



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO
DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS.**

Trabajo de Integración Curricular Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado
previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la Información y sistemas de
control

AUTOR: Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval

TUTOR: Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova, Mg.

Ambato – Ecuador

marzo - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular con el tema: SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del Título de Tercer Nivel, de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2022.

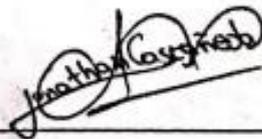
Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de Integración Curricular titulado: SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS 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, marzo 2022.



Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval

C.C. 1805028121

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Integración Curricular presentado por el señor Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y sus reformas y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, marzo 2022.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanni Brito, Mg.

PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Santiago Manzano, Mg.

PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Integración Curricular 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, marzo 2022.



Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval

C.C. 1805028121

AUTOR

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación se lo dedico a mis padres y hermana por ser mi apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi vida por haberme educado con grandes valores y humildad que me han permitido ser un buen ser humano y futuro profesional.

Pocho

Agradecimiento

A mi familia por su constante aliento durante toda la carrera, a mis amigos por los grandes momentos de alegría, estrés y melancolía a mi lado; a los docentes que forjaron mis conocimientos durante la carrera, quienes fueron mi guía durante todo el proceso.

Pocho

ÍNDICE GENERAL

<i>APROBACIÓN DEL TUTOR</i>	<i>ii</i>
<i>AUTORÍA</i>	<i>iii</i>
<i>APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO</i>	<i>iv</i>
<i>DERECHOS DE AUTOR</i>	<i>v</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>vi</i>
<i>Agradecimiento</i>	<i>vii</i>
<i>RESUMEN EJECUTIVO</i>	<i>xvi</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xvii</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>1</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i>	<i>1</i>
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Contextualización del problema	3
1.3 Fundamentación teórica	5
1.3.1 Enfermedades Neonatales	5
1.3.2 Hiperbilirrubinemia.....	8
1.3.2.1 Patrones Clínicos.....	9
1.3.2.2 Tipos de Hiperbilirrubinemia neonatal	9
1.3.2.3 Cuadro Clínico	10
1.3.2.4 Diagnóstico	12
Técnica óptica	14
Técnica de procesamiento de imágenes	15
Dispositivo electrónico o gadget.....	15
Técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz	15
1.3.2.5 Exámenes complementarios.....	16
1.3.2.6 Tratamiento	16
1.3.3 Sistemas de control de medición	17
Tarjeta de adquisición de datos o DAQ	18
1.3.4 Sensores	19

1.3.5 Servidor en la nube.....	22
1.3.6 Sistema gestor de base de datos	24
1.3.6.1 MySQL.....	24
1.4 Objetivos	28
Objetivo general	28
Objetivos específicos	28
<i>CAPÍTULO II.....</i>	29
<i>METODOLOGÍA.....</i>	29
2.1 Materiales.....	29
2.2 Métodos	29
2.2.1 Modalidad de la Investigación	29
2.2.2 Recolección de Información	30
2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos	30
2.2.4 Propuesta de Solución	30
2.2.5 Desarrollo del Proyecto	30
<i>CAPITULO III.....</i>	33
<i>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</i>	33
3.1 Análisis y discusión de los resultados	33
3.2 Desarrollo de la propuesta	33
3.3 Cuadro clínico de interés dentro de la hiperbilirrubinemia.....	34
3.4 Métodos de detección no invasivos	35
3.5 Consideraciones clínicas y tecnológicas en la implementación del bilirrubinómetro.....	36
3.5.1 Consideraciones clínicas	37
3.5.2 Consideraciones electrónicas	38
3.5.3 Manual de uso	38
3.6 Elementos del modelo de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz.....	39
3.7 Variables de interés del modelo	40

3.7.1 Diodo emisor de luz	40
3.7.2 Reflectancia.....	40
3.7.3 Datos clínicos del paciente.....	40
3.8 Análisis de los componentes electrónicos	41
3.8.1 Selección del diodo emisor de luz.....	41
3.8.2 Selección del sensor de voltaje óptico de luz.....	42
3.8.3 Selección de la tecnología inalámbrica	43
3.8.4 Selección del dispositivo de adquisición de datos.	44
3.9 Diseño del esquema de funcionamiento del prototipo	45
3.9 Diseño del sistema de medición análoga para estimar la bilirrubina sérica	46
3.9.1 Prueba de funcionamiento del sensor.....	50
3.10 Diseño del sistema de adquisición, gestión y visualización.....	52
3.11 Programación y requerimientos del diseño del software.....	58
3.11.1 Programación del algoritmo de cálculo.....	60
3.12 Etapa de adquisición	62
3.12.1 Selección del framework web para Python.....	62
3.12.2 Selección de la base de datos	64
3.12.3 Instalación de librerías y herramientas para el prototipado	66
3.12.4 Creación de la base de datos local.....	70
3.12.5 Conexión de la base de datos con el microcontrolador.....	73
3.12.6 Servidor web	78
3.12.6.1 Desarrollo de la aplicación web – Python.....	79
3.12.6.2 Página web - login.....	79
3.12.6.3 Página web –historia clínica	82
3.12.6.4 Página web – medición	85
3.12.6.5 Página web – búsqueda	87
3.12.6.6 Página web – información.....	91
3.13 Resultados	93
3.13.1 Ars-Medical.....	93
3.13.2 Pruebas de funcionamiento	94

3.14 Presupuesto	107
CAPÍTULO IV	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
4.1 Conclusiones	110
4.2 Recomendaciones	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	117
ANEXO 1: Certificación Médica	118
ANEXO 2: Hoja de Datos Técnicos del Sensor Tsl257	119
ANEXO 3: Hoja de Datos Técnicos del Microcontrolador NodeMCU ESP8266	126
ANEXO 4: Código Fuente del Algoritmo y Envío de Datos al Protocolo de Comunicación	132
ANEXO 5: Código Fuente de la Recepción de Datos y Envío a la Base De Datos	136
ANEXO 6: CÓDIGO FUENTE DEL SERVIDOR WEB Y REGISTRO DEL HISTORIAL CLÍNICO	138
ANEXO 7: Código de Estructura de las Páginas Web	142
ANEXO 8: Código de Página Web de Login	144
ANEXO 9: Código de Página Web de Medición y Registro del Examen Médico	147
ANEXO 10: Código de Página Web de Búsqueda	150
ANEXO 11: Código de Página Web de Búsqueda-Ejecución	151
ANEXO 12: Código de Página Web de Información	152
ANEXO 13: Manual de usuario para la utilización del prototipo	154
ANEXO 14: Validación Dra. Jaddy Vanessa Castañeda Sandoval	165

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1 Principales causas de morbilidad en Ecuador y su comportamiento anual [12]</i>	7
<i>Ilustración 2 Patologías que afectan al sistema enzimático del hígado [15]</i>	8
<i>Ilustración 3 Escalas de Kramer [16]</i>	11
<i>Ilustración 4 Neonato con sintomatología de Ictericia Severa [15]</i>	13
<i>Ilustración 5 Tratamiento con fototerapia para recién nacidos [19]</i>	17
<i>Ilustración 6 Sistema digital de adquisición de datos. [20]</i>	17
<i>Ilustración 7 Diagrama de Bloques de un DAQ [22]</i>	18
<i>Ilustración 8 Sensores fotoeléctrico - Modelo reflectivo [26]</i>	20
<i>Ilustración 9 Sensores fotoeléctrico - Modelo de barrera [26]</i>	20
<i>Ilustración 10 Sensores fotoeléctrico - Modelo retro reflectivo [26]</i>	21
<i>Ilustración 11 Fotodiodo [27]</i>	21
<i>Ilustración 12 Fototransistor [28]</i>	22
<i>Ilustración 13 NodeMCU [33]</i>	26
<i>Ilustración 14 Arduino [35]</i>	27
<i>Ilustración 15 Elementos del modelo de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz</i>	39
<i>Ilustración 16 Diodo emisor de luz azul [42]</i>	41
<i>Ilustración 17 Sensor de luz TSL257 [46]</i>	43
<i>Ilustración 18 Microcontrolador ESP8266 [51]</i>	45
<i>Ilustración 19 Diagrama de bloques del proceso de desarrollo del sistema de medición y control</i>	45
<i>Ilustración 20 Diagrama de procesos del sistema de medición</i>	47
<i>Ilustración 21 Diseño electrónico del sistema de medición</i>	47
<i>Ilustración 22 Diseño PCB - Dispositivo de medición</i>	48
<i>Ilustración 23 Circuito 3D esquemático</i>	48
<i>Ilustración 24 Dimensiones del prototipo de medición</i>	49
<i>Ilustración 25 Vista isométrica del dispositivo de medición</i>	49
<i>Ilustración 26 Implementación del sistema de medición análoga</i>	50
<i>Ilustración 27 Dispositivo de medición</i>	50
<i>Ilustración 28 Prueba de funcionamiento.</i>	51
<i>Ilustración 29 Prueba en zona negra</i>	51

<i>Ilustración 30 Sensor calibrado.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 31 Diagrama de implementación del sistema de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 32Diseño PCB - Sistema de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 33 Circuito 3D esquemático - Sistema de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 34 Dimensiones del prototipo de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 35 Caja - Vista Isotrópica del sistema de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 36 Tapa - Vista Isotrópica del sistema de adquisición, gestión y visualización</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 37 Implementación del sistema de adquisición, gestión y visualización.</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 38 Sistema de adquisición, gestión y visualización.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 39 Diseño del modelo de implementación del prototipo.</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 40 Ars – Medical</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 41 Archivos - Comunicación Flask.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 42 Panel de Control XAMPP.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 43 Diseño del envío de datos.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 44 Variables - Tabla Doctores</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 45 Variables - Tabla Medición</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 46 Variables - Tabla Paciente.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 47 Conectividad y envío de datos – Microcontrolador</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 48 Suscripción y registro – Paho.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 49 Registro en la base de datos – MySQL.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 50 Diseño del Servidor Web.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 51 Pagina web – Login</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 52 Página web - Login - falta de seguridad</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 53 Pagina web – Historia Clínica.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 54 Pagina web – Historia Clínica – Registro</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 55 Base de datos - Historia Clínica – Registro</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 56 Pagina web – Medición.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 57 Pagina web – Medición – Registro</i>	<i>87</i>

<i>Ilustración 58 Base de datos – Medición – Registro</i>	87
<i>Ilustración 59 Pagina web – Búsqueda</i>	89
<i>Ilustración 60 Pagina web - Búsqueda realizada</i>	90
<i>Ilustración 61 Página web- Reporte del Paciente</i>	90
<i>Ilustración 62 Pagina web – Información</i>	92
<i>Ilustración 63 Pagina web - Tablas NICE</i>	92
<i>Ilustración 64 Ars-Medical</i>	93
<i>Ilustración 65 Gráfica Bilirrubina Grupo 1 – Prototipo</i>	104
<i>Ilustración 66 Gráfica Bilirrubina Grupo 1 - Examen de Sangre</i>	104
<i>Ilustración 67 Gráfica comparativa: Prototipo - Examen de Sangre Grupo 1</i>	105
<i>Ilustración 68 Gráfica Bilirrubina Grupo 2 – Prototipo</i>	106
<i>Ilustración 69 Gráfica Bilirrubina Grupo 2 - Examen de Sangre</i>	106
<i>Ilustración 70 Gráfica comparativa: Prototipo - Examen de Sangre Grupo 2</i>	106

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Enfermedades más frecuentes por edad</i>	6
<i>Tabla 2 Incremento en la producción de bilirrubina</i>	9
<i>Tabla 3 Disminución en la captación y conjugación hepática</i>	10
<i>Tabla 4 Dificultad o eliminación disminuida de bilirrubina</i>	10
<i>Tabla 5 Causas de la hiperbilirrubinemia según el momento de aparición</i>	12
<i>Tabla 6 Servidor en la Nube, características.</i>	23
<i>Tabla 7 Características técnicas de MySQL</i>	25
<i>Tabla 8 Actividades -1</i>	31
<i>Tabla 9 Actividades - 2</i>	32
<i>Tabla 10 Sintomatología de la hiperbilirrubinemia - 1</i>	34
<i>Tabla 11 Sintomatología de la hiperbilirrubinemia - 2</i>	35
<i>Tabla 12 Métodos de detección no invasivos -1</i>	35
<i>Tabla 13 Métodos de detección no invasivos -2</i>	36
<i>Tabla 14 Comparación de las características de las luces led de alta luminosidad</i>	41
<i>Tabla 15 Comparación de las características Sensores de luz de alta sensibilidad</i>	42
<i>Tabla 16 Comparación de las características de los sistemas de alimentación</i>	43

<i>Tabla 17 Comparación de las características de dispositivos de adquisición de datos</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 18 Conexión entre el Sensor TSL 257 y el microcontrolador</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 19 Conexión entre el LED de medición y el microcontrolador</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 20 Conexión entre los LED's de apoyo y el microcontrolador</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 21 Conexión entre la LCD i2c y el microcontrolador</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 22 Conexión entre el Pulsador y el microcontrolador</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 23 Nivel de decisión del prototipo</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 24 Comparación de framework para Python.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 25 Características de las bases de datos -1</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 26 Características de las bases de datos -1</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 27 Pruebas con el prototipo y examen de sangre - Grupo 1</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 28 Datos Clínicos de los sujetos de prueba – Grupo 1 (1).....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 29 Datos Clínicos de los sujetos de prueba – Grupo 1 (2).....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 30 Datos Clínicos de los sujetos de prueba - Grupo 2</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 31 Valores de bilirrubina sérica – prototipo – Grupo 1</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 32 Valores de bilirrubina sérica - examen de sangre – Grupo 1</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 33 Porcentaje de Error – Prototipo con Examen – Grupo 1</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 34 Valores de bilirrubina sérica – Grupo 2</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 35 Porcentaje de Error – Prototipo con Examen – Grupo 2</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 36 Presupuesto de construcción-1</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 37 Presupuesto Total</i>	<i>109</i>

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto investigativo se enfocó en la implementación de un sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia para neonatos, su importancia radica en el desarrollo de un prototipo que permita la lectura rápida y eficiente de bilirrubina, estableciendo métodos de gestión y control de los registros clínicos de los pacientes, llegando a agilizar el proceso de detección y diagnóstico de hiperbilirrubinemia.

El sistema consta de diversas etapas de aplicación. La etapa de sensorización y adquisición de datos la cual cuenta con la implementación de un sensor de luz óptico de alta sensibilidad en conjunto con un led azul (425-475 nm.) aquí se envía la muestra inicial de la cantidad de luz reflectada en la piel del neonato, por medio de la aplicación del dispositivo de medición análoga. La etapa de procesamiento y decisión se centra en el acondicionamiento de la señal receptada de la anterior etapa y con la implementación de un algoritmo matemático se procesa la señal enviada por medio de un microcontrolador NodeMCU esp8266 que calcula la concentración de bilirrubina en la sangre del neonato e implementar un sistema de decisión del riesgo de padecer hiperbilirrubinemia. La etapa de gestión web implementa la utilización un servidor web local, con Flask y con acceso a una base de datos en MySQL donde se gestiona, almacena y registra las historias y cuadros clínicos de los pacientes mediante la información ingresado por el personal médico, dentro de la base de datos se utilizó el protocolo de comunicación MQTT que recepta la información de bilirrubina enviada por el microcontrolador, la cual registra con los datos clínicos y prescripciones dadas al paciente.

El diseño de este prototipo se espera que sea de gran ayuda para los centros médicos de todo el país, presentando como ejes de ayuda principales:

- No generar sufrimiento al neonato.
- Brindar mayor accesibilidad a dispositivos no invasivos de detección de bilirrubina.
- Economizar costos de producción y venta de prototipos de esta categoría.
- Facilitar la gestión de los registros clínicos con herramientas de ayuda.

Palabras clave: Bilirrubina, detección, monitoreo, neonatos, transcutáneo.

ABSTRACT

The present project focused on the implementation of a non-invasive transcutaneous detection and monitoring system of hyperbilirubinemia for neonates, the importance of this research eradicates in the development of a prototype that allows a quick and efficient reading of bilirubin, establishing methods of management and control of clinical records of patients, improving the detection and diagnosis of hyperbilirubinemia.

The system consists of various stages of application. The sensorization and data acquisition stage, that includes a high-sensitivity optical light sensor with a blue LED (425-475 nm.) the light is reflected in the skin of the baby, through the application of the analog measurement device. The processing and decision stage focuses on the conditioning of the signal received from the previous stage with the implementation of a mathematical algorithm, the signal sent is processed by a NodeMCU esp8266 microcontroller that calculates the concentration of bilirubin in the blood of newborn's and implements a decision system that determine the level of jaundice. The web management stage implements a local web server, with Flask and MySQL database where the histories and clinical charts of patients are managed, stored, and recorded through the information entered by the medical staff, here the MQTT communication protocol will be used, which will receive the bilirubin information sent by the microcontroller that register the clinical data and prescriptions given to the patient.

The design of this prototype is expected to be of great help to medical centers throughout the country, presenting as main axes of help:

- Don't cause suffering to the newborn.
- Provide accessibility to non-invasive bilirubin detection devices.
- Save costs of production and sale of prototypes in this category.
- Facilitate the management of clinical records with help tools.

Keywords: Bilirubin, detection, monitoring, neonates, transcutaneous.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

En la actualidad se han presentado varios proyectos investigativos de carácter práctico y teórico que recopilan las principales técnicas de detección y monitoreo de la concentración de bilirrubina en neonatos, los cuales están estrechamente relacionados con la electrónica y las telecomunicaciones, entre estos estudios se pueden destacar los siguientes:

Para la revista ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences en el año 2015 se ejecutó una investigación a cargo de Ali N., Mohd Muji S., Joret A., Amirulah R., Podari N. y Dol Risep N., titulado **“Técnica Óptica para la Detección de Ictericia”**, que trata de un estudio orientado al método de detección de bilirrubina de una manera no invasiva, el mismo que mediante el uso de Arduino Uno, Fotodiodos y Fotorreceptores se desarrolló un prototipo de detección de ictericia en recién nacidos, y que mediante la aplicación de base de datos en SQLyog y el software Visual Basic se realizó un monitoreo del nivel de ictericia a través de sistemas en línea, este trabajo presentó una nueva técnica de detección de hiperbilirrubinemia utilizando una técnica no invasiva, el mismo que presenta un porcentaje de predicción de concentración de bilirrubina dividido en tres niveles de condición de ictericia, con valores entre 1 – 4 mg/dl para una ictericia normal, de 7 – 19 mg/dl para un valor medio y entre 15 -20 mg/dl para un nivel crítico de concentración de bilirrubina. [1]

McEwen Mark y Reynolds Karen de Flinders University, de Australia en el año 2006 realizaron un trabajo investigativo denominado **“Detección no invasiva de bilirrubina mediante absorción pulsátil”**, en el cual presentaron una investigación sobre la viabilidad de supervisar la concentración de bilirrubina de los neonatos mediante el uso de absorbancia ligera de manera similar que la oximetría de pulso, el cual cuenta con el uso de diodos emisores de luz (LED) rojo e infrarrojo y fotorreceptores que permiten detectar la concentración de oxihemoglobina y de hemoglobina en la piel, esta técnica de implementación expuso un análisis de monitoreo directo de la bilirrubina mediante el uso de luz de alta potencia, en este proyecto investigativo se incluyen cálculos de medición que pueden citarse como un

porcentaje de la concentración de bilirrubina y hemoglobina en diferentes longitudes de ondas, donde se detectó que hay una absorbancia mucho más alta alrededor de los 480 nm (donde la bilirrubina puede detectarse más fácilmente) que en las regiones de 660 – 940 nm. [2]

En el año 2018, para el Journal of Engineering Research and Education, Akmal Fahmi, Yusoof Mohd y Khalid Karniza proporcionaron un estudio teórico de los diversos métodos de detección no invasiva y monitoreo de la ictericia neonatal denominado **“Métodos para determinar el nivel de bilirrubina en la detección y monitoreo de la ictericia neonatal: Una revisión de la literatura”**, donde presentan diferentes métodos que incluyen técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz, la técnica óptica y la técnica de procesamiento de imágenes, en este estudio presentaron las prácticas actuales más comunes utilizadas en los hospitales en el período postnatal temprano, demostrando que el principal método de diagnóstico y monitoreo estándar es el de punción de talón (técnica invasiva), mientras que el método de medición no invasivo más utilizado y con un mejor análisis en la detección de ictericia es la técnica de detección transcutánea cuya técnica diferencia la decoloración amarilla de la piel escaldada como una estimación de la concentración de bilirrubina, cabe destacar que dentro de este paper no se han mencionado materiales principales de estudio. [3]

En el trabajo de investigación denominado **“Prototipado rápido de oxímetro de pulso usando Arduino”** del año 2016 para el International Journal of Technical Research & Science, realizado por Babu Umesh, Sharma Meenakshi y el Dr. Lini Mathew, implementaron un diseño de un sistema de detección y control de la saturación de oxígeno, basado principalmente en Arduino, el mismo que consta de un sensor de fototransistor para la detección de la onda de pulso y el microcontrolador Arduino que se utiliza para analizar la onda de pulso y poder calcular la saturación de la sangre, donde los resultados se muestran en un diodo emisor de luz, este proyecto dispuso de un prototipo de sonda construido con componentes económicos que llegan a adquirir las señales biológicas para determinar niveles altos de bilirrubina, el método de detección utilizado en este prototipo presenta resultados eficientes que pueden presentar mejoras en la aplicación de módulos reflectantes a través del tejido corporal que se pueden adaptar a diseños de detección de los niveles de concentración de

bilirrubina en la sangre y aplicar los criterios de procesamiento de señales y la separación de los diferentes espectros biológicos de los neonatos. [4]

Para la Universidad de Sao Paulo en Brasil, en el año 2009 se presentó un trabajo denominado **“Un Medidor de Bilirrubina Basado en Led de Bajo Costo”** desarrollado por Azeka, L y Paiva, M, investigadores que desarrollaron un dispositivo que mediante el uso de recursos como LED de alta intensidad luminosa y luz para fotorreceptores digitales evalúa un medidor de bilirrubina de bajo costo, mismo que posee una fiabilidad, precisión y simplicidad de los equipos presentes en el mercado, en este estudio se han realizado ensayos que muestran una linealidad óptima del mismo con una precisión de 1 mg/dl, con una gran relación con los resultados de los bilirrubinómetros comerciales, este dispositivo cuenta con el uso de un LED ultra brillante blanco y fotosensores especiales, que con la ayuda de filtros y lentes demuestran una gran efectividad en la evaluación rápida y precisa de la concentración de bilirrubina en los neonatos. [5]

1.2 Contextualización del problema

La hiperbilirrubinemia neonatal es una enfermedad determinada fuertemente por la mutación genética de los glóbulos rojos dentro de un recién nacido, normalmente la placenta es la encargada de eliminar la bilirrubina del cuerpo del feto, y aún después del nacimiento el hígado del neonato comienza a eliminar la bilirrubina, pero al no tener el desarrollo necesario para que se cumpla este trabajo de manera eficiente, se desarrolla la ictericia neonatal, que torna la piel de los recién nacidos en un color amarillento, esta enfermedad es más notoria entre los 2 a 4 días de su nacimiento, y pese a no ser una enfermedad agresiva al no ser detectada y tratada a temprana edad puede llegar a traer complicaciones médicas a futuro, principalmente se caracteriza por aumentar la probabilidad de encefalopatía bilirrubínica, que se caracteriza principalmente por generar hipertonia progresiva, crisis convulsivas e incluso la muerte. [6]

Esta enfermedad es una de las patologías más comunes en el área de neonatología, y según la Organización Mundial de la Salud es uno de los trastornos más frecuentes a nivel de América, esto se debe principalmente al descuido de la salud en los neonatos, lo que ha conllevado a que más del 70% de la mortalidad infantil se deba a esta

enfermedad, tomando como referencia, en la República de Argentina dentro de los 700.000 nacimientos anuales el 60 a 70% de neonatos presentan un cierto grado de hiperbilirrubinemia, provocando la ictericia neonatal. [7]

En el Ecuador en el año 2014 se presentaron 3.131 casos de ictericia neonatal, siendo las Provincias con mayor afectación las del Oro con 6,2% y Loja con el 15%, donde el Ministerio de Salud del Ecuador presento un informe que concluyo con la presentación de un 6,9% de ictericia neonatal no especificada, presentada como una de las patologías con mayor prevalencia en los recién nacidos, en el Hospital Pablo Arturo Suarez de Quito en el año 2017 esta enfermedad ocupo la primera y segunda causa de morbilidad en neonatología siendo el 15% (104 casos) por incompatibilidad ABO y el 11% (79 casos) no especificados. [8]

Una vez se establecieron los principales síntomas en los neonatos para la detección de hiperbilirrubinemia, debido a la falta de tecnología y/o factores económicos obligaba a las instituciones médicas a utilizar métodos invasivos para la detección y control de esta enfermedad, que pese a existir factores característicos de la enfermedad como observar el tono de la piel, o exámenes de orina y de materia fecal, el método más popular y eficaz dentro de nuestro país es la punción de talón, el cuál posee muchas desventajas frente a métodos no invasivos, tales como que estos métodos no destruyen la muestra y tienen una alta sensibilidad para la detección de compuestos orgánicos, y la cantidad de tiempo requerida para el procesamiento de la información es relativamente corta. [9]

Se puede establecer para el manejo de la ictericia neonatal un método no invasivo denominado fototerapia, este es el dispositivo más utilizado para el tratamiento de la ictericia en el Ecuador, que se basa principalmente en el uso de luces especiales fluorescentes sobre la piel desnuda del recién nacido. Una longitud de onda de luz específica permite descomponer el exceso de bilirrubina en el cuerpo del neonato, esto por medio de la orina y heces, donde basados en la edad gestional, el nivel de bilirrubina en la sangre y en la edad del recién nacido (horas), se selecciona un tiempo y potencia específicos para una mejora en el tratamiento, en el transcurso del tratamiento se realizan controles de muestra diarias, donde normalmente se sacan muestras de sangre para su análisis, una vez los niveles de bilirrubina en la sangre del recién nacido hayan disminuido lo suficiente, se puede dar de alta al mismo. [4]

En el presente proyecto la importancia radica en el desarrollo de un prototipo no invasivo que permita la lectura rápida y eficiente de la bilirrubina en neonatos, pues al ser una medida de control rutinaria en todos los hospitales y en todos los recién nacidos, se busca establecer métodos de control y medición que resulten eficientes y accesibles para las instituciones de salud del Ecuador, esto debido a que los principales dispositivos de medición de bilirrubina en el país son importados de países extranjeros y los costos de adquisición resultan sumamente elevados.

Con los datos obtenidos del diseño y análisis de los dispositivos existentes de detección no invasiva de bilirrubina se espera que este estudio sea de gran importancia para los médicos, padres y neonatos en el Ecuador, pues al agilizar los métodos de detección y control se puede evitar el sufrimiento del neonato y de los padres, al poder empezar el tratamiento sin esperar a que se realice los exámenes de laboratorio correspondientes y al economizar los costos de estos, también se busca facilitar el trabajo de los médicos pediatras para que puedan dar diagnóstico y tratamiento de una manera más eficiente y rápida, así como permitir que todas las instituciones de salud ecuatoriana tengan un acceso a dispositivos no invasivos de detección de bilirrubina a costos no muy elevados.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Enfermedades Neonatales

De manera global la gran mayoría de recién nacidos llegan con buena salud al nacimiento, pero a veces los neonatos desarrollan enfermedades que hacen necesario la aplicación de exámenes médicos para la detección de patologías y su posterior tratamiento. Los neonatos son susceptibles a más enfermedades que adultos, jóvenes y niños debido al poco desarrollo de su sistema inmunitario, al encontrarse en crecimiento constante, el recién nacido no puede afrontar enfermedades sin tratamiento externo. A continuación, en la tabla 1 se presentan las afecciones más frecuentes por edad: [10]

Tabla 1 Enfermedades más frecuentes por edad

Edad	Enfermedades más frecuentes
< 6 meses	Hiperbilirrubinemia, hepatitis, atresia biliar
6 meses - 2 años	Enfermedades de depósito, hepatitis metabólica
2 - 5 años	Hepatitis A, virus de Epstein-Barr, Intoxicación por paracetamol
> 5 años	Hepatitis A, virus de Epstein-Barr, patologías biliares
Adolescentes	Enfermedad de Wilson, hepatitis B y C, colangitis, intoxicación alcohólica

Elaborado por el Investigador en base a [11]

Los neonatos enfermos deben permanecer monitoreados constantemente dentro de una unidad hospitalaria y dado la complejidad de la afección en UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), para poder recuperarse. Esto normalmente ocasiona pánico en los padres y familiares que al verlo tan frágil tratan de cuidarlo y causarle el menor daño posible, hasta que pueda superar la enfermedad y ser dado de alta del hospital. El trabajo de investigación realizado por el Ministerio de Salud Pública en el periodo comprendido entre enero 2014 a agosto 2017 en los Institutos Ecuatorianos de Salud Social del país. Se realizó un estudio retrospectivo y descriptivo; cuyo objetivo fue determinar el porcentaje de mortalidad de los recién nacidos dentro de los primeros 28 días de vida. Del cual se concluyó que el aumento de la tasa de mortalidad está directamente relacionado con la falta de control gestacional. Las principales causas de mortalidad infantil son patologías respiratorias, sepsis bacteriana, trastornos por prematures, bajo peso, malformaciones congénitas y asfixia. [12]

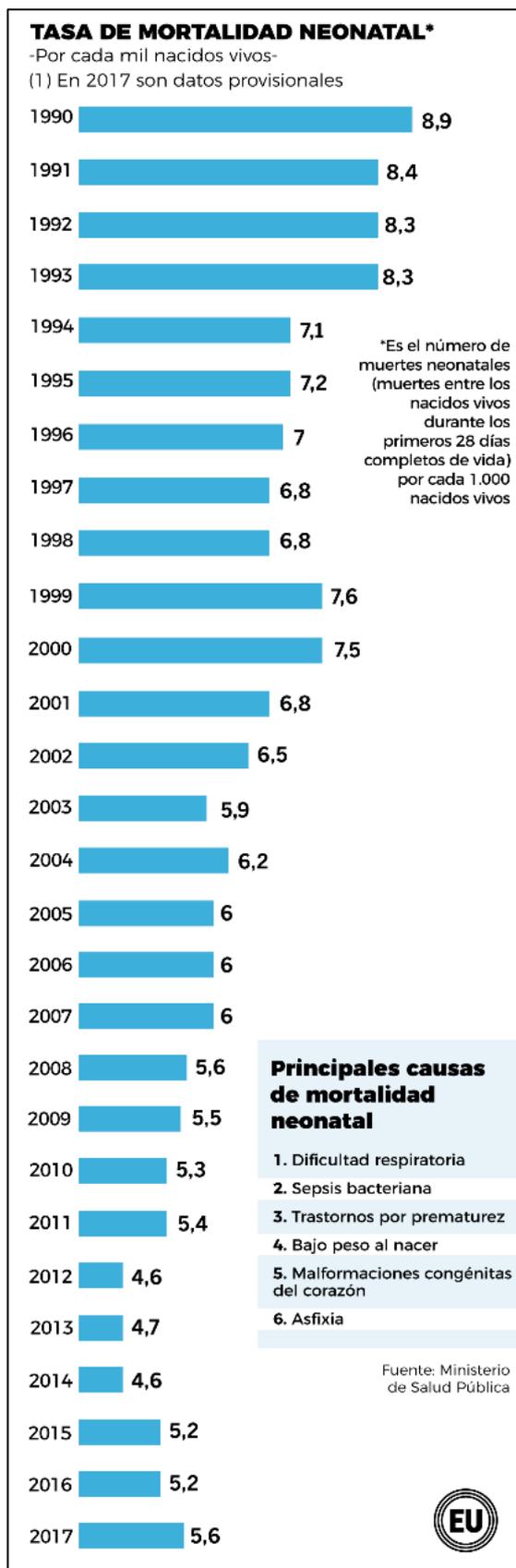


Ilustración 1 Principales causas de morbilidad en Ecuador y su comportamiento anual [12]

En las principales patologías de mortalidad neonatal se incluyen: [13]

- Afecciones Perinatales
- Malformaciones Congénitas
- Infecciones Agudas
- Alteraciones Respiratorias
- Patologías Cerebrales
- Hiperbilirrubinemia

1.3.2 Hiperbilirrubinemia

La hiperbilirrubinemia es una patología presentada por el incremento de bilirrubina en la sangre; la bilirrubina se presenta por descomposición de los glóbulos rojos. Constituye uno de los casos clínicos de mayor frecuencia en los neonatos, esto se presenta debido a que la presencia de bilirrubina en la sangre siempre se encuentra presente al momento del alumbramiento y dependiendo del caso clínico se puede alcanzar concentraciones tóxicas. Los altos niveles de bilirrubina pueden generar patologías graves como la aparición de Kernicterus. [14]

Esta patología se manifiesta con la presencia del color amarillento en la piel, ojos y la mucosa del recién nacido; este pigmento es procedente del catabolismo de la hemoglobina y de otras hemoproteínas, denominada ictericia. Su aparición es siempre consecutiva a una alteración del metabolismo y derivado del mismo que se detecta cuando su concentración plasmática es mayor a los 2 mg/dl. [14]

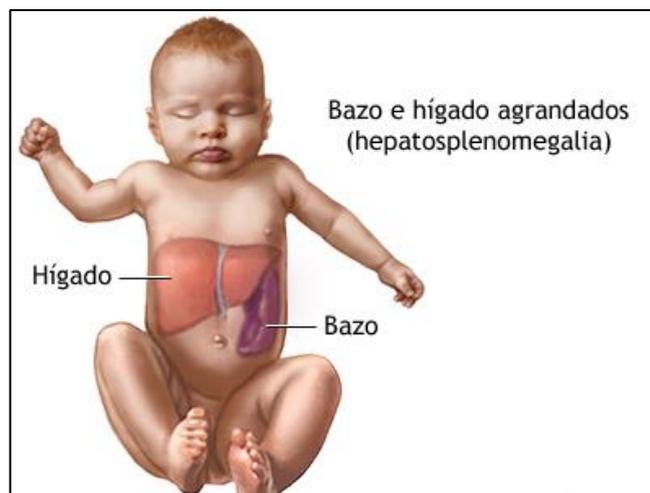


Ilustración 2 Patologías que afectan al sistema enzimático del hígado [15]

1.3.2.1 Patrones Clínicos

Hiperbilirrubinemia severa temprana

La hiperbilirrubinemia severa temprana es un cuadro clínico de alto riesgo en la cual se produce un incremento anormal de la bilirrubina en la sangre en un periodo comprendido entre las primeras 72 horas de vida. Los niveles séricos se encuentran por encima del percentil 75 y pueden desencadenar patologías graves. [16]

Hiperbilirrubinemia severa tardía

La hiperbilirrubinemia severa tardía se presenta posterior a las primeras 72 horas de vida. Está relacionada con problemas en la eliminación de la bilirrubina, lactancia o leche materna, estreñimiento, entre otros. La misma que representa un alto factor de riesgo por la aparición de neurotoxinas y trastornos graves derivadas de la misma. [16]

1.3.2.2 Tipos de Hiperbilirrubinemia neonatal

En las tablas 2, 3 y 4 se presenta los diferentes tipos de hiperbilirrubinemia neonatal existentes, clasificadas por el cuadro clínico de cada paciente y su capacidad de adaptación a la patología.

Tabla 2 Incremento en la producción de bilirrubina

<i>1. Incremento en la producción de bilirrubina</i>	
<i>Por hemólisis</i>	<i>Por causas no hemolíticas</i>
Incompatibilidad por factor Rh, ABO y grupos menores.	Céfalo hematoma, hemorragias, sangre digerida
Defectos enzimáticos de los eritrocitos: deficiencia de la G6PD, deficiencia de piruvato-cinasa, etc.	Policitemia: ligadura del cordón umbilical, transfusión feto-fetal, etc.
Defectos estructurales de los eritrocitos: esferocitosis, eliptocitosis, etc.	Aumento de la circulación enterohepática: ayuno, ingesta oral, deficiente, obstrucción intestinal, etc.
Administración de fármacos.	
Infecciones y septicemia neonatal	

Elaborado por el Investigador en base a [16]

Tabla 3 Disminución en la captación y conjugación hepática

2. Disminución en la captación y conjugación hepática
Ictericia fisiológica.
Síndrome de Gilbert, síndrome de Crigler-Najjar, síndrome de Lucey-Driscoll.
Hipotiroidismo e hipopituitarismo.
Ictericia por leche materna.

Elaborado por el Investigador en base a [16]

Tabla 4 Dificultad o eliminación disminuida de bilirrubina

3. Dificultad o eliminación disminuida de bilirrubina
Infecciones: sepsis, infección de vía urinaria, infecciones perinatales, etc.
Obstrucción biliar: hepatitis neonatal, atresia biliar, quiste del colédoco.
Problemas metabólicos: enfermedad fibroquística, galactosemia, hipotiroidismo, etc.
Anomalías cromosómicas: síndrome de Turner, síndrome de Down.
Drogas: acetaminofén, alcohol, rifampicina, eritromicina, corticosteroides, etc.

Elaborado por el Investigador en base a [16]

1.3.2.3 Cuadro Clínico

La hiperbilirrubinemia se presenta con una sintomatología derivada del mal funcionamiento del sistema enzimático del hígado, presentando factores que predisponen el diagnóstico de la patología como: [16]

- Menor sobrevida de los glóbulos rojos
- Ingesta oral disminuida
- Presencia de hematomas y sangrados
- Insuficiente funcionalidad hepática
- Ictericia

Ictericia

La ictericia es el cuadro clínico más evidente para el diagnóstico de patologías subsecuentes de la hiperbilirrubinemia. Esta se hace presente cuando los niveles de bilirrubina son superiores a 4-5 mg/dl; donde un 1gr. de hemoglobina genera 35 mg. de bilirrubina lo que desencadena en la formación de 8-10 mg. de bilirrubina diaria derivada de cada kilogramo del peso corporal. [16]

Este síntoma posee un progreso en sentido cefalocaudal, la cual está conformada por zonas de medición de los niveles séricos de la bilirrubina.

