



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA
EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UN
MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO.**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Física y Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de comunicación y Sistemas de control

AUTOR: Karla Katherine Velasco Paredes

TUTOR: Ing. Edgar Patricio Córdoba Córdoba, Mg

Ambato – Ecuador

agosto – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación realizado por el señorita Karla Katherine Velasco Paredes, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2023

Ing. Edgar Patricio Córdoba Córdoba, Mg

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2023



Karla Katherine Velasco Paredes

C.C. 1804420980

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2023



Karla Katherine Velasco Paredes

C.C. 1804420980

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señorita Karla Katherine Velasco Paredes, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2023.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios

PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mario Geovanny García Carrillo

PROFESOR CALIFICADOR

Dedicatoria

Este trabajo de investigación le dedico primeramente a Dios, a la virgencita de Guadalupe ya que ellos son los que me tienen aún con vida y cumpliendo cada uno de mis sueños después pero no menos importante le dedico a mis abuelitos que están en el cielo ya que por ellos fueron mi inspiración para seguir esta hermosa carrera así como a mis abuelitos paternos que fueron y son sustento para terminar mi carrera como la ayuda incondicional de mis padres y hermanos ya que cada uno de ellos son y serán el apoyo para seguir adelante con mis proyectos a futuro y finalmente le dedico esta tesis más que nada a mi hermoso hijo Francis David ya que él es el motivo para levantarme todos los días para sacarlo adelante.

Agradecimiento

Agradezco a mi Dios a su madre bellísima virgencita María como a cada uno de sus arcángeles los cuales me ha cuidado cada uno de mis años transcurridos en mi hermosa facultad así como también a mis abuelitos maternos papa Eusebio y mi mami Rebeca los cuales aún que se fueron cuando recién comencé la carrera pero ellos desde el cielo me dan las fuerzas necesarias para no desmayar en las dificultades que he tenido a lo largo de mi carrera así como también agradezco de todo corazón a mis abuelitos paternos más que todo a mi madre mi Glorita hermosa la cual tenga o no tenga me ayudo para no desmayar y salirme de la carrera afrontando casi todos los gastos que causaba el desnivelarme de mi carrera, así también a mis padres mi papi Elvis como mi mami Raquel que siempre estuvieron en las tantas desveladas como sustos de si paso o no de nivel ellos siempre apoyándome para que siga en la carrera como las fuerzas y ánimos de mis hermanos Caroline y Yahir quienes a pesar de tener lágrimas en mis ojos siempre me consolaban y me decían sigue adelante ya te falta poco. Así fue el apoyo del resto de familiares para verme surgir y salir adelante, pero las personas que más estuvieron dándome fuerzas y ayudándome a estudiar son dos compañeros de clases que jamás los olvidare ellos son los verdaderos protagonistas de mi logro. Finalmente, y sin ser menos importante a mi hermoso hijo Francis David cual desde que supe que estaba embarazada ha sido el motivo de alegría y de salir adelante para terminar mi carrera graduarme y sacarlo adelante con un trabajo ya que solo los dos estamos en este mundo y es mi responsabilidad como madre soltera darle el estudio como así me enseñaron he inculcaron mis padres, así como ellos también lo hicieron conmigo.

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice de tablas	x
Índice figuras	xi
Resumen ejecutivo	xv
Abstract (summary)	xvi
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Estudio del arte	1
1.1.2.Fundamentación teórica	3
1.2.Objetivos	23
1.2.1.Objetivo general	23
1.2.2.Objetivos específicos	23
CAPITULO II.- METODOLOGÍA	24
2.1. Materiales	24
2.2. Métodos	25
2.2.1. Modalidad de la Investigación	25
2.2.2. Recolección de información	25
2.2.3. Procesamiento y análisis de datos	26
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1. Análisis y discusión de resultados	27

3.2. Desarrollo de la propuesta	29
3.2.1. Selección del método de adquisición de la bilirrubina.....	29
3.3. Diseño e implementación del prototipo	35
3.3.1. Selección de hardware y software para la implementación	35
3.4. Desarrollo e implementación del sistema	43
3.3. Diseño del prototipo	67
3.5. Resultados	73
3.6. Presupuesto	102
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
4.1 Conclusiones	105
4.2. Recomendaciones	106
C. MATERIALES DE REFERENCIA	107
Anexo A. Manual de usuario página WEB	115
Anexo B. Manual de usuario bilirrubiómetro	129
Anexo C. Especificaciones del bilirrubiómetro	134
Anexo D: Carta de Compromiso y Certificaciones	137
Anexo E: Código de Arduino de la implementación	140

Índice de tablas

Tabla 1: Materiales y tecnologías utilizadas en el desarrollo del presente proyecto.	24
Tabla 2: Características más importantes de las técnicas de adquisición de bilirrubina.	33
Tabla 3: Comparación entre sensores de color RGB disponibles en el mercado	36
Tabla 4: Comparación de placas desarrollo compatibles con una arquitectura IoT.	37
Tabla 5: Comparación de los dos servicios en la nube	40
Tabla 6: Comparación entre framework más comunes en el desarrollo web	41
Tabla 7: Funcionamiento de los pines según el nivel de duty cycle	44
Tabla 8: Datos de entrenamiento relacionados con el tono de color y el nivel de bilirrubina.....	50
Tabla 9: Clasificación de piel según la escala de Fitzpatrick	52
Tabla 10: Etapas de ictericia en base al valor de la bilirrubina.....	53
Tabla 11: Características de la pantalla oled 128*64.....	68
Tabla 12: Consumo en amperios de los elementos electrónicos del nodo sensor. ...	69
Tabla 13: Análisis de las pruebas realizadas con el dispositivo y su prediagnóstico médico.....	78
Tabla 14: Prueba de aceptación 1.	80
Tabla 15: Prueba de aceptación 2.	84
Tabla 16: Prueba de aceptación 3	87
Tabla 17: Caso de prueba 4.....	90
Tabla 18: Comparación de resultados	96
Tabla 19: Costo de los materiales y recursos utilizados en el presente proyecto ...	103
Tabla 20: Detalle del costo total del presente proyecto	104

Índice figuras

Figura 1: Ictericia neonatal en un paciente	4
Figura 2: Caso de ictericia en un adulto mayor	5
Figura 3: Diferentes casos de pigmentación amarillenta en la piel en neonatos	7
Figura 12: Proceso para descartar causas anormales de exceso de bilirrubina.....	10
Figura 4: Arquitectura de una red IoT	12
Figura 5: Partes de un sistema de adquisición de datos	15
Figura 6: NodeMCU	16
Figura 7: Sensor RGB TCS3200	17
Figura 8: Funcionamiento de una página web con estilo SPA	18
Figura 9: Estilo modelos, vista, controlador en una aplicación desarrollada en Angular.....	20
Figura 10: Distribución de causas de ictericia neonatal en el IESS a nivel general en el año 2022	28
Figura 11: Estudio comparativo entre la bilirrubina total y los diagnósticos obtenidos de los pacientes con ictericia neonatal patológica	28
Figura 13: Espectros de absorción de cada molécula particular frente a la longitud de onda.....	30
Figura 14: Método de adquisición por reflectancia de luz	32
Figura 15: Arquitectura y diagrama de bloques.	42
Figura 16: Duty cycle del sensor TCS3200.....	43
Figura 17: Diagrama de color en hexadecimal y RGB	44
Figura 18: Diagrama de pines del sensor TCS3200.	45
Figura 19: Conexión del sensor TCS3200 a la NodeMCU.	45
Figura 20: Diagrama esquemático de las conexiones del sensor y la NodeMCU. ...	46
Figura 21: Código que permite la detección de colores verde, rojo y azul.....	46
Figura 22: Prueba de detección de colores mostrada en el monitor serial de Arduino.	47
Figura 23: Tonos de colores amarillo y sus valores en RGB.....	48
Figura 24: Primera foto analizada en el software para determinar el color en valores RGB.	49
Figura 25: Segunda foto analizada en el software para determinar el color en valores RGB.	49

Figura 26: Tercera foto analizada en el software para para determinar el color en valores RGB.....	50
Figura 27: Gráfico normalizado del nivel de bilirrubina vs valores obtenidos del sensor.	51
Figura 28: Valores de la ecuación lineal obtenida por medio de MATLAB.....	52
Figura 29: Código para obtener el nivel de bilirrubina.....	53
Figura 30: Código de las diferentes etapas de ictericia utilizadas en el bilirrubinómetro.	54
Figura 31: Ecuación utilizada para el segundo tono de piel	54
Figura 32: Código para obtener el valor para el color azul	55
Figura 33: Diagrama final de conexiones del bilirrubinómetro.....	55
Figura 34: Diagrama esquemático del bilirrubinómetro.....	56
Figura 35: Diagrama de flujo del programa.....	56
Figura 36: Credenciales de acceso a la red WiFi y declaración de la IP pública.....	57
Figura 37: Envío del valor de bilirrubina hacia una base de datos.	57
Figura 38: Instancia creada y gestionada en la plataforma Google Cloud.....	58
Figura 39: Sistema operativo Linux utilizado a través de una interfaz SSH.	58
Figura 40: Raíz del servidor LAMP y localización del archivo de “subida.php”	58
Figura 41: Código del archivo de subida de datos desde la NodeMCU.	59
Figura 42: Valor almacenado en la base de datos.....	59
Figura 43: Instalación de NodeJS en el servidor Linux.....	60
Figura 44: Fragmento de código para gestionar un servidor con NodeJS y la librería Express.	60
Figura 45: Código que permite la conexión a la base de datos.....	61
Figura 46: Código para gestionar el proceso de envío del nivel de bilirrubina hacia la página web.	61
Figura 47: Página principal de la aplicación web.	62
Figura 48: Petición SQL para comprobar si el usuario existe en la base de datos. ..	62
Figura 49: Rutas que redirigen a las páginas principales de cada usuario.....	63
Figura 50: Código en TS(TypeScript) que permite la reutilización de códigos para contenidos y submenús.	63
Figura 51: Interfaz principal para un médico con especialidad de pediatría.	64
Figura 52: Creación de un usuario que es del personal de la salud de apoyo.....	64

Figura 53: Guía para la correcta creación de una historia clínica.....	65
Figura 54: Diagrama de flujo de gestión de la información clínica de un paciente .	66
Figura 55: Interfaz para el ingreso de los signos vitales de un paciente.....	66
Figura 56: Fragmento de código en Angular que permite editar, crear, borrar y actualizar la historia clínica de un paciente.....	67
Figura 57: Módulo step up Elevador de voltaje.....	68
Figura 58: Módulo TP4056.	69
Figura 59: Batería Lipo de500 mAh.	71
Figura 60: Diagrama completo de a la alimentación del bilirrubinómetro.....	71
Figura 61: Modelado en 3D mediante el software SolidWorks con dimensiones: alto = 132 mm x ancho = 50 mm x largo=118mm.....	72
Figura 62: Dispositivo final elaborado mediante una impresora en 3d.	72
Figura 63: Diagrama de flujo del proceso de toma de muestras en diferentes personas.	73
Figura 64: Toma de muestra 1 para revisar el funcionamiento del dispositivo.....	74
Figura 65: Medición de bilirrubina en un paciente neonato.	75
Figura 66: Medición de bilirrubina en un paciente de piel blanca.....	76
Figura 67: Medición de bilirrubina en un paciente de un color de piel más oscuro.	77
Figura 68: Dato enviado hacia la nube y guardada en la base de datos.....	79
Figura 69: Ping hacia la dirección IP pública del servidor.	79
Figura 70: Creación de un usuario administrador.....	81
Figura 71: Ingreso al sistema con credenciales de administrador.	81
Figura 72: Creación de un usuario con especialidad en pediatría.	82
Figura 73: Usuario creado en el sistema.	82
Figura 74: Ingreso al sistema por parte del médico con especialidad en pediatría...	82
Figura 75: Configuración de la cuenta de un médico con especialidad en pediatría.	83
Figura 76: Pantalla principal de la interfaz que tiene un médico con especialidad en pediatría.....	83
Figura 77: Creación de un nuevo paciente en el sistema.....	85
Figura 78: Lista de pacientes del profesional de salud.	85
Figura 79: Creación de una nueva consulta médica en un paciente.	86
Figura 80: Historia clínica del paciente	87

Figura 81: Últimos valores de bilirrubina en la base de datos.....	88
Figura 82: Ultimo valor de bilirrubina visto desde la aplicación web.....	88
Figura 83: Valor de bilirrubina guardado en la base de datos	88
Figura 84: Diagnóstico del profesional de la salud.....	89
Figura 85: Receta médica generada por el sistema.....	89
Figura 86: Reporte general de los pacientes	90
Figura 87: Reporte del nivel de bilirrubina por paciente.....	90
Figura 88: Paciente 1 nivel normal de bilirrubina con 3,5 mg/dl.	91
Figura 89: Paciente 2 nivel normal de bilirrubina con 3,0 mg/dl.	92
Figura 90: Paciente 3 nivel crítico de bilirrubina con 17,57 ml/dl	92
Figura 91: Paciente 4 adulto mayor con nivel de ictericia crítico.....	93
Figura 92: Resultado de una prueba de sangre que muestra los datos de: Bilirrubina Conjugada y Bilirrubina Total	94
Figura 93: Proceso para realizar una medición de bilirrubina en el presenta proyecto	94
Figura 94: Gráfico de dispersión del error relativo porcentual.....	102

Resumen ejecutivo

El dispositivo para la detección de ictericia en neonatos y adultos mayores con IoT ha permitido detectar eficazmente el nivel de bilirrubina en los pacientes mediante un método transcutáneo no invasivo, con lo que ayuda a que los pacientes no sufran dolor al momento de someterse a pruebas invasivas y se realice con mayor grado de eficiencia. El dispositivo fue desarrollado con un sensor de luz RGB que permite capturar el color de piel amarillo característico de personas que padecen este tipo de morbilidad.

El dispositivo consta de tres etapas fundamentales: la primera es la adquisición de datos mediante un sensor de color RGB que fue programado con algoritmo basado en el espectro de colores. Una vez adquirido el nivel de bilirrubina de la piel del paciente el valor es procesado mediante el chip ESP8266. Los valores adquiridos pasan a la segunda etapa que es la gestión con una base de datos alojada en un servidor de Google Cloud, el valor de la bilirrubina es enviado a través de métodos HTTP Get/Post propios del lenguaje PHP y son guardados en el sistema gestor de datos. Finalmente se diseñó una interfaz web donde se muestra el valor de bilirrubina, se gestionan en una historia clínica y se realizan reportes. La página web fue desarrollada con el framework Angular como frontend y NodeJS como backend permitiendo que el usuario tenga una mejor fluidez a la hora gestionar los datos del paciente.

La implementación del sistema de detección de bilirrubina permitió mejorar la gestión y proceso de detección de esta morbilidad a su vez el dispositivo es accesible, rápido y de fácil manejo para cualquier profesional de la salud, mediante el uso de tecnologías IOT permitió que este proceso sea automático y el profesional de salud guarde en la historia clínica todos los datos a su vez reduciendo el tiempo, y el dolor que generaban otras pruebas de detección de bilirrubina. Se realizó las pruebas en varios centros de salud obteniendo resultados beneficiosos para los pacientes y los establecimientos de salud. En base a las pruebas realizadas a 80 pacientes se obtuvo una eficiencia del dispositivo del 94,90 %, en comparación con la prueba de sangre.

Palabras clave: Bilirrubinómetro, neonato, historia clínica, bilirrubina, ictericia.

Abstract

The device for the detection of jaundice in neonates and older adults with IoT has made it possible to effectively detect the level of bilirubin in patients through a non-invasive transcutaneous method. With what helps patients not suffer pain when undergoing invasive tests and is performed with a greater degree of efficiency, the device was developed with an RGB light sensor that allows capturing the characteristic yellow skin color of people who suffer from this type of disease.

The device consists of three fundamental stages: the first is data acquisition using an RGB color sensor that was programmed with an algorithm based on the color spectrum. Once the bilirubin level of the patient's skin is acquired, the value is processed by the ESP8266 chip. The acquired values go to the second stage, which is data management with a database hosted on a Google Cloud server. The bilirubin value is sent through Get/Post commands typical of the PHP language and are saved in the system. data manager. Finally, a web interface was designed where the bilirubin value is displayed, managed in a clinical history, and reports are made. The website was developed with the Angular framework as frontend and NodeJS as backend, allowing the user to have better fluidity when managing patient data.

The implementation of the bilirubin detection system allowed to improve the management and detection process of this morbidity at the same time the device is accessible, fast, and easy to use for any health professional, using IOT technologies allowed this process to be automatically, and the health professional saves all the data in the clinical history, in turn reducing the time and pain generated by other bilirubin detection tests. The tests were carried out in several health centers obtaining beneficial results for patients and health establishments. Based on the tests carried out on 80 patients, an efficiency of the device of 94.90% was obtained, in comparison with the blood test.

Keywords: Bilirubinometer, neonate, clinical history, bilirubin, jaundice.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Estudio del arte

En el año 2016, Guadalupe Maldonado Montiel presentó para el Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México, el trabajo de investigación titulado “**Diseño y programación de un algoritmo para la determinación de bilirrubina transcutánea**”. En este proyecto se diseñó e implementó un dispositivo que utiliza la reflexión de luz sobre la piel para obtener una medición del nivel de bilirrubina mediante la aplicación de un algoritmo matemático. La realización del prototipo se dividió en algunas etapas entre las cuales están: sensorización, adecuación y monitoreo. En la etapa de sensorización se utilizó tecnologías de emisión y detección de luz de diferentes colores con el fin de emitir una determinada cantidad de luz y adquirir el resto de la longitud de onda que se refleja en la piel, en la etapa de adecuación se programó un algoritmo capaz de medir los niveles de bilirrubina en base a los datos provenientes de los sensores mediante un microcontrolador PIC y el monitoreo se realizó a través de una pantalla LCD. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta implementación el algoritmo fue capaz de determinar la concentración de bilirrubina sérica en varios pacientes con un margen de error del 1 % [1].

En el año 2016, Zulfadhli Osman; Afandi ahmad; Azlan Muharam publicaron para la 7ma Conferencia de Ingeniería en Biomedicina y Ciencias de la IEEE, el artículo científico denominado “**Rapid Prototyping of Neonatal Jaundice Detectors Using Skin Optics Theory**”. Este artículo trata sobre el diagnóstico de ictericia neonatal empleando métodos no invasivos a través de elementos ópticos. Para este proyecto, se obtuvo el nivel de concentración de bilirrubina en la capa de la dermis de la piel con un diodo emisor de luz (LED) y fotodiodo como un detector. Para la adquisición de datos se ha utilizado Arduino como plataforma de desarrollo, mientras que Matlab y Simulink se han empleado como software de monitoreo y procesamiento de los niveles

de bilirrubina. Los resultados de esta investigación muestran que el sistema propuesto tiene una alta capacidad de detectar, procesar y mostrar resultados en tiempo real con tres niveles de ictericia, normal, leve y crítico. También se demostró que el software Simulink puede comunicarse eficazmente con Arduino y procesar el nivel de ictericia [2].

En el año 2018 Sojiro Kawano; Thi Thi Zin; Yuki Kodama, publicaron para la 7ma conferencia global en Electrónica de la IEEE, el artículo científico titulado “**Study on Non-contact and Non-invasive Neonatal Jaundice Detection and Bilirubin Value Prediction**”. Este proyecto trata sobre la detección de bilirrubina utilizando un algoritmo de predicción y métodos no invasivos. En la implementación se propuso un sistema de automatización para medir el nivel de ictericia mediante un seguimiento de cambios de color en la piel de los pacientes. Se empleó la tecnología de procesamiento de imágenes denominada Foto Mapping, que realiza un muestreo de hasta 100 imágenes del rostro del neonato por segundo, detectando cambios de colores RGB en la piel de los pacientes. El algoritmo empleado para realizar el procesamiento de las imágenes y obtener un diagnóstico fue desarrollado con el lenguaje Python y librerías de IA (Inteligencia Artificial). Los resultados de esta investigación mostraron que se pudo detectar eficazmente el cambio de color en la piel utilizando imágenes de varios neonatos y diagnosticando con éxito concentraciones altas de bilirrubina en varios pacientes que fueron parte de los ensayos [3].

En el año 2019 Md. Redwan Sammir; Kazi Md. Towhidul Alam; Pradipta Saha; Md. Mushfiqur Rahaman presentaron para la 10ma conferencia internacional de ingeniería en electrónica y computación el artículo de investigación titulado “**Design and Implementation of a Non-invasive Jaundice Detection and Total Serum Bilirubin Measurement System**”. Este artículo presenta un método de detección no invasiva basado en la decoloración amarillenta del ojo causado por niveles de bilirrubina elevados. Para adquirir el color del ojo se utilizó unos lentes adecuados con una cámara digital a cierta distancia focal para capturar una imagen de la esclerótica (recubrimiento exterior blanco del ojo). Las imágenes que se obtuvieron fueron procesadas mediante un algoritmo robusto desarrollado en lenguaje Python y empleando la tecnología de reconocimiento de imágenes Open Computer Vision. En

los resultados de la implementación se determinó que el dispositivo tiene una eficiencia del 98% en obtener el diagnóstico de ictericia, de esta manera se desarrolló un sistema portátil de monitoreo de ictericia de bajo costo [4].

En el año 2022, Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval presentó para la Universidad Técnica de Ambato, el trabajo de investigación titulado “**Sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos**”. Esta investigación presentó un dispositivo para la medición de bilirrubina de manera rápida y eficiente. El desarrollo de este prototipo se basó en una arquitectura IoT que consta de etapas específicas. La etapa de dispositivos donde se adquiere el valor de bilirrubina mediante un sensor de luz óptico de alta precisión que adquiere una longitud de onda en el rango de 425-475 nm, un diodo led que genera el haz de luz y el sensor adquiere una cierta cantidad de luz reflejada en la piel del paciente. Después de realizar la medición, pasa a una etapa de acondicionamiento de la señal, para ser procesada en un microprocesador programado con un algoritmo específico que cuantifica el nivel de bilirrubina en el neonato. El nivel de bilirrubina se envía a una base de datos a través del protocolo MQTT para ser gestionado mediante la etapa de aplicación web desarrollada con Flask. Los resultados de la implementación determinaron que el sistema tiene una eficiencia del 94.5%. Para determinar la eficiencia del dispositivo se evaluó el funcionamiento a un grupo de 5 neonatos con distintos rasgos clínicos y tez de piel diferentes. El grupo se realizó exámenes de sangre en un laboratorio clínico y posterior a ello se comparó los resultados [5].

1.1.2. Fundamentación teórica

Ictericia en neonatos

La ictericia es una morbilidad que tiene como síntoma principal una coloración amarillenta en la piel y se presenta en mayor parte en recién nacidos. Estadísticamente del 16 al 50 % de neonatos desarrollan esta enfermedad, en otros casos si el neonato es prematuro aumenta el riesgo de desarrollar ictericia. Es causada por una alta concentración de bilirrubina en la sangre. La bilirrubina se mide en mg/dl, cuando esta medición sobrepasa los 13 mg/dl en recién nacidos, se considera el umbral para el desarrollo de ictericia [6].



Figura 1: Ictericia neonatal en un paciente [7].

Factores que generan un alto nivel de bilirrubina en recién nacidos

Los recién nacidos presentan mayores factores que aumentan el nivel de bilirrubina en la sangre, y pueden causar que desarrollen ictericia, los factores más comunes son [6]:

- Fisiológica del neonato.
- Alteraciones en la sangre o metabolismo del recién nacido que son heredadas de sus padres.
- La alteración hepática, conocida médicamente como Síndrome de Gilbert.
- Síndrome de Lucey-Driscoll (que es una alteración neonatal que ocasiona Hiperbilirrubinemia transitoria).
- Neonatos prematuros y problemas en la tiroides (Hipotiroidismo).
- Alteraciones en el funcionamiento normal del hígado.
- Ictericia prematura o precoz.
- Infecciones ocasionadas por virus o bacterias contraídas en el nacimiento.

Complicaciones de niveles bilirrubina elevados en neonatos

En la mayoría de neonatos el nivel de bilirrubina elevado es un problema que suele tratarse de manera segura y no pasar a mayores, pero en ocasiones el nivel de toxicidad de la bilirrubina causa daños en el sistema nervioso central, se debe realizar un correcto diagnóstico para evitar que los recién nacidos desarrollen una encefalopatía bilirrubina aguda, que en otras palabras es una manifestación aguda de la toxicidad de la bilirrubina que deja secuelas graves en el sistema neuronal, además tiene una

mortalidad del 10%, es por eso que se deben identificar eficazmente los recién nacidos que tengan mayor riesgo de desarrollar ictericia [8].

Ictericia en Adultos mayores

En adultos mayores, la ictericia también es una morbilidad muy frecuente que se presenta cuando la piel y los ojos presentan una coloración amarillenta, y es producida debido a una alta concentración de bilirrubina en la sangre, patológicamente conocida como hiperbilirrubinemia [9].

La bilirrubina se desarrolla cuando la hemoglobina sufre una descomposición siendo parte de un proceso normal cuando se reciclan los glóbulos rojos deteriorados. La bilirrubina es transportada a través de la sangre hasta el hígado, donde se mezcla con la bilis. Luego la misma se desecha mediante el aparato digestivo, la mayor parte se elimina en la materia fecal y un pequeño porcentaje por la orina. Si existen problemas en el hígado la bilirrubina no se excreta rápidamente y se acumula en la sangre depositándose en la piel es ahí cuando se presenta la ictericia [9].



Figura 2: Caso de ictericia en un adulto mayor [9].

Factores que aumentan el nivel de bilirrubina en adultos

Frecuentemente en adultos la ictericia se presenta en conjunto con otras patologías o a causa de medicamentos o sustancias como el alcohol que dañan el hígado, lo que produce que la bilirrubina se acumule en niveles altos en el hígado y este no pueda manejar estos niveles altos normalmente. Entre las causas más frecuentes que causan ictericia se tiene [9]:

- Cualquier tipo de Hepatitis (A, B, C).
- Cirrosis causada por el consumo excesivo de alcohol desde edades tempranas.
- Obstrucciones en las vías biliares ocasionados por cálculos o tumores (malignos o benignos).
- Efectos secundarios ocasionados por algunos fármacos (intoxicación) o medicamentos naturales sin registro sanitario.

Complicaciones asociadas a niveles altos de bilirrubina en adultos mayores

Una vez que la bilirrubina no es excretada adecuadamente por el sistema digestivo, la ictericia puede ocasionar [9] :

- Tumores malignos en la vesícula biliar lo que se traduce en cáncer.
- Graves inflamaciones en la vesícula biliar
- Problemas en el páncreas.
- Si las lesiones ocasionadas por la ictericia a nivel del hígado son graves, ocasiona serios problemas, como sangrado y hematomas.
- En algunos casos se presenta un deterioro en las funciones mentales.

Métodos de diagnóstico de ictericia

Los profesionales emplean varios métodos para el diagnóstico de ictericia, en el Ecuador frecuentemente se suelen utilizar los siguientes [10]:

1) Exploración física (Observación)

El método de exploración física es básicamente una observación detallada y completa del paciente, a su vez en conjunto con la historia clínica el profesional de la salud puede realizar un diagnóstico de niveles altos de bilirrubina o de ictericia. El procedimiento es realizado a través de una observación de la piel y ojos del paciente

para encontrar una pigmentación de color amarillo fuera de lo común, posteriormente el profesional de la salud da un diagnóstico en base a la exploración física realizada. Este método no es de gran efectividad debido a que se realiza mediante la observación empírica del médico, además de que no se puede medir con exactitud el nivel de bilirrubina, a su vez se puede complicar cuando el paciente presenta alguna otra patología asociada como hepatitis o problemas en el hígado que pueden generar que la piel presente un color amarillo [10].

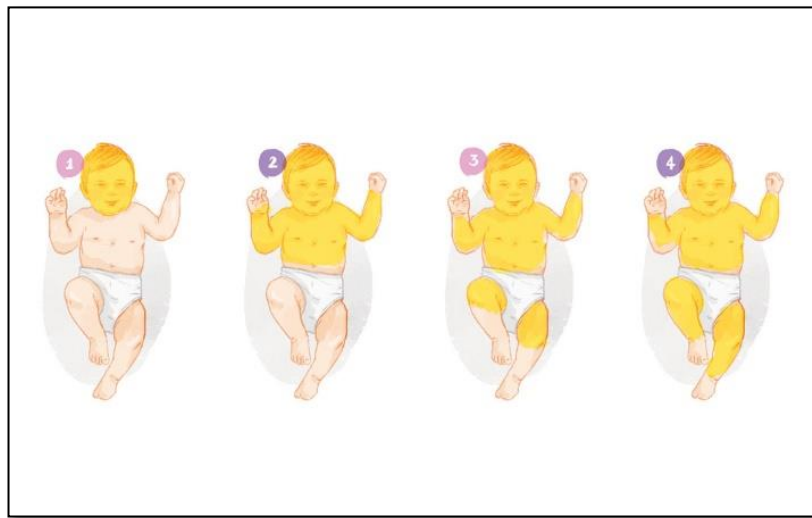


Figura 3: Diferentes casos de pigmentación amarillenta en la piel en neonatos [10].

2) Venopunción (extracción de sangre)

Es un método invasivo que se realiza con la extracción de sangre del paciente. Este método es agresivo debido a que extrae la sangre de alguna vena del neonato o adulto mayor. En recién nacidos es un proceso que presenta complicaciones debido a que es difícil encontrar alguna vena de donde extraer la muestra de sangre, generando dolor y molestias en el paciente. Para este método se extrae una cierta cantidad de sangre y con un análisis de laboratorio se puede determinar el nivel de bilirrubina en la sangre. Al momento de la prueba se puede generar un leve dolor, moretones o hematomas resultado de la extracción de la sangre, a su vez también puede generar riesgos psicológicos en el paciente dependiendo del caso clínico por la forma de extracción de la muestra [10].

3) Métodos no invasivos

En centros de salud, geriátricos y hospitales, se emplean métodos no invasivos que tienen como objetivo asegurar el bienestar físico y psicológico del paciente, entre los más utilizados se tiene [11]:

- Técnicas ópticas con sensores de colores.
- Técnica de procesamiento digital de imágenes.
- Dispositivos electrónicos inteligentes o gadget.
- Técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz realizados con sensores y diodos leds.

Técnica óptica

Es una técnica que utiliza la absorción de luz de compuestos formados por la unión de hemoglobina con el oxígeno, sistemas de composición de colores rojo, azul, verde (RGB) y análisis de longitudes de onda. En la mayoría de los casos se utilizan diodos LED en específico de color azul, blanco o ultravioleta que permitan obtener la bilirrubina y la hemoglobina en los pacientes, de esta manera mediante algoritmos específicos programados en microcontroladores se obtiene el nivel de concentración de la bilirrubina que se encuentra en la sangre, para obtener estos valores se emplean sensores de luz o fotodiodos que adquieren la luz reflejada en la piel del paciente, finalmente estos valores son procesados para luego ser analizados por el profesional de salud, cuando se utilizan más diodos leds de diferentes colores se puede obtener una medición mucho más acertada, como por ejemplo si se utiliza un led verde en conjunto con un diodo LED azul se puede discriminar otras composiciones como la hemoglobina o la melanina en la piel [11].

Técnica de procesamiento de imágenes

La técnica de procesamiento de imágenes utiliza algoritmos específicos que permiten realizar un diagnóstico de ictericia a través de imágenes capturadas con cámaras que fotografían la piel del paciente. Esta técnica posee dos subprocesos para realizar el diagnóstico, el primero es la transformada de Wavelet que analiza las imágenes capturadas por la cámara, el segundo subproceso es un cálculo del porcentaje de grises que tiene cada imagen cargada. En esta técnica se implementan métodos matemáticos

como transformadas logarítmicas o de Fourier, ajustes de imágenes, histogramas y ecualización. La utilización en conjunto de todos estos procesos permite crear un sistema de modelado estructurado para determinar el nivel de bilirrubina en el paciente y así determinar si presenta ictericia [11].

Este método posee un gran rango de eficiencia para la detección de esta morbilidad con porcentajes que oscilan entre el rango del 95 % al 100%. El inconveniente que presenta es que se necesita de un sistema informático con gran capacidad de procesamiento para poder realizar esta técnica lo que eleva los costos de implementación [11].

Dispositivos electrónicos inteligentes o gadget

Son dispositivos accesibles de bajo costo que se utilizan actualmente, funcionan con la ayuda de las cámaras de los smartphones, para la detección de la ictericia en forma estándar, al paciente se le coloca una tarjeta en su abdomen, frente, esternón o espalda, que al igual que al anterior método trabaja con un proceso que emplea algoritmos de procesamiento de imágenes, tiene algunos inconvenientes y errores en especial cuando los niños tienen un tono de piel más oscuro. Este método es utilizado como prediagnóstico antes de realizar otra prueba más eficaz [11].

Técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz

Es una técnica que utiliza la reflectancia en la piel de los pacientes para medir el nivel de bilirrubina, se realiza una evaluación independiente de la coloración amarillenta de la piel del neonato, además esta técnica descarta otros efectos de luz como la iluminación del lugar o la tez del paciente, convirtiéndola en una técnica muy eficaz. Para utilizar esta técnica el paciente es irradiado por un haz de luz que tiene una longitud de 425 nm a 545 nm; para realizar las mediciones se utiliza una frecuencia predeterminada derivada de la generación de señales eléctricas, que se pueden analizar mediante microcontroladores y así determinar el nivel de ictericia [11].

Conceptos relacionados a la detección y diagnóstico de ictericia

Diagnóstico

El diagnóstico de la ictericia en varios centros de salud se utiliza la técnica de la exploración física ya mencionada anteriormente, además para corroborar el resultado con pruebas de bilirrubina en la sangre [12].

