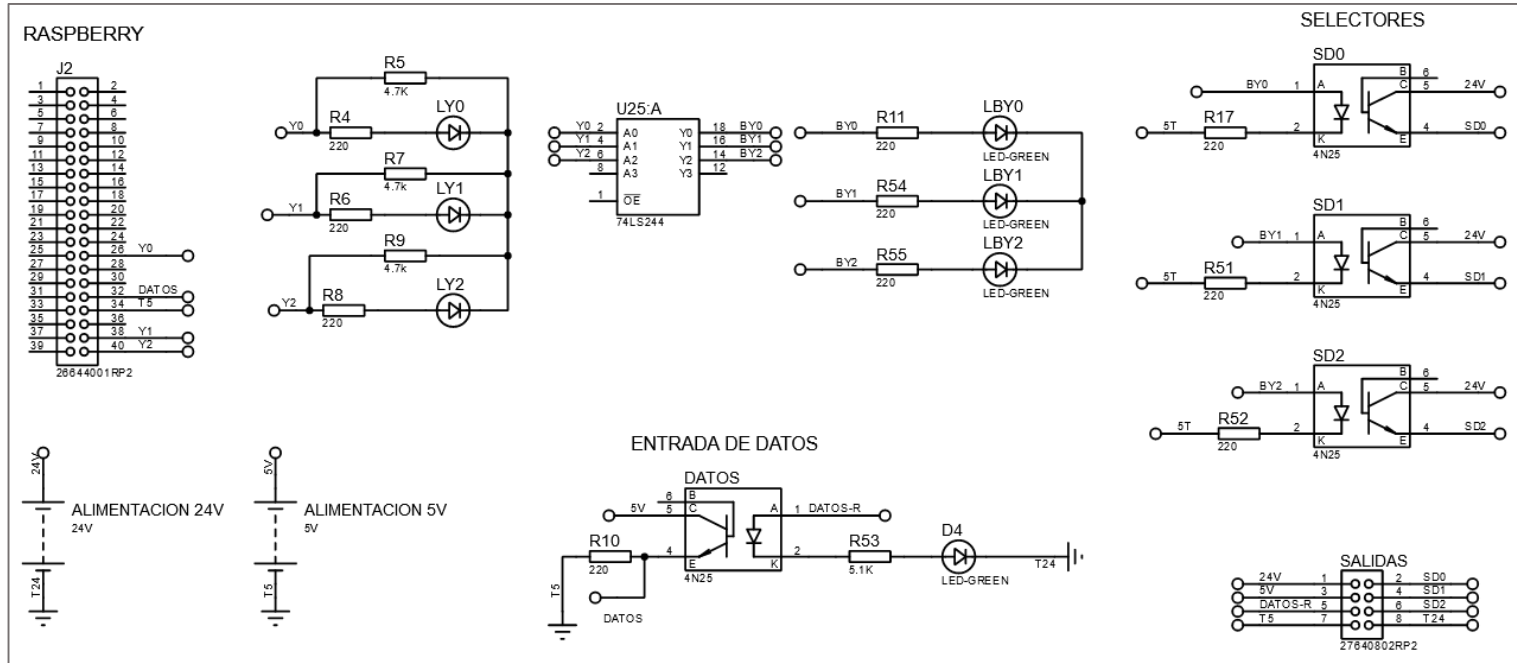


Nota. Optoacoplador que envía la señal a uno de los canales del multiplexor ubicado en el módulo secundario.

En la figura 8, se puede observar el diagrama electrónico completo del módulo principal, con sus diferentes componentes para la conexión y recepción de datos para uno de los módulos secundarios.

Figura 8

Circuito del módulo principal



Nota. Esquema del circuito ubicado en el módulo principal con todas sus etapas.

3.4.3. Circuito del indicador auditivo

El dispositivo de audio seleccionado será el buzzer piezoeléctrico marca Dython AI-4228-TF-LW140-3-R, sugerido por la empresa ya que se lo ha manejado al dar mantenimiento de las bombas de infusión.

El buzzer piezoeléctrico estará ubicado en un lugar visible cerca del monitor que muestra el estado de las bombas de infusión y dará una alarma sonora que se mantendrá encendida mientras no se desactive la bomba de infusión de forma manual.

El buzzer según su hoja de datos tiene un voltaje operativo en un rango de 3V-12V y una corriente de 10mA. Se utiliza un transistor tipo NPN para baja potencia 3904 en modo de interruptor para activar o desactivar la señal que arroje la GPIO como se visualiza en la figura 9.

La corriente que circula en el circuito se define mediante la siguiente ecuación (2011):

$$R = \frac{V_{cc} - 0,7V}{\frac{I_B}{h f_e}}$$

Donde:

R : Resistencia de base del transistor.

V_{cc} : Voltaje de salida del pin GPIO.

I_B : Corriente del buzzer.

$h f_e$: Ganancia del transistor

La hoja de datos indica los siguientes valores

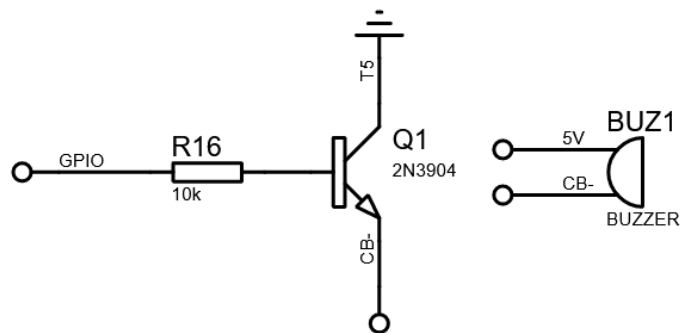
$$R = \frac{3,3V - 0,7V}{\frac{10mA}{40}}$$

$$R = 10,4k$$

Comercialmente se necesita una resistencia de 10kΩ.

Figura 9

Circuito buzzer piezoeléctrico



Nota. Esquema de conexión del buzzer.

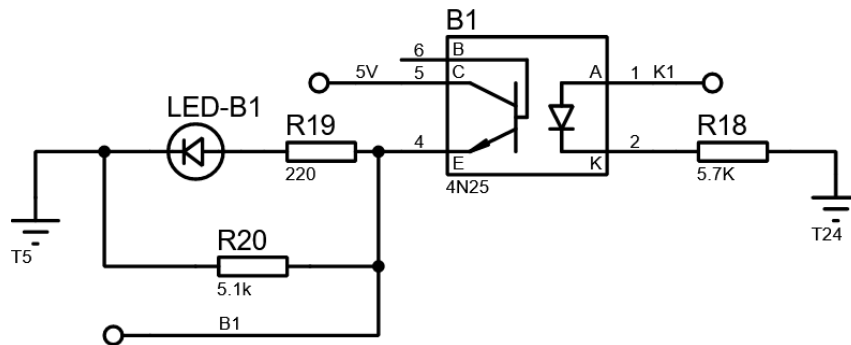
3.4.4. Circuito módulo secundario.

El circuito contiene un multiplexor 74LS151 que recibe 8 señales de entrada de las bombas de infusión y las transmite por un solo canal al módulo principal, también tiene en su diseño un optoaislador 4N25 que mantiene desacopladas las tierras de las fuentes de alimentación con sus respectivas resistencias limitadoras junto a indicadores leds.

La configuración del optoacoplador que recibe las señales de las bombas de infusión que se muestra en la figura 10, se ha diseñado en función de los valores que tiene en su hoja de datos, la corriente de energización del diodo interno del optoaislador es de 10mA y en su salida su máxima corriente es de 60mA.

Figura 10

Optoacoplador de entrada de las bombas de infusión



Nota. Diagrama de conexión del optoacoplador que recibe la señal de entrada de la bomba de infusión.

Para determinar la resistencia limitadora R18, se conoce que el elemento disipa una potencia de 100mW y una fuente de voltaje de 24V, por lo tanto, se utiliza una resistencia comercial de 5.7kΩ.

La hoja de datos del multiplexor indica que se reconoce como señal alta High a una corriente de entrada de 0.1mA y un estado de Low a una corriente menor a 20uA. Tomando en cuenta el voltaje estándar que cae en la salida del optoacoplador de entre 1V y 2V se calcula mediante la ley de Ohm la resistencia R20 mediante la siguiente ecuación:

$$R_{20} = \frac{V_{CC} - V_{OP} - V_L}{I_{MUL}}$$

Donde:

V_{CC} : Voltaje de alimentación

R_{20} : Resistencia limitadora de salida del optoacoplador

V_{OP} : Voltaje en salida del opto transistor

V_L : Voltaje en el led

I_{MUL} : Corriente de entrada al multiplexor

$$R_{20} = \frac{5V - 2V - 2,5V}{0.1mA} = 5k\Omega$$

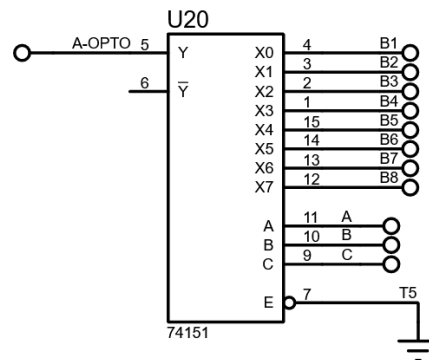
Comercialmente se necesita una resistencia de 5.1kΩ.

El integrado multiplexor 74LS151 recibe tres señales (A, B, C) desde módulo principal, estas sirven para seleccionar el canal en donde se va a realizar la lectura, también recibe la señal de entrada de cada una de las 8 bombas de infusión conectadas

y se envían los datos al módulo principal (A-OPTO) como se puede observar en la figura 11.

Figura 11

Entradas y salidas del multiplexor

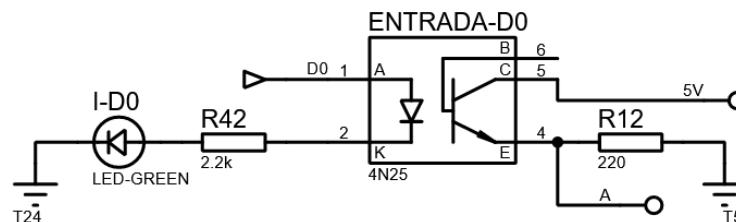


Nota. Diagrama electrónico de entradas y salidas del multiplexor.

La configuración de entrada de los selectores del multiplexor es la misma que se utiliza para la recepción de datos que se encuentran en el módulo principal con los mismos valores en sus resistencias limitadoras como se puede observar en la figura 12

Figura 12

Optoacopladores de señales de entrada

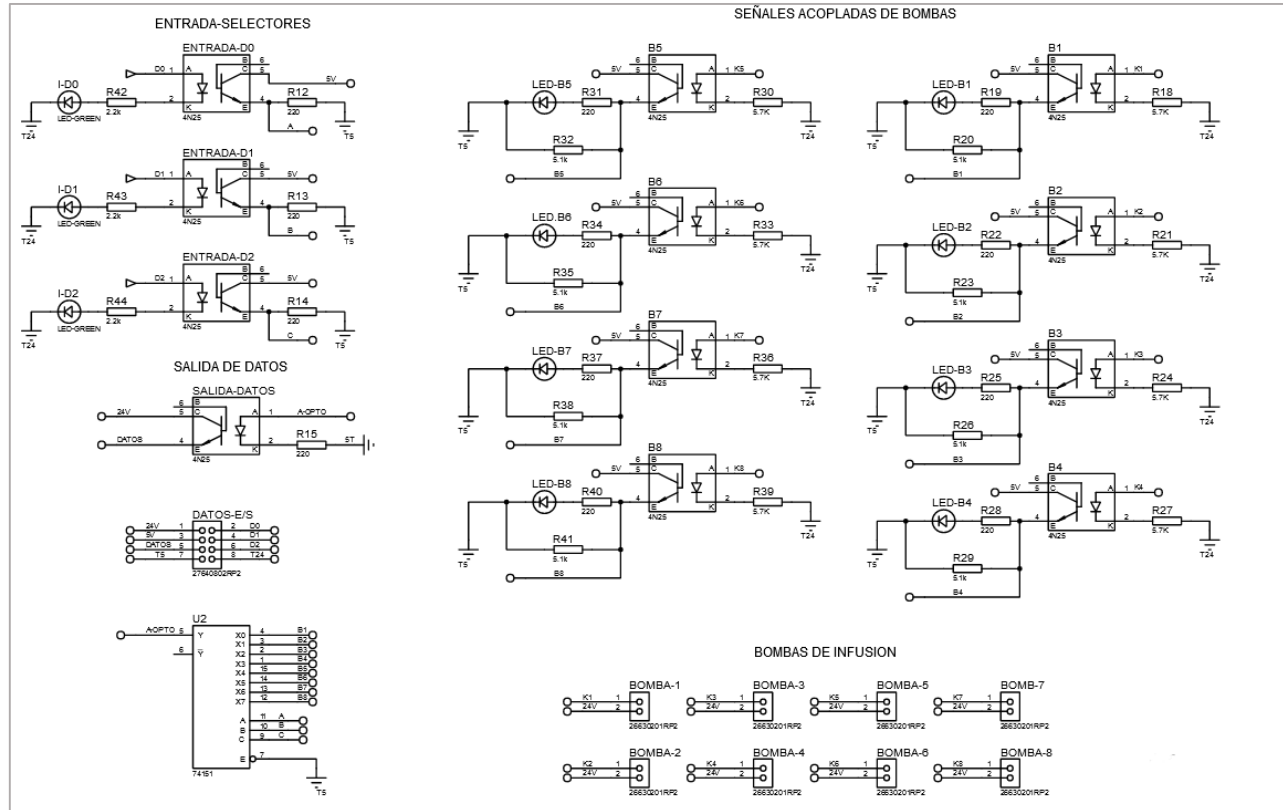


Nota. Esquema electrónico de señal de selección de canal en el módulo secundario

En la Figura 13, se puede observar el diagrama electrónico completo del módulo principal, con sus diferentes componentes para la conexión y recepción de datos para uno de los módulos secundarios.

Figura 13

Circuito del módulo secundario.

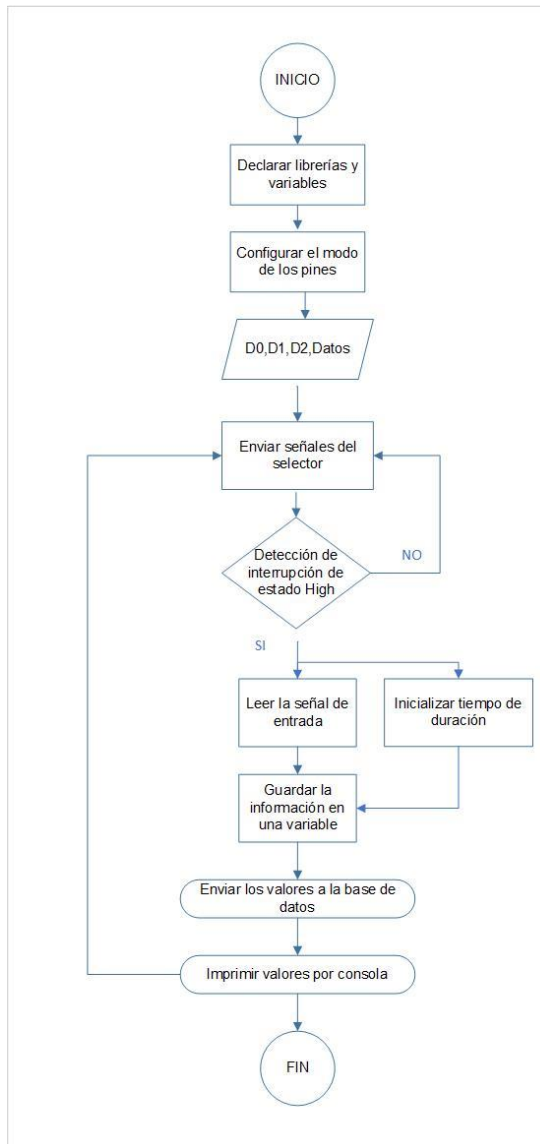


Nota. Esquema electrónico completo del circuito ubicado en el módulo secundario.

3.4.5. Diagrama de flujo de adquisición de datos.

Figura 14

Diagrama de flujo



Nota. Diagrama de flujo que indica el funcionamiento del programa de adquisición de datos.

3.4.6. Diseño PCB

El diseño PCB se ha realizado en el software Eagle Fusion bajo la normativa IPC que detalla las características de diseño general de placas PCB, las que se detallan en la tabla 24.

Tabla 24

Norma IPC

Norma	Descripción
IPC 2221B Disposicion del circuito	<p>La separacion de los circuitos son separados por su funcion:</p> <ul style="list-style-type: none">• Alimentación• Circuito Análogo• Circuito Digital <p>Los elementos se encuentran 1.2 mm del borde del PCB.</p> <p>Las pistas estan 0.75mm de cualquier elemento mecánico.</p>

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

IPC2221B

Enrutamiento

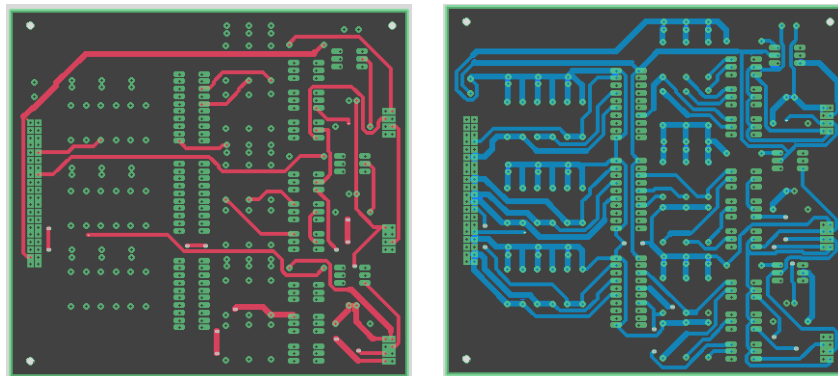
Referencia de borde de
ruteo del circuito para
ubicar mejor los elementos
del circuito.

Nota. Normas IPC de aplicadas en el diseño de los circuitos del módulo principal,
secundario y buzzer.

Módulo principal. Las dimensiones de la placa son: 13,63cm de alto x 12,61cm
de ancho. El diseño implementado tiene el objetivo de conectar 3 circuitos electrónicos,
dos de ellos estarán distribuidos y el tercero se mantendrá centralizado junto al
procesador.

Figura 15

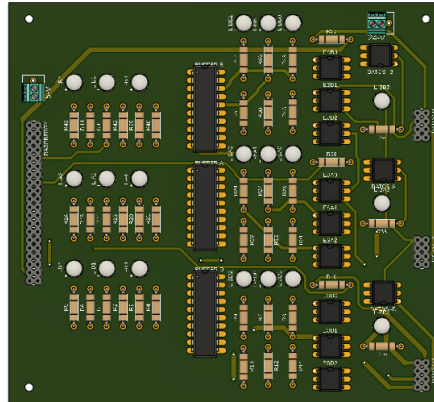
PCB módulo principal



Nota. Capa superior e inferior de las placas PCB del circuito principal.