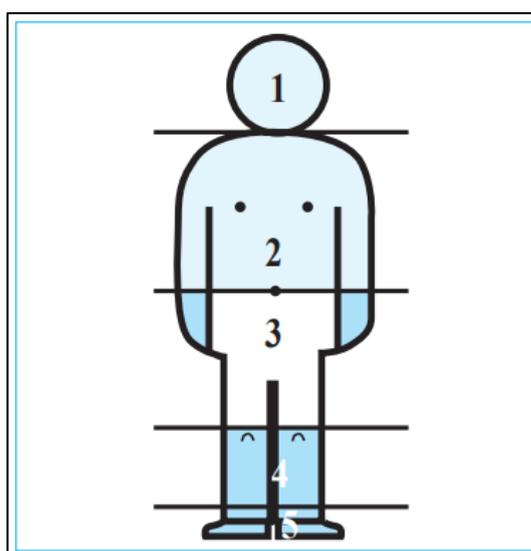


Ilustración 3 Escalas de Kramer [16]

Estas zonas comprendidas en la escala de Kramer siguen patrones de crecimiento centrados en las partes del neonato, donde:

- Zona 1 (Cabeza y cuello): < 5 mg/dl
- Zona 2 (Hasta el ombligo): 5 – 12 mg/dl
- Zona 3 (Hasta las rodillas): 8 – 16 mg/dl
- Zona 4 (Hasta los tobillos): 10 – 18 mg/dl
- Zona 5 (Plantar y palmar): > 15 mg/dl

En relación directa de los niveles de bilirrubina y su adecuado diagnóstico, es necesario tener en consideración que los cuadros clínicos se presentan en menor porcentaje en casos como: neonatos con tez oscura, policitemia, ictericia precoz y sometidos a fototerapia. [16]

1.3.2.4 Diagnóstico

El diagnóstico de la hiperbilirrubinemia se debe evaluar en base a los antecedentes de los padres y familiares del neonato al momento de inicio de la ictericia, donde el tinte icterico juega un papel importante para un diagnóstico más eficaz, por lo que es conveniente valorar la presencia de coluria y acolia ya que estos son datos de gran valor para el diagnóstico, donde el diagnóstico etiológico deberá basarse principalmente en antecedentes, signos clínicos, exámenes complementarios y el momento en el que apareció la ictericia. [17]

Tabla 5 Causas de la hiperbilirrubinemia según el momento de aparición

	<i>1° día</i>	<i>2° - 7° día</i>	<i>> 8° día</i>
<i>Frecuentes</i>	Hemolítica por isoimmunización ABO o Rh	Fisiológica	Fisiológica
		Cursos anómalos de la fisiológica	Cursos anómalos de la fisiológica
		Lactancia materna	Lactancia materna
		Hemolítica	Hemolítica
		Infeciosa	Infeciosa
		Aumento de la circulación enterohepática	Aumento de la circulación enterohepática
		Hijo de diabética	Hijo de diabética
		Reabsorción hematomas	
<i>Poco Frecuentes</i>	Infeción intrauterina	Tóxica	Otras causas y pseudobstructivas
		Reabsorción hematomas	Hepatopatías connatales
		Hijo de diabética	Endocrino metabólicas
			Tóxicas

Elaborado por el Investigador en base a [17]

Para un diagnóstico acertado del nivel de bilirrubina sérica, es necesario tomar en consideración la edad gestacional y un peso superior a 2000 gr. Las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) son nomogramas que facilitan la detección eficaz y simple de la zona de riesgo en la que se encuentra el neonato. Este modelo matemático predice la gravedad de la patología la cual consta de tres zonas de riesgo: alto riesgo, riesgo intermedio y bajo riesgo. [16]

Los nomogramas toman en consideración factores como la edad (horas) y el nivel de bilirrubina sérica para evaluar un diagnóstico y tratamiento adecuado. Estas tablas están conformadas por 13 tablas adjuntadas en los anexos y clasificadas por periodos comprendidos entre las 23 – 35 semanas gestacionales. [16]

Tipos de Diagnóstico

1. Observación

El método de observación es un diagnóstico de poca efectividad y subjetivo del cuadro clínico que se presenta. Este derivado de la visualización del color amarillento de la piel, ojos y membranas del neonato y se lo realiza de manera analítica para determinar si requiere la realización de un examen específico y/o de alta hospitalaria.



Ilustración 4 Neonato con sintomatología de Ictericia Severa [15]

2. Venopunción

La venopunción es un diagnóstico agresivo en el cual el profesional de salud toma una muestra de sangre de la vena del neonato, extrae una pequeña cantidad de sangre y mediante un proceso de análisis de laboratorio se determina la cantidad exacta de bilirrubina sérica presente al momento del examen. Los riesgos pueden ser físicos y/o psicológicos dependiendo del caso clínico, derivando principalmente a dolor leve o moretones en la zona de la prueba. [3]

3. Métodos no invasivos

Desde un punto de vista teórico se han presentado múltiples métodos de detección de bilirrubina en neonatos que han permitido determinar la concentración de bilirrubina. Existen dispositivos precisos pero invasivos para el recién nacido, entre estos podemos destacar: la punción de talón, la toma de muestra sanguínea. Por otra parte, métodos no invasivos que buscan asegurar el bienestar físico del bebe, así como el psicológico de los padres, que pueden ser: [3]

- Técnica óptica
- Técnica de procesamiento de imágenes
- Dispositivo electrónico o gadget
- Técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz

Técnica óptica

Corresponde a un método de detección de ictericia en el recién nacido, bajo el concepto del uso de absorción de luz de oxihemoglobina con diferentes longitudes de onda donde con el uso de luces LED (azul y verde) permiten discriminar la bilirrubina y la hemoglobina en los neonatos y de esta manera referenciar el nivel de concentración que se encuentra en el fotodiodo para un análisis de la luz reflejada en un microcontrolador que permite el procesamiento de la señal recibida y así determinar el nivel de concentración de bilirrubina, aquí el LED azul trabaja como una luz fuente para determinar el nivel de bilirrubina, mientras que el LED verde se utiliza con el punto de discriminación. [3]

Técnica de procesamiento de imágenes

Es un nuevo conjunto de algoritmos que permiten el diagnóstico de ictericia hereditaria, este algoritmo está compuesto por dos parámetros, el primero utiliza la Transformada Wavelet que permite analizar imágenes y el segundo corresponde al cálculo del porcentaje de escalas de gris en cada imagen presentada con la ayuda de un histograma, en esta técnica se implementan tres tipos de métodos de mejora de imagen el ajusto, transformación logarítmica y la ecualización y que con ayuda de un sistema de modelado estructurado permite la clasificación de la condición de ictericia neonatal, esta implementación técnica posee un alto rango de eficacia con un rango aproximado entre 95 % al 100% para la identificación de la enfermedad. [3]

Dispositivo electrónico o gadget

Estos corresponden a una tecnología con sistema de bajo costo en comparación con los sistemas existentes en el mercado actual el cual es presentado con el uso de una cámara de un smartphone conectada a una cámara de 8 megapíxeles, que permite detectar la ictericia de una manera estándar, este método trabaja utilizando una tarjeta de calibración colocada en el abdomen del neonato, esternón y frente que mediante un proceso algorítmico de procesamiento de las imágenes capturadas permite una detección rápida pero sujeta a errores basado principalmente en la tez de los recién nacidos. [3]

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

La técnica de absorción introduce un nuevo paradigma en la detección del nivel de concentración de bilirrubina a partir de la reflectancia en la piel del neonato, este método tiene como objetivo proporcionar una evaluación independiente de la pigmentación amarillenta de la piel del neonato e igual independiente de la iluminación y color del ambiente del recién nacido, en este proceso él bebe es sometido a una fuente de luz predeterminada por un rango de 425 nm – 545 nm, esta luz coteja de una frecuencia predeterminada para que se pueda generar señales eléctricas que se pueden procesar, estudiar y analizar con la ayuda de microcontroladores para determinar los niveles de ictericia presentes en el recién nacido. [3]

Dentro de este tipo de técnicas de detección y control de la ictericia neonatal se pueden destacar los sistemas de control de medición y adquisición de datos que corresponden

a la base central para la recolección de la información y procesamiento de esta que a posteriori derivaran en los sistemas de detección de hiperbilirrubinemia.

1.3.2.5 Exámenes complementarios

Los exámenes complementarios forman parte esencial del estudio de cada caso clínico, donde es necesario determinar el grupo y Rh sanguíneo materno y del neonato, hemoglobina, recuento de reticulocitos, prueba de Coombs, bilirrubina sérica y frotis sanguíneo. [17]

1.3.2.6 Tratamiento

Dependiendo del riesgo de afección presentado en el neonato se presentan diferentes tipos de tratamiento los cuales pueden distribuirse entre tratamientos, leves, moderadas y hasta graves, donde dependiendo del caso puede llevar a ser hospitalizado por un tiempo mayor.

Los tratamientos principales para disminuir el nivel icterico del recién nacido se presentan a continuación:

- **Mejora en la nutrición.** Este tratamiento se recomienda para todos los neonatos, especialmente para los casos leves donde puede llegar a disminuir el nivel icterico en dos o tres semanas, aquí el médico recomienda una alimentación más frecuente o suplementos para asegurar una nutrición adecuada. [18]
- **Inmunoglobulina intravenosa (IgIV).** La ictericia puede llegar a relacionarse con diferentes grupos sanguíneos de la madre y el neonato. En este tipo de afecciones, el bebé recibe anticuerpos de parte de la madre donde estos actúan rápidamente en los glóbulos rojos y los destruyen, aquí se presenta una transfusión intravenosa de inmunoglobulina (proteína que llega a reducir los niveles de anticuerpos) que pueden llegar a disminuir la ictericia y reducir la necesidad de una exanguinotransfusión. [18]
- **Exanguinotransfusión.** En los casos más complejos y de mayor gravedad se presentan tratamientos agresivos como es éste donde implica retirar pequeñas cantidades de sangre del neonato y reemplazarlas por sangre de donantes, esto se realiza de manera repetida, con el objetivo de diluir la bilirrubina y los anticuerpos maternos, y se los realiza en UCI para recién nacidos. [18]

- **Terapia con luz (fototerapia).** Una vez realizada la valoración del nivel de concentración de bilirrubina en el neonato, se procederá con el tratamiento a través de la fototerapia en espectro de luz azul-verde (luz especial azul 425-475 nm.) que es el principal tratamiento global, mismo tratamiento que ayuda al hígado eliminar los excesos de bilirrubina en el recién nacido de una manera rápida y controlada, pero que en casos extraordinarios pueden llegar a requerir técnicas invasivas como son la exanguinotransfusión. [14]



Ilustración 5 Tratamiento con fototerapia para recién nacidos [19]

1.3.3 Sistemas de control de medición

Los sistemas de control de medición corresponden a una serie de procesos objetivados a la medición, evaluación y programación de diferentes tipos de señales de entrada donde estos sistemas se consideran la parte primordial de todo el proceso ya que las mismas se formulan para el registro y manipulación de la información analógica recolectada del mundo real, aquí esta se procesa mediante una lectura análoga y se convierte a digital, también conocido como ADC, todo este proceso se puede realizar por las tarjetas de adquisición de datos o DAQ. [20]

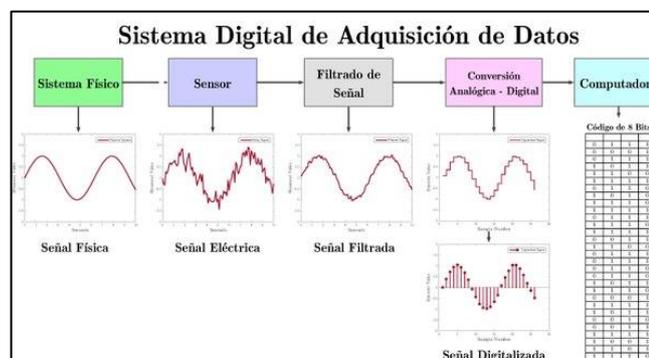


Ilustración 6 Sistema digital de adquisición de datos. [20]

Tarjeta de adquisición de datos o DAQ

Estas tarjetas funcionan principalmente como la interfaz dada entre una computadora y las señales físicas registradas por medio de sensores que actúan como receptores de información, donde el DAQ se encarga de transformar esta información recopilada en código digital, este tipo de dispositivos funcionan principalmente en tres partes esenciales: [21]

- Acondicionamiento de la señal
- Conversor Analógico-Digital
- Bus del Ordenador

Acondicionamiento de la señal. Corresponde a toda la información receptada por los sensores, la misma que puede resultar inestables para una correcta medición por lo que es necesario la aplicación de un circuito de acondicionamiento de señales que permita ajustar la información recibida con el fin de poder eliminar ruido o picos no deseados presentes en la señal funcionando como una especie de filtro que llega a funcionar como un aislante de perturbaciones que afecten a las mediciones realizadas. [21]

Conversor analógico-digital. El convertidor análogo-digital o ADC, corresponde a un traductor de códigos analógicos recibidos por los sensores en señales digitales, con la finalidad de que los equipos eléctricos la puedan procesar, analizar y leer, y que se pueda trabajar con estos. [21]

Bus del ordenador. Este dispositivo toma toda la información recolectada y procesada por las anteriores partes, la junta y la envía por un artefacto denominado bus, el mismo que permite detectar las señales interpretadas y las traduce para que estas puedan ser vislumbradas en un ordenador, esto se lo realiza en todas las ocasiones en que los DAQ son conectados a una computadora. [21]



Ilustración 7 Diagrama de Bloques de un DAQ [22]

1.3.4 Sensores

Los sensores corresponden a dispositivos capaces de detectar cambios en el entorno natural y responden con salidas a otros sistemas, estos principalmente permiten convertir las señales receptadas, en voltaje analógico, a una pantalla legible para la lectura, programación o procesamiento de la señal, y que dependiendo del tipo de sensor que se utilice la salida puede llegar a ser diferente dependiendo del caso y que permiten la lectura de diferentes fenómenos naturales, estos sensores son utilizados principalmente por sistemas DAQ que permiten la lectura, digitalización y programación de la señal presentada por estos volviéndolos más estables y flexibles, entre los principales tipos de sensores se encuentran: [23]

1.3.4.1 Sensores mecánicos

Los sensores mecánicos corresponden a un tipo de sensor utilizado principalmente para la medición una deformación o fuerza de un sujeto y/o aparato, los cuales normalmente son utilizados para verificar si el componente se encuentra sujeto a niveles seguros de carga, estos sensores están basados primordialmente en principios físicos básicos y son posibles de obtener otras cantidades físicas de manera indirecta a las mediciones que dan estos pues se derivan de los mismos principios, entre estos se encuentran: [24]

- Fuerza, esto sucede al efectuar una deformación sobre un elemento de flexión.
- Presión, al ejecutar una deformación en un diagrama flexible.
- Temperatura, a la medición de la expansión térmica de algún tipo de material.

1.3.4.2 Sensores ultrasónicos

Este tipo de sensores, tal como su nombre lo indica corresponden a dispositivos que miden la distancia desde la cual se encuentran con los objetos que se encuentran en su rango de visión, donde su principal funcionamiento se basa en la utilización de ondas ultrasónicas, el cual envía señales ultrasónicas que se reflejan en los objetos presentes frente al sensor y retornan al mismo provocando mediante cálculos básicos la correcta medición de la distancia del objeto en base al tiempo generado entre la onda emitida y la recibida. [25]

Estos tipos de sensores ultrasónicos se diferencian principalmente de los sensores ópticos ya que estos solo poseen un único elemento ultrasónico para la transmisión y recepción de la señal, permitiendo que el modelo sea más compacto y simple en comparación con los otros. [25]

1.3.4.3 Sensores fotoeléctricos

Un sensor fotoeléctrico emite haces de luz infrarroja o visible desde un elemento transmisor, la misma que se refleja en un objeto y permite ser detectada por su contraparte emisora, la principal funcionalidad del mismo es que estas dos partes se pueden separar y colocar frente al otro para detectar obstáculos o barreras que no permitan cruzar la señal, su principio general se basa en la emisión de luz y en su índice se captación de la luz emitida, dentro de estos sensores se encuentran diferentes modelos de funcionamiento: [26]

- **Modelo reflectivo.** Este modelo permite que por medio de la reflexión de la luz enviada a través de un objeto se pueda medir la cantidad de luz reflejada. [26]

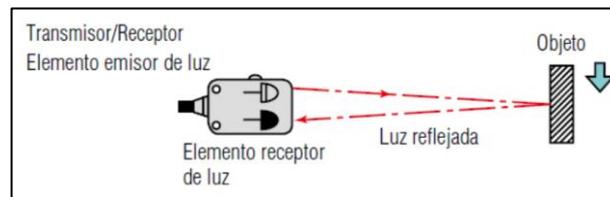


Ilustración 8 Sensores fotoeléctrico - Modelo reflectivo [26]

- **Modelo de barrera.** Aquí las dos partes del dispositivo se separan para crear una especie de línea que verifica si la luz captada es interrumpida por alguna barrera u objeto. [26]

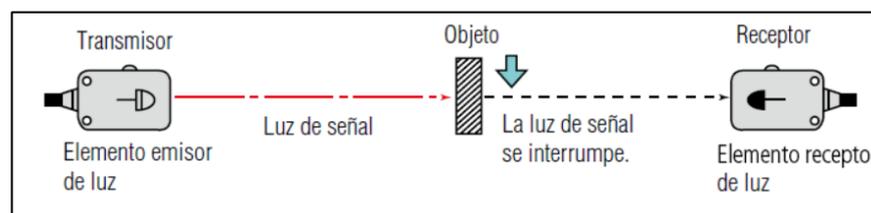


Ilustración 9 Sensores fotoeléctrico - Modelo de barrera [26]

- **Modelo retro reflectivo.** Aquí el emisor y transmisor se encuentran en un mismo lugar, pero la luz del elemento emisor incide en un material reflector y regresa al receptor. [26]

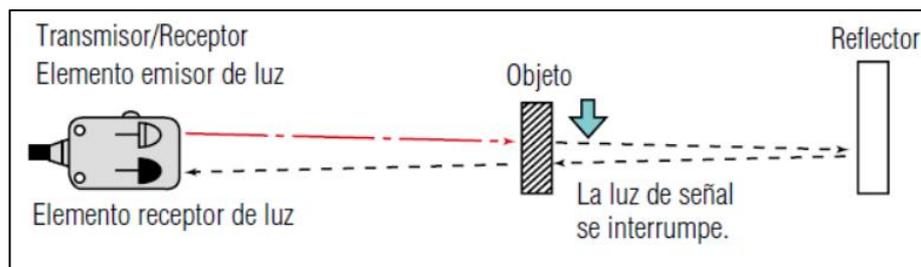


Ilustración 10 Sensores fotoeléctrico - Modelo retro reflectivo [26]

1.3.4.4 Sensores de luz

Los sensores de luz son dispositivos electrónicos capaces de medir fenómenos naturales asociados con la luz y las intensidades presentadas por la misma, aquí permite pensar la presencia o ausencia de luz, estos sensores detectan la luz visible (percibida por el ojo humano) y envían una señal en correspondencia con la intensidad de esta. [27]

Normalmente estos dispositivos son utilizados para medir los cambios de luz en el ambiente, así como la luminancia de un lugar o sitio, para poder programar ciertas acciones en un caso u otro, también dependiendo de la calidad del sensor y de la sensibilidad del dispositivo son capaces de detectar cierta longitud de onda e ignorando el resto, dentro de los sensores de luz tenemos los siguientes: [27]

- **Fotodiodo:** Los fotodiodos corresponden a dispositivos semiconductores contruidos con una unión PN, y que son principalmente utilizados por su sensibilidad a la incidencia de la luz infrarroja y visible. [27]



Ilustración 11 Fotodiodo [27]

- **LDR:** Los fotorresistores o también conocidos como LDR, son sensores de luz basados en una resistencia la misma que actúa en función a la variación de la cantidad de luz que incide sobre la superficie de este. [28]

- **Fototransistores:** Son elementos electrónicos basados principalmente en un mecanismo de compuerta y regulador de corriente, cuyo funcionamiento se fórmula en la luz, son transistores sensibles a la luz, y normalmente son fabricados con forma de transistor bipolar con una estructura de P-N sensible a la luz. [28]



Ilustración 12 Fototransistor [28]

1.3.5 Servidor en la nube

Un servidor en la nube corresponde a un servidor virtual que se encuentra ubicado en un servidor físico, este servidor permite realizar algunas funcionalidades similares a los servidores físicos pero de una manera más rentable y accesible, puesto que estos permiten agrupar, alojar, centralizar y distribuir una red a través de internet y a la cual se pueden acceder múltiples usuarios, estos servidores se caracterizan principalmente por brindar una gran potencia de almacenamiento y aplicabilidad a diferentes proyectos y empresas. [29]

Estos servidores funcionan principalmente a través de la virtualización donde se instala un software de gestión en servidores físicos y que de esta manera se pueda conectar y visualizar la información dada, principalmente se caracterizan por que son escalables y automatizados para el uso compartido del mismo, por lo que este servidor de nube en la actualidad se utiliza principalmente para realizar cargas temporales de trabajo, donde los usuarios plantean el espacio de trabajo en el proveedor lo ejecutan y lo utilizan de una manera más simplificada. [29]

Tabla 6 Servidor en la Nube, características.

Servidor en la Nube	
Ventajas	Desventajas
Asequible, los recursos necesarios para este no son elevados	Al ser un servicio de nube, si este sufre un fallo se puede llegar a perder toda la información almacenada.
Escalable, estos servidores permiten automatizar el control con una fácil implementación.	No cuenta con un control total en comparación con los servidores físicos.
Flexible, es fácilmente configurable dependiendo de la necesidad.	Normalmente no llegan a cumplir todas las necesidades presentes para las organizaciones.
Seguridad, cuentan con una seguridad robusta y virtualizada que los separa de los recursos de otras empresas	La información se entrega a un tercero para colocarla en la plataforma.
Servicios dentro de la nube	
IaaS, aquí el cliente llega a adquirir el proveedor externo de los recursos del servidor.	
PaaS, aquí se plantea la plataforma como servicio donde el proveedor asigna la plataforma de desarrollo de aplicaciones, gestión y mantenimiento.	
SaaS, aquí el cliente usa el sistema alojado en la nube para realizar las operaciones requeridas.	

Elaborado por el investigador en base a [29]

1.3.6 Sistema gestor de base de datos

Los sistemas gestores de bases de datos corresponden a sistemas que permiten la creación, control, gestión y administración de bases de datos basándose principalmente en un manejo total de cada una de las estructuras requeridas para el almacenamiento y búsqueda de la información generada en la misma, actualmente estas bases de datos se dividen en dos principales administradoras de datos: [30]

- **Sistemas Gestores de bases de datos No Relacionales (NoSQL).** Estos sistemas gestores se caracterizan principalmente por que utilizan entornos distribuidos que se encuentran siempre operando y disponibles, pero que generan un gran tránsito de datos, por lo que no requieren estructuras fijas y que escalan de manera satisfactoria. Los principales representantes de estos se encuentran: MongoDB, Redis y Cassandra. [30]
- **Sistemas Gestores de bases de datos Relacionales (SQL).** La estructura de estos modelos se basa principalmente en establecer vínculos entre los datos almacenados, presentados frente a “tablas” que permiten generar registros y atributos propios de los mismos. Entre los principales sistemas gestores relacionales se encuentran: MySQL, MariaDB, SQLite, PostgreSQL y Oracle. [30]

1.3.6.1 MySQL

MySQL corresponde a un sistema de gestión de bases de datos relacional, caracterizado por ser uno de los sistemas más utilizados actualmente, éste cuenta con un modelo de trabajo de cliente-servidor donde las computadoras que ejecutan el software se los denominan clientes mientras que el sistema controlador de la base de datos es el servidor por medio de una red específica, aquí cada cliente puede acceder a la interfaz gráfica del servidor y podrá acceder a la información, cambiarla y/o eliminarla mediante instrucciones concretas y permisos necesarios. [31]

Este sistema permite la creación de bases de datos donde se puede almacenar y manejar la información, donde en cada base se asigna una tabla que maneja los datos ingresados, esto por medio de una GUI ligera y sencilla de manejar permitiendo un mayor control y administración, entre las principales características que se pueden destacar de esta tenemos: [31]

- Flexible y fácil de usar
- Alto rendimiento
- Estándar para la industria
- Seguro

Tabla 7 Características técnicas de MySQL

Servidor MySQL	
Características	Definición
Seguridad	Maneja un sistema de privilegios muy seguro.
Escalabilidad y Limites	Maneja base de datos grandes. Su uso se extiende a más de 50 millones de registros.
	Hasta 64 índices por tabla son permitidos. Cada índice puede tener 1 a 16 columnas.
Conectividad	Los clientes pueden conectarse al servidor MySQL usando TCP/IP sobre la plataforma.
	El conector ODBC ofrece soporte a programas cliente.
	El interfaz conector/J provee soporte para programas cliente java que usan JDBC.

Elaborado por el investigador en base a [31]

1.3.7 Microcontroladores

Los microcontroladores son sistemas embebidos que cuentan con un circuito integrado del cual se deriva su funcionamiento, características y cualidades, debido a sus múltiples aplicaciones se los considera un computador limitado con sistemas capaces de controlar actuadores y recibir señales análogas y digitales de sensores. Cuentan con un procesador con una memoria interna caracterizado por el almacenamiento de los códigos de funcionamiento, siendo estas el flash y la RAM. [32]

Estos dispositivos también cuentan con una funcionalidad de mejoramiento de la automatización de métodos y procesos propios de un proyecto. Son ampliamente empleados en múltiples procesos y productos, con una gran escalabilidad para poder alcanzar procesos automatizados, de diferentes características y campos de especialidades. [32]

Un microcontrolador posee como componentes principales:

- Microprocesador
- Periféricos de entrada y/o salida
- Memoria flash y RAM

Por lo que dentro de estos dispositivos se pueden resaltar los siguientes:

NodeMCU

NodeMCU es una placa de desarrollo y un firmware de código abierto que implementa una plataforma basada en el IoT, principalmente en el SoC ESP8266. Utiliza un sistema SPIFFS para archivos (módulo flash). El lenguaje de programación implementado es C, centrado en los pilares del desarrollo de un proyecto: flexibilidad para la programación y control automatizado de propósito general, que lo han convertido en uno de los microcontroladores más eficientes del mercado. Los modelos existentes destacan frente a sus competencias por los módulos de transmisión inalámbrica de datos Wifi y Bluetooth incorporados a la placa. [33]

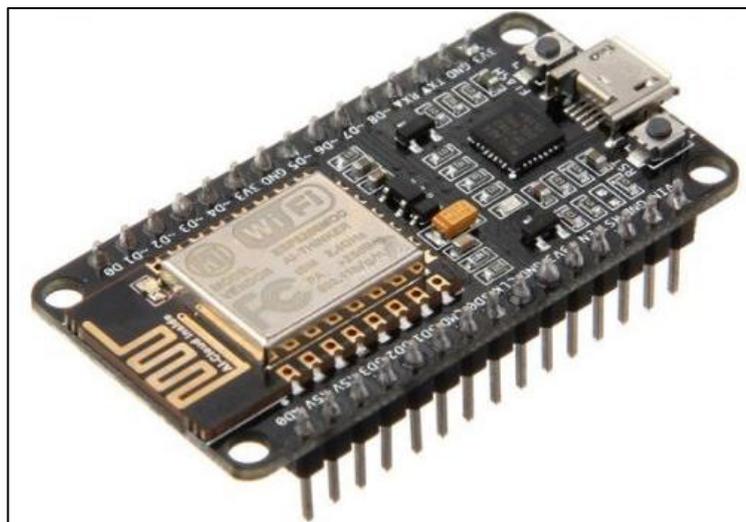


Ilustración 13 NodeMCU [33]

Microcontrolador PIC

El microcontrolador de interfaz periférica conocida por su abreviatura como PIC, es un dispositivo electrónico caracterizado por poseer un Microchip Technology. Las principales cualidades son su arquitectura flexible, evolución adaptativa a diferentes objetivos y la cantidad de periféricos que posee. Se ajusta principalmente al cumplimiento de proyectos de mayor contraste y complejidad.

Las características por las que destaca este dispositivo son: [34]

- Arquitectura Harvard.
- Reducido número de instrucciones.
- Segmentación de instrucciones, con un mayor rendimiento real.
- Pila de hardware para almacenamiento.
- Contador de programa relacionado con el espacio de datos.

Arduino

Arduino es un microcontrolador que posee la característica principal de poseer una placa basada en ATMEGA. Permite crear programas que interactúan con la placa y los componentes externos, este dispositivo cuenta con una interfaz de simple y compacta donde esta cuenta con una placa física (PCB), interfaces de entrada y salida, así como también con periféricos utilizados para él envío de datos al microcontrolador que pueden ser desde pulsadores, sensores o leds hasta un manejo de imágenes teclados y pantallas. [35]



Ilustración 14 Arduino [35]

La gran flexibilidad y código abierto que posee esta placa permite que se pueda utilizar este microcontrolador para múltiples proyectos de diferentes características y programabilidad. [35]

1.4 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos.

Objetivos específicos

- Determinar el diseño e implementación de los sistemas de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos existentes.
- Precisar la tecnología y características a emplearse para la detección de bilirrubina en neonatos de una manera no invasiva.
- Diseñar un bilirrubinómetro transcutáneo no invasivo para neonatos.
- Evaluar el funcionamiento del dispositivo en función de los métodos existentes.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la implementación del presente proyecto, se emplearon materiales como: Leds azules de 457 nm. y un Fotodiodo TSL 257 para la detección de la cantidad de la reflexión presentada en el neonato, posterior a esto se utilizó un microcontrolador NodeMCU y una LCD para la automatización y visualización de la cantidad de bilirrubina presente en el neonato aparte de contar con leds comunes de color verde, rojo y naranja para una visualización más , a continuación, se empleó Python con la librería Flask para la creación de un framework, principalmente para el control y automatización de la información recolectada, finalmente se utilizó un sistema de base de datos MySQL donde se registran los datos extraídos del sensor de luz y la información de los pacientes que a través del protocolo de comunicación MQTT permitieron el registro de datos de la bilirrubina directamente en la base de datos.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la Investigación

Investigación Aplicada

Para el desarrollo de la presente investigación se trabajó bajo un estudio aplicado, el cual partió de los conocimientos adquiridos en la formación académica y que plantea el diseño de un sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos basado principalmente en conocimientos de comunicaciones y electrónica.

Investigación Bibliográfica

Se planteo realizar una investigación bibliográfica con el propósito de obtener conocimientos basados en los métodos de detección y monitoreo existentes de bilirrubina en recién nacidos, buscando recopilar fuentes documentales como revistas, artículos y trabajos investigativos existentes en repositorios académicos, que sirvieron de base principal para el desarrollo de este proyecto investigativo.

Investigación de Campo

Se realizó un proceso de estudio de campo en hospitales y/o centros médicos, principalmente en el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, que permitió la adquisición de datos y variables porcentuales de la enfermedad presente en los recién nacidos, así también como un centro para la obtención, compilación y análisis de la información sobre el funcionamiento del dispositivo desarrollado.

2.2.2 Recolección de Información

Para la obtención de información se realizó un análisis y procesamiento de fuentes bibliográficas tales como artículos científicos, libros, revistas indexadas y proyectos de investigación presentes en los repositorios universitarios, y que estén relacionados con sistemas de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se planteó la aplicación de las siguientes actividades:

- ✓ Análisis y filtración de las fuentes de información.
- ✓ Determinación de los métodos de detección de bilirrubina existentes.
- ✓ Estudio y análisis de las soluciones y resultados para determinar un procedimiento de resolución adecuado.
- ✓ Planteamiento de la propuesta de solución.

2.2.4 Propuesta de Solución

Se planteó el desarrollo de un sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos que permitió tener mediciones eficaces y seguras para los recién nacidos ya que al ser un dispositivo de monitoreo se plantea un control constante y rápido en comparación con los métodos invasivos utilizados en los hospitales y centros médicos.

2.2.5 Desarrollo del Proyecto

Para realizar el sistema de detección y monitoreo se planteó las siguientes actividades, basados en los objetivos específicos planteados.

Tabla 8 Actividades -I

<p>Tema: Sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos.</p>	
<p>Objetivo General: Desarrollar un sistema de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos.</p>	
<p>Objetivo Específico:</p>	<p>Actividades:</p>
<p>Determinar el diseño e implementación de los sistemas de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos existentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis las técnicas de detección y control de ictericia existentes. ✓ Determinación de los modelos más eficaces y factibles. ✓ Establecimiento de los beneficios de los diseños de detección y monitoreo de ictericia.
<p>Precisar la tecnología y características a emplearse para la detección de bilirrubina en neonatos de una manera no invasiva.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establecimiento de los requisitos que deben cumplir los dispositivos de detección de ictericia neonatal. ✓ Recolección de información de la tecnología implementada en los sistemas actuales ✓ Parametrización de la tecnología a implementar para el desarrollo del prototipo
<p>Diseñar un bilirrubinómetro transcutáneo no invasivo para neonatos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseñar los planos de dimensionamiento del dispositivo. ✓ Analizar la arquitectura y parámetros técnicos de funcionamiento ✓ Realizar la propuesta del posible diseño del sistema de detección y monitoreo no invasivo.

Elaborado por el Investigador

Tabla 9 Actividades - 2

Objetivo Específico:	Actividades:
Evaluar el funcionamiento del dispositivo en función de los métodos existentes.	<ul style="list-style-type: none">✓ Realizar la medición de los niveles de concentración de bilirrubina en neonatos.✓ Comparar los valores medidos con los presentados por los métodos existentes.✓ Determinación del nivel de eficacia y margen de error del dispositivo.

Elaborado por el Investigador

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Análisis y discusión de los resultados

El bilirrubinómetro para el diagnóstico y monitoreo de la bilirrubina neonatal de manera no agresiva permite un acceso sostenible y seguro para las instituciones hospitalarias públicas y privadas del país, pues el dispositivo evita la realización de pruebas de carácter invasiva al neonato y disminuye el riesgo de traumas físicos y/o psicológicos al recién nacido, además presenta otros beneficios tales como la disminución de costes para la adquisición de dispositivos de similares características, facilidad de acceso a un médico, mejora en la gestión clínica (tiempo y registro de datos) y una mejor prestación de servicios de salud pediátrica y neonatal.

3.2 Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo del dispositivo se realizó un análisis médico de los principales cuadros clínicos derivados de la hiperbilirrubinemia, cuyo objetivo es determinar el síntoma más representativo de la patología.

En el diagnóstico se toman valores de detección enzimática de la bilirrubina para un análisis derivado de la gravedad de la patología. Se presentan múltiples técnicas de diagnóstico resultantes de diferentes técnicas, para fines concernientes a este proyecto se implementó un prototipo de monitorización del nivel de bilirrubina, capaz de registrar los valores medidos con su diagnóstico y cuadro clínico presentado por los médicos. Se utilizó una arquitectura con un modelo basado en la técnica de absorbancia de la luz presentada al estar expuesto a niveles séricos elevados. El sistema permite la implementación de tecnología Wi-Fi con el fin de facilitar la conectividad del dispositivo con la base de datos interna del hospital, lo que permite un control y supervisión constante del estado del neonato, permitiendo identificar la evolución de la patología de forma constante.

El cuadro clínico del paciente es almacenado en la base de datos y es conectados directamente con un servidor web; en el cual se presenta un sistema de control de la medición, hora y diagnóstico médico, así como las estadísticas inherentes a los patrones clínicos registrados. Los especialistas neonatales pueden acceder al servidor

web para mejorar la eficiencia de la valoración clínica del paciente, ya que el mismo cuenta con las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) (adjunta en los anexos).

El estudio se orientó a un análisis teórico de los diferentes métodos de medición no invasivos existentes, identificar sus patrones de funcionamiento, eficacia e información relevante sobre estos, posterior a esto se planteó el modelo de medición más coherente a los objetivos del proyecto. El objetivo del sistema es presentar un modelo de medición de hiperbilirrubinemia accesible y no invasivo, que sea capaz de identificar cuadros clínicos que presenten la patología y tiene como propósitos sintetizar la información necesaria para el diagnóstico dentro de un único servidor web.

3.3 Cuadro clínico de interés dentro de la hiperbilirrubinemia

Para el desarrollo del sistema de detección y monitoreo de bilirrubina sérica, es necesario identificar los síntomas inherentes a la enfermedad, con el objetivo de relacionar el método de diagnóstico más favorable a las técnicas de medición transcutánea no invasivas de la patología existentes. [3]

En la Tabla 10 y 11 se presenta la sintomatología derivada a la enfermedad y su subsecuente observación para un diagnóstico.

Tabla 10 Sintomatología de la hiperbilirrubinemia - I

<i>Síntomas</i>	<i>Observación</i>	<i>Diagnóstico</i>
Ingesta oral disminuida	Se deriva de múltiples patologías, y/o por desagradables experiencias psicológicas.	No favorable
Escasa flora intestinal	Se presenta cuando: El intestino aún no ha madurado lo suficiente lo que influye en su ritmo intestinal. Lactancia materna escasa. Múltiples patologías.	No favorable
Presencia de hematomas y sangrados	Diagnóstico frecuente debido a traumas del parto o cuando hay filtración de sangre.	No favorable

Elaborado por el Investigador en base a [36]

Tabla 11 Sintomatología de la hiperbilirrubinemia - 2

<i>Síntomas</i>	<i>Observación</i>	<i>Diagnóstico</i>
Insuficiente funcionalidad hepática	Patología poco frecuente generando disfunción hepática, hipoglucemia e ictericia.	Favorable
Ictericia	Síntoma derivado de la insuficiencia de función hepática. Provoca cambio de color de piel y ojos a un color amarillento y su diagnóstico se realiza con un estudio sanguíneo.	Favorable

Elaborado por el Investigador en base a [36]

Se identificó que el síntoma con menor frecuencia de aparición en otras patologías y con mayor asociatividad con la patología es la insuficiencia de la funcionalidad hepática, en la cual se presenta la ictericia. El estudio de esta se asigna de manera frecuente a un análisis sanguíneo para determinar los niveles séricos del paciente. En la actualidad se han presentado avances significativos en la tecnología médica, las cuales han evolucionado en métodos de detección no invasivos.

3.4 Métodos de detección no invasivos

La arquitectura general de los dispositivos de medición no agresivos se presenta en la Tabla 12 y 13, en la cual se presenta una comparativa general de los diferentes métodos de detección y sus características ligadas a los objetivos del proyecto.

Tabla 12 Métodos de detección no invasivos -1

<i>Métodos</i>	<i>Características</i>	<i>Margen de error</i>
Técnica óptica	Componentes de difícil accesibilidad. Precio elevado. Variedad de aplicaciones. Requiere adaptación de los datos. Alta sensibilidad	Mínimo

Elaborado por el Investigador en base a [36]

Tabla 13 Métodos de detección no invasivos -2

<i>Métodos</i>	<i>Características</i>	<i>Margen de error</i>
Técnica de procesamiento de imágenes	Alta complejidad. Bajo costo. Requiere adaptación en el procesamiento de imágenes. Variedad de aplicaciones.	Mínimo
Dispositivo electrónico o gadget	Alta complejidad. Fácil uso. Requiere adaptación en el procesamiento de imágenes Baja sensibilidad.	Alto
Técnicas de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz	Alta sensibilidad. Sistema autónomo. Fácil uso. Complejidad media. Requiere adaptación de los datos.	Mínimo

Elaborado por el Investigador en base a [36]

Las tecnologías de detección no invasiva tienen características singulares. Sin embargo, la técnica de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz posee un rango de precisión alta, elementos de fácil acceso y presenta independencia en la aplicabilidad de este. Finalmente se eligió este método por sus múltiples beneficios y pocas desventajas en comparación a los otros.

3.5 Consideraciones clínicas y tecnológicas en la implementación del bilirrubinómetro

En la implementación del bilirrubinómetro es necesario tomar en consideración varios cuadros clínicos y tecnológicos, para esto se desarrolló una guía práctica de recomendaciones médicas en el uso de dispositivos con el mismo modelo de funcionamiento.

3.5.1 Consideraciones clínicas

- Pacientes que van a utilizar el dispositivo

El dispositivo se enfocó en la medición y control de la cantidad de bilirrubina sérica presente en neonatos.

- Especialistas médicos que implementaran el sistema.

La implementación del sistema se enfocó en la mejora de la eficacia y rapidez en el tratamiento y diagnóstico de la hiperbilirrubinemia. El dispositivo debe ser utilizado por médicos especialistas en neonatología o áreas afines.

- Protocolo de trabajo para el servicio.

Los pacientes que requieran la utilización de este servicio deben ser registrados en la base de datos presente del sistema, para lo cual se requiere datos personales y médicos afines a la patología. El usuario deberá ser referido por un médico especialista en el área que haya detectado sintomatología de la enfermedad.

- Niveles séricos de la bilirrubina.

Se debe tomar en consideración el progreso céfalo - caudal de la ictericia, en base a la escala de Kramer para seguir el patrón de crecimiento de la patología, donde el neonatólogo debe establecer la zona de medición en base al cuadro clínico de cada paciente.

- Cuadros clínicos no admisibles.

En relación directa con el modelo de funcionabilidad del dispositivo se descartan cuadros clínicos por cualidades y características propias de los neonatos entre las cuales se encuentran: Policitemia, ictericia precoz, tez oscura y con tratamiento iniciado.