En varias investigaciones médicas, así como también en diversos estudios clínicos se realizan exámenes físicos con el objetivo de determinar visualmente las causas de ictericia en el paciente. En estos exámenes se sigue un proceso donde lo primero que se evalúa es el grado de ictericia del paciente, posteriormente se observa la piel para determinar signos característicos de la ictericia como un tono amarillento en la piel. Visualizando el tono de amarillo se puede determinar la gravedad de la enfermedad. Finalmente se debe tomar en cuenta si el paciente presenta un sangrado cutáneo mucoso y examinar a su vez el color de la orina y de la materia fecal. [12]

Frente a cualquier cuadro clínico de ictericia el profesional de la salud debe seguir un proceso para descartar otras causas anormales de un excesivo color amarillento en la piel (hiperbilirrubinemia) a continuación se detalla este proceso [12].

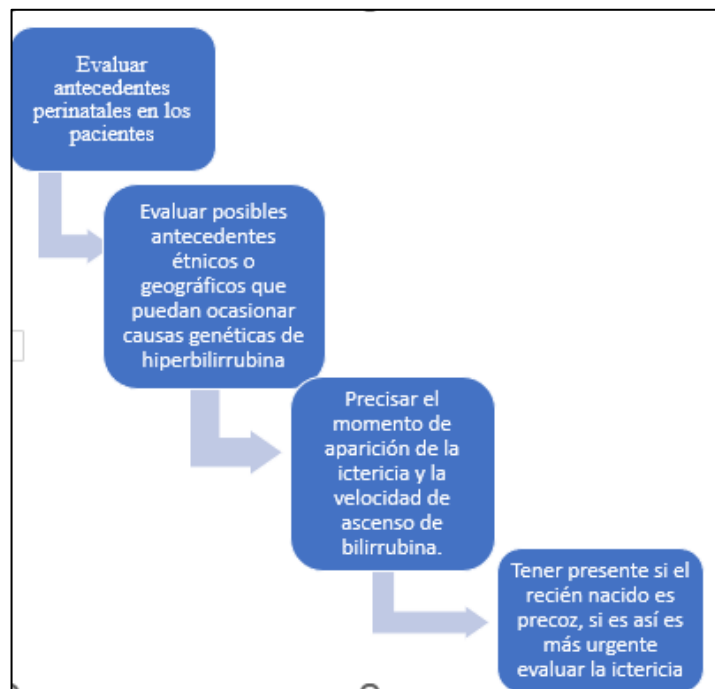


Figura 4: Proceso para descartar causas anormales de exceso de bilirrubina

Elaborado por: La investigadora en base a [12].

Tratamiento

En el adulto, la ictericia es considerada más como un síntoma de una enfermedad más grave. Debido a esto el tratamiento de ictericia en un adulto mayor debe centrarse en la enfermedad que está provocando el aumento de bilirrubina en la sangre [12].

En un neonato. Si el nivel de bilirrubina es alto, se de tomar medidas como la interrupción de lactancia, transfusión de sangre y en ocasiones fototerapia con una exposición a una luz a una determinada longitud de onda [12].

Bilirrubinómetros

Son dispositivos que permiten tomar una lectura y monitorizar el nivel de bilirrubina en un paciente. Los bilirrubinómetros se caracterizan por no ser invasivos, de esta manera se reduce la cantidad de veces que se debe realizar la venopunción en un paciente que necesita de un control del nivel de bilirrubina [12].

La mayor parte de estos dispositivos son automáticos y utilizan técnicas como emisión y reflexión de luz, sensores de color u otras técnicas que implican el procesamiento digital de imágenes. La utilización de bilirrubinómetros en el ámbito profesional, puede estar sujeto a una discusión debido a que existen grandes diferencias entre la bilirrubina sérica y tisular, que varían dependiendo la edad, peso y pH sanguíneo. Esto ocasiona que las lecturas del nivel de bilirrubina puedan tener un margen de error [12].

Internet de las cosas (IoT)

Definición

Es la integración entre tecnologías que utilizan sensores, actuadores o cualquier elemento de uso cotidiano y tecnologías de conectividad a internet. Como por ejemplo en la adquisición de temperatura de una casa en donde se puede realizar un monitoreo y control de esta variable a través del internet o aplicaciones web, este es el concepto más básico del internet de las cosas (IoT). Los dispositivos físicos pueden comunicarse

e intercambiar información con otros elementos del entorno a través de una arquitectura de red, permitiendo que un usuario gestione adecuadamente los mismos, a su vez también se implementan actuadores que permiten tener un mayor alcance hacia tecnologías médicas, del hogar, etc. [13].

Arquitectura IoT

Para la implementación de un sistema que involucra tecnologías del internet de las cosas se tiene una arquitectura predefinida que consta de cuatro de etapas en la mayoría de los casos, estas son [14]:

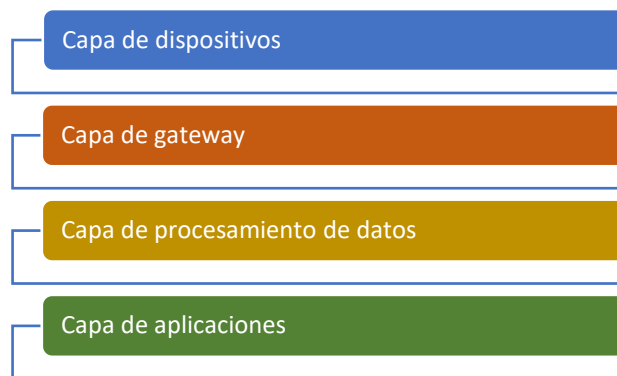


Figura 5: Arquitectura de una red IoT [14].

a) Capa de dispositivos (sensores y actuadores)

La capa de dispositivos, también denominada capa de sensorización es el primer escalafón de una arquitectura IoT y se centra en adquirir variables provenientes de los sensores o actuadores que se encargaran de recoger e interactuar con el entorno físico; pueden ser sensores de temperatura, humo, gas, motores, etc. Los sensores se encargan de adquirir los datos del entorno físico y convertir esta información en señales eléctricas las cuales ser procesadas y analizadas [15].

b) Capa de enlace (Gateway y adquisición de datos)

Una vez que se adquieren los datos en la capa de sensorización son enviados en forma de señales analógicas. Luego se debe implementar un CAD (Convertidor analógico-digital) para que estos datos se conviertan en señales digitales para poder realizar alguna gestión. En una arquitectura IoT una vez que los datos son convertidos en variables digitales se necesita que sean subidos a internet por medio de un dispositivo

conocido como puerta de enlace o Gateway. Este dispositivo consta de un microcontrolador que convierte los datos provenientes de los sensores y algún tipo de estándar de comunicación que permite que los datos sean transmitidos a un servidor como por ejemplo tenemos una NodeMCU, Raspberry Pi, una ESP32, etc. [15].

c) Capa de servidor (procesamiento de datos)

Cuando los datos son procesados, se utiliza un servidor para poder gestionarlos en alguna base de datos, servidor o nube. Esto se realiza con la ayuda de las tecnologías que utilizan protocolos de comunicación entre un dispositivo de adquisición y un servidor local o en la nube. También se denominan centros de datos, en muchas ocasiones estos servidores se encuentran muy lejos de los sensores [15].

d) Capa de aplicación

Esta capa es de nivel de usuario aquí se enmarcan aplicaciones como, por ejemplo: domóticas, médicas, de administración de recursos (agua, gas, corriente eléctrica), agrícolas, de optimización de recursos y gestión de tiempo. Estas aplicaciones sirven para gestionar cualquier tipo de datos, son diseñadas con tecnologías de desarrollo web como angular, PHP, JavaScript, etc. El objetivo principal de esta capa es el uso y gestión de los dispositivos conectados a la arquitectura IoT de manera rápida y eficiente. La capa de aplicación puede ser implementada de forma remota como por ejemplo una aplicación domótica o aplicaciones de salud [15].

Sistemas de acondicionamiento y adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos conocidos como DAQ(adquisición de datos), adquieren variables físicas del entorno como temperatura, humedad, CO2, voltaje o presión y se adquieren mediante un software instalado en un equipo de cómputo. Su arquitectura consta de una etapa de sensorización, hardware para realizar la medición, y un equipo de cómputo o microcontrolador con un software programable para entender los datos adquiridos. Las características principales de este sistema son la efectividad, conectividad y la productividad al momento de implementación en algún proceso industrial, médico o agrícola [16].

Sensores

La definición básica de un sensor es un dispositivo que mide algún fenómeno físico, como la temperatura, la humedad, Co₂, cantidad de luz, etc. y lo transforman a una señal eléctrica. Los sensores, son también llamados transductores debido a que transforman una variable física del entorno en una señal eléctrica en forma analógica que se puede convertir y medir. Los sensores pueden tener diferentes salidas como resistencia o voltaje y un porcentaje alto de sensores necesitan componentes electrónicos adicionales para poder adquirir las señales correctamente [16].

Acondicionamiento de la señal

Cuando una variable física es adquirida por los sensores es una señal analógica que debe ser acondicionada para que se pueda obtener una medición correcta. En la parte de acondicionamiento de señal se convierte una señal de entrada (analógica o mecánica) en otra señal de salida. El objetivo principal de acondicionar una señal es amplificarla y convertirla en un formato que sea más simple de leer por un microcontrolador o un hardware DAQ [16].

Convertidor analógico digital (ADC)

Se utiliza para transformar una señal analógica de entrada que ya se encuentra acondicionada en una señal digital que puede ser entendida por un microcontrolador, se adquieren mediante puertos analógicos/digitales y mediante un algoritmo se puede transformar en ceros y unos, de esta manera se puede realizar una medición más exacta, además se puede gestionar de manera adecuada cualquier variable física del entorno, por ejemplo la temperatura se adquiere con un sensor que en su salida proporciona un voltaje senoidal difícil de entender, pero transformándolo en una señal digital se puede convertir a grados centígrados que ya es más fácil de entender [16].

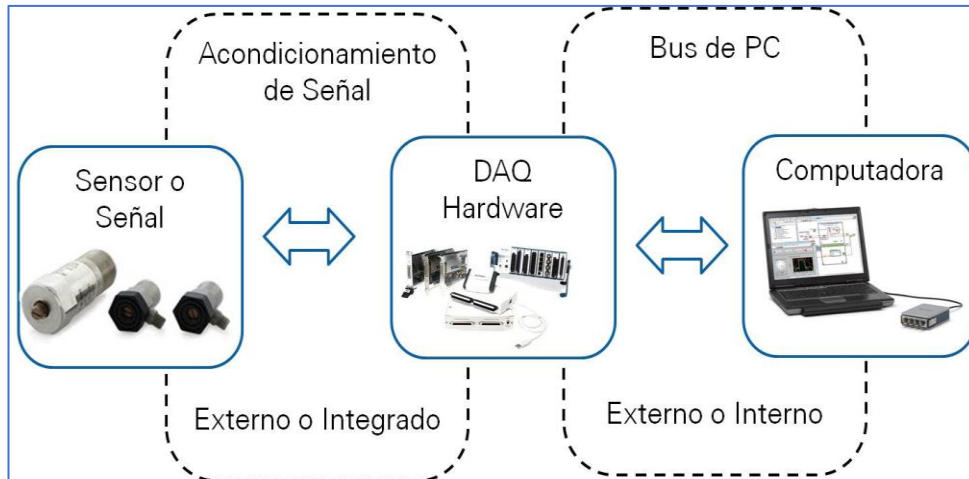


Figura 6: Partes de un sistema de adquisición de datos [16].

Servidor en la nube

Un servidor en la nube es un recurso de servidor (procesamiento, almacenamiento y aplicaciones), que puede alojar muchas tecnologías a través del internet en su mayoría es un servicio de pago al cual puede acceder cualquier usuario en cualquier parte del mundo. Los servidores en la nube son una infraestructura que no se encuentra físicamente en el lugar de implementación o red de alguna organización si no que se encuentran alojados en países como Estados Unidos, Brasil, China, la Unión Europea y se puede acceder en cualquier lado del mundo que tenga acceso a internet, esta es la gran diferencia entre un servidor tradicional donde el hardware y software se encuentran localmente y son exclusivos de los usuarios de la red en donde se configuran e implementan [17].

Sistema gestor de base de datos

Es un sistema que permite la gestión, creación, almacenamiento y administración de bases de datos, así como también se puede buscar y manejar la información de manera rápida y eficiente. Existen varios gestores de bases de datos como MySQL, MongoDB, MariaDB, SQL Server. Una de las principales características de un sistema gestor de bases de datos es su gran escalabilidad que permite gestionar varias cantidades de datos y almacenamiento [18].

NodeMCU

Es una placa de desarrollo que utiliza firmware de código abierto basado en el microcontrolador ESP8266 que implementa un sistema de gestión de datos que se encuentran en la memoria flash del dispositivo. Está desarrollado e implementado en el lenguaje de programación C. La característica principal que presenta la NodeMCU es que puede conectarse a una red WiFi, programando un código de manera simple. Es un dispositivo utilizado para proyectos y aplicaciones enfocadas en una arquitectura IoT. SparkFun ha desarrollado varias librerías que permiten que su programación y funcionamiento sean de fácil entendimiento [19].

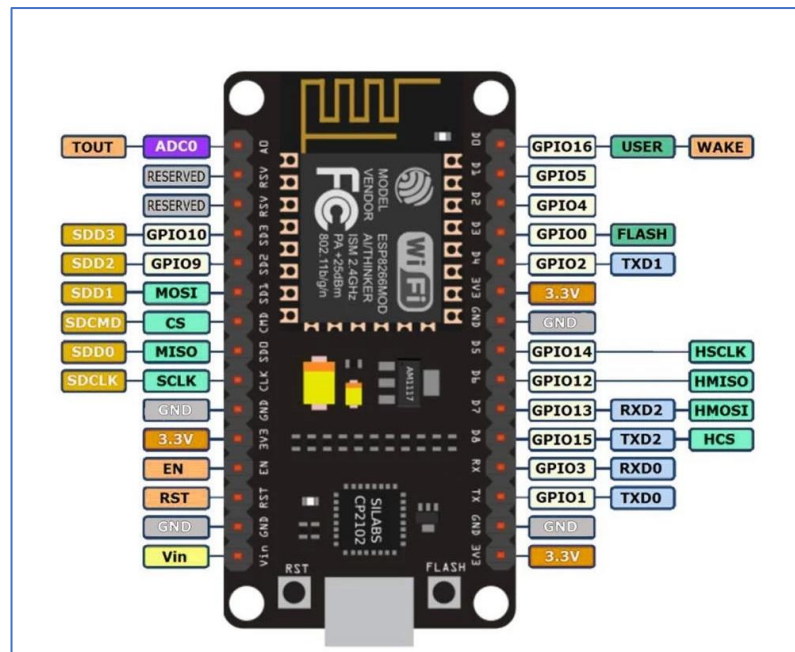


Figura 7: NodeMCU [19].

Sensor de color TCS3200

Este sensor utiliza un convertidor de luz a frecuencia a través de fotodiodos y una corriente que posee una frecuencia en específico. En su salida presenta una onda cuadrada que posee un ciclo de trabajo a la mitad con una frecuencia que es directamente proporcional a la intensidad de la luz. Para su configuración no se necesita de ningún componente electrónico adicional y permiten tener una interfaz directa con el microcontrolador o dispositivos que vaya a adquirir la señal. Una de las aplicaciones principales del sensor TCS3200 es la robótica y la domótica [20].

El sensor es un convertidor de luz a frecuencia que utiliza una matriz de 8x8 fotodiodos distribuidos de tal manera que una combinación de 16 fotodiodos tiene filtro azul otros 16 son verdes, 16 más son rojos y finalmente 16 no poseen filtro. Este sensor funciona con la gama de color RGB (Red, Green, Blue) [20].

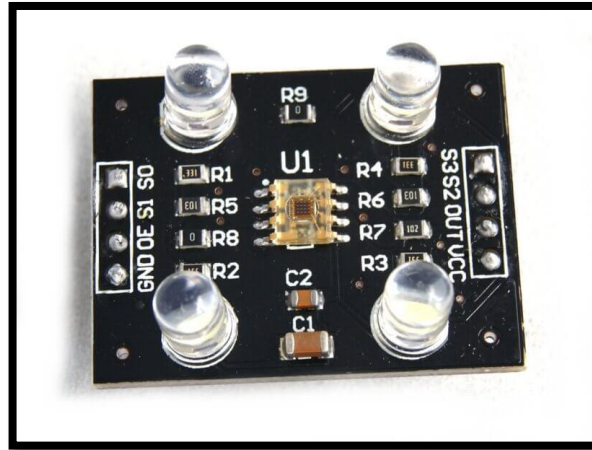


Figura 8: Sensor RGB TCS3200 [20].

Desarrollo web

El desarrollo web es la actividad de diseñar, construir y manejar sitios web; se utilizan varias metodologías y tecnologías para construir páginas web. Se puede definir dos partes fundamentales del desarrollo web el lado del cliente conocido como frontend, esta es la parte del código que se muestra al usuario y es donde interactúa, la otra parte es la backend o lado del servidor aquí se gestionan y se realizan las peticiones que el usuario envía, esta enlazada en su mayoría a una base de datos [21].

Tecnologías de desarrollo Web del lado del cliente

JavaScript (JS)

Es un lenguaje de programación que se deriva de JAVA, está enfocado en el desarrollo web y una de sus principales funciones es la implementación de funciones complejas que permiten que una página web pueda funcionar. Entre las más comunes tenemos videos, audios, gráficas, modelados en 3D, alertas, etc. El código en lenguaje JavaScript se ejecuta en conjunto con HTML. Este lenguaje se puede ejecutarse en la mayoría de los navegadores web existentes. JavaScript es un lenguaje que se base en la programación orientada a objetos que permite crear clases, aplicar conceptos de

herencia y crear objetos e instancias. Por lo que cada objeto que se crea puede ser instanciado o heredado con otros métodos y clases padres [21].

Desarrollo web con framework

Actualmente se necesitan aplicaciones web más potentes y con más funcionalidades, debido a esto tecnologías de desarrollo web como PHP, Java han sido relegadas por otras como Angular o Laravel que se centran en desarrollar una interfaz web gráfica que tiene como objetivo principal la fluidez de la página y que el usuario final tenga una mejor experiencia [22].

Los framework son muy utilizados en el desarrollo de páginas web, debido a que son configurables y se pueden reutilizar partes del código para la creación de una página web funcional. Los framework se enfocan en el desarrollo web de una manera acelerada con la reutilización de códigos, el uso de patrones y la gestión adecuada del código web [22].

Framework Angular JS

Angular JS es un framework que está basado en el lenguaje JavaScript, y actualmente es muy utilizado en el desarrollo de aplicaciones web y móviles con un alto nivel de complejidad. Angular se centra en el desarrollo con un estilo de SPA (Página de aplicación simple), lo que significa que todos los cambios que se realicen en la programación son ejecutados en ese momento sin necesidad de compilar el código. Angular posee una base de datos de código sólida lo que permite crear aplicaciones escalables y de gran robustez, su codificación es modular y homogénea [23].



Figura 9: Funcionamiento de una página web con estilo SPA [23].

Características más importantes de Angular

Alto rendimiento y productividad

En el desarrollo web es de gran importancia que las tecnologías utilizadas posean un alto rendimiento a la hora de programar Angular en este ámbito se destaca con las siguientes características [24]:

- Es un framework que se actualiza continuamente y es de uso sostenible porque asegura que en un futuro no se migre hacia nuevas tecnologías de desarrollo web.
- Angular posee una sintaxis de código de plantillas simples por lo que se puede crear rápidamente interfaces de usuario complejas.
- Cuando se desarrolla una aplicación web con Angular muchos editores de código dan sugerencias y comentarios frente algún error al momento de escribir el código.

Pruebas y accesibilidad

Para crear una aplicación que sea accesible y que no tenga errores, angular presenta las siguientes características [24]:

- Cuando se va a desplegar una aplicación desarrollada con Angular se cuenta con pruebas unitarias y e2e (fin a fin), para que no haya ningún fallo.
- Dispone de componentes disponibles para la creación de aplicaciones web enriquecidas.

Ventajas del desarrollo web con Angular

Cuando se desarrolla aplicaciones frontend con Angular las principales ventajas son [24]:

1. Angular utiliza TypeScript como lenguaje de programación principal lo que permite la reutilización de código.
2. Implementa el diseño Modelo, Vista, Controlador (MVC), que ayuda a que las aplicaciones o proyectos que se desarrollan con angular sean altamente escalables.
3. Se puede desarrollar aplicaciones móviles con una mayor flexibilidad.
4. Las aplicaciones desarrolladas en angular pueden estar al mismo nivel que aplicaciones nativas de IOS y Android.

Arquitectura de una aplicación en Angular

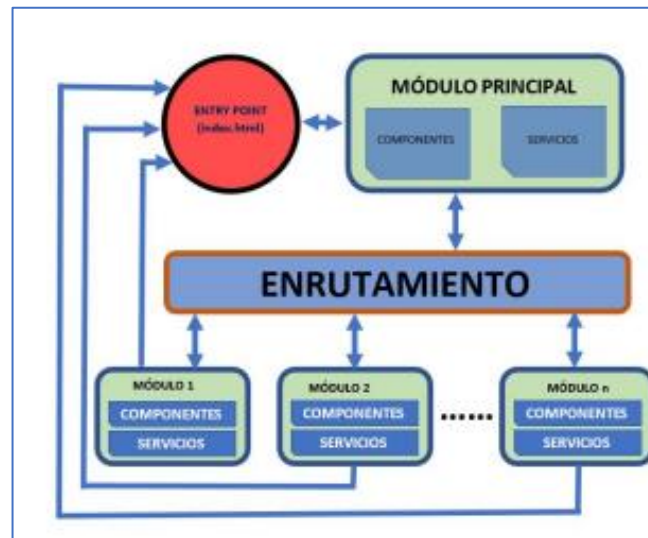


Figura 10: Estilo modelos, vista, controlador en una aplicación desarrollada en Angular [25].

Cuando se desarrolla una aplicación con Angular se utilizan bloques de diseño que proporcionan la base para realizar una compilación de los componentes. Los bloques de diseño reúnen código en grupos funcionales que poseen un módulo principal para gestionar el arranque. Angular trabaja con plantillas predefinidas para la creación de componentes estos se denominan decoradores. Los decoradores manipulan y gestionan metadatos que informan el funcionamiento de la aplicación [25].

Componentes

Los componentes definen una clase de datos que es utilizada por una aplicación web como plantillas de código HTML, los componentes definen el estilo de la página que será mostrada mediante un navegador web. También toda aplicación desarrollada en Angular tiene un componente principal, que está conectado con una jerarquía de componentes [26].

Módulos

Todas las aplicaciones desarrolladas con Angular poseen módulos, que tienen como principal objetivo mostrar un contexto de compilación para un determinado grupo de componentes que poseen una relación entre sí. Los módulos asocian todos sus componentes, como unidades funcionales. Las aplicaciones en Angular poseen un módulo raíz que inicializa la aplicación. Los módulos utilizan una programación orientada a objetos debido que pueden heredar alguna funcionalidad de otras clases programados en JavaScript, esto ayuda a que los módulos puedan exportar su funcionalidad hacia diversas partes del código [27].

Documentación médico-legal

Es un tipo de documentación legal que es utilizada por enfermeras, médicos o cualquier profesional de la salud para comunicar información pertinente hacia el público en general, superiores o administrativos. Algunos de estos documentos son de uso exclusivo para los profesionales de la salud y sirven como sustento legal ante tribunales u organismos fiscales. Existen también documentación que va dirigida a pacientes como recetas médicas e historias clínicas [28].

Posee una estructura simple, además de ser un documento claro y bien definido, estos deben estar correctamente redactados. Entre los documentos más importantes se tiene [28]:

- Parte médico (son documentos que sirven como respaldo para el profesional de la salud frente algún tribunal médico).
- Certificados médicos (entregados para el público en general).
- Recetas médicas (documento entregado luego de realizar el diagnóstico del paciente).
- Historias médicas o clínicas.

Información médica

Los profesionales de la salud constantemente publican información sobre enfermedades, medicamentos, tratamientos o avances en la rama médica. El objetivo de esta información es compartir a otros la experiencia que tiene el médico con sus pacientes en base a varias pruebas o diagnósticos realizados. En muchas ocasiones esta información es utilizada por otros médicos para mejorar el diagnóstico o dar una opinión médica diferente sobre alguna morbilidad que puedan presentar los pacientes [29].

Historias clínicas

Es un documento médico-legal que da a conocer la información clínica de los pacientes, en una historia clínica se detalla procesos médicos, tratamiento, medicación, diagnósticos, enfermedades previas del paciente y cualquier tipo de información que sea relevante para el profesional de la salud. Forma parte de una adecuada atención médica en cualquier nivel de asistencia médica en un sistema de salud [30].

Una correcta gestión de la información médica mejora la asistencia integral de un paciente en cualquier institución médica. Finalmente, uno de los principales objetivos de la realización de una historia clínica es ayudar a mejorar la investigación médica para futuras morbilidades presentadas en los pacientes [30].

Características más importantes de una historia clínica

A continuación, se detallan las características más importantes que tiene una historia clínica [31]:

- Toda institución que forma parte del sistema de salud ya sea pública o privada debe tener registros detallados sobre los pacientes
- No se puede ejercer la medicina sin la utilización de historias clínicas.
- Una historia clínica no debe ser redactada en base a conjeturas o diálogos en base a la memoria por parte del profesional de la salud.
- Los profesionales de la salud no pueden divulgar con terceras personas u otras identidades cualquier dato confidencial de la historia clínica de un paciente.

- Las instituciones y los profesionales de la salud tienen la obligación de salvaguardar las historias clínicas de los pacientes.
- Una historia clínica debe tener la información del paciente en forma detallada y ordenada para que su interpretación sea acertada y simple.
- Las instituciones de salud deben garantizar la correcta gestión de las historias clínicas con la implementación de sistemas de información o bases de datos.
- Las historias clínicas deben estar gestionadas de una manera eficaz para que puedan ser accedidas rápidamente por los profesionales de la salud.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Implementar un sistema para la detección clínica y control de ictericia en recién nacidos y adultos mayores a través de un método transcutáneo no invasivo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar la situación actual y características de la detección de ictericia en neonatos, así como también en adultos mayores.
- Determinar las características técnicas de sensores médicos y tecnologías para la detección de ictericia mediante métodos no invasivos.
- Diseñar la etapa de detección de ictericia a través de un método transcutáneo no invasivo para neonatos y adultos mayores.
- Desarrollar una aplicación utilizando tecnologías de desarrollo web para el monitoreo y control de ictericia.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

En el desarrollo del presente proyecto, se utilizó una placa de desarrollo y un sensor de color para la detección de ictericia. Para el desarrollo de la aplicación se empleó tecnologías de desarrollo web. A continuación, se detalla todos los elementos y tecnologías utilizadas.

Tabla 1: Materiales y tecnologías utilizadas en el desarrollo del presente proyecto.

Elemento o tecnología	Descripción	Utilidad
Sensor TCS3200	Sensor de color RGB.	Adquirir el nivel de bilirrubina del paciente.
NodeMCU	Placa de desarrollo basada en el ESP8266.	Procesar el valor de bilirrubina proveniente del sensor.
Pantalla Oled 0,96 “	Pantalla de visualización basada en diodos de emisión de luz.	Mostrar el nivel de bilirrubina en el dispositivo.
Batería Lipo 750 mAh	Batería recargable.	Alimentar con corriente eléctrica todo el dispositivo.
Cargador de Lipo TP40565	Modulo que permite cargar una batería Lipo.	Cargar la batería Lipo.
Modulo Step-up	Modulo para aumentar el voltaje.	Aumentar el nivel de voltaje de entrada del circuito.
Elementos electrónicos varios	Pulsadores, cables, resistencias, baquelitas y conectores.	Elementos que permiten interconectar los diferentes elementos.
Google Cloud	Plataforma de servicios en la nube.	Plataforma donde se alojó la página web.
Angular	Framework de desarrollo para frontend.	Tecnología utilizada para el desarrollo de la página web.
NodeJS	Entorno de ejecución para JS.	Complemento utilizado junto con Angular.
Linux	Sistema operativo.	Sistema operativo donde se alojó todo el proyecto.
Servidor LAMP	Servidor Web de código libre.	Se utilizó para gestionar los datos a través de MySQL.

Elaborado: Por la investigadora.

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de la Investigación

Este proyecto de investigación se realizó de acuerdo con varios conceptos de investigación aplicada, debido a que se usó los conocimientos ya existentes para el diseño e implementación de un detector de ictericia para neonatos y adultos mayores para adultos mayores.

Este trabajo de titulación se basó en revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet, además de proyectos de titulación desarrollados en otros países y en Ecuador donde se realizaron estudios sobre: métodos no invasivos para la detección de ictericia, implementación de sensores para la detección de ictericia, sistemas de monitoreo y seguimiento para neonatos y adultos mayores que presentan o puedan desarrollar ictericia.

Se analizó los métodos más comunes y eficaces para la detección de ictericia que existen en el Ecuador y se determinó las características más importantes sobre el desarrollo e implementación de un bilirrubinómetro mediante métodos no invasivos, finalmente se precisó las necesidades médicas y tecnológicas más importantes que se requiere para el diseño del sistema de gestión médica.

Se realizó varias pruebas en la capa de sensorización, para poder calibrar de mejor manera el dispositivo y evitar errores de medición, además se comparó las mediciones adquiridas con otras pruebas médicas certificadas como la de sangre para determinar el correcto funcionamiento del medidor de bilirrubina y de esta manera obtener un margen de error mínimo en el dispositivo implementado.

2.2.2. Recolección de información

Para la recolección de información se analizó diversas fuentes bibliográficas, datos médicos, artículos científicos que estén relacionados con la detección de ictericia mediante métodos transcutáneos no invasivos. Por otra parte, también se consultó a

profesionales de la salud sobre información relevante que se utilizó para la correcta calibración de los sensores médicos que fueron utilizados en el presente proyecto.

2.2.3. Procesamiento y análisis de datos

En el procesamiento y análisis de la información se ejecutó ordenadamente los siguientes pasos:

- Recopilación de información obtenida de diversas fuentes médicas y técnicas que fue relevante en desarrollo del presente proyecto.
- Clasificación y lectura de la información recopilada.
- Identificación de las ideas centrales de la información recopilada para la realización de un análisis detallado de la misma.
- Formulación de la propuesta de solución en base a la problemática planteada.
- Análisis de las principales características de la propuesta de solución para su posterior implementación.
- Ejecución de pruebas e interpretación de resultados.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

En el desarrollo del presente proyecto como primer punto se determinó cual es la situación actual referente al diagnóstico de ictericia en diferentes centros e instituciones de salud del Ecuador. Se consultó en documentos e informes médicos presentados por profesionales de la salud y posterior a ello se realizó un breve análisis. Este análisis tiene como objetivo principal conocer a fondo la problemática que se presenta en la detección de ictericia en el país en los últimos años.

En centros de salud del estado como el IESS (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social) un reporte presentado en el año 2022 de egresos hospitalarios de neonatos con posibles indicios de ictericia, del 100% de los pacientes ingresados el 48,5% ingresaron sin un diagnóstico específico debido a dificultades en el diagnóstico, el 30 % representa a los pacientes con incompatibilidad ABO (reacción del sistema inmunitario ante un cambio del tipo de sangre), siendo esta la causa más frecuente. El 12,4% representa la incompatibilidad Rh (factor Rhesus) que se presenta cuando la madre tiene el grupo sanguíneo Rh negativo y su hijo es Rh positivo, siendo la segunda patología más común, le sigue con el 2,2% la sepsis bacteriana, con el 2,2% la sepsis neonatal y con el 1,1% la ictericia ocasiona por hemólisis [32].

En la figura 10 se muestra la distribución de causas de ictericia neonatal. Estos datos evidencian que, en los egresos hospitalarios en los hospitales del IESS muchos de los neonatos no tienen un diagnóstico acertado o tienen problemas en el ingreso debido a incompatibilidades en la sangre u otro tipo de afecciones.

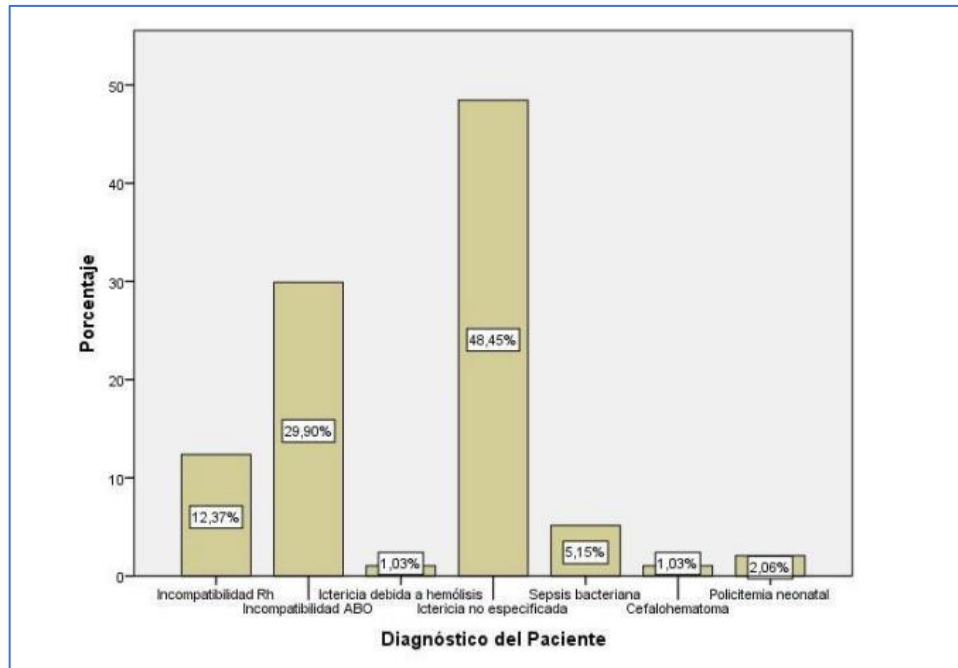


Figura 11: Distribución de causas de ictericia neonatal en el IESS a nivel general en el año 2022 [32].

En otro análisis estadístico se muestra una comparación del valor de bilirrubina total obtenida en varias pruebas frente al diagnóstico obtenido en pacientes que presentaron ictericia neonatal a nivel general en hospitales del IESS en el año 2022. En la figura 11 se muestra una serie de datos numéricos a través de grupos distribuidos por etiologías [32].