Figura 16

Elementos electrónicos en la placa principal

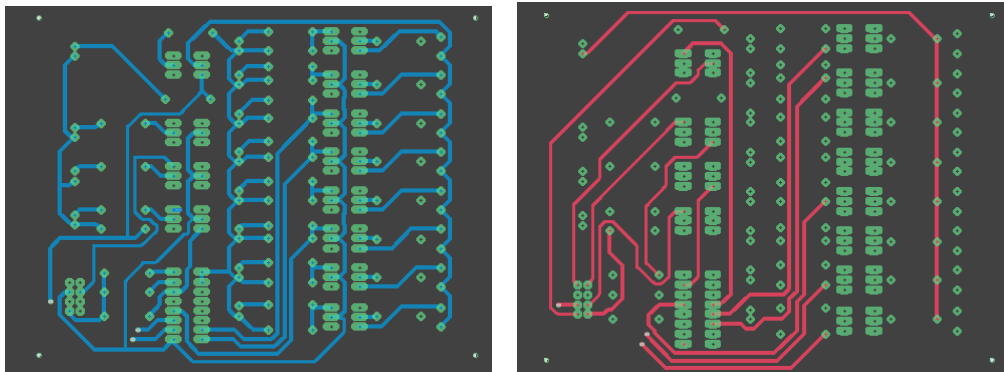


Nota. Distribución de elementos electrónicos en la placa del circuito principal

Módulo secundario. Las dimensiones de la placa son: 10cm de alto x 13,2cm de ancho, estas dimensiones se tomarán de referencia para la construcción de la estructura del contenedor del mismo.

Figura 17

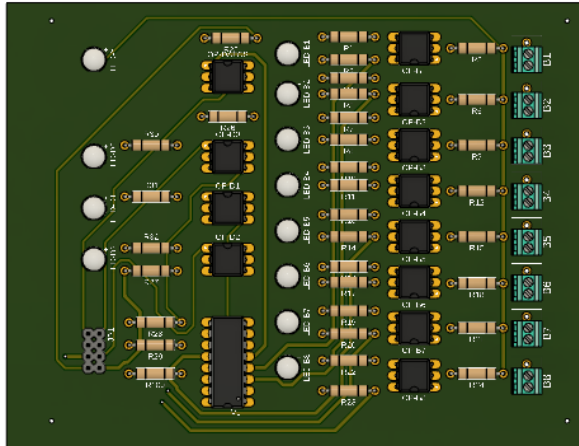
PCB módulo secundario



Nota. Capa superior e inferior de la placa PCB del circuito secundario

Figura 18

Elementos electrónicos en la placa secundario



Nota. Distribución de elementos electrónicos en la placa del circuito principal

3.5. Diseño, dimensionamiento y disposición de la estructura.

Para poder realizar el diseño de la estructura primero se procede a ubicar los elementos electrónicos como fuentes y circuitos según la norma IPC2221B, después se realiza un dimensionamiento de los elementos electrónicos para poder realizar el diseño de la estructura mecánica.

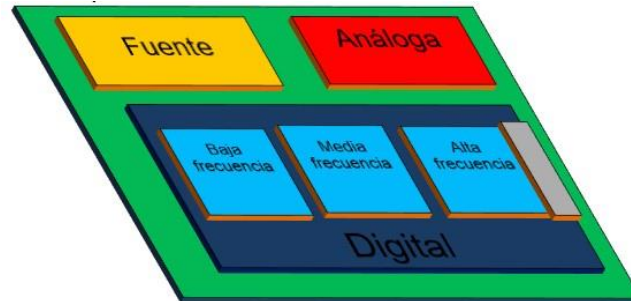
3.5.1. Disposición de elementos

Según la norma IPC2221B (André Laverde, 2021):

“Los elementos electrónicos deben estar distribuidos tomando en cuenta la naturaleza de señales que manejan o a su vez en función la capacidad de la frecuencia de sus componentes, como se observa en la figura 19.”

Figura 19

Distribución de componentes electrónicos

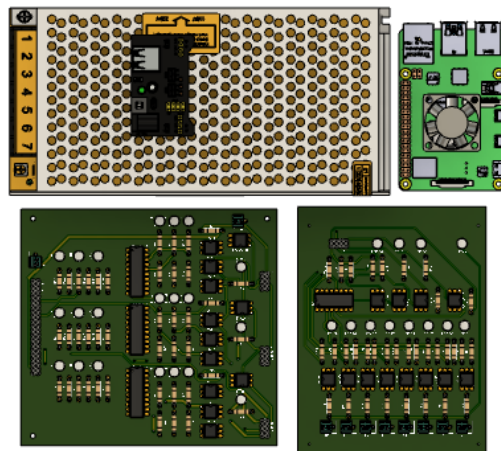


Nota. Distribución de las placas de adquisición de señales y procesamiento en el espacio según la Norma IPC2221B.

Los componentes se distribuyeron como se muestra en la figura 20

Figura 20.

Disposición de componentes del módulo principal



Nota. Distribución de elementos electrónicos, placas de circuitos de adquisición de datos, fuentes y procesador en espacio.

3.5.2. Ambiente Hospitalario

Los módulos del sistema son un prototipo diseñado para trabajar dentro de un ambiente hospitalario, el mismo que tiene normas de implementación de sistemas eléctricos bajo la norma INEN que paso de ser voluntaria a obligatoria en el 2014, según resolución Ministerial. Dentro del código eléctrico nacional, basado en (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001), referente a Instituciones de asistencia médica indica las siguientes características para equipos que trabajan con voltajes menores a 600V detalladas en la tabla 25.

Tabla 25

Equipos con voltajes de baja tensión

Característica	Descripción
Proximidad al cuidado de los pacientes	“No inferior a 1.8 m (6 pies) más allá del perímetro de la cama en su posición nominal y que se extiende verticalmente no menos de 2.3 m (7 ½ pies) por encima del piso” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)
Punto para puesta a tierra del equipo para pacientes	“Conector o terminal que sirve como punto colector para la puesta a tierra redundante de los artefactos eléctricos ubicados en la proximidad al cuidado de los pacientes o para la puesta a tierra de otros elementos con el fin de eliminar problemas de

Característica	Descripción
	interferencias electromagnéticas” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)
Receptáculos en ubicación para la cama de un paciente.	“Cada ubicación para la cama de un paciente debe estar alimentado como mínimo por cuatro receptáculos. Se permitirá que los receptáculos sean de tipo sencillo, doble o una combinación de ambos.” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)
Equipos e instrumentos de baja tensión	“Para los equipos conectados a circuitos ramales de 120 voltios y 30 amperios o menos, se permitirá utilizar una clavija de conexión del tipo con puesta a tierra y un receptáculo de valor nominal adecuado.” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)

Característica	Descripción
Montaje.	“Los equipos eléctricos se deben fijar firmemente a la superficie sobre la que se van a montar. No se deben utilizar tarugos de madera en agujeros en mampostería, concreto, o yeso.” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)
Ancho del espacio de trabajo	“El ancho del espacio de trabajo en el frente del equipo eléctrico, debe ser el ancho del equipo o 0,75 m, el que sea mayor. En todos los casos, el espacio de trabajo debe permitir abrir por lo menos a 90° las puertas o paneles abisagrados del equipo.” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)

Característica	Descripción
Altura del espacio de trabajo	<p data-bbox="779 331 1351 840">“El espacio de trabajo debe estar libre y extenderse desde el nivel del suelo o plataforma hasta la altura exigida por el artículo. Dentro de los requisitos de altura, se debe permitir que otros equipos asociados a las instalaciones eléctricas se extiendan no más de 150 mm más allá del frente del equipo eléctrico.”</p> <p data-bbox="779 840 1351 976">(INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)</p>

Nota. Ubicación de equipos en un hospital según el código eléctrico nacional. Tomada de (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001).

3.5.3. Lugares de aplicación del prototipo:

La infraestructura interna hospitalaria contempla varias áreas para atención sanitaria, las zonas de asistencia tienen características que se describen bajo normativa, debido a la distribución física que posee cada hospital y la potencialidad para implementar dispositivos médicos, instalaciones eléctricas y dar un mejor servicio. Las áreas de cuidado del paciente, cuidado general y cuidado crítico son las áreas que se ubicarán más próximas al módulo secundario que adquiere la señal, estas son áreas típicamente de ubicación de las bombas de infusión, mientras que la estación de enfermería contiene dispositivos de comunicación en general, así como ordenadores que ayudan con la gestión del cuidado del paciente y su administración general. El

módulo principal al contener un ordenador está diseñado para instalarse en este lugar.

Según la norma (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001) define esta áreas como:

“Área de cuidado de pacientes. Cualquier parte de una instalación del cuidado de la salud en la que se examinan o tratan los pacientes. Las áreas de una instalación del cuidado de la salud en las que se administran cuidados a los pacientes se clasifican en áreas de cuidado general o áreas de cuidado crítico. NOTA: Las oficinas, pasillos, salas de espera, salas de descanso, comedores o similares, no se clasifican

normalmente como áreas de cuidado de pacientes. **Áreas de cuidado general.** Las áreas de cuidado general son las de camas de dormir de los pacientes, salas de reconocimiento, salas de tratamiento, clínicas y áreas similares en las que está previsto que el paciente entre en contacto con artefactos eléctricos normales, tales como

sistema de llamado de enfermeras, camas eléctricas, lámparas de examen, teléfonos y

dispositivos de entretenimiento. **Áreas de cuidado crítico.** Aquellas unidades de cuidados especiales, unidades de cuidados intensivos, unidades de cuidado coronario, laboratorios para angiografías, laboratorios de cateterismo cardiaco, salas de expulsión, quirófanos y áreas similares en las que se prevé que los pacientes estarán sometidos a procesos invasivos y unidos a dispositivos de electromedicina conectados a la red.

Estación de enfermeras. Áreas destinadas a brindar un centro de actividades para un grupo de enfermeras que atienden pacientes en cama, en las que se reciben las llamadas de los pacientes, se despachan las enfermeras, se hacen los avisos y notas escritas para las enfermeras, se preparan los cuadros clínicos de los pacientes y se preparan las medicinas para distribución a los pacientes. Cuando dichas actividades se

desarrollan en más de un lugar dentro de una unidad de enfermería, todas estas áreas separadas se deben considerar como parte de la estación de enfermeras.”

3.5.4. Protección contra agentes externos

Para poder determinar un grado de protección IP para la estructura mecánica primero se determina que los equipos serán colocados en el interior de los edificios, es decir se considerará su humedad relativa, que, según la reglamentación para los requerimientos de los Hospitales, Norma UNE-100 713. (Fisair, 2016):

“El ambiente hospitalario interno tiene un rango de humedad relativa de 45-55%.”

Según (electriced, 2017):

“La decodificación más común para la IP21/IP22 hace referencia a equipos electrónicos en habitaciones y bajo toldos ya que están protegidas contra caídas y condensación de humedad. Por lo tanto, se utilizará esta norma para la protección del circuito.”

3.5.5. Selección del material

Después de considerar el espacio físico que ocuparán los elementos dentro de un sistema hospitalario, tanto como su ambiente con respecto a su humedad relativa y cercanía con el paciente se ha considerado los siguientes materiales, en la tabla 26, valorándolos en un rango de 1-10, tomando al número mayor como el más adecuado.

Tabla 26*Selección de materiales mecánicos.*

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

Nota. Detalle de selección del contenedor de los circuitos electrónicos

Se selecciona el material acrílico debido a que cumple las características más importantes para el diseño, es más económico con relación al PLA, es adecuado estéticamente y su nivel de aislamiento es mayor que el de chapa metálica que viene a ser la segunda opción, esto es importante por la ubicación del equipo, y el cumplimiento de la norma, INEN, que detalla consideraciones de aislamiento y conexiones a tierra para el aislamiento del chasis de dispositivos médicos con cercanía al paciente hechos de este material, una tierra mal colocada podría ser mortal para pacientes en estado delicado, también al operar cercano a más dispositivos que pueden causar interferencias si no tienen un correcto aislamiento entre ellos.

3.5.6. Dimensionamiento de los elementos

Para poder construir los elementos contenedores dentro del software Fusion, se toma las medidas de cada uno de sus elementos en mm y se detallan en la tabla 27.

Tabla 27

Dimensionamiento de los elementos

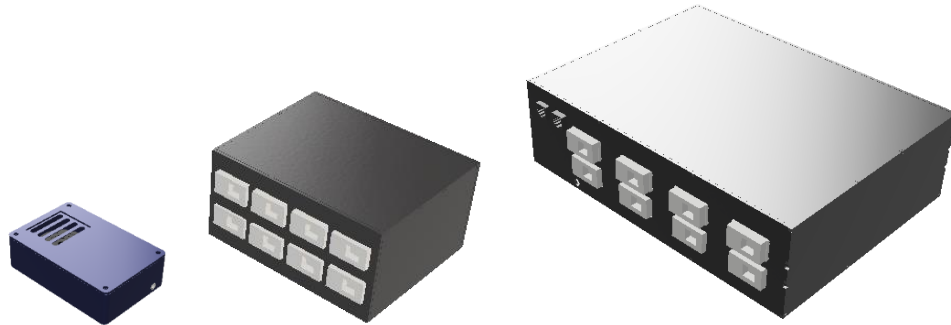
Elemento	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Fuente 24V	200	99	42
Fuente 5V	53	32	22
Conector Hembra RJ11	30	38	21
Conector Hembra RJ45	15	13	14
Conector de audio radio 3	7	12	8
Raspberry	89	56	13
Placa Principal	125	135	22
Placa secundaria	100	130	22
Placa de audio	22	46	22
Buzzer	42	61	16

Nota. Listado de dimensiones de elementos electrónicos.

El resultado del diseño de los elementos contenedores, se puede visualizar en la figura 21, en la izquierda la estructura del buzzer, en el centro la del módulo secundario y en la derecha el módulo principal. Los planos de los elementos se adjuntan en los anexos.

Figura 21

Contenedor de los circuitos



Nota. Estructura de contenedores del circuito.

3.7. Diseño de la aplicación.

Para empezar con el diseño se requiere conocer las características que esta requiere en función de las necesidades del cliente, luego se selecciona las plataformas más adaptables a la aplicación.

3.7.1. Características de la aplicación

- Autenticación de usuarios: Cada persona que usa la aplicación tiene su usuario y contraseña para poder ingresar a la plataforma.
- Monitoreo de habitaciones en tiempo real: El programa tiene una pantalla que indica el estado real de alarma encendida o apagada de todas las bombas de infusión conectadas al sistema. Cada bomba está asociada a la habitación en donde se encuentra instalada físicamente para facilitar su ubicación real y desactivarla de forma manual.

- Registro rápido de pacientes: La aplicación tiene un registro rápido de pacientes que ingresan a ocupar una habitación o dejan la habitación.
- Asignación de encargados de habitación: Cada usuario puede asignar al personal encargado de atender la alarma de cada habitación.

3.7.2. Selección de base de datos

La aplicación debe trabajar en tiempo real, tener una gestión de enfermería accesible y amigable para el usuario. La velocidad de cambio en valores dentro de la base de datos, es fundamental para evitar fallas dentro del monitoreo de las bombas de infusión, así como también la protección de los datos informativos de los pacientes que se guarden en la base de datos. Tomando en cuenta que las opciones son una base de datos relacional y no relacional, se determina la aplicabilidad de las mismas dentro del proyecto se describen sus características en la tabla 28, en donde se pondera las particularidades que las representan con un estándar de valoración sobre cada característica. Siendo la más importante la velocidad con un peso de 5 y la de menos importancia la redundancia, que tiene un multiplicador de 3.

Tabla 28

Selección de 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

Nota. Evaluación de base de datos SQL y No SQL para su aplicación

La aplicación se creará con una base de datos no relacional por su característica más fuerte que es la actualización de datos en tiempo real, esta característica servirá para que los datos del estado de las bombas de infusión encendido o apagado cambien en la pantalla sin necesidad de renderizar la página de una manera más optima. Entre las bases de datos no relaciones se encuentran MongoDB, Google Firebase, Cassandra, Redis, CouchDB, entre otras, de entre las cuales Google Firebase es la que mejor se adapta a la aplicación.

Google Firebase tiene una simplicidad de uso mayor para el desarrollo de aplicaciones web, trabaja con menos dependencias y tienen una estructura de código que puede determinarse dependiendo del producto con el que se trabaje dentro de la misma ya que tiene la plataforma de Cloud Firestore y Data Realtime y las dos pueden sincronizar y almacenar los datos en la nube, también es importante recalcar que Firebase es una plataforma que tiene alta potencialidad para desarrollar aplicaciones de dispositivos móviles.

Dentro del sitio oficial (Firebase, 2020) se puede encontrar una herramienta de apoyo para la selección de la base de datos. En donde se resumen las consideraciones clave para seleccionar una de ellas.

La aplicación se va a utilizar para sincronizar datos con consultas básicas para lo cual es preferible utilizar Data Realtime, pero en otros aspectos firestore se adapta más a la aplicación, en aspectos como son las operaciones con datos, que, en este caso, el prototipo al ser escalable maneja grandes cantidades de GB o hasta TB con el crecimiento de la base de datos, siendo estos leídos con mucha frecuencia al ser una aplicación que de monitoreo las 24 horas. También se considera a firestore por su modelo de datos, tiene documentos organizados en colecciones que facilitan su presentación en la aplicación. La plataforma de Firestore también posee una garantía de tiempo de actividad del 99,999% que es extremadamente alta y bastante conveniente para la actividad de monitoreo de las alarmas.

3.7.3. Selección de plataformas

Después de determinar los requerimientos del cliente y seleccionar la base de datos se determina las plataformas encargadas de versionamiento, compilación, publicación y codificación de la aplicación.

Se selecciona React.JS que es una librería de JavaScript por su sencillez de programación, React.js junto a Node.js, es una combinación típicamente utilizada para construir componentes de interfaz de usuario, elementos de vital importancia para el desarrollo de la programación para esta aplicación ya que con los componentes se puede optimizar el código reutilizándolos para diferentes objetivos. React.JS tiene un rendimiento alto para el desarrollo de aplicaciones Web, este permite mostrar la información sin tener que actualizar la página, sino que actualiza los datos a medida que cambien en la base de datos, lo que es una gran ventaja para la pantalla de monitoreo de las alarmas de infusión o la visualización de datos de registros de encargados y pacientes.

Apoyado a este sistema se utilizará dentro del diseño el gestor de versionamiento GitLab, que permite organizar la documentación de la aplicación web como una buena práctica de diseño web y también permite compilar el código de programación la plataforma anexada a Netlify para realizar pruebas de la aplicación dentro de IoT.