- Automatización del diagnóstico.

El servidor web conectado con el dispositivo cuenta con los protocolos de diagnóstico basados en las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence), y los datos de ingreso del paciente (semanas de gestación y días de ingreso) con el objetivo de agilizar procesos.

3.5.2 Consideraciones electrónicas

- Tecnologías utilizadas en el método de reflectancia.

La técnica de absorción de la luz se va en tecnologías como:

- Tecnologías de sensorización.
 - Tecnologías de comunicación y red
 - Tecnología Web
 - Tecnologías de control y medición.
- Hardware usado en el método de reflectancia.

Para la gestión y recepción de la cantidad de luz se presentan los siguientes elementos:

- Equipo electrónico
 - Equipo de sensorización.
 - Equipo de redes y computo.
- Software utilizado en los dispositivos.

Para la automatización de los datos recibidos por el hardware se utilizan generalmente los siguientes programas:

- Matlab.
 - Python.
 - GNU Octave.
- Documentación clínica.

La información clínica de cada paciente es registrada y controlada mediante el uso de sistemas web almacenados sistemáticamente en una base de datos, con un fácil acceso y edición de la evolución de la patología.

3.5.3 Manual de uso

Se presentó una guía detallada de las instrucciones necesarias para la utilización y mantenimiento del dispositivo e interfaz web aplicadas al sistema. El manual cuenta con una descripción básica del dispositivo, manejo del equipo médico, tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) y control de los parámetros dentro del servidor web; la guía se encuentra detallada en los anexos.

3.6 Elementos del modelo de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz

La técnica de reflectancia de la longitud de onda de luz se presenta mediante un diagrama general de aplicabilidad basado en la detección sensorizada de la cantidad de luz absorbida por la bilirrubina en la sangre del neonato, 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 programable dentro de un microcontrolador para obtener la medición de la cantidad de bilirrubina sérica. [3]

En la Ilustración 15, se presenta el diagrama de desarrollo general en el proceso de medición seleccionado, así como los instrumentos principales utilizados en la técnica de reflectancia de la longitud de onda.

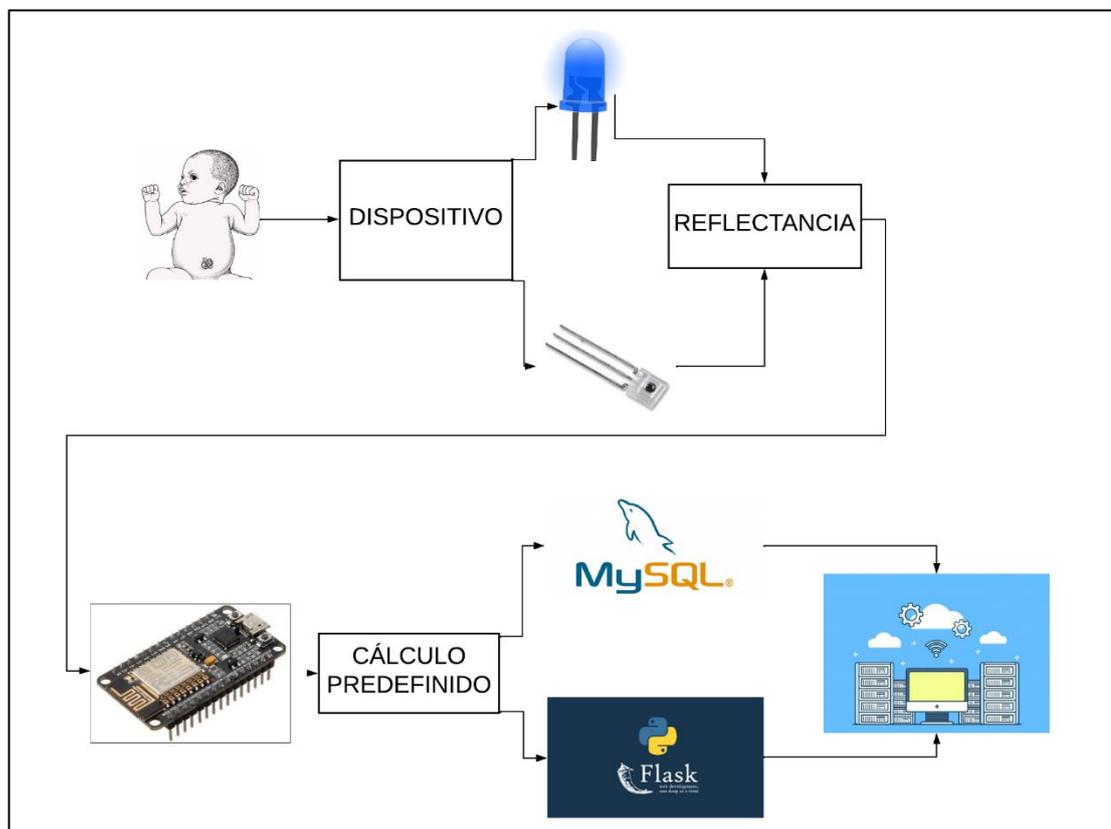


Ilustración 15 Elementos del modelo de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz

Elaborado por el Investigador

3.7 Variables de interés del modelo

El desarrollo del sistema se centra en el cálculo de la reflectancia de la luz, por lo que el LED azul, con 425 – 545 nm., emite una luz que la sangre del neonato absorbe con normalidad, al presentarse un alto rango de bilirrubina está provoca una reducción en la intensidad de luz que se refleja vinculado directamente a la detección de la patología. Los parámetros principales dentro del dispositivo son la recepción de la señal análoga de la luz que se refleja y su vinculación matemática con los niveles de bilirrubina sérica, estos criterios se asocian con los siguientes elementos: fotodiodo, microcontrolador y un análisis matemático, que están estrechamente relacionados con la funcionalidad del dispositivo y su nivel de eficacia. [37]

3.7.1 Diodo emisor de luz

Es necesario considerar la longitud de onda de trabajo del diodo emisor de luz, el estudio técnico presentado por Hamza et al, con el objetivo de discriminar los diferentes diodos laser semiconductores de luz en relación con su longitud de onda para la detección de bilirrubina en la sangre, concluyo que las fuentes de luz reflectadas y absorbidas por la piel del neonato con exceso de bilirrubina se encuentran en un rango de 457 – 532 nm. [37]

3.7.2 Reflectancia

El estudio realizado por Osman et al. demuestra la utilización de un fotodiodo de alta sensibilidad para la detección de cambios mínimos en la capacidad de detección de los niveles de bilirrubina sérica. El estudio concluyo que el nivel de eficacia del dispositivo radica en la utilización de un sensor de voltaje óptico de bajo ruido y con una alta sensibilidad. [38]

3.7.3 Datos clínicos del paciente

Los datos clínicos del paciente juegan un papel importante en la detección y diagnóstico de la patología, según la investigación realizada por Lema y Neira en el Hospital José Carrasco, con el objetivo de identificar las variables comunes en el ingreso hospitalario por hiperbilirrubinemia, demostraron que una correcta evaluación pre ingreso de la edad gestacional, peso y día de ingreso del neonato son importantes para identificar y tratar la patología de manera oportuna y disminuyen las complicaciones futuras. [39]

3.8 Análisis de los componentes electrónicos

3.8.1 Selección del diodo emisor de luz

Para el sistema de medición y control de hiperbilirrubinemia, es necesario medir la cantidad de bilirrubina sérica en el neonato y que mediante la utilización del método de reflectancia es necesario realizar un análisis técnico de los diferentes diodos emisores de luz de alta luminosidad que se ajusten a los requerimientos de este, en la Tabla 14 se presentan una comparativa entre diferentes tipos de LED.

Tabla 14 Comparación de las características de las luces led de alta luminosidad

<i>Parámetros – Luces de alta luminosidad</i>				
Tipo de led	Voltaje	Corriente	Resistencia	Longitud de Onda
Azul	3.7V	20 mA	390 ohm	450-475 nm
Verde	1.6V	5 mA	2200 ohm	495-570 nm
Amarillo	1.6V	5 mA	2200 ohm	570-590 nm

Elaborado por el Investigador en base a: [40], [41]

La técnica de absorción de la luz para la medición del nivel icterico del neonato requiere un diodo emisor de luz con una longitud de onda entre 457 – 532 nm., por ende, el LED azul es el único que cumple con los requerimientos necesarios para la realización del prototipo, en la Ilustración 16 se puede visualizar la forma física del diodo.



Ilustración 16 Diodo emisor de luz azul [42]

3.8.2 Selección del sensor de voltaje óptico de luz

La reflectancia generada por el contacto de la piel del recién nacido con la luz del diodo LED sufre cambios mínimos, por lo que es necesario adquirir un fotodiodo no invasivo ni nocivo para los neonatos y con una alta sensibilidad en la detección de la luz absorbida, en la Tabla 15 se analizan tres tipos de sensores de luz de alta sensibilidad.

Tabla 15 Comparación de las características Sensores de luz de alta sensibilidad

Parámetros	Sensor TSL257	Sensor LX1972	Sensor TSL25911
Longitud de onda de sensibilidad pico:	450 - 675 nm.	520 nm.	60 nm.
Voltaje de salida:	4.49 V	2.7V - 3.6V	3.3V - 5V
Encapsulado:	SIP de 3 pines	SMD 1206	PH2.0 de 5 pines
Sensibilidad:	Alta	Media	Alta
Temperatura de funcionamiento:	0° - 70° C	de -40° a - 80°C	de -30° a - 70°C
Topología:	Voltaje de salida	Fuente	-----
Alimentación de voltaje:	2.7 - 5.5V	de -0.3V - 6V	2.7V - 5.5V

Elaborado por el Investigador en base a: [43], [44], [45]

Los fotodiodos de luz que se tomaron en consideración tienen características de trabajo similares. Sin embargo, el sensor TSL257 posee parámetros de mejor calidad respecto al modelo que se está trabajando, presentado una longitud de onda acorde a la del diodo emisor de luz, alta sensibilidad en la detección, alimentación de voltaje general y un encapsulado de 3 pines fácilmente ajustable a los diferentes microcontroladores del mercado, en la Figura 17 se muestra la forma física del sensor TSL257.



Ilustración 17 Sensor de luz TSL257 [46]

3.8.3 Selección de la tecnología inalámbrica

Posterior al análisis de los componentes electrónicos a utilizarse en el dispositivo, se seleccionó la tecnología de comunicación inalámbrica adecuada para el diseño e implementación en hospitales y zonas de cuidados médicos. En la Tabla 16 se presenta una comparativa entre las diferentes tecnologías con sus características.

Tabla 16 Comparación de las características de los sistemas de alimentación

Parámetros	WiFi	Wimax	Zigbee	Bluetooth
Estándar	802.11	802.16	802.15.4	802.15.1
Topología	Bus, anillo, estrella, árbol	Punto a punto, multipunto, malla	Punto a punto, estrella, malla, árbol, clúster	Punto a punto, estrella, árbol
Alcance	50-100 m	70 km	1 - 75 m	10 - 20 m
Frecuencia	2.4 – 5 GHz	2.3 - 5.7 GHz	2.4GHz	2.4 GHz
Ancho de Banda	2-100 Mbps	10 - 100 Mbps	20-250 Kbps	1 Mbps
Velocidad de transferencia de datos.	54Kbps	1Gbps	250Kbps	64Kbps

Elaborado por el Investigador en base a: [47], [48]

La implementación del proyecto requiere una cobertura de envío y recepción de datos en todo el hospital por lo que la tecnología más adecuada para implementación y control de los datos es la comunicación WiFi la cual cumple con el alcance necesario para una mayor aplicabilidad en diferentes entornos médicos.

3.8.4 Selección del dispositivo de adquisición de datos.

La adquisición de datos es un pilar en el funcionamiento del prototipo ya que permite tomar un conjunto de señales físicas y digitalizarlas para poder procesarlas mediante un microcontrolador o una computadora, el cual recepta la señal análoga la procesa y permite gestionarla para su registro y visualización. En la Tabla 17 se analizaron tres microcontroladores con características afines a los objetivos del proyecto.

Tabla 17 Comparación de las características de dispositivos de adquisición de datos

Parámetros	ATMEGA2560	PIC16F887	ESP8266
Frecuencia de operación	16 MHz	0 - 20 MHz	80 MHz
Número de entradas digitales	54	21	9 pines GPIO
Voltaje de entrada	7-12 V	5.5 V MAX	5 V
Temperatura de operación	DE -45 -85°C	de -45 - 150°C	máxima de 125°
Memoria interna	256, 8KB de memoria SRAM	8KB, 256 bytes de memoria EEPROM	4MB de memoria FLASH (32 MBit)
Número de entradas análogas	16	14	1
Tipos de comunicación	SERIE UART-12C2SPI, RS232	RS-485 RS-232 Y LIN2.0	12C, SPI, WiFi 802.11 b/g/n

Elaborado por el Investigador en base a: [49], [50]

Con base al diseño del bilirrubinómetro y los parámetros técnicos requeridos por el modelo de desarrollo se optó por el ESP8266, debido a que posee el número requerido de entradas análogas y digitales, para el sistema de monitoreo se necesita 1 pin análogo para el sensor de luz, 2 pines digitales para la LCD, 4 pines digitales para el uso de diodos LED y 1 pin digital para el pulsador, dando un total de 1 pin análogo y 7 pines digitales, además de poseer comunicación Wi-Fi necesaria para el envío de datos a grandes distancias, lo suficiente para la implementación en centros de salud y/o hospitales, en la Ilustración 18 se presenta la forma física del microcontrolador ESP8266.

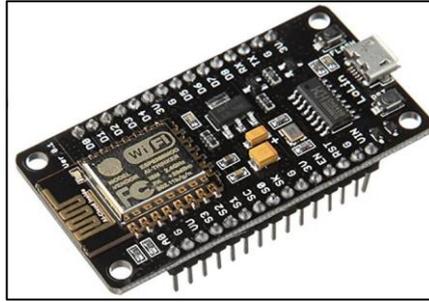


Ilustración 18 Microcontrolador ESP8266 [51]

3.9 Diseño del esquema de funcionamiento del prototipo

En la Ilustración 19 se puede visualizar un diagrama de bloques de todo el sistema, subdividido en tres etapas principales del desarrollo las cuales son: etapa de sensorización y registro, etapa de adquisición y etapa de gestión y medición.

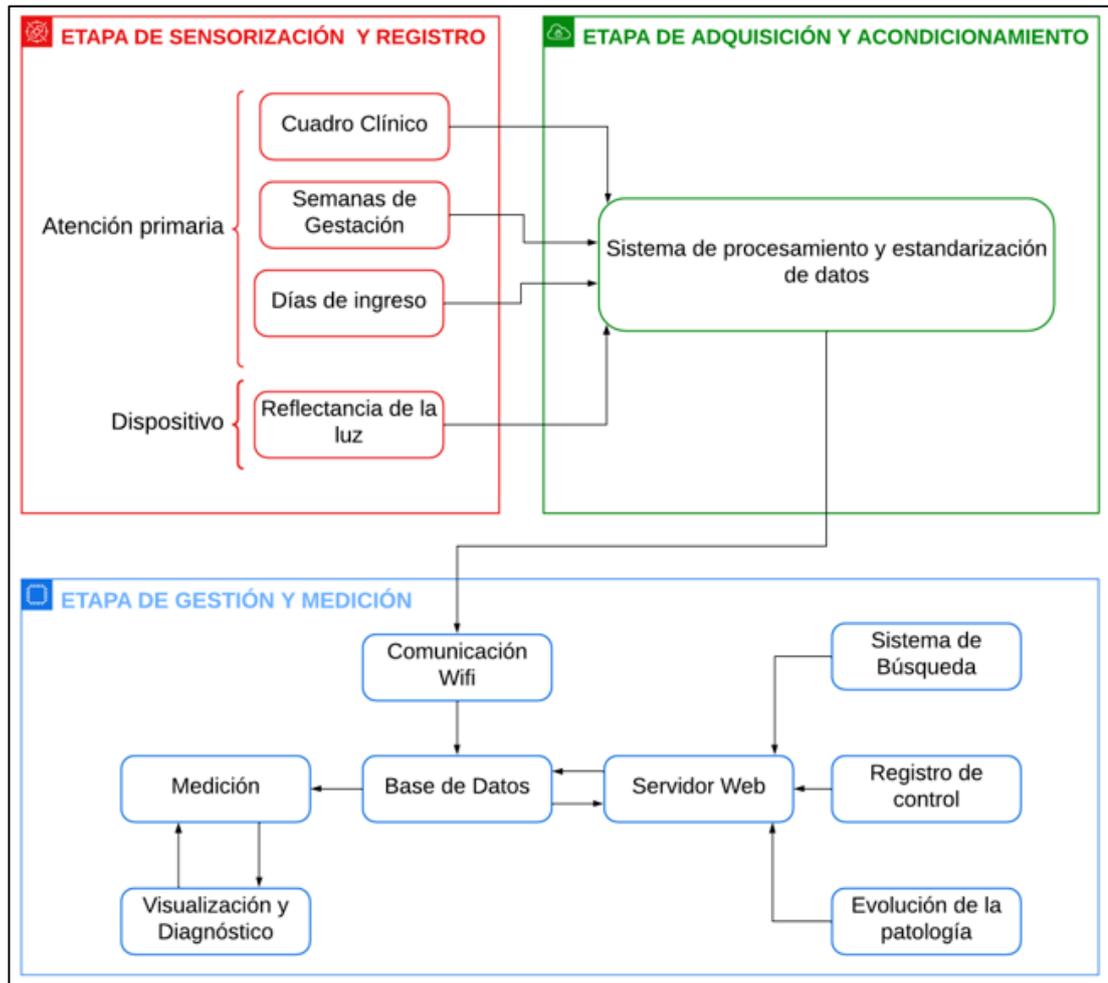


Ilustración 19 Diagrama de bloques del proceso de desarrollo del sistema de medición y control

Elaborado por el Investigador

La primera etapa se tiene como ejes principales la atención primaria brindada al neonato a la hora del ingreso, dentro de esta se realiza el ingreso del cuadro clínico del paciente: recolección de datos, semanas de gestación y los días de ingreso del recién nacido, y como segundo eje la aplicación del dispositivo para la muestra inicial de la cantidad de absorbancia de la luz, basada en la utilización del prototipo con el sistema de medición análoga.

La segunda fase se centra en la etapa de adquisición y acondicionamiento de las señales e información ingresadas en el anterior ciclo, mediante la aplicación de un microcontrolador NodeMCU esp8266, el mismo que procesa la información, transforma la señal análoga recibida en una señal digital, la cual mediante la utilización de cálculos matemáticos predefinidos en la investigación realizada por Zulfadhli permiten encontrar la concentración de bilirrubina en la sangre del neonato y finalmente se realiza el envío de los datos clínicos del paciente así como el nivel de bilirrubina al servidor web.

La etapa final corresponde al servidor local donde se almacena toda la información enviada por el microcontrolador, sensores e ingresada por el especialista médico con el fin de registrarla en la base de datos y poder visualizarla en tiempo real, con los datos registrados se ejecuta la interfaz de programación de aplicaciones con las herramientas necesarias para el diagnóstico y visualización de datos.

3.9 Diseño del sistema de medición análoga para estimar la bilirrubina sérica

Los dispositivos de medición transcutáneos no invasivos de bilirrubina sérica presentan un diseño basado en el tamaño de los recién nacidos, donde en base a las zonas de Kramer se establecen prototipos de diferente tamaño con medidas generales de 5 mm de distancia entre la piel del neonato y el dispositivo. En la Ilustración 20 se presenta el boceto de diseño del prototipado y en la Ilustración 21 se muestra el diseño electrónico de éste.

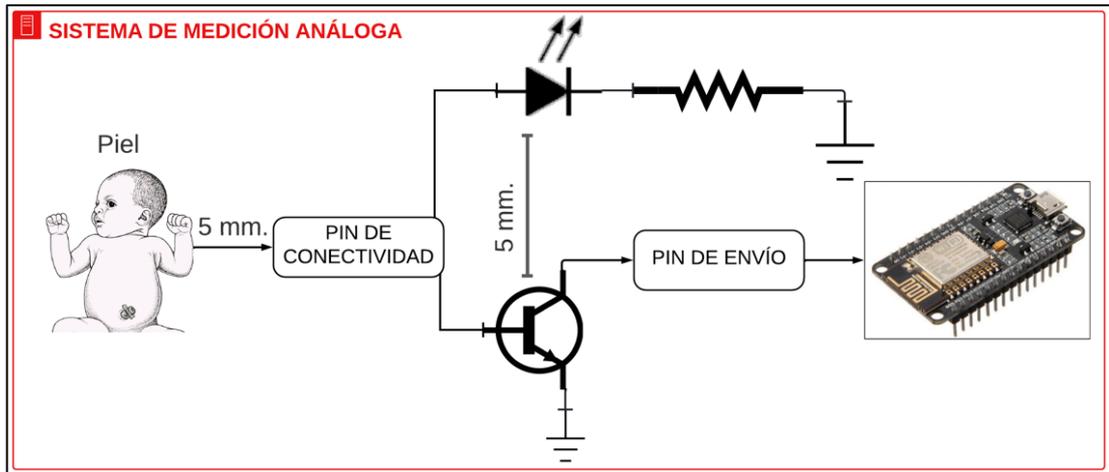


Ilustración 20 Diagrama de procesos del sistema de medición.

Elaborado por el Investigador

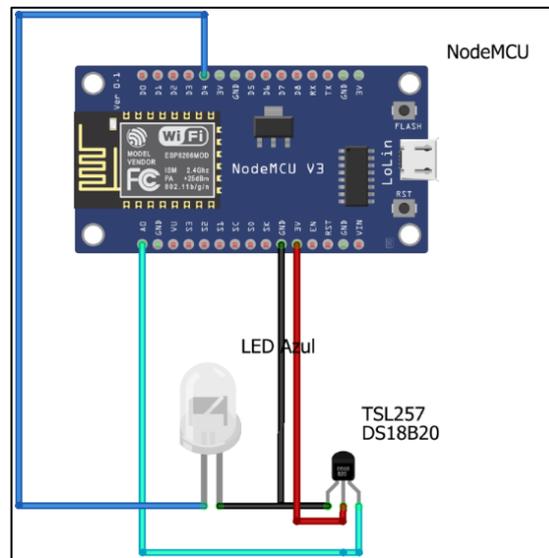


Ilustración 21 Diseño electrónico del sistema de medición

Elaborado por el Investigador

La configuración incluye una resistencia de 390 ohmios entre el cátodo del led y la conexión a tierra, una distancia de 5 mm entre el diodo y el conversor de luz generando una mayor luminiscencia en el dispositivo para poder trabajar con neonatos de piel oscura, conectividad entre el pin de recepción del sensor TSL257 con el diodo emisor, al activar el funcionamiento de éste se vincule con la del LED generando mayor estabilidad en la medición, y presenta conexión entre el pin de envío del sensor con el microcontrolador, con el fin de enviar la señal analoga receptada por el mismo para un posterior análisis de los datos. En la Ilustración 22 y 23 se presenta el diseño del circuito esquemático y su implementación en PCB.

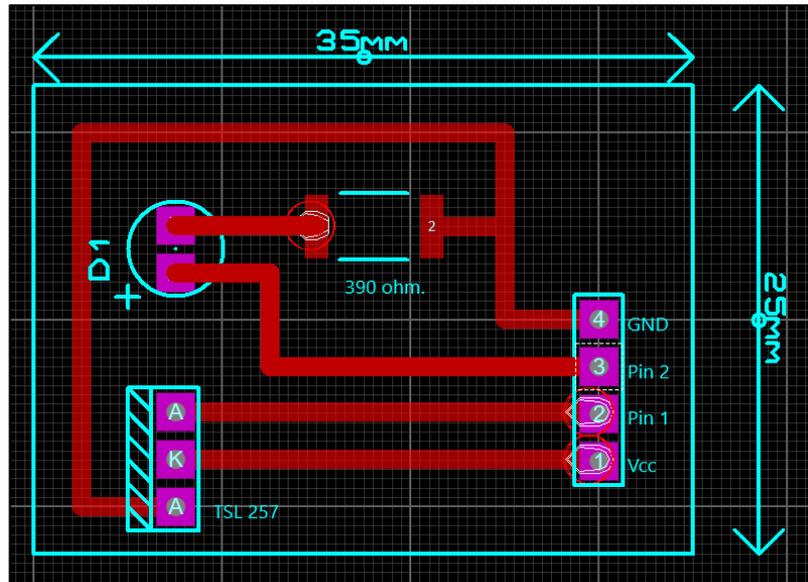


Ilustración 22 Diseño PCB - Dispositivo de medición

Elaborado por el Investigador

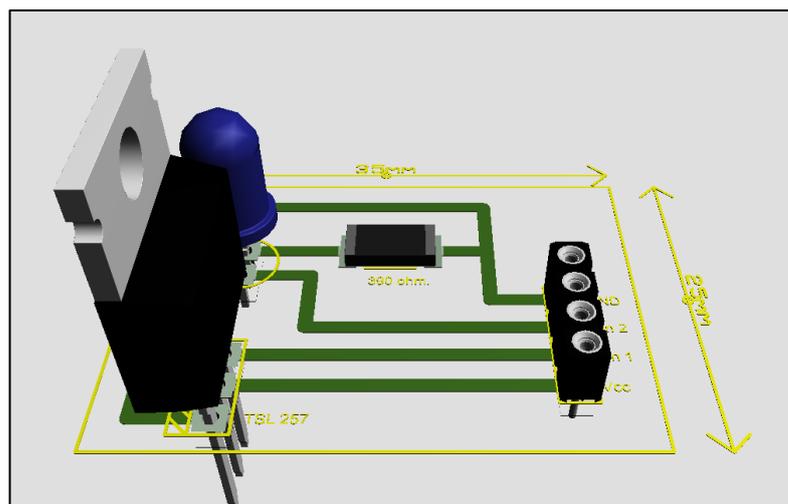


Ilustración 23 Circuito 3D esquemático

Elaborado por el Investigador

La construcción del prototipo se creó a partir de un diseño 3D en el software de AutoCAD y está fabricado con filamento PLA utilizado por una impresora 3D, con unas medidas de 80 mm x 50 mm x 35 mm, medidas tomadas en base al diseño del PCB y tamaño promedio de bilirrubinómetros existentes, posterior a los 50 mm de largo del dispositivo se realizó una reducción en el ancho del diseño hasta llegar a los 20 mm y se añadió una plataforma ubicada a 5 mm de la base con dos aberturas ubicadas a 15 mm del ancho y a 1 mm del grosor, buscando cumplir con el diseño planteado del modelo de reflectancia, y se realizó una abertura en la parte superior del

medidor con un tamaño de 15 mm x 15mm, con la finalidad de poder conectar la placa interna del dispositivo con el microcontrolador. En la Ilustración 24 se muestra el dimensionamiento del dispositivo, en las Ilustraciones 25 y 26 se presenta el modelado 3D e implementación, y en la Ilustración 27 el prototipo real implementado.

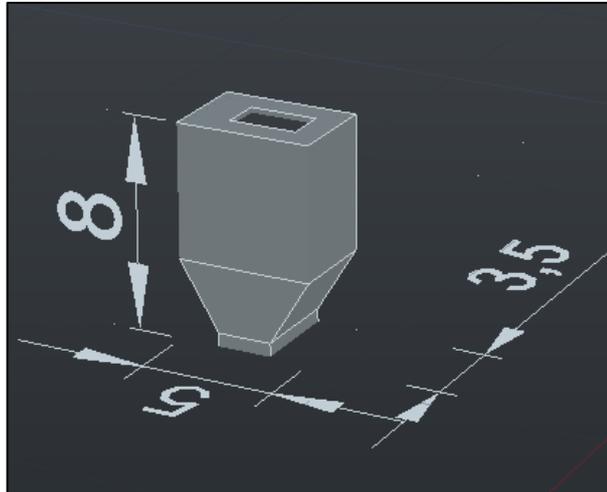


Ilustración 24 Dimensiones del prototipo de medición

Elaborado por el Investigador

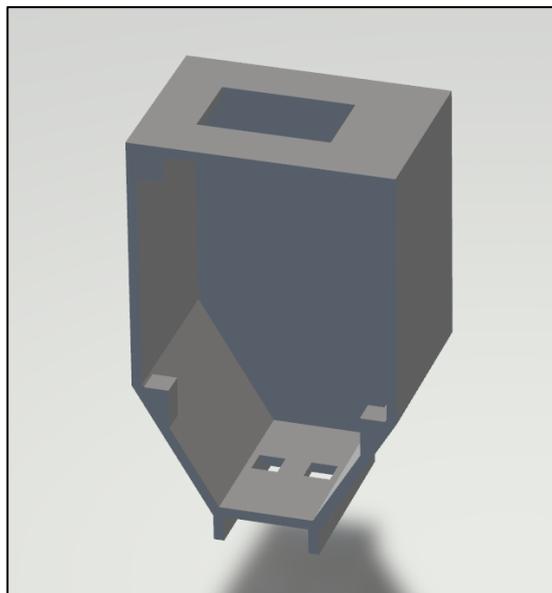


Ilustración 25 Vista isométrica del dispositivo de medición

Elaborado por el Investigador

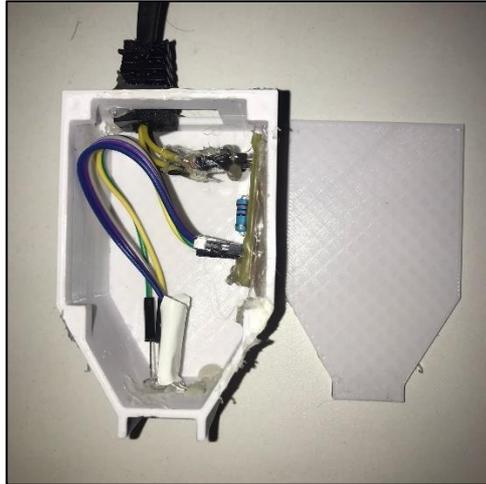


Ilustración 26 Implementación del sistema de medición análogo

Elaborado por el Investigador



Ilustración 27 Dispositivo de medición

Elaborado por el Investigador

3.9.1 Prueba de funcionamiento del sensor

Se realizaron pruebas y mediciones iniciales con el sensor TSL257, para verificar su funcionamiento y sensibilidad a los cambios de luminancia en el ambiente. Para esto se incluyó pruebas para calibrar la luminancia inherente a la zona negra en la que se encuentra el led. En la primera prueba se utilizó un foco led alumbrándolo de manera directa al sensor, en la Ilustración 28 se aprecia que la luminancia entregada se encuentra en el límite superior y con poca variación.

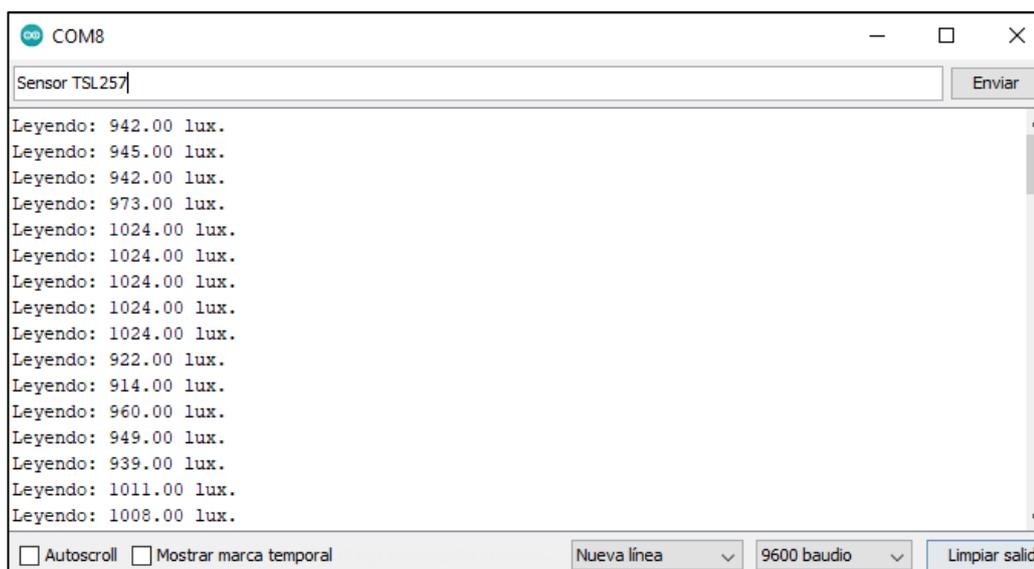


Ilustración 28 Prueba de funcionamiento.

Elaborado por el Investigador

En la segunda etapa se implementó el sensor en la zona negra del sistema para verificar el nivel de luz presente. En la Ilustración 29 se visualiza una luminancia mínima presente por el nivel de sensibilidad del sensor.

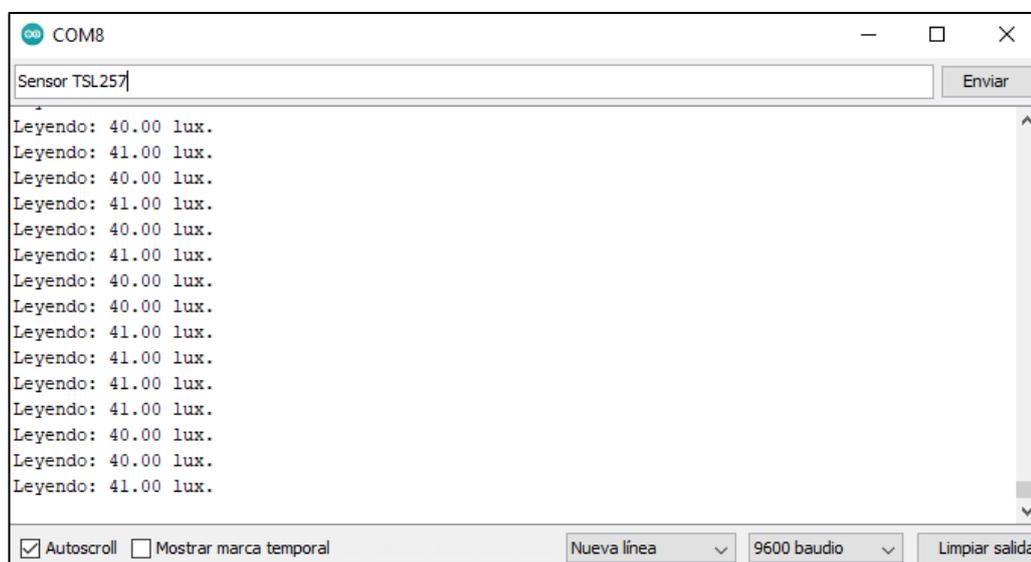


Ilustración 29 Prueba en zona negra

Elaborado por el Investigador

Finalmente se aplicará un factor de disminución de -40 y con una estructura de control para valores negativo por que se requiere calibrar el sensor a cero, al iniciar la medición en el entorno de la zona negra, como se puede verificar en la Ilustración 30, la luminancia es 0.

$$Medida_{luminancia} = Lectura_{inicial} - 40$$

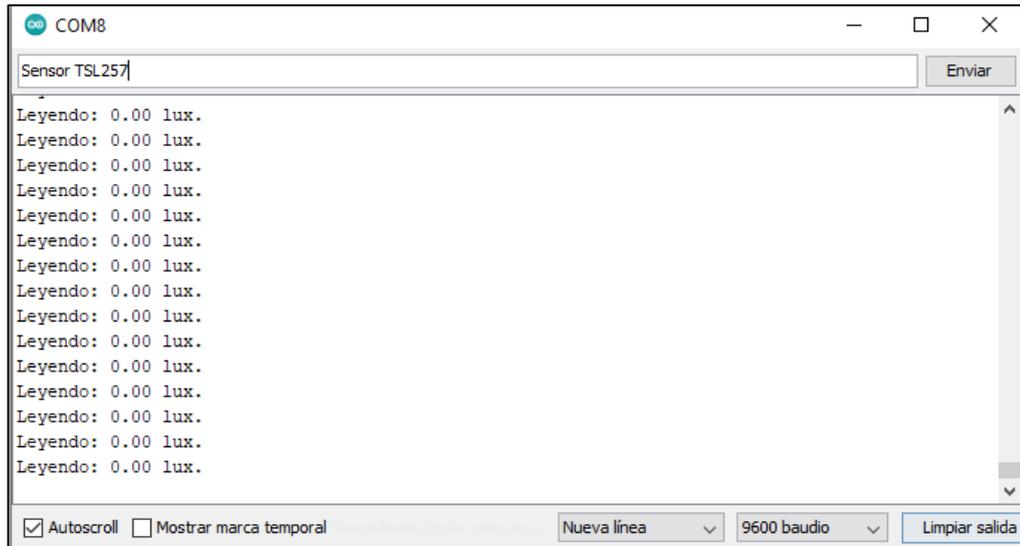


Ilustración 30 Sensor calibrado.

Elaborado por el Investigador

3.10 Diseño del sistema de adquisición, gestión y visualización

El diseño del sistema de adquisición de datos, gestión y visualización se fundamenta en la señal recibida por el sensor a la NodeMCU esp8266, en la Ilustración 31 se presenta el diagrama de implementación del circuito electrónico del microcontrolador, con sus pines de entrada y salida del pulsador, leds de apoyo, LCD y del sistema de medición analógica.

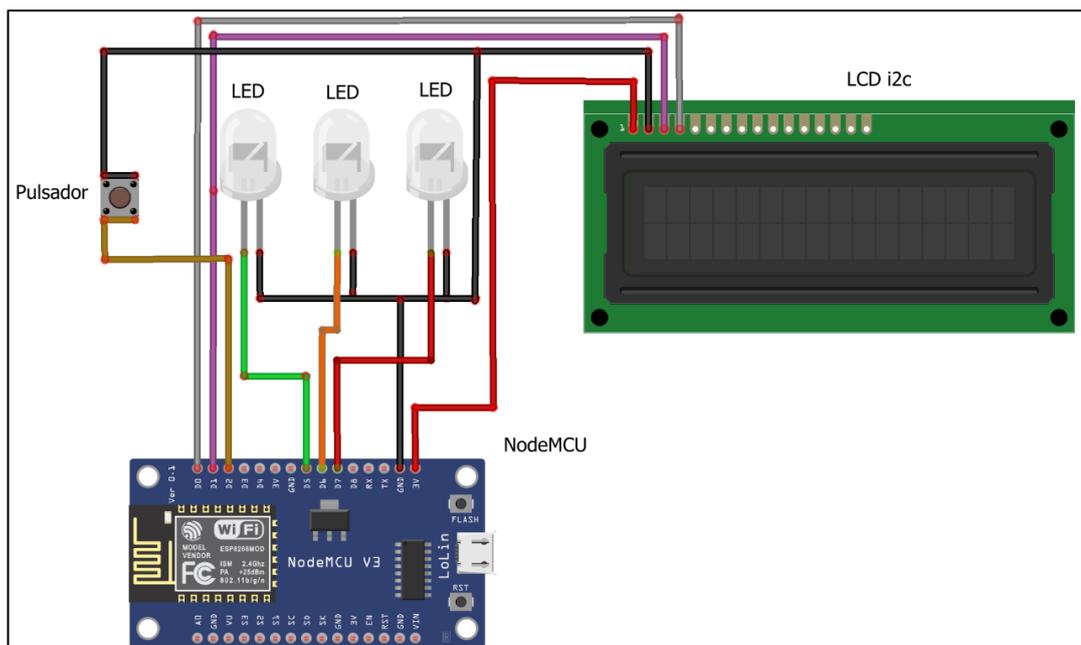


Ilustración 31 Diagrama de implementación del sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

En el microcontrolador se presenta el uso de pines a los cuales se conectan cada uno de los sensores y actuadores, en la Tabla 18 hasta la Tabla 22 se presentan las conexiones afines al módulo.