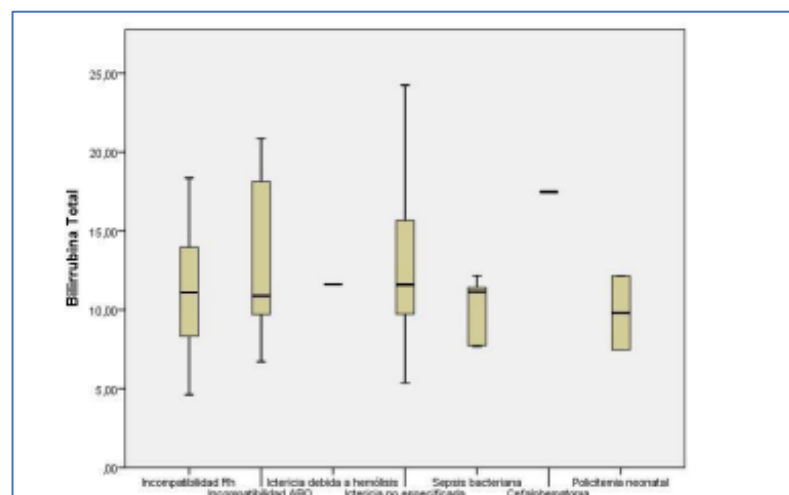


Figura 12: Estudio comparativo entre la bilirrubina total y los diagnósticos obtenidos de los pacientes con ictericia neonatal patológica [32].

En la figura 11 se puede evidenciar que el diagnóstico de bilirrubina realizado por algunas pruebas de sangre presenta problemas cuando las etiologías son causadas por alguna incompatibilidad como la Rh o la ABO. Por lo que hace falta tener un diagnóstico de ictericia más efectivo y que no esté relacionada con la sangre ni la incompatibilidad ABO.

En otros establecimientos se realizan otro tipo de pruebas como la Coombs (Prueba de anticuerpos), pero no representa de utilidad para las estadísticas, ya que en más del 90% dio negativo a pesar de confirmarse alteraciones en la inmunidad. Esto debido a que la principal patología productora de ictericia neonatal patológica es la incompatibilidad ABO con casi un 30% de frecuencia, le sigue la incompatibilidad Rh con un 15% aproximadamente [32].

3.2. Desarrollo de la propuesta

3.2.1. Selección del método de adquisición de la bilirrubina

En el presente proyecto se desarrolló un bilirrubiómetro transcutáneo no invasivo, debido a que existen varias técnicas para obtener el nivel de bilirrubina en un paciente, se evaluó los tres métodos más utilizados, cada método se analizó en base a algunas características importantes como: la complejidad del diseño, dificultad en el desarrollo del algoritmo, costo total, limitaciones y portabilidad. Este análisis se realizó con el objetivo de determinar cuál es la mejor opción de diseño para el dispositivo final. La siguiente sección abarca un breve análisis de cada técnica probada, y finalmente se realizó una comparación de los tres métodos y se seleccionó la mejor técnica para la implementación.

Adquisición por reflexión con LDR

Existen en el organismo algunas sustancias que provocan un espectro de reflexión al momento de aplicar una determinada longitud de onda. Entre las más comunes se tiene la melanina, el agua, la hemoglobina y el color amarillento de la piel comúnmente llamado ictericia. La medición de la bilirrubina con el espectro de reflexión permite ver la concentración de esta en la piel de un paciente. En la figura 13 se muestra la densidad óptica de la bilirrubina con dos diferentes longitudes de ondas los cuales

permiten diferenciar la bilirrubina. A su vez se muestra cuáles son las longitudes de onda que tienen otras sustancias como la melanina [33].

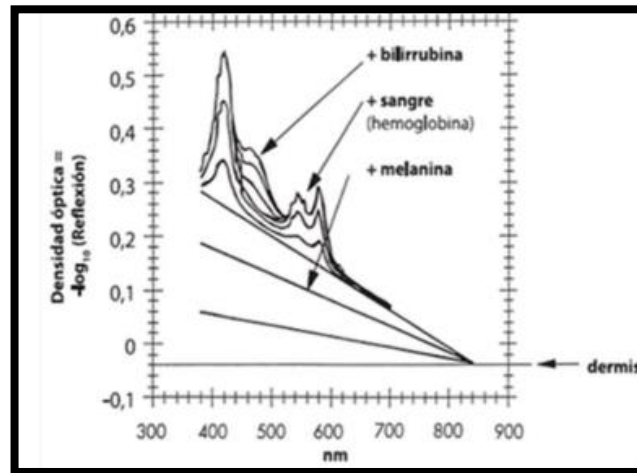


Figura 13: Espectros de absorción de cada molécula particular frente a la longitud de onda [33].

En el desarrollo del algoritmo que permite obtener el nivel de bilirrubina se programa una ecuación en base a mínimos cuadrados, la ecuación final tiene la forma $y = ax + b$, se va obteniendo varias iteraciones mediante fórmulas matemáticas con la finalidad de obtener los coeficientes más exactos para que la ecuación obtenga el valor de bilirrubina [33].

Esta técnica utiliza varios diodos leds de diferentes colores, que poseen a su vez diferentes longitudes de onda. El nivel de bilirrubina se obtiene con una LDR de gran sensibilidad. Para calibrar el sensor se utilizó un espejo en donde se realizan algunas mediciones, así generando un promedio de estos valores para reducir el nivel de error. Como punto de partida se utiliza la longitud de onda del led azul que tienen un pico alto de densidad óptica para valores de bilirrubina [33].

Este método presenta varias ventajas debido a que se tiene un espectro más grande al utilizar varios leds que poseen diferentes longitudes de onda, a su vez la implementación de un algoritmo realizado por mínimos cuadrados obtiene un método de adquisición más robusta y con un margen de error mínimo, pero este método presenta una deficiencia debido a que para la adquisición se necesita de una LDR (resistencia dependiente de la luz), este sensor no es tan eficiente si el dispositivo recibe luz del exterior u otras fuentes. Esto genera que el dispositivo sea utilizado

estrictamente en ambientes controlados en donde no se tenga ninguna fuente externa de luz natural o artificial, haciendo que sea complejo su aplicación en consultorios médicos en donde existen varias fuentes de luz artificial.

Adquisición por un sensor de color RGB

En este método se utiliza un sensor de color comúnmente de la serie TCS (Sensor del fabricante LC Tech), para medir el componente RGB en la piel de un paciente. Se realiza con la obtención del color azul en la piel del paciente. Para ello se mide el porcentaje de azul en la piel, debido a que la variable azul varía según el color amarillo en otras palabras, si se obtiene un color predominantemente amarillo el porcentaje de azul es bajo casi 0 de igual manera si no existe el color amarillo el porcentaje de azul es alto. En base a esto, se calcula el nivel de bilirrubina y se muestra el estado de ictericia [34].

Este método no utiliza un sensor que dependa de la luz del entorno, lo que lo hace más eficiente y adaptable a cualquier medio. Una de sus principales ventajas es que se basa en la tabla de colores RGB, haciendo que se tenga una gama más alta de pruebas para diferentes tipos de pieles. La utilización de ecuaciones matemáticas daría como resultado que este método tenga un menor margen de error frente a otras técnicas de adquisición. Finalmente, el sensor de color no es tan inestable al momento de adquirir un valor debido a que trabaja por frecuencia y sus componentes están distribuidos de forma tal que minimizan el efecto la incidencia no uniforme de la luz [34].

Adquisición por sensor de voltaje óptico de luz

Esta técnica utiliza la reflectancia como método de adquisición de la bilirrubina a través de un sensor óptico conectado a un transistor para aumentar su señal de salida. El fundamento principal de la técnica de reflectancia está basado en la detección del nivel de luz absorbida por bilirrubina en la sangre del paciente, para lo cual se utiliza un diodo emisor de luz y un fotodiodo para la detección, la señal análoga receptada se somete a un análisis matemático programado dentro de un microcontrolador para obtener la medición de la cantidad de bilirrubina sérica. En la figura 14, se presenta el diagrama general de este método de adquisición el proyecto [5].

Este método de adquisición utiliza la técnica de reflectancia de la luz, a través de un diodo led de color azul, que su emisión de luz posee una longitud de onda en el rango de 425 a 545 nm., la luz que emite es absorbida por la sangre del paciente, si el nivel de bilirrubina tiene un porcentaje alto en la sangre disminuye la cantidad de luz reflejada, de esta manera se obtiene mediante una ecuación matemática el porcentaje de bilirrubina en la sangre. Se utiliza elementos electrónicos como fotodiodos y un microcontrolador para realizar un análisis matemático, de esta manera se obtiene un valor que se puede analizar desde el punto de vista médico [5].

Cuando se utiliza una longitud de onda específica solo puede determinar el nivel de bilirrubina en ciertos tonos de piel comprendidas en el rango de detección del dispositivo, el sensor que mide la cantidad de luz reflejada lo hace vulnerable a interferencias externas de otras fuentes de luz, así como también al momento de discriminar otras ondas de luz reflejadas, puede ocasionar que se pierdan algunos valores que podrían ser importantes para el diagnóstico [5].

Un punto para resaltar de la implementación de este método es que al momento de utilizar un sensor de voltaje óptico se disminuye el ruido y se aumenta la sensibilidad del sensor. Esto ayuda a que se pueda tener una medición más precisa en ambientes muy controlados como por ejemplo cuartos de fototerapia o salas médicas que posean una cantidad de luz controlada.

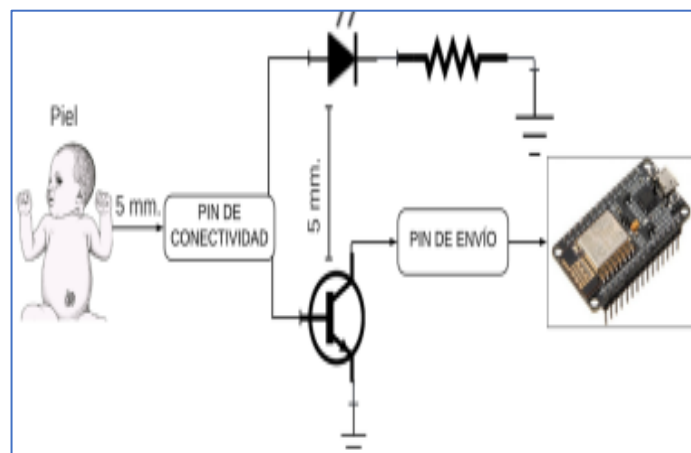


Figura 14: Método de adquisición por reflectancia de luz [5].

Una vez analizadas las técnicas más comunes para la detección del nivel de ictericia en la sangre se realizó un cuadro comparativo enumerando las características más sobresalientes. En la tabla 2 se presenta las características de cada método analizado, entre estas se tiene: su complejidad, su costo, su portabilidad y todas las limitaciones que tienen en su desarrollo.

Tabla 2: Características más importantes de las técnicas de adquisición de bilirrubina.

Características	Adquisición por LDR	Adquisición con sensor RGB	Adquisición por sensor de voltaje
Complejidad del diseño	Nivel complejo, debido a que se necesita de un colimador para que funcione adecuadamente	Nivel medio, no se requiere de elementos electrónicos extras para la adquisición	Nivel medio, debido a que se necesita de elementos electrónicos externos para su funcionamiento
Complejidad del algoritmo	Nivel medio	Nivel alto	Nivel bajo
Costo total	Entre 300 a 400	Entre 200 a 300	Entre 150 a 200
Limitaciones	Fuentes de luz externa	Ninguna	Fuentes de luz externa y su rango de detección en pieles más oscuras es limitado
Portabilidad	Debido a que necesita de un colimador se hace más complicado su diseño portable	El sensor de color no depende de otros elementos para su funcionamiento, se puede realizar el diseño de un prototipo portable	Los elementos electrónicos utilizados para este prototipo no son de gran tamaño y pueden construirse un dispositivo portable

Elaborado: Por la investigadora.

En el análisis realizado no se detalló ninguna característica fuera de la adquisición, en otras palabras, para la selección fue irrelevante el microcontrolador, servidor y tecnologías de desarrollo web. A su vez todas las técnicas anteriormente descritas fueron estudiadas y analizadas en base a otros proyectos que implementaron las mismas, por lo que para la adquisición de bilirrubina se seleccionó el método por sensor de color RGB, debido a que no tiene limitaciones de la luz en su entorno, su

costo no es alto y lo más importante tiene un rango de detección mucho más alto que otras técnicas en cuanto a la detección de ictericia en pieles más oscuras se refiere.

3.2.2. Definición de las características del prototipo

Antes del desarrollo del prototipo se debe especificar cuáles son las características técnicas, médicas, de tamaño y de diseño que debe cumplir el dispositivo. A continuación, se detallan las más importantes. El presente estudio se basa en otros dispositivos de detección de bilirrubina que fueron presentados en otros proyectos de titulación haciendo una recopilación de las características más importantes se tiene las siguientes:

- **Tamaño:** El dispositivo debe tener dimensiones reducidas para su fácil utilización. En algunos dispositivos presentados en anteriores trabajos, fueron dispositivos que tenían una dimensión grande, o se dividían en varias partes.
- **Portabilidad:** El dispositivo debe ser portátil y tener una batería que permita realizar tomas de manera inalámbrica. Esto debido a que se hace más complejo la utilización de un dispositivo que esté conectado a tomas eléctricas o enlace alámbrico de algún tipo.
- **Consumo de energía:** Debe ser de bajo consumo de energía para que se pueda obtener varias mediciones de bilirrubina en menos tiempo y así optimizar el rendimiento de este método de detección.
- **Alcance:** El dispositivo no solo debe estar dirigido a un grupo de pacientes en específico si no que debe estar enfocado en un grupo más amplio de pacientes como por ejemplo neonatos, adultos mayores, niños, personas adultas.
- **Conectividad:** El dispositivo debe ser compatible con tecnologías inalámbricas como WiFi o Bluetooth para que sean adaptadas a aplicaciones alojadas en la nube o en algún servidor.
- **Eficacia:** Debe ser capaz de adquirir el nivel de bilirrubina en diferentes tonalidades de piel, como con la escala Fitzpatrick.
- **Rango de detección:** El rango de error frente a otras pruebas de medición de bilirrubina debe ser mínimo, se debe tener en cuenta que la prueba de sangre posee un porcentaje de detección cercano al 100 % de eficacia.

- **Servidor:** El servidor debe estar disponible en todo momento y que pueda ser accedido desde cualquier parte del mundo que posea acceso a internet y no limitarse a una red local.
- **Aplicación web:** La aplicación debe ser adaptable y fácil de usar para los profesionales de la salud, así como también debe estar diseñada bajo estándares médicos e historias clínicas y gestión de datos de pacientes.
- **Rápida:** Las tecnologías de desarrollo web para el diseño de la aplicación deben ser robustas y que permitan que la aplicación fluya de manera constante con un mínimo tiempo de recarga de esta manera los usuarios finales podrían gestionar su información de manera más rápida y eficientemente.
- **Escalable:** La página web debe ser desarrollada con tecnologías que permitan tener un proyecto escalable para que en el futuro puede adaptarse a nuevas necesidades del usuario.
- **Seguridad:** Todos los datos médicos deben estar seguros para evitar vulnerabilidades o evitar ingresos de terceros a los datos del paciente.
- **Económico:** El sistema de detección de ictericia debe ser económico y capaz de cumplir con todos los estándares y requerimientos médicos.
- **Sin riesgo:** La medición de bilirrubina transcutánea que se ejecute no debe tener factores de riesgo en los pacientes al momento de su utilización.

3.3. Diseño e implementación del prototipo

Una vez que se seleccionó la mejor técnica para adquirir el nivel de bilirrubina en la piel se procede a detallar la arquitectura, el hardware y software implementado, además de las tecnologías de desarrollo web para presentar los resultados. Por otro lado, ya definidos los requerimientos que debe tener el dispositivo se procedió a seleccionar los elementos de hardware y software para la implementación.

3.3.1. Selección de hardware y software para la implementación

Selección de Hardware

En esta sección se describe los componentes electrónicos seleccionados en base a sus características, aplicaciones y ventajas para el desarrollo del dispositivo.

a) Capa de dispositivos o sensorización

La primera capa de una arquitectura IoT es la de sensorización. En esta capa se adquiere el nivel de bilirrubina, que posteriormente se procesa y estandariza por un microcontrolador para su correcta interpretación.

Sensor de color RGB

Tabla 3: Comparación entre sensores de color RGB disponibles en el mercado

Características técnicas	TCS230	TCS3200	TCS34725
Tipo de sensor	Sensor digital RGB toda la gama de colores	Sensor digital RGB toda la gama de colores	Sensor digital RGB toda la gama de colores
Resolución	7 bits	7 bits	8 bits
Voltaje de operación	2,7 V a 5,5 V	4,4 V a 5,5 V	2,7 V a 3,6 V
Método de adquisición	Conversión de alta resolución, de intensidad de luz a frecuencia	Conversión de alta resolución, de intensidad de luz a frecuencia	Conversión de alta resolución, de intensidad de luz a frecuencia
Tipo de comunicación	TTL (Lógica Transistor a Transistor) Digital	TTL Digital	Protocolo I2C
Precio en el mercado	13 \$	15 \$	18 \$
Dimensiones	28 mm x 28mm	28,3 mm x 28,0 mm	20,4 mm x 20,4 mm
Consumo de energía	Por debajo de los 10 mA	Por debajo de los 15 mA	Por debajo de los 5 mA
Error no lineal	0,25% a 50 kHz	0,2% a 50 kHz	0,2 % a 100 kHz
Fuente de luz led	Blanca	Blanca	Blanca

Elaborado por: La investigadora en base a: TC3200 y TCS230 [35], TCS34725 [36].

Se seleccionó el sensor TCS3200 debido a su bajo consumo de energía, dimensiones reducidas y su método de adquisición. El sensor TCS3200 se puede encontrar fácilmente en el mercado ecuatoriano a un bajo costo y además es ideal para operar con voltajes de microcontroladores como la ESP32 y Arduino. El TCS3200 posee 4 diodos de adquisición que aumenta el área de detección, mientras que por ejemplo el TCS34725 su resolución es alta pero su área de adquisición es reducida debido a que solo tiene un fotodiodo de adquisición.

Para la adquisición de la bilirrubina en la capa de sensorización no se utilizó ningún tipo de elemento electrónico extra como parte de la etapa de acondicionamiento debido a que el integrado del TCS3200 posee todos los elementos necesarios para la medición de color en su placa de desarrollo.

b) Capa de adquisición

Es la etapa en donde los valores y datos de frecuencia obtenidos por el sensor TCS3200 pasan a ser gestionados y convertidos para su utilización. Se compararon las placas de desarrollo más comunes para proyectos de desarrollo IoT, a continuación se presenta el detalle de los dispositivos comparados. Cabe recalcar que solo se compararon dispositivos que permitan conectarse a una red wifi como los chips ESP32 o sean compatibles con una arquitectura IoT como los dispositivos que se basan en el protocolo LoRa.

Tabla 4: Comparación de placas desarrollo compatibles con una arquitectura IoT.

	Nodemcu ESP8266	ESP32	Heltec LoRa Wifi 32 (v2)
Voltaje de operación (Vin)	6 V a 12 V	6 V a 12 V	3,3 V – 5 V
Voltaje de puertos GPIO	3,3 V	3,3 V	3,3 V
CPU	Xtensa Dual- Core 32-bit	Xtensa Single-core 32-bit L106	Utiliza la ESP32 como integrado principal
Tamaño de la SRAM	Menor a 50 kB	Mayor 520 kB	16 MHz

Consumo de corriente	100 mA	115 mA	10 mA
Números de GPIO	17	36	12
Protocolos de comunicación	SPI/I2C/I2S/UART	SPI/I2C/I2S/UART	SPI/I2C/I2S/UART
EEPROM Kb	1	4	1
Compatibilidad con Shield	Si	SI	NO
Conectividad USB	Estándar A/B	Estándar A/B	Micro USB
Dimensiones	6,86 cm de largo x 5,34 cm de ancho	10,16 cm de largo x 5,34 cm de ancho	4,82 cm de largo x 1,78 de ancho
Precio	15-20 \$	40-45\$	10-15\$
Protocolos de red	IPv4, TCP/UDP/HTTP/MQTT	Pv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT	Pv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT/LoRa
Estándares de comunicación IEEE	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n; 802.15.1-2002	802.11 b/g/n; 802.15.1-2002; Lora
Tipo de aplicaciones en que se utiliza	Aplicaciones IoT, robótica, eHealth	Aplicaciones IoT, robótica, eHealth	Aplicaciones IoT agrícolas y aplicaciones que necesitan una comunicación de largas distancias
Elementos externos para su funcionamiento	Solo se necesita de un router con conexión a internet o una red local.	Solo se necesita de un router con conexión a internet o una red local o un dispositivo maestro/esclavo para el funcionamiento del Bluetooth.	Necesita de otro dispositivo que actúa como Gateway y sea compatible con el protocolo LoRa.

Elaborado por: La investigadora en base a: **ESP8266** y **ESP32** [37]; **LoRa** [38].

Se seleccionó la NodeMCU Esp8266 debido a su conectividad con tecnologías inalámbricas como el WiFi, su bajo costo y sus aplicaciones con una arquitectura IoT. De los dispositivos comparados el Heltec LoRa Wifi 32 (v2) es el de más bajo consumo, pero su transmisión de datos es lenta y necesita de otro dispositivo de igual características que actúe como Gateway lo que aumenta el costo del prototipo. Las GPIO de la NodeMCU son suficientes para la implementación del presente proyecto.

Las anteriores capas se definen por ser un conjunto de hardware que adquieren, estandarizan y pueden transmitir esta información hacia algún dispositivo de visualización como pantallas LCD u Oled. En otras arquitecturas como la IoT, se necesitan de tecnologías que sean capaces de gestionar esta información para subirla hacia la nube, servidores, aplicaciones web, etc. En las siguientes capas se describe cómo se seleccionó el software necesario para gestionar el nivel de bilirrubina a través de un servidor y una aplicación web.

Selección de Software

c) Capa de servidor

En la capa de servidor se gestionaron todos los datos que provienen del microcontrolador (NodeMCU), aquí el nivel de bilirrubina se envió hacia una base de datos alojada en un servidor en la nube, a su vez también el servidor alojo a la aplicación web de gestión de datos del paciente. Existen varias plataformas IoT que permiten realizar este proceso de manera más simple como The Networks IoT, pero debido a que se diseñó el proyecto mediante tecnologías de desarrollo web, se necesitó de un servicio que englobe y sea compatible con las mayorías de tecnologías de desarrollo web. Se comparó algunas consolas o nubes que permiten este tipo de función a continuación se detalla las características más importantes de cada una.

Tabla 5: Comparación de los dos servicios en la nube

	Amazon Web Services	Google Cloud
Tipo de cobro	Base por hora de uso	Base por minuto de uso
Tiempo desde su lanzamiento	Lanzamiento hace 11 años	Lanzamiento hace 6 años
Tipo de contenedores	Docker y Kubernetes	Kubernetes
Costo	Tiene un costo elevado en la mayoría de sus servicios	Es mucho más económico frente a AWS
Servicios más importantes	Computación basada en la nube Compute Cloud, AWS Elastic	Compute Engine
Tipo de almacenamiento	Servicio simple de almacenamiento de Amazon (AWS S3)	Almacenamiento basado en la nube de Google
Máquinas virtuales	Bloques elásticos de Amazon	Discos físicos SDD
Respaldo de la información	Utiliza un servidor secundario para los respaldos	Viene incluido en el servicio
Encriptación de datos	Posee una encriptación básica	Tiene una encriptación total y muy segura
Zonas disponibles	Está disponible en 21 zonas diferentes del mundo	Disponibles en 20 regiones diferentes del mundo
Característica más importante	Nube pública y todos sus servicios basados en la nube	Herramientas de BigData
Desventaja más importante	Su implementación en proyectos web simples es complejo y muy largo	Componentes pequeños son complejos de arrancar
Compatibilidad con tecnologías de desarrollo	Es compatible con la mayoría de las tecnologías de desarrollo web	Su compatibilidad es total con todas las tecnologías de desarrollo web emergentes y antiguas

Elaborado por: La investigadora en base a: [39]

Se seleccionó Google Cloud por su compatibilidad con todas las tecnologías de desarrollo web, su bajo costo y la encriptación de información total. La información de los pacientes es importante por lo que un servicio que ofrezca un nivel de seguridad mayor debe ser siempre la mejor opción. El servidor Google Cloud proporcionó una dirección IP pública implementada en la programación con Arduino.

d) Capa de aplicaciones

En esta sección del proyecto se mostrarán todos los datos del paciente, así como también el valor tomado por el bilirrubinómetro. Será utilizada por el personal médico y debido a esto las tecnologías para el desarrollo web deben ser robustas escalables e interactivas para el usuario.

Tabla 6: Comparación entre framework más comunes en el desarrollo web

Framework	Angular	Laravel
Descripción y característica principal	Está basado en JavaScript y es utilizado para el desarrollo de aplicaciones que engloben el concepto SPA, que ayuda a tener una mejor eficiencia en el desarrollo de sistemas	Es un framework que utiliza PHP en todos sus componentes. Presenta una arquitectura que permite que el código desarrollado sea seguro y protegido
Arquitectura	Arquitectura basada en MVC (Modelo vista controlador)	Arquitectura basada en MVC (Modelo vista controlador)
Rendimiento	Posee un buen rendimiento en aplicaciones medianas	Posee un buen rendimiento en aplicaciones pequeñas
Estabilidad	Posee una estabilidad muy buena	Posee una estabilidad buena
Documentación para el desarrollo web	Tiene mucha documentación que facilita el desarrollo web	Posee un gran directorio de documentación para el desarrollo web
Complejidad en el desarrollo	Baja	Alta
Escalabilidad	Muy alta	Alta

Elaborado por: La investigadora en base a: Angular [25] ; Laravel [40].

Se seleccionó Angular debido a su escalabilidad, estabilidad y su amplia documentación para el desarrollo web. Como backend se seleccionó NodeJS que posee muchas librerías compatibles con Angular y finalmente se instaló un servidor LAMP para utilizar el sistema gestor de base de datos MySQL

Arquitectura y diagrama de bloques de la implementación

Una vez que se seleccionó el hardware y software para la implementación se diseñó el diagrama de bloques de la implementación. El diagrama de la figura 15 muestra todos los bloques del proyecto con sus respectivas tecnologías de implementación.

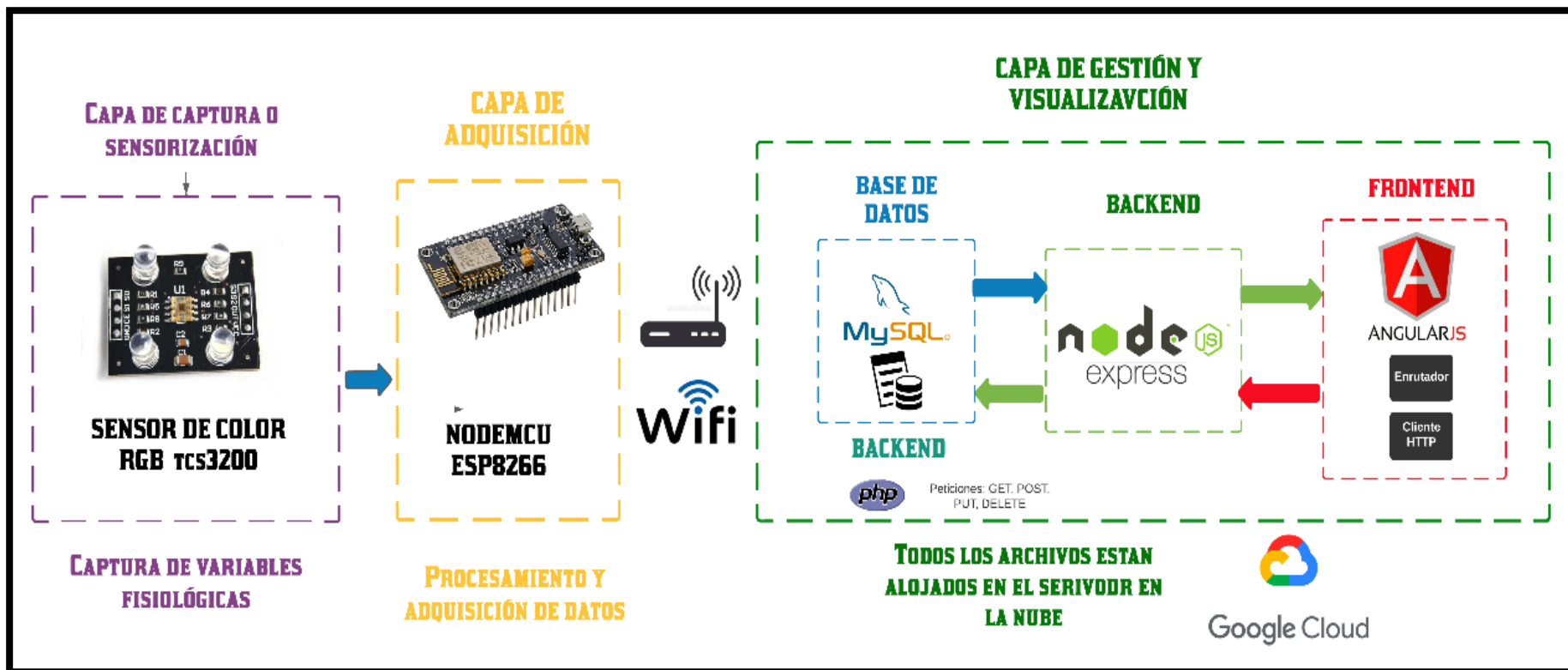


Figura 15: Arquitectura y diagrama de bloques.

Elaborado por: La investigadora

3.4. Desarrollo e implementación del sistema

En esta sección se detalla el diseño, desarrollo y programación de todas las partes y funciones que posee el bilirrubinómetro como lo son: parte electrónica, base de datos, gestión y desarrollo web.

3.4.1. Diseño de la etapa de sensorización.

Como ya se mencionó anteriormente se seleccionó el sensor de color TC3200, que es un sensor RGB y transmite sus datos por un bus digital de nivel TTL. A continuación, se irá describiendo fundamentos de esta forma de adquisición de colores, programación del sensor y sus conexiones.

El sensor de color TCS3200 tiene una salida de onda cuadrada del 50 % de duty cycle y varía según la intensidad de la luz, lo que en otros términos se traduce en que la frecuencia es directamente proporcional a la intensidad luminosa.

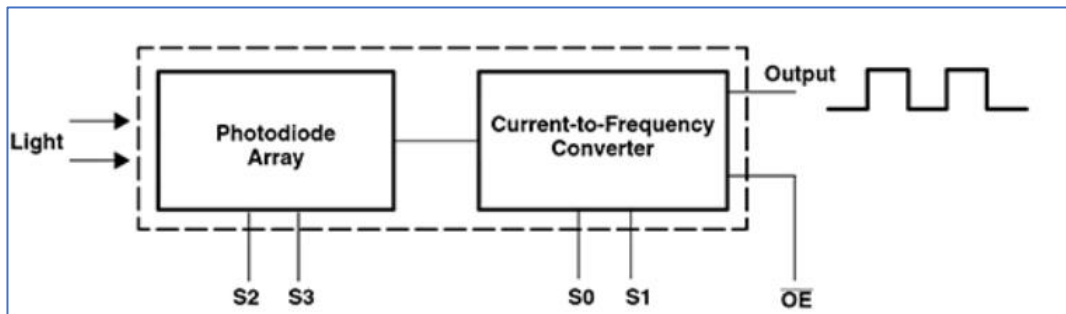


Figura 16: Duty cycle del sensor TCS3200 [41].

El sensor posee cuatro leds de luz blanca, que ayudan a minimizar el efecto de la iluminación del entorno. Posee 4 pines que son denominados s0, s1, s2, s3, s4 y están distribuidos de la siguiente forma:

Los pines s0 y s1 son utilizados para controlar la frecuencia de salida y la desactivación del módulo. Estos deben ir conectados a dos salidas digitales del microcontrolador que deben estar en 1 lógico de 5 V o 0 lógico de 0 V a 0,8 V. Cabe mencionar que la Nodemcu esp8266 tiene sus salidas digitales de 5 V en 1 lógico y 0 V a 0,4 V en 0 lógico por lo que no se necesitó de elementos electrónicos externos para las conexiones. Así se facilita la adquisición de medidas. En la tabla 6 se presenta el

funcionamiento de estos pines para diferentes niveles de duty cycle. La simbología utilizada es L para low y H para high.

Tabla 7: Funcionamiento de los pines según el nivel de duty cycle

	Power Down	2 %	20%	100 %
S0	L	L	H	H
S1	L	H	L	H

Elaborado por: La investigadora en base [41].

Los pines s2 y s3 seleccionan el color a medir. Se conectó estos pines digitales al microcontrolador. Los colores que se miden son el verde, rojo, azul y ausencia de color. Es fundamental este funcionamiento debido a que se deriva del código de colores RGB, que se puede observar en la figura 17. El color más oscuro en RGB es 0,0,0 y por ejemplo el amarillo que se utilizó frecuentemente asociado al nivel de bilirrubina posee un código de color RGB de (251,255,0). De aquí parte el principio para la adquisición del nivel de bilirrubina.