La conexión a IoT, ayudará a que el sistema pueda actualizarse y visualizarse desde cualquier lugar, la que es una potencial ventaja para unir más dispositivos que colaboren de forma distribuida con diferentes tareas conectadas a la red por medio de internet para mejorar la gestión y cuidado de enfermería.

3.8. Diseño e implementación del algoritmo.

Según la recomendación de (Sandoval et al., 2015), la implementación de Aplicativos WEB para un buen desarrollo de software se debe tener en cuenta los siguientes factores:

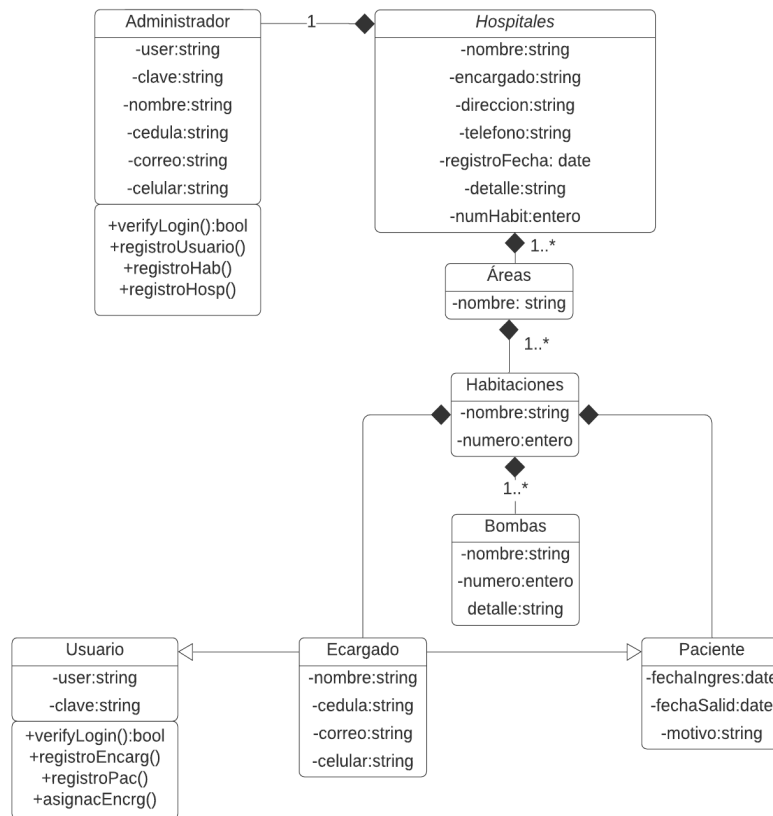
- Requerimientos
- Diseño
- Arquitectura
- Programación
- Administración de la configuración
- Testing

Los requerimientos se refieren a acordar las solicitudes del cliente en una etapa temprana, estas solicitudes se han resumido en la casa de la calidad de la figura 4, en donde se destaca el requerimiento de escalabilidad, velocidad e integridad de los datos.

Dentro del factor diseño se sugiere mantener el diseño simple y útil, realizando únicamente lo necesario, apoyándose de diagramas de UML, el mismo que se puede observar en la figura 22.

Figura 22

Diagrama UML de bases de datos

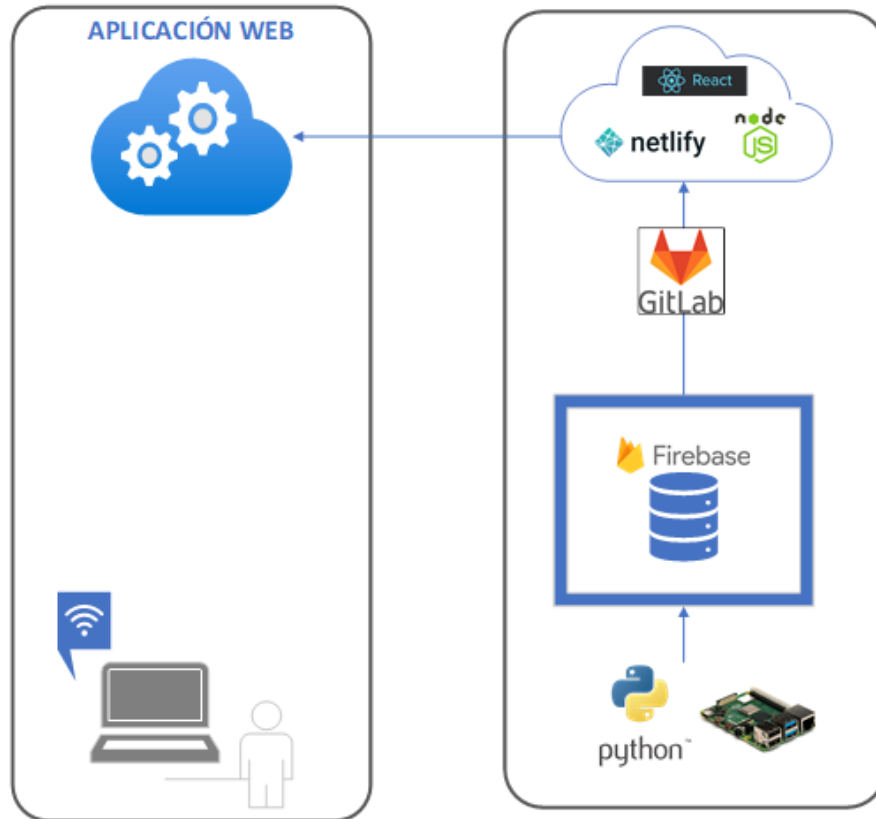


Nota. Estructura de la base de datos de la aplicación.

La importancia de escoger correctamente la arquitectura de la aplicación radica en mantener una visión general para organizar la programación de la aplicación y contemplar todos los aspectos que se requieren entre la aplicación y el usuario. La arquitectura de este proyecto se ha manejado en base a las plataformas de Python, Firestore, Netlify, React y Node js, que se detallan en la figura 23.

Figura 23

Arquitectura



Nota. Arquitectura de la aplicación. Plataformas que se van a utilizar y sus niveles para el desarrollo de la aplicación,

“Existen muchas prácticas de programación que hay que seguir, como son el uso de nomenclaturas, pruebas de humo, revisión en pares y las propias de cada lenguaje y herramienta en la que se programe.” (Sandoval et al., 2015)

“La administración de la configuración consiste en organizar las versiones del proyecto y de todos los artefactos relacionados al proyecto, razón por la que se ha utilizado Git que es un software de control de versiones distribuido integra un workflow en donde su elemento más importante es la documentación, a la que suelen llamar SSOT (Single Source Of Truth)” (Fusiona, 2020), al mismo tiempo posee características de utilización de testing, al tener la opción de crear ramas nuevas de desarrollo y unir las a producción o pruebas.

3.9. Construcción e integración de los sistemas.

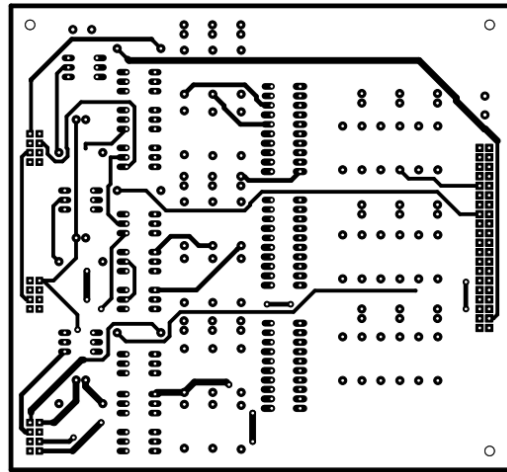
La construcción del equipo se apega al diseño y normas seleccionados previamente.

3.9.1. Sistema de adquisición

Las placas de circuito del módulo principal y secundario se realizaron en el software Fusion, para su fabricación se utilizó el método del planchado, el primer paso es imprimir el circuito generado que se puede observar en la figura 24, en papel cuché, con una impresora láser, luego en una placa de baquelita, se fija el papel y se comienza a planchar por 40 minutos, después sumergir la placa con el papel pegado en ácido férrico con agua caliente y luego limpiar. El resultado se puede observar en la figura 24. Este procedimiento se repite para cada PCB del sistema.

Figura 24

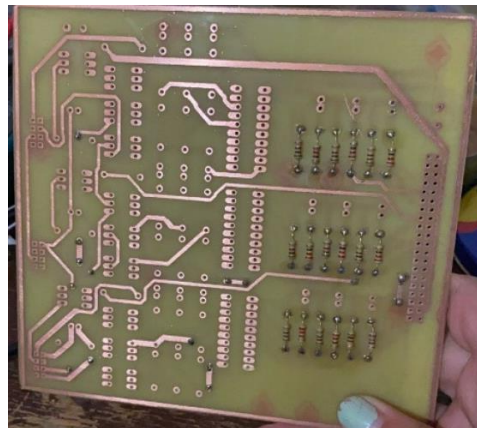
Pistas PCB diagrama



Nota. Circuito del módulo principal.

Figura 25

Baquelita PCB resultado

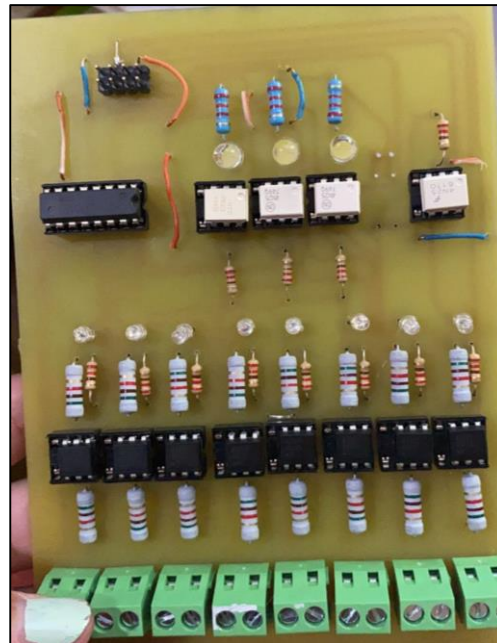


Nota. Resultado del método del planchado para el módulo principal

Los elementos de cada circuito principal y secundario se fijan a la PCB mediante soldadura como se puede visualizar en la figura 26.

Figura 26

Elementos soldados

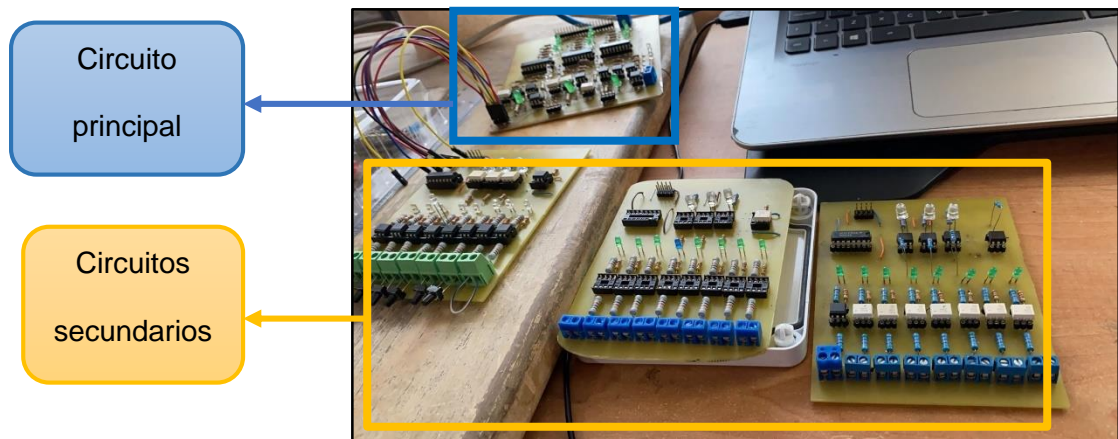


Nota. Elementos electrónicos soldados en la placa del módulo secundario.

El número total placas con sus elementos soldados se puede visualizar en la figura 27, en esta se muestra el circuito principal y los tres elementos secundarios a su alrededor.

Figura 27

Placa electrónica principal y secundarios



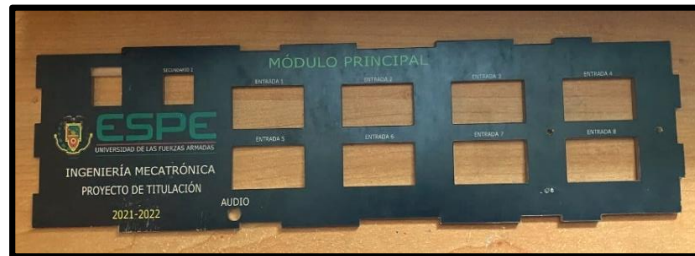
Nota. Imagen de los circuitos principales y secundarios con sus dispositivos electrónicos soldados.

3.9.2. Estructura

La estructura que va a contener el circuito se realiza en acrílico de 3mm de espesor en color negro. Cada contenedor está formado por una lámina de acrílico por lado, estas láminas se cortaron en láser. Como se puede visualizar en la figura 28.

Figura 28

Lámina frontal

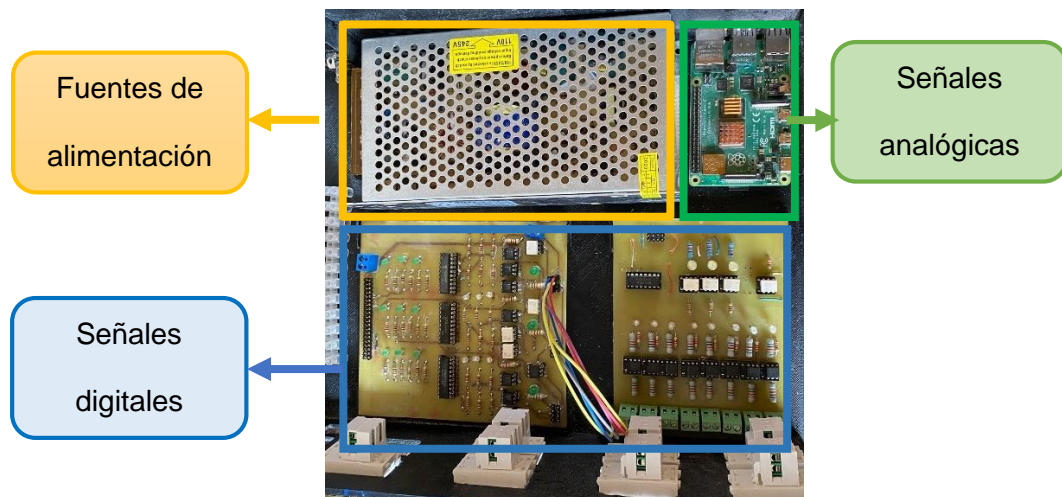


Nota. Imagen de lámina de acrílico frontal del módulo principal.

La unión entre estas láminas se reforzó con sellador de silicona industrial RTV, de color negro para la base y de color blanco para fijar los elementos blancos en la parte frontal. Se distribuye el a los elementos electrónicos en el espacio interno de los contenedores según la norma IP2223B como se muestra en la figura 29

Figura 29

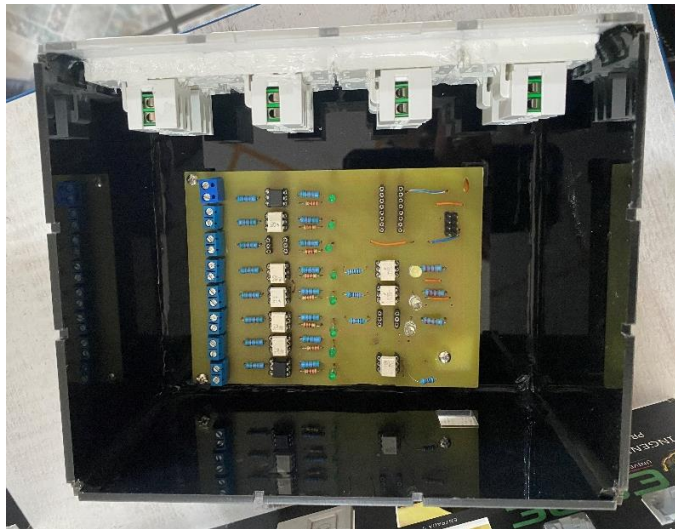
Distribución de elementos



Nota. Distribución de elementos del módulo principal según norma IP2223B

Al cubrir las esquinas del contenedor con silicona se obstruye el paso del agua hacia los circuitos protegiéndolo contra la humedad y cumpliendo la norma IP22. El contenedor queda sellado como se muestra en a figura 30.

Figura 30. *Contenedor secundario*

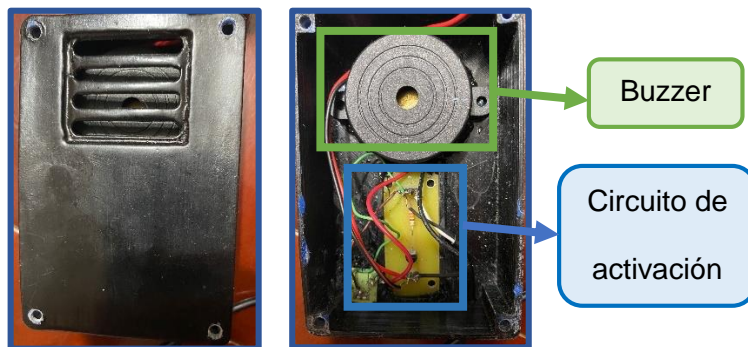


Nota. Estructura ensamblada del módulo secundario.

La estructura del módulo de sonido se puede visualizar en la figura 31. En esta se encuentra el buzzer con su respectivo circuito de activación.

Figura 31

Módulo de sonido



Nota. Módulo de sonido, indicador auditivo de la activación de alarma.

3.9.3. Aplicación

El sistema contiene tres roles dirigidos a diferente personal. El rol de monitoreo, rol de usuario y rol de administrador. Sus funciones se pueden visualizar en la tabla 29.

La cuenta en modo monitoreo muestra la tabla de registros y la supervisión en tiempo real de las alarmas de los equipos. El usuario que entre con esta cuenta no podrá editar ninguna de las instancias del hospital, es netamente para observación.

El modo administrador es el encargado de iniciar la configuración web para identificar los equipos dentro del hospital, habitaciones y numero de bombas.

El modo usuario se encuentra en la parte operativa, registrando pacientes, asignando encargados y modificación de bombas y habitaciones.