Conexiones sistema de medición análoga

Tabla 18 Conexión entre el Sensor TSL 257 y el microcontrolador

<i>Sensor TSL 257</i>	<i>NodeMCU esp8266</i>
<i>Pin GND</i>	Pin GND
<i>Pin VCC</i>	Pin 3V
<i>Pin out</i>	Pin A0

Elaborado por el Investigador

Tabla 19 Conexión entre el LED de medición y el microcontrolador

<i>LED medición</i>	<i>NodeMCU esp8266</i>
<i>Pin GND</i>	Pin GND
<i>Pin entrada</i>	Pin D4

Elaborado por el Investigador

Conexiones sistema de adquisición, gestión y visualización.

Tabla 20 Conexión entre los LED's de apoyo y el microcontrolador

<i>LED's de apoyo</i>	<i>NodeMCU esp8266</i>
<i>LED verde</i>	Pin D5
<i>LED amarillo</i>	Pin D6
<i>LED rojo</i>	Pin D7
<i>Pines GND</i>	Pin GND

Elaborado por el Investigador

Tabla 21 Conexión entre la LCD i2c y el microcontrolador

<i>LCD i2c</i>	<i>NodeMCU esp8266</i>
<i>Pin GND</i>	Pin GND
<i>Pin VCC</i>	Pin VCC
<i>Pin SCL</i>	Pin D1
<i>Pin SDA</i>	Pin D2

Elaborado por el Investigador

Tabla 22 Conexión entre el Pulsador y el microcontrolador

<i>Pulsador</i>	<i>NodeMCU esp8266</i>
<i>Pin GND</i>	Pin GND
<i>Pin entrada</i>	Pin D3

Elaborado por el Investigador

La configuración cuenta con tres leds de apoyo que van conectados al microcontrolador los cuales tienen como objetivo acelerar los tiempos de diagnóstico y detección de la patología al brindar una respuesta visual rápida en base a parámetros generales de la medición, donde el led verde indica que valores séricos bajos, el led amarillo presenta valores intermedios que requerirán la utilización de las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) para una evaluación más acertada y el led rojo indica valores altos donde se recomienda proceder con la valoración y tratamiento de la enfermedad en base a la cantidad de bilirrubina.

El pulsador sirve para la activación del sistema de medición análoga y la inicialización del funcionamiento del prototipo. Finalmente, la LCD contará con el módulo i2c para mejorar la comprensión de pines en el microcontrolador, la pantalla permite visualizar en tiempo real la cantidad de bilirrubina sérica presente en el neonato, así como una interfaz de inicialización del prototipo. En la Ilustración 32 y 33 se presenta el diseño del circuito esquemático y su implementación en PCB.

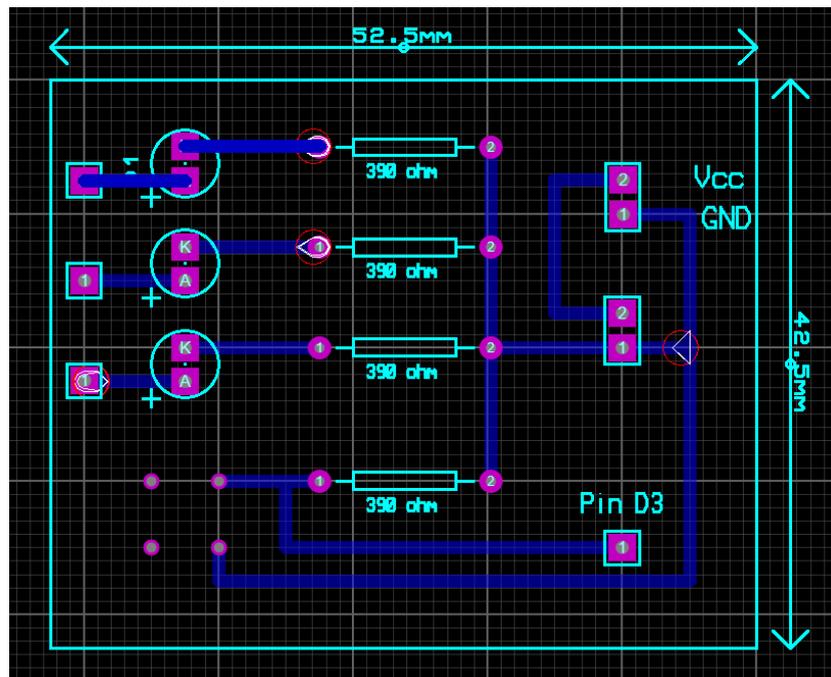


Ilustración 32 Diseño PCB - Sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

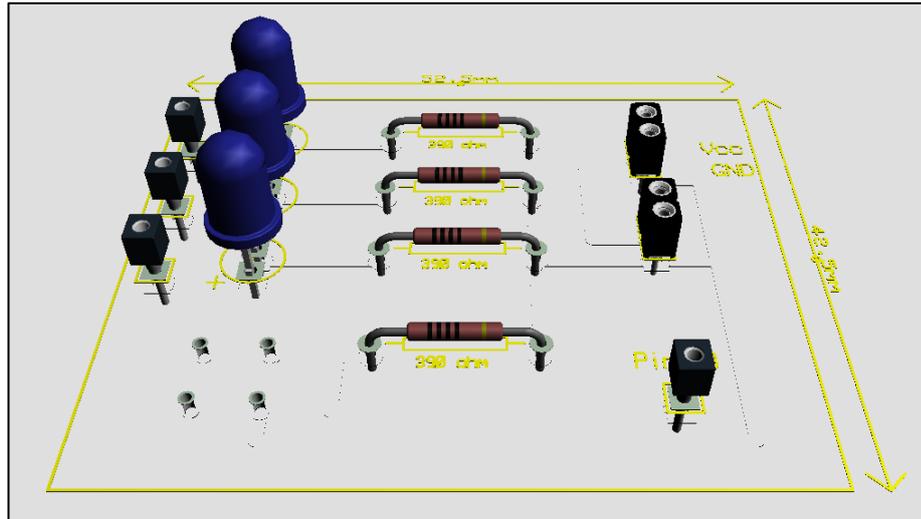


Ilustración 33 Circuito 3D esquemático - Sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

Para el diseño del modelo 3D se realizó el diseño de una caja rectangular en AutoCAD la cual se imprimió con filamento PLA, con medidas de 137 mm x 146 mm x 50 mm, con una tapa extraíble la cual cuenta con cinco cavidades para la colocación de los tres LED's de apoyo (5 mm x 5 mm), LCD i2c (70 mm x 25 mm) y el pulsador (5 mm x 5 mm), en la parte inferior de la caja se implementó dos aberturas para la entrada de la alimentación externa y el ingreso del cableado del sistema de medición análoga los dos con un tamaño de 15 mm x 15 mm,. En la Ilustración 23 se muestra el dimensionamiento del dispositivo, en las Ilustraciones 34, 35 y 36 se presenta el modelado 3D, y en la Ilustración 37 y 38 la implementación y el prototipo real implementado.

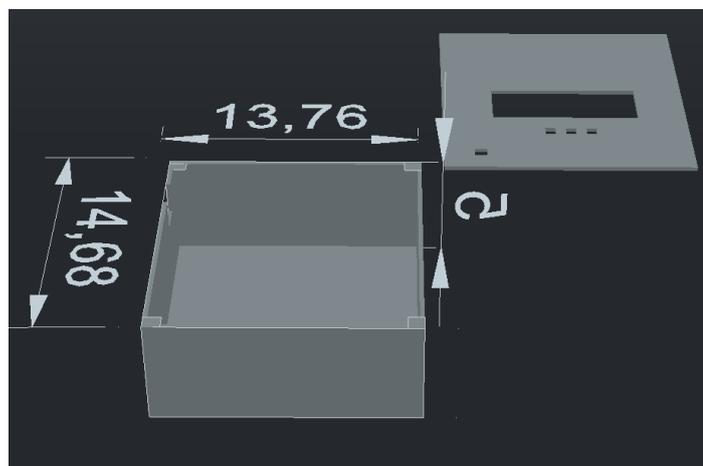


Ilustración 34 Dimensiones del prototipo de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

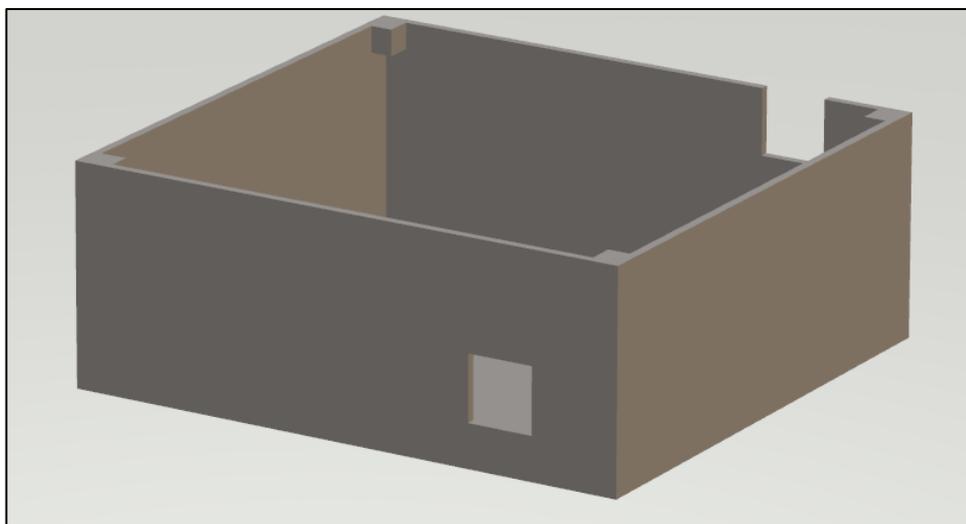


Ilustración 35 Caja - Vista Isotrópica del sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

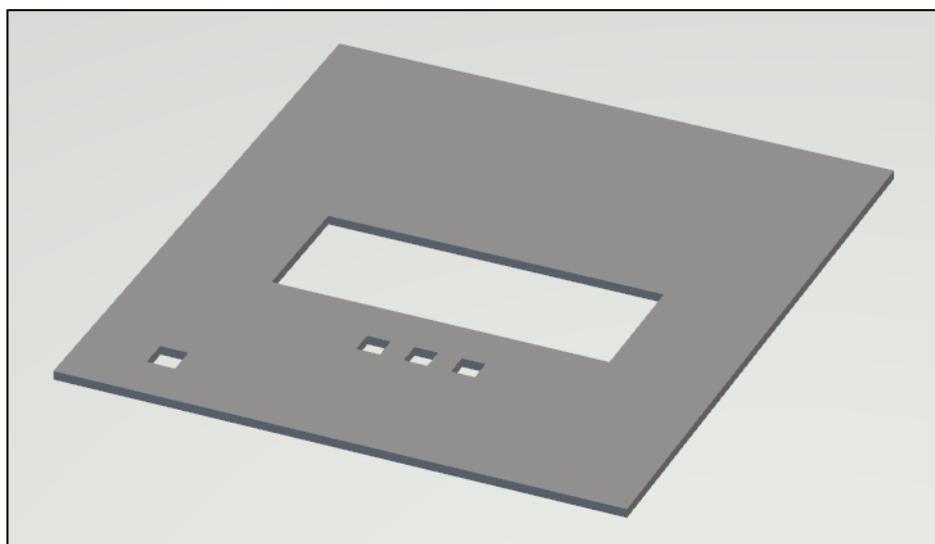


Ilustración 36 Tapa - Vista Isotrópica del sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

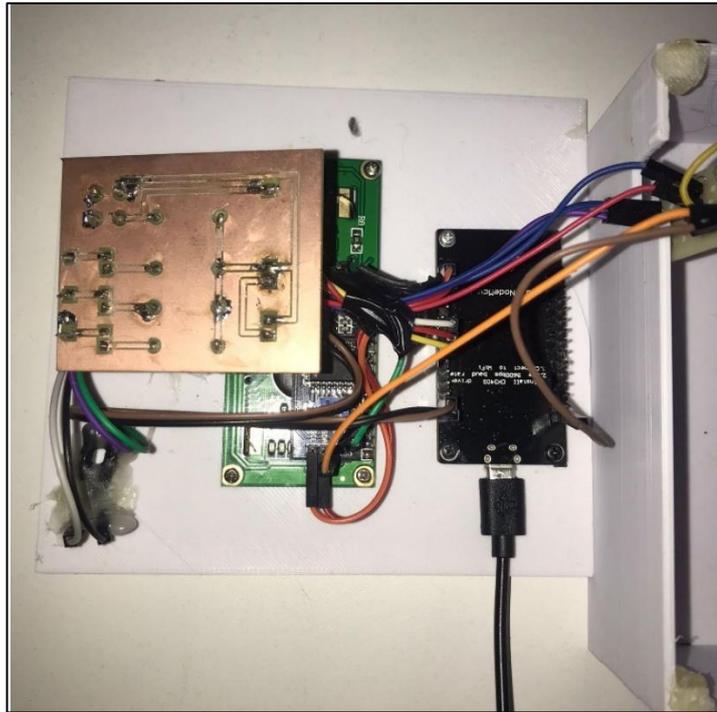


Ilustración 37 Implementación del sistema de adquisición, gestión y visualización.

Elaborado por el Investigador



Ilustración 38 Sistema de adquisición, gestión y visualización

Elaborado por el Investigador

3.11 Programación y requerimientos del diseño del software

El diseño del software y la programación del prototipo está fundamentado en el trabajo de Zulfadhli Osman, Afandi Ahmad y Azlan Muharam, este trabajo presenta un modelo de desarrollo basado en tres etapas:

- Convertidor Análogo – Digital
- Cálculo de la concentración de Bilirrubina
- Sistema de salida de la decisión

Para objetivos correspondientes a este proyecto se adaptó el sistema a una implementación Web, con servidores y monitoreo basados en la nube. De manera similar se expone un arquetipo de funcionamiento basado en cuatro fases:

1. La primera etapa trabaja en base a la adquisición y procesamiento de los datos, por medio del sensor.
2. La segunda etapa corresponde a la programación y cálculo de la medida de bilirrubina sérica por medio de los datos ingresados en la etapa anterior, los mismos que fueron ajustados para un mayor control en medidas de valores bajos.
3. La tercera etapa corresponde al servidor local y la base de datos del sistema donde se almacena y procesa toda la información registrada en tiempo real de los datos extraídos por comunicación inalámbrica desde el dispositivo hasta el servidor, aquí se ejecuta la interfaz de programación de aplicaciones, aquí el usuario (pediatra) podrá acceder al sistema, ingresar y ver la información registrada.
4. La última fase corresponde al sistema de decisión del prototipo donde el algoritmo programado permite la visualización de la cantidad de bilirrubina sérica presente en el neonato, así como LED's de apoyo para un diagnóstico preliminar del paciente. En la Ilustración 39 se muestra el diseño del modelo de implementación del prototipo.

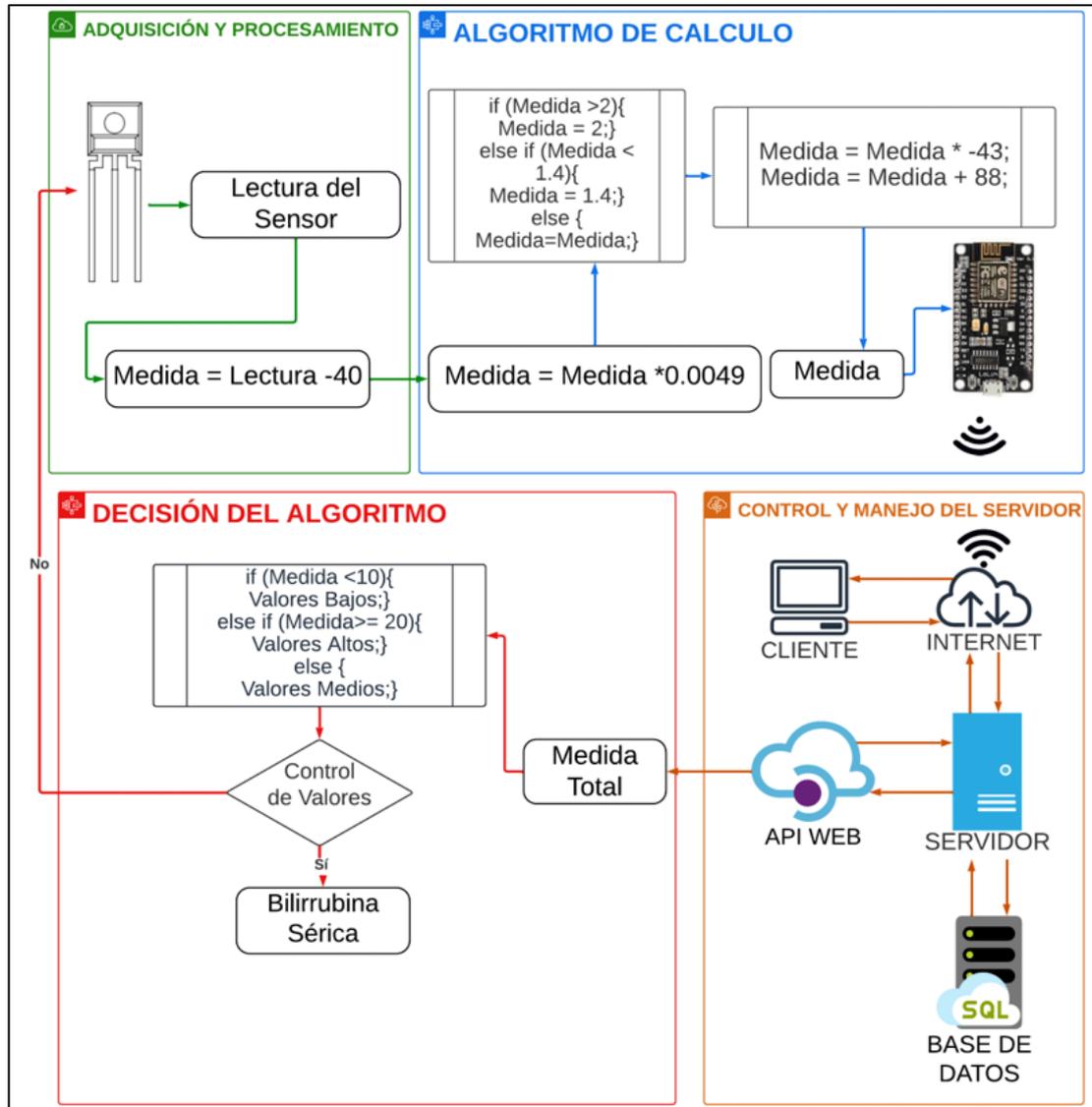


Ilustración 39 Diseño del modelo de implementación del prototipo.

Elaborado por el Investigador

En el modelo anterior se presenta la unión de los sistemas de medición análoga y sistema de adquisición, gestión y visualización, por lo que en la Ilustración 40 se muestra la unión de estos por medio de un cable de 90 cm., medida utilizada para un distanciamiento prudencial de la caja negra con el prototipo para un mayor dinamismo al hacer los exámenes necesarios y que se permita acceder a zonas más lejanas al dispositivo, al dispositivo se lo ha denominado Ars – Medical, por lo que en adelante se lo llamará de esta manera.

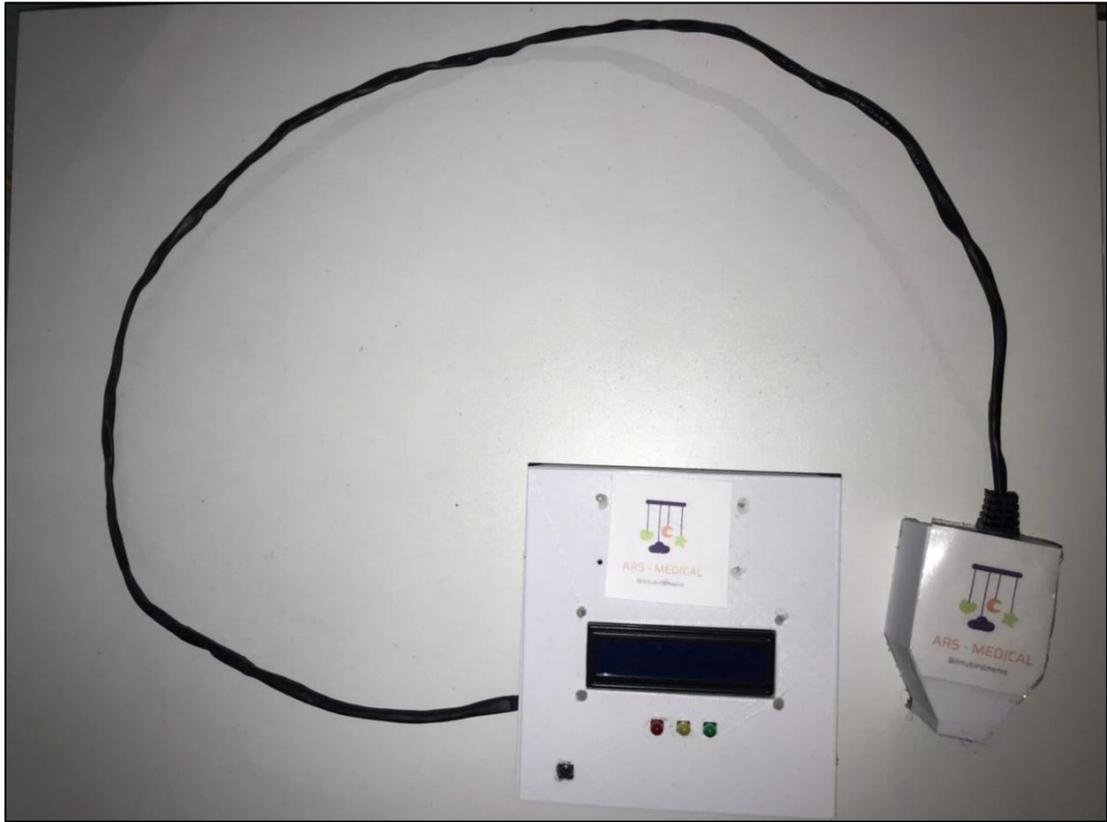


Ilustración 40 Ars – Medical

Elaborado por el Investigador

3.11.1 Programación del algoritmo de cálculo

En el desarrollo del sistema de cálculo se planteó la utilización de un algoritmo de conversión análoga digital, el mismo que permite la transformación de la señal recibida por el sensor TSL 257 a datos digitales, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula de conversión:

$$\text{Señal digital}_{\text{salida}} = \text{Señal análoga}_{\text{tsl 257}} * 0.0049$$

El cálculo se ha ajustado a un parámetro predefinido en estudios anteriores basados en la cantidad de luz del LED y la calibración del sensor. A continuación, se delimita la información receptada en tres lecturas, por lo que se aplica un bloque de condicionamiento 'IF', en la Ilustración 39 se presenta las lecturas propuestas, donde la variable 'lecturaIN' corresponde a la '*Señal digital_{salida}*'.

```

if (lecturaIN >2){lecturaIN = 2;}
else if (lecturaIN < 1.4){lecturaIN = 1.4;}
else {lecturaIN=lecturaIN;}

```

En el bloque de condicionamiento, la primera salida corresponde a todos los valores que sean mayores a 2, estos se convierten en valores constantes de 2, si la lectura digital es menor a 1.4 la lectura se considera en constantes de 1.4, en el caso que los valores se encuentren entre 1.4 y 2 estos tienen una salida del mismo valor de entrada. Estos límites dependen del funcionamiento del sensor TSL 257.

El valor de salida del bloque 'IF', corresponden a valores de voltaje por lo que en la segunda parte se transforma estas mediciones digitales a valores de concentración de bilirrubina en la sangre, para ser más específicos se transforma a miligramos de bilirrubina sobre decilitros de sangre. En el modelo de trabajo de Zulfadhli Osman, Afandi Ahmad y Azlan Muharam presentan un modelo matemático en la arquitectura del software donde se presenta un cálculo predefinido con la siguiente fórmula:

```

lecturaIN = lecturaIN*-43;
lecturaIN = lecturaIN+88;

```

$$\text{Bilirrubina Sérica }_{mg/dL} = (\text{Señal digital}_{salida} * -43) + 88$$

Una vez desarrollada la programación del funcionamiento principal del dispositivo se procederá a desarrollar la terminal de decisiones en base a los niveles de concentración de la patología, aquí se propone un bloque de condicionamiento 'IF' para denotar un diagnóstico rápido, pero que debe ser comprobado por medio de las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence). En la Ilustración 40 se presenta el bloque de condicionamiento.

```

if (medt <10){digitalWrite(D5 , HIGH);}
else if (medt >= 20){digitalWrite(D7 , HIGH);}
else {digitalWrite(D6 , HIGH);}

```

Aquí se presenta la variable ‘medt’, que corresponde al nivel de bilirrubina en la sangre del neonato, donde se ha dividido el nivel de concentración en tres niveles de control, el primer nivel se presenta cuando el nivel de bilirrubina es menor a 10 mg/dL lo que presenta un nivel de hiperbilirrubinemia bajo, el segundo nivel es cuando el valor presentado es mayor a 20 mg/dl aquí se presenta un nivel de bilirrubina extremadamente alto lo que requerirá tratamiento y diagnóstico urgente y el tercer nivel que corresponde a los valores entre 10 y 20 mg/dl que presentan valores medios y que necesitan un diagnóstico más acertado con base a las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence). En la Tabla 23 se presenta las salidas de la terminal de decisión del sistema.

Tabla 23 Nivel de decisión del prototipo

<i>Bilirrubina ($\frac{mg}{dl}$)</i>	<i>Nivel de concentración</i>
Concentración => $10 \frac{mg}{dl}$	Bajo
$10 \frac{mg}{dl} < \text{Concentración} \leq 20 \frac{mg}{dl}$	Medio
Concentración > $20 \frac{mg}{dl}$	Alto

Elaborado por el Investigador en base a: [38]

3.12 Etapa de adquisición

La etapa de adquisición corresponde a la tercera fase del modelo planteado donde se seleccionaron los esquemas y estructuras de funcionamiento en el desarrollo y la organización de la información recibida en la anterior etapa, aquí las señales recibidas se enviarán a un framework web el mismo que sirve de gestor entre la base de datos y el servidor local. En la siguiente sección se detallan los protocolos de comunicación, librerías, diagramas y procesamiento.

3.12.1 Selección del framework web para Python

En la aplicación del esquema de estructura se basa en el funcionamiento del framework web para el entorno de trabajo, registro y visualización de la información de los pacientes registrados, por lo que es necesario crear una interfaz de programación flexible y aplicable en centros médicos de todo el país. En la tabla 24 se presenta una comparativa entre los frameworks basados en el lenguaje de programación Python.

Tabla 24 Comparación de framework para Python

Parámetros	Flask	Django	Pyramid
Descripción	Flask corresponde a un framework ligero de aplicación web con gran capacidad aplicativa.	Django es un framework web de alto nivel aplicado en Python, su principal objetivo se fundamenta en un desarrollo rápido y pragmático.	Pyramid es un framework web WSGI de código abierto este trabaja con un diseño arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC) y en la actualidad es ampliamente utilizado por usuarios en Python.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> •Minimalista. •Control aplicable a diferentes proyectos. •Recursos en línea. •Aplicabilidad a distintos proyectos. •Muy flexible. •Gran documentación. 	<ul style="list-style-type: none"> •Sumamente rápido de aplicar y ejecutar. •Comunidad activa con una gran cantidad de documentación. •Aplicabilidad simple de bases de datos. •Personalizable. 	<ul style="list-style-type: none"> •Fácil programación y escritura de API. •Posee protección CSRF •Cuenta con un framework pequeño y ligero. •Se adapta bien a tareas como exponer el código Python existente como una API REST.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> •No está diseñado para el manejo de programación asíncrona. •La creación de proyectos complejos requieren un conocimiento previo del funcionamiento. •Orientado a aplicaciones de carácter flexible. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se necesita un conocimiento aplicativo a gran escala. •La documentación no cubre escenarios del mundo real. •Los errores de plantilla fallan por defecto, dificultando su funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee una capacidad de aplicabilidad limitada en comparación con sus contrapartes. •Necesita obligatoriamente conectarse a una base de almacenamiento interna con bibliotecas externas. •La creación de un proyecto a gran escala se vuelve complejo.

Elaborado por el Investigador en base a: [52], [53], [54]

En base a los parámetros antes presentados se seleccionó el framework de trabajo en Flask, principalmente por sus características de ser un entorno de trabajo flexible, aplicativo y minimalista para la creación de APIs, aparte de contar con una gran cantidad de documentación y comunidad activa que permiten la adaptabilidad y fácil entendimiento del desarrollo web desde Python, en comparación con Django que es un software más robusto y complejo diseñado principalmente para aplicaciones de mayor envergadura. Pyramid posee un entorno de trabajo ligero y simple, pero con grandes carencias como es la falta de documentación y de una comunidad activa que permita un mayor entendimiento del desarrollo de aplicaciones web, también es un framework limitado y con requerimientos más complejos de cumplir.

3.12.2 Selección de la base de datos

Los gestores de bases de datos corresponden a softwares capaces de almacenar una gran cantidad de información, relacionarla y estructurarla, existen una gran cantidad de programas aplicados a diferentes tipos de códigos y sistemas operativos, como Linux, Mac OS X, Windows, entre otros, destinados a infinidad de aplicaciones web o almacenamiento interno. En la Tabla 25 y 26 se presentan las características principales de los gestores de bases de datos más importantes en las aplicaciones web.

Tabla 25 Características de las bases de datos -1

Parámetros	MySql	Sql Server	MariaDB
Descripción	Es un sistema de administración de base de datos y teniendo un código de libre acceso, el cual está fundamentado en el lenguaje de consulta configurado de SQL.	Es un sistema de administración de base de datos de correspondencia, desarrollado por Microsoft, su lenguaje fundamental para consulta es Transact-SQL.	MariaDB Server como el nombre indica, es un servidor de base de datos de código libre, siendo rápido y potente, que está basado en tecnología MySQL.

Elaborado por el Investigador en base a: [55], [56]

Tabla 26 Características de las bases de datos -I

Parámetros	MySql	Sql Server	MariaDB
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Total control y adaptable, con una gran accesibilidad y seguridad sin costo agregado. • Seguridad sólida y poseen bloqueos con contraseñas codificadas. • Capacidad de efectuar su funcionamiento en segundo plano y gestión de las solicitudes de los clientes MySQL. • MySQL se fundamenta en un arquetipo cliente-servidor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de duplicar cualquier tipo de información. • Tolera distintos lenguajes de programación como: Python, PHP, C, C+, etc. • Nula capacidad de diferenciación entre minúsculas y mayúsculas. • Brinda el mecanismo que permite la incorporación con aplicaciones web. • Facilidad para trabajar con aplicaciones que estén desarrolladas en “.Net”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transforma los datos en información organizada. • Provee una interfaz SQL que autoriza el acceso a los datos. • Incorpora diversos motores que tengan complementos e integren una capacidad de almacenamiento. • Dispone de diversos programas con la capacidad de recopilación, gestión y el análisis de datos de la cosmografía terrestre, así como la notación de elementos de JavaScript, o conocido por sus siglas en inglés como “JSON”.

Elaborado por el Investigador en base a: [55], [56]

A partir de las características señaladas en la tabla se selección MySQL, por su gran capacidad aplicable y administrable a gran escala para un manejo de gran cantidad de datos, que van a ser necesarios debido a la gran demanda hospitalaria que requiere una patología de este carácter, siendo ideal para la ejecución y gestión de información de las historias clínicas de los pacientes en segundo plano.

3.12.3 Instalación de librerías y herramientas para el prototipado

Instalación del framework web Flask

El entorno virtual de Flask corresponde a un grupo independiente de bibliotecas utilizadas en Python usadas principalmente para administrar diferentes dependencias dentro de un proyecto, estas brindan un soporte de ayuda para crear diferentes requerimientos web que permitan seguir instructivos de manera adaptativa. Dentro de la instalación del framework debemos seguir los siguientes pasos en el sistema operativo de Windows.

1. Previamente se debe contar con el lenguaje de programación Python instalado en el computador.
2. Una vez se disponga de Python, es necesario crear una carpeta donde se configura la aplicación de Flask, en este caso se la denomina “app-flask”.
3. Se accede al terminal y se ingresa a la ruta de la carpeta que se ha creado, posteriormente se ejecuta el siguiente comando:

```
py -m venv env
```

4. Esto genera un nuevo entorno virtual de Flask, por lo que se revisa si la carpeta cuenta con el entorno “env”.
5. Posteriormente se accede al terminal y se activa el entorno con el comando:

```
env\Scripts\activate
```

6. A continuación, se instala Flask en Python siguiendo el comando:

```
pip install flask
```

7. Dentro del editor avanzado se crea un nuevo archivo con extensión .py y se lo guarda en la carpeta, y con los siguientes comandos se ingresa a las dependencias propias de Flask.

```
from flask import *  
  
from flask_mysqlldb import MySQL
```

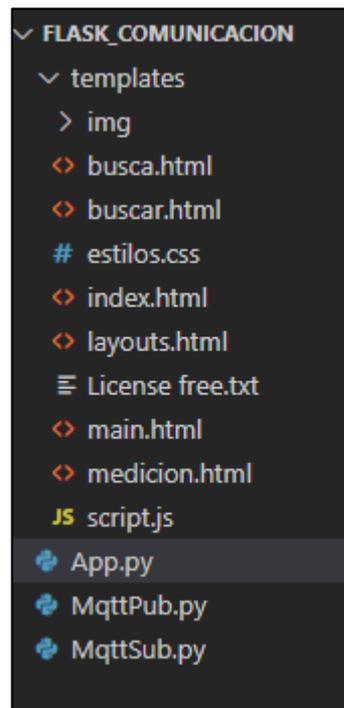


Ilustración 41 Archivos - Comunicación Flask

Elaborado por el Investigador

En la Ilustración 41 se puede observar los archivos necesarios para la creación de la aplicación del sistema web de Ars-Medical, el cual se describe a breves rasgos a continuación:

- templates: Posee las plantillas de diseño HTML.
- img: Contiene las imágenes que se utilizan en el navegador web.
- App.py: Es la aplicación principal con las rutas de activación del resto de funcionalidades “.html”.
- MqttPub.py y MqttSub.py: Es la aplicación del protocolo de comunicaciones enfocado al registro de los datos con la base de datos.
- estilos.css y layouts.html: Corresponde a los elementos de diseño precargados.

Instalación del base de datos MySQL

Para la instalación de la base de datos seleccionada se tomará en consideración la aplicación de un software libre que consiste en la gestión independiente de varios servidores web, así como diferentes servicios, entre los cuales se incluye Apache, MySQL, FileZilla, Mercury y Tomcat, sin importar el sistema operativo que tenga el hospital, en el caso de Windows se sigue los siguientes pasos:

1. Descargar el archivo .exe y ejecutar.
2. Inicializar el asistente de instalación siguiente y ajustar las configuraciones dependiendo de las necesidades del usuario.
3. Seleccionar los componentes de software que se requiera instalar, por fines consiguientes al proyecto se instaló MySQL y Apache.
4. Seleccionar el directorio donde va a realizarse la instalación.
5. Inicializar el proceso de instalación para lo cual se requiere configurar el Firewall necesario y finalizar la instalación.
6. Finalmente inicializar los módulos de activación de los servicios de XAMPP, activando Apache y MySQL para un correcto funcionamiento.

En la Ilustración 42 se presenta el panel de control de XAMPP con los módulos y servicios habilitados y que se encuentran configurados para ejecutarse de manera automática al arrancar el sistema.

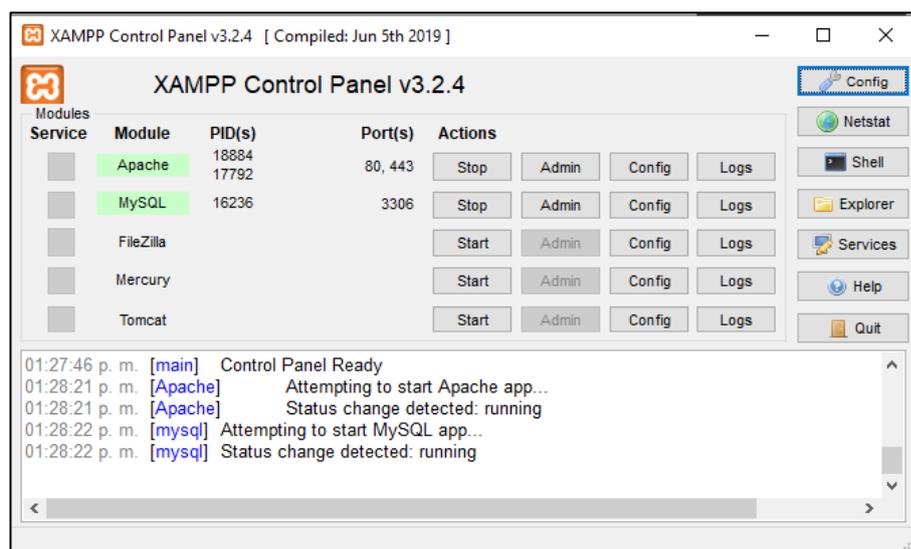


Ilustración 42 Panel de Control XAMPP

Elaborado por el Investigador

Se puede comprobar el funcionamiento de la implementación de la base de datos ingresando a phpMyAdmin, ingresando a la dirección IP del servidor en el navegador, <http://localhost/phpmyadmin/>, la cual se puede visualizar en la página principal el registro e ingreso al servidor web.

Instalación del bróker MQTT

MQTT es un protocolo de comunicación inalámbrico utilizado principalmente para el envío y recepción de información mediante un sistema de mensajería de publicación/suscripción, caracterizado principalmente por su ligereza y facilidad de implementación con pocos recursos. En la Ilustración 43 se detalla el diseño del envío de datos entre el microcontrolador y la base de datos.

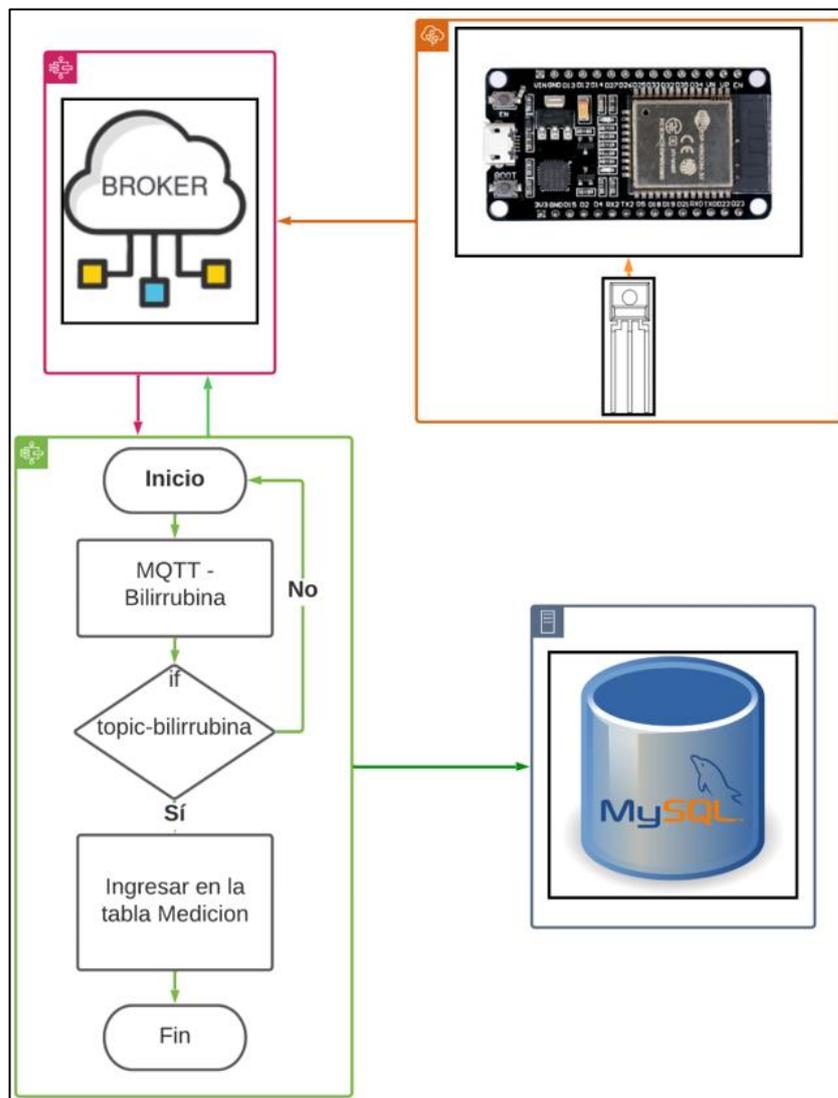


Ilustración 43 Diseño del envío de datos.