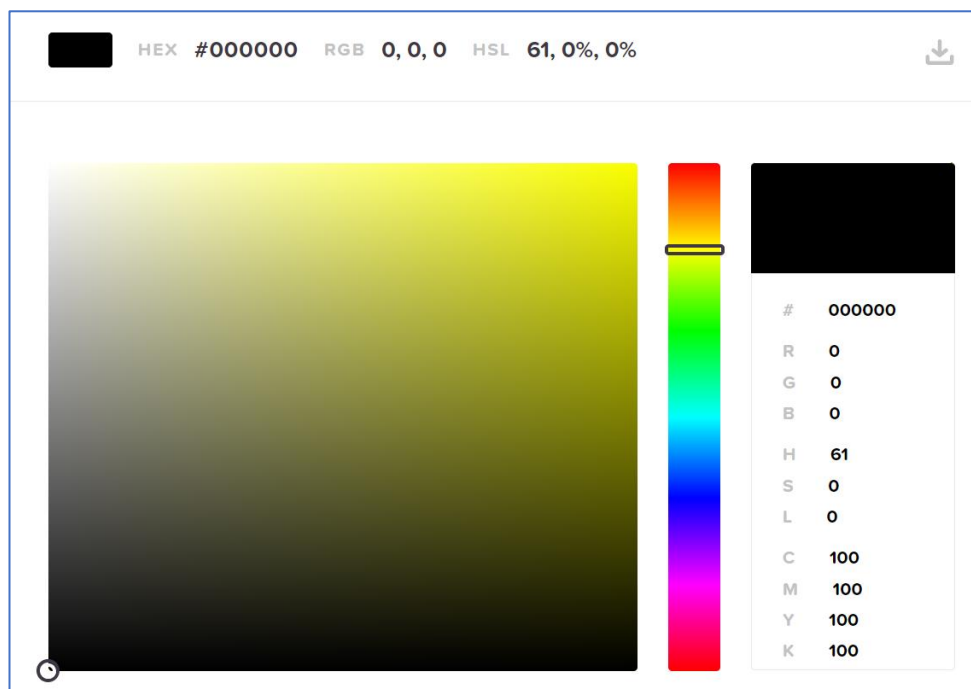


Figura 17: Diagrama de color en hexadecimal y RGB [42].

En la figura 18 se presenta la distribución de pines del sensor y en la 19 el diagrama de conexiones del sensor conectado a la NodeMCU.

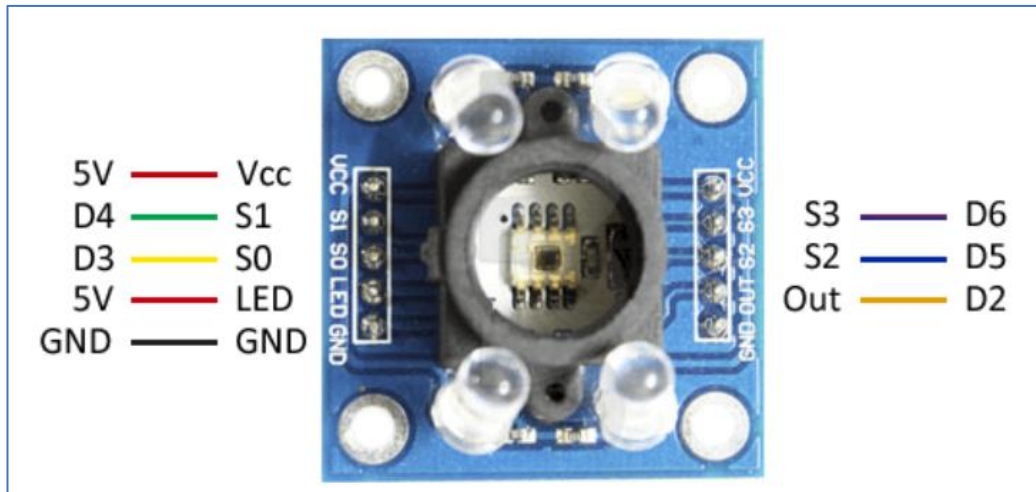


Figura 18: Diagrama de pines del sensor TCS3200 [41].

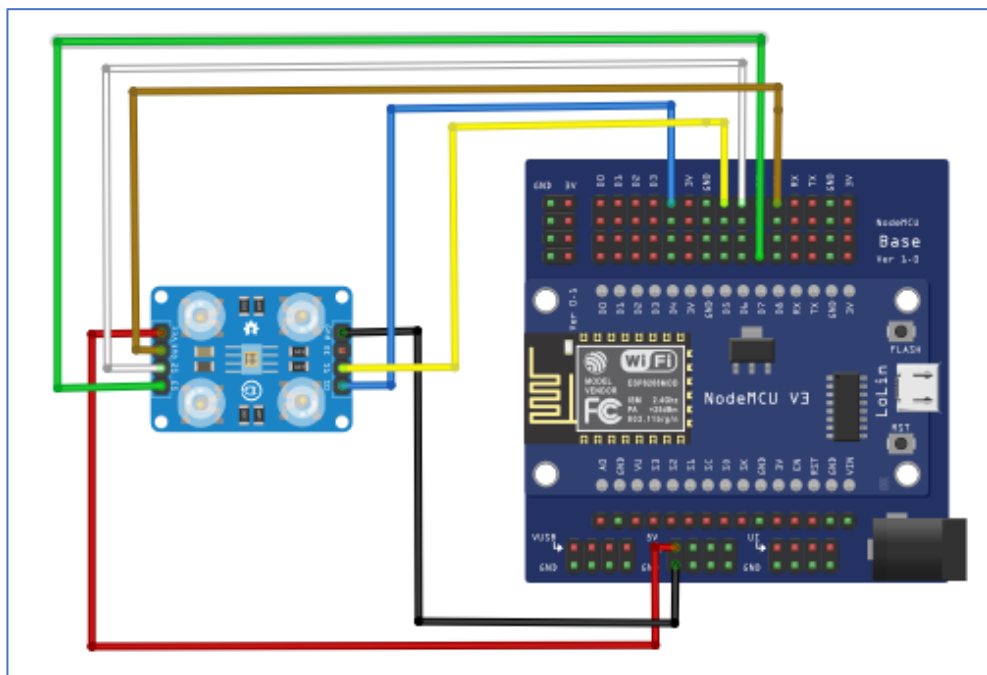


Figura 19: Conexión del sensor TCS3200 a la NodeMCU.

Elaborado por: La investigadora.

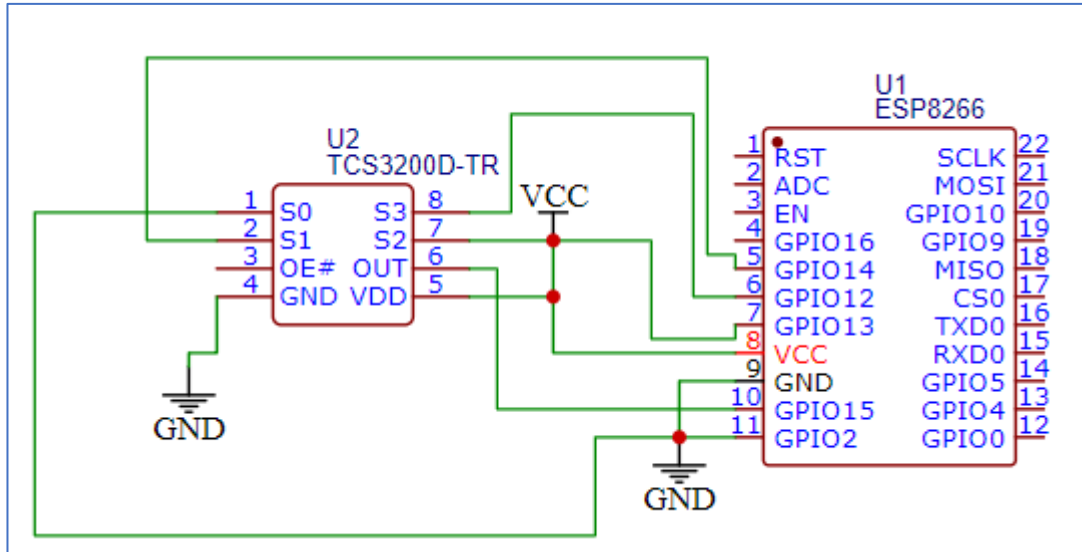


Figura 20: Diagrama esquemático de las conexiones del sensor y la NodeMCU.

Elaborado por: La investigadora.

Una vez conectado las salidas y entradas del sensor TCS3200 como se observa en la figura 20. Se realizó una prueba de funcionamiento con el monitor serial de Arduino. Se programa los pines s1 y s2 para que realicen una breve comparación entre los colores verde, rojo, y azul. Esta es la base de la programación del código final del dispositivo. Se realizó a través de condicionales como se muestra en la figura 21.

```

if (rojo < azul && verde > azul && rojo < 35)
{
  Serial.println("  Rojo");
}
else if (azul < rojo && azul < verde && verde < rojo)
{
  Serial.println("  Azul");
}

else if (rojo > verde && azul > verde )
{
  Serial.println("  Verde");
}

```

Figura 21: Código que permite la detección de colores verde, rojo y azul.

Elaborado por: La investigadora.

24	16	4	Azul
25	16	11	Azul
27	16	11	Azul
25	18	11	Azul
24	18	11	Azul
25	16	11	Azul
25	16	11	Azul
25	16	11	Azul
25	16	10	Azul
25	16	11	Azul

Figura 22: Prueba de detección de colores mostrada en el monitor serial de Arduino.

Elaborado por: La investigadora.

3.4.2. Diseño de la etapa de adquisición

Una vez explicado el funcionamiento del sensor y su forma de medir colores se procedió a diseñar la etapa de adquisición para medir el nivel de bilirrubina en la piel a continuación se irá explicando una serie de fragmentos de código y la ecuación que sirvió para la determinación del nivel de bilirrubina en base al color amarillo y azul.

Como ya se mencionó anteriormente el sensor se programa para que obtenga valores RGB que nos dan tres tipos de datos como por ejemplo el valor el color blanco que es el 255,255,255.

En la siguiente tabla se mostrará los niveles de amarillo en diferentes tonos RGB desde un amarillo oscuro hasta un amarillo casi tenue que son comunes en un paciente que presenta.


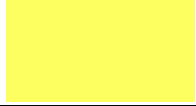

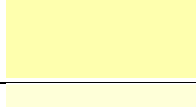


Descripción del color	R	G	B	Color
Amarillo más intenso	255	255	0	
Amarillo normal	255	255	96	
Amarillo medio	255	255	125	
Amarillo medio bajo	255	255	174	
Amarillo bajo	255	255	215	
Amarillo muy bajo	255	255	246	

Figura 23: Tonos de colores amarillo y sus valores en RGB.

Elaborado por: La investigadora.

Como se puede observar entre más claro sea el nivel de amarillo más alto es el nivel de azul; en el lado puesto el nivel de amarillo más intenso tiene un porcentaje 0, lo que se traduce de manera matemática que el nivel de amarillo es indirectamente proporcional al azul. De ahí parte el indicio para encontrar una ecuación que ayude a obtener el valor de bilirrubina en la piel en base a la degradación del amarillo. A continuación, se describen algunos conceptos y datos que ayudaron a la obtención de la ecuación.

Tonalidad de piel y colores RGB en humanos

En este análisis se utilizó un software online gratuito que es el Adobe Color CC que es una herramienta que obtiene el color RGB de una foto o captura que se suba al sistema de Adobe Color. Para ello se subieron imágenes de pacientes con un nivel de ictericia y pacientes neonatos sin esta esta morbilidad. A continuación, se detalla los resultados que obtuvieron con este proceso.

Caso 1

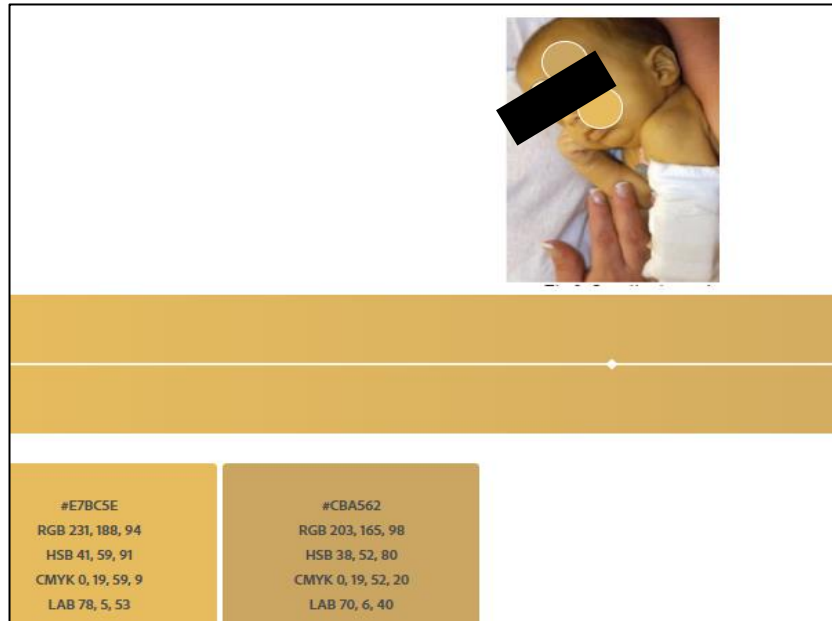


Figura 24:Primera foto analizada en el software para determinar el color en valores RGB.

Elaborado por: La investigadora.

La herramienta de adobe color proporciona dos puntos de comparación que pueden ser seleccionados por el usuario, en el primer caso se utilizó una foto de un neonato con ictericia donde los puntos de análisis se colocaron en su frente y mejillas. Se determinó que el segundo punto indica un valor en RGB de 203,165,98.

Segundo caso

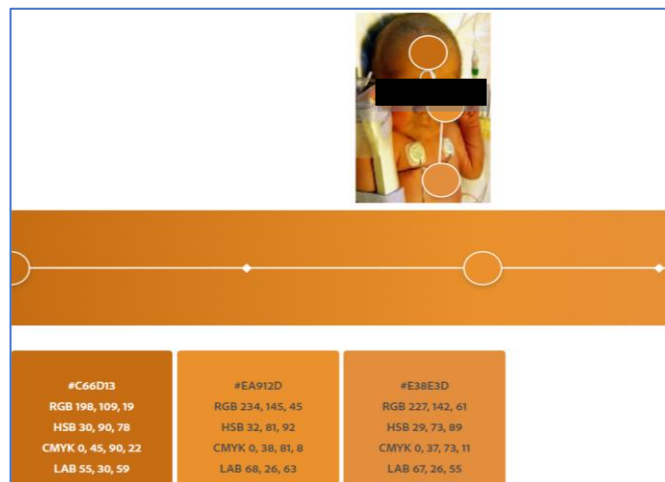


Figura 25: Segunda foto analizada en el software para determinar el color en valores RGB.

Elaborado por: La investigadora.

En la figura 25 se observa un paciente neonato con un nivel de ictericia elevado. Analizando su piel con la herramienta de Adobe da como resultado que el color azul está por debajo del valor de 20 y el valor RGB es de 198,109,69.

Tercer caso

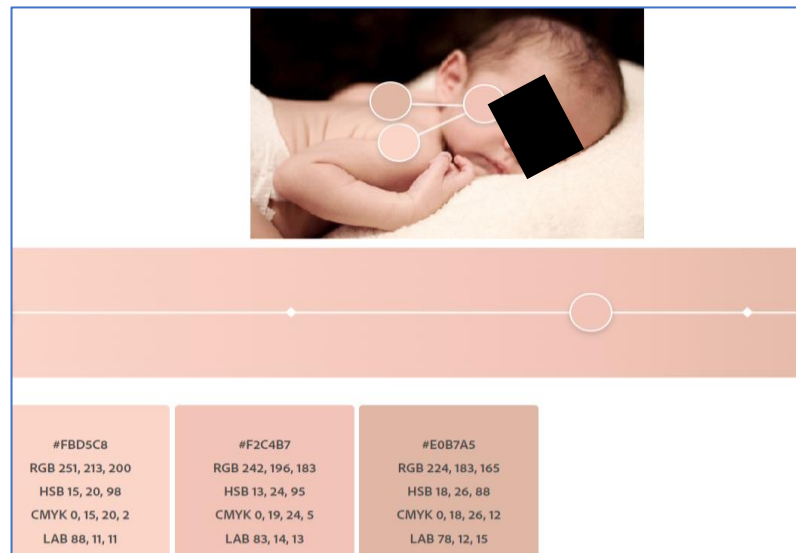


Figura 26: Tercera foto analizada en el software para para determinar el color en valores RGB.

Elaborado por: La investigadora.

En la figura 26 se muestra un paciente sin ictericia, su color de piel es normal para su rango de edad y tono de piel. Se puede observar que el nivel de azul va en aumento lo que justifica lo anteriormente comentado que entre más el color amarillo se acerque al blanco irá aumentando el nivel de color azul.

Análisis de resultados

Tabla 8: Datos de entrenamiento relacionados con el tono de color y el nivel de bilirrubina.

No.	Color	Nivel de bilirrubina en la sangre (mg/dl)
1		11
2		13
3		17
4		21

Elaborado por: La investigadora.

Obtención de la ecuación

El sensor TCS3200, en un inicio fue configurado para obtener diferentes tonalidades de colores negro, rojo y azul en muestras impresas en papel. Por ejemplo, para la calibración del color rojo, se puso en 255 el valor rojo más intenso y en 0 el color negro, se realiza el mismo proceso para el color azul. Una vez terminado este proceso se calcula el porcentaje de azul en RGB. Luego el valor del azul se guarda en una variable y se normaliza de 0 a 100. Se crea diversos tonos de entrenamiento con tonalidades de piel impresas en papel y se determina que valor de azul es obtenido en cada muestra.

Los valores de la tabla 8 fueron cargados en Matlab para normalizarlos ya que como se puede observar en la figura 27 estos datos nos son lineales. Una vez cargados los datos se procede a obtener una ecuación lineal a partir de una regresión lineal simple con comandos de Matlab.

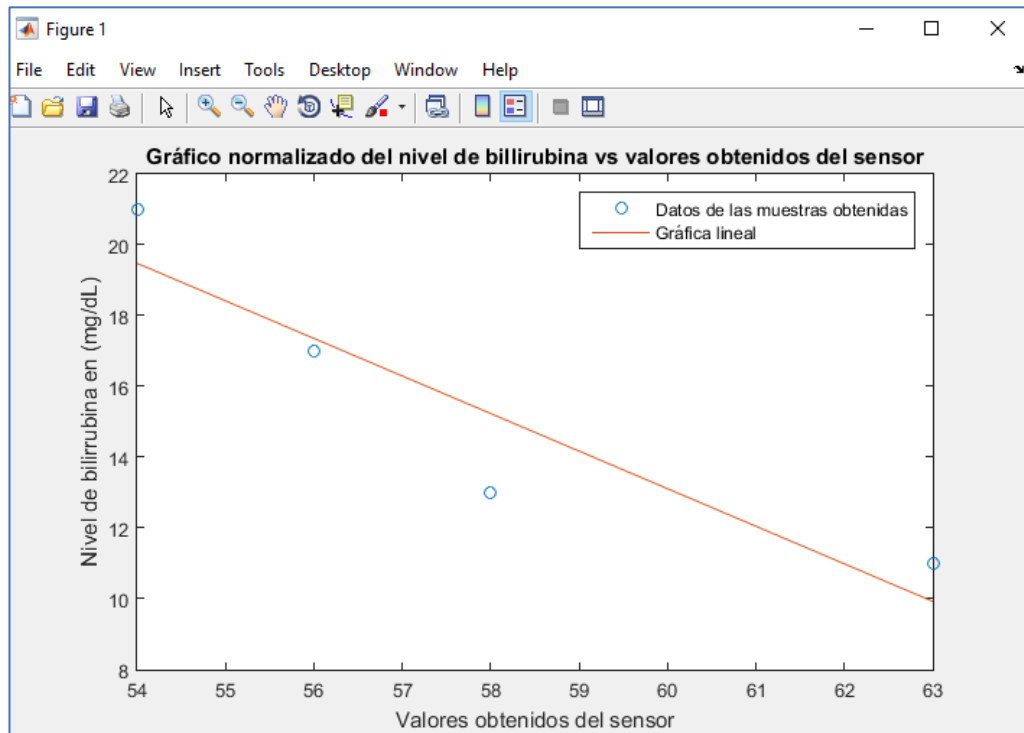


Figura 27:Gráfico normalizado del nivel de bilirrubina vs valores obtenidos del sensor.

Elaborado por: La investigadora.

Una vez que se genera el código de la regresión lineal simple, Matlab nos muestra dos valores que son correspondientes a los coeficientes de la ecuación lineal.

```

Ecuacion_final =
-2.3333  182.6666
    
```

Figura 28: Valores de la ecuación lineal obtenida por medio de MATLAB.
Elaborado por: La investigadora.

Los números representan los coeficientes de la ecuación lineal de orden 1 de un polinomio de la forma $p(x) = C1 * (x) + C2$, donde $C1=-2.33$ y $C2=182.666$; finalmente la ecuación (1) resultante queda de la siguiente forma.

$$y = -2.33x + 182.66 \quad (1)$$

Empleando la ecuación (1), el microcontrolador calculó el nivel de bilirrubina para un determinado tipo de piel, para el presente proyecto se utilizó la clasificación del tipo de piel según Fitzpatrick. La tabla 8 muestra los diferentes tipos de piel según la clasificación mencionada. Se empleó el proceso anterior para los diferentes tipos de piel hasta el nivel 4, debido a que entre más oscuros era más complejo determinar una ecuación lineal que obtenga el valor de la bilirrubina. En niveles como el 5 o el 6, los datos que el sensor obtuvo fueron inexactos.

Tabla 9: Clasificación de piel según la escala de Fitzpatrick

Tipo de piel	Características típicas
I	Piel blanca pálida; cabello rojo o rubio; ojos azules/verdes; pecas
II	Piel blanca; cabello rojo o rubio; ojos azules, color avellano o verdes
III	Blanco más oscuro; cualquier color de ojos o de cabello
IV	Piel de color marrón claro
V	Piel de color marrón
VI	Piel de color marrón oscuro o negro

Elaborado por: La investigadora en base a [43].

Posteriormente se utilizó el nivel de bilirrubina para determinar las etapas de ictericia. Estos niveles ayudan a dar un mejor diagnóstico y ordena de manera sistemática los

datos que el sensor obtiene. En la tabla 10 se muestra las etapas que se implementó en el proyecto.

Tabla 10: Etapas de ictericia en base al valor de la bilirrubina

Nivel de bilirrubina (mg/dl)	Etapas de la ictericia
Nivel de bilirrubina inferior a 4	Normal
Nivel de bilirrubina entre 4 y 10	Templado
Nivel de bilirrubina entre 10 y 20	Severo
Nivel de bilirrubina mayor a 20	Crítico

Elaborado por: La investigadora en base a [44].

Programación del código de detección del nivel de bilirrubina

En la programación se utilizó los 4 niveles de color de piel anteriormente descritos cada uno representado por una etapa de ictericia de la tabla 10. Para la selección de la etapa en la que se va a obtener el nivel de bilirrubina se utilizó un pulsador y se programó mediante condicionales empleando la ecuación anteriormente calculada.

En la figura 29 se muestra un fragmento de código donde se calcula el nivel de bilirrubina. La variable denominada (prblue) es el valor obtenido por el sensor y la variable “y” es la que representa el valor de la bilirrubina calculado.

```
if (estadol==1){
    variable=0;
    valorpiel=1;
    y=(-2.33333*prblue+182.6666);
```

Figura 29: Código para obtener el nivel de bilirrubina

Elaborado por: La investigadora

Para determinar las etapas de ictericia se utilizó condicionales que comparan los valores mostrados en la tabla 10, así se calcula automáticamente en qué etapa de ictericia se encuentra el paciente.

```

if (y<=4){
display.setTextSize(2,2);
display.setCursor(30, 50);
display.println("NORMAL");
}
if (4 < y && y<=10){
display.setTextSize(2,2);
display.setCursor(30, 50);
display.println("TEMPLADO");
}
if (10<y && y<=20){
display.setTextSize(2,2);
display.setCursor(30, 50);
display.println("SEVERO");
}
if (20<y){
display.setTextSize(2,2);
display.setCursor(30, 50);
display.println("CRITICO");
}

```

Figura 30: Código de las diferentes etapas de ictericia utilizadas en el bilirrubinómetro.

Elaborado por: La investigadora

Este mismo proceso se realizó para los diferentes tonos de piel donde se aumentó el valor que multiplica a la variable del color azul en base al proceso anterior para la obtención de la ecuación lineal.

```

if (estadol==2){
variable=0;
valorpiel=2;
y =-2.625*prblue + 199.875;
}

```

Figura 31: Ecuación utilizada para el segundo tono de piel

Elaborado por: La investigadora.

Finalmente, se realizó la lectura del filtro de color azul y luego se almacenó en la variable “prblue” como se muestra el fragmento de código de la figura 32. Donde mediante el pin s3 se lee el ciclo y frecuencia del color azul, posterior a ello se realiza un “map” entre los valores de 0-255 para la tabla RGB y finalmente se divide el valor para 100 poder obtener un valor más exacto.

```

// Filtro azul
digitalWrite (S2,LOW);
digitalWrite (S3,HIGH);
pulso3 = pulseIn(sensorOut, LOW);
pulso33=pulso3;

if(pulso3<minB) pulso3 = minB;
if(pulso3>maxB) pulso3 = maxB;

blue = map(pulso3, minB,maxB,255,0);
delay(100);
blue=blue*100;
prblue= (blue*100/255);
blue=blue/100;
prblue=prblue/100;
//prblue = map(blue, 255,0,100,0);

```

Figura 32: Código para obtener el valor para el color azul
Elaborado por: La investigadora

Diagrama de conexiones

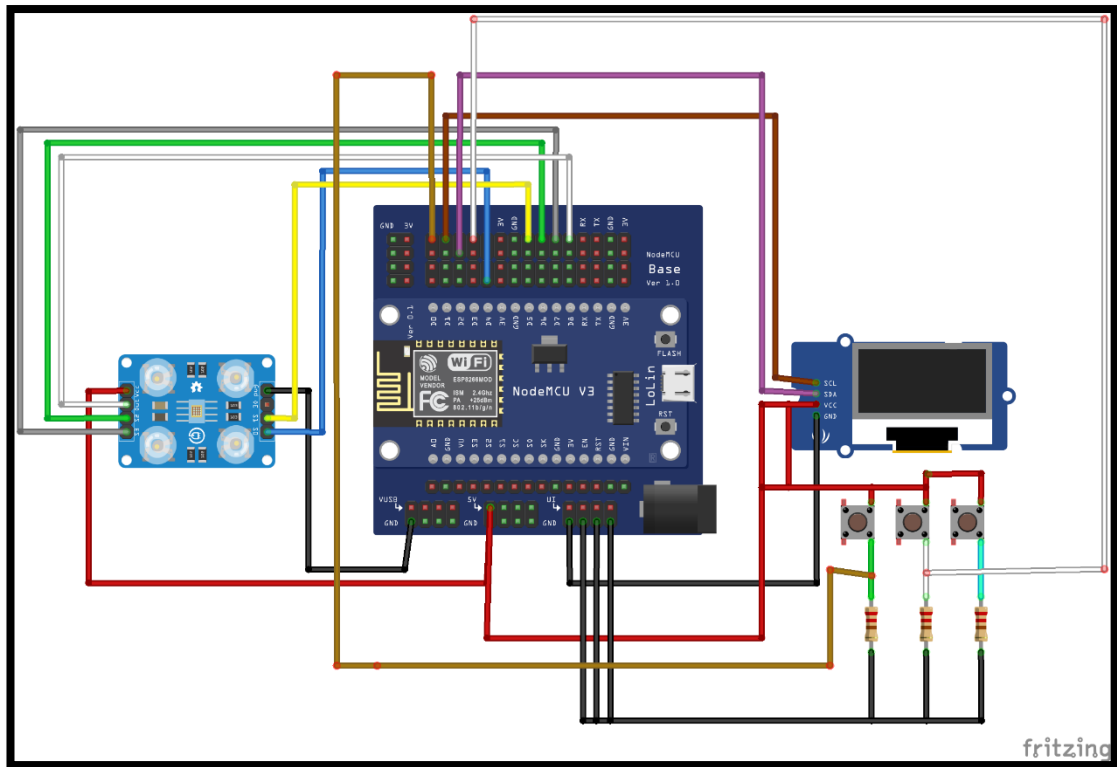


Figura 33: Diagrama final de conexiones del bilirrubinómetro.
Elaborado por: La investigadora

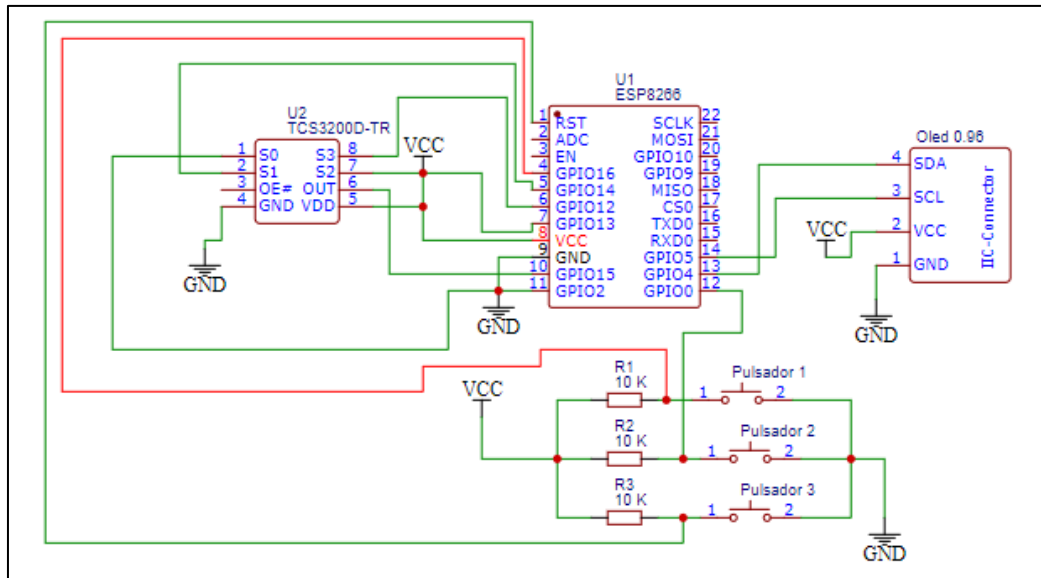


Figura 34: Diagrama esquemático del bilirubinómetro.
Elaborado por: La investigadora

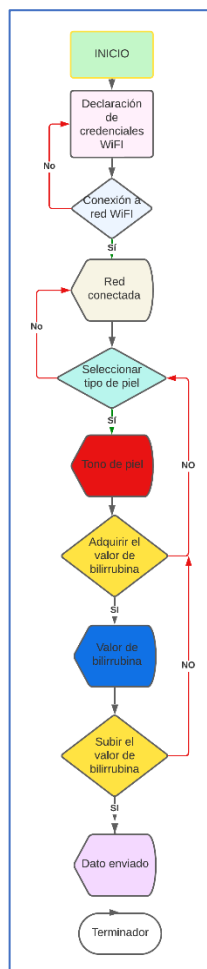


Figura 35: Diagrama de flujo del programa
Elaborado por: La investigadora

3.4.3 Diseño de la etapa de gestión

Una vez obtenido el valor de la bilirrubina mediante el proceso anterior se muestra en una pantalla OLED, pero para realizar una gestión del valor adquirido y guardarlo en una aplicación web, se utilizó una NodeMCU. Para que el dispositivo se conecte a una red WiFi y a un servidor se declara las credenciales de acceso a la red y la dirección IP proporcionada por el servidor de Google Cloud. En la figura 36 se muestra la IP pública utilizada.

```
const char *ssid = "ICTERICIA";  
const char *password = "12345678";  
const String SERVER_ADDRESS = "http://34.132.91.57";
```

Figura 36: Credenciales de acceso a la red WiFi y declaración de la IP pública.
Elaborado por: La investigadora

Para que no se esté modificando el código ni destapando el prototipo las credenciales mostradas en la figura 36 van a ser configuradas en el router o punto de acceso en el lugar de la implementación del dispositivo.

```
HTTPClient http;  
String full_url = SERVER_ADDRESS + "/subida.php?nivel=" + String (y);  
http.begin(full_url);
```

Figura 37: Envío del valor de bilirrubina hacia una base de datos.
Elaborado por: La investigadora

En la figura 37 se muestra el envío del nivel de bilirrubina hacia un archivo *.php que está localizado en el servidor. En este punto se presentó la necesidad de implementación de un servidor LAMP para que se pueda utilizar el lenguaje PHP. A continuación, se detalla el proceso en manera resumida de cómo el valor de la bilirrubina se envía a la base de datos en el servidor

En el servidor Google Cloud se creó una instancia con una máquina virtual con sistema operativo Linux. Una de las razones porque se seleccionó el SO (Sistema Operativo) Linux fue porque utiliza código libre y es compatible con las tecnologías de desarrollo web implementadas en este proyecto, también por su robustez y simplicidad a la hora de gestionar una base de datos MySQL

<input type="checkbox"/>	Estado	Nombre ↑	Zona	Recomendaciones	En uso por	IP interna	IP externa
<input type="checkbox"/>	✓	tesis1	us-central1-c			10.128.0.2 (nic0)	35.223.21.222 (nic0)

Figura 38: Instancia creada y gestionada en la plataforma Google Cloud.

Elaborado por: La investigadora

Para acceder a la instancia virtual una de las ventajas de utilizar Google Cloud es que permite utilizar un servicio SSH que facilita la programación y gestión del servidor.

```

https://ssh.cloud.google.com/v2/ssh/projects/decisive-circle-371101/zones/us-central1-c/instances/tesis1?authuser=0&hl=es_419&projec...
ssh.cloud.google.com/v2/ssh/projects/decisive-circle-371101/zones/us-central1-c/instances/tesis1?authuser=0&hl=es_419&projectNum...
SSH en el navegador
SUBIR ARCHIVO
DESCARGAR ARCHIVO
Linux tesis1 5.10.0-21-cloud-amd64 #1 SMP Debian 5.10.162-1 (2023-01-21) x86_64
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sat Feb 11 08:27:08 2023 from 35.235.245.129
kvelasco7812@tesis1:~$

```

Figura 39: Sistema operativo Linux utilizado a través de una interfaz SSH.