Tabla 29*Funcionalidades de cada rol dentro de la aplicación*

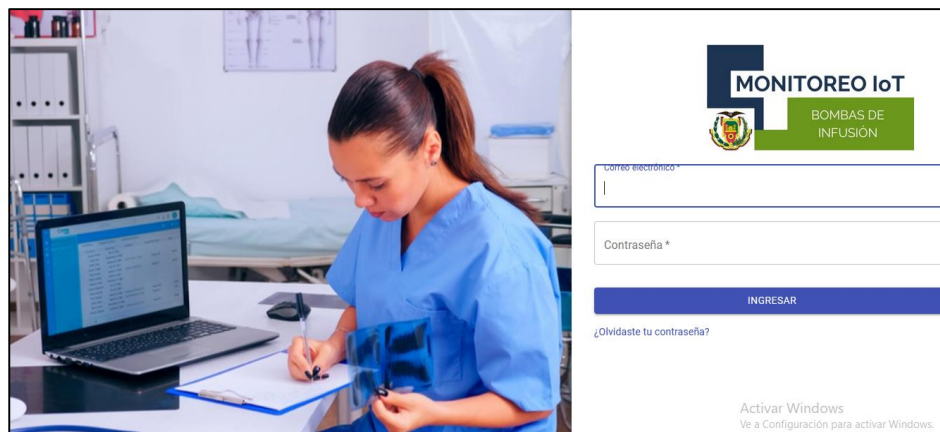
	Super Administrador	Administrador	Monitor
Iniciar sesión	X	X	X
Registrar, editar, eliminar hospitales	X		
Registrar, editar, eliminar habitaciones	X		
Crear áreas	X		
Registrar, editar, eliminar quipos	X		
Registrar, editar, eliminar al personal encargado de las habitaciones	X	X	
Registrar y eliminar 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	

Nota. Identificación de la función de cada rol dentro de la aplicación.

Inicio de sesión. Los tres roles pueden acceder al sistema mediante un usuario que en este caso es su correo electrónico y una clave de acceso. La interfaz se observa en la Figura 32, en donde se detallan los campos para llenarlos. Las cuentas de usuario del rol de monitoreo y de usuario son asignadas desde el administrador.

Figura 32

Interfaz de inicio de sesión



Nota. Página principal para autenticación de usuarios

Registrar hospitales. La función de registrar Hospitales tiene el objetivo de generar un identificador dentro de la base de datos para poder configurar el equipo dentro de esa colección.

También busca organizar el número de hospitales que se tienen dentro del sistema, administrar sus habitaciones y el número de equipos necesarios para su instalación. Su interfaz tiene las acciones de eliminar y agregar como se observa en la figura 33.

Figura 33

Creación de un nuevo hospital



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de hospitales.

Tabla 30

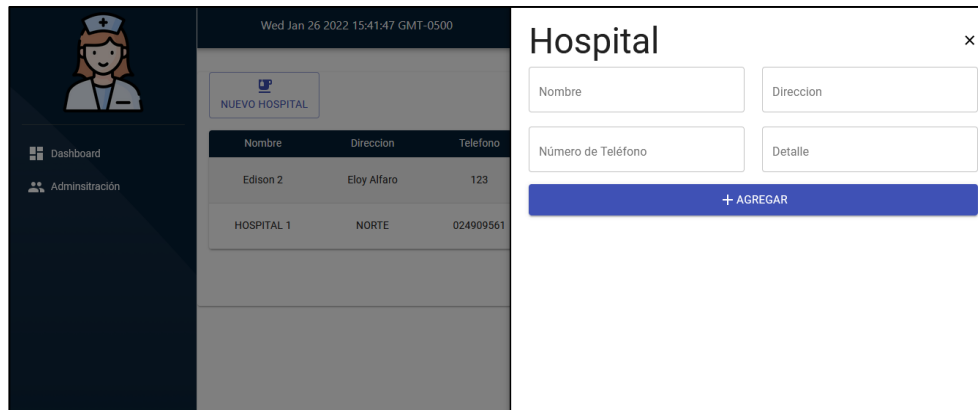
Funciones registro de hospitales

N°	Funcionalidad interfaz figura 33
1	Icono de agregar hospital, muestra una ventana flotante para llenar los campos del hospital (Nombre, dirección, teléfono, detalle) que se pueden observar en la figura 34.
2	Este icono permite ingresar a la opción de agregar áreas.
3	Es utilizado para agregar un usuario administrador y un monitor por hospital.
4	Esta acción permite editar los datos del hospital.
5	Este botón elimina el hospital generado junto con todos sus campos.

Nota. Descripción de las funciones de la interfaz de registro de hospitales.

Figura 34

Datos de un nuevo hospital



Nota. Descripción datos requeridos en el registro de hospitales.

Registrar áreas. Esta funcionalidad depende de la infraestructura y distribución de cada hospital.

Figura 35

Registro de áreas



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de áreas.

Tabla 31

Funciones de registro de áreas

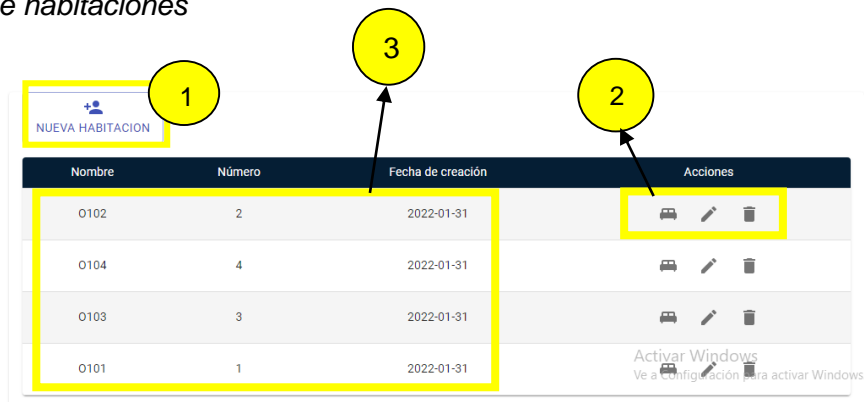
Zona	Funcionalidad interfaz figura 35
1	Las áreas registradas se muestran en la parte superior en forma de pestañas
2	La creación de áreas se realiza con el icono señalado.
3	Espacio para crear habitaciones dentro de cada área.

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de áreas.

Registrar habitaciones. El número de habitaciones por área o servicio del hospital depende de la distribución hospitalaria que mantiene cada hospital. Las características de su interfaz se pueden visualizar en la figura 36.

Figura 36

Creación de habitaciones



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de habitaciones.

Tabla 32

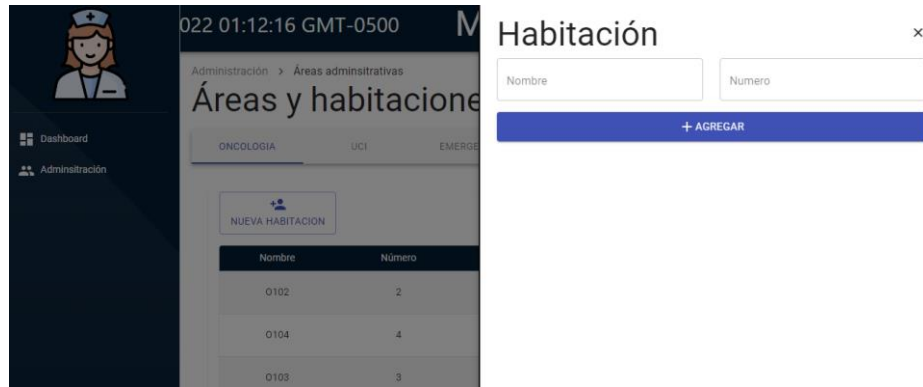
Funciones de creación de habitaciones

Zona	Funcionalidad interfaz figura 36
1	<p>Nueva Habitación: Al hacer clic en este icono se abre una ventana flotante para ingresar los campos de las características de las habitaciones (Nombre Número) que se puede visualizar en la figura 28. Al dar clic en el botón agregar se guarda una nueva habitación dentro del hospital que se esté generando.</p>
2	<p>Las acciones que se encuentran permiten agregar equipos (camas por habitación), editar datos ingresados de la habitación y eliminar la misma respectivamente.</p>
3	<p>En esta zona se puede visualizar los detalles de las habitaciones, entre ellos su nombre, número y fecha de creación.</p>

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de habitaciones.

Figura 37

Datos de una nueva habitación



Nota. Descripción de datos requeridos para registro de habitaciones.

Registrar equipos. Cada cama dentro de la habitación tiene conexión a una bomba de infusión, por lo que para agregar un equipo nuevo se registran dentro de cada habitación una cama, la interfaz de registro se muestra en la figura 38.

Figura 38

Agregar Equipo- bomba de infusión



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de equipos.

Tabla 33

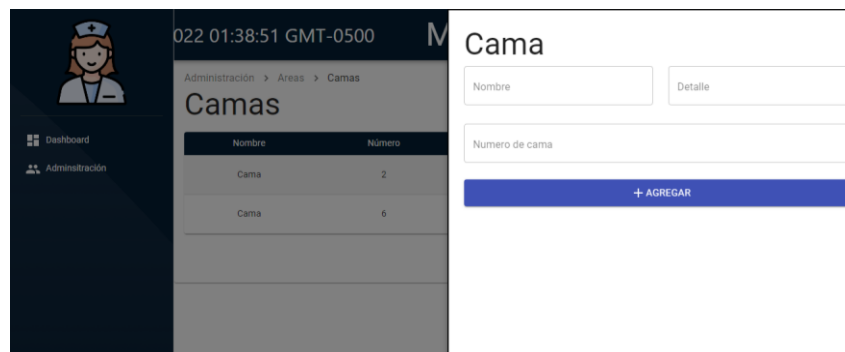
Funciones de registro de equipos

Zona	Funcionalidad interfaz figura 38
1	El botón nueva cama permite la creación de un nuevo equipo dentro de la habitación seleccionada, al aplastarlo se muestra una ventana flotante para llenar los campos del equipo que se observan en la figura 39 (Nombre, número, detalle).
2	Este icono permite editar los campos de la cama creada. (Nombre, número, fecha de creación)
3	Esta acción elimina la cama creada con todos sus campos adjuntos.

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de equipos.

Figura 39

Datos de ingreso de una cama



Nota. Descripción de los datos requeridos para registro de camas.

Registrar encargado por habitación. Para asignar un encargado a la habitación registrada se diseñó un selector, dentro del cual se puede elegir el encargado de entre los nombres registrados previamente, el encargado de cada habitación debe realizar un turno que cambia diariamente y el selector permite realizar una asignación más directa y rápida.

En la figura 40 se puede observar la interfaz de encargados por habitación.

Figura 40

Asignación de enfermeros



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de enfermeros.

Tabla 34

Funciones de interfaz de encargados

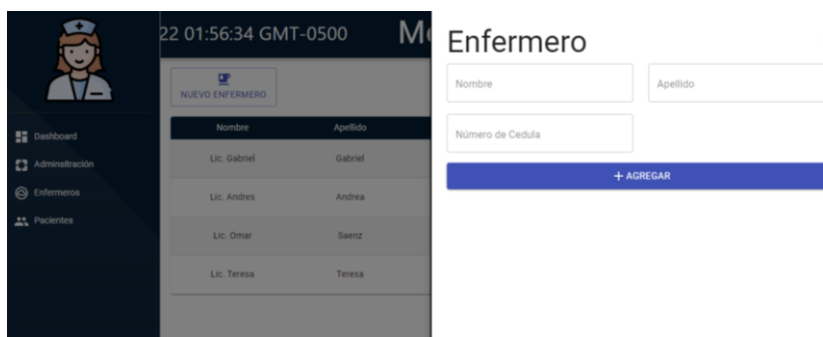
Zona	Funcionalidad interfaz figura 40
1	Pestaña específica para realizar registro y asignación de encargado.

Zona	Funcionalidad interfaz figura 40
2	El ícono Nuevo Enfermero permite abrir una ventana flotante con los campos: nombre, apellido y cédula requeridos para registrar al nuevo encargado, Figura 41.
3	Dentro de las acciones señaladas, se encuentra la opción de editar en la izquierda, esta opción permite cambiar los datos ingresados y el botón eliminar en la derecha el cual borra el encargado de la habitación asignado.
4	En esta zona se visualiza todos los enfermeros registrados y su información: nombre, apellido, cedula y fecha de creación.

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de encargados

Figura 41

Datos de nueva persona



Nota. Descripción de datos requeridos para el registro de encargados.

Registrar cuentas de un hospital. Para poder registrar un administrador, el super administrador debe registrarlo en el proceso de creación de un hospital. En la figura 33 se muestra la interfaz de registro y eliminación del administrador en un hospital.

Figura 42

Nuevos usuarios dentro del hospital



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de nuevos usuarios de hospital.

Tabla 35

Funciones de registro de usuarios

Zona	Funcionalidad interfaz figura 42
1	Icono para agregar al administrador nuevo zona
2	Se puede observar un resumen de los usuarios registrados.
3	En esta zona se encuentran la acción de eliminar

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de usuarios.

Al dar clic en nueva persona se tiene la opción de agregar un nuevo usuario (jefe administrador) o un nuevo monitor (jefe). En este caso se debe dar clic en la opción de jefe administrativo y llenar los datos como se muestra en la figura 43.

Figura 43

Ingreso de datos de nueva persona administrativa

The image shows a web form titled "Nueva personas" with a close button (x) in the top right corner. The form contains four input fields: "Nombre", "Apellido", "Correo Encargado", and "Cedula". Below these fields is a dropdown menu with a yellow border. The dropdown menu is open, showing three options: "jefe", "jefe", and "Jefe administrativo". To the right of the dropdown menu is a blue button with a white plus sign and the text "+ AGREGAR".

Nota. Descripción de datos requeridos para el registro de usuarios nuevos en el hospital.

Registrar hospitales. Para registrar y eliminar el monitor de un hospital se mantiene la misma interfaz de la figura 44 y figura 45, pero para realizar el registro, en la figura 35 se debe elegir la opción de jefe en lugar de jefe administrativo dentro de la zona señalada en la figura

Registrar pacientes. La funcionalidad de registrar, agregar y eliminar pacientes se ocupa de forma muy frecuente en un sistema hospitalario, por lo que se ha incluido en el diseño una pestaña específica para este proceso.

Dentro del diseño también se ha incluido botones de acción para crear un paciente nuevo y dar de alta a un paciente ya registrado. Se ha configurado botones que eliminan al paciente registrado y editan los datos ingresados en caso de colocar mal los datos del mismo.

Figura 44

Interfaz de edición de pacientes



Nota. Descripción de elementos dentro la interfaz de registro de pacientes

Tabla 36

Funciones de registro de pacientes

Zona	Funcionalidad interfaz figura 44
1	Icono que permite agregar un paciente nuevo a la base de datos de la aplicación.
2	Pestaña destinada únicamente al registro, eliminación y edición de pacientes.
3	Zona de visualización de datos ingresados del paciente. (nombre, apellido, edad, cédula, diagnostico)
4	Botones que permiten dar de alta al paciente

Zona	Funcionalidad interfaz figura 44
5	El botón de la izquierda permite la asignación de una cama al paciente ingresado como se puede visualizar en la figura 36, el botón de la derecha elimina el paciente registrado

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de pacientes.

Para realizar una asignación directa con el paciente registrado se ha diseñado la asignación de una cama por áreas con un selector.

Cunando un paciente requiere ser ingresado, se busca una cama disponible dentro de los selectores y se guarda la información requerida del paciente en esa habitación como se observa en la figura 45.

Figura 45

Datos de edición del paciente



Nota. Descripción de los datos requeridos para registrar un paciente nuevo y para asignarle una habitación.

Tabla 37

Funciones de registro de paciente.

Zona	Funcionalidad interfaz figura 45
1	Zona de ingreso de datos del paciente. (nombre, cédula, edad, diagnóstico)
2	Zona de asignación de camas, en esta primero se selecciona el área en la que se requiere ingresar al paciente, luego la habitación y luego la cama.

Nota. Descripción de las funciones que se encuentran en la interfaz de registro de pacientes y asignación de habitación.

Visualizar el monitoreo en tiempo real. La cuenta de monitoreo que se puede observar en la figura 46, muestra una tabla de registros ubicada en el lado izquierdo

donde detalla el nombre de la habitación que tiene el equipo con su alarma encendida, el tiempo de duración que indica cuanto tiempo se demoró en ser atendida la alarma, y la hora en que se registra la alarma.

En la parte derecha se puede observar las habitaciones con sus nombres en cada cuadro, acompañados de los siguientes colores.

- Azul: El equipo de la habitación tiene la alarma apagada
- Rojo: La alarma de los equipos de esta habitación se encuentra encendida

Figura 46

Interfaz de monitoreo

Habitación	Tiempo	Hora
E101	0:05.91	17:16:09
U102	0:11.03	17:11:13
U101	0:11.94	17:11:13
O104	0:17.38	17:08:21
O103	0:20.51	17:07:42
E102	0:16.29	17:07:41
U101	0:28.29	16:55:14

Monitoreo de equipos

Tue Feb 01 2022 17:02:58 GMT-0500

Alarma encendida (Rojo) Alarma apagada (Azul)

U103	U104	O102
E102	E103	E104
U101	E101	O104

Nota. Pantalla de monitoreo de equipos en tiempo real.

Para la visualización de información rápida de la habitación de interés se ha diseñado una ventana emergente flotante que permita visualizar la información. Detalla nombre del encargado, nombre y apellido del paciente junto con su fecha de ingreso y su diagnóstico.

Figura 47

Ventana informativa monitoreo



The screenshot shows a mobile application interface titled "Monitoreo de equipos". At the top, it displays the date and time: "Thu Feb 03 2022 02:29:43 GMT-0500". Below the title is a table with columns "Habitación", "Tiempo", and "Hora". The table contains several rows of data, including "E101", "U102", "U101", "O104", "O103", "E102", "U101", and "O102". An emergent window is overlaid on the table, titled "Encargado: Lic. Omar Saenz". This window contains a table with columns "Nombre", "Apellido", "Ingreso", and "Diagnostico". The data in this window is as follows:

Nombre	Apellido	Ingreso	Diagnostico
Elizabeth	Alvarado	2022-01-31	Plinzamiento de cadera
Marcelo	Marcelo	2022-01-31	++

Nota. Información relevante de cada habitación ubicada en una ventana emergente.

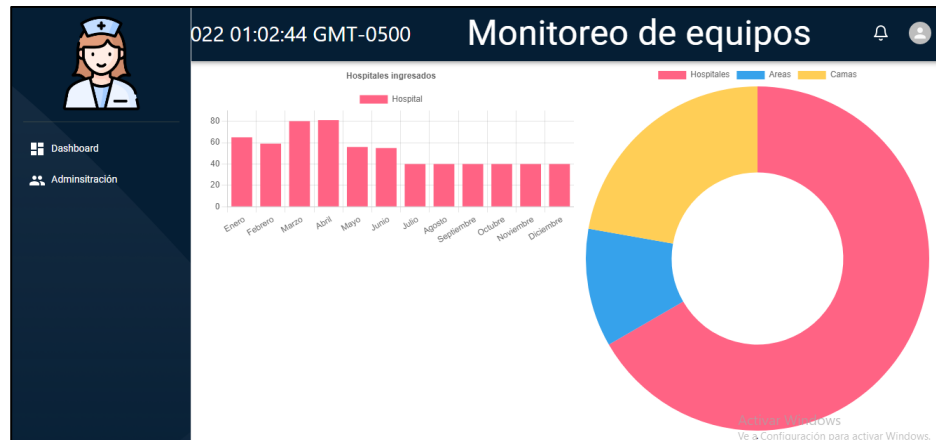
Envío de reportes. El envío de reportes se lo realiza por encargado de habitación, este recopila los tiempos generados en la atención de alarmas de cada equipo y los resume mostrando una gráfica promedio de su desempeño mensual.