Elaborado por el Investigador

A continuación, se presentan los pasos a seguir en la instalación de este protocolo.

1. Previamente se deberá tener instalado Python en la computadora.
2. Se utilizará el comando PIP dentro de la consola de comandos, mediante el ingreso del siguiente comando:

```
pip install paho-mqtt
```

3. Se puede utilizar un bróker de manera local o un bróker online gratuito entre los siguientes:
 - test.mosquitto.org
 - broker.hivemq.com
 - iot.eclipse.org
4. Posterior a esto únicamente se importará las librerías al comienzo del código y se cuenta con este protocolo de comunicación.

```
import paho.mqtt.client as mqtt
```

3.12.4 Creación de la base de datos local

La base de datos local se la creó con el nombre de “ars_b” la misma que nos permite almacenar todos los datos dentro de distintas tablas que permite el manejo y control de las diferentes variables a ingresar. En base a la entrevista realizada a la especialista en pediatría Castañeda Sandoval Jaddy Vannessa con registro en el Senescyt N° 1028-2021-2321045, se tomará en consideración los parámetros requeridos en el desarrollo de la base de datos. Dentro de las tablas generadas se encuentran:

- Doctores
- Medición
- Paciente

Tabla Doctores

La tabla “doctores” representa el registro e ingreso del personal médico cuenta con un ámbito de seguridad para el acceso individual al sistema informático mediante la cédula de identidad del doctor. Los datos registrados dentro de esta tabla son:

- Id
- Nombre
- Cédula

La “Id” posee el número de registro de cada usuario registrado el mismo que sirve para llevar un papel contable de la cantidad de personal médico que tiene acceso al servidor web. La variable “Nombre” corresponde al nombre de los doctores que realizan el registro y tendrán acceso a la plataforma. “Cédula” corresponde al número de la cédula de identidad de la persona que entre al servicio esta variable es de suma importancia pues la misma será el usuario y contraseña de acceso. En la Ilustración 44 se muestra las variables creadas dentro de la tabla.

id	nombre	cedula
1	Castañeda Sandoval Jaddy Vanessa	1803263043
2	Zambrano Cerda Eddison Alberto	1804969069

Ilustración 44 Variables - Tabla Doctores

Elaborado por el Investigador

Tabla Medición

La tabla “medición” corresponde a una de las más simples, está cuenta únicamente con dos variables para el control del envío de datos de la bilirrubina calculada por el prototipo y específicamente es la que se conecta entre el bróker de MQTT con la base de datos, las variables que se encuentran dentro de esta tabla son:

- Id
- Bilirrubina

La “Id” como su nombre dice corresponde al registro que se le otorga a cada una de las mediciones, esta variable es de suma importancia pues permite el control y envío del último registro de bilirrubina al servidor web. “Bilirrubina” corresponde a la medida de la cantidad de bilirrubina sérica en el neonato que se va a ir registrando en correspondencia al envío de datos por el microcontrolador. En la Ilustración 45 se presentan las variables de la tabla.

id	bilirrubina
1	31
2	20
3	17.5

Ilustración 45 Variables - Tabla Medición

Elaborado por el Investigador

Tabla de Paciente

La creación de esta tabla es el eje principal del manejo de la base de datos pues aquí se registrarán los pacientes por su historia clínica, datos personales y mediciones realizadas por el dispositivo, por lo cual se ha tomado en referencia el registro de datos en base a las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) y datos relevantes de los neonatos, que también se toma en consideración en el diagnóstico y tratamiento de la patología. Dentro de las variables registradas en la tabla se encuentran:

- Id
- Tiempo
- Nombre
- Sexo
- Edad
- Peso
- Longitud
- Enfermedades
- Bilirrubina
- Ingreso

La primera variable “id” es el número de registro realizado utilizado principalmente para el control de las inscripciones realizadas por usuario. “tiempo” corresponde a un control temporal de registro de la fecha y hora del ingreso de un dato para esto se asignó la herramienta CURRENT_TIMESTAP.

La variable “nombre” es únicamente el nombre del paciente que recibe el control de la enfermedad. “sexo” es el género del neonato o paciente que se está registrando. “edad” corresponde a la edad en semanas a la toma de la medida del paciente, con un registro contable para el diagnóstico. La variable “peso” y “longitud” son parte de la historia clínica necesaria para un control más detallado de enfermedades derivativas de la patología que se pueden desarrollar. “enfermedades” esta forma parte esencial del registro del paciente pues detalla todo tipo de enfermedades que pueden ser hereditarias por los padres o datos relevantes al momento del ingreso del paciente. “bilirrubina” corresponde a la medida tomada por el prototipo y asignada a un paciente en específico. Finalmente, la variable “ingreso” es la cantidad de semanas de gestación que tuvo el neonato, de la misma manera que la edad forma parte esencial para el diagnóstico mediante las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence). En la Ilustración 46 se muestran de manera específica las variables registradas en la tabla.

id	tiempo	nombre	sexo	edad	peso	longitud	enfermedades	bilirrubina	ingreso
4	2022-01-07 07:23:07	Gavilanes Proaño Wendy Patricia	Femenino	23	45	155	Enfermedades hereditarias: No Alergia a farmacos:...	0	
3	2022-01-07 07:23:07	Sandoval Freire Sandra Jeannette	Femenino	55	61	155	Alergia a farmacos: No Enfermedades catastróficas...	0	
2	2022-01-07 07:23:07	Zambrano Castañeda Lucas Alberto	Masculino	17	15	80	Enfermedades hereditarias: Diabetes. Alergia a fa...	0	
1	2022-01-07 07:23:07	Crespo Paredes David Eduardo	Masculino	24	83	185	Enfermedades hereditarias: Ácido úrico. Alergico ...	4	

Ilustración 46 Variables - Tabla Paciente

Elaborado por el Investigador

3.12.5 Conexión de la base de datos con el microcontrolador

Para la conexión entre la NodeMCU esp8266 y el servidor local que hemos creado, en la base de datos “ars_b” y la tabla “medición” para que se almacene la variable de registro enviada por el prototipo, se utilizó el protocolo de comunicación MQTT como se mencionó con anterioridad, para lo cual se creó dos archivos para la publicación y la suscripción y también en la programación del microcontrolador se incluye las librerías y líneas de código necesarias.

Programación NodeMCU esp8266

Se ingresa la librería del protocolo seleccionado.

```
#include <PubSubClient.h>
#include <WiFiClient.h>
```

Se incluye la dirección del servidor donde se encuentra el bróker.

```
const char* mqttServer= "test.mosquitto.org";
const int mqttPort= 1883;
const char* mqttUser = "";
const char* mqttPassword = "
```

Se establece el tipo de cliente en este caso el cliente WiFi.

```
WiFiClient espClient;
PubSubClient client (espClient);
```

Posteriormente se conecta el microcontrolador a la señal Wifi.

```
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print("Conectando...");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {}
```

Se establece la conexión entre el puerto del servidor MQTT con el usuario conectado para lo cual se creó un bucle while hasta que se realice la conexión.

```
while(!client.connected()){
    if (client.connect("ESP8266", mqttUser, mqttPassword)){
        Serial.println("conectado");}
```

A continuación, se desarrolló un callback para el tópico creado, para lo cual se envió un mensaje de confirmación para verificar la conectividad dentro del tópico correcto.

```
void MQTTCallback(char* topic, byte* payload, unsigned int
length){
    Serial.println(topic);
    for (int i=0;i<length;i++){message= message (char)payload[i];
```

Finalmente se envía el mensaje que deseamos registrar en la base de datos que es el cálculo de la cantidad de bilirrubina en la sangre una vez pasado por el algoritmo de medición, para lo cual se utilizó los siguientes comandos:

```
client.publish("bilirrubina",buffer);  
client.subscribe("bilirrubina");
```

Programación Python

Dentro de la interfaz de programación se creó dos archivos .py el uno denominado MqttPub.py y el otro MqttSub.py, el primero está destinado para publicar dentro del protocolo y el segundo para suscribirse a los mensajes publicados dentro del tópico seleccionado y poder enviarlos a la base de datos, aquí se explica cada uno de los pasos a seguir para establecer la conexión con el servidor local.

De manera similar a la programación realizada en el microcontrolador primeramente se colocan las librerías propias del protocolo.

```
import paho.mqtt.client as mqtt  
import sys  
import MySQLdb
```

Posteriormente se conectó con la base de datos de MySQL y se preparó el cursor.

```
import MySQLdb  
try:  
    db = MySQLdb.connect("localhost","root","","ars_b")
```

A continuación, se establece dos funciones correspondientes a la conectividad al bróker, su suscripción y el establecimiento del envío del mensaje de la bilirrubina a la base de datos local, específicamente a la tabla “medición” la misma que tiene un comando de ejecución para comprobar el correcto registro de la variable.

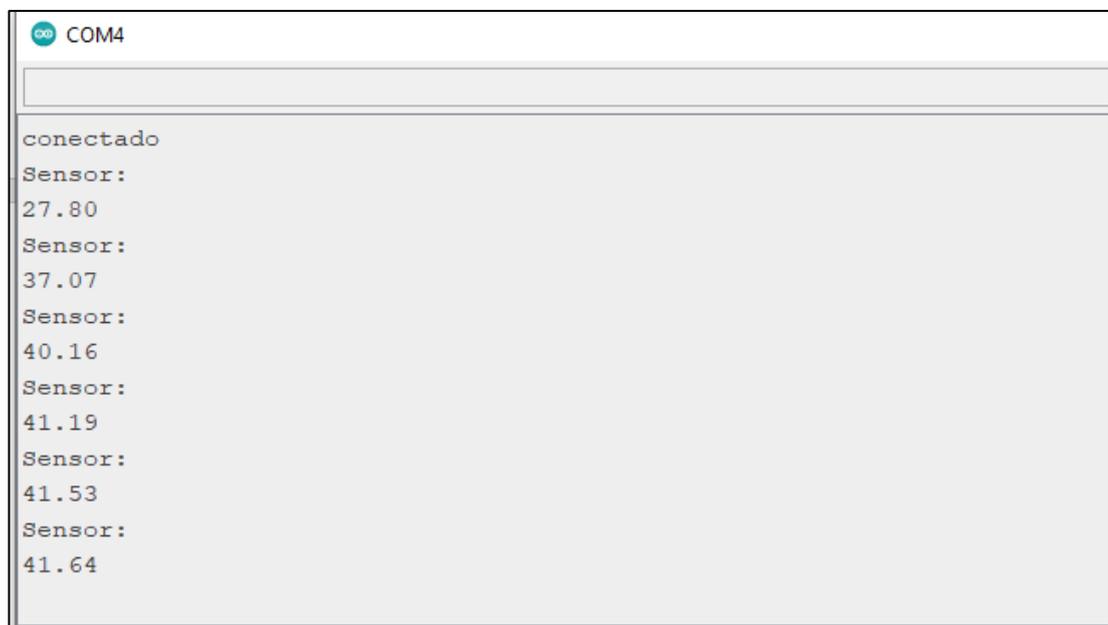
```
def on_connect(client, userdata, flags, rc):  
    client.subscribe("bilirrubina/#")  
def on_message(client, userdata, msg):
```

```
sql = """INSERT INTO `ars_b`.`medicacion` (`id`,`bilirrubina`)
VALUES (NULL, '""" + str(msg.payload) + """);"""
```

Estableceremos la conexión con el cliente y ejecutaremos las funciones antes creadas, para esto estableceremos la conectividad con el bróker online gratuito “test.mosquitto.org”, en el puerto 1883, y generaremos un bucle infinito para que se continúe recibiendo los datos de manera continua.

```
client = mqtt.Client()
client.on_connect = on_connect
client.on_message = on_message
try:
    client.connect("test.mosquitto.org", 1883, 60)
try:
    client.loop_forever()
```

En las Ilustraciones 47, 48 y 49 se presenta la conectividad y envío de datos por medio del protocolo MQTT a través del microcontrolador, la correcta suscripción con la librería paho y su registro dentro de la base de datos.



```
COM4
conectado
Sensor:
27.80
Sensor:
37.07
Sensor:
40.16
Sensor:
41.19
Sensor:
41.53
Sensor:
41.64
```

Ilustración 47 Conectividad y envío de datos – Microcontrolador

Elaborado por el Investigador

```

PS D:\jonal\JonaleocP8\DEBERES\TESIS\PROGRAMACION\PYTHON\Flask_Comunicacion> python .\MqttSub.py
Se conecto con mqtt 0
bilirrubina b'2.780000e+01c'
Guardando en base de datos...OK
bilirrubina b'3.706667e+01c'
Guardando en base de datos...OK
bilirrubina b'4.015556e+01c'
Guardando en base de datos...OK
bilirrubina b'4.118518e+01c'
Guardando en base de datos...OK
bilirrubina b'4.152840e+01c'
Guardando en base de datos...OK

```

Ilustración 48 Suscripción y registro – Paho

Elaborado por el Investigador

id	bilirrubina
1	31
2	20
3	17.5
4	27.8
5	37.0667
6	40.1556
7	41.1852

Ilustración 49 Registro en la base de datos – MySQL

Elaborado por el Investigador

Programación Flask

Dentro de Flask únicamente se importaron las librerías necesarias y se estableció la conectividad a partir del programa principal, para que se pueda trabajar desde las diferentes rutas de acceso procedentes del framework. A continuación, se muestran las líneas de código necesarias para la conexión.

```

from flask import *
from flask_mysql import MySQL
app.config['MYSQL_HOST'] = 'localhost'
app.config['MYSQL_USER'] = 'root'
app.config['MYSQL_DB'] = 'ars_b'
mysql = MySQL(app)

```

3.12.6 Servidor web

Posterior al establecimiento de la base de datos y con la utilización de Flask y HTML se planteó el esquema de desarrollo del servidor web, el mismo que permitió el registro regulado de la información presentada por el prototipo y poder llevar un seguimiento del caso clínico, la información recabada de los médicos y pacientes proveyó la información necesaria para realizar:

- Login
- Ingreso de la historia clínica
- Medición
- Búsqueda
- Información

En el siguiente apartado se detalla el desarrollo, programación y procesamiento de la información necesaria en la aplicación del servidor web, que se encuentra representado en la ilustración 50.

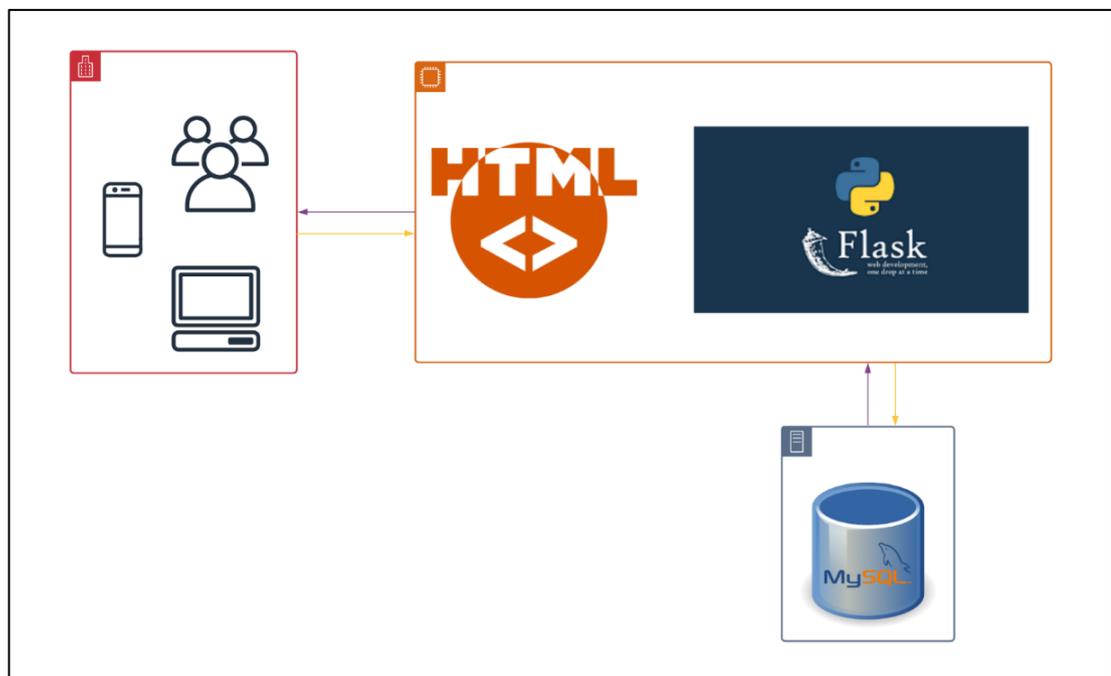


Ilustración 50 Diseño del Servidor Web

Elaborado por el Investigador

3.12.6.1 Desarrollo de la aplicación web – Python

Como primer paso en el desarrollo del servidor web se creó un archivo Python, el mismo que se ejecutó para inicializar el servidor que mostró la información antes descrita, para esto abriremos el archivo denominado “app.py”, en el directorio del proyecto, este permite gestionar solicitudes HTTP por medio de métodos de recepción y respuesta de la información gestionada, a continuación se detalla el proceso de programación.

Programación aplicación web – Python

Inicialmente como se detalló en puntos anteriores se importan las librerías de Flask, MySQL y se establecen las rutas para la configuración de la base de datos.

```
app.secret_key = 'mysecretkey'
if __name__ == "__main__":
    app.run(port=3000, debug=True)
```

Posteriormente se establecen las rutas de acceso que va a poseer el servidor web, la cual se explicó en la programación de cada una de las rutas y páginas web.

3.12.6.2 Página web - login

Al acceder al servidor web, se estableció un control de entrada para evitar que personas ajenas al hospital ingresen al servidor web y a los datos clínicos de todos los pacientes, aquí se toma en consideración la utilización de un usuario (corresponde a la cédula de ciudadanía del personal médico o de servicio técnico que se encuentre registrada en la base de datos en la tabla de “médicos”) y una contraseña que por cuestiones de desarrollo se estableció una contraseña por defecto para todos los usuarios “ars”.

Programación página web – login

Inicialmente dentro de la aplicación web se establece dos rutas de acceso la inicial “/”, la misma que únicamente ejecuta la template en HTML.

```
@app.route('/')
def Ingreso():
    return render_template('main.html')
```

La segunda ruta se la denominó “/login” con un método GET para llevar el registro de la información del personal médico que cuente con acceso a la plataforma, aquí se tomó en consideración el registro de los datos ‘ced’ y ‘contra’ en la página para poder redirigir a la página de registro de pacientes en el caso de que los datos sean correctos o un mensaje flash de “El usuario o contraseña son incorrectos.”

```
@app.route('/login', methods=[GET])
def inicio():
    if request.method ==GET:
        ced=request.form['ced']
        contra=request.form['contra']
        cur= mysql.connection.cursor()
        cur.execute('SELECT cedula FROM doctores')
```

Posterior a esto se desarrolló la página web para lo cual se creó un archivo denominado “main.html” el mismo que cuenta con una forma de registro con el método GET para el ingreso de los datos “usuario” y “contraseña” que se envía a la aplicación se verifica y se redirige dentro de la plataforma, esta página también cuenta con la programación del mensaje flash que se presentó en la página web al ser llenada con información no registrada en la base de datos.

```
<form action="/login" method="GET">
    <input type="text" name="ced" class="form-control " >
    <h5 class="card-title">Contraseña: </h5>
    <input type="password" name="contra" class="form-control" >
```

En la Ilustración 51 se presenta el diseño de ingreso en el servidor web para el login, mientras que en la Ilustración 52 se presenta el control de acceso de seguridad para terceros.

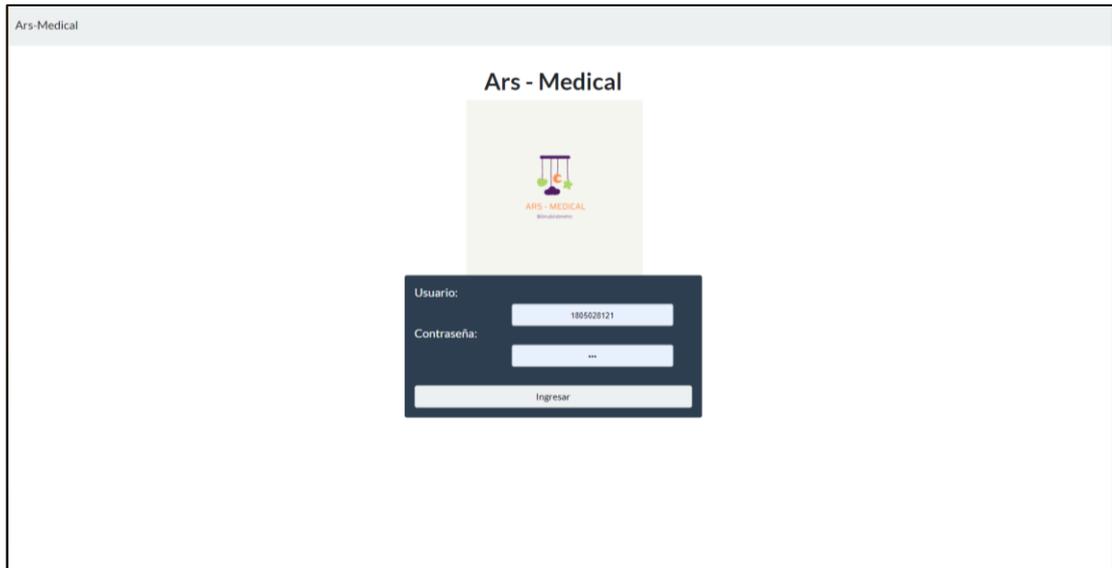


Ilustración 51 Pagina web – Login

Elaborado por el Investigador

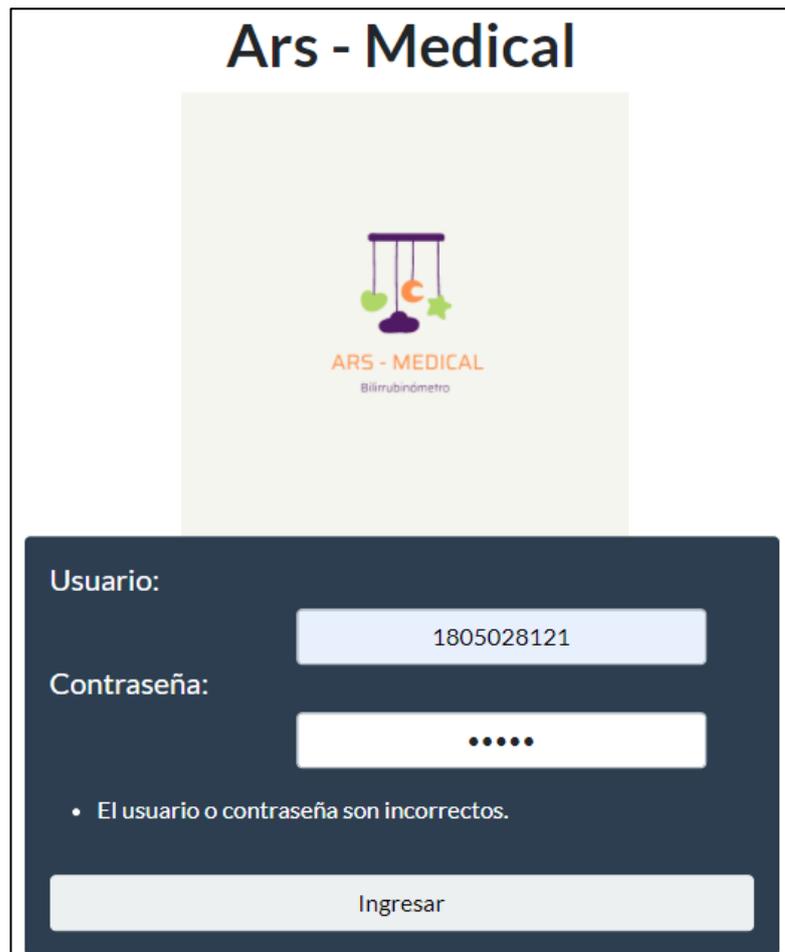


Ilustración 52 Página web - Login - falta de seguridad

Elaborado por el Investigador

3.12.6.3 Página web –historia clínica

La página de historia clínica permite el registro de los datos hospitalarios necesarios para un diagnóstico de la patología.

- Nombre
- Sexo
- Edad Gestacional
- Peso
- Longitud
- Antecedentes clínicos
- Fecha de Ingreso

El registro de estos datos se los envía directamente a la base de datos y se continua con el registro de la cantidad de bilirrubina presente en el paciente. La importancia radica en la utilización de la información para un control más adecuado y un diagnóstico basado en las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence) que requiere la información antes propuesta para la asignación de un tratamiento.

Programación página web –historia clínica

Dentro de “app.py” se crearon dos rutas de acceso en el servidor web, la primera denominada “/ingreso” cuenta con una función para el acceso y envío de datos desde la base de datos. En la tabla paciente se seleccionan todos los datos registrados y se ejecutan por medio de la página llamada “index.html”

```
@app.route('/ingreso')
def Index():
    cur = mysql.connection.cursor()
    return render_template('index.html', data =data)
```

La segunda ruta se llama “/registro” y cuenta con el método de registro de datos POST aquí se registran los datos enviados desde la página web y se los guarda dentro de la base de datos llevando y creando una historia clínica necesaria para el diagnóstico de la patología, por lo que también se ejecuta la conexión con la base de datos para el registro.

```

@app.route('/registro', methods=['POST'])
if request.method == 'POST':
    cur.execute('INSERT INTO paciente
(tiempo,nombre,sexo,edad,peso,longitud,enfermedades,ingreso)
VALUES (CURRENT_TIMESTAMP,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s) '

```

Finalmente, dentro de la página “index.html” se genera una forma con todos los datos descritos en puntos anteriores necesarios para el control de la enfermedad, en consecuencia con el correcto registro de los datos del paciente se genera un mensaje flash para verificar el correcto ingreso de la historia clínica.

```

<form action="/registro" method="POST">
    <input type="text" name="nombre" class="form-control " >
    <input type="text" name="sexo" class="form-control " >

```

En la ilustración de 53 se presenta el diseño de navegación inicial del servidor web, y en las ilustraciones 54 y 55 se muestran la implementación del ingreso de las historias clínicas de los pacientes dentro del servidor, el registro exitoso y la información guardada en la base de datos.

The image shows a web browser window with a navigation bar at the top containing the text 'Aty-Medical Datos del Paciente Medición Buscar Información'. The main content area displays a form titled 'INGRESO PACIENTE'. The form has a dark blue background and contains the following fields and labels: 'Nombre:' with a text input field; 'Sexo:' with a text input field; 'Edad Gestacional:' with a text input field; 'Peso (gr.):' with a text input field; 'Longitud (cm.):' with a text input field; 'Antecedentes:' with a larger text input field; and 'Días de Ingreso:' with a text input field. At the bottom of the form is a button labeled 'Guardar'.

Ilustración 53 Pagina web – Historia Clínica

Elaborado por el Investigador

INGRESO PACIENTE

Nombre:

Sexo:

Edad Gestacional:

Peso (gr.):

Longitud (cm.):

Antecedentes:

Enfermedades hereditarias: Diabetes
 Alergia a Farmacos: No

Días de ingreso:

Registro realizado ✕

Ilustración 54 Pagina web – Historia Clínica – Registro

Elaborado por el Investigador

id	tiempo	nombre	sexo	edad	peso	longitud	enfermedades	bilirrubina	ingreso
7	2022-01-11 01:32:13	Zambrano Cerda Eddison Alberto	Masculino	34	80	50	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a far...		4
4	2022-01-07 07:23:07	Gavilanes Proaño Wendy Patricia	Femenino	23	45	155	Enfermedades hereditarias: No Alergia a farmacos:...		0
3	2022-01-07 07:23:07	Sandoval Freire Sandra Jeannette	Femenino	55	61	155	Alergia a farmacos: No Enfermedades catastróficas...		0
2	2022-01-07 07:23:07	Zambrano Castañeda Lucas Alberto	Masculino	17	15	80	Enfermedades hereditarias: Diabetes. Alergia a fa...		0
1	2022-01-07 07:23:07	Crespo Paredes David Eduardo	Masculino	24	83	185	Enfermedades hereditarias: Ácido úrico. Alergico ...		4

Ilustración 55 Base de datos - Historia Clínica – Registro

Elaborado por el Investigador

3.12.6.4 Página web – medición

La página de medición corresponde a la obtención de la cantidad de bilirrubina presente en la sangre, por medio de los protocolos de comunicación antes propuestos y su posterior registro dentro de la base de datos con la información del paciente que recepto la medición. Dentro de esta página web se asigna el ingreso manual del nombre del paciente y su prescripción o notas del control realizado y un ingreso automático de la bilirrubina sérica registrada desde la última muestra tomada desde el prototipo y la página cuenta con una tabla de visualización del último registro realizado dentro de la base de datos con el fin de verificar el registro.

Programación página web – medición

Se crearon dos rutas de acceso dentro del servidor web, la primera para obtener los datos medidos desde la NodeMCU esp8266 y registrados dentro de la base de datos por medio del protocolo MQTT, denominada “/medición”, permite establecer la conexión con MySQL y seleccionar el último registro dentro de la tabla de medición tomando en consideración la última id ingresada, de igual manera se toman los datos del último registro, para la página web se creó un archivo denominado “medición.html”.

```
@app.route('/medicion')
cur.execute('SELECT * FROM medicion WHERE id=(SELECT max(id)
FROM medicion) ')
cur.execute('SELECT * FROM paciente WHERE id=(SELECT max(id)
FROM paciente)')
```

La segunda parte corresponde a la ruta “/revision” que toma en consideración el ingreso del nombre del paciente y la prescripción médica dada a la hora del control, por lo cual se selecciona la medida dada por el microcontrolador y la ingresa con los datos tomados en la anterior ruta y de la misma forma que en los puntos anteriores se verifica el registro por medio de un mensaje flash.

```
if request.method == 'POST':
cur.execute('SELECT bilirrubina FROM medicion WHERE id=(SELECT
max(id) FROM medicion) ')
```

```
cur.execute('INSERT INTO paciente (tiempo, nombre,
bilirrubina,enfermedades) VALUES (CURRENT_TIMESTAMP,%s,%s,%s) ',
[paciente,b,notas])
```

En “medición.html” primeramente se establece el ingreso de los datos del paciente que es el nombre y la prescripción dadas por el personal médico. Se creó una tabla para la visualización de la medición realizada y el registro en una variable para su ingreso. Se generó una tabla del último registro realizado por medio de la bilirrubina que permite controlar de mejor manera el ingreso de los datos dentro de la base de datos.

```
<H2> MEDICIÓN</H2>
<form action="/registro" method="POST">
<table class="table tabled-striped table-bordered table-sm" >
<td style="text-align: center;" >Bilirrubina Serica:</td>
```

A continuación, en las ilustraciones 56, 57 y 58 se presenta la página web finalizada, el registro correcto de la bilirrubina dentro con los datos ingresados por el especialista y el registro en tiempo real de la base de datos.

MEDICIÓN

Zambrano Cerda Eddison Alberto

Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con un control médico de 2 horas, mejora del paciente: normalizada.

Bilirrubina Serica:

17.5 mg/dL.

Paciente	Medicion	Hora	Prescripción/Notas
Zambrano Cerda Eddison Alberto		2022-01-11 01:32:13	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a farmacos: No

Ilustración 56 Pagina web – Medición

Elaborado por el Investigador

MEDICIÓN

Paciente

Prescripción

Registro realizado ✕

Bilirrubina Serica:
17.5 mg/dL.

Paciente	Medición	Hora	Prescripción/Notas
Zambrano Cerda Eddison Alberto	17.5	2022-01-11 02:08:37	Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con un control médico de 2 horas, mejora del paciente: normalizada.

Ilustración 57 Pagina web – Medición – Registro

Elaborado por el Investigador

id	tiempo	nombre	sexo	edad	peso	longitud	enfermedades	bilirrubina	ingreso
8	2022-01-11 02:08:37	Zambrano Cerda Eddison Alberto		0	0	0	Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con ...	17.5	0
7	2022-01-11 01:32:13	Zambrano Cerda Eddison Alberto	Masculino	34	80	50	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a far...		4
4	2022-01-07 07:23:07	Gavilanes Proaño Wendy Patricia	Femenino	23	45	155	Enfermedades hereditarias: No Alergia a farmacos:...		0
3	2022-01-07 07:23:07	Sandoval Freire Sandra Jeannette	Femenino	55	61	155	Alergia a farmacos: No Enfermedades catastróficas...		0
2	2022-01-07 07:23:07	Zambrano Castañeda Lucas Alberto	Masculino	17	15	80	Enfermedades hereditarias: Diabetes. Alergia a fa...		0
1	2022-01-07 07:23:07	Crespo Paredes David Eduardo	Masculino	24	83	185	Enfermedades hereditarias: Ácido úrico. Alergico ...		4

Ilustración 58 Base de datos – Medición – Registro

Elaborado por el Investigador

3.12.6.5 Página web – búsqueda

El diseño de la página web de búsqueda tiene como objetivo facilitar el acceso a la información de los pacientes registrados dentro de la base de datos sus registros, datos personales, fechas de ingreso, mediciones registradas, antecedentes clínicos, prescripciones y horas de control. El desarrollo se basó en la aplicación de tres diferentes rutas de acceso la primera “/buscar” cuenta con una entrada y un botón que permite ingresar el nombre del paciente que se desea encontrar y el botón para ejecutar la búsqueda. En la segunda ruta denominada “/paciente” se permite visualizar los datos del paciente encontrado y una tabla de los registros contables de las mediciones y

controles registrados en la base de datos. Y la última ruta conecta los datos receptados en la primera ruta y los asigna a la segunda.

Programación página web – búsqueda

Se comienza generando tres rutas de acceso la primera se conectará a MySQL y registra los datos de la tabla “paciente” dentro de una variable, aquí se asignó la template llamada “busca.html”

```
@app.route('/buscar')
def Buscar():
    cur = mysql.connection.cursor()
    cur.execute('SELECT * FROM paciente')
    data = cur.fetchall()
    return render_template('busca.html', paciente =data)
```

En la segunda ruta creada, “/paciente”, se asigna los valores del paciente que se registró en la plantilla anterior, dentro de diferentes variables que permiten él envío y la visualización dentro de la template propia de esta ruta denominada “buscar.html”.

```
@app.route('/paciente')
cur.execute('SELECT * FROM `paciente` WHERE `nombre` = (%s)',
[pacientef])
cur.execute('SELECT edad FROM paciente WHERE nombre = (%s)',
[pacientef])
```

Dentro de la tercera ruta mediante la utilización del método POST se accede a los datos registrados mediante el comando de request.

```
@app.route('/busqueda', methods=['POST'])
pacientef=request.form['paciente']
return redirect(url_for('Pacientes'))
```

Posterior a la creación de las tres rutas se generaron los archivos .html donde el primero, “busca.html”, únicamente cuenta con una forma con un ingreso que es el nombre del paciente y con un botón de ejecución.

```
<form action="/busqueda" method="POST">
  <input type="text" name="paciente" placeholder="Ingrese el
Nombre" class="form-control text-center">
```

En la segunda página web, “buscar.html”, se generó una lista de visualización de los datos enviados con anterioridad y una tabla de presentación de cada uno de registros realizados al paciente.

```
<ul class="list-group list-group-flush ">
<li class="list-group-item list-group-item-info" >Nombre:
{{nombre.0}}</li>
  <li class="list-group-item">Sexo: {{sexo.0}}</li>
  <li class="list-group-item">Edad (semanas): {{edad.0}}</li>
```

Finalmente, en la ilustración 59 se presenta la página de búsqueda principal y en la ilustración 60 y 61 la página de visualización de los datos generados en la investigación clínica del paciente.



BUSCAR PACIENTE

Ingrese el Nombre

Buscar

Ilustración 59 Pagina web – Búsqueda

Elaborado por el Investigador

Reporte del Paciente

Nombre: Zambrano Cerda Eddison Alberto

Sexo: Masculino

Edad (semanas): 34

Medición:	Hora:	Prescripción/Notas:
mg/dL.	2022-01-11 01:32:13	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a farmacos: No
17.5 mg/dL.	2022-01-11 02:08:37	Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con un control médico de 2 horas, mejora del paciente: normalizada.
41.6428 mg/dL.	2022-01-14 10:37:23	Inicializar tratamiento de transfusión sanguínea, debido a que el paciente no presenta mejoría en el tratamiento de fototerapia.
3 mg/dl mg/dL.	2022-01-14 12:38:07	El tratamiento fue beneficioso, se procura un control rutinario por las siguientes 24 horas, para dar de alta al paciente
1.2mg/dL mg/dL.	2022-01-14 18:37:51	El paciente se encuentra en estado estable, con niveles de bilirrubina normales.
1.17 mg/dL mg/dL.	2022-01-14 23:37:51	Se recomienda dar de alta hospitalaria al paciente, con un chequeo posterior a las 48 horas después de esta.

Imprimir

Ilustración 60 Pagina web - Búsqueda realizada

Elaborado por el Investigador

14/1/22 10:43
Ars-Medical

Reporte del Paciente

Nombre: Zambrano Cerda Eddison Alberto

Sexo: Masculino

Edad (semanas): 34

Medición:	Hora:	Prescripción/Notas:
mg/dL.	2022-01-11 01:32:13	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a farmacos: No
17.5 mg/dL.	2022-01-11 02:08:37	Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con un control médico de 2 horas, mejora del paciente: normalizada.
41.6428 mg/dL.	2022-01-14 10:37:23	Inicializar tratamiento de transfusión sanguínea, debido a que el paciente no presenta mejoría en el tratamiento de fototerapia.
3 mg/dl mg/dL.	2022-01-14 12:38:07	El tratamiento fue beneficioso, se procura un control rutinario por las siguientes 24 horas, para dar de alta al paciente
1.2mg/dL mg/dL.	2022-01-14 18:37:51	El paciente se encuentra en estado estable, con niveles de bilirrubina normales.
1.17 mg/dL mg/dL.	2022-01-14 23:37:51	Se recomienda dar de alta hospitalaria al paciente, con un chequeo posterior a las 48 horas después de esta.