Elaborado por: La investigadora

En la figura 40 se puede observar el archivo que sirve para subir los datos desde la NodeMCU su nombre es “subida.php” y se alojó en la raíz del servidor LAMP.

```

kvelasco7812@tesis1:/var/www/html$ ls
angular-tour-of-heroes  karma  phpMyAdmin-4.9.7-all-languages.tar.gz  subida.php
index.html             phpMyAdmin  phpMyAdmin-4.9.7-all-languages.tar.gz.1

```

Figura 40: Raíz del servidor LAMP y localización del archivo de “subida.php”

Elaborado por: La investigadora

El archivo denominado “subida.php” posee tres partes fundamentales que son: la conexión con la base datos, el valor de la bilirrubina que viene desde la NodeMCU representa con la variable \$nivel que se obtiene mediante un método GET y la inserción del valor en la base de datos mediante código SQL. En la figura 41 se puede observar el fragmento de código en lenguaje *php para enviar el dato a MySQL.

```

<?php
$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "123";
$dbname = "consultoriofisiotrauma";

// Create connection
$conn = mysqli_connect($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if (!$conn) {
    die("Connection failed: " . mysqli_connect_error());
}
$nivel=$_GET["nivel"];
$a=$nivel;
if ($a < 5) {
    $descripcion="normal";
}elseif($a >=5 and $a <11){
    $descripcion="leve";}
elseif($a >=11 and $a <19){
    $descripcion="severo";}
else {
    $descripcion="critico";
}

//$descripcion= "grav<<e";
//$idSubGrupo=1;
$sql = "INSERT INTO a (clave,descripcion,idSubGrupo) VALUES ('$nivel','$descripcion','1')";

```

Figura 41: Código del archivo de subida de datos desde la NodeMCU.
Elaborado por: La investigadora.

En la figura 42 se puede observar el valor adquirido de bilirrubina a través de la aplicación PhpMyAdmin, que corresponde a 19,80 que se encuentra en etapa crítica.

<input type="checkbox"/>	 Editar	 Copiar	 Borrar	7	19.80	critico	2023-02-11 09:31:15	1
--------------------------	--	--	--	---	-------	---------	---------------------	---

Figura 42: Valor almacenado en la base de datos.
Elaborado por: La investigadora.

3.4.5 Diseño de la etapa de aplicaciones

En esta etapa se desarrolló una aplicación web de gestión clínica e historia médica mediante el framework Angular para el frontend y NodeJS para el servidor. Todo el proyecto se alojó en la raíz del servidor LAMP para que todo sea gestionado en la misma plataforma de Google Cloud, a continuación, se irá explicando las partes más importantes del desarrollo de la aplicación.

Estructura del proyecto

En el desarrollo del proyecto se utilizó el sistema operativo con base Linux, con una arquitectura x86-64, memoria RAM de 2GB, y un tamaño de disco de almacenamiento de 10 Gb. Todo se programó mediante el software Visual Code Studio en Windows y para subir los archivos al servidor se utilizó un servidor FTP por medio del software FileZilla.

En la estructura se utilizó MySQL como gestor de base de datos, ya instalando en el paquete de pila del servidor LAMP.

Instalación del servidor con NodeJS

Se procedió a instalar NodeJS en el servidor Linux como se muestra en la figura 43, luego se crea un proyecto. NodeJS escucha por el puerto 3000.

```
$ sudo apt install nodejs
```

Figura 43: Instalación de NodeJS en el servidor Linux.
Elaborado por: La investigadora.

En la figura 44 se muestra un fragmento del código donde se visualiza el puerto 3000 que sirve para inicializar el servidor, además se muestra las rutas utilizadas en toda la aplicación.

```
const express = require('express');
const port = (process.env.PORT || 3000);
const cors = require('cors');
const path = require('path');

//Inicializacion
const app = express();

app.use(cors());

//Rutas de las imagenes
app.use(express.static(path.join(__dirname, 'images')));

//Settings
app.set('port', port);

//middlewares
app.use(express.urlencoded({ extended: false }));
app.use(express.json());

//Routes
app.use(require('./routes/pacientes.route'));
app.use(require('./routes/personas.route'));
app.use(require('./routes/sexo.route'));
app.use(require('./routes/tiposangre.route'));
app.use(require('./routes/citas.route'));
app.use(require('./routes/historiaclinica.route'));
app.use(require('./routes/diagnosticoscie10.route'));
app.use(require('./routes/medicamentos.route'));
app.use(require('./routes/documentos.route'));
```

Figura 44: Fragmento de código para gestionar un servidor con NodeJS y la librería Express.

Elaborado por: La investigadora.

Conexión del servidor a MySQL

Para que toda la aplicación web funcione debe estar conectada a una base de datos en la figura 45 se muestra el fragmento de código que cumple este propósito.

```
"mysql": {  
  "host": "localhost",  
  "port": "3306",  
  "user": "uno",  
  "pass": "123",  
  "database": "tesis_karla"  
}
```

Figura 45: Código que permite la conexión a la base de datos.

Elaborado por: La investigadora.

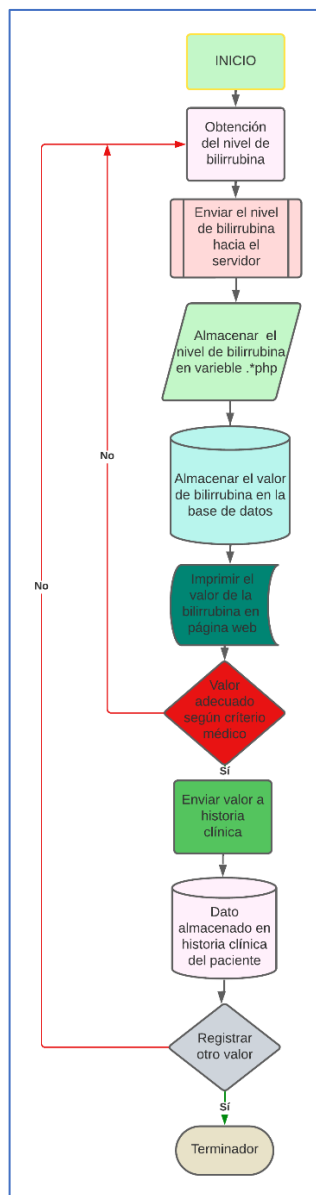


Figura 46: Código para gestionar el proceso de envío del nivel de bilirrubina hacia la página web.

Elaborado por: La investigadora.

Diseño y creación de la aplicación web

Página de acceso

La página principal de la aplicación web es similar a la mayoría de las páginas de Login. Posee campos para el ingreso de usuario y contraseña además de un enlace para restaurar la contraseña. La página no permite la creación de usuarios todos los usuarios son creados directamente por el administrador del sistema



La imagen muestra una interfaz de usuario para el inicio de sesión. En la parte superior izquierda hay un logo de un pájaro azul. A la derecha, el título "Bienvenido" está en azul, con el subtítulo "Inicie sesión" debajo. El formulario contiene dos campos de entrada: "Usuario" con el placeholder "Ingresar usuario" y "Contraseña" con el placeholder "Ingresar contraseña". Debajo de estos campos hay un botón azul que dice "Iniciar sesión". En la parte inferior del formulario, hay un enlace azul que dice "¿Olvidó su contraseña?".

Figura 47: Página principal de la aplicación web.

Elaborado por: La investigadora.

Para cada usuario se realiza una comprobación mediante código SQL, si el usuario existe se procede a generar un Token de Seguridad que permite al usuario iniciar sesión. La contraseña y el usuario están almacenados en la base de datos de forma encriptada por lo que nadie puede ver las credenciales de acceso. En la figura 48 se muestra la petición SQL a la base de datos que devuelve la verificación de usuario.

```
if (connection) {
  let sql = `SELECT u.id_usuario, p.email_persona, r.nombre_rol, u.clave_usuario
  FROM usuario u
  INNER JOIN rol r on u.id_rol_pertenece = r.id_rol
  INNER JOIN persona p on u.id_persona_pertenece = p.id_persona
  WHERE p.email_persona = ?
  AND u.estado_usuario = 'ACTIVO'`;
```

Figura 48: Petición SQL para comprobar si el usuario existe en la base de datos.

Elaborado por: La investigadora.

Redireccionamiento a la página principal

Cuando un usuario ingresa satisfactoriamente al sistema se crea un método “SesionGuard” que ayuda a redireccionar hacia todas las páginas del sistema asignadas para ese usuario en específico. Por ejemplo, si un médico ingresa al sistema el método “SesionGuard” lo redirigirá hacia sus pacientes y su interfaz sin interferir con los datos de otros médicos.

```
const routes: Routes = [
  {
    path: '',
    children: [
      { path: 'forgot', component: ForgotComponent, canActivate: [SesionGuard]},
      { path: 'login', component: LoginComponent, canActivate: [SesionGuard]},
      { path: 'restablecer-clave/:token', component: RestablecerClaveComponent},
      { path: '**', redirectTo: 'login' },
    ]
  }
];
```

Figura 49: Rutas que redirigen a las páginas principales de cada usuario.

Elaborado por: La investigadora.

Diseño interfaz página principal

Todos los elementos de la página web como gráficos, datos y campos fueron programados con código TypeScript que permite la reutilización del código. Esta característica permite distribuir adecuadamente el código y reducir el tiempo que se invierte en la programación. En la figura 50 se muestra un pequeño fragmento de código donde se muestra la reutilización de contenido y submenús izquierdos.

```
<!-- ===== -->
<!-- fin izquierda sidebar -->
<!-- ===== -->
<!-- contenido -->
<!-- ===== -->
<div class="dashboard-wrapper">
  <router-outlet></router-outlet>
</div>
```

Figura 50: Código en TS(TypeScript) que permite la reutilización de códigos para contenidos y submenús.

Elaborado por: La investigadora.

Una vez que se programa el frontend con varias secciones de código en TS, el navegador interpreta el contenido y permite al usuario observar una interfaz adecuada y ordenada como se muestra en la figura 51

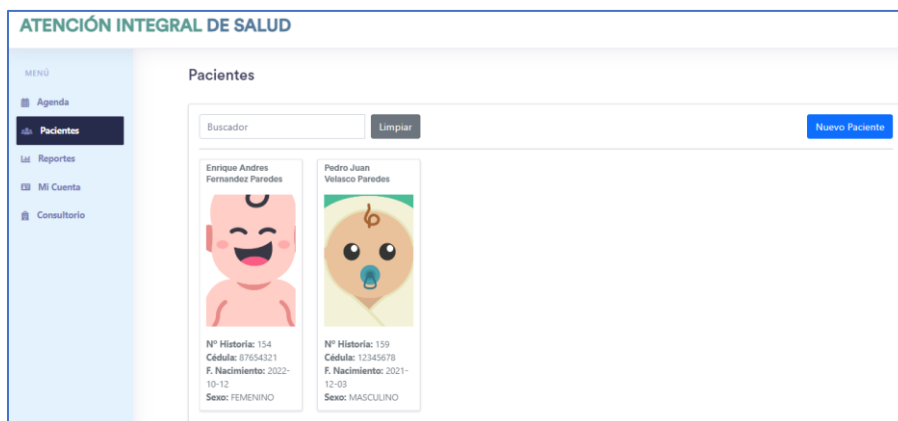


Figura 51: Interfaz principal para un médico autorizado con especialidad de pediatría o geriatría.

Elaborado por: La investigadora.

Creación de usuarios por al administrador

El administrador del sistema puede crear usuarios, editar y eliminarlos. En esta sección se puede crear un usuario por ejemplo que tenga una especialidad en pediatría o sea geriatría el cual podrá realizar consultas médicas y gestionar todo lo relacionado al paciente. En la figura 52 se muestra la interfaz de creación de usuario.

Figura 52: Creación de un usuario que es del personal de la salud de apoyo autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

Gestión de pacientes

Esta sección de la página web es administrada y gestionada por los profesionales de la salud autorizados, aquí se puede crear, editar y eliminar una historia clínica de un paciente. También se puede guardar el valor obtenido de bilirrubina de los pacientes. Se desarrolló el código en forma agrupada conocida como CRUD (Create, Read, Update, Delete).

Para realizar el diseño web de una historia clínica primero se analizó los criterios médicos que rigen en el Ecuador para la correcta gestión de documentación médica.

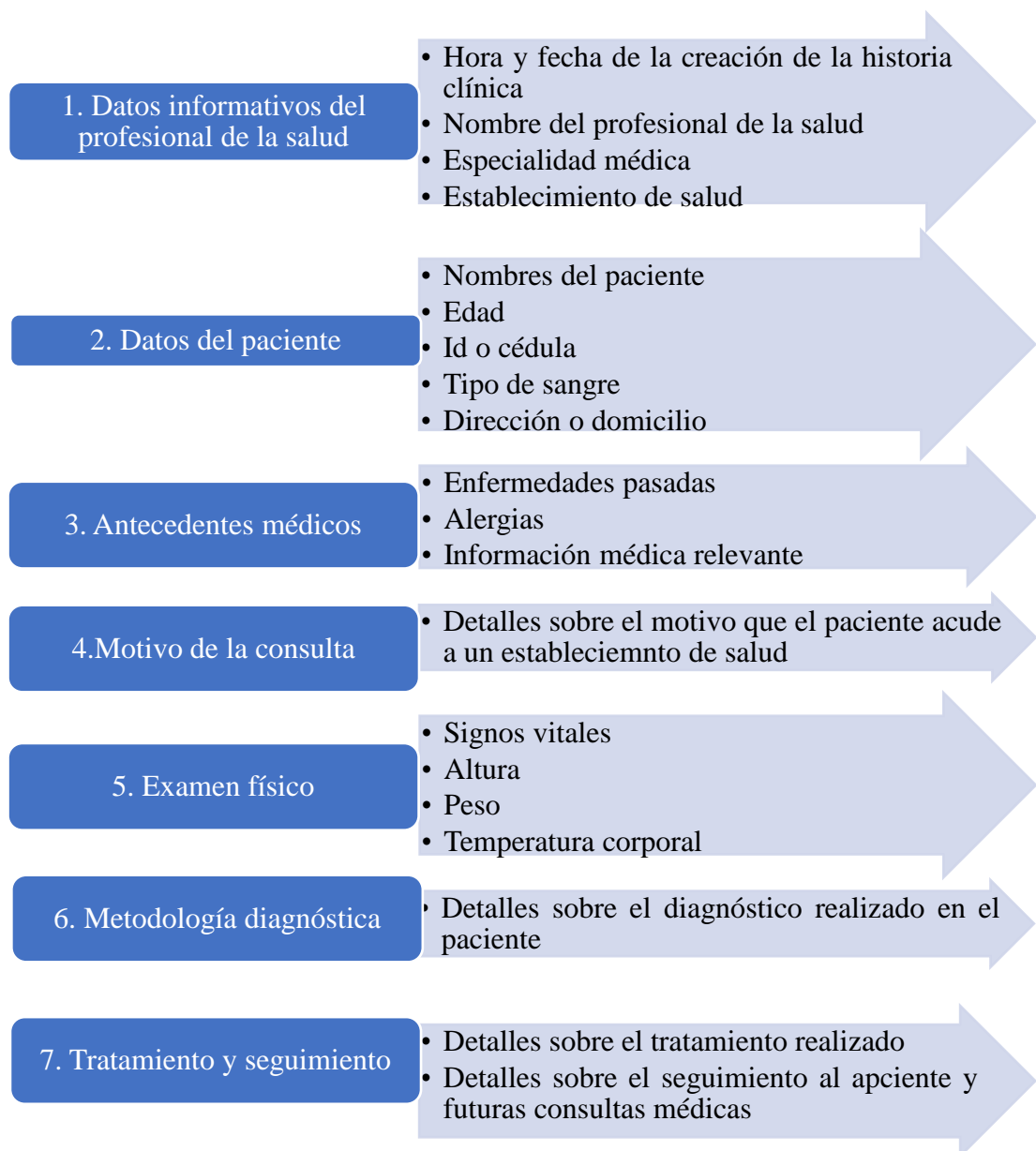


Figura 53: Guía para la correcta creación de una historia clínica.

Elabora por: La investigadora en base a [45].

En la figura 54 se detalla el diagrama de flujo del proceso que se utilizó para la correcta gestión de la historia clínica e información de los pacientes.

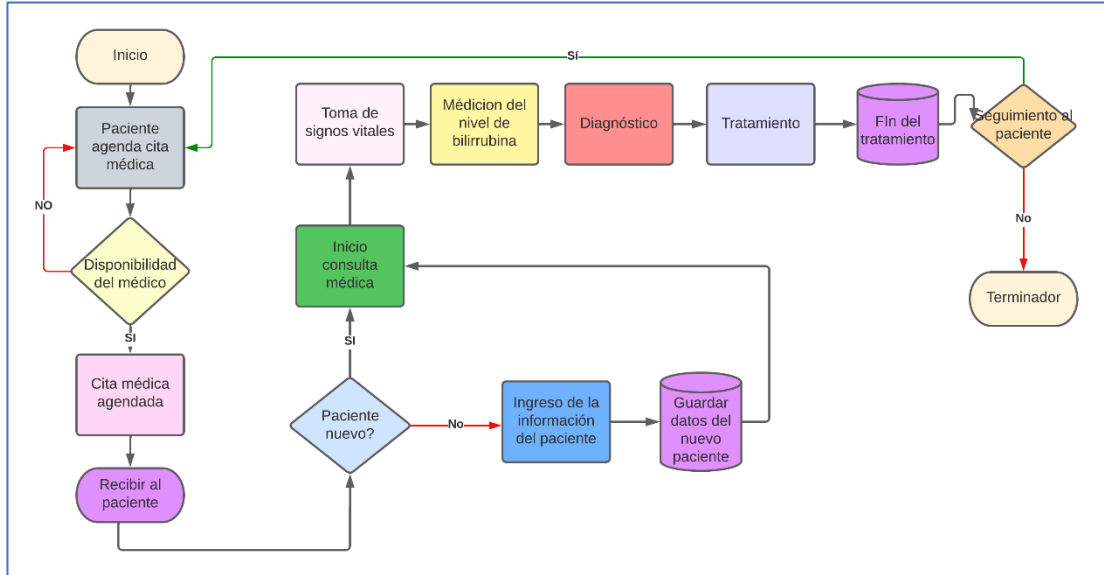


Figura 54: Diagrama de flujo de gestión de la información clínica de un paciente
Elabora por: La investigadora

Creación de una historia clínica

El profesional de la salud ingresa los signos vitales del paciente en los campos respectivos, así como también toda la información relevante para la consulta médica.

En la figura 54 se muestra la interfaz en donde se ingresa los signos vitales del paciente

Información consulta

Motivo consulta
Consulta prueba

Enfermedad actual
Dolor de espalda

Examen Físico

Presión Arterial (TA)	4	mmHg
Frecuencia Cardíaca (FC)	3	bpm
Frecuencia Respiratoria (FR)	4	r/m
Temperatura (T°)	5	C
Peso	40	kg
Altura	2	m
IMC	10.00	kg/m ²

Exploración física
Exploración física

Terminar consulta

Consulta
Diagnóstico y Tratamiento
Documentos

Figura 55: Interfaz para el ingreso de los signos vitales de un paciente.

Elaborado por: La investigadora.

En el desarrollo de la programación para poder visualizar y gestionar la información clínica de un paciente, Angular permite la utilización de componentes que retornan cualquier función que se realiza en la página como, por ejemplo: crear, borrar, editar o actualizar una historia clínica o un nuevo paciente. En la figura 56 se puede observar un fragmento de código que permite realizar lo mencionado con anterioridad a través de métodos Get y Put.

```
getObtenerListaHistoriaClinicaPorIdHistoria(id: number){
  return this.http.get(`${environment.url}/api/historiaclinica/${id}/historia`);
}

getObtenerListaHistoriaClinicaPorIdPaciente(id: number){
  return this.http.get(`${environment.url}/api/historiaclinica/${id}/paciente`);
}

postCrearHistoriaclinica(historiaClinica: HistoriaClinica, tipo: string){
  return this.http.post<HistoriaClinica>(`${environment.url}/api/historiaclinica/${tipo}`, historiaClinica);
}

putActualizarHistoriaclinica(historiaClinica: HistoriaClinica){
  return this.http.put<HistoriaClinica>(`${environment.url}/api/historiaclinica`, historiaClinica);
}

putActualizarHistoriaClinicaSimple(historia: any){
  return this.http.put<any>(`${environment.url}/api/historiaclinica/${historia.tipo}`, historia);
}

deleteEliminarHistoriaClinica(id: number)
{
  return this.http.delete(`${environment.url}/api/historiaclinica/${id}`)
}
```

Figura 56: Fragmento de código en Angular que permite editar, crear, borrar y actualizar la historia clínica de un paciente

Elaborado por: La investigadora.

3.3. Diseño del prototipo

Visualización

En el diseño del prototipo se realizaron varios bosquejos de como quedaría finalmente el dispositivo que va a medir la bilirrubina. Para que cumpla unos de los requerimientos más importantes que es el de su tamaño se seleccionó para la visualización una pantalla Oled de 128x64 con conexión I2C que representa de mejor manera varios caracteres a diferencia de una pantalla lcd de 16x2.

Una pantalla Oled posee una comunicación I2C con el microcontrolador, sus características más importantes se presentan en la tabla 11.

Tabla 11: Características de la pantalla oled 128*64

Características	Rangos
Voltaje de operación	3,3 V a 5 V
Consumo de corriente	10 mA
Comunicación	I2C
Dimensiones	10*20
Pulgadas	0,96

Elaborado por: La investigadora.

Alimentación y características eléctricas

Para la alimentación del dispositivo se presentó una incógnita muy grande que fue la alimentación, debido a que la mayoría de las baterías Lipo para proyectos de bajo consumo son de 3,7 V y la NodeMCU se alimenta con un voltaje superior a 6 V. Para solucionar este inconveniente se utilizó un módulo Step Up que aumenta el voltaje de ingreso a un voltaje deseado mediante un potenciómetro.



Figura 57: Módulo step up Elevador de voltaje

Elaborado por: La investigadora.

El módulo Step Up permitió subir el voltaje de alimentación a 6 V. Este voltaje es definido por el fabricante de la Nodemcu, cuando se necesita que sea alimentada por una fuente externa y funcione sin ningún percance.

Carga

Para la carga de todo el dispositivo se utilizó un módulo de carga de baterías Lipo de 1000 mA a 5 V con un conector tipo USB min. Es ideal para este tipo de proyectos en donde no se consume mucha energía. El módulo TP4056 se seleccionó para cargar la

batería Lipo debido a que presenta un diseño muy reducido de su placa además permite cargar hasta baterías de 1000 mA a 5 V en su entrada.

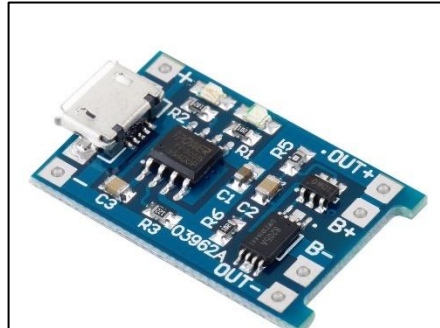


Figura 58: Módulo TP4056.

Elaborado por: La investigadora.

Cálculos de consumo de corriente del proyecto

Para realizar una correcta selección del consumo de corriente que debe suministrar la Lipo se realizó una tabla en donde se detalla el consumo en miliamperios de los dispositivos que fueron utilizados en el proyecto.

Tabla 12: Consumo en amperios de los elementos electrónicos del nodo sensor.

Elemento	Consumo en miliamperios
NodeMCU	75
Sensor TCS3000	15
Pantalla Oled	20
Módulos electrónicos (Step up, TP4056)	20
Elementos electrónicos pasivos(resistencias)	3
Total	133

Elaborado por: La investigadora.

Sumando todos los valores de la tabla se obtuvo un total de 133 mA, cabe recalcar que el consumo de la NodeMCU es cuando está conectada a una red WiFi y está transmitiendo datos.

Tiempo de autonomía

Para calcular el tiempo de autonomía que tendrá el proyecto se realizó algunos cálculos con ayuda de la ecuación (2) para el cálculo de potencia para una batería de 500 mAh un consumo total de 133 mA. y un voltaje suministrado por la Lipo de 3,7 V tenemos:

$$Wb = Vb * Ib \quad (2)$$

Donde:

Vb= Voltaje de la batería

Ib= intensidad de la batería

Wb= potencia de la batería

$$Wb = 3,7 V * 500 mAh$$

$$Wb = 1850 Wh$$

$$Wc = Vb * Ic \quad (3)$$

Donde:

Vb= Voltaje de la batería

Ic= Corriente consumida

Wc= potencia consumida

Ahora se divide los dos resultados con la ecuación (3)

$$Wc = 3,7 V * 133 mA$$

$$Wc = 492,1 W$$

$$Ta = \frac{Wb}{Wc} \quad (4)$$

Donde:

Ta = Tiempo de autonomía de la batería

Dividimos los resultados obtenidos con la ecuación (2) y la ecuación (3).

$$Ta = \frac{1850 Wh}{492,1 W} = 3,75 h$$

Lo que significa que el dispositivo conectado al WiFi y tomando una medición puede durar aproximadamente 3 horas, para el cálculo de los minutos se divide 0,75*60; dando como resultado 45 minutos. En total la batería dura 3 horas 45 minutos.



Figura 59: Batería Lipo de 500 mAh.

Elaborado por: La investigadora.

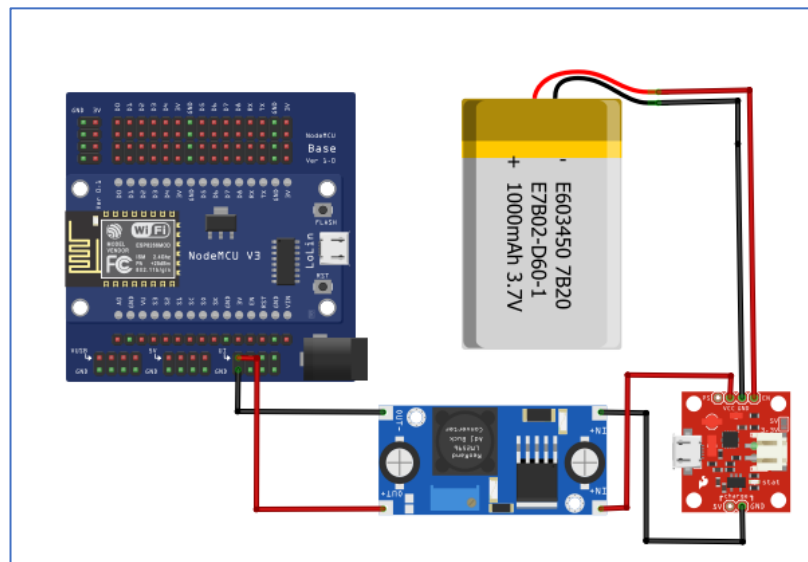


Figura 60: Diagrama completo de a la alimentación del bilirrubinómetro.

Elaborado por: La investigadora.

Una vez que se definió todos los dispositivos electrónicos utilizados en el proyecto se procede a diseñar el modelo que será impreso en 3D, para ello se empleó el software SolidWorks. En la figura 63 se muestra el modelado final que tuvo el dispositivo. Las dimensiones del dispositivo son: alto = 132 mm x ancho = 50 mm x largo=118mm.

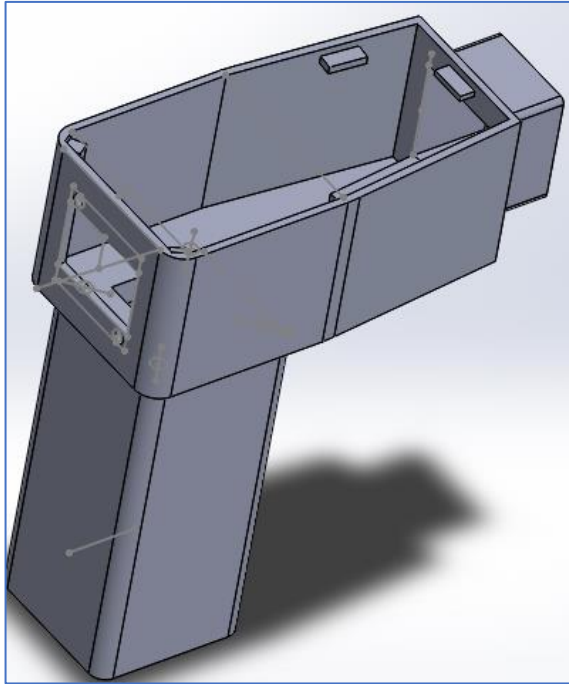


Figura 61: Modelado en 3D mediante el software SolidWorks con dimensiones: alto = 132 mm x ancho = 50 mm x largo=118mm

Elaborado por: La investigadora.

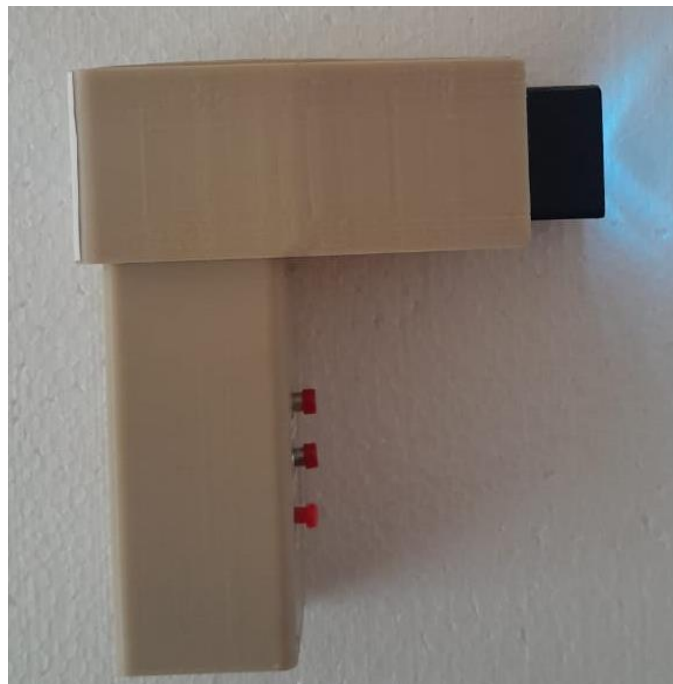


Figura 62: Dispositivo final elaborado mediante una impresora en 3D.

Elaborado por: La investigadora.

3.5 Resultados

Para la realización de las pruebas del dispositivo primero se evaluó su funcionalidad en 3 diferentes pruebas que son: prueba del dispositivo, prueba de conexión al servidor y pruebas de aceptación de la página web. Estas pruebas fueron desarrolladas en base a datos electrónicos y documentos médicos.

3.5.1. Pruebas del dispositivo

Se realizaron varias tomas del nivel de bilirrubina en diferentes pacientes con ayuda de un profesional de la salud, el objetivo fue tomar varias muestras para evidenciar si el rango de medición que se estableció en el diseño del dispositivo funciona adecuadamente, a su vez también se evaluó el algoritmo de detección de bilirrubina, cabe recalcar que son muestras aleatorias sin ningún resultado médico objetivo.

Las siguientes pruebas son en pacientes sanos con el fin de determinar si el dispositivo toma una medición que esté dentro del rango normal, si fuera el caso que el bilirrubinómetro obtuviera un rango fuera de lo normal según el criterio médico se hubiese realizado una nueva calibración del dispositivo. A continuación, se observan algunas de las pruebas realizadas.

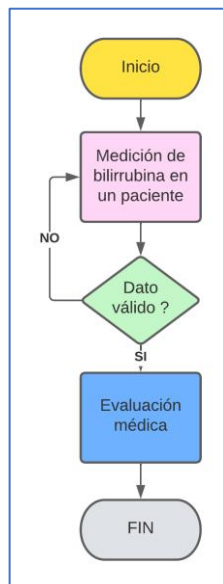


Figura 63: Diagrama de flujo del proceso de toma de muestras en diferentes personas.

Elaborado por: La investigadora.

Muestra 1

Se procedió a tomar el nivel de bilirrubina en el rostro de una persona de la tercera edad con un tono de piel oscuro y se obtuvo un valor en un rango normal, el criterio del médico mediante el método de observación afirmó que el paciente no padecía de bilirrubina.



Figura 64: Toma de muestra 1 para revisar el funcionamiento del dispositivo.

Elaborado por: La investigadora.

Muestra 2

En esta prueba se realizó en un neonato en un centro de salud, de igual manera que la anterior prueba el médico evaluó con la ayuda de una médico pediatría y el mediante la observación evaluó que el neonato presenta una ligera tonalidad amarillenta. El valor obtenido con el bilirrubinómetro fue en el rango de templado.



Figura 65: Medición de bilirrubina en un paciente neonato.

Elaborado por: La investigadora.

Muestra 3

En esta prueba el profesional evaluó al neonato y determinó mediante observación que su nivel de bilirrubina en la piel es normal. El resultado con el bilirrubinómetro fue en rango normal. La prueba de piel del paciente era de color blanco.



Figura 66: Medición de bilirrubina en un paciente de piel blanca.

Elaborado por: La investigadora.

Muestra 4

En esta prueba el color de piel del paciente fue de una tonalidad más oscura, nuevamente el criterio del médico fue que el neonato no presentó signos de bilirrubina. La medición con el bilirrubinómetro fue en el rango normal.



Figura 67: Medición de bilirrubina en un paciente de un color de piel más obscuro.

Elaborado por: La investigadora.

Análisis de resultados de las pruebas realizadas

En total se realizó mediciones en 10 personas de diferente, sexo, edad y color de piel en todos los casos se obtuvo mediciones en etapa o rango normal y templado, a su vez se corroboró estos datos con ayuda del profesional de la salud que el dispositivo. En la tabla 13 se muestran los datos más relevantes de estas pruebas. Esta prueba dio como resultado la aceptación para que el dispositivo sea utilizado en pruebas y diagnósticos médicos para la detección de ictericia.