En la figura 48, se puede visualizar los reportes generados desde el super administrador.

En el lado izquierdo se encuentra un resumen de pacientes ingresados mensualmente, en el lado derecho se observa las áreas que maneja cada hospital.

Figura 48

Dashboard de super usuario



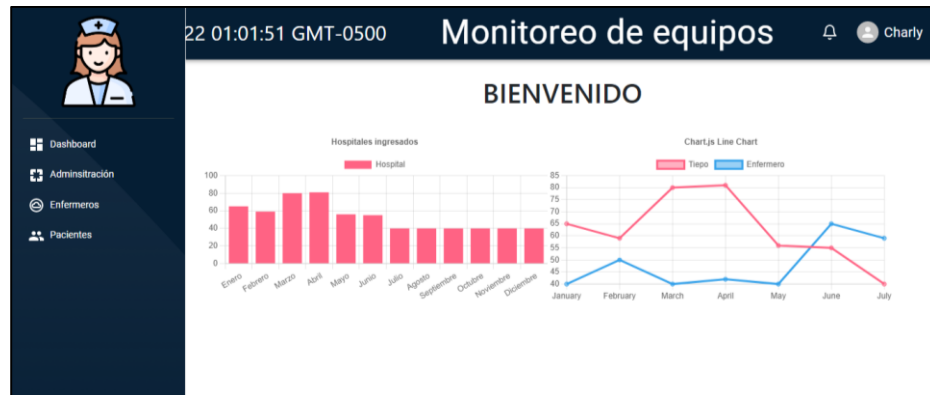
Nota. Grafica de barras de numero de hospitales registrados mensualmente y pastel de distribución de áreas por hospital.

En la figura 49, se puede visualizar los reportes generados en el jefe administrador.

En el lado izquierdo se puede ver el resumen de los pacientes ingresados de forma mensual y en el lado derecho una gráfica de los tiempos de atención y su enfermero responsable.

Figura 49

Dashboard de jefe administrador



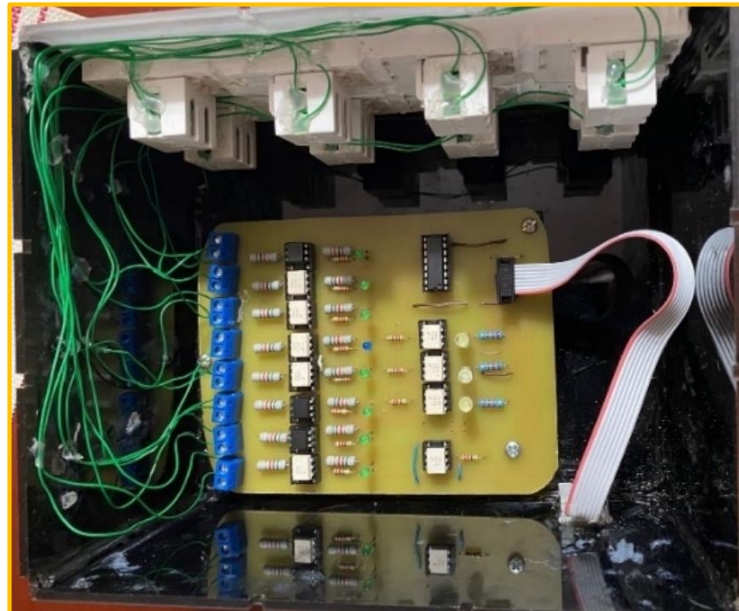
Nota. Grafica de barras de número de pacientes registrados en el hospital mensualmente y líneas en función del resumen de tiempo de los encargados de las habitaciones.

3.9.4. Integración del sistema

El sistema que se ha construido en diferentes etapas se integra empezando por unir la etapa mecánica y electrónica fijando los circuitos del módulo principal y secundario a su respectivo contenedor, luego se realiza el cableado interno de los elementos como se puede observar en la figura 50 y 51. Para lo cual se utilizó un cable de bobina cable flexible de 0.5mm verde, que conecta a los dispositivos rj11 tipo hembra y las entradas a las borneras de la placa. Se descarta el cable rígido para conexiones debido a que se rompe en los lugares en donde se necesita doblar el cable. También se utiliza buses de datos para la conexión de los pines de la placa al conector rj45 de tipo hembra.

Figura 50

Cableado interno

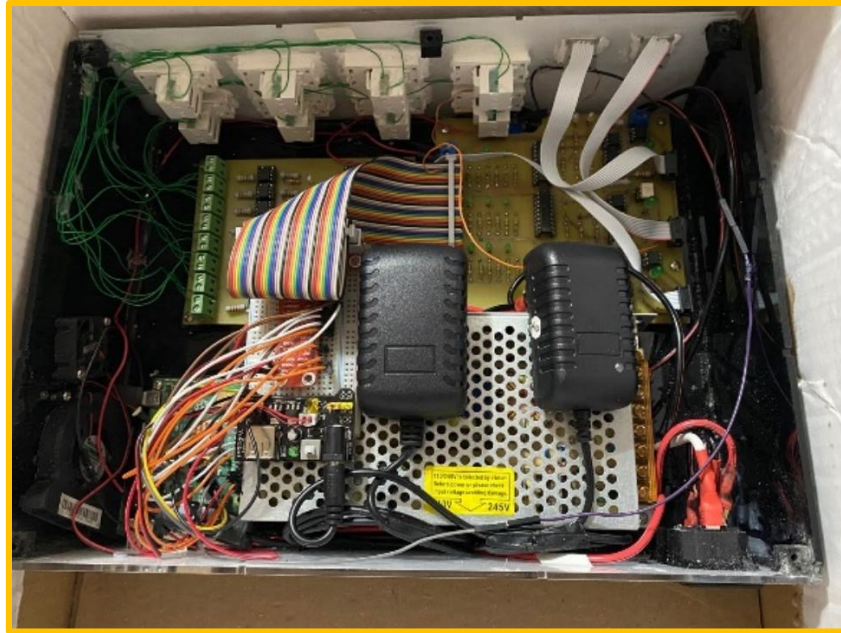


Nota. Disposición de elementos electrónicos cableados internos en el módulo secundario

El cableado de los elementos que comparten en común el módulo principal y secundario se realiza de la misma manera. Para la conexión de raspberry se ha utilizado un bus de datos que conecta la placa principal con el procesador.

Figura 51

Cableado interno

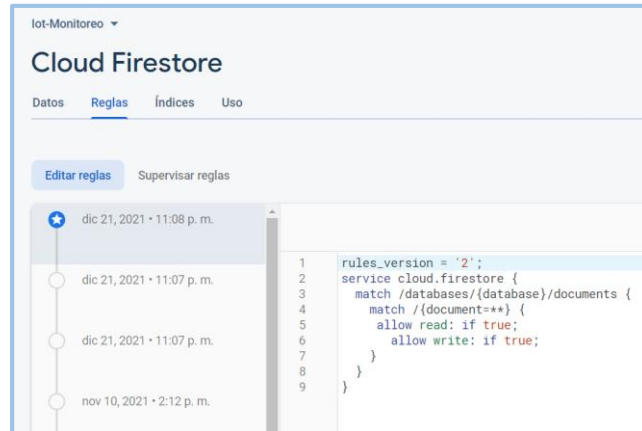


Nota. Disposición y cableado de elementos del módulo principal del sistema

La integración de la base de datos con el módulo principal se realiza mediante la configuración de las reglas dentro de Firestore como se puede visualizar en la figura 53.

Figura 52

Configuración Firestore



Nota. Reglas habilitadas para lectura y escritura dentro de la base de datos.

La integración de la aplicación con la base de datos se realiza mediante la configuración del SDK dentro de la programación, para tener acceso a los datos escritos en ella.

Figura 53

Configuración SDK



Nota. Código generado en el proyecto en Firestore para incluirlo en la aplicación

Capítulo IV

4. Implementación, pruebas y resultados.

Las pruebas de funcionamiento y su implementación se realizaron en las instalaciones de la Empresa QUIFATEX.

4.1. Implementación del prototipo de monitoreo

El espacio de trabajo dentro de la empresa dispone de varios inmuebles para colocar los equipos, el prototipo se colocará sobre la mesa de trabajo para verificar el funcionamiento del sistema.

El módulo principal será ubicado cercano a la toma de voltaje de 120V y a la toma de red de la empresa. Próximo a este módulo se colocará una computadora que posee un monitor de 27 pulgadas que permitirá la visualización de forma más amplia el monitoreo en tiempo real.

Los módulos secundarios se ubican a los lados del módulo principal, a 70 centímetros de este, conectados por cable de red directo.

Las bombas de infusión se conectan mediante el cable de adaptación de terminales plug y rj11 cercanos a cada módulo secundario. Se conecta un total de 11 bombas de infusión, ubicadas físicamente 5 dispositivos del lado derecho y 5 dispositivos del lado izquierdo. Los dispositivos se encuentran a una distancia de 5 centímetros entre ellos y se conectan según los criterios de evaluación de las pruebas necesarias para la verificación de su funcionamiento.

Las bombas de infusión tienen un caset de pruebas que permiten simular el funcionamiento real del equipo, estos son generalmente utilizados para prueba y calibración de equipos.

La pantalla de administración y gestión de pacientes y enfermeros encargados se presentará en un monitor de laptop de 15 pulgadas. A un costado del funcionamiento de los equipos.

El dispositivo indicador se colocará sobre el módulo principal, y cercano a la pantalla de visualización.

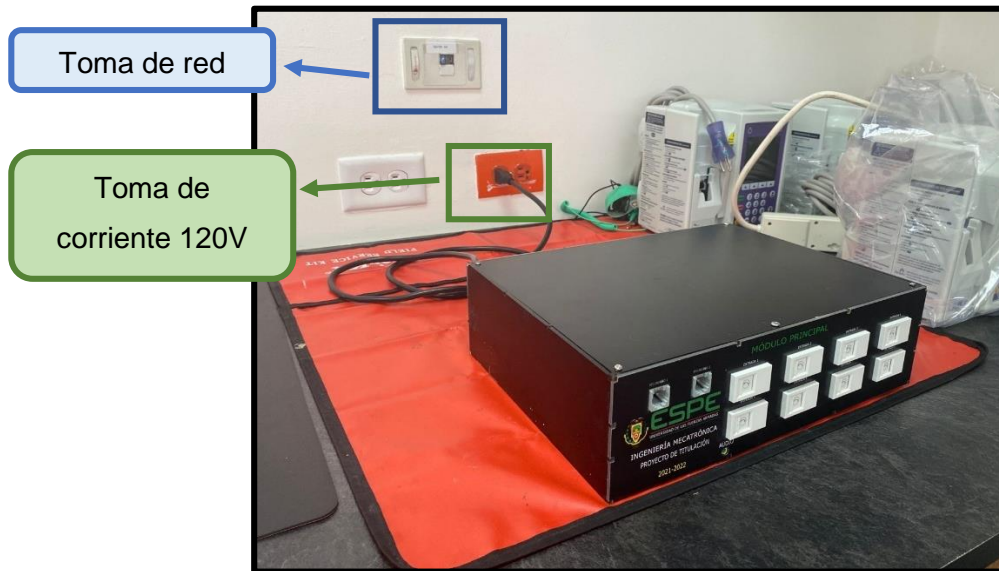
4.2. Adaptación del prototipo al sistema de monitoreo.

4.2.1. *Conexión del sistema*

Para la alimentación del módulo principal se requiere una toma de corriente de 120V, y toma de red RJ45 a internet. La conexión entre módulos se realiza mediante cable de ethernet RS232, aunque la norma no establece una longitud máxima de cable, generalmente es utilizada a no más de 15 m (50 pies). Como se muestra en la figura 55.

Figura 54

Conexión del módulo principal



Nota. Ubicación de los equipos en la empresa Quifatex junto a su alimentación

Modulo secundario preparado para su implementación.

Figura 55

Módulo secundario



Nota. Ubicación del módulo secundario lejano a tomas de alimentación de voltaje y de red.

Las bombas de infusión plum A+ tienen una salida tipo plug para lo cual se crea un cable con un terminal tipo Jack de 3,5mm de tipo TS (dos canales), y otro terminal de tipo rj11 que permitirá recibir la señal en el módulo, como se muestra en la figura 57.

Figura 56

Cable de conexión al equipo



Nota. Cable de 1.50 metros para conectar las bombas de infusión al equipo de monitoreo.

La conexión se la realiza en la parte frontal del módulo que recibe la señales como se puede observar en la figura 58.

Figura 57

Conexión de la Bomba al módulo secundario

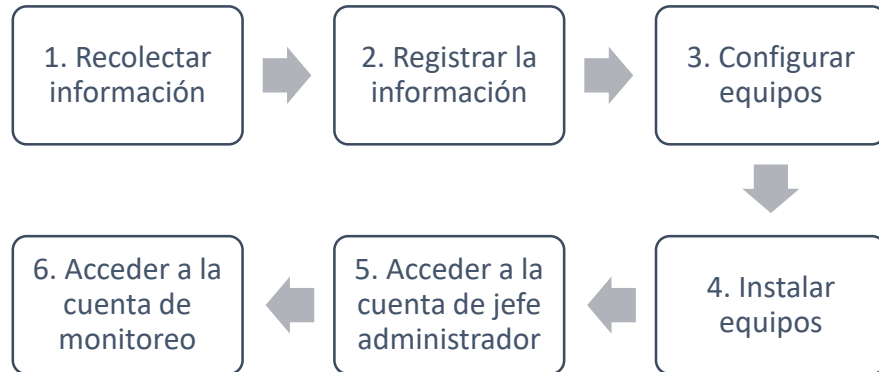


Nota. Conexión de la bomba de infusión plum A+ con el prototipo de monitoreo.

4.2.2. Procedimiento de implementación.

Figura 58

Procedimiento de implementación del prototipo



Nota. Descripción general de las instrucciones de implementación del prototipo.

1. Recolectar información: Los administradores realizan la recolección de la información del hospital con el cual se va a trabajar. La información es referente al número de habitaciones, número de camas (equipos) por habitación y datos del personal encargado(usuario). En la siguiente figura se puede observar una ficha de ejemplo de registro de datos.

Figura 59

Ficha de información

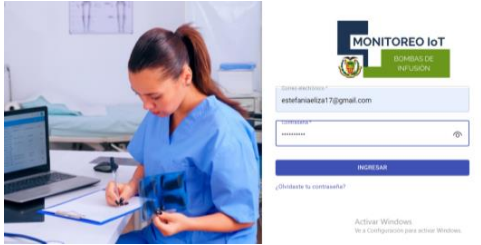

FICHA DE INFORMACIÓN CONFIGURACIÓN GENERAL DEL EQUIPO				
DATOS GENERALES DEL HOSPITAL				
Nombre	HOSPITAL 1			
Dirección	NORTE			
Teléfono	022490951			
Observación	Hospital de prueba			
Áreas	6			
Administrador	Lic. José Morales			
DATOS ADMINISTRADOR				
Nombre	Lic. José Morales			
Correo	jomorales@gmail.com			
Cedula	1234567890			
Teléfono	1232123			
DESIGNACIÓN DE HABITACIONES				
Nombre del Área	Número de Habitaciones por área	Nombre de Habitaciones	Numero de camas por habitación	Encargado
UCI	3	UC1001...UC1003	2	Edison
Emergencias	3	E1001...E1003	2	Gabriel
Ginecología	2	G1001, G1002	1	Ricardo
Traumatología	2	T1001, T1002	1	Natalia
Urología	2	UR1001, UR1002	1	Martina
Oncología	3	O1001...O1003	2	Karina
Total camas:			24	
DESIGNACIÓN DE EQUIPOS				
	Habitación	Paciente por habitación		Bombas
1	UC1001	Luis	Andrés	B1, B2
2	UC1002	Sofía		B3, B4
3	UC1003	Estefanía		B5, B6
4	E1001			B7, B8
5	E1002	Juan		B9, B10
6	E1003	Rosa	Pedro	B11, B12
7	G1001	Estela		B13
8	G1002	Pilar		B14
9	T1001			B15
10	T1002	María		B16
11	UR1001			B17
12	UR1002	Rene		B18
13	O1001	Silvia		B19, B20
14	O1002			B21, B22

Nota. Ficha de levantamiento de información de la estructura del hospital, áreas, habitaciones y equipos.

- Registrar la información: Entrar al sistema con la cuenta de super usuario, ingresar la información recolectada en el paso 1 desde la aplicación Web.

Tabla 38.

Registro de la información de la ficha de la figura 42

Registros	Imagen																								
<p>Ingreso super usuario</p>																									
<p>Registro de nuevo Hospital</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Dirección</th> <th>Teléfono</th> <th>Detalle</th> <th>Fecha de creación</th> <th>Acciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HOSPITAL 2</td> <td>CENTRO</td> <td>0943654567</td> <td>Prueba</td> <td>2022-01-31</td> <td>[Icons]</td> </tr> <tr> <td>valle</td> <td>cumbaya</td> <td>091232</td> <td>prueba</td> <td>2022-01-30</td> <td>[Icons]</td> </tr> <tr> <td>HOSPITAL 1</td> <td>NORTE</td> <td>022490951</td> <td>Hospital de prueba</td> <td>2022-01-30</td> <td>[Icons]</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Dirección	Teléfono	Detalle	Fecha de creación	Acciones	HOSPITAL 2	CENTRO	0943654567	Prueba	2022-01-31	[Icons]	valle	cumbaya	091232	prueba	2022-01-30	[Icons]	HOSPITAL 1	NORTE	022490951	Hospital de prueba	2022-01-30	[Icons]
Nombre	Dirección	Teléfono	Detalle	Fecha de creación	Acciones																				
HOSPITAL 2	CENTRO	0943654567	Prueba	2022-01-31	[Icons]																				
valle	cumbaya	091232	prueba	2022-01-30	[Icons]																				
HOSPITAL 1	NORTE	022490951	Hospital de prueba	2022-01-30	[Icons]																				
<p>Registro de áreas y habitaciones</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Numero</th> <th>Fecha de creación</th> <th>Acciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1001</td> <td>-</td> <td>2022-01-30</td> <td>[Icons]</td> </tr> <tr> <td>T1002</td> <td>-</td> <td>2022-01-30</td> <td>[Icons]</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Numero	Fecha de creación	Acciones	T1001	-	2022-01-30	[Icons]	T1002	-	2022-01-30	[Icons]												
Nombre	Numero	Fecha de creación	Acciones																						
T1001	-	2022-01-30	[Icons]																						
T1002	-	2022-01-30	[Icons]																						

Registros

Imagen

Registro de camas
(equipos)



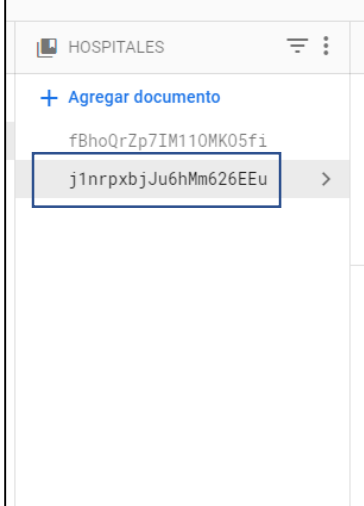
Nombre	Numero	Fecha de creación	Acciones
Camas	2	2022-01-01	[icon] [icon]
Camas	6	2022-01-01	[icon] [icon]

Nota. En la tabla se puede encontrar la información registrada de la ficha del paso 1.