Imprimir 1 sheet of paper

Destino Microsoft Print to PDF

Páginas Todos

Disposición Vertical

Color Color

Más opciones v

Imprimir Cancelar

127.0.0.1:3000/paciente
1/1

Ilustración 61 Página web- Reporte del Paciente

Elaborado por el Investigador

Dentro del sistema web de búsqueda se ha implementado un botón para generar el reporte del paciente seleccionado, el cual se puede imprimir de manera automática o guardar en los archivos del sistema en formato PDF. Para esta implementación se subdividió la información requerida en dos partes con el objetivo de priorizar la información necesaria en reportes clínicos.

```
<style type="text/css" media="print">
    @media print {
        #partel {display:none;}
    }
```

3.12.6.6 Página web – información

El desarrollo de esta página web se centró en facilitar el acceso a las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Care Excellence) para el diagnóstico médico de la patología, donde se pueden seleccionar las semanas de gestación del paciente y se presenta el umbral de tratamiento de la hiperbilirrubinemia, aquí el especialista tiene acceso a las imágenes propuestas por la National Institute for Health and Care Excellence de manera sencilla, reduciendo tiempos en el diagnóstico de la patología.

Programación página web – información

Dentro de la programación de la página de información se desarrollaron dos rutas de acceso, la primera “/información” únicamente ejecuta la template cargada “información.html”.

```
@app.route('/informacion')
def info():
    return render_template('informacion.html')
```

La segunda ruta “/tablas” tiene como eje la recepción de información de la variable enviada por la página web mediante el comando request y dependiendo de la selección hecha se muestra la gráfica requerida por el personal que esté operando el prototipo.

```
@app.route('/tablas', methods=['POST'])
if sg=='24':
    img='https://i.ibb.co/qMB4d7d/24.png'
    return render_template('informacion.html', sg=sg, img=img)
```

Dentro del archivo .html, “información.html”, se utilizó un form select para elegir la semana gestacional del neonato y en base al dato enviado se genere la tabla seleccionada.

```

<option value="" selected>Seleccione las semanas gestacionales
...</option>
      <option value="38">38 - Semanas Gestacionales</option>

```

En las ilustraciones 62 y 63 se muestra la página web de búsqueda y la ejecución de la gráfica del umbral de tratamiento generada.



Ilustración 62 Pagina web – Información

Elaborado por el Investigador

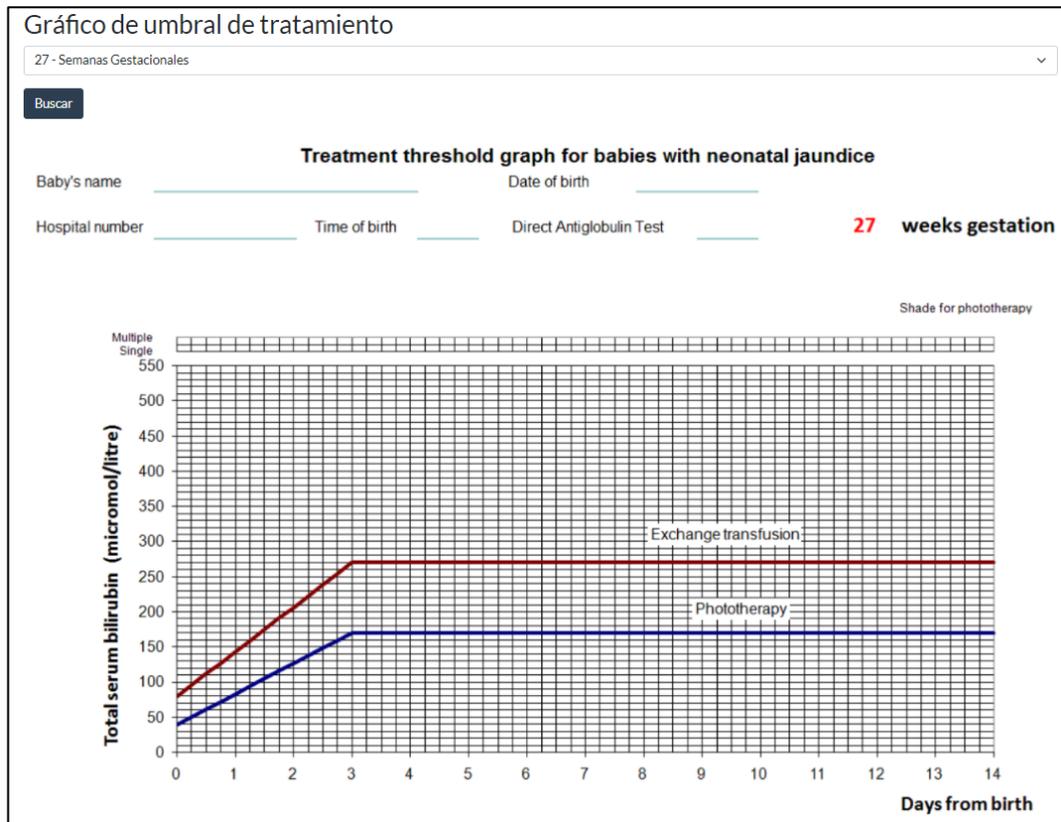


Ilustración 63 Pagina web - Tablas NICE

Elaborado por el Investigador

3.13 Resultados

3.13.1 Ars-Medical

El prototipo final se diseñó en un despliegue de dos piezas, ambas diseñadas en AutoCAD e impresas con fibra brindando versatilidad y facilidad de reconfiguración dependiendo del área médica donde se utilice, las medidas estándar son de: 137 mm x 146 mm x 50 mm el dispositivo de control y decisión y 80 mm x 50 mm x 35 mm el dispositivo de medición separados por un cable de 90 cm. brindando mayor alcance en el desarrollo de las pruebas. En la ilustración 64 se presenta el dispositivo.

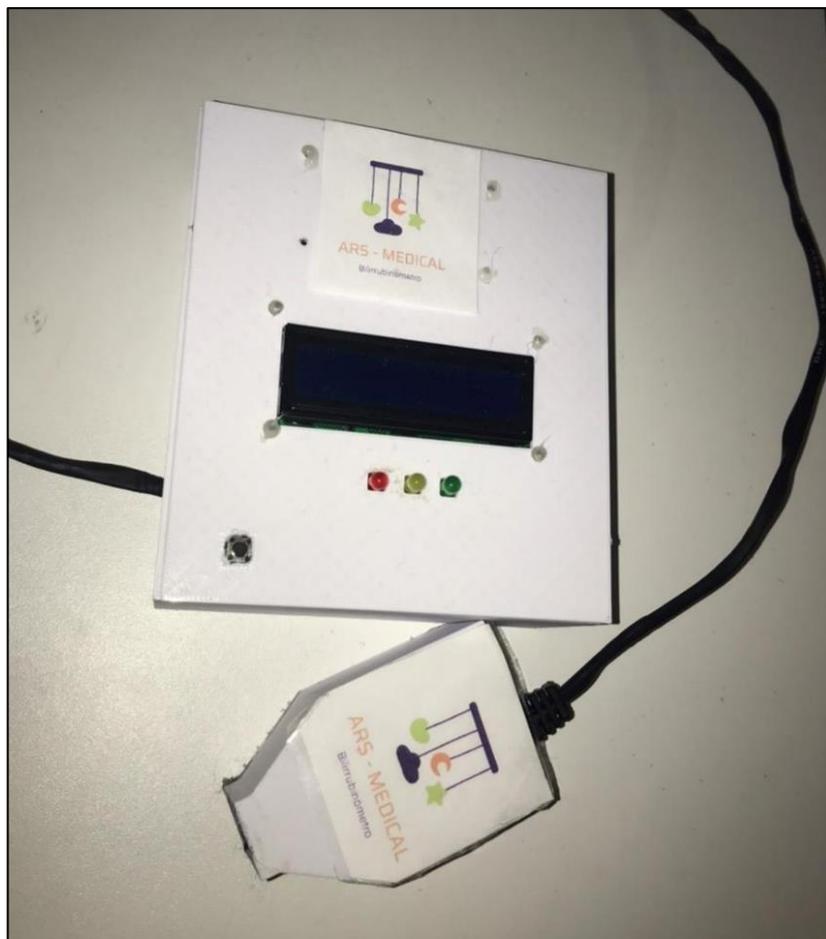


Ilustración 64 Ars-Medical

Elaborado por el Investigador

El instrumento de medición es cómodo y ligero permitiendo que se puedan realizar las pruebas en las diferentes zonas de Kramer y se pueda llevar un control adecuado de la evolución de la patología. Por el momento el único problema es la fuente de energía que va conectada directa a la luz limitándonos a estar cerca de una toma de luz.

3.13.2 Pruebas de funcionamiento

Para la verificación del funcionamiento correcto del prototipo “Ars-Medical” se ejecutaron pruebas en dos grupos diferentes pacientes el primero consta con 8 personas adultas y 2 niños que no presentan bilirrubina elevada ni cuadros patológicos asociados a la enfermedad y el segundo cuenta con 5 neonatos termino que presentan rasgos ictericos de prevalencia de bilirrubina elevada en la sangre, durante las primeras 48 horas de nacimiento en el Hospital Básico Rafael Ruíz de la ciudad Pujilí, se tomó en consideración la tez distinta y en algunos casos oscurecimiento de piel, como se mencionó con anterioridad se descartó la realización de las pruebas en personas de piel negra.

Los resultados para el primer grupo fueron analizados y comparados por medio de exámenes de sangre realizados en un laboratorio clínico de la ciudad de “Ambato”, la diferencia en la toma de la muestra de sangre con la del prototipo varió en un promedio de 5 -15 minutos entre estas. Se tomaron en consideración las características propias de cada individuo como las manchas u oscurecimiento de la piel por exposición al sol. Para el segundo grupo se tomó en consideración los exámenes realizados en el laboratorio el Hospital por pedido del Médico Especialista del área.

Es necesario mencionar, que el segundo grupo de estudio se redujo debido a las restricciones sanitarias impuestas por el Ministerio de Salud, donde no se permite el acceso a terceros a instalaciones Hospitalarias del país, por el resurgimiento de la nueva ola de contagio de COVID, lo que limitó la realización de pruebas en neonatos, en el Anexo 1 se presenta la certificación de funcionamiento del prototipo y acceso a las instalaciones del área neonatal en el Hospital Básico Rafael Ruíz de la ciudad de Pujilí.

En la tabla 27 se presentan las pruebas realizadas con el prototipo y por el examen de sangre en el primer grupo de estudio, los exámenes de sangre se los realizaron con ayuda de los laboratoristas clínicos del Laboratorio Clínico Zamora, y en la tabla 28 y 29 se presentan los datos clínicos de cada uno de los sujetos de prueba a las cuales se les realizaron los exámenes, del primer grupo.

Tabla 27 Pruebas con el prototipo y examen de sangre - Grupo 1

	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 7</i>
<i>Sexo</i>	Femenino	Femenino
<i>Edad</i>	55 años	31 años
<i>Prueba con el prototipo</i>		
<i>Prueba con examen de sangre</i>		
	<i>Paciente 10</i>	<i>Paciente 9</i>
<i>Sexo</i>	Masculino	Masculino
<i>Edad</i>	1 año	24 años
<i>Prueba con el prototipo</i>		
<i>Prueba con examen de sangre</i>		

Elaborado por el Investigador

Tabla 28 Datos Clínicos de los sujetos de prueba – Grupo 1 (1)

	<i>Paciente 1</i>	<i>Paciente 2</i>	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 4</i>	<i>Paciente 5</i>
Sexo	Masculino	Masculino	Femenino	Femenino	Femenino
Edad	24 años	10 años	55 años	52 años	65 años
Tez	Morena Clara	Morena Oscura	Morena Clara	Morena Oscura	Blanca
Fotografía del color de piel					
Observaciones	La tez se tornó morena debido a la exposición continua al sol.	Niño de tez más oscura con manchas de color debido al poco cuidado con la luz solar.		Es la persona que posee la tez más oscura del grupo.	Esta persona es de tez blanca con manchas en la piel por poco cuidado.

Elaborado por el Investigador

Tabla 29 Datos Clínicos de los sujetos de prueba – Grupo 1 (2)

	<i>Paciente 6</i>	<i>Paciente 7</i>	<i>Paciente 8</i>	<i>Paciente 9</i>	<i>Paciente 10</i>
Sexo	Femenino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
Edad	91 años	31 años	23 años	24 años	1 año
Tez	Pálida	Blanca	Morena Clara	Blanca	Morena Clara
Fotografía del color de piel					
Observaciones	Es el sujeto de mayor edad y que presenta la piel más clara del grupo con manchas en la piel por cuestiones de edad.			Es el sujeto de mediana edad con la tez más blanca de todo el grupo.	Es el paciente más joven, tuvo un cuadro de hiperbilirrubinemia en el pasado.

Elaborado por el Investigador

Tabla 30 Datos Clínicos de los sujetos de prueba - Grupo 2

	<i>Paciente 1</i>	<i>Paciente 2</i>	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 4</i>	<i>Paciente 5</i>
Sexo	Femenino	Femenino	Masculino	Masculino	Femenino
Tez	Morena Oscura	Morena Clara	Morena Clara	Morena Oscura	Morena Oscura
Prueba con el prototipo					
Fotografía de la piel					
Observaciones	Paciente presentaba meconio, con cuadro de hiperbilirrubinemia.	El neonato tiene una alta edad gestacional, generando dermatitis atópica.		Neonato presenta meconio, y cuadro de hiperbilirrubinemia,	Paciente de mayor edad del grupo, con color de piel más oscuro.

Elaborado por el Investigador

En la tabla 30 se presentan las pruebas realizadas con “Ars-Medical” a los neonatos del segundo grupo, teniendo en consideración que el examen de sangre lo realizaron en el laboratorio del Hospital Básico Rafael Ruiz, así como una fotografía del color de piel en la zona donde se realizaron los exámenes.

Resultados de las pruebas realizadas

Los resultados de las pruebas se presentan en la tabla 31 a continuación con los valores de la densidad óptica generada presente en el led azul y la ecuación representativa en cada uno de los casos, de los pacientes del grupo 1.

Tabla 31 Valores de bilirrubina sérica – prototipo – Grupo 1

	<i>Paciente 1</i>	<i>Paciente 2</i>	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 4</i>	<i>Paciente 5</i>
<i>Sexo</i>	Masculino	Masculino	Femenino	Femenino	Femenino
<i>Edad</i>	24 años	10 años	55 años	52 años	65 años
<i>Tez</i>	Morena Clara	Morena Oscura	Blanca	Morena Oscura	Blanca
<i>Valores de bilirrubina sérica obtenidos del dispositivo</i>	1.16 mg/dl	1.01 mg/dl	1.15 mg/dl	0.98 mg/dl	1.17 mg/dl
	<i>Paciente 6</i>	<i>Paciente 7</i>	<i>Paciente 8</i>	<i>Paciente 9</i>	<i>Paciente 10</i>
<i>Sexo</i>	Femenino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
<i>Edad</i>	91 años	31 años	23 años	24 años	1 año
<i>Tez</i>	Pálida	Blanca	Morena Clara	Blanca	Morena Clara
<i>Valores de bilirrubina sérica obtenidos del dispositivo</i>	1.05 mg/dl	1.00 mg/dl	1.27 mg/dl	1.22 mg/dl	1.05 mg/dl

Elaborado por el Investigador

En esta tabla se puede visualizar que los valores de la bilirrubina varían entre 0.98 – 1.27 mg/dl que representan valores normales para personas adultas sin grado de bilirrubina elevada.

Es importante destacar que las mediciones tardan aproximadamente 1 minuto por paciente y el registro de la historia clínica con la prescripción médica conlleva 4 minutos adicionales, generando que las mediciones y el control tarden alrededor de 5 minutos por individuo, que en comparación con los exámenes de laboratorio que se realizaron los sujetos de prueba tardaron un aproximado de 1 hora por examen, lo que representa una diferencia de 55 minutos en el desarrollo de los exámenes. Otro punto importante es el registro y control de los datos mediante la utilización de la plataforma web que permite llevar un control más acertado y visualización de la evolución patológica.

En su contraparte en la tabla 32 se puede visualizar los valores obtenidos mediante el examen de sangre realizado en el laboratorio de cada una de las personas del grupo 1.

Tabla 32 Valores de bilirrubina sérica - examen de sangre – Grupo 1

	<i>Paciente 1</i>	<i>Paciente 2</i>	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 4</i>	<i>Paciente 5</i>
<i>Sexo</i>	Masculino	Masculino	Femenino	Femenino	Femenino
<i>Edad</i>	24 años	10 años	55 años	52 años	65 años
<i>Tez</i>	Morena Clara	Morena Oscura	Blanca	Morena Oscura	Blanca
<i>Valores de bilirrubina total obtenida del examen de sangre</i>	1.12 mg/dl	1.25 mg/dl	1.11 mg/dl	1.12 mg/dl	1.18 mg/dl
	<i>Paciente 6</i>	<i>Paciente 7</i>	<i>Paciente 8</i>	<i>Paciente 9</i>	<i>Paciente 10</i>
<i>Sexo</i>	Femenino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
<i>Edad</i>	91 años	31 años	23 años	24 años	1 año
<i>Tez</i>	Pálida	Blanca	Morena Clara	Blanca	Morena Clara
<i>Valores de bilirrubina total obtenida del examen de sangre</i>	1.03 mg/dl	0.96 mg/dl	1.30 mg/dl	1.25 mg/dl	1.09 mg/dl

Elaborado por el Investigador

En la tabla obtenida podemos observar que cada persona presenta una variación de la cantidad de bilirrubina en la sangre entre 0.01-0.24 mg/dl que en comparativa con los valores tomados por el prototipo diseñado se encuentran en un margen de error de 5.412% el cual se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento de un dispositivo médico de este carácter. La eficacia total del dispositivo es de un 94.579% en valores de bilirrubina bajos. En la Tabla 33 se presentan las muestras generadas por paciente en cada uno de los métodos y su porcentaje de error.

Tabla 33 Porcentaje de Error – Prototipo con Examen – Grupo 1

<i>Paciente</i>	<i>Medición Prototipo</i>	<i>Medición Examen de Laboratorio</i>	<i>Error Relativo</i>	<i>Porcentaje de Error</i>
1	1.16 mg/dl	1.12 mg/dl	± 0.04 mg/dl	3.571 %
2	1.01 mg/dl	1.25 mg/dl	± 0.24 mg/dl	19.20 %
3	1.15 mg/dl	1.11 mg/dl	± 0.04 mg/dl	3.604 %
4	0.98 mg/dl	1.12 mg/dl	± 0.14 mg/dl	12.50 %
5	1.17 mg/dl	1.18 mg/dl	± 0.01 mg/dl	0.847 %
6	1.05 mg/dl	1.03 mg/dl	± 0.02 mg/dl	1.942 %
7	1.00 mg/dl	0.96 mg/dl	± 0.04 mg/dl	4.167 %
8	1.27 mg/dl	1.30 mg/dl	± 0.03 mg/dl	2.308 %
9	1.22 mg/dl	1.25 mg/dl	± 0.03 mg/dl	2.40 %
10	1.05 mg/dl	1.09 mg/dl	± 0.04 mg/dl	3.67 %
Error total:			± 0.063 mg/dl	5.421 %
Fiabilidad del sistema:				94.579 %

Elaborado por el Investigador

De la tabla anterior se destacan el paciente 2, ya que el mismo presenta el mayor rango de diferencia entre las mediciones, esto se debe a que el paciente cuenta con una las pieles más oscuras del grupo así como manchas de piel debido a la exposición al sol, generando inconvenientes en los exámenes con el dispositivo, y el paciente 5 ya que el mismo cuenta con el error más bajo del grupo, esto se debe a que presenta una de

las pieles más blancas del grupo y en la zona donde se realizó el examen no contaba con manchas que interfirieran con el examen.

En la Tabla 34 se presentan los valores de medición realizados a los neonatos con el dispositivo diseñado y los datos de medición realizados en el Hospital Básico Rafael Ruiz, por medio de venopunción, aquí también se muestran datos clínicos utilizados para el ingreso de la información en el servidor web.

Tabla 34 Valores de bilirrubina sérica – Grupo 2

	<i>Paciente 1</i>	<i>Paciente 2</i>	<i>Paciente 3</i>	<i>Paciente 4</i>	<i>Paciente 5</i>
<i>Sexo</i>	Masculino	Masculino	Femenino	Femenino	Femenino
<i>Edad gestacional</i>	27	36	29	27	24
<i>Días de nacimiento</i>	1 día	1 día	23 días	2 días	28 días
<i>Valores de bilirrubina sérica obtenidos del dispositivo</i>	15.86 mg/dl	7.12 mg/dl	9.02 mg/dl	10.76 mg/dl	5.64 mg/dl
<i>Valores de bilirrubina total obtenida del examen de sangre</i>	19.20 mg/dl	6.17 mg/dl	8.65 mg/dl	13.14 mg/dl	6.03 mg/dl

Elaborado por el Investigador

Se debe tomar en consideración que los pacientes 1 y 4 presentaron meconio en la piel (impregnación de líquido amniótico, moco, lanugo bilis y heces) generando que la piel pueda llegar a mostrar un color negro verdoso, lo que generó que las muestras realizadas con el dispositivo presenten una variación más extensa, también se debe destacar que el paciente 2, presento dermatitis atópica (resequedad en la piel), por su alta edad gestacional, por lo que el valor de la muestra con el prototipo puede variar en mayor medida en comparación con los otros pacientes. Los pacientes 3 y 5 poseen la piel más limpia y con menos problemas dérmicos pues son los pacientes con mayor cantidad de días de nacimiento.

En la Tabla 35 se presentan las muestras generadas a partir de la comparativa realizadas en el segundo grupo de estudio entre los exámenes realizados entre el prototipo y la venopunción en el laboratorio del hospital, presentando una variación entre 0.37 – 5.34 mg/dl, presentando un margen de error del 19.17%, con una fiabilidad del sistema del 80.83 % en valores de bilirrubina altos.

Tabla 35 Porcentaje de Error – Prototipo con Examen – Grupo 2

<i>Paciente</i>	<i>Medición Prototipo</i>	<i>Medición Examen de Laboratorio</i>	<i>Error Relativo</i>	<i>Porcentaje de Error</i>
1	13.86 mg/dl	19.20 mg/dl	± 5.34 mg/dl	27.813 %
2	7.22 mg/dl	6.07 mg/dl	± 1.15 mg/dl	18.946 %
3	9.02 mg/dl	8.65 mg/dl	± 0.37 mg/dl	4.277 %
4	10.76 mg/dl	13.14 mg/dl	± 2.38 mg/dl	18.113 %
5	7.64 mg/dl	6.03 mg/dl	± 1.61 mg/dl	26.70 %
Error total:			± 2.17mg/dl	19.17 %
Fiabilidad del sistema:				80.83 %

Elaborado por el Investigador

Gráficas obtenidas de las mediciones realizadas

Grupo de estudio 1

Cada resultado obtenido con las mediciones realizadas con el dispositivo permite realizar gráficas representativas de la cantidad de bilirrubina en la sangre de los sujetos de prueba, por fines acordes a los objetivos del proyecto se tomó en consideración las muestras realizadas a los sujetos prueba en comparación con las medidas tomadas en el laboratorio por medio de una muestra de sangre. Los tonos de piel más claros varían con un margen de error relativo de $\pm 0.001 \frac{mg}{dl}$ mientras que los tonos de piel más oscuras tienen un margen de error relativo de $\pm 0.24 \frac{mg}{dl}$. En las Ilustraciones 65 hasta la 67 se muestra la variación presentada en las muestras realizadas a los pacientes con los dos métodos de medición.

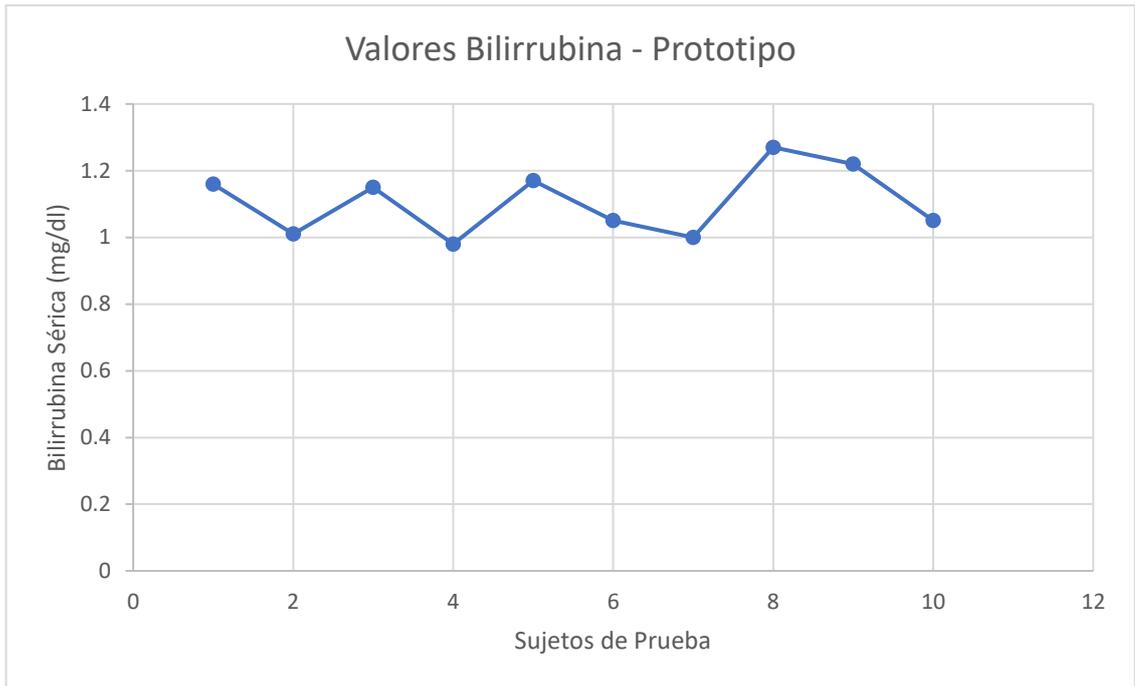


Ilustración 65 Gráfica Bilirrubina Grupo 1 – Prototipo

Elaborado por el Investigador

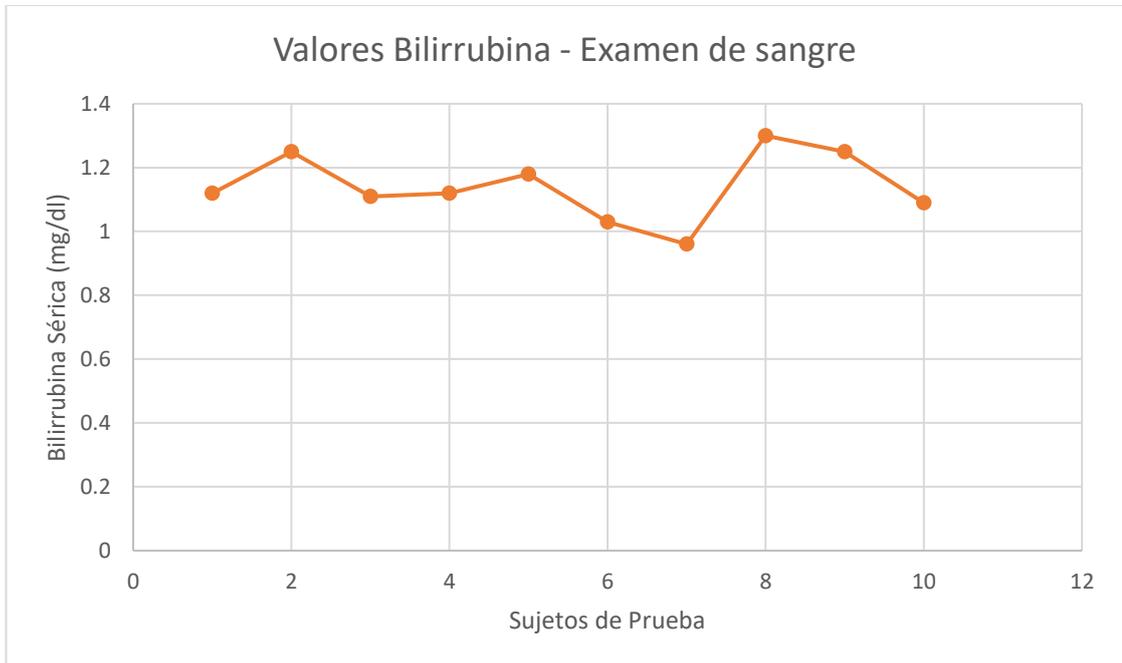


Ilustración 66 Gráfica Bilirrubina Grupo 1 - Examen de Sangre

Elaborado por el Investigador

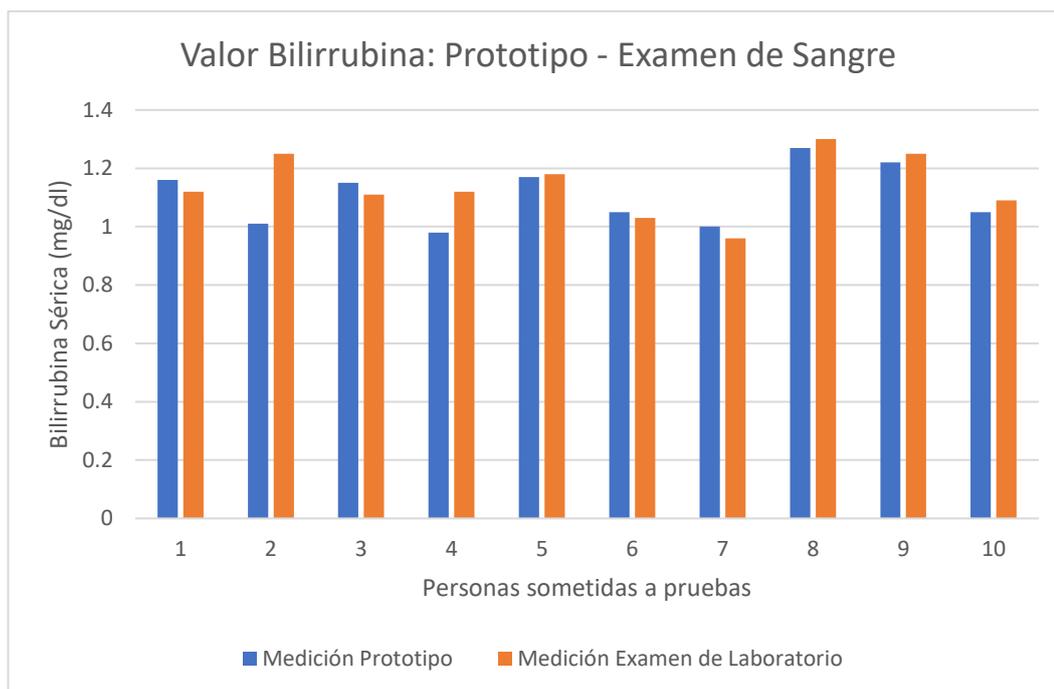


Ilustración 67 Gráfica comparativa: Prototipo - Examen de Sangre Grupo 1

Elaborado por el Investigador

Se puede deducir que los resultados son muy parecidos entre las mediciones realizadas generando una variación máxima de 0.24 mg/dl entre mediciones sin importar la tez de la persona (sin incluir una persona de tez negra). Se debe señalar que al momento de la realización de las pruebas ningún sujeto tenía cuadros de hiperbilirrubinemia por lo cual los valores obtenidos en las medidas son cercanos.

Grupo de estudio 2

En el grupo de estudio 2 se debe mencionar que el neonato con la piel más clara y limpia presenta la varianza más baja con un margen de error relativo de $\pm 0.37 \frac{mg}{dl}$ mientras que el neonato con tono de piel más oscura con meconio posee un margen de error relativo de $\pm 5.34 \frac{mg}{dl}$. En las Ilustraciones 68 hasta la 70 se muestra la variación presentada en las muestras realizadas a los pacientes con los dos métodos de medición.

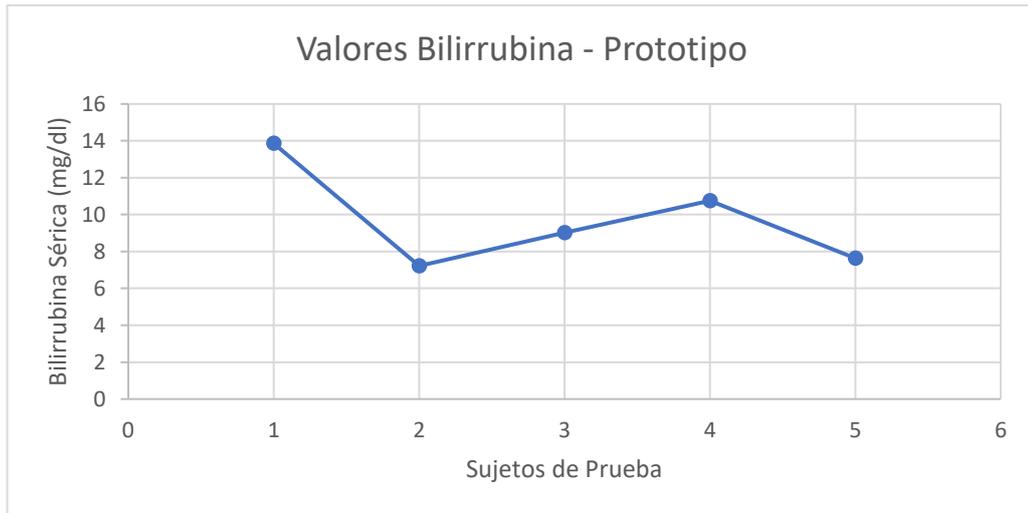


Ilustración 68 Gráfica Bilirrubina Grupo 2 – Prototipo

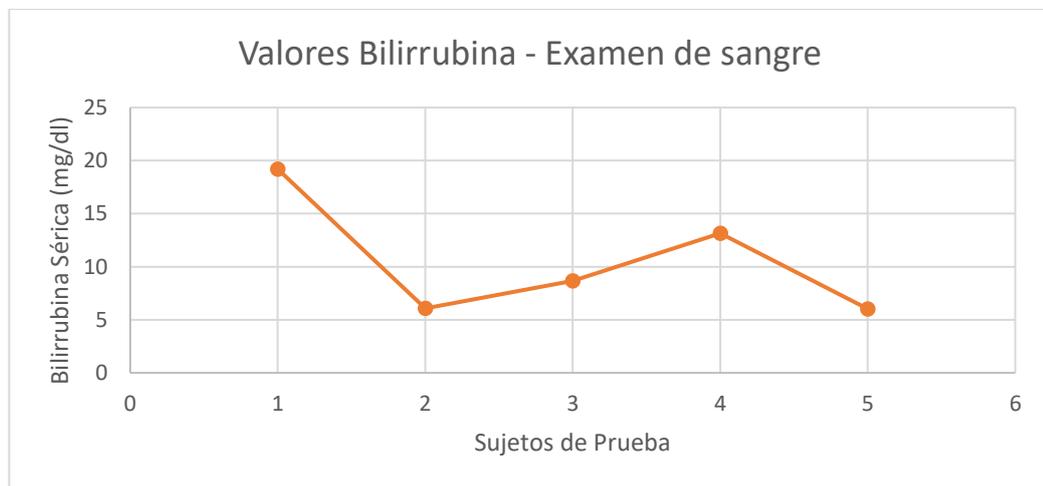


Ilustración 69 Gráfica Bilirrubina Grupo 2 - Examen de Sangre

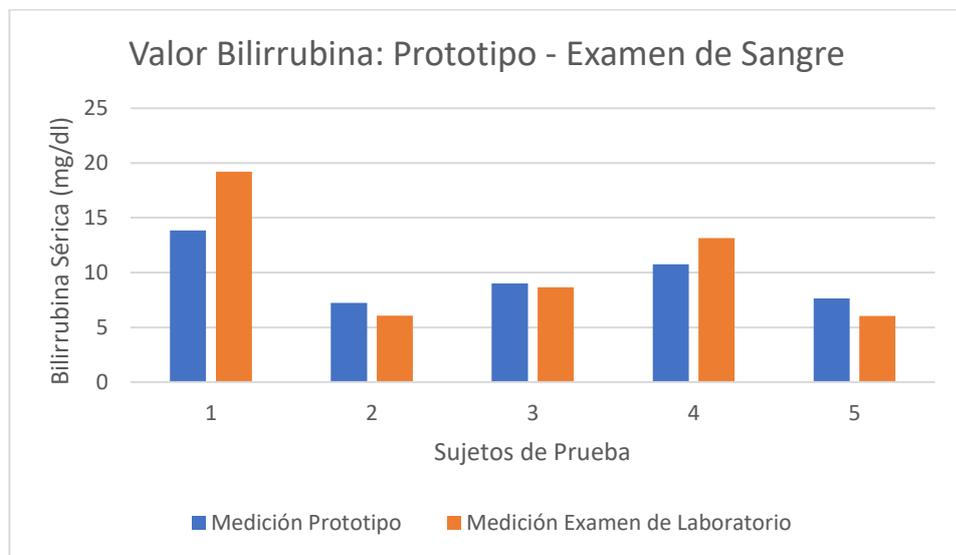


Ilustración 70 Gráfica comparativa: Prototipo - Examen de Sangre Grupo 2

Se puede analizar que los resultados son muy parecidos entre las mediciones realizadas entre neonatos con piel limpia y tez clara, mientras que al presentar problemas dérmicos como dermatitis atópica y/o meconio generan que la variación en los exámenes se incremente. Se debe señalar que al momento de realizar los exámenes los neonatos habían sido expuestos con anterioridad a exámenes de sangre.

3.14 Presupuesto

Presupuesto de diseño

El presente apartado realiza un análisis de los costos generados a partir de la implementación del dispositivo de medición y control de hiperbilirrubinemia por medio de tecnología inalámbrica. Se toma como referencia el sueldo básico que percibe un Ingeniero en Telecomunicaciones en Ecuador es de \$860,00 mensuales, establecido por el ministerio de trabajo sobre los salarios mínimos sectoriales. [57]

Se calculó el sueldo diario generado en promedio por mes de trabajo, considerando 21 días laborales, el salario diario es:

$$Salario_{diario} = \frac{Salario_{mensual}}{Dias_{laborales}} = \frac{860}{21}$$

$$Salario_{diario} = \$ 40.95$$

A partir de este resultado se tomó en consideración el cálculo del sueldo recibido por hora de trabajo del ingeniero por lo que se toma en cuenta que el día laboral consta de 8 horas, el salario por horas es:

$$Salario_{horas} = \frac{Sueldo_{diario}}{Horas_{laborales}} = \frac{40.95}{8}$$

$$Salario_{horas} = \$ 5.12$$

El proyecto se desarrolló en 3 meses, con 4 horas de trabajo diarias en días laborales, dando un total de 272 horas laborales en actividades relacionadas al diseño, investigación, implementación y pruebas de funcionamiento, por lo que el presupuesto de diseño es:

$$Presupuesto_{diseño} = Salario_{horas} * Horas = 5.12 * 272$$

$$Presupuesto_{diseño} = \$ 1392.64$$

Presupuesto de construcción

En la tabla 36 se presenta el costo de los materiales utilizados en el desarrollo del prototipo.