Tabla 13: Análisis de las pruebas realizadas con el dispositivo y su prediagnóstico médico

Paciente	Ciclo de vida	Tipo de piel según Fitzpatrick	Rango de bilirrubina	Prediagnóstico médico mediante observación
Paciente 1	Neonato	Nivel I	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.
Paciente 2	Neonato	Nivel II	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.
Paciente 3	Neonato	Nivel II	Templado	El paciente tiene una ligera coloración amarillenta en su piel, aunque no es muy leve
Paciente 4	Adulto mayor	Nivel III	Templado	El paciente tiene una coloración amarillenta que es notoria,
Paciente 5	Neonato	Nivel I	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.
Paciente 6	Adulto mayor	Nivel IV	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.
Paciente 7	Adulto mayor	Nivel I	Templado	El paciente tiene una ligera coloración amarillenta en su piel, aunque no es muy leve
Paciente 8	Neonato	Nivel II	Templado	El paciente tiene una ligera coloración amarillenta en su piel, aunque no es muy leve
Paciente 9	Adulto mayor	Nivel II	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.
Paciente 10	Adulto mayor	Nivel III	Normal	El paciente no presenta ningún tipo de coloración amarillenta en su piel.

Elaborado por: La investigadora.

3.5.2. Pruebas de conexión a la nube(servidor)

Para esta prueba se conectó el dispositivo a una red WiFi y se subieron varias mediciones hacia la base de datos, posteriormente se comprobó si los datos llegaban sin interferencias y ningún tipo de problemas al servidor. En la figura 68 se muestran los resultados de una medición que se obtuvo por medio del bilirrubinómetro y se envió hacia la base de datos.



Figura 68: Dato enviado hacia la nube y guardada en la base de datos.

Elaborado por: La investigadora.

Análisis de resultados

Los datos se suben normalmente a la base de datos se calculó el tiempo en que se tarda enviar un mensaje desde la conexión local hacia el servidor mediante la IP pública en la nube con un comando ping desde la NodeMCU.



Figura 69: Ping hacia la dirección IP pública del servidor.

Elaborado por: La investigadora.

El tiempo promedio que se tarda en enviar un paquete de mensajes desde la conexión local hacia el servidor es de aproximadamente 125 ms, este valor se obtiene realizando un ping desde la NodeMCU hacia la IP pública del servidor. Lo que significa que el dispositivo tarda 125 ms en subir el nivel de bilirrubina hacia la base de datos. Siendo una latencia aceptable en el tráfico de datos del presente proyecto. Como parámetro para definir que es aceptable la comunicación, se realizó un ping desde una PC hacia Google (8.8.8.8) en la misma red y se obtuvo 80 ms.

3.5.3. Pruebas de la página web

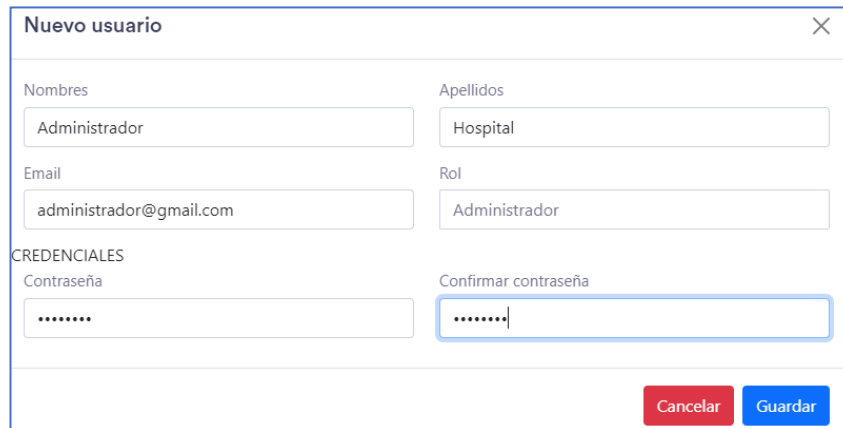
Para verificar el correcto funcionamiento de la página web se realizó pruebas de aceptación que vienen de las metodologías ágiles en el desarrollo web. Las pruebas de aceptación son realizadas para verificar la confianza de un sistema o aplicación que se ha desarrollado y si la misma cumple las necesidades del usuario final, en este caso este usuario fue el personal médico.

Tabla 14: Prueba de aceptación 1.

Caso de prueba
Número de caso de prueba: 1
Nombre del caso de prueba: Verificación de inicio de sesión en la página web por parte del administrador del sistema y el personal médico
Descripción: El personal administrador ingresa al sistema y crea usuarios para los médicos con especialidad, posterior a ello los profesionales de la salud ingresan con normalidad a la página principal
Condiciones de ejecución de la prueba: <ul style="list-style-type: none"> • El administrador debe ingresar al sistema para poder gestionar usuarios • Los usuarios deberán proporcionar un correo electrónico
Pasos de ejecución: <ul style="list-style-type: none"> • El administrador ingresa al sistema con sus credenciales y gestiona usuarios. • El profesional de la salud proporciona su correo electrónico. • El médico ingresa al sistema con su correo y su clave generada. • El profesional de la salud verifica las funciones de la página web.
Resultado deseado: Los profesionales de la salud ingresaron correctamente al sistema.
Evaluación: Exitosa.

Elaborado por: La investigadora

Resultados de prueba de aceptación 1



The screenshot shows a web form titled "Nuevo usuario" with a close button (X) in the top right corner. The form is organized into several sections:

- Nombres:** A text input field containing "Administrador".
- Apellidos:** A text input field containing "Hospital".
- Email:** A text input field containing "administrador@gmail.com".
- Rol:** A text input field containing "Administrador".
- CREDECIALES:** A section containing two password fields:
 - Contraseña:** A text input field with masked characters ".....".
 - Confirmar contraseña:** A text input field with masked characters "....." and a cursor at the end.

At the bottom right of the form, there are two buttons: a red "Cancelar" button and a blue "Guardar" button.

Figura 70: Creación de un usuario administrador.

Elaborado por: La investigadora.



The screenshot shows a login page with the following elements:

- Bienvenido:** A greeting message.
- Inicio sesión:** A link to the login page.
- Usuario:** A text input field containing "administrador@gmail.com".
- Contraseña:** A text input field with masked characters ".....".
- Iniciar sesión:** A large blue button.
- ¿Olvidó su contraseña?:** A link below the password field.

Figura 71: Ingreso al sistema con credenciales de administrador.

Elaborado por: La investigadora.

Una vez que ingresa el administrador al sistema crea un usuario profesional en la figura 72 se muestra la creación de un perfil de un médico con especialidad en pediatría.

Figura 72: Creación de un usuario autorizado con especialidad de pediatría o geriatría.

Elaborado por: La investigadora.

Figura 73: Usuario creado en el sistema.

Elaborado por: La investigadora.

El usuario ahora puede ingresar al sistema sin inconvenientes, con el correo registrado en la figura 74 se puede observar el ingreso.

Figura 74: Ingreso al sistema por parte del médico autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

El médico especialista puede editar su información profesional en su cuenta como se muestra en la figura 74 y posterior a ello puede visualizar todos sus recursos en el menú de lado izquierdo como se observa en la figura 75.

Mi cuenta

Cédula
1721251021

Registro profesional
1005-2019-2091609

Nombres
Nancy Adriana

Apellidos
Lascano Paredes

Especialidad
PEDIATRÍA

Dirección
Calvas y Nono S10-15 Sector Chiriyacu

Email
nalpsalud@gmail.com

Teléfono
022 656 163

celular
0984937085

CREDENCIALES

Contraseña

Confirmar contraseña

Elegir foto **Eliminar**

Cancelar **Guardar**

Figura 75: Configuración de la cuenta de un médico autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

ATENCION INTEGRAL DE SALUD

MENÚ

- Agenda
- Pacientes
- Reportes
- Mi Cuenta
- Consultorio

Agenda

Profesional
Dr./Dra. Nancy Adriana Lascano Paredes

marzo de 2023

Mes Semana Día Agenda

lun	mar	mié	jue	vie	sáb
27	28	1	2	3	4
6	7	8	9	10	11
13	14	15	16	17	18

Figura 76: Pantalla principal de la interfaz que tiene un médico autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 15: Prueba de aceptación 2.

Caso de prueba
Número de caso de prueba: 2
Nombre del caso de prueba: Gestión de pacientes e historias clínicas
Condiciones de ejecución de la prueba: <ul style="list-style-type: none">• El profesional de la salud gestionará la información de un paciente, creará una su historia clínica y realizará una consulta médica a través del sistema.• El profesional de la salud habrá dado un vistazo de toda la funcionalidad del sistema.
Pasos de ejecución <ul style="list-style-type: none">• El profesional de la salud creará un nuevo paciente que se guardará en la base de datos.• El medico iniciaría la consulta médica y gestionara toda la información pertinente del paciente que el sistema solicita• El usuario dará su criterio médico acerca de la información presentada por el sistema• El médico podrá visualizar la información guardada del paciente nuevo y podrá realizar editar, borrar o actualizar cualquier tipo de información.
Resultado deseado: El profesional de la salud podrá crear nuevos pacientes en el sistema y podrá iniciar una nueva consulta para realizar una evaluación de la condición del paciente.
Evaluación: Satisfactoria

Elaborado por: La investigadora.

Resultados de prueba de aceptación 2

La información se mantiene en anonimato debido a la confidencialidad del médico-paciente. Así mismo cualquier información que sea susceptible a interpretaciones o pueda ser utilizado por terceros también fue ocultada. En la figura 77 se muestra el ingreso de un paciente nuevo en el sistema por el profesional de salud. Los únicos campos que son obligatorios en el formulario de creación de un nuevo paciente son: Cédula, tipo de sangre, dirección, nombres completos y sexo. Los demás pueden omitirse.

N° Historial

Cédula

Apellidos

Tipo sangre

Ocupación

Email

Teléfono celular

Nombres

Sexo

Fecha Nacimiento

Dirección

Teléfono convencional

Antecedentes

Descripción

Nacimiento prematuro con 2 semanas de anticipación

Figura 77: Creación de un nuevo paciente en el sistema

Elaborado por: La investigadora.

ATENCIÓN INTEGRAL DE SALUD

MENÚ

- Agenda
- Pacientes
- Reportes
- Mi Cuenta
- Consultorio

Pacientes

Buscador Limpiar Nuevo Paciente

ANDERSON GABRIEL	DANNY ALEXANDER	GENESIS MARIBEL	ALAN JOSUE	STEVEN MATHIAS	GABRIEL CASABLANCO
N° Historial: 155 Cédula: 13 F. Nacimiento: 2023-02-02 Sexo: MASCULINO	N° Historial: 150 F. Nacimiento: 2023-01-02 Sexo: MASCULINO	N° Historial: 151 F. Nacimiento: 2023-01-01 Sexo: MASCULINO	N° Historial: 152 F. Nacimiento: 2023-02-15 Sexo: MASCULINO	N° Historial: 155 F. Nacimiento: 2023-02-01 Sexo: MASCULINO	N° Historial: 156 F. Nacimiento: 2023-05-16 Sexo: MASCULINO
JESUS ISAAC	JANDRY SAMIR	ALDAS BAYAS	LUCIA EMILIANA	DAQUILEMA URQUIZO	IVONE SARAH

Figura 78: Lista de pacientes del profesional de salud autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

Para gestionar una consulta médica nueva el profesional de la salud debe seleccionar el paciente el cual tiene asignada la consulta y dar en el botón “nueva consulta”. Se abrirá una venta como la mostrada en la figura 79.

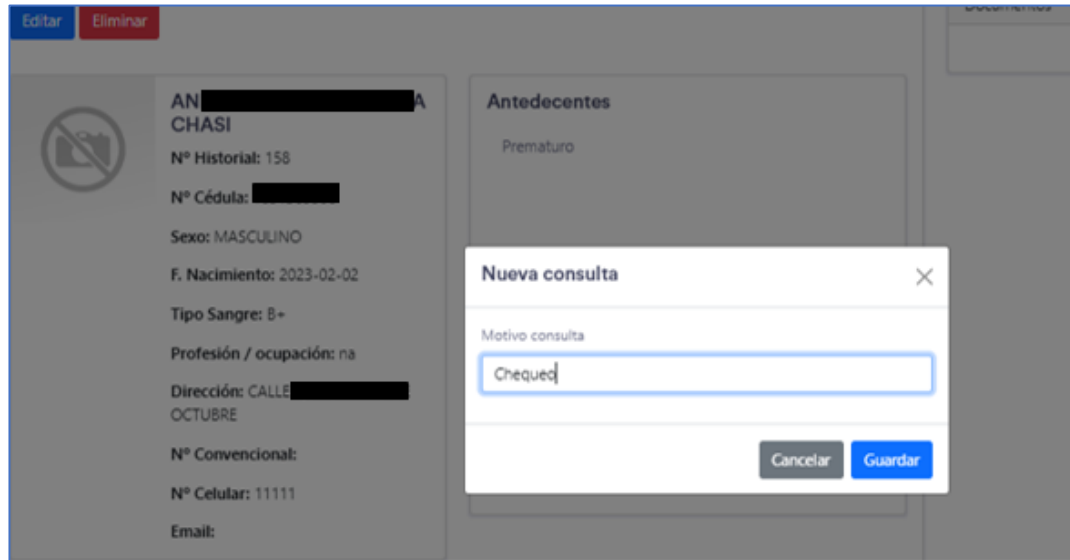


Figura 79: Creación de una nueva consulta médica en un paciente.

Elaborado por: La investigadora.

En la figura 80 se muestra la historia clínica de un paciente, donde son ingresados todos los datos y signos vitales que toman del paciente. En el sector público de salud del Ecuador es parte del denominado triaje.

N° Historial: 158 Paciente: ANDE Edad: 0 años Sexo: MASCULINO Tipo sangre: B-	Fecha consulta: 2023-03-28 Hora consulta: 20:12 Profesional: Nancy Adriana Lascano Paredes Estado consulta: EN CONSULTA
Información consulta	
Motivo consulta <input type="text" value="Chequeo"/>	
Enfermedad actual <input type="text" value="Ninguna"/>	
Examen Físico	
Presión Arterial (TA)	<input type="text" value="90"/> mmHg
Frecuencia Cardíaca (FC)	<input type="text" value="69"/> bpm
Frecuencia Respiratoria (FR)	<input type="text" value="15"/> r/m
Temperatura (T°)	<input type="text" value="37"/> C
Peso	<input type="text" value="2"/> kg
Altura	<input type="text" value="0.25"/> m

Figura 80: Historia clínica del paciente

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 16: Prueba de aceptación 3

Caso de prueba
Número de caso de prueba: 3
Nombre del caso de prueba: Generación de un diagnóstico por parte del personal médico y medición de bilirrubina a través del sistema
Condiciones de ejecución de la prueba: <ul style="list-style-type: none"> • Una vez que el profesional de la salud haya creado una historia clínica procederá a realizar un diagnóstico en base a la medición de la bilirrubina tomada por el dispositivo. • El profesional de la salud dará un tratamiento en base al diagnóstico del paciente.
Pasos de ejecución: <ul style="list-style-type: none"> • El profesional de la salud obtendrá el valor de la bilirrubina mediante el dispositivo del sistema. • El valor obtenido será subido a la base de datos y mostrado en la aplicación para seleccionarlo y guardarlo en la historia clínica del paciente • El profesional dará un diagnóstico en base a los resultados de las pruebas y generará un tratamiento • El médico imprimirá la receta médica a través del sistema
Resultado deseado: El profesional de la salud será capaz de crear un diagnóstico a través del valor obtenido de la bilirrubina, a su vez podrá guardar el valor en la historia clínica.

Evaluación: Satisfactoria

Elaborado por: La investigadora.

Resultados de prueba de aceptación 2

Se obtiene un valor con el bilirrubinómetro y este valor es subido hacia la base de datos en la figura 81 se muestra los últimos valores subidos en la base de datos. Posteriormente a ello el último valor estará disponible en la base de datos, como se muestra en la figura 82.

<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	21	3.5	Normal	2023-03-27 20:18:37	1
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	20	1.78	normal	2023-02-11 13:39:10	1

Figura 81: Últimos valores de bilirrubina en la base de datos.

Elaborado por: La investigadora.

Lista de diagnósticos

Buscar Limpiar

Medición	Rango	Unidades	Opción	Fecha
3.5	Normal	mg/dL	2023-03-28T01:18:37.000Z	Seleccionar

< 1 >

Close

Figura 82: Ultimo valor de bilirrubina visto desde la aplicación web.

Elaborado por: La investigadora.

Bilirrubinómetro

Medir Bilirrubina

3.5 mg/dl - Nivel de ictericia: Normal - Fecha medición: 2023-03-28T01:18:37.000Z

Figura 83: Valor de bilirrubina guardado en la base de datos

Elaborado por: La investigadora.

Guardado el valor de bilirrubina el profesional de la salud realizó un diagnóstico como se observa en la figura 84, posterior a ello generó una receta médica a través del sistema con el formato presentado en la figura 85.

Diagnósticos
Descripción
Nivel normal en el valor obtenido por el bilirrubinometro y signos normales

Figura 84: Diagnóstico del profesional de la salud autorizado.

Elaborado por: La investigadora.

 Dr./Dra. Nancy Lascano PEDIATRIA Reg. SEMESCYT: 1005-2019-2091808	 Dr./Dra. Nancy Lascano PEDIATRIA Reg. SEMESCYT: 1005-2019-2091808
Receta Médica	Receta Médica
Fecha: 28 de marzo del 2023	Fecha: 28 de marzo del 2023
Indicaciones:	Rp.
Medicamento 1 comercial 2021 Cada 12 horas por	Medicamento 1 comercial 2021 Cada 12 horas por
Firma:	Firma:

Figura 85: Receta médica generada por el sistema.

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 17: Caso de prueba 4

Caso de prueba	
Número de caso de prueba:	4
Nombre del caso de prueba:	Generación de reportes médicos para el seguimiento al paciente
Condiciones de ejecución de la prueba:	<ul style="list-style-type: none"> El profesional de la salud debe generar reportes para el seguimiento del paciente en base a las pruebas realizadas
Entrada/Pasos ejecución:	<ul style="list-style-type: none"> En el submenú reportes se presenta las consultas realizadas por el doctor y los diagnósticos El médico luego de la realización del diagnóstico de un paciente en específico puede ir al último ítem de la parte derecha de la interfaz y generar un reporte del paciente que está tratando
Resultado deseado:	El profesional de la salud podrá generar reportes médicos y dar seguimiento a un paciente en base a gráficas generadas por el sistema.
Evaluación:	Satisfactoria

Elaborado por: La investigadora.

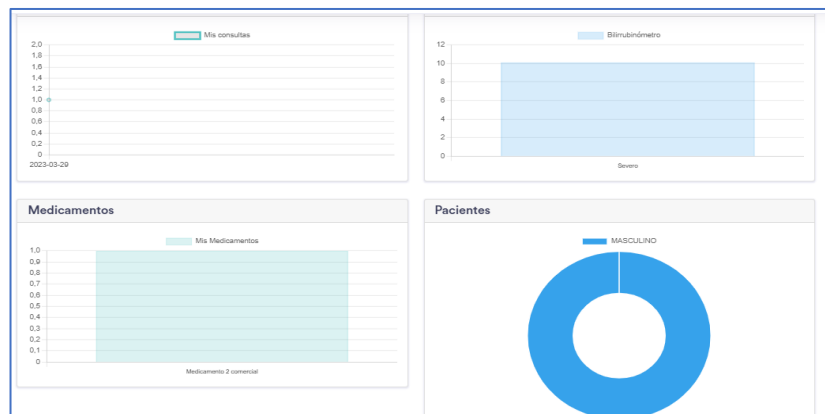


Figura 86: Reporte general de los pacientes

Elaborado por: La investigadora.

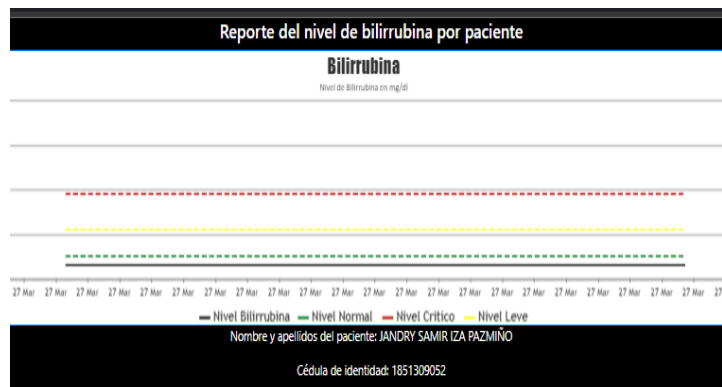


Figura 87: Reporte del nivel de bilirrubina por paciente.

Elaborado por: La investigadora.

Diagnósticos y pruebas médicas en pacientes

En esta sección del proyecto se realizó pruebas médicas en varios pacientes neonatos y adultos mayores, a su vez con la ayuda del personal médico se comparó los resultados obtenidos de bilirrubina con una prueba de sangre así obteniendo la eficacia y error del prototipo. Se realizaron pruebas médicas con una muestra de 50 pacientes neonatos en dos diferentes centros de salud con departamento de pediatría, así como también 30 adultos mayores. Teniendo un total de 80 personas.

Toma de muestras

Caso 1



Figura 88: Paciente 1 nivel normal de bilirrubina con 3,5 mg/dl.
Elaborado por: La investigadora.

Caso 2



Figura 89: Paciente 2 nivel normal de bilirrubina con 3,0 mg/dl.
Elaborado por: La investigadora.

Caso 3



Figura 90: Paciente 3 nivel crítico de bilirrubina con 17,57 ml/dl
Elaborado por: La investigadora.

Caso 4



Figura 91: Paciente 4 adulto mayor con nivel de ictericia crítico
Elaborado por: La investigadora.

Análisis de resultados

En la mayoría de los casos los pacientes que se sometieron a la prueba de medición de bilirrubina, se obtuvieron valores normales. Esta prueba se aplicó en pacientes neonatos y adultos mayores. En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos y su comparación con una prueba de sangre para determinar el nivel de bilirrubina, a su vez todos los pacientes se realizaron el chequeo de los signos vitales y fueron subidos a la página web en cada historia clínica del paciente.

La prueba de sangre se realizó a cada uno de los pacientes para corroborar los datos obtenidos por el bilirrubinómetro y realizar un análisis de efectividad del dispositivo. El proceso para realizar la prueba de sangre es obtener la sangre del paciente, posterior a ello llevarla a un laboratorio y ejecutar los análisis necesarios. Los resultados muestran dos valores que son los mostrados en la figura 92.

Bilirrubina C	Hasta 0,3 mg/dl
Bilirrubina T	Hasta 1,1 mg/dl

Figura 92: Resultado de una prueba de sangre que muestra los datos de: Bilirrubina Conjugada y Bilirrubina Total
Elaborado por: La investigadora.

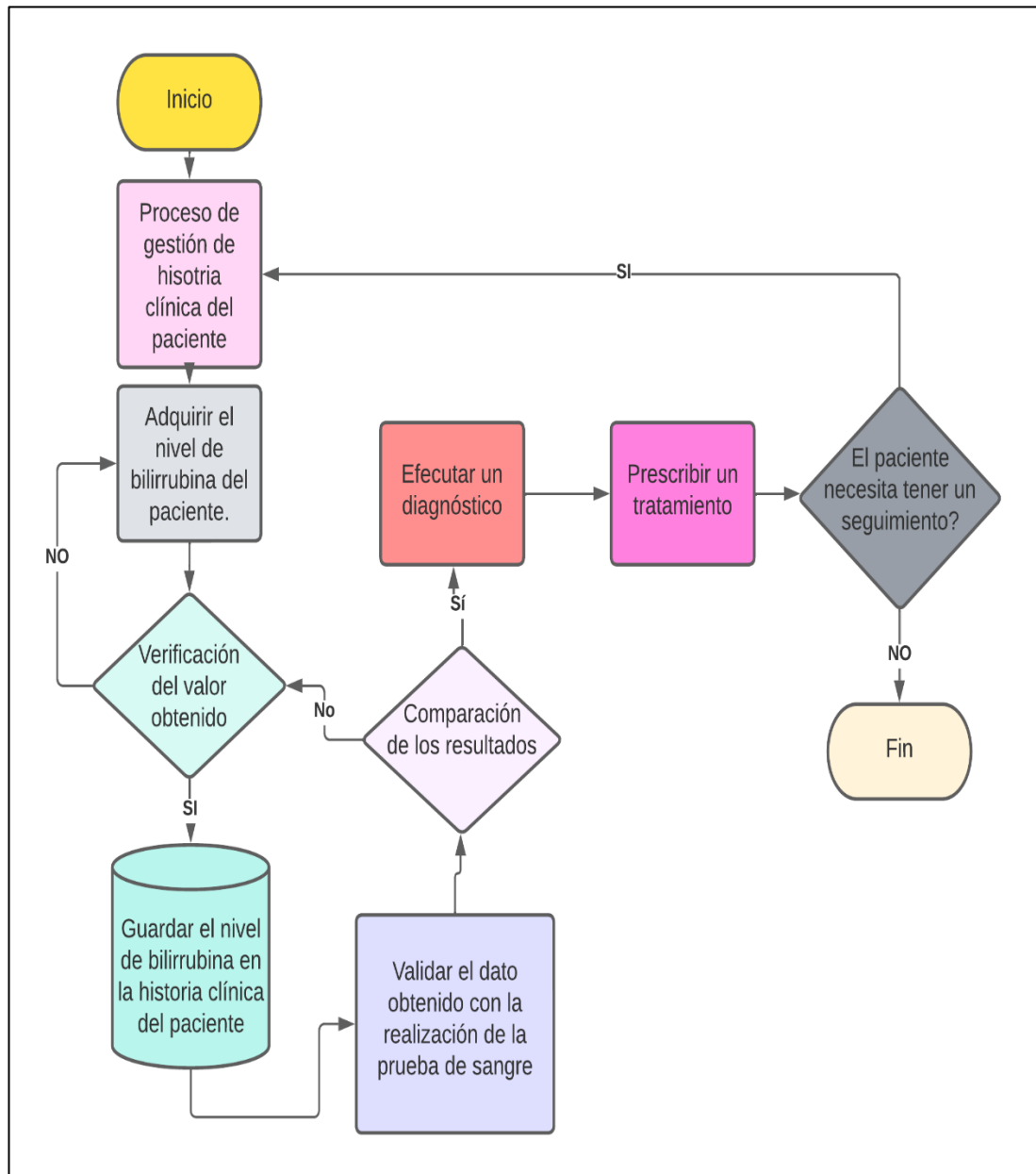


Figura 93: Proceso para realizar una medición de bilirrubina en el presenta proyecto
Elaborado por: La investigadora.

Comparación de resultados

Para calcular el porcentaje de error y error promedio se utiliza los siguientes datos: el número exacto que es el valor de la prueba sanguínea y el valor que se obtuvo por el bilirrubiómetro y para el promedio de error se utiliza la suma total de los valores obtenidos por la prueba de sangre – la suma de valores obtenidos por el bilirrubiómetro, todo esto dividido sobre la suma de valores de sangre. Se utilizó la ecuación (5) que sirve para la obtención del error en base a una muestra.

$$Error\ absoluto(c) = |Valor\ exacto - valor\ medido|(5)$$

Error relativo

Es el cociente entre el error absoluto(c) y el valor exacto. Su resultado puede ser positivo o negativo producido por un exceso o por un defecto, además de no poseer unidades. La ecuación (6) se utiliza para obtener el error relativo.

$$Error\ relativo(c) = \frac{|Error\ absoluto|}{valor\ medido} (6)$$

Finalmente, para obtener el error del dispositivo se multiplica por 100 el error relativo y se obtiene un porcentaje, en la tabla 18 de todos los pacientes, se tiene como error del dispositivo un valor de 5 %. Este valor se resta del 100 % y se obtiene el rango de eficacia del bilirrubiómetro que es del 95 %.

Tabla 18: Comparación de resultados

Pacientes	Ciclo de vida	Tono de piel	Valor ml/dl	medido	Prueba de sangre (valor exacto)	Error absoluto [c]	Diagnóstico	Error relativo (E)	Error relativo (%)
1	Neonato	Nivel I	2,10		2,50	-0,4	Nivel de bilirrubina normal	0,16	16,00
2	Neonato	Nivel II	2,10		2,79	-0,69	Nivel de bilirrubina normal	0,25	24,73
3	Neonato	Nivel I	2,30		2,6	-0,3	Nivel de bilirrubina normal	0,12	11,54
4	Neonato	Nivel IV	2,10		2,55	-0,45	Nivel de bilirrubina normal	0,18	17,65
5	Neonato	Nivel I	3,10		3,55	-0,45	Nivel de bilirrubina normal	0,13	12,68
6	Neonato	Nivel II	2,10		2,55	-0,45	Nivel de bilirrubina normal	0,18	17,65
7	Neonato	Nivel I	2,20		2,48	-0,28	Nivel de bilirrubina normal	0,11	11,29
8	Neonato	Nivel IV	6,00		6,20	-0,2	Nivel de bilirrubina templado	0,03	3,23
9	Neonato	Nivel I	7,00		6,90	0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,01	1,45
10	Neonato	Nivel I	8,00		7,90	0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,01	1,27
11	Neonato	Nivel II	2,20		2,10	0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,05	4,76
12	Neonato	Nivel I	4,50		4,40	0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,27
13	Neonato	Nivel I	3,30		3,20	0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,03	3,13

14	Neonato	Nivel II	4,10	3,92	0,18	Nivel de bilirrubina normal	0,05	4,59
15	Neonato	Nivel I	8,00	7,90	0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,01	1,27
16	Neonato	Nivel IV	4,32	4,22	0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,37
17	Neonato	Nivel I	9,20	8,70	0,5	Nivel de bilirrubina severo	0,06	5,75
18	Neonato	Nivel IV	4,69	4,59	0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,18
19	Neonato	Nivel I	10,10	10,35	-0,25	Nivel de bilirrubina templado	0,02	2,42
20	Neonato	Nivel I	1,20	1,65	-0,45	Nivel de bilirrubina normal	0,27	27,27
21	Neonato	Nivel I	11,30	11,55	-0,25	Nivel de bilirrubina severo	0,02	2,16
22	Neonato	Nivel IV	5,60	5,85	-0,25	Nivel de bilirrubina templado	0,04	4,27
23	Neonato	Nivel I	2,30	2,55	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,10	9,80
24	Neonato	Nivel I	2,60	2,85	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,09	8,77
25	Neonato	Nivel II	6,40	6,65	-0,25	Nivel de bilirrubina templado	0,04	3,76
26	Neonato	Nivel II	4,36	4,46	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,24
27	Neonato	Nivel II	4,62	4,72	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,12
28	Neonato	Nivel I	10,63	10,73	-0,1	Nivel de bilirrubina severo	0,01	0,93

29	Neonato	Nivel IV	4,21	4,40	-0,19	Nivel de bilirrubina normal	0,04	4,32
30	Neonato	Nivel I	12,69	12,79	-0,1	Nivel de bilirrubina severo	0,01	0,78
31	Adulto mayor	Nivel III	3,00	3,10	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,03	3,23
32	Adulto mayor	Nivel I	4,00	4,10	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,44
33	Adulto mayor	Nivel III	4,90	5,00	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,00
34	Adulto mayor	Nivel I	17,20	17,30	-0,1	Nivel de bilirrubina Crítico	0,01	0,58
35	Adulto mayor	Nivel IV	12,65	12,75	-0,1	Nivel de bilirrubina severo	0,01	0,78
36	Adulto mayor	Nivel I	4,60	4,70	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,13
37	Adulto mayor	Nivel I	3,90	4,00	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,03	2,50
38	Adulto mayor	Nivel IV	1,20	1,30	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,08	7,69
39	Adulto mayor	Nivel I	4,90	5,00	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,00
40	Adulto mayor	Nivel I	13,90	14,00	-0,1	Nivel de bilirrubina severo	0,01	0,71
41	Adulto mayor	Nivel IV	4,72	4,82	-0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,02	2,07
42	Adulto mayor	Nivel I	2,90	3,10	-0,2	Nivel de bilirrubina templado	0,06	6,45
43	Adulto mayor	Nivel II	4,12	4,22	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,37

44	Adulto mayor	Nivel I	5,02	5,12	-0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,02	1,95
45	Adulto mayor	Nivel IV	1,20	1,30	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,08	7,69
46	Adulto mayor	Nivel I	5,10	5,20	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	1,92
47	Adulto mayor	Nivel IV	4,60	4,70	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,13
48	Adulto mayor	Nivel I	4,50	4,60	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,17
49	Adulto mayor	Nivel I	5,12	5,22	-0,1	Nivel de bilirrubina templado	0,02	1,92
50	Adulto mayor	Nivel I	4,60	4,70	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,13
51	Adulto mayor	Nivel IV	5,40	5,50	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	1,82
52	Adulto mayor	Nivel II	4,20	4,30	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,33
53	Adulto mayor	Nivel IV	4,40	4,50	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,22
54	Adulto mayor	Nivel I	3,80	3,90	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,03	2,56
55	Adulto mayor	Nivel III	3,90	4,26	-0,36	Nivel de bilirrubina normal	0,08	8,45
56	Adulto mayor	Nivel I	2,30	2,40	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,04	4,17
57	Adulto mayor	Nivel I	3,50	3,60	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,03	2,78
58	Adulto mayor	Nivel I	2,90	3,05	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,05	4,92

59	Adulto mayor	Nivel II	3,40	3,55	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,04	4,23
60	Adulto mayor	Nivel III	2,80	2,95	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,05	5,08
61	Adulto mayor	Nivel II	3,50	3,65	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,04	4,11
62	Adulto mayor	Nivel II	2,60	2,75	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,05	5,45
63	Adulto mayor	Nivel II	2,90	3,05	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,05	4,92
64	Adulto mayor	Nivel I	3,60	3,85	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,06	6,49
65	Adulto mayor	Nivel II	2,50	2,65	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,06	5,66
66	Adulto mayor	Nivel I	4,10	4,25	-0,15	Nivel de bilirrubina normal	0,04	3,53
67	Adulto mayor	Nivel I	4,60	4,70	-0,1	Nivel de bilirrubina normal	0,02	2,13
68	Adulto mayor	Nivel I	12,50	12,60	-0,1	Nivel de bilirrubina severo	0,01	0,79
69	Adulto mayor	Nivel III	4,10	4,35	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,06	5,75
70	Adulto mayor	Nivel IV	5,10	5,35	-0,25	Nivel de bilirrubina templado	0,05	4,67
71	Adulto mayor	Nivel I	2,10	2,35	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,11	10,64
72	Adulto mayor	Nivel I	4,10	4,35	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,06	5,75
73	Adulto mayor	Nivel II	6,10	6,35	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,04	3,94

74	Adulto mayor	Nivel II	12,10	12,35	-0,25	Nivel de bilirrubina severo	0,02	2,02
75	Adulto mayor	Nivel I	6,40	6,75	-0,35	Nivel de bilirrubina templado	0,05	5,19
76	Adulto mayor	Nivel III	17,20	17,45	-0,25	Nivel de bilirrubina Crítico	0,01	1,43
77	Adulto mayor	Nivel IV	2,30	2,55	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,10	9,80
78	Adulto mayor	Nivel I	2,25	2,50	-0,25	Nivel de bilirrubina normal	0,10	10,00
79	Adulto mayor	Nivel III	4,10	4,40	-0,30	Nivel de bilirrubina normal	0,07	6,82
80	Adulto mayor	Nivel II	15,60	16,00	-0,40	Nivel de bilirrubina Crítico	0,03	2,50
Error promedio del dispositivo (%)			5,096					
Eficiencia del dispositivo			94,90					

Elaborado por: La investigadora.