3. Configurar los equipos: Para realizar la configuración es necesario ingresar a la base de datos y copiar el identificador del nuevo hospital, después ingresar a la interfaz de raspberry, modificar la variable de direccionamiento con el identificador copiado. Luego descargar el Key de permisos de escritura de Firebase y direccionarlo en el programa de raspberry para poder tener permisos de escritura en la base de datos. Como se muestra en la figura 61.

Figura 60

Código para escritura en firestore

FIRESTORE	PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
	<pre data-bbox="652 527 1326 1029">ini3=time.time() hh=44 if (ii==45 and 2==j): ini2=time.time() ii=46 if (ll==47 and 1==j): ini1=time.time() ll=48 direc1='doc_ref=db.collection("HOSPITALES").document("j1nrpxbjJu6hMm626EEu").colle direc2="" Tdir=direc1+str(j)+direc2 exec(Tdir) doc_ref.update({ 'Valor':1, 'Estado':True, 'Duracion':0, 'Fecha':0, }) }} </pre>

Nota. Copia del código de identificación del equipo en la base de datos para poder realizar la escritura de datos.

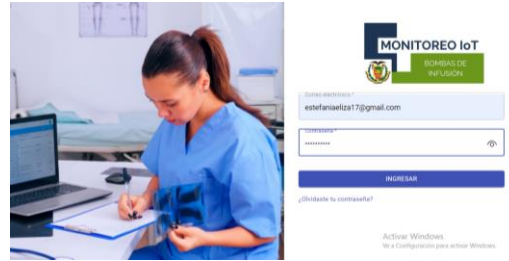
4. Instalar los equipos.
5. Ingresar como usuario jefe: El modo jefe administrador se puede editar pacientes, y asignar encargados. Según la información de la ficha del paso 1, se registra la información como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39

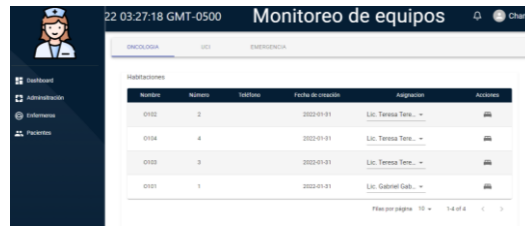
Administración pacientes y encargados

Registros	Imagen
-----------	--------

Ingreso jefe administrador



Registro de nuevo encargado



Registro de nuevo paciente



Nota. En la tabla se puede encontrar la información registrada de la ficha del paso 1.

6. Activar la pantalla de monitoreo: Ingresar con la cuenta de rol jefe para visualizar las habitaciones y sus alarmas.

Tabla 40

Administración monitoreo

Registros	Imagen																																																																								
<p>Ingreso cuenta de monitoreo</p>	 <table border="1" data-bbox="792 982 1252 1180"> <thead> <tr> <th>Habitación</th> <th>Tiempo</th> <th>Hora</th> <th colspan="3">Alarma disponible</th> <th colspan="3">Alarma sujeta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E101</td> <td>0:05.91</td> <td>17:16:09</td> <td>U103</td> <td>U104</td> <td>O102</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>U102</td> <td>0:11.03</td> <td>17:11:13</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>E102</td> <td>E103</td> <td>E104</td> </tr> <tr> <td>U101</td> <td>0:11.94</td> <td>17:11:13</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O104</td> <td>0:17.38</td> <td>17:08:21</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O103</td> <td>0:20.51</td> <td>17:07:42</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E102</td> <td>0:16.29</td> <td>17:07:41</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>U101</td> <td>0:28.29</td> <td>16:55:14</td> <td>U101</td> <td>E101</td> <td>O104</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Habitación	Tiempo	Hora	Alarma disponible			Alarma sujeta			E101	0:05.91	17:16:09	U103	U104	O102				U102	0:11.03	17:11:13				E102	E103	E104	U101	0:11.94	17:11:13							O104	0:17.38	17:08:21							O103	0:20.51	17:07:42							E102	0:16.29	17:07:41							U101	0:28.29	16:55:14	U101	E101	O104			
Habitación	Tiempo	Hora	Alarma disponible			Alarma sujeta																																																																			
E101	0:05.91	17:16:09	U103	U104	O102																																																																				
U102	0:11.03	17:11:13				E102	E103	E104																																																																	
U101	0:11.94	17:11:13																																																																							
O104	0:17.38	17:08:21																																																																							
O103	0:20.51	17:07:42																																																																							
E102	0:16.29	17:07:41																																																																							
U101	0:28.29	16:55:14	U101	E101	O104																																																																				

Nota. Interfaz del monitoreo de alarmas creada a partir de la información inicial.

4.3. Pruebas de integración del prototipo

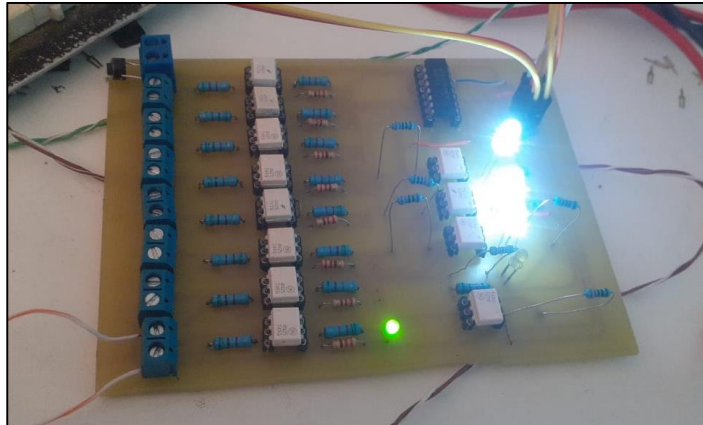
4.3.1. Prueba de circuitos

Las pruebas de los circuitos se enfocan en la obtención de las señales de alarma de las bombas de infusión.

Prueba individual, en la figura 62 se puede visualizar un led indicador que muestra que una alarma se encuentra activa en el circuito PCB secundario del sistema.

Figura 61

Prueba individual del circuito

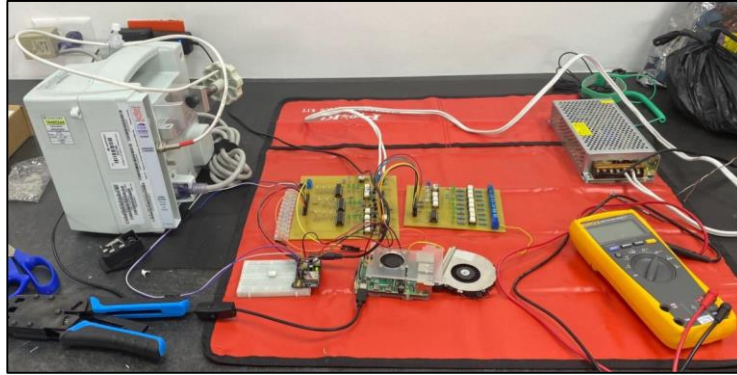


Nota. Circuito PCB, prueba de funcionamiento

La prueba integral de circuitos, en la figura 63 se puede observar la conexión de los circuitos impresos y los demás elementos electrónicos a las bombas de infusión. El indicador led se encendió dando un correcto funcionamiento entre los dispositivos electrónicos.

Figura 62

Prueba de entre circuitos



Nota. Circuito principal y secundario conectado a prueba de detección de señales con el dispositivo médico.

Después de realizar el ensamble completo del prototipo se ha probado su funcionamiento verificando sus conexiones internas al momento de recibir un cierre de contacto dentro del circuito, como se puede visualizar en la figura 64.

Figura 63

Prueba de circuitos



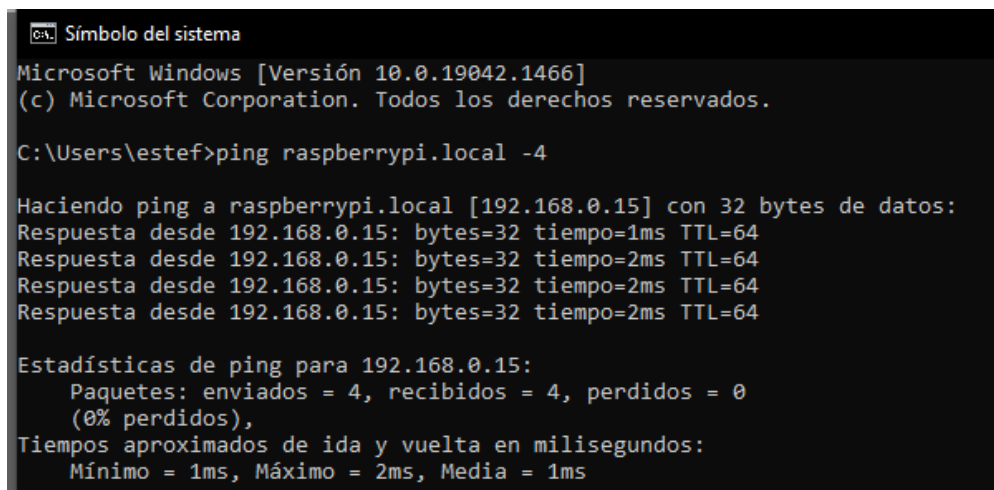
Nota. Módulo principal y secundario en pruebas de funcionamiento.

4.3.2. Comunicación de red

La prueba de verificación del procesador al acceso a la red, se realiza desde el CDM de Windows con el comando ping raspberrypi.local -4, que devolverá la ipv4 del procesador como se observa en la figura 65

Figura 64

Conexión del procesador a la red



```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.1466]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\estef>ping raspberrypi.local -4

Haciendo ping a raspberrypi.local [192.168.0.15] con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.15: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.15: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.15: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.15: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.15:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
```

Nota. Respuesta de conexión en red del módulo principal desde CMD

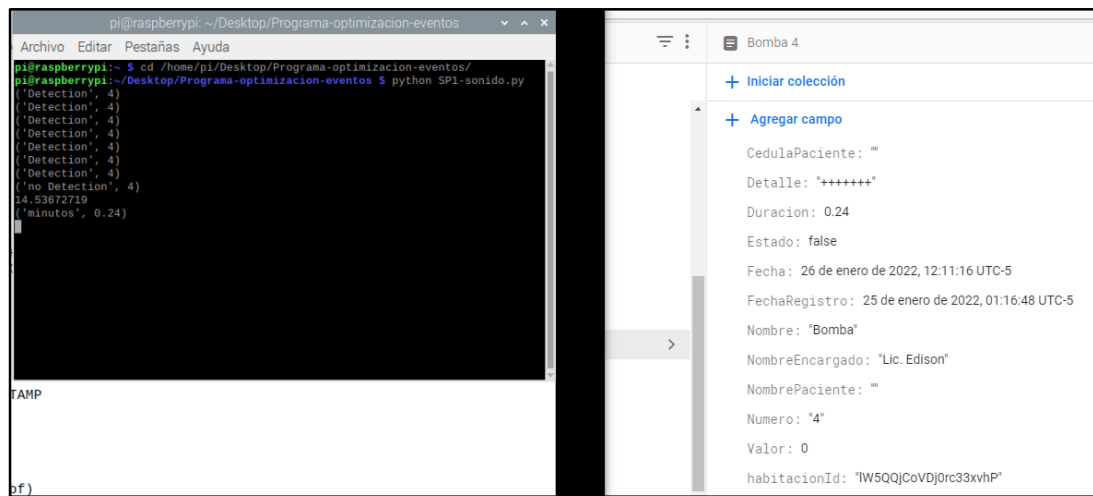
4.3.3. Comunicación del equipo con la base de datos

En las siguientes figuras se muestra las pruebas de integración del equipo con la base de datos. En el lado izquierdo se encuentra el registro de la activación de las bombas de infusión en la consola de comandos del procesador guardadas con la expresión “Detection, (Numero del equipo)”, así como el tiempo que se demora en ser atendida la alarma. En la zona derecha se puede visualizar los campos de la base de datos Firestore, entre ellos el campo de duración, valor y el identificador numérico que tiene cada bomba.

La figura 66 tiene el registro de la bomba 4 y la figura 67 la bomba 13, en ambos casos podemos observar que el tiempo de duración de la consola del equipo es el mismo en la base de datos, es decir el valor no cambia ni se altera.

Figura 65

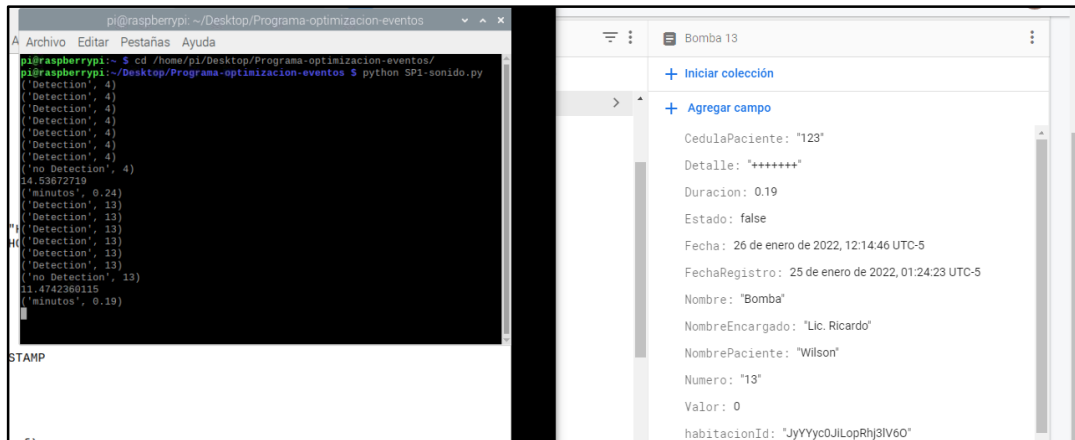
Prueba 1 de integración con la base de datos.



Nota. Prueba del registro de señales obtenidas en la base de datos.

Figura 66

Prueba 2 de integración con la base de datos.



Nota. Segunda prueba de registro de señales obtenidas en la base de datos.

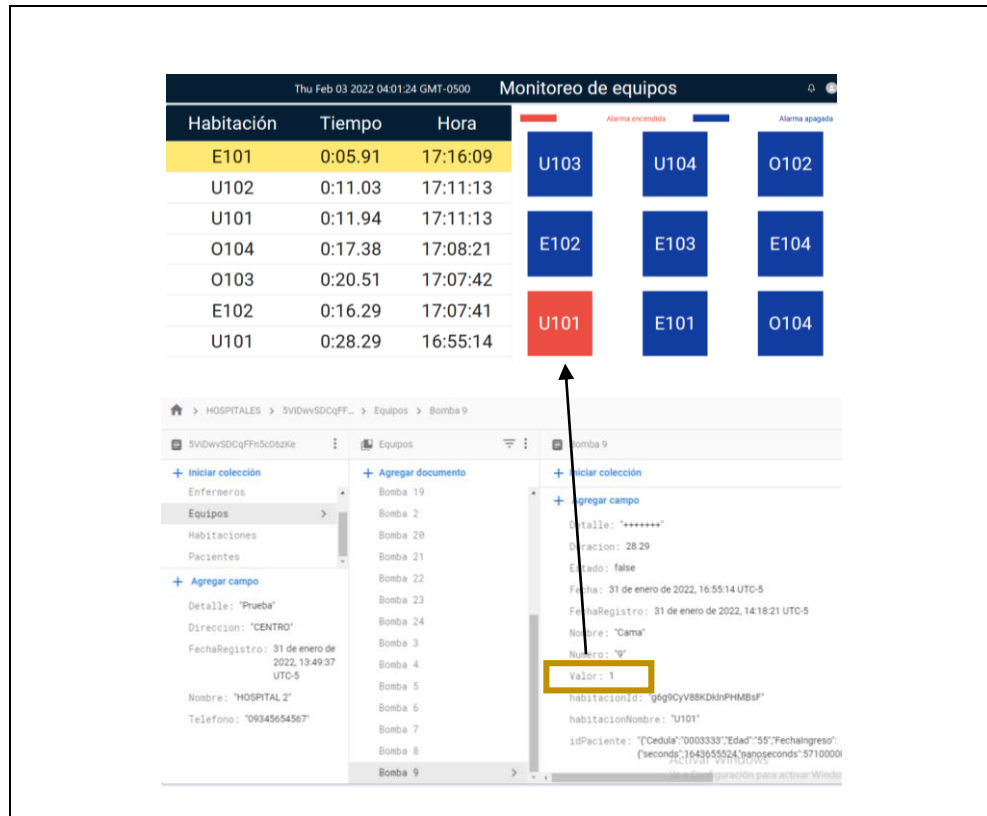
4.3.4. Visualización de datos en front end

La información registrada desde el equipo en la base de datos se refleja en la tabla de monitoreo del front end como se muestra en la figura 49. En esta figura se puede observar que el hospital se ha registrado de forma correcta, señalado de color azul con el nombre de Hospital 1 y sus datos adjuntos.

El paciente de nombre Pedro también se encuentra registrado en la base de datos y se lo puede visualizar dentro del front junto a sus respectivos campos informativos.

Figura 67

Mostrar datos de la base de datos en el front end.



Nota. Los datos que se reflejan en el front son los que se han enviado desde la raspberry, en este caso el Valor de estado 1 permite un cambio de color en el monitoreo de front.