Tabla 36 Presupuesto de construcción-1

Presupuesto de construcción					
<i>ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario</i>	<i>Costo total</i>
1	TSL 257	c/u	1	\$ 15.00	\$ 15.00
2	NodeMCU esp8266	c/u	1	\$ 10.00	\$ 10.00
3	LCD 20x4 con i2c	c/u	1	\$ 13.00	\$ 13.00
4	Led Azul de alta intensidad	c/u	1	\$ 0.25	\$ 0.25
5	Leds normales	c/u	3	\$ 0.20	\$ 0.60
6	Pulsador	c/u	1	\$ 0.15	\$ 0.15
7	Resistencias varias	c/u	7	\$ 0.10	\$ 0.70
8	Adaptador de corriente 5V	c/u	1	\$ 6.40	\$ 6.40
9	Cables Arduino Macho-Macho	c/u	1	\$ 3.20	\$ 3.20
10	Cables Arduino Macho-Hembra	c/u	1	\$ 3.20	\$ 3.20
11	Espadines macho	40	1	\$ 1.00	\$ 1.00
12	Espadines hembra	40	1	\$ 1.00	\$ 1.00
13	Impresión 3d	hora.	12	\$ 1.25	\$ 15.00
14	Tornillos	c/u	8	\$ 0.10	\$ 0.80
15	Cable de timbre	m.	1	\$ 0.50	\$ 0.50
16	Placa PCB	c/u	2	\$ 3.00	\$ 6.00
17	Estaño	c/u	1	\$ 1.50	\$ 1.50
18	Impresión logo	c/u	2	\$ 0.25	\$ 0.50
19	Papel	c/u	4	\$ 0.10	\$ 0.40
20	Impresiones	c/u	4	\$ 0.20	\$ 0.80
21	Licencia de Software	c/u	2	\$ 50.00	\$ 100.00
Subtotal					\$ 180.00
Imprevistos (10%)					\$ 18.00
IVA (12%)					\$ 23.76
Total					\$ 221.76

Elaborado por el Investigador

Presupuesto total de implementación

En la Tabla 37 se establece el costo total del diseño del prototipo de medición y control de bilirrubina.

Tabla 37 Presupuesto Total

Presupuesto total de implementación					
<i>N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor Total</i>
1	Presupuesto de diseño	c/u	1	\$ 1392.64	\$ 1392.64
2	Presupuesto de construcción	c/u	1	\$ 221.76	\$ 221.76
Total					\$1,614.40

Elaborado por el Investigador

El presupuesto final gastado en el proyecto fue de \$1,614.40 totales, en el cual está considerado los costos empleados en la elaboración de Ars-Medical con su plataforma.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se realizó una investigación en base a los sistemas de detección y monitoreo de bilirrubina sérica aplicada de manera no invasiva en neonatos donde se determinó que el modelo de absorción o reflectancia de la longitud de onda de luz cumple con métodos de control y adquisición de datos que permiten llevar un seguimiento del caso clínico.
- Se analizó el algoritmo a emplearse en el diseño del prototipo en donde se seleccionó como la más adecuada el modelo de Zulfadhli Osman et al.; en este análisis se incluye diagramas de desarrollo, tecnología a emplearse, características técnicas y documentación necesaria para su desarrollo.
- Se diseñó e implementó el prototipo de detección y monitoreo transcutáneo no invasivo de hiperbilirrubinemia en neonatos con la utilización de hardware como: NodeMCU ESP8266, sensor TSL257, Led de alta luminiscencia con una longitud de onda entre 425-475 nm., pantalla LCD con i2c y pulsador que gestionan el funcionamiento del producto, los que permiten la adquisición, procesamiento, transmisión, almacenamiento y visualización de la cantidad de bilirrubina. El prototipo se lo denominó con el nombre de “Ars-Medical”.
- Se diseñó e implementó el desarrollo de un servidor web local en Python con acceso a una base de datos en MySQL, mediante el uso de bibliotecas y protocolos de comunicación como son FLASK y MQTT. Este sistema gestiona el registro clínico de los pacientes tomando en consideración la historia clínica, evolución de la patología y gestión de datos alojados en el servidor local.
- Se evaluó el funcionamiento en niveles de bilirrubina baja de “Ars-Medical” mediante la toma de muestras a 10 sujetos de prueba con diferentes rasgos clínicos y tez de piel diferentes. Para evaluar el funcionamiento en rangos de bilirrubina alta se realizaron exámenes a un grupo de 5 neonatos con distintos rasgos clínicos y tez diferentes. Los dos grupos se realizaron exámenes de sangre en un laboratorio clínico con el objetivo de medir la eficacia del prototipo, que en valores bajos es de un 94.579% y en altos de 80.83%.

4.2 Recomendaciones

- Para la implementación del prototipo se debe tener en consideración la implementación de baterías externas que reemplacen la alimentación de corriente al circuito, brindando mayor versatilidad en zonas rurales y de difícil acceso a corriente eléctrica.
- Por restricciones en el acceso al área de neonatología por el resurgimiento de nuevas olas de contagio de COVID, al momento de realizar el proyecto, no se pueden realizar pruebas en neonatos con hiperbilirrubinemia o con valores de ictericia altos. Se recomienda la realización de pruebas de funcionamiento a neonatos término y pre término con niveles de bilirrubina altos para comprobar el funcionamiento del dispositivo y un margen de error más acertado en relación con la detección y control de hiperbilirrubinemia.
- Para la aplicabilidad y mejor rendimiento en personas de tez oscura se recomienda implementar un sensor de conversión óptica de mayor sensibilidad con el objetivo de disminuir el porcentaje de error en pacientes de esta tez.
- Se recomienda implementar un sistema de diagnóstico automatizado basado en la utilización de las tablas NICE (Neonatal Institute for Health and Clinical Excellence), que mediante el registro del historial clínico del paciente y la cantidad de bilirrubina en la sangre de este detecte el tratamiento a seguir.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N.Ali, R. Amirulah, N. Podari y F. Dol Risep, «Técnica Óptica para la Detección de Ictericia,» *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 10, n° 20, pp. 1-5, 2015.
- [2] M. McEwen. y. R. Karen, «Detección no invasiva de bilirrubina mediante absorción pulsátil,» *Flinders Biomedical Engineering, Flinders Medical Centre Adelaide*, vol. 29, pp. 1-5, 2006.
- [3] M. Mashor., F. Akmal Dzulkipli y D. Fahmi, «Métodos para determinar el nivel de bilirrubina en la detección y monitoreo de la ictericia neonatal: Una revisión de la literatura,» *Journal of Engineering Research and Education*, vol. 10, pp. 1-10, 2018.
- [4] S. Meenakshi., M. Lini y. B. Umesh, «Prototipado rápido de oxímetro de pulso usando Arduino,» *International Journal of Technical Research & Science*, vol. 1, n° 7, pp. 1-5, 2016.
- [5] L. Azeka. y. M. Paiva, «Un Medidor de Bilirrubina Basado en Led de Bajo Costo,» Department of Electrical Engineering, University of São Paulo, Sao Paulo, 2009.
- [6] D. Mazzi Gonzales de Prada, «Hiperbilirrubinemia neonatal,» *Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría*, n° 44, pp. 1-4, 2005.
- [7] S. Spinelli, H. Aspres, N. Boccaccio, A. Tovo y M. Jorge, «Prevalencia de ictericia en el período neonatal en un hospital,» *Revista del Hospital Materno Infantil Ramón Sardá*, pp. 10-11, 2011.
- [8] T. Ajila, «Factores predisponentes de ictericia neonatal en el recién nacido y aplicación de protocolo de atención,» Machala, 2017.
- [9] W. Pacheco, «Caracterización de la ictericia neonatal por subgrupos en el Hospital Pablo Arturo Suárez de la ciudad de Quito en el año 2017,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2017.
- [10] A. Vargas., «Enfermedades más frecuentes de los neonatos del programa familia canguro de la Clínica Universitaria Bolivariana de la ciudad de Medellín en el periodo de junio a diciembre de 2009,» Medicina UPB, Medellin, 2009.
- [11] Megamedico, «Ictericia y sus causas en pediatría,» 2015.
- [12] Ministerio de Salud Pública, «Tasa de Mortalidad Neonatal,» *1.800 bebés mueren cada año, en Ecuador, antes de cumplir el primer mes*, 24 Febrero 2019.

- [13] M. Navarro, «Principales factores de riesgo de la morbilidad y mortalidad neonatales,» *Medisan*, pp. 1-22, 2018.
- [14] R. Raynero Mellado. y. M. Caballero, «Ictericia Neonatal,» *Hospital Virgen de la Salud. Complejo Hospitalario Universitario de Toledo*, vol. 3, pp. 1-3, 2019.
- [15] A.D.A.M., «Ictericia del recién nacido,» A.D.A.M., Nuevo México, 2021.
- [16] E. Gonzales de Prada, «Hiperbilirrubinemia neonatal,» *SciELO*, vol. 1, pp. 1-9, 2005.
- [17] J. Rodríguez, «Ictericia neonatal,» *Asociación Española de Pediatría*, vol. 1, pp. 1-10, 2008.
- [18] Mayo Clinic, «Ictericia infantil,» Mayo Clinic, 2021.
- [19] Velsid, Artist, *Firefly, fototerapia para recién nacidos*. [Art]. Pequelia, 2020.
- [20] S. Grant, «Dewesoft,» 1 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos#introduction> . [Último acceso: 26 Noviembre 2021].
- [21] Engineer Ambitiously, «Adquisición de datos (DAQ),» Ni, Ecuador, 2021.
- [22] Electron one, «On Electron Tech,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.onelectrontech.com/ni-multifunction-i-o-daq-devices-turn-pcs-into-data-acquisition-system/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [23] G. Michael Smith, «DEWESoft,» 09 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [24] MecatrónicaLATAM, «MecatrónicaLATAM,» Editorial Polar, 2021.
- [25] Keyence, «Keyence,» Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [26] Keyence, «KEYENCE,» Hakusensha, Chiyoda, 2019.
- [27] E. Carletti, «robots-argentina,» Noviembre 2020. [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_fotodiodos.htm. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [28] J. Flores Vergaray, «Robtica el fototransistor,» 28 Octubre 2008. [En línea]. Available: <http://jorgefloresvergaray.blogspot.com/2008/10/robtica-el-fototransistor.html> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].

- [29] Rackspace, «Rackspace,» Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.rackspace.com/es/library/what-is-a-cloud-server> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [30] R. Marñin, «revista digital ineseem,» 16 Abril 2019. [En línea]. Available: • <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/los-gestores-de-bases-de-datos-mas-usados/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [31] Á. Robledano, «OpenWebinars,» 24 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [32] R. Marmolejo, «Hetpro,» 11 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [33] L. del Valle Hernández, «Programarfacil,» 26 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [34] Electronica Lugo, «Electronica Lugo,» Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://electronicalugo.com/conceptos-basicos-tipos-y-aplicaciones-de-microcontroladores/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [35] Brico Geek, «Brico Geek,» 16 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/arduino/305-arduino-uno.html>. [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [36] J. Hines, «Enfermedades Hepaticas Neonatales,» *Childhood Liver Disease Research Network*, pp. 1-3, 2008.
- [37] M. Hamza, «New laser source for clinical treatmentand diagnostic of neonatal jaundice,» *Proceeding of SPIE*, vol. 4254, pp. 187-193, 2001.
- [38] Z. Osman, A. Ahmand y A. Muharam, «Rapid Prototyping of Neonatal Jaundice Detector Using Skin Optics Theory,» *2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, vol. 1, pp. 1-4, 2014.
- [39] M. Lema y C. Fernando, «Hiperbilirrubinemia en Neonatos,» *Rev. Med Ateneo.*, vol. 1, n° 21, pp. 1-10, 2019.
- [40] Farkfun, «LED Amarillo 5mm,» 12 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.microjpm.com/products/led-amarillo-5mm-difuso/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2021].
- [41] Fullwat, «Diodos leds estándar,» Ribera de Elorrieta , 2011.

- [42] Hi-Fi Electrónica, «Hi-Fi Electrónica,» 21 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://hifisac.com/shop/product/la-3-aa-led-azul-azul-de-3mm-vf-3-0-3-4v-460nm-2500-mcd-4074>. [Último acceso: 08 Diciembre 2021].
- [43] R. Brown, «Datasheet Sensor TSL257,» Farnell, Houston, 2007.
- [44] K. Daves, «LX1972 Visible light sensor,» Microsemi, Delaware, 2008.
- [45] O. Taylor, «TSL25911 Datasheet,» AMSCO, Andorra, 2013.
- [46] Digi-Key, «Digi-Key,» 21 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/en/products/detail/ams/TSL235R-LF/3095040>. [Último acceso: 08 Diciembre 2021].
- [47] J. Pipa Huamán, «Redes Inalámbricas,» Universidad Nacional de Educación, Lima, 2019.
- [48] S. Jordy, «Redes Inalámbricas,» České vysoké učení technické v Praze, Republica Checa, 2017.
- [49] I. Angulo, «Microcontroladores PIC,» Editorial Paraninfo, Bilbo, 2010.
- [50] P. Nova, «Microcontroladores: Arquitectura, programación y aplicación,» ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY , Honolulu, 2008.
- [51] Amazon, 12 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/JacobsParts-ESP8266-Microcontrolador-desarrollo-MicroPython/dp/B0787LMTZD>. [Último acceso: 09 Diciembre 2021].
- [52] A. Ronacher, «Flask-es,» Flask, 2010.
- [53] A. Holovaty, «La guía definitiva de Django,» Anaya Multimedia, Naperville, 2009.
- [54] J. Anderson, «Try Pyramid,» Trypyramid, Los Angeles, 2008.
- [55] J. Santamaría, «SQL SERVER VS MySQL:,» Madrid, 2017.
- [56] A. Pérez García, «Características MySQL,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, Cartagena, 2007.
- [57] Ministerio de Trabajo, «Salarios Mínimos Sectoriales 2021,» Ecuador, Quito, 2021.
- [58] E. Raimann, «Enfermedades metabólicas del recién nacido,» *Revista Biomédica Revisada Por Pares*, pp. 1-5, 2004.
- [59] M.Vela-Amieva, L. Belmont-Martinez, C. Fernández-Lainez, C. Ramírez, I. Ibarra «Frecuencia de enfermedades metabólicas congénitas susceptibles,» *Red*

de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, pp. 1-4, 2009.

- [60] J. Hines, «Enfermedades Hepáticas Neonatales,» *Childhood Liver Disease Research Network*, vol. 1, pp. 2-6, 2019.
- [61] AVElectronics, «AVElectronics,» Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-luz/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [62] S. Borges, «Infranetworking,» 21 Mayo 2021. [En línea]. Available: https://blog.infranetworking.com/servidores-en-la-nube/#Ventajas_y_desventajas_de_los_servidores_en_la_nube . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].
- [63] UNIT Electronics, «UNIT Electronics,» Junio 2019. [En línea]. Available: <https://uelectronics.com/producto/pic16f877a-i-p-microcontrolador/> . [Último acceso: 25 Noviembre 2021].

ANEXOS

ANEXO 1: Certificación Médica



CERTIFICACIÓN

Ingeniera Mg.
Pilar Urrutia
DECANA
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
Presente

Señora Decana:

Por medio de la presente, yo Dr. ZAMBRANO CERDA EDISON ALBERTO con cédula de identidad N°.0503228256 con registro del Senescyt N°.1010-15-1381581, de especialidad Médico General certifico que he revisado el proyecto técnico "SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS", el mismo que fue diseñado en su total autoría por el Sr. Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval, con cédula de identidad N°.180502812, estudiante de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Después de haber realizado las pruebas medicas necesarias me permito verificar la funcionabilidad del equipo y puedo validar que los resultados obtenidos hasta la fecha son aceptables y de gran ayuda en el area neonatal, además indico que los sensores se visualizan dentro de los rangos médicos normales.

Saludos cordiales,

Dr. Edison Alberto Zambrano Cerda
Médico General
C.I.: 0503228256

ANEXO 2: Hoja de Datos Técnicos del Sensor Tsl257



TSL257 HIGH-SENSITIVITY LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTER TAOS023E - SEPTEMBER 2007

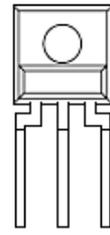
- Converts Light Intensity to Output Voltage
- Monolithic Silicon IC Containing Photodiode, Operational Amplifier, and Feedback Components
- High Sensitivity
- Single Voltage Supply Operation (2.7 V to 5.5 V)
- Low Noise (200 μ Vrms Typ to 1 kHz)
- Rail-to-Rail Output
- High Power-Supply Rejection (35 dB at 1 kHz)
- Compact 3-Leaded Plastic Package
- RoHS Compliant (-LF Package Only)

PACKAGE S
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)



1 2 3
GND V_{DD} OUT

PACKAGE SM
SURFACE MOUNT
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)

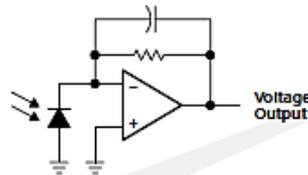


1 2 3
GND V_{DD} OUT

Description

The TSL257 is a high-sensitivity low-noise light-to-voltage optical converter that combines a photodiode and a transimpedance amplifier on a single monolithic CMOS integrated circuit. Output voltage is directly proportional to light intensity (irradiance) on the photodiode. The TSL257 has a transimpedance gain of 320 M Ω . The device has improved offset voltage stability and low power consumption and is supplied in a 3-lead clear plastic sidelooker package with an integral lens. When supplied in the lead (Pb) free package, the device is RoHS compliant.

Functional Block Diagram



Available Options

DEVICE	T _A	PACKAGE - LEADS	PACKAGE DESIGNATOR	ORDERING NUMBER
TSL257	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL257
TSL257	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL257-LF
TSL257	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL257SM-LF

Terminal Functions

TERMINAL NAME	NO.	DESCRIPTION
GND	1	Ground (substrate). All voltages are referenced to GND.
OUT	3	Output voltage
V _{DD}	2	Supply voltage

The LUMENOLOGY[®] Company

Copyright © 2007, TAOS Inc.

Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc.

1001 Klein Road • Suite 300 • Plano, TX 75074 • (972) 873-0759

www.taosinc.com

1

TSL257
HIGH-SENSITIVITY
LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTER

TAOS023E – SEPTEMBER 2007

Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1)	6 V
Output current, I_O	± 10 mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C	5 s
Operating free-air temperature range, T_A	-25°C to 85°C
Storage temperature range, T_{stg}	-25°C to 85°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds (S Package)	260°C
Reflow solder, in accordance with J-STD-020C or J-STD-020D (SM Package)	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltages are with respect to GND.

Recommended Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{DD}	2.7	5.5	V
Operating free-air temperature, T_A	0	70	°C

Electrical Characteristics at $V_{DD} = 5$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $\lambda_p = 470$ nm, $R_L = 10$ k Ω (unless otherwise noted) (see Notes 2 and 3)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_D Dark voltage	$E_e = 0$	0		15	mV
V_{OM} Maximum output voltage swing	$V_{DD} = 4.5$ V, No Load		4.49		V
	$V_{DD} = 4.5$ V, $R_L = 10$ k Ω	4	4.2		
V_O Output voltage	$E_e = 1.54$ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\lambda_p = 470$ nm, Note 5	1.8	2	2.4	V
α_{V_D} Temperature coefficient of dark voltage (V_D)	$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C		-15		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
N_e Irradiance responsivity	$\lambda_p = 428$ nm, see Notes 4 and 8		1.18		V/ $(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$
	$\lambda_p = 470$ nm, see Notes 5 and 8		1.30		
	$\lambda_p = 565$ nm, see Notes 6 and 8		1.58		
	$\lambda_p = 645$ nm, see Notes 7 and 8		1.68		
PSRR Power supply rejection ratio	$f_{ac} = 100$ Hz, see Note 9		55		dB
	$f_{ac} = 1$ kHz, see Note 9		35		dB
I_{DD} Supply current	$E_e = 1.54$ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\lambda_p = 470$ nm, Note 5		1.9	3.5	mA

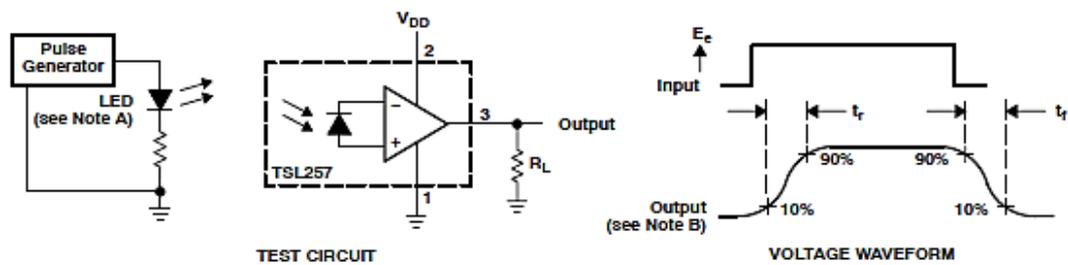
- NOTES:
- Measured with $R_L = 10$ k Ω between output and ground.
 - Optical measurements are made using small-angle incident radiation from a light-emitting diode (LED) optical source.
 - The input irradiance is supplied by a GaN/SiC light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength $\lambda_p = 428$ nm, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 65$ nm.
 - The input irradiance is supplied by an InGaN light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength $\lambda_p = 470$ nm, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 35$ nm.
 - The input irradiance is supplied by a GaP light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength $\lambda_p = 565$ nm, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 28$ nm.
 - The input irradiance is supplied by an AlGaAs light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength $\lambda_p = 645$ nm, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 25$ nm.
 - Irradiance responsivity is characterized over the range $V_O = 0.1$ V to 4.5 V. The best-fit straight line of Output Voltage V_O versus Irradiance E_e over this range will typically have a positive extrapolated V_O value for $E_e = 0$.
 - Power supply rejection ratio PSRR is defined as $20 \log (\Delta V_{DD}(f)/\Delta V_O(f))$ with $V_{DD}(f = 0) = 5$ V and $V_O(f = 0) = 2$ V.

Switching Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $\lambda_p = 470\text{ nm}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_r	Output pulse rise time, 10% to 90% of final value		160	250	μs
t_f	Output pulse fall time, 10% to 90% of final value		150	250	μs
t_s	Output settling time to 1% of final value		330		μs
Integrated noise voltage	$f = \text{dc to } 1\text{ kHz}$ $E_e = 0$		200		μVrms
V_n	Output noise voltage, rms	$f = 10\text{ Hz}$ $E_e = 0$		8	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}\text{rms}$
		$f = 100\text{ Hz}$ $E_e = 0$		8	
		$f = 1\text{ kHz}$ $E_e = 0$		7	

NOTE 10: Switching characteristics apply over the range $V_O = 0.1\text{ V}$ to 4.5 V .

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



- NOTES: A. The input irradiance is supplied by a pulsed InGaN light-emitting diode with the following characteristics: $\lambda_p = 470\text{ nm}$, $t_r < 1\text{ }\mu\text{s}$, $t_f < 1\text{ }\mu\text{s}$.
 B. The output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics: $t_r < 100\text{ ns}$, $Z_i \approx 1\text{ M}\Omega$, $C_i \approx 20\text{ pF}$.

Figure 1. Switching Times

TYPICAL CHARACTERISTICS

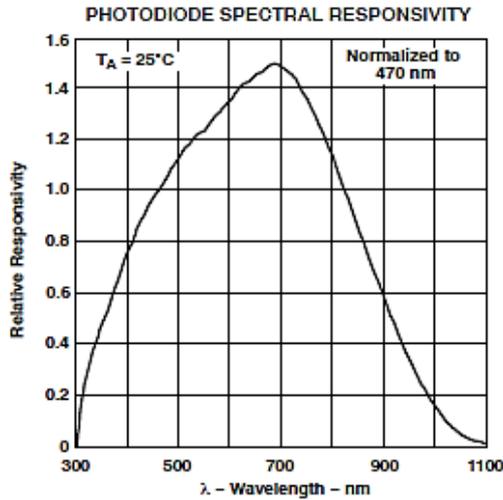


Figure 2

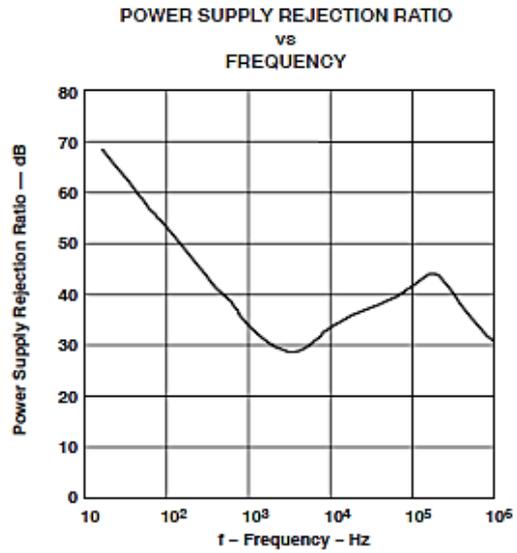


Figure 3

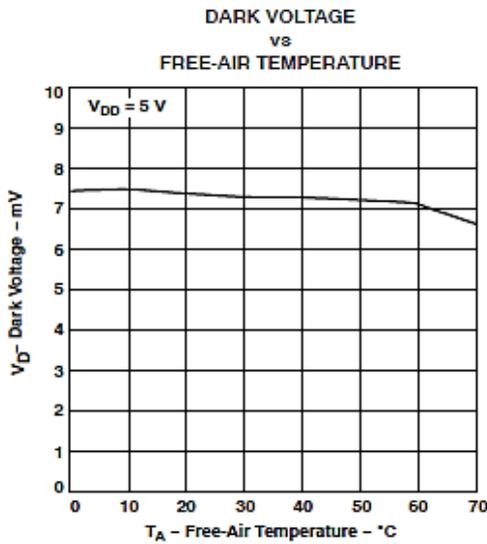


Figure 4

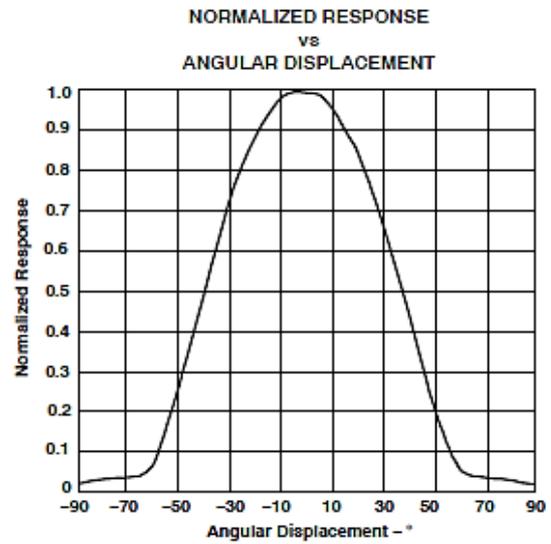
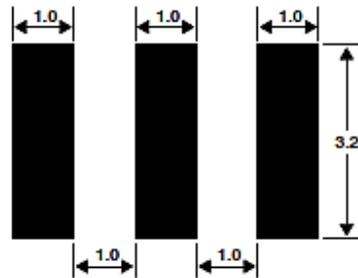


Figure 5

APPLICATION INFORMATION

PCB Pad Layout

Suggested PCB pad layout guidelines for the SM surface mount package are shown in Figure 6.



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.

Figure 6. Suggested SM Package PCB Layout

TSL257
HIGH-SENSITIVITY
LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTER
 TAOS023E – SEPTEMBER 2007

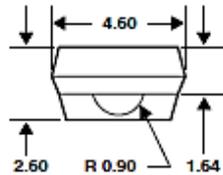
MECHANICAL DATA

The device is supplied in a clear plastic three-lead sidelooker through-hole package (S).

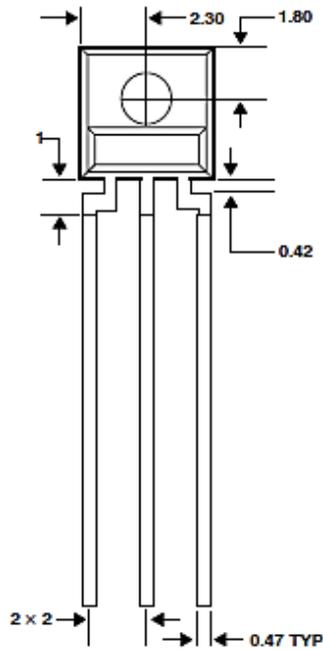
PACKAGE S

PLASTIC SINGLE-IN-LINE SIDE-LOOKER PACKAGE

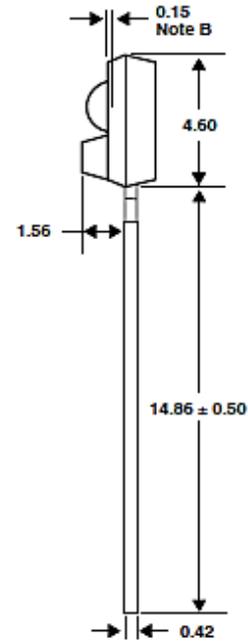
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



Lead Free
Available

- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
 B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
 C. The integrated photodiode active area is round with a typical diameter of 0.75 mm and is typically located in the center of the lens and 0.97 mm below the top of the lens surface.
 D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
 E. Lead finish for TSL257: solder dipped, 63% Sn/37% Pb. Lead finish for TSL257-LF: solder dipped, 100% Sn.
 F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 7. Package S — Single-In-Line Side-Looker Package Configuration

Copyright © 2007, TAOS Inc.



The LUMENOLOGY® Company

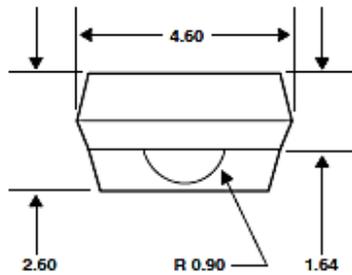
6

MECHANICAL DATA

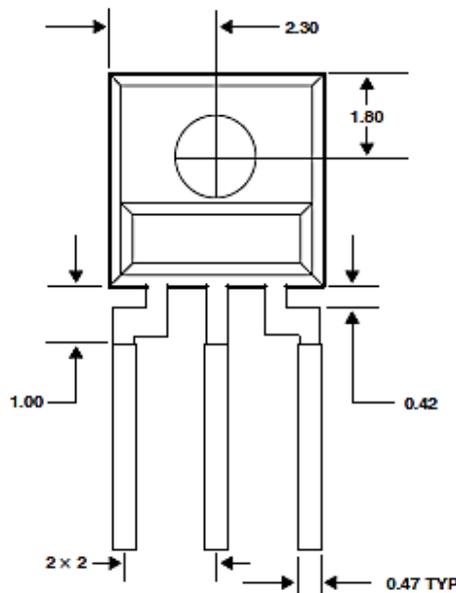
PACKAGE SM

PLASTIC SURFACE MOUNT SIDE-LOOKER PACKAGE

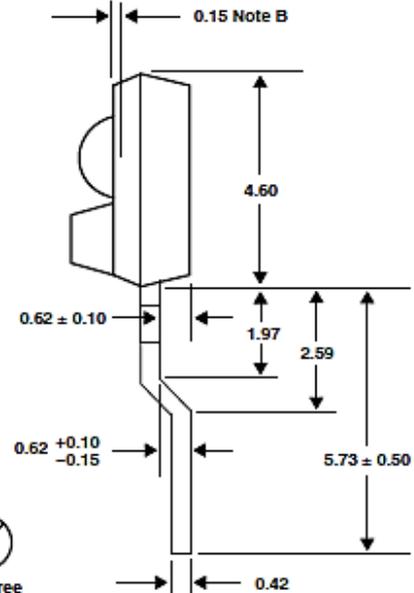
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
 B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
 C. The integrated photodiode active area is typically located in the center of the lens and 0.97 mm below the top of the lens surface.
 D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
 E. Lead finish for TSL257SM-LF: solder dipped, 100% Sn.
 F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 8. Package SM — Surface Mount Side-Looker Package Configuration

ANEXO 3: Hoja de Datos Técnicos del Microcontrolador NodeMCU ESP8266



ESP8266EX

Datasheet



Version 6.6
Espressif Systems
Copyright © 2020



www.espressif.com



1.2. Specifications

Table 1-1. Specifications

Categories	Items	Parameters
Wi-Fi	Certification	Wi-Fi Alliance
	Protocols	802.11 b/g/n (HT20)
	Frequency Range	2.4 GHz - 2.5 GHz (2400 MHz - 2483.5 MHz)
	TX Power	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)		
802.11 n: -72 dbm (MCS7)		
Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip	
Hardware	CPU	Tensilica L106 32-bit processor
	Peripheral Interface	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/ADC/PWM/LED Light & Button
	Operating Voltage	2.5 V - 3.6 V
	Operating Current	Average value: 80 mA
	Operating Temperature Range	-40 °C - 125 °C
	Package Size	QFN32-pin (5 mm x 5 mm)
External Interface	-	
Software	Wi-Fi Mode	Station/SoftAP/SoftAP+Station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Software Development	Supports Cloud Server Development / Firmware and SDK for fast on-chip programming
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP
	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

Note:

The TX power can be configured based on the actual user scenarios.



2. Pin Definitions

Figure 2-1 shows the pin layout for 32-pin QFN package.

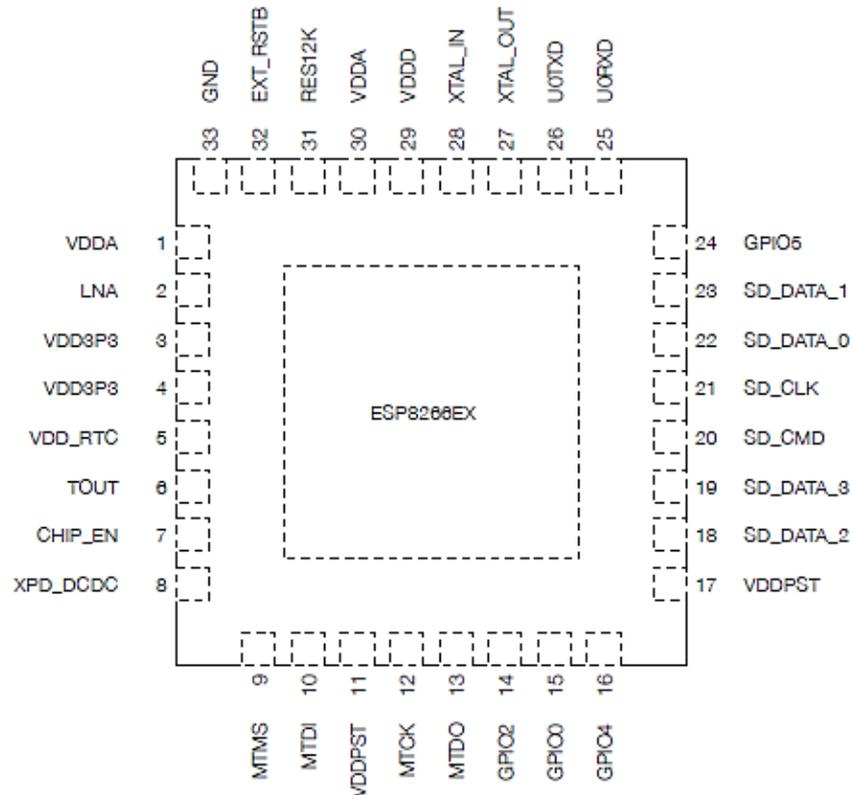


Figure 2-1. Pin Layout (Top View)

Table 2-1 lists the definitions and functions of each pin.

Table 2-1. ESP8266EX Pin Definitions

Pin	Name	Type	Function
1	VDDA	P	Analog Power 2.5 V – 3.6 V
2	LNA	I/O	RF antenna interface Chip output impedance = $39 + j6 \Omega$. It is suggested to retain the π -type matching network to match the antenna.
3	VDD3P8	P	Amplifier Power 2.5 V – 3.6 V



Pin	Name	Type	Function
4	VDD3P3	P	Amplifier Power 2.5 V – 3.6 V
5	VDD_RTC	P	NC (1.1 V)
6	TOUT	I	ADC pin. It can be used to test the power-supply voltage of VDD3P3 (Pin3 and Pin4) and the input power voltage of TOUT (Pin 6). However, these two functions cannot be used simultaneously.
7	CHIP_EN	I	Chip Enable High: On, chip works properly Low: Off, small current consumed
8	XPD_DCDC	I/O	Deep-sleep wakeup (need to be connected to EXT_RSTB); GPIO18
9	MTMS	I/O	GPIO 14; HSPL_CLK
10	MTDI	I/O	GPIO 12; HSPL_MISO
11	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8 V – 3.6 V)
12	MTCK	I/O	GPIO 13; HSPL_MOSI; UART0_CTS
13	MTDO	I/O	GPIO 15; HSPL_CS; UART0_RTS
14	GPIO2	I/O	UART TX during flash programming; GPIO2
15	GPIO0	I/O	GPIO0; SPL_CS2
16	GPIO4	I/O	GPIO4
17	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8 V – 3.6 V)
18	SDIO_DATA_2	I/O	Connect to SD_D2 (Series R: 20 Ω); SPIHD; HSPIHD; GPIO9
19	SDIO_DATA_3	I/O	Connect to SD_D3 (Series R: 200 Ω); SPIWP; HSPWP; GPIO10
20	SDIO_CMD	I/O	Connect to SD_CMD (Series R: 200 Ω); SPL_CS0; GPIO11
21	SDIO_CLK	I/O	Connect to SD_CLK (Series R: 200 Ω); SPL_CLK; GPIO6
22	SDIO_DATA_0	I/O	Connect to SD_D0 (Series R: 200 Ω); SPL_MISO; GPIO7
23	SDIO_DATA_1	I/O	Connect to SD_D1 (Series R: 200 Ω); SPL_MOSI; GPIO8
24	GPIO5	I/O	GPIO5
25	U0RXD	I/O	UART Rx during flash programming; GPIO3
26	U0TXD	I/O	UART TX during flash programming; GPIO1; SPL_CS1
27	XTAL_OUT	I/O	Connect to crystal oscillator output, can be used to provide BT clock input
28	XTAL_IN	I/O	Connect to crystal oscillator input
29	VDDD	P	Analog Power 2.5 V – 3.6 V
30	VDDA	P	Analog Power 2.5 V – 3.6 V



Pin	Name	Type	Function
31	RES12K	I	Serial connection with a 12 k Ω resistor and connect to the ground
32	EXT_RSTB	I	External reset signal (Low voltage level: active)

Note:

1. *GPIO2, GPIO0, and MTDO are used to select booting mode and the SDIO mode;*
2. *U0TXD should not be pulled externally to a low logic level during the powering-up.*



3. Functional Description

The functional diagram of ESP8266EX is shown as in Figure 3-1.

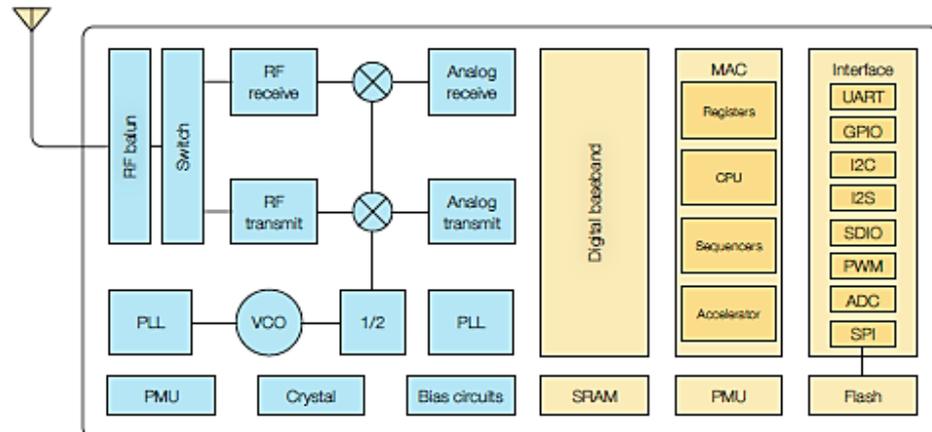


Figure 3-1. Functional Block Diagram

3.1. CPU, Memory, and Flash

3.1.1. CPU

The ESP8266EX integrates a Tensilica L106 32-bit RISC processor, which achieves extra-low power consumption and reaches a maximum clock speed of 160 MHz. The Real-Time Operating System (RTOS) and Wi-Fi stack allow 80% of the processing power to be available for user application programming and development. The CPU includes the interfaces as below:

- Programmable RAM/ROM interfaces (iBus), which can be connected with memory controller, and can also be used to visit flash.
- Data RAM interface (dBus), which can be connected with memory controller.
- AHB interface which can be used to visit the register.