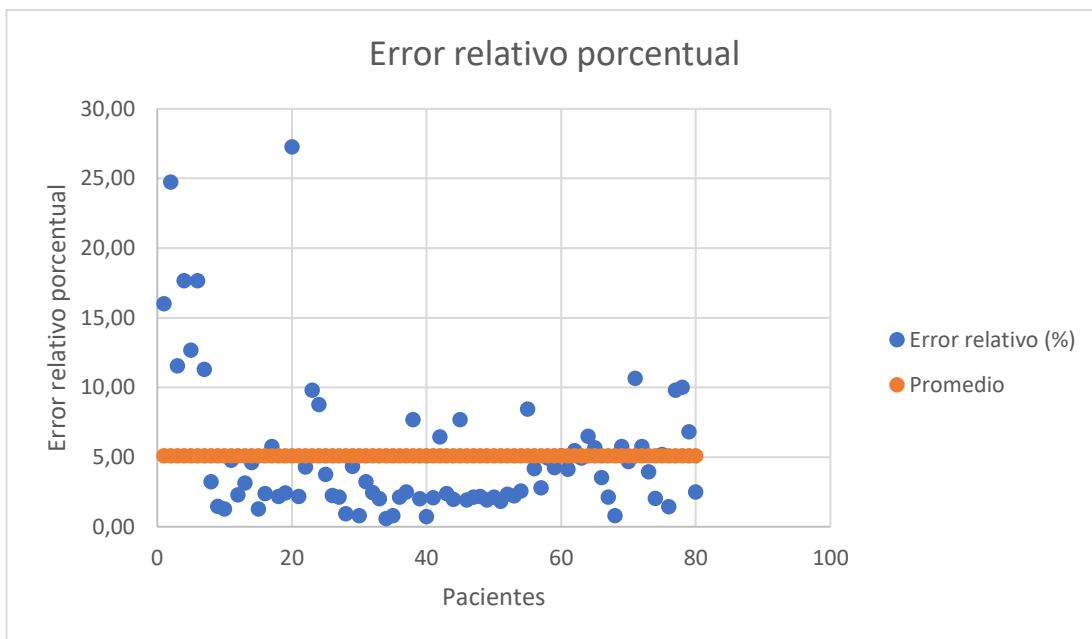


Figura 94: Gráfico de dispersión del error relativo porcentual.

Elaborado por: La investigadora en base los datos presentados en la tabla 18.

Eficiencia del dispositivo

Para la eficiencia del dispositivo se toma el valor que se encuentra en la parte final de la tabla 18 que es de 5,096 este valor se resta del 100 % y se obtiene el valor de la eficiencia del dispositivo que es 94,90 %.

3.6. Presupuesto

En el desarrollo e implementación del bilirrubinómetro mediante un método no invasivo para pacientes neonatos y adultos mayores, se realizó un cálculo del total de horas invertidas en la elaboración del presente proyecto. Se fijó 8 horas laborables por día, a su vez se tomó un dato de referencia sobre el salario que percibe un ingeniero según el Ministerio del Trabajo hasta la fecha de elaboración y culminación del presente proyecto.

El valor que percibe un Ingeniero en Electrónica por mes es de 906 según la tabla de salarios mínimos sectoriales y tarifas para el sector privado [46]. Para los cálculos se utilizó la ecuación (7), con el objetivo de determinar el sueldo diario.

$$\text{Sueldo}_{\text{diario}} = \frac{\text{Remuneración Mensual}}{\text{Días laborados al mes}} \quad (7)$$

$$\text{Sueldo}_{\text{diario}} = \frac{906}{24}$$

$$\text{Sueldo}_{\text{diario}} = \$ 37,75$$

Calculado el valor que percibe un ingeniero por día se utilizó la ecuación (8) para calcular el total del presupuesto. Para ello también se calculó el total del tiempo estimado desde que comenzó la fase de diseño del prototipo que fue aproximadamente de 1 mes y medio trabajando 24 días al mes. En total de días trabajados fueron 36

$$\text{Costo del diseño} = \text{Sueldo}_{x \text{ dia}} * \text{días trabajados} \quad (8)$$

$$\text{Costo del diseño} = 37,75 * 36$$

$$\text{Costo del diseño} = \$ 1360$$

Luego se realiza el detalle del costo de los materiales y recursos utilizados en el proyecto en la tabla 19 se describe el valor de cada uno.

Tabla 19: Costo de los materiales y recursos utilizados en el presente proyecto

N-°	DETALLE	UNIDADES	VALOR POR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	Capa de sensorización			
	Sensor TCP3200	1	15	15
2	Capa de adquisición			
	NodeMCU ESP8266	1	11,5	11,5
3	Capa del Servidor			
	Google Cloud (pago por mes)	3	25,5	76,5
4	Capa de aplicación			
	Tecnologías de desarrollo de libre uso	1	0	0
5	Diseño del prototipo			

	Pantalla OLED 128*64	1	7,5	7,5
	Impresión en 3D (valor por cm2)	30	0,42	12,6
	batería Lipo 450 mA	1	8,5	8,5
	Cargador Lipo 1000 mA	1	2,75	2,75
	Modulo Step-UP 0-30 V	1	3,5	3,5
	Pulsadores de chasis	3	0,35	1,05
	Mini Switch on/off	1	0,45	0,45
	Resistencias 4,7 k ohm	3	0,05	0,15
6	Servicio de internet (por mes) conexión de 100 Mbps	4	22,50	90
		,	Subtotal	\$ 229,5
			Iva	\$ 27,54
			Imprevistos (10 %)	\$ 22,95
			Total	\$ 279,99

Elaborado por: El investigadora.

Detallado el costo de todo el material utilizado se realiza una tabla final que describe el costo total del proyecto

Tabla 20: Detalle del costo total del presente proyecto

Costo total		
Número	Detalle	Costo
1	Costo de diseño del prototipo	\$ 1360
2	Costo de sensores, materiales, equipos e insumos	\$ 279,99
Costo total proyecto		\$ 1640,00

Elaborado por: El Investigadora.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se detalló y analizó la situación actual sobre la ictericia en neonatos, así como también adultos mayores de los últimos 3 años en Ecuador, en base a documentación médica de centros de salud públicos y privados, informes hospitalarios e investigaciones. A su vez también se describieron las características más importantes de los diferentes métodos de medición de bilirrubina mediante métodos transcutáneos no invasivos.
- Se determinó las características técnicas más importantes como: la complejidad del diseño, el algoritmo, costo, portabilidad, limitaciones, el consumo de energía así como también la parte electrónica entorno al hardware de detección de ictericia en la piel de un paciente, comprendido por la etapa de sensorización y adquisición adaptados a una arquitectura de red IoT , también se detalló las tecnologías en la nube como la plataforma Google Cloud y desarrollo web más eficientes e importantes como son que comprenden las etapas de gestión y aplicación, que en conjunto formaron parte de un dispositivo de medición de bilirrubina utilizando un método no invasivo.
- Se diseñó e implementó un dispositivo que es capaz de medir el nivel de bilirrubina en personas adultas mayores y neonatos con componentes de hardware como: una NodeMCU y un sensor de color que permite la adquisición del nivel de bilirrubina a través de un método transcutáneo no invasivo, esto ayudó a reducir el tiempo en la toma de medidas ya que el dispositivo obtiene una muestra rápidamente, además de esto se puede realizar una prueba no dolorosa para el paciente y debido a que el dispositivo es accesible, rápido y de fácil manejo para cualquier profesional de la salud mejoró la gestión y proceso de detección de esta morbilidad. Este dispositivo se determinó estadísticamente que tiene una eficiencia del 95 % tomando como el 100 % la prueba de sangre para detección de bilirrubina.
- Se desarrolló una aplicación web mediante el uso de: criterios médicos para la gestión de historias clínicas como el contenido, estructura y proceso de documentación médica, tecnologías de desarrollo web y lenguajes de programación por el lado del servidor(backend) se utilizó NodeJS y por el lado del

usuario (frontend) el framework Angular. El desarrollo mediante las tecnologías anteriormente nombradas cumplió con los estándares médicos relacionados lo que permitió mejorar la eficiencia de la gestión de información del paciente y la adquisición de bilirrubina, a su vez la utilización de la aplicación web optimizó en gran parte el tiempo requerido para un diagnóstico de ictericia.

4.2. Recomendaciones

- Para el correcto uso del dispositivo se sugiere cargar adecuadamente la batería debido a que si carga con voltajes fuera del rango establecido en el presente proyecto, puede afectar el funcionamiento normal.
- Establecer medidas y control de uso del dispositivo e interfaz web para que solo sea utilizado por profesionales de la salud y de esta manera efectuar correctamente un diagnóstico.
- Analizar la posibilidad de que si en la pantalla del dispositivo se visualiza algún error o un dato este fuera del rango normal, se debe presionar el botón de reinicio.
- Se debe tomar en cuenta de que en el supuesto caso de que el dispositivo no se conecte a la red, se deba verificar posibles errores en el enrutador y fallos en la conexión a internet.
- Para realizar una correcta medición de bilirrubina colocar el dispositivo muy cerca de la piel del paciente para evitar dispersión de la luz.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

- [1] G. Maldonado, «Diseño y programación de un algoritmo para la determinación de bilirrubina transcutánea,» Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México (Unidad de Biotecnología), México, 2016.
- [2] Z. Osman, A. Ahmad y A. Muharam, «Rapid prototyping of neonatal jaundice detector using skin optics theory,» *IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)*, pp. 328-331, 2016.
- [3] S. Kawano, T. Zin y Y. Kodama, «A Study on Non-contact and Non-invasive Neonatal Jaundice Detection and Bilirubin Value Prediction,» *2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 401-402, 2018.
- [4] R. Sammir, T. Alam, P. Saha y M. Rahaman, «Design and Implementation of a Non-invasive Jaundice Detection and Total Serum Bilirubin Measurement System,» *2018 10th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*, pp. 137-140, 2018.
- [5] J. Castañeda Sandoval, «Sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.
- [6] M. González, R. Raynero y S. Caballero, «Ictericia Neonatal,» *Pediatrica Integral*, vol. XXIII, nº 3, pp. 147-153, 2018.
- [7] Peddiagret, «Peddiagret,» 12 6 2017. [En línea]. Available: <https://peddiagret.wordpress.com/2017/06/12/ictericia-neonatal/>. [Último acceso: 5 5 2022].
- [8] M. Roa Paez, «Correlación entre bilirrubinometría transcutánea y bilirrubina sérica en neonatos a término o cercanos al término con ictericia,» Universidad Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario, Bogotá, 2011.

- [9] D. Tholey , «Ictericia en adultos,» Thomas Jefferson University, Pennsylvania, 2021.
- [10] E. Mogóllon, «Características asociadas al desarrollo de ictericia neonatal en neonatos a término y pre-término atendidos en hospital ii-1 salud Jorge Reátegui delgado-Piura 2018-2019,» Universidad privada Antenor Orrego, Piura, 2019.
- [11] M. Maldonado, «Diseño y programación de un algoritmo para la determinación de bilirrubina transcutánea,» Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México (Unidad de Biotecnología), México, 2016.
- [12] F. Villaroel, «ICTERICIA,» PUCE, QUITO, 2021.
- [13] RedHAT, «Internet de las Cosas (IoT),» *RedHAT*, vol. 2, n° 5, pp. 20-35, 2023.
- [14] L. Hernández, «Arquitectura IoT, prototipando los dispositivos del futuro,» 2018. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/arduino-wifi-proyectos-iot/>. [Último acceso: 5 5 2022].
- [15] E. Fernandez, «Education,» 10 12 2018. [En línea]. Available: <https://es.education-wiki.com/7028347-iot-architecture>. [Último acceso: 5 5 2022].
- [16] Alicante, «Tecnología Informática y Computación,» 10 12 2018. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>. [Último acceso: 27 3 2023].
- [17] K. Hazard, «IBM Cloud Platform,» 15 1 2019. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/cloud-server>. [Último acceso: 2 03 2023].
- [18] J. Rendon, «Sistemas gestores de bases de datos,» *Mheducation*, vol. 2, n° 3, 2021.

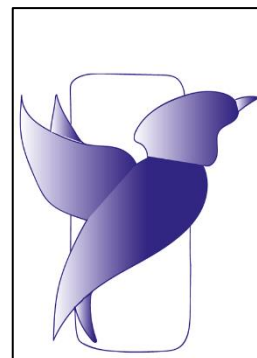
- [19] Make It, 10 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/>. [Último acceso: 12 03 2023].
- [20] S. Hepthro, Hepthro-Store, 1 12 2019. [En línea]. Available: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/sensor-de-color-tcs3200-con-arduino/>. [Último acceso: 28 2 2022].
- [21] P. Fernandez, «Euroinnova,» 25 11 2022. [En línea]. Available: <https://www.euroinnova.ec/blog/que-es-el-desarrollo-web>. [Último acceso: 12 03 2023].
- [22] M. DE DIOS, «Weare Marketing,» 12 01 2021. [En línea]. Available: <https://www.wearemarketing.com/es/blog/frameworks-en-el-desarrollo-web-las-mejores-practicas-para-tu-negocio-online.html>. [Último acceso: 12 03 2023].
- [23] Team of Desarrollo web, «Desarrollo web,» 7 2020. [En línea]. Available: <https://desarrolloweb.com/home/angular>. [Último acceso: 13 11 2021].
- [24] Medium y Medium, «Aula Virtual,» 18 06 2020. [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrvigo/aulavirtual/pluginfile.php/30516/mod_label/intro/Angular-Sesion-1.pdf. [Último acceso: 21 02 2023].
- [25] F. Aristizabal, «Arquitectura básica en Angular,» MG-España, España, 2021.
- [26] Google LLC, «Docuemntacion de Angular,» 10 2020. [En línea]. Available: <https://docs.angular.lat/guide/architecture>. [Último acceso: 14 11 2021].
- [27] RubenSA, «Wordpress,» 23 10 2017. [En línea]. Available: <https://rubensa.wordpress.com/2017/10/23/angular-modules/>. [Último acceso: 02 11 2023].
- [28] A. Peña, «GUÍA PARA EL LLENADO DE FORMATOS MÉDICOS LEGALES,» FGE, QUITO, 2018.
- [29] J. A. Falagán Mota y J. Nogueira Fariña, «LA INFORMACIÓN CLÍNICA Y DE SALUD,» Pontevedra, 2012.

- [30] G. Wagner Cevallos y J. Carrillo Ubidia, «MANUAL DEL MANEJO, ARCHIVO DE LAS HISTORIAS CLINICAS,» *SISTEMA COMUN DE INFORMACION*, vol. 4, n° 1, pp. 1-17, 17 9 2018.
- [31] M. Alcaraz y Y. Nápoles, «La historia clínica: un documento básico para el personal médico,» *MEDISAN*, vol. 14, n° 7, pp. 15-24, 2010.
- [32] J. N. C. Larrea, «DIAGNÓSTICO ETIOLOGICO Y TRATAMIENTO DE ICTERICIA NEONATAL PATOLÓGICA,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2022.
- [33] G. Alfieri y R. Mir Villamayor, «Aplicación del bilirrubinómetro no invasivo en recién nacidos,» *PEDIATRIA*, vol. 46, n° 3, pp. 158-164, 2019.
- [34] Solectro, «Solectro,» 1 12 2021. [En línea]. Available: <https://solectroshop.com/es/content/71-como-detectar-el-color-con-el-sensor-de-reconocimiento-de-color-y-arduino-uno>. [Último acceso: 14 6 2023].
- [35] L. Llamas, «Ingenieria, Informatica y diseño,» 12 10 2022. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/medir-color-arduino-colorimetro-tcs3200/>. [Último acceso: 21 3 2023].
- [36] WBE, «Adafruit,» 10 12 2020. [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1334>. [Último acceso: 21 3 2023].
- [37] Naylamp Mechatronics SAC, «Naylampmechatronics.com,» 1 10 2015. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>. [Último acceso: 22 3 2023].
- [38] Dragino, «Wiki,» 2017. [En línea]. Available: https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield. [Último acceso: 20 4 2022].
- [39] P. Á. Corredera, «Blog Tecnológico Alternativo,» 16 1 2021. [En línea]. Available: <https://ciberninjas.com/diferencias-entre-aws-google-cloud/>. [Último acceso: 22 3 2023].

- [40] R. . A. Vera, «Openwebinar,» 19 1 2022. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-laravel-caracteristicas-y-ventajas/>. [Último acceso: 22 3 2023].
- [41] Adrafruit, «Adrafruit,» 15 6 2021. [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1334#technical-details>. [Último acceso: 22 3 2023].
- [42] Dixon & Moe, «Código de colores HTML,» 1 10 2016. [En línea]. Available: <https://htmlcolorcodes.com/es/>. [Último acceso: 22 3 2023].
- [43] Merck & Co, «Manual MSD,» 12 2 2021. [En línea]. Available: <https://www.msmanuals.com/es/hogar/multimedia/table/clasificaci%C3%B3n-del-tipo-de-piel-seg%C3%BAAn-fitzpatrick>. [Último acceso: 23 3 2023].
- [44] J. Furzán, «Correlación entre bilirrubina serica y bilirrubinometría transcutánea en neonatos estratificados por edad gestacional,» *Scielo*, vol. 70, n° 2, pp. 49-70, 2007.
- [45] N. Maldonado González, «MANUAL DE CREACION Y MANEJO DE LA HISTORIA CLINICA HOSPITAL VICENTE CORRAL MOSCOSO,» Ministerio de Salud Pública, Quito, 2018.
- [46] M. d. Trabajo, «SUELDOS, SALARIOS MÍNIMOS SECTORIALES Y TARIFAS PARA EL SECTOR PRIVADO,» TAXFINCORP, Quito, 2023.
- [47] S. López, «Digital 55,» 8 6 2021. [En línea]. Available: <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/que-son-single-page-application-spa-desarrollo-elegido-por-gmail-linkedin/>. [Último acceso: 15 11 2021].
- [48] J. C. Rubio, «Openwebinars,» 25 2 2019. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-git-y-para-que-sirve/>. [Último acceso: 14 11 2021].

- [49] E. Ghirardi , «Borealos,» Desarrollo, 31 08 2018. [En línea]. Available: <https://borealos.com/post/que-es-el-desarrollo-web-agil.html>. [Último acceso: 18 11 2021].
- [50] Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, «Clasificación Internacional de Enfermedades - 10.^a Revisión de Enfermedades - 10.^a Revisión,» Imprenta Nacional de la Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Madrid, 2020.

Anexos



Manual de usuario de la página web



Elaborado por: Karla Velasco Paredes

Preliminar

El principal objetivo del presente manual es dar una herramienta para que el personal médico (doctores, enfermeras). Puedan usar eficazmente la página web para la medición de bilirrubina. Al igual también informar sobre cada función en específico. El diseño de la página web se basó en documentos médicos de historias clínicas y gestión de documentos con una interfaz simple y amigable para el usuario en donde todos los valores y detalles mostrados, harán que el profesional médico pueda dar de mejor manera su diagnóstico o realizar adecuadamente el seguimiento del paciente. Para el uso de la página web el usuario no debe tener ningún conocimiento extra como manejo de bases de datos, conexiones, o programación, lo único que el usuario debe tener es un conocimiento sobre internet y manejo básico de un equipo de cómputo.

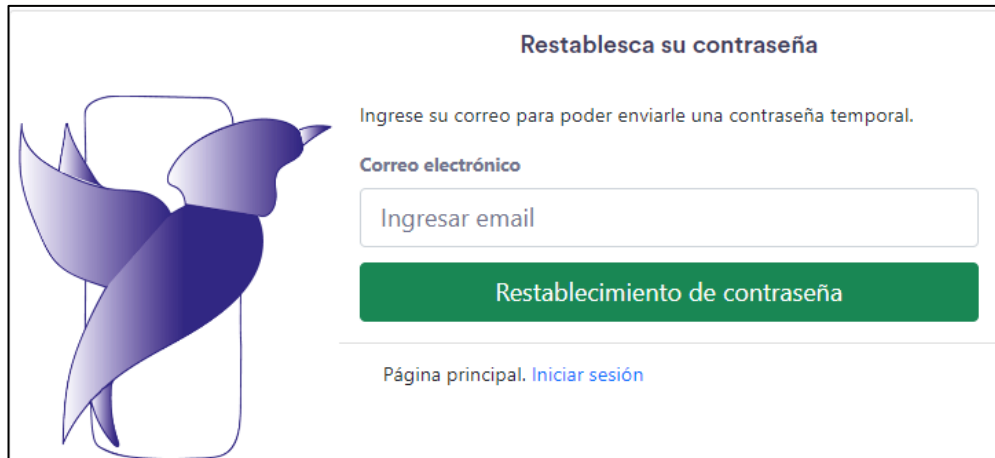
Login (página de ingreso)

Ingresando a la página inicial de la aplicación web se mostrará un recuadro de Login o de ingreso en donde se pedirán un usuario y una contraseña. Cabe recalcar que en esta página no asoma un botón el enlace de registrar usuario debido a que solo el administrador del sistema es el que puede generar un usuario. A continuación, se mostrará las partes más importantes de esta página



The image shows a login interface titled "Bienvenido" with a sub-header "Inicie sesión". On the left is a purple bird illustration. On the right, there are three highlighted elements: a text input field labeled "Usuario" with the placeholder "Ingresar usuario" and a "1" next to it; a text input field labeled "Contraseña" with the placeholder "Ingresar contraseña" and a "2" next to it; and a blue button labeled "Iniciar sesión" with a "3" next to it. Below the button is a link that says "¿Olvidó su contraseña?".

1. **Ingresar usuario.** Cuadro de texto que sirve para ingresar un usuario anteriormente creado por administrador del sistema. Es un correo electrónico.
2. **Ingresar contraseña.** Cuadro de texto que sirve para ingresar la contraseña correspondiente al usuario.
3. **Botón de Login (Inicio de sesión).** botón que permite validar las credenciales ingresadas para luego.
4. **Olvido de contraseña.** Botón que genera una nueva ventana donde se puede restablecer la contraseña mediante un código enviado el correo personal que se ingresó o se registró en el sistema por el administrador.



Restablezca su contraseña

Ingrese su correo para poder enviarle una contraseña temporal.

Correo electrónico

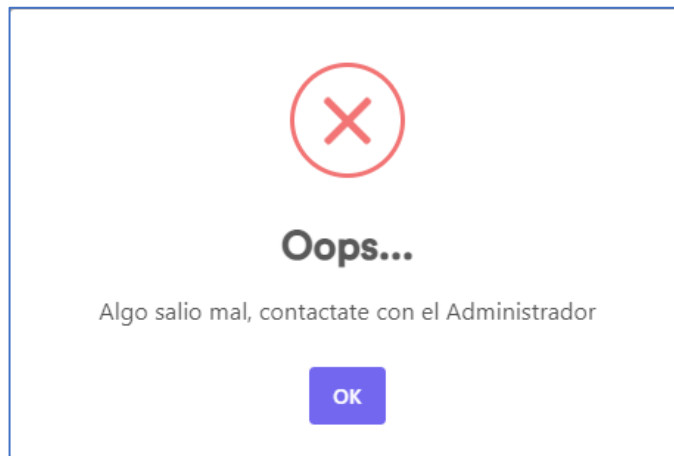
Ingresar email

Restablecimiento de contraseña

[Página principal.](#) [Iniciar sesión](#)

La página de restablecimiento de contraseña se puede ingresar un correo electrónico para recuperar la contraseña guardada en el sistema. Un código será enviado al correo electrónico temporal y así se ingresa normalmente.

Nota: Cabe recalcar que el correo debe existir en la base de datos del sistema o si no se podrá recuperar ninguna contraseña.



En el caso de que no exista el correo se da un aviso para que se contacte con el administrador.

Página de administrador del sistema

El usuario o la persona que vaya a administrar el sistema puede ser el director de algún hospital, gerente o a su vez cualquier persona que tenga un cargo en el que puede gestionar quien pueda utilizar o no el sistema.

La página principal de una persona administradora podrá crear cunetas de doctores o personal médico para que usen el sistema a continuación se detalla algunos de los puntos más importantes de esta página.

Formulario de configuración de cuenta (Mi cuenta) con campos para:

- Cédula: Ingresar número cédula
- Nombres: Administrador
- Apellidos: Hospital
- Dirección: Ingresar dirección
- Email: administrador@gmail.com
- Teléfono: Ingresar teléfono
- celular: Ingresar celular
- CREDENCIALES: Contraseña (oculta) y Confirmar contraseña

Botones: Elegir foto, Eliminar, Cancelar, Guardar

En la página principal se muestra la configuración de una cuenta en donde se puede editar nombres dirección y clave a su vez también se puede poner una foto.

La parte principal de esta página de administrador es la creación de usuarios que es la siguiente:

The image shows a web form titled "Nuevo usuario" with a close button (X) in the top right corner. The form contains several input fields: "Nombres" (with a placeholder "Ingresar nombres"), "Apellidos" (with a placeholder "Ingresar apellidos" and a small blue icon), "Email" (with a placeholder "Ingresar email"), and "CREDENCIALES" containing a "Contraseña" field. A dropdown menu is open for the "Rol" field, showing options: "Seleccionar", "Administrador", "Profesional", and "Empleado" (which is highlighted in blue). At the bottom right, there are two buttons: "Cancelar" (red) and "Guardar" (blue).

Se debe seleccionar que rol va a tener las personas que se crea por ejemplo si se tiene rol de administrador podrá gestionar y crear un usuario, pero si crea un rol de profesional tendrá acceso a la gestión de pacientes e historias clínicas propias de un profesional de salud.

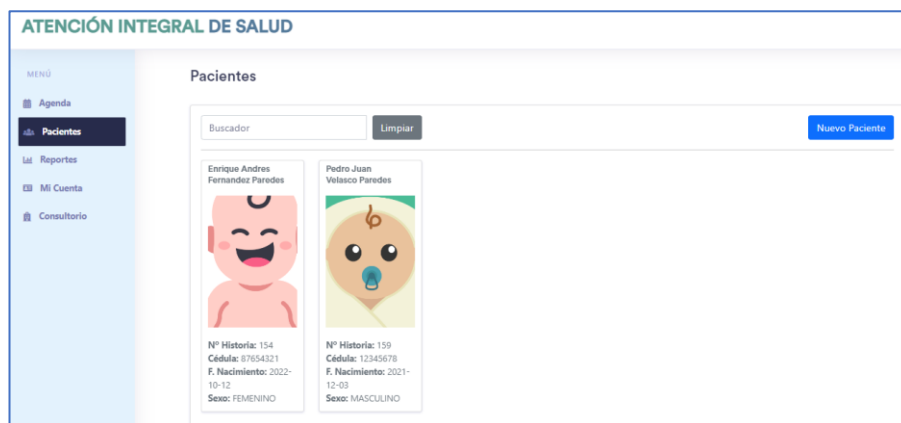
Por ejemplo, se creó el doctor x quien tiene su rol de doctor y él puede ya ingresar en el sistema con su clave de acceso. Se puede observar que el usuario se encuentra activo.

doctor x	doctor@gmail.com	Profesional	ACTIVO	Desactivar
----------	------------------	-------------	--------	------------

Página principal de rol de profesional doctores o enfermeras

Esta página es el recurso principal de todo el proyecto ya que se puede gestionar una historia clínica, medir la bilirrubina, dictar un diagnóstico, generar reportes, citas médicas etc. A continuación, se ira describiendo todas las partes principales de esta página a su vez se irá describiendo como se debe realizar un correcto ingreso de datos de un paciente, así como también la correcta realización del diagnóstico de bilirrubina ya sea en niños o adultos mayores.

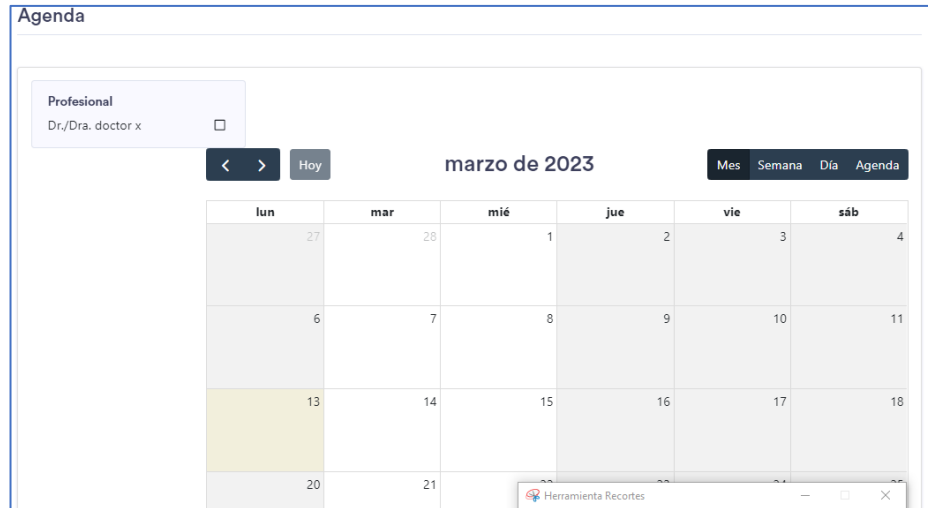
En la siguiente imagen se muestra la pantalla principal en el rol de profesional de la salud, aquí se tiene una agenda para verificar consultas o citas de paciente, se tiene reportes, y un calendario interactivo para gestionar horarios.



A continuación, se detalla cada una de las pestañas para mostrar su funcionamiento y utilización.

Agenda medica

En esta sección se tiene un calendario donde se muestra las citas médicas que el doctor tiene agendadas, al igual que el nombre del paciente con quien tiene la cita médica.



Para crear o guardar una nueva cita médica se selecciona el día y luego asoma una ventana como la de la gráfica siguiente. Posteriormente a ello se selecciona la hora y el paciente con quien tiene la cita.

Cita

Profesional
Dr./Dra. doctor x

Horario mañana: 08:01 - 10:48 Horario tarde: 13:15 - 18:18

Paciente
Enrique Andres Fernandez Paredes

Fecha: 23/03/2023 Hora inicio: 08:06 Hora fin: 10:25

Motivo
Ejemplo


Observación
Cita medica

Gestión de pacientes

Es la ventana más importante de toda la sección de profesional de la salud. En esta página se puede gestionar toda la información de un paciente, así como su historia clínica, diagnóstico.

En la siguiente figura se puede observar el ingreso de un paciente nuevo, aquí se detalla toda la información pertinente del paciente, como tipo de sangre ocupación, dirección, número de teléfono etc.

Formulario de ingreso de paciente



[Elegir foto](#) [Eliminar](#)

Nº Historial	<input type="text"/>	Nombres	<input type="text" value="Pedro Juan"/>
Cédula	<input type="text" value="12345678"/>	Sexo	<input type="text" value="MASCULINO"/>
Apellidos	<input type="text" value="Velasco Paredes"/>	Fecha Nacimiento	<input type="text" value="03/12/2021"/>
Tipo sangre	<input type="text" value="A+"/>	Dirección	<input type="text" value="Av. UNO"/>
Ocupación	<input type="text" value="ninguna"/>	Teléfono a convencional	<input type="text"/>
Email	<input type="text" value="ejemplo@gmail.com"/>		
Teléfono celular	<input type="text" value="1111111"/>		

Antecedentes

Descripción

[Cancelar](#) [Guardar](#)

Una vez guardada la información del paciente, el mismo quedara registrado en la base de datos personal del profesional de la salud. El doctor puede crear una historia clínica a partir del paciente creado como se muestra en la siguiente gráfica. Se mostrará todas las consultas que fueron ya realizadas de ese paciente en específico.

Historial consultas						Nueva Consulta
# Historia	Profesional	Motivo	Fecha	Hora	Estado	
193	doctor x	uno	2022-10-20	21:18	FINALIZADO	X
196	doctor x	uno	2023-01-07	14:9	FINALIZADO	X

Cuando el paciente está en una consulta se muestran todos sus datos, además se puede realizar un diagnóstico, se toma el valor de la bilirrubina, se toma los datos de atención primaria y se realiza un diagnóstico.

Consulta

Agenda > Consulta

Terminar consulta

Consulta

Bilirrubinómetro

Documentos

Reporte

Información paciente

N° Historial: 154	Fecha consulta: 2023-03-14
Paciente: Enrique Andres Fernandez Paredes	Hora consulta: 21:31
Edad: 0 años	Profesional: doctor x
Sexo: FEMENINO	Estado consulta: EN CONSULTA
Tipo sangre: B+	

Información consulta

Motivo consulta

Enfermedad actual

Entre los datos más importantes en la atención primaria tenemos, Presión arterial, presión, pulso, peso, altura, temperatura corporal, además la aplicación puede calcular el índice de masa corporal del paciente.