4.3.5. Registro de roles

Cuando se realiza el registro de cuentas con diferentes roles, administrador, super administrador y monitor desde la aplicación se guardan en la base de datos de Firestore. En la figura 69 se puede visualizar una cuenta registrada con el rol de superadministrador, mientras que en la figura 70 se muestra una cuenta de jefe administrador y en la figura 71, una cuenta de monitoreo (jefe)

Figura 68

Cuenta con rol de super administrador

iot-monitoreo	usuarios	estefaniaeliza17@gmail.com
+ Iniciar colección	+ Agregar documento	+ Iniciar colección
HOSPITALES	estefaniaeliza17@gmail.com >	+ Agregar campo
Hospital-A	jomorales@gmail.com	Apellido: "Alvarado"
Pacientes	jperez@gmail.com	Cedula: "123456"
usuarios >	juand@hotmail.com	Correo: "estefaniaeliza17@gmail.com"
	mai@hotmail.com	Nombre: "Eli"
	merc@hotmail.com	Rol: "superAdministrador"
	monitor@gmail.com	
	mont@hotmail.com	
	vicenteedison93@gmail.com	

Nota. Imagen obtenida de la base de datos, donde se señala el campo de validación de roles para super administrador

Figura 69

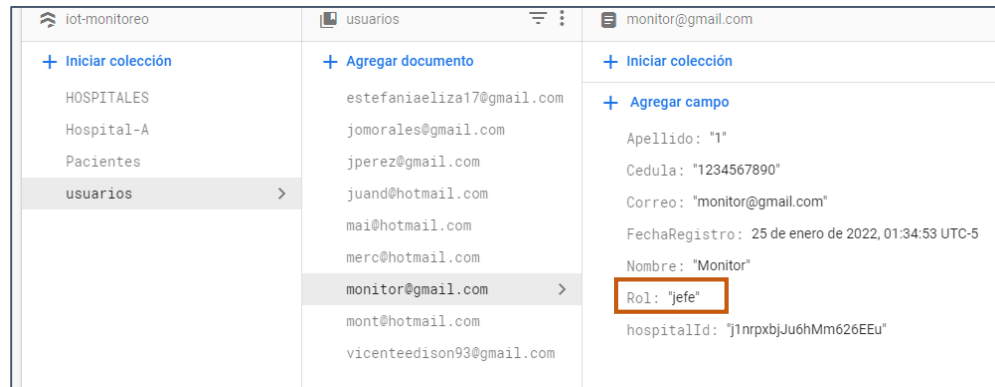
Cuenta con rol de jefe administrador

iot-monitoreo	usuarios	merc@hotmail.com
+ Iniciar colección	+ Agregar documento	+ Iniciar colección
HOSPITALES	estefaniaeliza17@gmail.com	+ Agregar campo
Hospital-A	jomorales@gmail.com	Apellido: "Torres"
Pacientes	jperez@gmail.com	Cedula: "1234567890"
usuarios >	juand@hotmail.com	Correo: "merc@hotmail.com"
	mai@hotmail.com	FechaRegistro: 20 de enero de 2022, 22:25:15 UTC-5
	merc@hotmail.com >	Nombre: "Mercedes"
	monitor@gmail.com	Rol: "jefeAdmin"
	mont@hotmail.com	hospitalId: "zQfujOBYWNt3K0kt1wCA"
	vicenteedison93@gmail.com	

Nota. Imagen obtenida de la base de datos, donde se señala el campo de validación de roles para jefe Administrador.

Figura 70

Cuenta con rol de jefe o monitor

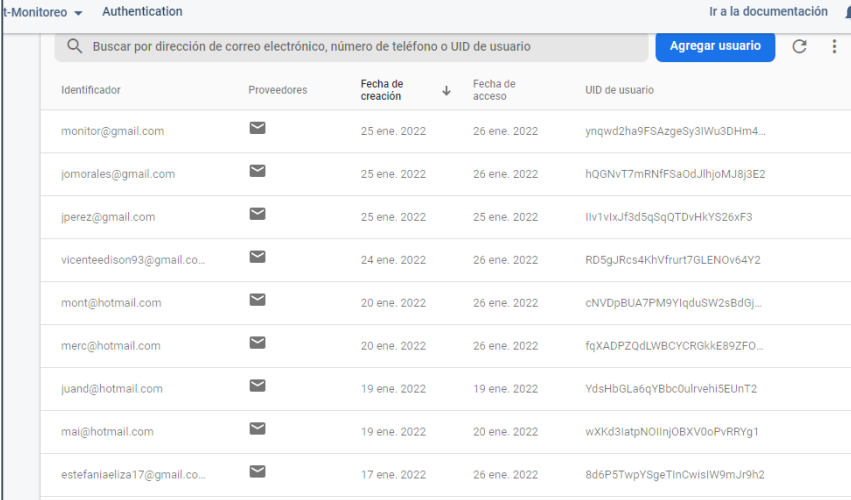


Nota. Imagen obtenida de la base de datos, donde se señala el campo de validación de roles para jefe (monitor).

Al momento de registrar a los usuarios desde la aplicación se guardan dentro de la autenticación del proyecto de la base de datos Firestore como se muestra en la figura 72.

Figura 71

Configuración de autenticación



Identificador	Proveedores	Fecha de creación	Fecha de acceso	UID de usuario
monitor@gmail.com	✉	25 ene. 2022	26 ene. 2022	ynqwd2ha9FSAzgeSy3IWu3DHm4...
jomorales@gmail.com	✉	25 ene. 2022	26 ene. 2022	hQGNvT7mRNfSaOdJlhjoMJ8j3E2
jperez@gmail.com	✉	25 ene. 2022	25 ene. 2022	llv1vixJf3d5qSQTDvHKYS26xF3
vicenteedison93@gmail.co...	✉	24 ene. 2022	26 ene. 2022	RD5gJRcs4KhVfrut7GLENOv64Y2
mont@hotmail.com	✉	20 ene. 2022	26 ene. 2022	cNVdpBUA7PM9YlqduSW2sBdGj...
merc@hotmail.com	✉	20 ene. 2022	26 ene. 2022	fqXADPZQdLWB CYCRGkkE89ZFO...
juand@hotmail.com	✉	19 ene. 2022	19 ene. 2022	YdsHbGLa6qYBbcOulrvehi5EUnt2
mail@hotmail.com	✉	19 ene. 2022	20 ene. 2022	wXKd3latpNollrjOBXV0oPvRRYg1
estefaniaeliza17@gmail.co...	✉	17 ene. 2022	26 ene. 2022	8d6P5TwpYSgeTinOwisiW9mJr9h2

Nota. Imagen obtenida de la base de datos, registros de cuentas de usuarios con acceso permitido.

4.3.6. Registros de la aplicación a la base de datos

El registro de información desde la aplicación se guarda dentro de la base de datos. Dentro de la información más relevante que se puede encontrar es hospitales, pacientes y encargados.

En la figura 73 se puede visualizar en la parte superior el resumen de información de los hospitales registrados, mientras que en la parte inferior se visualiza el reflejo de la información guardada en Firestore, también se observa la información registrada de los pacientes registrada desde la web junto a su registro en la base de datos.

Figura 72

Mostrar datos de la base de datos al front end.

The image displays a web application interface with three main sections:

- Hospitals Table:** A table with columns: Nombre, Direccion, Telefono, Detalle, Fecha de creación, and Acciones. The row for 'HOSPITAL 1' is highlighted in blue.
- Patients Table:** A table with columns: Nombre, Apellido, Cédula, Edad, Fecha Ingreso, Diagnostico, Dar de alta, and Acciones. The row for 'Pedro Jose' is highlighted in blue.
- Patient Details View:** A view for patient ID 0003333. It includes a dropdown menu for 'Pacientes' with 'Pedro Jose' selected. A form titled 'Agregar campo' displays the patient's details: Apellido: 'Jose', Cedula: '0003333', Diagnostico: '++++', Edad: '55', Estado: true, FechaIngreso: 31 de enero de 2022, 13:58:44 UTC-5, Nombre: 'Pedro'. A second form titled 'Agregar campo' displays hospital details: Detalle: 'Prueba', Direccion: 'CENTRO', FechaRegistro: 31 de enero de 2022, 13:49:37 UTC-5, Nombre: 'HOSPITAL 2', Telefono: '09345654567'. Green arrows point from the highlighted rows in the tables to the corresponding data in the forms.

Nota. Los datos que se reflejan en el front son los que se han registrados en la base de datos.

4.3.7. Pruebas del funcionamiento del prototipo

Para las pruebas de funcionamiento del prototipo se ha puesto en marcha el equipo con diferentes condiciones para lo cual se plantean los siguientes escenarios.

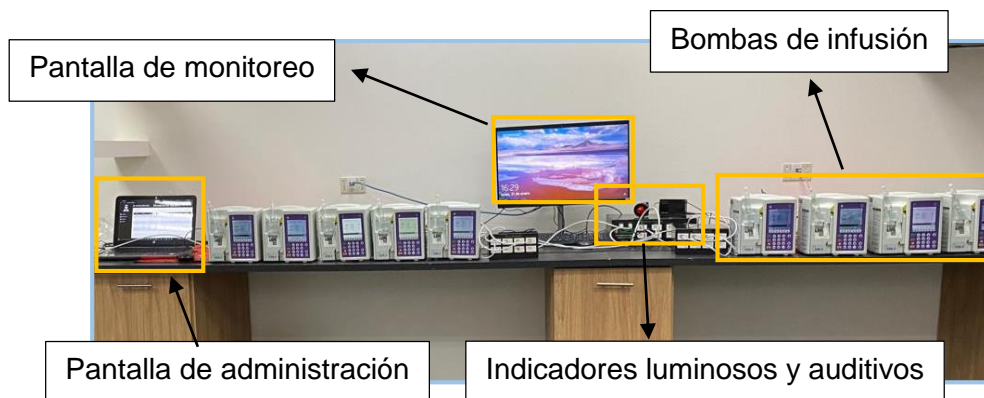
Escenario 1: El dispositivo operará a una capacidad mínima, tiene una conexión de 1 dispositivo por módulo con activación simultánea de las alarmas de cada equipo. Las alarmas se activan con errores de oclusión.

Escenario 2: El dispositivo operará a una capacidad media, tiene una conexión de 2 dispositivos por módulo con activación simultánea de las alarmas de cada equipo. Las alarmas se activan con errores de oclusión.

Escenario 3: El dispositivo operará a una capacidad máxima, tiene una conexión de 11 dispositivos en todo el equipo con activación simultánea de las alarmas de cada equipo. Las alarmas se activan con errores de oclusión.

Figura 73

Disposición de elementos de prueba



Nota. Los datos que se reflejan en el front son los que se han registrados en la base de datos.

En la figura 74, se puede observar en el centro la pantalla de monitoreo y en la parte derecha la pantalla de administración de ingreso de pacientes, mientras que las bombas de infusión se encuentran distribuidas a los lados de la pantalla.

La evaluación de cada escenario se la realiza con la escala de Likert para calificar el desempeño general del prototipo. Los resultados del ingreso general de la información en el HMI, se presentan en la tabla 41.

Tabla 41

Evaluación del funcionamiento del HMI

	Pésima	Mala	Regular	Buena	Excelente
Ingreso y autenticación a la cuenta de super administrador, administrador y jefe					X
Registro de un hospital nuevo					X
Registro de datos de un administrador y monitoreo por hospital					X
Registro de equipos					X

Nota. Los datos que se muestran se evaluaron en el proceso de implementación del prototipo dentro de la empresa.

La distribución de equipos y monitores utilizada se encuentra en la figura 74. Los casets de prueba de los equipos son 11, por lo que se ha planteado los 3 escenarios con una máxima capacidad de 11 bombas para pruebas.

La distribución para cada escenario será la misma, con la diferencia que se desconectarán los equipos que no correspondan a la escena asignada.

La tabla 42 refleja los resultados obtenidos en el escenario 1, mientras que la tabla 43 muestra los resultados del escenario 2 y en la tabla 44 indica los resultados del escenario 3.

Tabla 42*Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 1*

		Pésima	Mala	Regular	Buena	Excelente
1	Señal luminosa visible al activarse una o varias de las alarmas					X
2	Señal auditiva clara al activarse una o varias de las alarmas					X
3	Cese de las señales auditivas y visuales al detenerse las alarmas					X
4	Recepción de señales entre módulos					X
7	Registro y edición de pacientes				X	
9	Asignación de encargados				X	
10	Visualización clara de la tabla de registro de monitoreo					X
11	Identificación clara de las habitaciones dentro del monitoreo en tiempo real.					X
12	Funcionamiento del sistema después de un apagón					X

Nota. Los datos que se muestran en la tabla se realizaron bajo una observación de campo.

Tabla 43*Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 2*

		Pésima	Mala	Regular	Buena	Excelente
1	Señal luminosa visible al activarse una o varias de las alarmas					X
2	Señal auditiva clara al activarse una o varias de las alarmas					X
3	Cese de las señales auditivas y visuales al detenerse las alarmas					X
4	Recepción de señales entre módulos					X
7	Registro y edición de pacientes				X	
9	Asignación de encargados				X	
10	Visualización clara de la tabla de registro de monitoreo					X
11	Identificación clara de las habitaciones dentro del monitoreo en tiempo real.					X
12	Funcionamiento del sistema después de un apagón					X

Nota. Los datos que se muestran en la tabla se realizaron bajo una observación de campo.

Tabla 44*Evaluación del funcionamiento del equipo escenario 3*

		Pésima	Mala	Regular	Buena	Excelente
1	Señal luminosa visible al activarse una o varias de las alarmas					X
2	Señal auditiva clara al activarse una o varias de las alarmas					X
3	Cese de las señales auditivas y visuales al detenerse las alarmas					X
4	Recepción de señales entre módulos					X
7	Registro y edición de pacientes				X	
9	Asignación de encargados				X	
10	Visualización clara de la tabla de registro de monitoreo					X
11	Identificación clara de las habitaciones dentro del monitoreo en tiempo real.					X
12	Funcionamiento del sistema después de un apagón					X

Nota. Los datos que se muestran en la tabla se realizaron bajo una observación de campo.

Los resultados tabulados tomando en cuenta la escala de Likert de la observación del funcionamiento se consideran como:

- Pésima: 0%, la prueba fallo y no respondió con ningún resultado favorable
- Mala: 25%, el prototipo respondió fallando 1 de cada 4 veces al momento de activar una señal de alarma
- Regular 50%, los resultados de la prueba fallaron la mitad de las veces.
- Buena 75%, los resultados casi no fallan, existe una pequeña variación de error en el resultado
- Excelente: 100%, el prototipo no presenta fallas, todas las pruebas asociadas con el aspecto evaluado responden sin error.

La evaluación del registro inicial dentro del HMI presenta un funcionamiento del 100%, mientras que el resultado del funcionamiento global del prototipo se puede visualizar en la tabla 45.

Tabla 45*Resultados de la ficha de observación.*

	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	

Nota. Las columnas de la tabla denominadas como E1, E2 y E3 hacen referencia a los 3 escenarios planteados para la evaluación del prototipo.

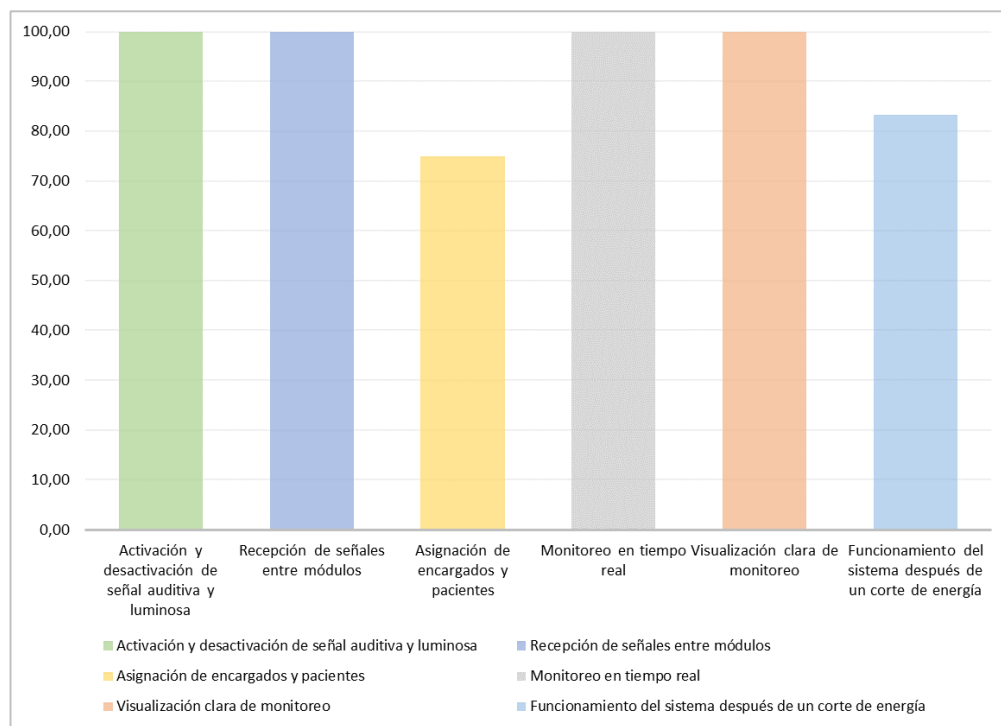
En la figura 75 se puede observar de forma gráfica los resultados obtenidos de forma general, donde el sistema electrónico y de adquisición de datos que incluye la activación y desactivación de las señales auditivas y recepción de señales, no ha registrado fallas en ninguno de los escenarios.

En la evaluación de la aplicación de manera operativa en el registro de encargados y pacientes presenta un porcentaje de funcionalidad del 75% debido a que hace falta una validación para no asignar el mismo paciente a varias habitaciones.

El funcionamiento del sistema después de un corte de energía se ha presentado acertadamente con una funcionalidad del 83,33%, este no alcanza el 100% debido a que existe una latencia de 5 minutos en restablecerse el sistema de forma autónoma.

Figura 74

Resumen de evaluación del funcionamiento del prototipo.



Nota. Los datos que se muestran son el resultado de la tabulación del promedio de datos obtenidos en la ficha de observación.

Encuesta dirigida a personal de Quifatex.

Se realizó una encuesta a los profesionales que pudieron probar y utilizar el sistema dentro de la empresa, con el fin de verificar el correcto funcionamiento del prototipo. Las preguntas abarcan los siguientes aspectos:

Pregunta 1: Facilidad de conexión.

Pregunta 2: Facilidad de uso del prototipo

Pregunta 3: Manejo del monitoreo de alarmas

Pregunta 4: Recepción de indicadores auditivos y luminosos

Pregunta 5: Distribución de la pantalla

Pregunta 6: Costo del desarrollo del prototipo

Pregunta 7: Funcionalidad de la gestión de usuarios de la aplicación

Pregunta 8: Mejoras

Pregunta 9: Perspectiva global

La encuesta arrojó los resultados tabulados y ponderados descritos en la tabla 76.

Tabla 46*Resultados de la encuesta*

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	

Nota. Los datos fueron ponderados con una calificación máxima de 10 puntos y la menor de 0 puntos.

En la figura 77 se puede observar de forma gráfica los resultados obtenidos de la encuesta realizada de forma general, donde se indica que la gestión de usuarios, el costo, los indicadores electrónicos y el manejo de la interfaz de monitoreo no presentan mayor dificultad de uso y manipulación para los usuarios que probaron el sistema con 100% de aceptación.