3.1.2. Memory

ESP8266EX Wi-Fi SoC integrates memory controller and memory units including SRAM and ROM. MCU can access the memory units through iBus, dBus, and AHB interfaces. All memory units can be accessed upon request, while a memory arbiter will decide the running sequence according to the time when these requests are received by the processor.

ANEXO 4: Código Fuente del Algoritmo y Envío de Datos al Protocolo de Comunicación

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ESP8266WiFiMulti.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <PubSubClient.h>

// Dirección del servidor donde esta nuestro broker
const char* ssid ="TVCABLE_BOTITAS_EXT";
const char* password ="Pocho@2014";
const char* mqttServer="test.mosquitto.org";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttUser = "";
const char* mqttPassword = "";

char msg[50];

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //
float pinLecturaIN = A0;
float pinlecturaOUT =2;
float lecturaIN=0;
float medt=0;
int estado = 0;
#define D8 15
#define D5 14
#define D6 12
#define D7 13

WiFiClient espClient;
PubSubClient client (espClient);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(D5,OUTPUT);
  pinMode(D6,OUTPUT);
  pinMode(D7,OUTPUT);
```

```

pinMode(D4, INPUT);

WiFi.begin(ssid, password);

Serial.print("Conectando...");

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("Conexión OK!");

Serial.print("IP Local: ");

Serial.println(WiFi.localIP());

client.setServer(mqttServer, mqttPort);

client.setCallback(MQTTcallback);

while(!client.connected()){

  Serial.println("Conectando a MQTT ... ");

  if (client.connect("ESP8266", mqttUser, mqttPassword)){

    Serial.println("conectado");

  } else {

    Serial.print("failed with state");

    Serial.println(client.state());

    delay(2000);

  }

}

lcd.init();

//Encender la luz de fondo.

lcd.backlight();

// Escribimos el Mensaje en el LCD.

lcd.print("Inicializando...");

delay(2000);

lcd.clear();

lcd.setCursor(1, 0);

lcd.print("Ars - Medical");

lcd.setCursor(0, 1);

```

```

    lcd.print("Presione Iniciar.");
    delay(5000);
    lcd.clear();
}

void MQTTcallback(char* topic, byte* payload, unsigned int length){
    Serial.print("El mensaje llego al topico: ");
    Serial.println(topic);
    Serial.print("Message: ");
    String message;
    for (int i = 0; i <length; i++){
        message= message + (char)payload[i];
    }
    Serial.print(message);
}

void loop() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Ars - Medical");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Presione Iniciar.");
    digitalWrite(D5 , LOW);
    digitalWrite(D6 , LOW);
    digitalWrite(D7 , LOW);
    int estado= digitalRead(D8);
    if (estado == LOW){
        for (int i=0; i<=2; i++){
            lcd.clear();
            lecturalN=analogRead(pinLecturaIN);
            analogWrite(pinlecturaOUT,lecturalN);
            lecturalN=lecturalN*0.0049;
            if (lecturalN >2){
                lecturalN = 2;
            }
        }
    }
}

```

```

else if (lecturaIN < 1.4){
    lecturaIN = 1.4;
}
else {
    lecturaIN=lecturaIN;
}
lecturaIN = lecturaIN*-43;
lecturaIN = lecturaIN+88;
// Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda línea(fila:1)
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Calculando: ");
medt=lecturaIN+medt;
delay(2000);
}
medt=medt/3;
Serial.println("Sensor: ");
Serial.println(medt);
medt=random(114,120);
medt=medt/100;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Bilirrubina: ");
lcd.setCursor(4,1);
// Escribimos el número de segundos transcurridos
lcd.print(medt);
lcd.print(" mg/dl ");
float lec=medt;
char buffer[10]=" ";
char* formato="%lec";
sprintf(buffer, formato, lec);
client.publish("bilirrubina",buffer);
client.subscribe("bilirrubina");
if (medt <10){

```

```

    digitalWrite(D5 , HIGH);
    digitalWrite(D6 , LOW);
    digitalWrite(D7 , LOW);
}
else if (medt >= 20){
    digitalWrite(D5 , LOW);
    digitalWrite(D6 , LOW);
    digitalWrite(D7 , HIGH);
}
else {
    digitalWrite(D5 , LOW);
    digitalWrite(D6 , HIGH);
    digitalWrite(D7 , LOW);
}
delay(5000);
}
else{
}
}
}

```

ANEXO 5: Código Fuente de la Recepción de Datos y Envío a la Base De Datos

```

import paho.mqtt.client as mqtt
import sys
import MySQLdb

try:
    db = MySQLdb.connect("localhost","root","","ars_b")
except:
    print("No se pudo conectar con la base de datos")
    print("Cerrando...")
    sys.exit()

# Preparando cursor
cursor = db.cursor()

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

```

```

print("Se conecto con mqtt "+str(rc))

client.subscribe("bilirrubina/#")

def on_message(client, userdata, msg):

    print(msg.topic+" "+str(msg.payload))

    lista = msg.topic.split("/")

    msg.payload = msg.payload.decode("utf-8")

    sql = """"INSERT INTO `ars_b`.`medicion` (`id`,`bilirrubina`) VALUES (NULL, """" + str(msg.payload) +
"""),""""

    try:

        # Ejecutar un comando SQL

        cursor.execute(sql)

        db.commit()

        print("Guardando en base de datos...OK")

    except:

        db.rollback()

        print("Guardando en base de datos...Falló")

client = mqtt.Client()

client.on_connect = on_connect

client.on_message = on_message

try:

    client.connect("test.mosquitto.org", 1883, 60)

except:

    print("No se pudo conectar con el MQTT Broker...")

    print("Cerrando...")

    db.close()

    sys.exit()

try:

    client.loop_forever()

except KeyboardInterrupt: #precionar Ctrl + C para salir

    print("Cerrando...")

    db.close()

```

ANEXO 6: CÓDIGO FUENTE DEL SERVIDOR WEB Y REGISTRO DEL HISTORIAL CLÍNICO

```
import re
from flask import *
from flask_mysql import MySQL
app = Flask(__name__)
app.config['MYSQL_HOST'] = 'localhost'
app.config['MYSQL_USER'] = 'root'
app.config['MYSQL_PASSWORD'] = ""
app.config['MYSQL_DB'] = 'ars_b'
mysql = MySQL(app)
app.secret_key = 'mysecretkey'
@app.route('/')
def Ingreso():
    return render_template('main.html')
@app.route('/login', methods=['POST'])
def inicio():
    if request.method == 'POST':
        ced=request.form['ced']
        contra=request.form['contra']
        cur= mysql.connection.cursor()
        cur.execute('SELECT cedula FROM doctores')
        data=cur.fetchall()
        mysql.connection.commit()
        if ced=='1805028121'and contra=='ars':
            return redirect(url_for('Index'))
        elif ced=='1803263043'and contra=='ars':
            return redirect(url_for('Index'))
        elif ced=='1804969069' and contra=='ars':
            return redirect(url_for('Index'))
        else:
            flash('El usuario o contraseña son incorrectos.')
```

```

        return redirect(url_for('Ingreso'))
@app.route('/ingreso')
def Index():
    cur = mysql.connection.cursor()
    cur.execute('SELECT * FROM paciente')
    data = cur.fetchall()
    return render_template('index.html', data =data)
@app.route('/registro', methods=['POST'])
def add_contact():
    if request.method == 'POST':
        nombre=request.form['nombre']
        sexo=request.form['sexo']
        edad=request.form['edad']
        peso=request.form['peso']
        longitud=request.form['longitud']
        notas=request.form['notas']
        ingreso=request.form['ingreso']
        cur= mysql.connection.cursor()
        cur.execute('INSERT INTO paciente
(tiempo,nombre,sexo,edad,peso,longitud,enfermedades,ingreso)
VALUES(CURRENT_TIMESTAMP,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s)',
sexo,edad,peso,longitud,notas,ingreso])
        mysql.connection.commit()
        flash('Registro realizado')
        return redirect(url_for('Index'))
    return 'add contact'
@app.route('/medicion')
def Medicion():
    cur = mysql.connection.cursor()
    cur.execute('SELECT * FROM medicion WHERE id=(SELECT max(id) FROM medicion) ')
    data = cur.fetchall()
    cur.execute('SELECT * FROM paciente WHERE id=(SELECT max(id) FROM paciente)')
    datas = cur.fetchall()

```

```

return render_template('medicion.html', medicion=data, paciente=datas)

@app.route('/revision', methods=['POST'])
def add_b():
    if request.method == 'POST':
        paciente=request.form['paciente']
        notas=request.form['notas']
        cur= mysql.connection.cursor()
        cur.execute('SELECT bilirrubina FROM medicion WHERE id=(SELECT max(id) FROM medicion) ')
        b= cur.fetchall()

        cur.execute('INSERT INTO paciente (tiempo, nombre, bilirrubina,enfermedades)
VALUES(CURRENT_TIMESTAMP,%s,%s,%s)', [paciente,b,notas])

        mysql.connection.commit()
        flash('Registro realizado')
        return redirect(url_for('Medicion',nombre=paciente))

    return 'add b'

@app.route('/buscar')
def Buscar():
    cur = mysql.connection.cursor()
    cur.execute('SELECT * FROM paciente')
    data = cur.fetchall()
    return render_template('busca.html', paciente =data)

@app.route('/paciente')
def Pacientes():
    global pacientef
    cur = mysql.connection.cursor()
    if pacientef is '':
        return redirect(url_for('Buscar'))
    else:
        cur.execute('SELECT * FROM `paciente` WHERE `nombre` = (%s)', [pacientef])
        data = cur.fetchall()
        cur.execute('SELECT nombre FROM `paciente` WHERE `nombre` = (%s)', [pacientef])
        nombre = cur.fetchone()

```

```

cur.execute('SELECT sexo FROM `paciente` WHERE `nombre` = (%s)', [pacientef])
sexo = cur.fetchone()

cur.execute('SELECT edad FROM paciente WHERE nombre = (%s)', [pacientef])
edad = cur.fetchone()

cur.execute('SELECT peso FROM paciente WHERE nombre = %s', [pacientef])
peso = cur.fetchone()

cur.execute('SELECT longitud FROM paciente WHERE nombre = (%s)', [pacientef])
longitud = cur.fetchone()

return render_template('buscar.html', pacientef =data, nombre
=nombre,sexo=sexo,edad=edad,peso=peso, longitud=longitud)

@app.route('/busqueda', methods=['POST'])
def busqueda():
    global pacientef
    if request.method == 'POST':
        pacientef=request.form['paciente']
        session['pacientef']=pacientef
        return redirect(url_for('Pacientes'))
    return 'busqueda'

@app.route('/informacion')
def info():
    return render_template('informacion.html')

@app.route('/tablas', methods=['POST'])
def tablas():
    if request.method == 'POST':
        sg=request.form['sg']
        if sg=='24':
            img='https://i.ibb.co/qMB4d7d/24.png'
        elif sg=='25':
            img='https://i.ibb.co/nR52cJN/25.png'
        elif sg=='26':
            img='https://i.ibb.co/ZLbPDvn/26.png'
        elif sg=='27':
            img='https://i.ibb.co/VJ7LbJs/27.png'

```

```

elif sg=='28':
    img='https://i.ibb.co/QHf6y7R/28.png'
elif sg=='29':
    img='https://i.ibb.co/g9YjfHQ/29.png'
elif sg=='30':
    img='https://i.ibb.co/1LQm1NJ/30.png'
elif sg=='31':
    img='https://i.ibb.co/YBm1zbW/31.png'
elif sg=='32':
    img='https://i.ibb.co/KXpKmLY/32.png'
elif sg=='33':
    img='https://i.ibb.co/t3CBkQJ/33.png'
elif sg=='34':
    img='https://i.ibb.co/PTK75kP/34.png'
elif sg=='35':
    img='https://i.ibb.co/LpmBDN7/35.png'
elif sg=='36':
    img='https://i.ibb.co/vPSB02S/36.png'
elif sg=='37':
    img='https://i.ibb.co/SB4tYwb/37.png'
elif sg=='38':
    img='https://i.ibb.co/3mrpjZP/38.png'
else:
    img=""

return render_template('informacion.html',sg=sg,img=img)

if __name__ == "__main__":
    app.run(port=3000, debug=True)

```

ANEXO 7: Código de Estructura de las Páginas Web

```

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

<meta charset="UTF-8">

```

```

<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=0.0">
<title>Ars-Medical</title>
<link rel="stylesheet" href="https://bootswatch.com/5/flatly/bootstrap.min.css">
</head>
<body>
<nav class="navbar navbar-expand-lg navbar-light bg-light">
  <div class="container-fluid">
    <a class="navbar-brand" >Ars-Medical</a>
    <button class="navbar-toggler" type="button" data-bs-toggle="collapse" data-bs-
target="#navbarNavDropdown" aria-controls="navbarNavDropdown" aria-expanded="false" aria-
label="Toggle navigation">
      <span class="navbar-toggler-icon"></span>
    </button>
    <div class="collapse navbar-collapse" id="navbarNavDropdown">
      <ul class="navbar-nav">
        <li class="nav-item">
          <a class="nav-link active" aria-current="page" href="/ingreso">Datos del Paciente</a>
        </li>
        <li class="nav-item">
          <a class="nav-link" href="/medicion">Medición</a>
        </li>
        <li class="nav-item">
          <a class="nav-link" href="/buscar">Buscar</a>
        </li>
        <li class="nav-item">
          <a class="nav-link" href="/informacion">Información</a>
        </li>
      </ul>
    </div>
  </div>
</nav>
<div class="container">

```

```

{% block body %}

{% endblock %}

</div>

<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"
integrity="sha384-ka7Sk0Gln4gmtz2MlQnikT1wXgYsOg+OMhuP+IIRH9sENBOOLRN5q+8nbTov4+1p"
crossorigin="anonymous"></script>

<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@popperjs/core@2.10.2/dist/umd/popper.min.js"
integrity="sha384-7+zCNj/IqJ95wo16oMtfstkBz9ccEh31eOz1HGyDuCQ6wgnyJNSYdrPa03rtR1zdB"
crossorigin="anonymous"></script>

<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/js/bootstrap.min.js"
integrity="sha384-QJHtvGhmr9XOIpI6YVutG+2QOK9T+ZnN4kzFN1RtK3zEFElshlmWI5/YESvpZ13"
crossorigin="anonymous"></script>

</body>

</html>

```

ANEXO 8: Código de Página Web de Login

```

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

<meta charset="UTF-8">

<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">

<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=0.0">

<title>Ars-Medical</title>

<link rel="stylesheet" href="https://bootswatch.com/5/flatly/bootstrap.min.css">

</head>

<body>

<nav class="navbar navbar-expand-lg navbar-light bg-light">

<div class="container-fluid">

<a class="navbar-brand" href="#">Ars-Medical</a>

<button class="navbar-toggler" type="button" data-bs-toggle="collapse" data-bs-
target="#navbarNavDropdown" aria-controls="navbarNavDropdown" aria-expanded="false" aria-
label="Toggle navigation">

<span class="navbar-toggler-icon"></span>

</button>

<div class="collapse navbar-collapse" id="navbarNavDropdown">

</ul>

```

```

    </div>
  </div>
</nav>
<div class="container">
<p></p>
<style>
  .container {
  position: absolute;
  top: 50%;
  left: 50%;
  -moz-transform: translateX(-50%) translateY(-40%);
  -webkit-transform: translateX(-50%) translateY(-40%);
  transform: translateX(-50%) translateY(-65%);
  }
</style>
<div class="container">
<p></p>
<div >
  <div class=" container row justify-content-center align-items-center">
    <div class="col-md-5 align-items-center justify-content-center">
      <H2 class=" row justify-content-center align-items-center" style="font-weight: bold; ">Ars -
      Medical</H2>
      <div ></div>
      <form action="/login" method="POST">
        <div class="card card-body bg-primary card text-white" >

```

```

<h5 class="card-title ">Usuario: </h5>
<div class="form-group col-md-7 " style=" transform: translateX(60%);">
  <input type="text" name="ced" class="form-control text-center" >
</div>
<h5 class="card-title">Contraseña: </h5>
<div class="form-group col-md-7 " style=" transform: translateX(60%);">
  <input type="password" name="contra" class="form-control text-center" >
</div>
</form>
<p></p>
  {% with messages = get_flashed_messages() %}
  {% if messages %}
  <ul class=flashes>
  {% for message in messages %}
    <li>{{ message }}</li>
  {% endfor %}
  </ul>
  {% endif %}
  {% endwith %}
<p></p>
  <button class="btn btn-light" type="submit">
    Ingresar
  </button>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"
integrity="sha384-ka7Sk0Gln4gmtz2MlQnikT1wXgYsOg+OMhuP+IIRH9sENBOOLRn5q+8nbTov4+1p"
crossorigin="anonymous"></script>

```

```

<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@popperjs/core@2.10.2/dist/umd/popper.min.js"
integrity="sha384-7+zCNj/IqJ95wo16oMtfjsKbZ9ccEh31eOz1HGyDuCQ6wgnyJNSYdrPa03rtR1zdB"
crossorigin="anonymous"></script>

<script      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/js/bootstrap.min.js"
integrity="sha384-QJHtvGhmr9XOIpI6YVutG+2QOK9T+ZnN4kzFN1RtK3zEFEIsxhlmWl5/YESvpZ13"
crossorigin="anonymous"></script>

</body>

</html>

```

ANEXO 9: Código de Página Web de Medición y Registro del Examen Médico

```

{% extends 'layouts.html' %}

{% block body %}

<p></p>

<style>

    .container {

    position: absolute;

    top: 50%;

    left: 50%;

    -moz-transform: translateX(-50%) translateY(-40%);

    -webkit-transform: translateX(-50%) translateY(-40%);

    transform: translateX(-50%) translateY(-65%);

    }

</style>

<div class="container">

<H2 class=" row justify-content-center align-items-center" style="font-weight: bold;
">MEDICIÓN</H2>

<p></p>

<!--Creamos un mensaje de alerta para confirmar el ingreso de la medicion con el paciente-->

<div >

    <div class=" row justify-content-center align-items-center">

        <div class="col-md-4 text-center align-items-center justify-content-center">

            <div class="card card-body bg-primary card text-white" >

                <form action="/revision" method="POST">

                    <div class="form-group">

```

```

        <input type="text" name="paciente" placeholder="Paciente" class="form-control">
    </div>
<p></p>
<div class="form-group">
    <textarea type="text" name="notas" placeholder="Prescripcion" class="form-control"
style="height:100px;font-size:12pt;" ></textarea>
    </div>
<p></p>
<button class="btn btn-light" type="submit">
    Guardar
</button>
</form>
</div>
{% with messages = get_flashed_messages() %}
{% if messages %}
{% for message in messages %}
    <div class="alert alert-success text-center justify-content-center" role="alert">
        <strong>{{ message }}</strong>
        <button type="button" class="btn-close" data-bs-dismiss="alert" aria-
label="Close"></button>
    </div>
{% endfor %}
{% endif %}
{% endwith %}
</div>
</div>
<p></p>
<!--Creamos una tabla para visualizacion de la medicion realizada y lo listamos en una variable-->
<div class="col-md-2 offset-md-5 ">
<table class="table tabled-striped table-bordered bg-white table-sm" >
    <thead>
    <tr>
        <td style="text-align: center;" >Bilirrubina Serica:</td>

```

```

        </tr>
    </thead>
    <tbody>
        {% for medida in medicion %}
        <tr>
            <td style="text-align: center;">{{medida.1}} mg/dL.</td>
        </tr>
        {% endfor %}
    </tbody>
</table>
</div>
<!--Creamos un slider para la seleccion del paciente-->
<p></p>
<div class="col-md-8 offset-md-2 ">
    <table class="table tabled-striped table-bordered bg-white table-sm" >
        <thead>
            <tr>
                <td>Paciente</td>
                <td>Medicacion</td>
                <td>Hora</td>
                <td>Prescripción/Notas</td>
            </tr>
        </thead>
        <tbody>
            {% for paci in paciente %}
            <tr>
                <td type="text" name="bilirrubina" placeholder="Bilirrubina" class="form-control">{{paci.2}}</td>
                <td>{{paci.8}}</td>
                <td>{{paci.1}}</td>
                <td>{{paci.7}}</td>
            </tr>
            {% endfor %}

```

```

        </tbody>
    </table>
</div>
</div>
</div>
{% endblock %}

```

ANEXO 10: Código de Página Web de Búsqueda

```

{% extends 'layouts.html' %}
{% block body %}
<style>
    .container {
        height: 100px;
        position: relative;
        border: 3px;
    }
    .vertical-center {
        margin: 0;
        position: absolute;
        top: 300%;
        -ms-transform: translateY(-50%);
        transform: translateY(-50%);
    }
</style>
<div>
    <div class="container row justify-content-center align-items-center">
        <div class="col-md-5 text-center align-items-center justify-content-center vertical-center">
            <p></p>
            <H2 class="container row justify-content-center align-items-center " style="font-weight: bold;
">BUSCAR PACIENTE</H2>
            <p></p>
            <div class="card card-body bg-primary card text-white " >
                <form action="/busqueda" method="POST">

```

```

        <div class="form-group ">
            <input type="text" name="paciente" placeholder="Ingrese el Nombre" class="form-
control text-center">
        </div>
        <p></p>
        <p></p>
        <button class="btn btn-light" type="submit">
            Buscar
        </button>
    </form>
</div>
</div>
</div>
<p></p>
{% endblock %}

```

ANEXO 11: Código de Página Web de Búsqueda-Ejecución

```

{% extends 'layouts.html' %}
{% block body %}
<p></p>
<H2 class="container row justify-content-center align-items-center">BUSCAR PACIENTE</H2>
<p></p>
<!--Creamos una tabla para visualizacion de la medicion realizada y lo listamos en una variable-->
<p></p>
<div class="col-md-4 offset-md-0 ">
    <ul class="list-group list-group-flush ">
        <li class="list-group-item list-group-item-info text-white bg-warning" >Nombre: {{nombre.0}}</li>
        <li class="list-group-item">Sexo: {{sexo.0}}</li>
        <li class="list-group-item">Edad (semanas): {{edad.0}}</li>
        <li class="list-group-item">Peso (kg.): {{peso.0}} </li>
        <li class="list-group-item">Longitud (cm.): {{longitud.0}}</li>
    </ul>
</div>

```

```

<p></p>
<div class="col-md-10 offset-md-2">
  <table class="table table-bordered table-striped bg-white border-primary" >
    <thead>
      <tr>
        <td>Medicacion: </td>
        <td>Hora: </td>
        <td>Prescripción/Notas: </td>
      </tr>
    </thead>
    <tbody>
      {% for paci in pacientef %}
      <tr>
        <td class="text-center">{{paci.8}} mg/dL.</td>
        <td class="text-center">{{paci.1}}</td>
        <td class="text-center">{{paci.7}}</td>
      </tr>
      {% endfor %}
    </tbody>
  </table>
</div>
{% endblock %}

```

ANEXO 12: Código de Página Web de Información

```

{% extends 'layouts.html' %}
{% block body %}
<p></p>
<H2 class="justify-content-center align-items-center text-center" style="font-weight: bold; ">TABLAS
NICE</H2>
<p></p>
<form action="/tablas" method="POST">
  <div class="mb-3">
    <H3 for="sg" class="">Gráfico de umbral de tratamiento</H3>

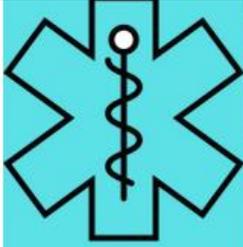
```

```
<select class="form-select mt-2" name = "sg" id="sg">
  <option value="" selected>Seleccione las semanas gestacionales ...</option>

  <option value="24">24 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="25">25 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="26">26 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="27">27 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="28">28 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="29">29 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="30">30 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="31">31 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="32">32 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="33">33 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="34">34 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="35">35 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="36">36 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="37">37 - Semanas Gestacionales</option>
  <option value="38">38 - Semanas Gestacionales</option>

</select>
<p></p>
<button class="btn btn-primary " type="submit">
  Buscar
</button>
</div>
</form>
<div ><img src={{img}}></div>
{% endblock %}
```

ANEXO 13: Manual de usuario para la utilización del prototipo

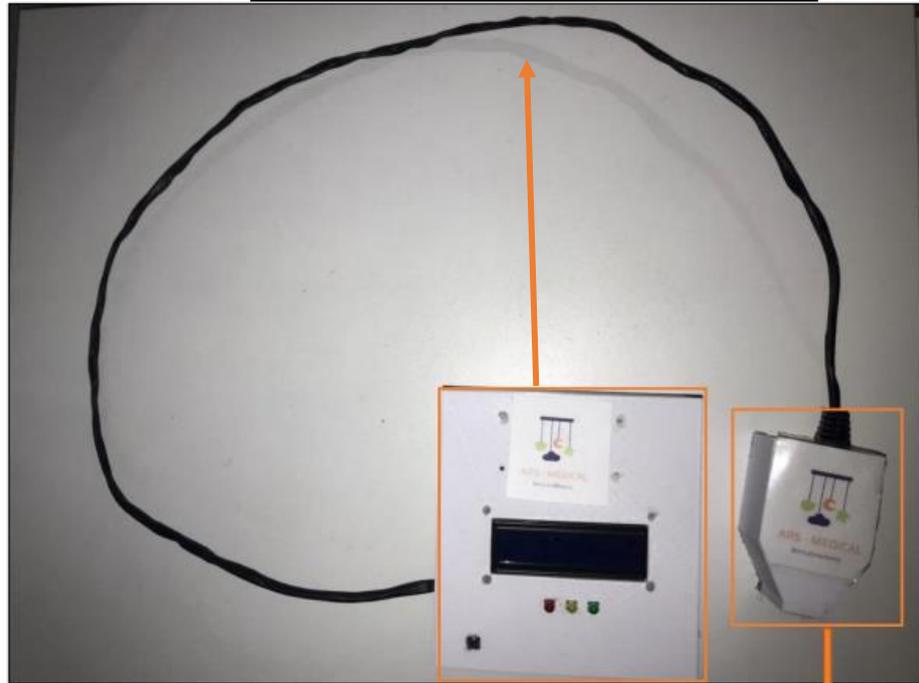


Manual de Instrucciones para la utilización del

Bilirrubinómetro



Sistema de adquisición, gestión y visualización de bilirrubina sérica.



Sistema de medición análoga para estimar la bilirrubina sérica



Cableado de salida de corriente y de la placa.

Zona negra, se encuentra al sensor y el led que ejecutan la medición respectiva, se debe colocar en la piel del neonato con delicadeza alrededor de unos 30 segundo desde que se inicializa la prueba.

LCD, se puede visualizar el proceso de funcionamiento del programa, aquí se muestran tres fases:

- Inicialización
- Control de medición
- Visualización de la cantidad de bilirrubina.

Cableado de entrada de corriente del sistema de medición análoga y de salida a la fuente de luz.

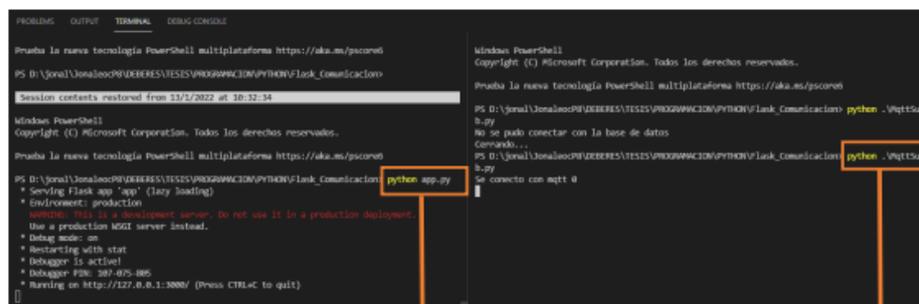
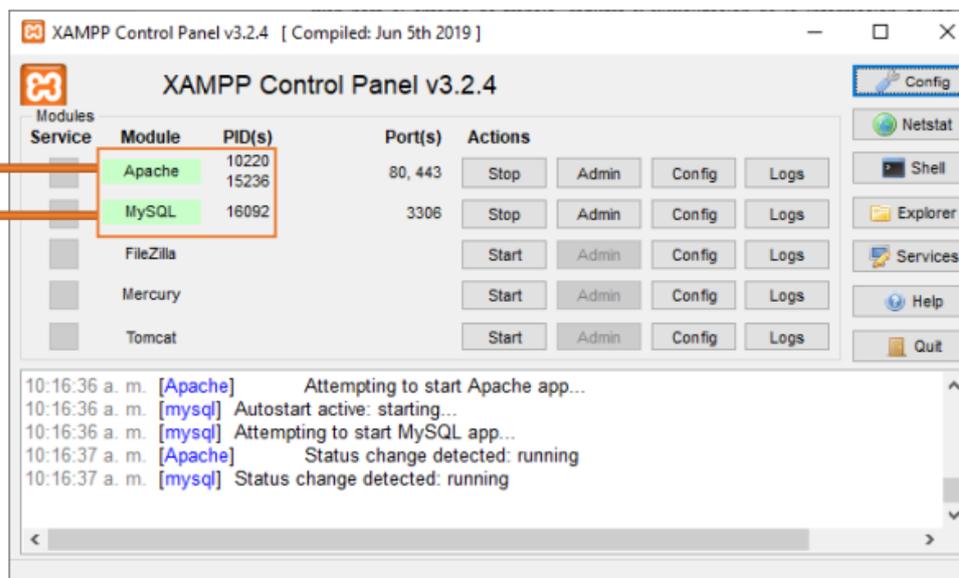


Pulsador, al iniciar la segunda fase en la LCD, se lo debe presionar para iniciar el calculo de la bilirrubina, aquí el sistema de medición debe estar colocado de manera firme en la piel del neonato.

Leds de guía, una vez realizado el examen se estimará el nivel de bilirrubina en función a foco led del dispositivo donde:

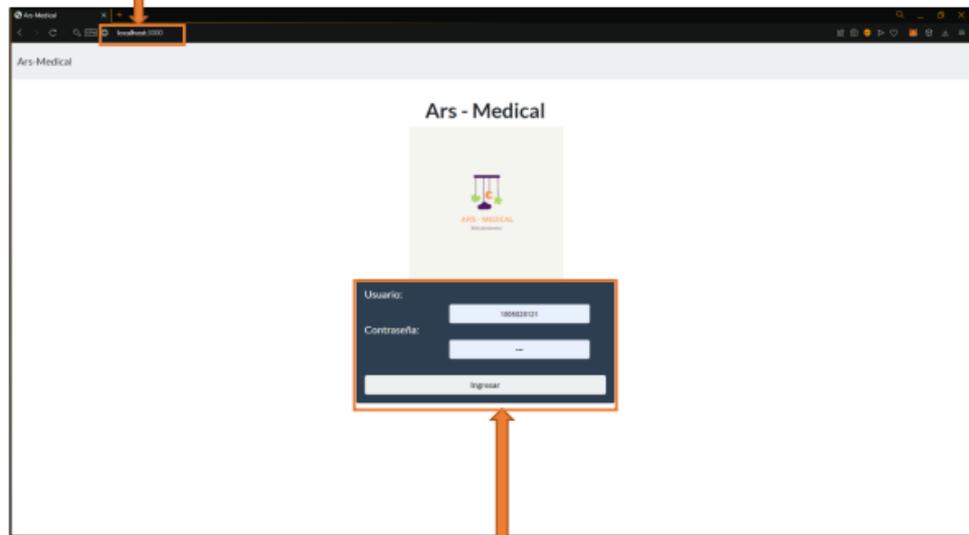
- Led rojo: Bilirrubina alta
- Led amarillo: Bilirrubina media
- Led Verde: Bilirrubina normal

Dentro del panel de control de XAMPP se debe verificar el correcto funcionamiento del servidor apache y de MySQL, en caso de ser necesario en "Actions" presionar start en los dos módulos.



Ingresamos en el terminal del sistema y se ejecutará el programa denominado "app.py" con el comando: **python app.py**; y el programa denominado "MqttSub.py" con el comando: **python .\MqttSub.py**.

Dentro del navegador web de preferencia del usuario se ingresará la dirección de red: **http://127.0.0.1:3000/** lo que permitirá el acceso al servidor web.



En la página de login se ingresará el Usuario y Contraseña asignada por el personal de control y seguridad informática.

Barra de navegación, aquí se plantea el acceso de manera rápida a través de todas las funciones presentadas en el servidor web.

Forma de registro, el personal médico capacitado ingresará por primera y única vez el historial clínico del paciente.

Ars Medical Datos del Paciente Historial Buscar información

INGRESO PACIENTE

Nombre:

Sexo:

Edad Gestacional:

Peso (gr.):

Longitud (cm.):

Antecedentes:

Día de Ingreso:

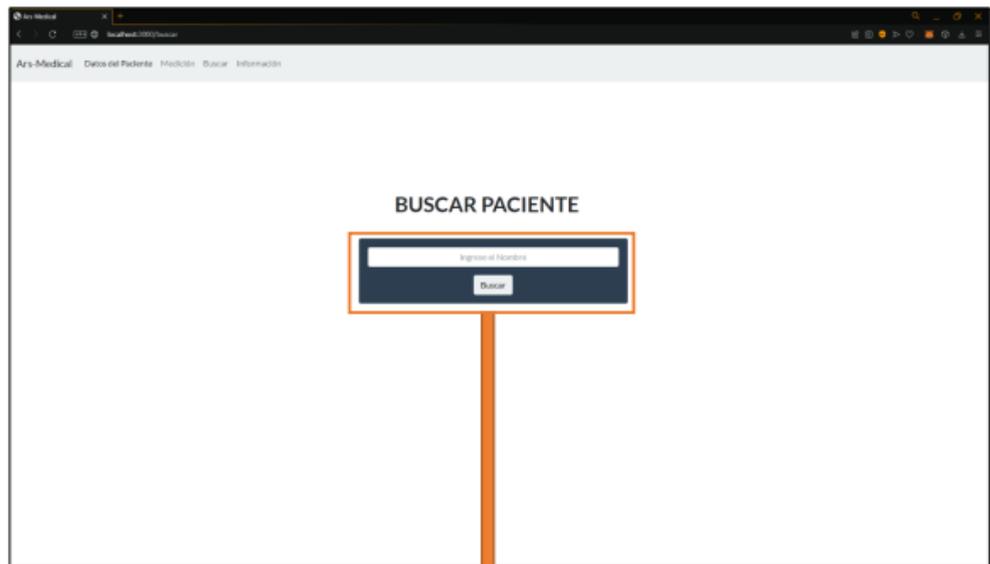
Botón para guardar los datos ingresados del paciente dentro del registro médico de la base de datos.

Se tomará registro médico del nivel de bilirrubina sérica calculada con el dispositivo, para lo cual se ingresará el nombre y el tratamiento a aplicarse, así como notas importantes del caso clínico.

Paciente	Medición	Hora	Prescripción/Notas
Zambrano Carda Edisson Alberto		2022-05-11 01:32:53	Enfermedades hereditarias: Diabetes Alergia a farmacos: No

En la tabla se presenta el último ingreso o registro realizado en los pacientes, permitiendo llevar un control del correcto ingreso de los datos.

Tabla de medición de bilirrubina sérica realizada por última vez en el dispositivo, aquí se permitirá visualizar y registrar el examen realizado en conjunto con la prescripción y el nombre del paciente.



Forma de registro para búsqueda del paciente en función al nombre registrado en la historia clínica del mismo, el botón permitirá acceder a la información requerida.

Información básica del paciente del que se realizó la búsqueda, aquí se presenta:

- Nombre
- Sexo
- Edad (semanas)
- Peso (kg.)
- Longitud (cm.)

BUSCAR PACIENTE

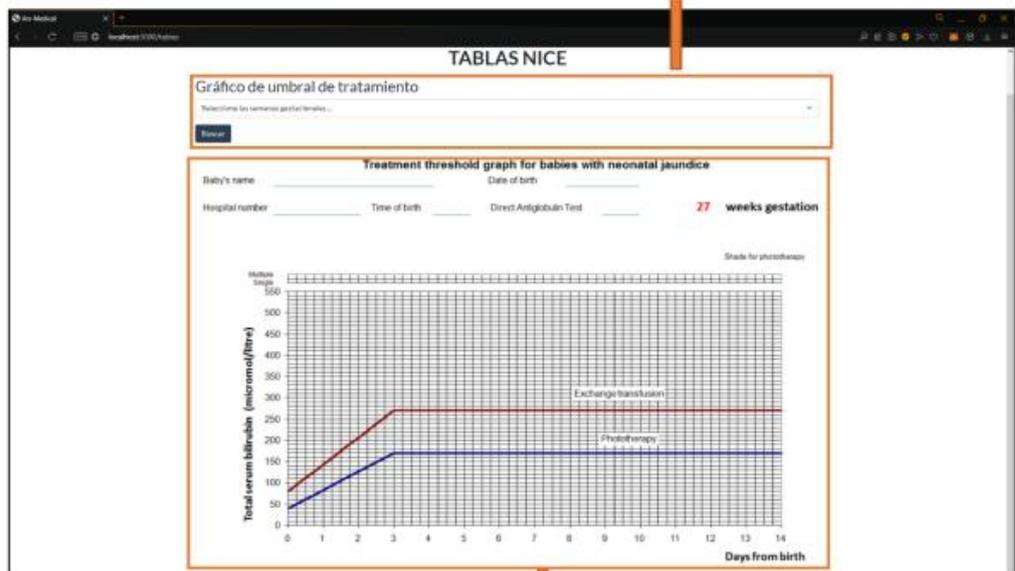
Nombre: Zaira Gabriela Corde...
Sexo: Masculino
Edad (semanas): 34
Peso (kg.): 80
Longitud (cm.): 50

Medicacion	Hora	Prescripción/Notas
mg/dL	2022-01-11 01:00:13	Enfermedades hereditarias: Diabetes, Alergia a farmacos: No
17.5 mg/dL	2022-01-11 02:06:27	Mantener tratamiento de fototerapia, conjunto con un control metabólico de 2 horas, registro del paciente normalizado.

Tabla en la cual se presentan todos los registros médicos realizados al paciente buscado, aquí se presentan los siguientes datos:

- Nivel de Bilirrubina
- Hora de registro
- Prescripción y/o notas.

Dropdown, que cuenta con la búsqueda de las diferentes gráficas del umbral de tratamiento de la Hiperbilirrubinemia, donde se selecciona en base a las semanas gestaciones del neonato.



Se permite visualizar la Tabla NICE para el diagnóstico y tratamiento de la patología en base al factor gestacional insertado con anterioridad.

ANEXO 14: Validación Dra. Jaddy Vanessa Castañeda Sandoval



Ministerio de Salud Pública
Coordinación Zonal 3

Área Comunicación, Imagen y Prensa

Ingeniera Mg.
Pilar Urrutia
DECANA
Facultad Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
Presente

Señora Decana:

Por medio de la presente, yo Dra. CASTAÑEDA SANDOVAL JADDY VANNESSA con cédula de identidad N°1803263043, con registro del Senescyt N°.1028-2021-2321045, Médico General con especialidad en Pediatría, Pediatra del Hospital Básico Rafael Ruiz, certifico que he revisado el proyecto técnico: "SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO TRANSCUTÁNEO NO INVASIVO DE HIPERBILIRRUBINEMIA EN NEONATOS", el mismo que fue diseñado en su total autoría por el Sr. Jonathan Leonardo Castañeda Sandoval, con cédula de identidad N° 1805028121, estudiante de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato .

Después de haber realizado las pruebas médicas necesarias me permito verificar la funcionabilidad del equipo y puedo validar que los resultados obtenidos hasta la fecha son aceptables y de gran ayuda al área neonatal, además indico que los sensores se visualizan dentro de los rangos médicos normales.

Saludos cordiales,

Dra. Jaddy Vanessa Castañeda Sandoval
Médico Pediatra
C.I.: 1803263043