Se debe llenar todos los datos del paciente y todos los campos que se solicita en esta página. Si no se lleva alguno no se guardará la consulta realizada.

Examen Físico

Presión Arterial (TA)	Sistólica/Diastólica	mmHg
Frecuencia Cardíaca (FC)	Frecuencia Cardíaca	bpm
Frecuencia Respiratoria (FR)	Frecuencia Respiratoria	r/m
Temperatura (T°)	Temperatura	C
Peso	Peso	kg
Altura	Altura	m
IMC	IMC	kg/m ²

Exploración física

Exploración física

Medición de bilirrubina

Esta es una de las características más importantes de la página web, debido a que el valor de la bilirrubina se puede obtener de manera real ya que los datos que son tomados por el bilirrubiómetro se suben a una base de datos y son mostrados como el valor que se encuentra en la siguiente figura. Para seleccionar el valor más adecuado el nivel de bilirrubina de un paciente se muestra el último dato subido a la base de datos.

Lista de diagnósticos

Buscar

Medición	Rango	Unidades	Opción	Fecha
25		mg/dL	2023-01-23T20:41:40.000Z	<input type="button" value="Seleccionar"/>

< 1 >

Close

Cuando se selecciona el nivel de bilirrubina el valor se guarda en la historia clínica del paciente. Posteriormente a ello se puede dar un diagnóstico en el campo del mismo

nombre para finalmente dar el tratamiento o medicación para así culminar la consulta médica.

Medir Bilirrubina

25 mg/dl - Nivel de ictericia: - Fecha medición: 2023-01-23T20:41:40.000Z ✕

Diagnósticos

Descripción
 Ejemplo

Tratamiento

Medicamentos

Imprimir

Nombre comercial	Nombre genérico	Presentación	Dosis	Frecuencia tomar	Tomar	Tiempo tratamiento
Medicamento 1 comercial 2021	Medicamento 1 genérico 2021	Tableta 2021	1 g	Cada 12 horas		✕

También se puede imprimir la receta médica que tendrá el siguiente formato.

Dr./Dra. doctor x
 PEDIATRÍA
 Reg. SENESCYT:

Receta Médica

Fecha: 13 de marzo del 2023

Indicaciones:

Medicamento 1 comercial 2021
Cada 12 horas por

Firma: _____

📍 Calles y Aono S10-15 sector Chiyjacu
 ☎ 0984937085 / (02) 265 6163

Dr./Dra. doctor x
 PEDIATRÍA
 Reg. SENESCYT:

Receta Médica

Fecha: 13 de marzo del 2023

Rp.

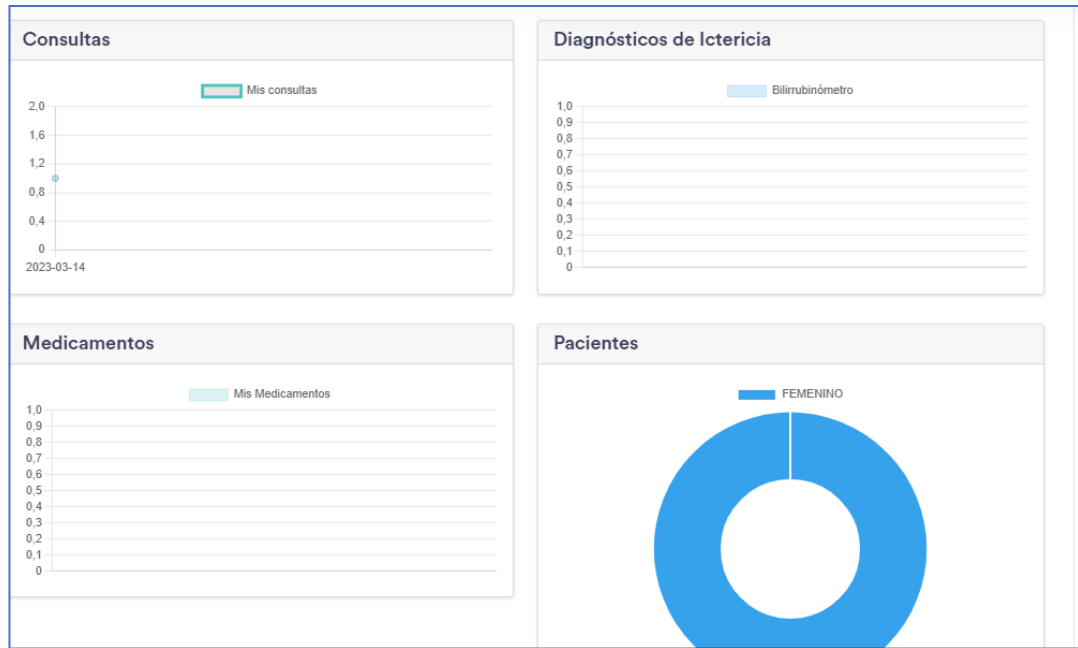
Medicamento 1 comercial 2021
Cada 12 horas por

Firma: _____

📍 Calles y Aono S10-15 sector Chiyjacu
 ☎ 0984937085 / (02) 265 6163

Reportes

Son datos estadísticos que se presentan a medida que se van realizando consultas y generando datos médicos. Estos datos pueden ser visualizados y descargados con el fin de presenten datos estadísticos de cada paciente o a nivel general.



Horarios de consulta

Se pueden programar los días y horarios que se tiene disponible como profesional medico así, se tiene un rango de control y gestión de los horarios que se tiene para consulta médica.

Horarios de Consulta

Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado

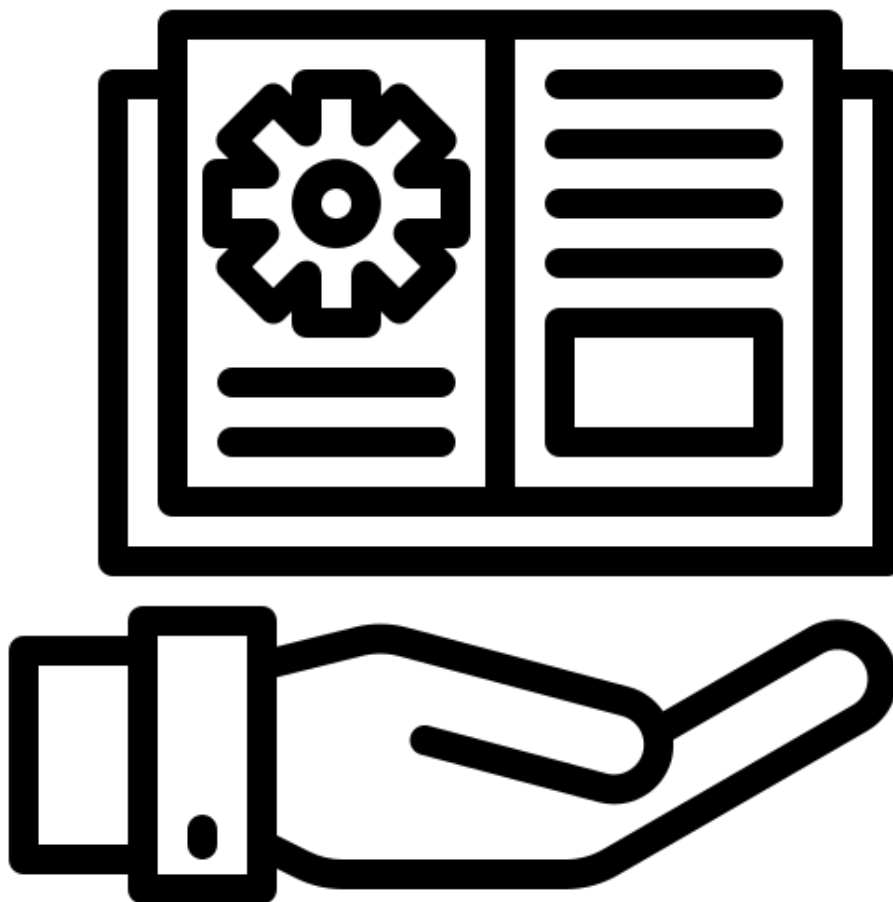
Horario mañana: De --:-- ⌚ A --:-- ⌚ [Agregar](#)

Horario tarde: De --:-- ⌚ A --:-- ⌚ [Agregar](#)

Día	Horario mañana	Horario tarde	
Martes	08:01 - 10:48	13:15 - 18:18	X
Miércoles	08:01 - 10:48	13:15 - 18:18	X

[Guardar](#)

Manual de funcionamiento del bilirrubinómetro



Dirigida a profesionales de la salud

Elaborado por: Karla Velasco Paredes

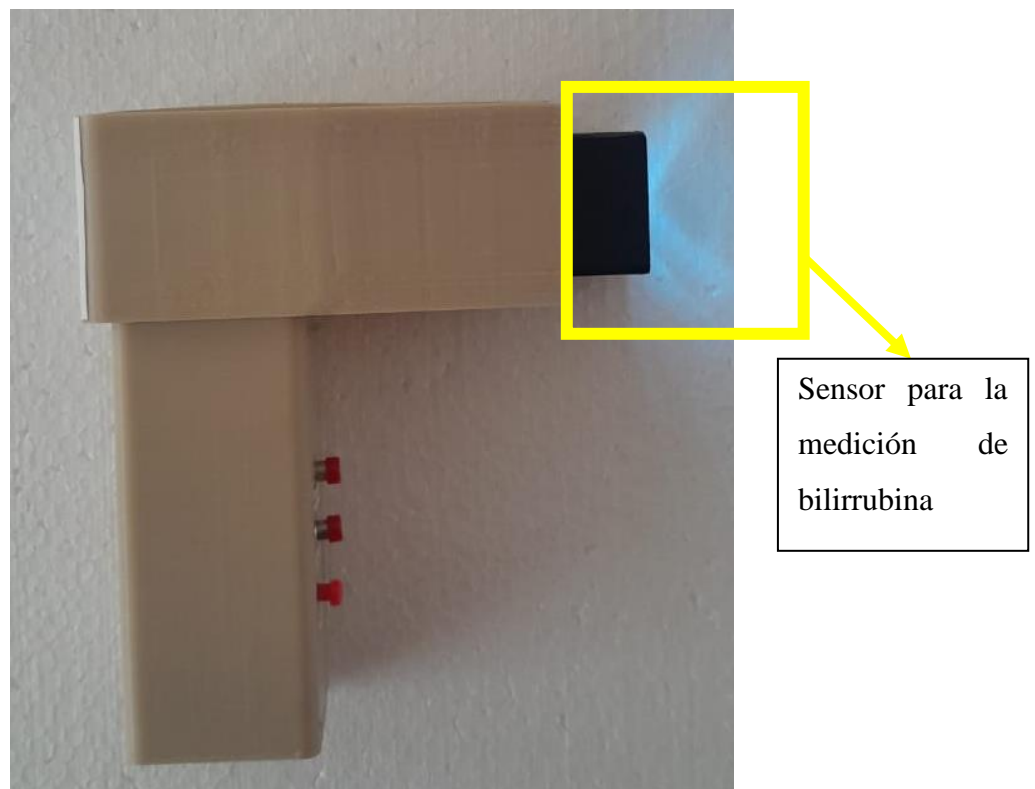
Introducción

El siguiente manual tiene como objetivo enseñar a manipular el bilirrubinómetro, también se dará a conocer cómo se debe tomar una medición adecuadamente. A su vez el presenta manual es dirigido para profesionales de la salud que traten con pacientes neonatos y geriátricos.

Como conocimientos previos para el uso del bilirrubinómetro es tener conocimientos sobre páginas web para poder revisar los datos que se adquieren y se almacenan en la nube.

Funcionamiento

El bilirrubinómetro posee el sensor en la parte frontal en el recuadro negro, posee varios leds que obtienen la medición. Para adquirir correctamente el nivel de bilirrubina el sensor debe estar pegado a la piel del paciente.



Nota: El sensor no debe ser calibrado para obtener algunas medidas por lo que solo basta elegir el correcto tono de piel. Posee cuatro tonos de piel.

Pantalla principal

La pantalla principal consta de los siguientes elementos que ayudan a obtener adecuadamente el nivel de bilirrubina.



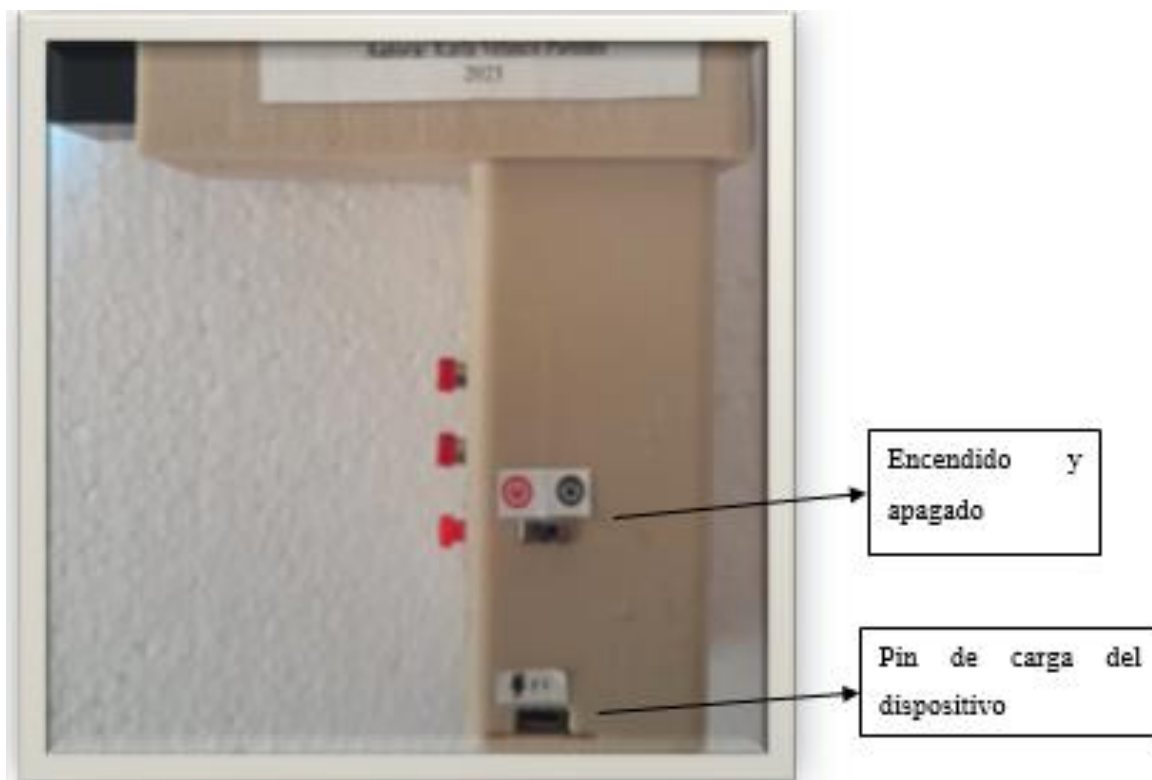
Nota: Cuando el dispositivo está conectado a la red se muestra la pantalla de la gráfica anterior no se debe configurar nada puesto que ya viene configurada para usarse en la red wifi del establecimiento de salud.

Distribución de botones y funcionalidad de cada uno

El dispositivo posee tres botones que sirven para subir, enviar el dato y reiniciar el dispositivo.



Nota: El botón de reset, se implementó con el fin de mejorar la medición y la gestión del dispositivo, puede ser utilizado cuando el dispositivo no se conecta a la red una vez que se enciende, o cuando en la pantalla no se muestra el dato de manera correcta.

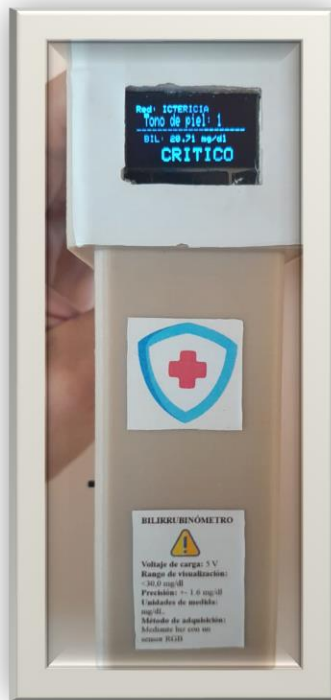


Nota: El dispositivo debe ser cargado con cable USB tipo A mini se recomienda revisar las características del dispositivo presentadas en el siguiente apartado. A su vez para la visualización de datos en la página web se debe revisar el apartado del manual de usuario de la página web, presentado el anterior apartado.

Anexo C. Especificaciones del bilirrubinómetro

BILIRRUBINÓMETRO





El bilirrubinómetro diseñado en el presente proyecto es un dispositivo de fácil uso, eficiente, económico y no invasivo. utiliza de forma sencilla, rápida, eficiente, económica y no invasiva, puede ser utilizado para medir el nivel de bilirrubina transcutánea en la piel de un paciente neonato o adulto mayor en centros de salud, hospitales, geriátricos y centros especializados en salud de neonatos.



El bilirrubinómetro utiliza una lectura con un sensor RGB y varios diodos leds que emiten una luz blanca que mediante un algoritmo adquiere la cantidad de amarillo que se emite en la piel. Para otros tipos de piel se utiliza también un algoritmo de color azul basando esa en la tabla de colores RGB. Obteniendo así una lectura eficiente.

Fácil de usar, transmisión inalámbrica inteligente



Posee una pantalla OLED de 128x64, tiene caracteres grandes para una mejor visualización del valor de bilirrubina.



Muestra cuando el dato es guardado correctamente, posee también niveles de bilirrubina como crítico, normal etc.



No posee memoria interna, pero todos los datos son almacenados en una nube pudiendo acceder a ellos en cualquier momento.



Posee tres botones uno de medición, uno de envío y uno de reset.

Obtención de una medida de forma rápida y eficiente



Unidades de medición de bilirrubina en mg/Dl, y se puede detectar ictericia de forma rápida e identificación con niveles de bilirrubina.



Se puede realizar varias mediciones antes de almacenar el dato.



Se puede realizar mediciones en diferentes rangos de piel la necesidad de calibrar el dispositivo.

Dispositivo de larga duración de batería y muy práctico



El dispositivo cuenta con una batería LIPO que dura más de dos horas prendido, pudiendo llegar a obtener más de 1000 mediciones en una sola carga.



No necesita de mucho tiempo de carga para su funcionamiento.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Modo de funcionamiento: continuo

Tipos de pacientes a quienes está dirigido: Neonatos y adultos mayores

Parámetros del entorno un funcionamiento normal: Temperatura entre 5°C a 40°;

Humedad relativa del ambiente: 90%

Peso y tamaño del dispositivo: 260 gramos; alto = 132 mm x ancho = 50 mm x largo=118mm

Vida útil esperada del dispositivo: aproximadamente 5 años

Parámetros de rendimiento

Rango de visualización: <30,0 mg/dl

Precisión: +- 1.6 mg/dl

Unidades de medida: mg/dL

Anexo D: Carta de Compromiso y Certificaciones

CARTA DE COMPROMISO

Ambato, 1 de mayo de 2023

Por medio de la presente carta de compromiso yo IGNACIO RAÚL PAREDES SIERRA con cédula de ciudadanía 1800841759, doy mi consentimiento para ser parte de las pruebas del trabajo de titulación denominado "SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO" presentado por la Srta. Karla Katherine Velasco Paredes con cedula de ciudadanía: 1804420980, dichas pruebas fueron realizadas y evaluadas bajo un estricto control de profesionales de la salud en el Centro Gerontológico La vida es bella de la ciudad de Ambato, a su vez doy la autorización de utilizar la información obtenida para le presentación del proyecto anteriormente nombrado.


IGNACIO RAÚL PAREDES SIERRA
CI: 1800841759



Quito, 15 de marzo de 2022

CERTIFICACIÓN

Ingeniera Mg

Pilar Urrutia

DECANA

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Presente

Señora Decana:

Por medio de la presente, yo Dra. Nancy Adriana Lascano Paredes con cedula de identidad No.-1721251021 con registro del Senescyt No 1005-2019-2091609, de especialidad Medicina General certifico que he revisado el proyecto técnico "SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES ATREVES DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO", el mismo que fue diseñado en su total autoría por la Sra. Karla Katherine Velasco Paredes, con cedula de identidad No 180442098-0, egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica de Ambato.

A su vez avalo que el dispositivo fue probado y utilizado en el diagnóstico de Ictericia Neonatal y en adultos mayores en las instalaciones del Centro Médico NOVA MEDICAL CENTER. Finalmente, después de haber realizado las pruebas médicas necesarias para verificar la funcionalidad del equipo, puedo validar que los resultados obtenidos hasta la fecha actual son de gran aporte científico en el área médica logrando un manejo oportuno y poco invasivo de pacientes neonatos y personas de la tercera edad con diagnóstico de Ictericia.

Saludos cordiales,



Dra. Nancy Adriana Lascano Paredes
Médico General - CI: 1721251021
Registro Senescyt 1005-2019-2091609
Email: nalpsalud@gmail.com

CERTIFICACIÓN

Quito, 19 de marzo de 2023

Ingeniera Mg Pilar Urrutia

DECANA

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Presente

Señora Decana:

Por medio de la presente, yo Dr. Gonzalo Efraín Lascano Escobar con cédula de identidad Nro. 1800887661 con registro del Senescyt Nro. 4244R-11-909, de especialidad PEDIATRIA, que ejerzo mi profesión en mi Consultorio Privado ubicado en la Ciudad de Quito edificio Antares N11-105, avaló la funcionalidad del dispositivo de detección de Bilirrubina que forma parte del proyecto de titulación denominado “SISTEMA PARA LA DETECCIÓN CLÍNICA Y CONTROL DE ICTERICIA EN RECIÉN NACIDOS Y ADULTOS MAYORES ATREVES DE UN MÉTODO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO”, el mismo que fue elaborado y diseñado por la Srta. Karla Katherine Velasco Paredes, con cédula de identidad No 180442098-0, egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica de Ambato.

He realizado varias pruebas con el dispositivo en diferentes pacientes neonatos para medir el nivel de bilirrubina destacando los siguientes puntos:

- El dispositivo es eficaz y logra tomar medidas adecuadas del nivel de Bilirrubina en el paciente. Los resultados de las pruebas son favorables y son aceptados para un diagnóstico casi al mismo nivel de exactitud de otras pruebas de medición de Bilirrubina en sangre.
- El dispositivo es rápido y de fácil utilización facilitando la adquisición del nivel bilirrubina en los pacientes.
- Su adecuación para una conexión con un servicio de TI en la nube es muy favorable, reduciendo el tiempo de realización de la prueba y haciendo que sea casi automático el proceso de obtener una medición de bilirrubina en el paciente.

En orden de los preceptos invocados certifico la funcionalidad técnica y médica del dispositivo anteriormente descrito para su uso en el campo de la rama médica.

Saludos cordiales,



Dr. Gonzalo Efraín Lascano Escobar
PEDIATRA – SUB ESPECIALISTA EN ALERGOLOGIA
Registro Senescyt No. 4244R-11-909

Anexo E: Código de Arduino de la implementación

```
/*
 * Universidad Técnica de Ambato
 * Tesis de Grado
 * Autora: Karla Katherine Velasco Paredes
 * Título del código: Adquisición y subida de datos
 * Placa: Nodemcu esp8266
 * Objetivo: Obtener el valor de ictericia mediante un método transcutáneo
 * y subir hacia una base de datos
 * Version: 1.5
 */
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include "MapFloat.h"
const char *ssid = "ICTERICIA";
const char *password = "12345678";
const String SERVER_ADDRESS = "http://35.184.167.114";

#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#define ANCHO_PANTALLA 128 // ancho pantalla OLED
#define ALTO_PANTALLA 64 // alto pantalla OLED
// Objeto de la clase Adafruit_SSD1306
Adafruit_SSD1306 display(ANCHO_PANTALLA, ALTO_PANTALLA, &Wire, -1);
// Definimos los pines donde conectaremos las señales del sensor
#define S0 D4
#define S1 D5
#define S2 D6
#define S3 D7
#define sensorOut D8

// Variable para el cálculo del color
int pulso1 = 0;
int pulso2 = 0;
int pulso3 = 0;
int pulso11 = 0;
int pulso22 = 0;

int pulso33 = 0;
int red, green, blue;
float prblue=0.00;
float y=0.00;
int fg1=0;
int fg2=0;
int tr=0;
int P1 =D0 ; //Pulsador1
int P2= D3 ; //Pulsador2
int estado1=1;
int stb1 =0;
int estado2=0;
int stb2 =0;
int ec=0;
int valorpiel=1;
int variable=0;
int gh=0;
float primervalor=0.00;
float segundovalor=0.00;
unsigned long inicio=0;
unsigned long fin=0;
unsigned long tiempoPulsador = 0;
```

```

#define minR 94
#define maxR 549
#define minG 83
#define maxG 606
#define minB 64
#define maxB 482

void setup() {
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(S2, OUTPUT);
pinMode(S3, OUTPUT);
pinMode(sensorOut, INPUT);
pinMode(P1, INPUT);
pinMode(P2, INPUT);

// Ajuste del sensor (escalado en frecuencia al 20%)
digitalWrite(S0,HIGH);
digitalWrite(S1,LOW);

Serial.begin(9600);
if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
#ifdef __DEBUG__
    Serial.println("No se encuentra la pantalla OLED");
#endif
    while (true);
}
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1,3);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
// Posición del texto
display.setCursor(10, 10);
    display.println("SENSOR DE          BILIRRUBINA");
display.display();
delay(5000);
display.clearDisplay();
display.display();
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
    delay(1000);
    display.setTextSize(1);

// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(10, 20);
display.println("Conectando a la Red...");
display.display();

}
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(25, 20);
display.println("Conectado!");
display.display();
delay(1500);
    display.clearDisplay();
    display.display();
}

```

```

void loop() {
  display.clearDisplay();
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    display.setTextSize(0.5);
    // Color del texto
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    // Posición del texto
    display.setCursor(1,1);
    display.println("Red: No Conectado ");

  }else{
    display.setTextSize(0.5);
    // Color del texto
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    // Posición del texto
    display.setCursor(1,1);
    display.println("Red: "+String(ssid));
  }
  lectura();
  stb1 = digitalRead(P1);
  if (stb1 == HIGH && ec==0) {
    ec=1;
    inicio=millis();
  }
  if (ec==1){
    fin=millis();
    tiempoPulsador=fin-inicio;
    if (tiempoPulsador>=2000){
      estado1=10;
      ec=0;
      display.clearDisplay();
      display.display();
    }
  }
  // si se quiere medir acciones por tiempo quita la condicion del if (ce==1)
  if(stb1==LOW && ec==1){
    fin=millis();
    tiempoPulsador=fin-inicio;
    ec=0;
    if (tiempoPulsador<2000)
    {

      estado1=estado1+1;
      if (estado1>4){
        estado1=1;
      }
    }
  }
  while(estado1==10){
    lectura();
    display.clearDisplay();
    // Tamaño del texto
    display.setTextSize(1);
    // Color del texto
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    // Posición del texto
    display.setCursor(2, 32);
    display.println("R: "+String(red));
    display.setCursor(2, 42);
    display.println("G: "+String(green));
    display.setCursor(2, 52);
    display.println("A: "+String(blue));
  }
}

```

```

display.setCursor(30, 12);
display.println("%A: "+String(prblue));

display.setCursor(60, 32);
display.println("R: "+String(pulso11));
display.setCursor(60, 42);
display.println("V: "+String(pulso22));
display.setCursor(60, 52);
display.println("A: "+String(pulso33));
if (variable==1){

    fg1 = digitalRead(P2);
    if (fg1 == LOW && gh==0) {
        gh=1;
    }
    if (fg1 == HIGH&& gh==1) {
        gh=0;
        tr=tr+1;
        if (tr==1){
            primervalor=pulso33;
        }
    }
    if (tr==2){
        segundovalor=pulso33;
    }

    tr=0;
}

}
display.setCursor(1, 2);
display.println("V1: "+String(primervalor));
display.setCursor(65, 2);
display.println("V2: "+String(segundovalor));
}

display.display();
delay(100);
stb1 = digitalRead(P1);
if (stb1 == HIGH && ec==0) {
    ec=1;
    inicio=millis();
}

if (ec==1){
    fin=millis();
    tiempoPulsador=fin-inicio;
    if (tiempoPulsador>=2000){
        estado1=valorpiel;
        display.clearDisplay();
        display.display();
        ec=0;
    }
}
if(stb1==LOW && ec==1){
    fin=millis();
    tiempoPulsador=fin-inicio;
    ec=0;
}
}
}
if (estado1==1){
    variable=0;
    valorpiel=1;
    y=(-2.33333*prblue+182.6666);
}

```

```

if (y<0){
  y=0;
}
//display.clearDisplay();
display.setTextSize(1,2);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
// Posición del texto
display.setCursor(10, 10);
display.println("Tono de piel: "+String(estadol));
display.setTextSize(1);
display.setCursor(1, 25);
display.println("-----");
display.setCursor(10, 35);
display.println("BIL: "+String(y)+" mg/dl");

if (y<=4){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("NORMAL");
}
if (4 < y && y<=10){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("TEMPLADO");
}
if (10<y && y<=20){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("SEVERO");
}
if (20<y){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("CRITICO");
}

display.display();
}
if (estado1==2){
  variable=0;
  valorpiel=2;
y =(-2.625*prblue + 199.875)-63;
if (y<0){
  y=0;
}
//display.clearDisplay();
display.setTextSize(1,2);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
// Posición del texto
display.setCursor(10, 10);
display.println("Tono de piel: "+String(estadol));
display.setTextSize(1);
display.setCursor(1, 25);
display.println("-----");
display.setCursor(10, 35);
display.println("BIL: "+String(y)+" mg/dl");

if (y<=4){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("NORMAL");
}

```



```

}
if (4 < y && y<=10){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("TEMPLADO");
}
if (10<y && y<=20){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("SEVERO");
}
if (20<y){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("CRITICO");
}

display.display();
}
if (estado1==3){
    variable=0;
    valorpiel=3;
    y=(-3.134328*prblue+205.7910)-40;
    if (y<0){
        y=0;
    }

//display.clearDisplay();
display.setTextSize(1,2);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
// Posición del texto
display.setCursor(10, 10);
display.println("Tono de piel: "+String(estado1));
display.setTextSize(1);
display.setCursor(1, 25);
display.println("-----");
display.setCursor(10, 35);

display.println("BIL: "+String(y)+" mg/dl");

if (y<=4){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("NORMAL");
}
if (4 < y && y<=10){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("TEMPLADO");
}
if (10<y && y<=20){
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(30, 50);
    display.println("SEVERO");
}

```

```

}
if (20<y){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("CRITICO");
}
}
}
if (estado1==4){
  variable=1;
  valorpiel=4;
  float g=pulso33/1.00;
  y=mapFloat(g,primervalor,segundovalor,2.15,23.5);
// y=-3.134328*prblue+205.7910;
if (y<0){
  y=0;
}

//display.clearDisplay();
display.setTextSize(1,2);
// Color del texto
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
// Posición del texto
display.setCursor(10, 10);
display.println("Tono de piel: "+String(estado1));
//display.println("Tono de piel: "+String(primervalor));
display.setTextSize(1);
display.setCursor(1, 25);
display.println("-----");
display.setCursor(10, 35);
display.println("BIL: "+String(y)+" mg/dl");
//display.println("Tono de piel: "+String(segundovalor));

if (y<=4){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("NORMAL");
}
}
if (4 < y && y<=10){
  display.setTextSize(2,2);

  display.setCursor(30, 50);
  display.println("TEMPLADO");
}
}
if (10<y && y<=20){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("SEVERO");
}
}
if (20<y){
  display.setTextSize(2,2);
  display.setCursor(30, 50);
  display.println("CRITICO");
}
}

```

```

stb2 = digitalRead(P2);
if (stb2 == LOW) {
    estado2=1;
}
if(stb2==HIGH && estado2==1){
    estado2=0;
    envio();
}
}

void lectura(){
//rojo
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,LOW);
pulso1 = pulseIn(sensorOut, LOW);
pulso11=pulso1;

if(pulso1<minR) pulso1 = minR;
if(pulso1>maxR) pulso1 = maxR;

red = map(pulso1, minR,maxR,255,0);
delay(100);

// Filtro verde
digitalWrite(S2,HIGH);
digitalWrite(S3,HIGH);
pulso2 = pulseIn(sensorOut, LOW);
pulso22=pulso2;

if(pulso2<minG) pulso2 = minG;
if(pulso2>maxG) pulso2 = maxG;

green = map(pulso2, minG,maxG,255,0);
delay(100);

// Filtro azul
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,HIGH);
pulso3 = pulseIn(sensorOut, LOW);
pulso33=pulso3;

if(pulso3<minB) pulso3 = minB;
if(pulso3>maxB) pulso3 = maxB;

blue = map(pulso3, minB,maxB,255,0);
delay(100);
blue=blue*100;
prblue=((blue*100/255));
blue=blue/100;
prblue=prblue/100;
//prblue = map(blue, 255,0,100,0);

delay(100);
}
void envio(){
    HTTPClient http;
    String full_url = SERVER_ADDRESS + "/subida.php?nivel=" + String (y);
    http.begin(full_url);

```

```

int httpCode = http.GET();
if (httpCode > 0)
{
  if (httpCode == HTTP_CODE_OK)
  {
    display.clearDisplay();

    display.setTextSize(1,2);
    // Color del texto
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    // Posición del texto
    display.setCursor(25, 20);
    display.println(String(y)+" mg/dl" );
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(15, 40);
    display.println("ENVIADO");
  }
  else
  {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2,2);
    // Color del texto
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    // Posición del texto
    display.setCursor(25, 25);
    display.println(" DATO ");
    display.setTextSize(2,2);
    display.setCursor(15, 40);
    display.println("NO ENVIADO");
  }
}
else
{
}
display.display();
delay(3000);
display.clearDisplay();
display.display();

}
display.display();
delay(3000);
display.clearDisplay();
display.display();

http.end(); //Close connection
// And wait 5 seconds
}

```