Por otro lado, la visualización de la pantalla alcanza un 96,67% debido a que se sugiere utilizar más colores que puedan indicar más información de las habitaciones

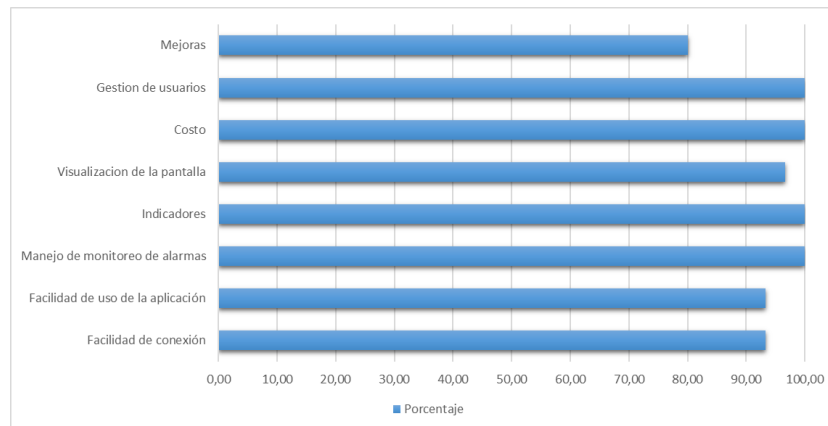
cuando se realiza el monitoreo, por ejemplo, cuando existan o no pacientes ocupando la habitación.

El 93,33% fue alcanzado por aspectos de facilidad de uso, conexión, y visión general del prototipo, en donde se sugiere unir la cuenta de monitoreo a la cuenta de jefe administrador para poder manejar con más facilidad el programa, con respecto a la conexión los cables se requiere más organización por la cantidad de bombas conectadas por módulo.

Los resultados más bajos con un 80% de aceptación hacen referencia a las mejoras donde los encuestados sugieren desarrollar un complemento de la aplicación en un dispositivo móvil como mejora para el sistema de monitoreo.

Figura 75

Resumen de la evaluación de encuesta.



Nota. Los datos que se muestran son el resultado de la tabulación del promedio de datos obtenidos en la ficha de observación.

4.3.8. Costos del prototipo

El presupuesto para el desarrollo del prototipo se ha calculado en 580.00 dólares, como se muestra en la tabla 46. La computadora con Windows 10 no ha sido necesario adquirirla por lo que su costo de implementación es de 0.00 dólares. De igual manera, el Software no ha excedido la cuota diaria permitida por la aplicación de Firebase por lo que no ha tenido ningún costo de implementación. Los recursos humanos se han calculado en función del salario básico de un trabajo realizado en 3 meses.

Tabla 47

Detalle de costos

Detalle	Costo	Costo implementación
Sistema de adquisición de datos	400	400
Contendor acrílico	130	130
Computadora con Windows 10	1000	0
Software		
Firebase 8 millones de lecturas diarias	4.77	0
Firebase 2 millones escrituras diarias	3.56	
Cables	40	40
Plataforma IoT Netlify	0	0
Recursos humanos	1200	0
TOTAL		580

Nota. Detalles del costo de manufactura e implementación del prototipo.

Existen sistemas similares dentro del mercado enfocados a monitoreo y centralización de alarmas. El sistema de llamado de enfermería ISM en comparación con el prototipo detalla sus características en la siguiente tabla. El sistema se lo puede visualizar en la figura 79.

Tabla 48

Costo de sistema de llamado de enfermería

Características	Prototipo	Llamado de enfermería ISM
Capacidad de camas conectadas	24	24
Software de gestión y monitoreo	SI	NO
Centralización de alarmas	SI	NO
Origen	Ecuador	Argentina
Precio	580	900

Nota. Esta tabla realiza una comparación entre características y precios del prototipo y un modelo comercial.

El sistema consta de un registro dentro de la pantalla principal, y pequeños dispositivos que activan su funcionamiento de alarma desde el lugar que se instalen según su distribución, como se observa en la figura 79.

Figura 76

Sistema de llamado de enfermería ISM



Nota: Imagen de un sistema de llamado de enfermería ISM sin integración de software de monitoreo, tomada de (OCompa 2017).

También se puede encontrar sistemas más completos de alta gama como COMEN que tanto sus características como precio se describen en tabla 80.

Tabla 49*Costo de sistema de llamado de enfermería*

Características	Prototipo	Central del monitoreo del paciente Heal Force
Conexión a la red por cable e inalámbrica	SI	SI
Capacidad de camas conectadas	24	32
Capacidad de expansión	SI	SI
Monitoreo en tiempo real	SI	SI
Disponibilidad de monitoreo a doble pantalla	SI	SI
Origen	Ecuador	Japón
Precio	580	4000

Nota. Esta tabla realiza una comparación entre características y precios del prototipo y un modelo comercial.

Este sistema de monitoreo se puede visualizar en la figura 81.

Figura 77

Sistema de monitoreo de enfermería



Nota. Demo de monitoreo de central de enfermería Heal Force, obtenido de (MedicalExpo, 2019).

Esta información muestra una diferencia entre el costo y la funcionalidad con respecto al prototipo, el cual en comparación con los dos sistemas es más económico y cumple su objetivo. Con el sistema ISM, tiene una diferencia de costos de 320 dólares, mientras que la diferencia entre el sistema Heal Force es mayor, aproximadamente a 3.420 dólares. Las diferencias de funcionalidad con respecto al primer sistema son considerablemente más ventajosas que el sistema argentino. Pero se limita a cumplir el objetivo de monitorear y conectarse a la red para 24 habitaciones en comparación con el sistema japonés que puede monitorear 8 habitaciones más.

4.4. Validación de hipótesis

Para la evaluar de la 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.?, se analizará el sistema mediante el método de validación y verificación de máquinas y procesos.

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.

Lo que se valida en este proyecto es el sistema de hardware mientras que se califica la aplicación web. Para el procedimiento se realiza primero una revisión de los requisitos de la empresa Quifatex, luego con el diseño electrónico como mecánico y termina con las pruebas de validación y calificación del sistema obtenido de las pruebas realizadas.

La revisión del sistema en función de los requerimientos del cliente se visualiza en la tabla 48, detallando si este requerimiento cumple o no cumple.

Tabla 50*Revisión de requerimientos del cliente*

	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

Nota. Esta tabla detalla los requerimientos del cliente, especificando si cumple o no cumple con las especificaciones técnicas

Dentro de las pruebas de validación realizadas al hardware tomando a consideración la evaluación del criterio dentro del escenario 1,2 y 3. El sistema cumple con la activación y desactivación de una señal luminosa y auditiva, recepción y envío de señales entre módulos, facilidad de conexión y restablece su normal funcionamiento después de un corte de energía.

Las pruebas de calificación realizadas a la aplicación se presentan en una calificación excelente a las características de: ingreso y autenticación de cuentas, registro de hospitales, registro de pacientes y encargados, registro de equipos y monitoreo en tiempo real.

La calificación que se ha obtenido por parte de las personas que evaluaron el uso del sistema es de excelente enfocado a la facilidad de manejo de la aplicación, claridad en visualizar el monitoreo de habitaciones y funcionalidad en la gestión del personal involucrado con la aplicación.

Capítulo V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. 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.
- 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.
- 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.

5.2. 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 más amplio de la gestión de personal de enfermería.

Futuros proyectos:

- Implementación del prototipo dentro de una institución de asistencia médica.
- Implementación de dispositivos electrónicos de IoT, para enviar alarmas y notificaciones al personal de enfermería de las bombas de infusión.

Bibliografía

- Alegría. (2020). *Dispositivos médicos conectados a internet ahorran gastos: AT&T - Economía—La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/economia/2020/06/17/dispositivos-medicos-conectados-a-internet-ahorran-gastos-at-t-334.html>
- André Laverde. (2021, febrero 23). IPC 2221 para Diseño de PCB como usarla y actualización. */Normas IPC/Certificación/ALDELTA*. Recuperado de <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/>
- Aquino, J., Robles, A., Ramírez, L., & Nava, C. (2019, noviembre 7). *LA INGENIERÍA MECATRÓNICA COMO FUNDAMENTO EN LA TRANSICIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0*.
- Arroyave, C. (2017). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA QFD EN EL PROCESO DE INGENIERÍA DE REQUISITOS* [UNIVERSIDAD EAFIT]. Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2375/Carolina_Arroyave_Carlos_Orozco_2007.pdf;jsessionid=910F5DC3090466625DB56A898C4ABD2F?sequence=3
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. (2014). *Sistemas Distribuidos*. BUAP; pdf. Recuperado de <http://mtovar.cs.buap.mx/doc/cap4Red.pdf>
- BIOMEDIX.MEDICAL.INC. (2020). *Medfusion 4000 Syringe Infusion Pump | Biomedix Medical, Inc*. Recuperado de

<https://www.biomedixmedical.com/product/medfusion-4000-syringe-infusion-pump/#/>

Contreras, L. (2013, diciembre 18). *RASPBERRY PI – Historia de la Informática*.

Recuperado de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>

Datta. (2020, abril 16). *Las tecnologías emergentes que están impactando el sector de la salud | Datta Business Innovation*. Recuperado de

<https://datta.com.ec/articulo/las-tecnologias-emergentes-que-estan-impactando-el-sector-de-la-salud>

De Luz, S. (2019, julio 30). *Raspberry Pi 4: Análisis y valoración de este mini*

ordenador. Recuperado de <https://www.redeszone.net/analisis/otros-dispositivos/raspberry-pi-4-analisis/>

Diaz. (2020). *Tecnología médica: Empresas líderes en I+D 2017-2024*. Statista.

Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/636558/empresas-lideres-en-i-d-en-el-sector-de-tecnologia-medica/>

electriced. (2017, noviembre 16). *Grado de protección IP*. Recuperado de

<https://electriced.ru/es/wiring/degree-of-protection-ip/>

Firestore. (2020). *Elige una base de datos: Cloud Firestore o Realtime Database |*

Firestore Documentation. Recuperado de

<https://firebase.google.com/docs/database/rtdb-vs-firestore?hl=es-419>

Fisair. (2016, diciembre 30). Control de humedad en hospitales. *Fisair*. Recuperado de

<https://fisair.com/es/control-de-humedad-en-hospitales/>

fracctal. (2020). *Planes flexibles que se ajustan al crecimiento de tu organizacion.*

Recuperado de <https://www.fracctal.com/es/software-cmms-precio-usd>

FS.company. (2021, agosto 2). *¿Cuál es la diferencia entre modelo OSI y modelo*

TCP/IP? Blog. Recuperado de <https://community.fs.com/es/blog/tcpip-vs-osi-whats-the-difference-between-the-two-models.html>

Fusiona, B. (2020, octubre 29). GitLab: La fuente para el desarrollo colaborativo y de

calidad. *Fusiona*. Recuperado de <https://fusiona.cl/blog/tecnologia/gitlab-la-fuente-para-el-desarrollo-colaborativo>

Gómez González, D. (2008). *Seguimiento de neonatos en hospitales inteligentes: Una aplicación de la tecnología RFID para la seguridad y cuidado de la salud.*

Recuperado de <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2372>

Hernandez. (2020). *Cinco ejemplos del Internet de las cosas en el sector*

salud. Recuperado de <https://empresas.blogthinkbig.com/cinco-ejemplos-del-internet-de-las-cosas-en-el-sector-salud/>

Hospifarmacia. (2018). *19f9cefdfb07230a68581d617885a3af_L.jpg (600×310).*

Recuperado de

https://hospifarmacia.com.gt/media/k2/items/cache/19f9cefdfb07230a68581d617885a3af_L.jpg

Hospira MedNet. (2015). *Manual de operacion del sistema Plum A+.* Recuperado de

https://www.icumed.com/media/9561/plum-aplushospiramednet_pluginplay_module.pdf

- icumedical. (2018). *Manual de operación del sistema Plum 360*. Recuperado de <https://www.icumed.com/media/12281/430-98415-003.pdf>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2001). *CÓDIGO DE PRÁCTICA ECUATORIANO CPE INEN 19:2001*. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE-19.pdf>
- ItalianIngenio. (2021, febrero 9). Nueva mecatrónica: Proviene de la co-ingeniería. *ItalianIngenio*. Recuperado de <https://italianingenio.net/es/la-nueva-mecatr%C3%B3nica-proviene-de-la-co-ingenier%C3%ADa/>
- Khatri, P. (2017, febrero 17). *Por Qué Los Desarrolladores Prefieren Node.JS y React.JS*. Chetu. Recuperado de <https://www.chetu.com/es/blogs/technical-perspectives/nodejs-and-reactjs-for-app-development.php>
- Kinsta. (2022, enero 23). *¿Qué Es el JavaScript? Un Repaso al Lenguaje de Programación de Scripts Más Popular de la Web*. Kinsta. Recuperado de <https://kinsta.com/es/base-de-conocimiento/que-es-javascript/>
- Kiversal. (2017). *IoT en dispositivos médicos*. Recuperado de <https://blog.kiversal.com/que-es-la-iot/>
- Laserlicht. (2019, julio 3). *File: Raspberry Pi 4 Model B*. Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Raspberry_Pi_4_Model_B_-_Side.jpg
- Lopez, Mora, S. (2020, mayo 17). *Qué es Firebase: Funcionalidades, ventajas y conclusiones*. DIGITAL55. Recuperado de <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/>

MedicalExpo. (2019). *Equipamiento médico*. Recuperado de

<https://www.medicalexpo.es/compare.html>

Membreño, J. C. (2016). *Descubre React*. Leanpub. Recuperado de

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60098162/Descubre_React__2da_Edicion_-_Javi_Jimenez-FREELIBROS20190723-17083-qn5tuy-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1643865317&Signature=ASTHSfGIkrMbKelVwpVqIEBJ4pMzqWRWB3bNl8Bpw005Wxh0fckQ3uLJVVFau1VCaKjbawA9I5pNyZeafPnGjPNYgX~dS1I13wHiMMgD-Vrqy4U65eRrhimV1YaxpvyLofBX9M4DuAMNjhNPrpgKoxuhPCW9FqLQHgcVWL4Bs6AG0e3LTeUUt9Hkuqr1wjDh1cmnh0Q2iUHwgxGGQ~7pZs7o7LCX5de5qsuBacP4q6yaKQtCq8OzgpV~o44NSuxKAqze1smI17ZLo0uhkh3gaeQij3RAjhR4ZIKoZgq6wsSHXQBDhqpInfqC~naZSA7CY3NtWiz0NsfWiEzouySYg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Mendoza, E. (2017, septiembre 17). ¿Cómo saber si necesitas una Base de Datos

NoSQL? *Medium*. Recuperado de

<https://medium.com/@eugeniomendoza/c%C3%B3mo-saber-si-necesitas-una-base-de-datos-nosql-b6cfd5bb7d9b>

Motorola. (2019). *4N25 pdf, descripción, hojas de datos*. Hoja de Datos de 4N25-

Motorola, Inc. Recuperado de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2846/MOTOROLA/4N25.html>

Norlean. (2019, julio 21). eHealth: Las soluciones de la Industria 4.0 aplicadas a la salud.

Norlean. Recuperado de https://norlean.com/_v1/ehealth-las-soluciones-de-la-industria-4-0-aplicadas-a-la-salud/

OCompa. (2017). *Llamador De Enfermería* [Comercial]. Llamador De Enfermería

Clínicas. Recuperado de <https://www.ocompra.com/argentina/item/llamador-de-enfermeria-clinicas-geriatricos-hogares-615820901/>

Oscar. (2011, octubre 5). Calcular la resistencia para un transistor accionado por un

microcontrolador. *SISTEMAS O.R.P.* Recuperado de

<https://www.sistemasorp.es/2011/10/05/calcular-la-resistencia-para-un-transistor-accionado-por-un-microcontrolador/>

Quental. (2019). *Tecnología IoT en el Sector Hospitalario*. Recuperado de

<https://www.quental.com/media/files/Informe-Tecnologia-IoT-en-el-Sector-Hospitalario.pdf>

Quirantes Puertas, A. (2020, enero 25). GitLab—Un servicio web de control y desarrollo

de software colaborativo. *Esteban Romero*. Recuperado de

<https://estebanromero.com/herramientas-emprender-desarrollar-proyectos/gitlab-un-servicio-web-de-control-y-desarrollo-de-software-colaborativo/>

Ramirez, P. (2015, septiembre 26). *Desarrollo de Sistemas Distribuidos*. SG Buzz.

Recuperado de <https://sg.com.mx/revista/58/desarrollo-de-sistemas-distribuidos>

Raspberry. (2019). *DATASHEET Raspberry Pi 4 Model B*. Recuperado de

<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>

- Román, R. (2020, octubre 7). *Desplegando mi aplicación React en Netlify gratis!*
Linkedin. Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/desplegando-mi-aplicaci%C3%B3n-react-en-netlify-gratis-rom%C3%A1n>
- Rouse. (2017). *¿Qué es Internet de las cosas médicas (IoMT) o IoT de la salud? - Definición en WhatIs.com.* Recuperado de <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-medicas-IoMT-o-IoT-de-la-salud>
- Sandoval, M. G. G., Torrado, H. D. A., Pinzón, M. L., & Fuentes, A. S. F. (2015). Buenas prácticas aplicadas a la implementación colaborativa de aplicativos web. *Mundo FESC*, 5(10), 27-30.
- Savirón, C. (2020, diciembre 14). *Salud 4.0: Digitalizada y centrada en el paciente.* ITAINNOVA. Recuperado de <https://www.itainnova.es/blog/big-data-y-sistemas-cognitivos/salud-4-0-digitalizada-y-centrada-en-el-paciente/>
- Soma Technology. (2018). *ICU-Medical-Hospira-Plum-360-Bomba-de-Infusions.jpeg (500×500).* Recuperado de <https://www.somatechnology.com/spanish/wp-content/uploads/2018/04/ICU-Medical-Hospira-Plum-360-Bomba-de-Infusions.jpeg>
- TECNOseguro. (2019). *Tecnología, la principal aliada de los hospitales modernos.* Recuperado de <https://www.tecnoseguro.com/analisis/control-de-acceso/hid-tecnologia-alida-hospitales-modernos>
- Thuemmler, C., & Bai, C. (2017). Health 4.0: Application of Industry 4.0 Design Principles in Future Asthma Management. En C. Thuemmler & C. Bai (Eds.),

Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare (pp. 23-37). Springer International Publishing. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-47617-9_2

Toledo, M. G. (2018). *Universidad de San Andrés Escuela de Administración y Negocios Master in Business & Technology*. 120.

Unicrom. (2019, octubre 15). Niveles lógicos (alto, bajo, 0, 1, Low, High). *Electrónica Unicrom*. Recuperado de <https://unicrom.com/niveles-logicos-alto-bajo-0-1-low-high/>

Universidad Zaragoza. (2009, febrero 20). : *Definiciones / Unidad de Prevención de Riesgos Laborales*. Recuperado de <http://uprl.unizar.es/seguridad-laboral/riesgo-electrico-definiciones>

Yacuzzi Enrique, M. E. (2003). *EconStor: QFD: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos*. Recuperado de <https://www.econstor.eu/handle/10419/84469>

Anexos