



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**  
**Facultad de la Energía, las Industrias y los**  
**Recursos Naturales no Renovables**

**Carrera de Telecomunicaciones**

**Diseño e implementación de un prototipo inteligente mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil para monitorear los niveles de glucosa.**

**Trabajo de Integración Curricular, previo a optar por el Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

**AUTOR:**

Jhandry Alfredo Niveló Andrade

**DIRECTOR:**

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

## **Certificación**

Loja, 28 de marzo de 2024

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño e implementación de un prototipo inteligente mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil para monitorear los niveles de glucosa.** , previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones** de la autoría del estudiante **Jhandry Alfredo Niveló Andrade**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

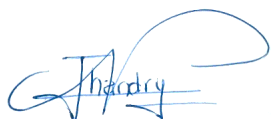
Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Jhandry Alfredo Niveló Andrade**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de Identidad:** 1104998768

**Fecha:** 28 de marzo de 2024

**Correo electrónico:** [jhandry.nivelo@unl.edu.ec](mailto:jhandry.nivelo@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0981751455

**Carta de autorización del Trabajo de Integración Curricular por parte del autor para la consulta de reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo.**

Yo, **Jhandry Alfredo Niveló Andrade** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño e implementación de un prototipo inteligente mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil para monitorear los niveles de glucosa.,** como requisito para optar el título de: **Ingeniero en Telecomunicaciones,** autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de integración curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, lo suscribo, a los veintiocho días del mes de marzo del dos mil veinticuatro.

**Firma:** 

**Autor:** Jhandry Alfredo Niveló Andrade

**Cédula de Identidad:** 1104998768

**Dirección:** Isidro Ayora Bajo (Calles Alemania y Francia)

**Correo electrónico:** jhandry.nivelo@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0981751455

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Integración Curricular va dedicado a Dios y a San Antonio de Padua, por ser mi guía en todo momento y por darme sabiduría en mi formación académica para poder lograr mis objetivos y metas propuestas.

De manera muy especial quiero agradecer a mis padres Glenda Paola Andrade Vélez y Wilmer Alfredo Niveló Alvarado, quienes fueron un pilar muy importante en mi vida ya que han sido un ejemplo de lucha, constancia y fortaleza, a mi Mami Tere gracias por darme fuerzas para no rendirme y seguir adelante, este logro es fruto de su amor, entrega y apoyo incondicional que me brindaron en mi formación universitaria.

De igual manera agradezco a mis hermanas Nathalie y Stephania quienes han estado conmigo apoyándome moralmente, dándome su amor y consejos para seguir adelante.

A mis princesas de 4 patitas Kiara, Sol, Dorami y Bonita por ser mis amuletos de la buena suerte, mis fieles compañeras durante todas las noches de desvelo, que nada más bastaba con verlas dormidas, para no sentirme solo y poder continuar con mi Trabajo de Integración Curricular.

Por ultimo y no menos importante quiero agradecer a mis amigos y amigas por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

*Este triunfo una vez más va dedicado al cielo.*

*(Alejandro Andrade, Elías David y Ezequiel Alejandro)*

*Jhandry Alfredo Niveló Andrade*

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de Energía, las industrias y los recursos Naturales no Renovables, a la carrera de Telecomunicaciones, a las autoridades y al personal docente quienes con su dedicación, responsabilidad y experiencia académica me impartieron sus enseñanzas, sus conocimientos y me brindaron apoyo en todo momento de formación profesional.

Agradezco de manera especial al Director del Trabajo de Integración Curricular Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc., quien con sus conocimientos y perseverancia me guio de manera acertada para la realización y culminación del presente Trabajo de Integración Curricular.

Finalmente agradezco al Ing. Luis Yunga, por haberme impartido sus conocimientos para la realización del desarrollo final del prototipo inteligente.

***Jhandry Alfredo Niveló Andrade***

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	xi
Índice de figuras .....	xii
Índice de ecuaciones.....	xiv
Índice de anexos .....	xv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>8</b>
4.1. Glucosa en el Cuerpo Humano .....	9
4.2. Medición de la glucosa en la sangre .....	10
4.3. Niveles de Glucosa .....	10
4.4. Tratamientos para los diferentes tipos de diabetes .....	11
4.5. Registros Actuales de Niveles de Glucosa .....	11
4.6. Métodos que utilizan las persona para medir la glucosa .....	12
4.6.1. Monitoreo Continuo .....	12
4.6.2. Automedición .....	12
4.7. Telemedicina .....	12
4.7.1. Telemedicina enfocada a la Diabetes .....	13
4.8. Diabetes .....	13
4.8.1. Diabetes en Ecuador .....	14
4.9. Probabilidad de las personas de sufrir diabetes .....	15
4.10. Tipo de Diabetes .....	15
4.10.1. Diabetes Tipo 1.....	15
4.10.2. Diabetes Tipo 2.....	16
4.10.3. Diabetes Gestacional .....	16
4.10.4. Diabetes tipo LADA.....	17

4.11. Glucómetro .....	17
4.11.1. Ventajas y Desventajas del Glucómetro Tradicionales .....	17
4.12. Tipos de Glucómetros.....	17
4.12.1. Glucómetros Invasivos .....	18
4.12.2. Glucómetro Continúo .....	18
4.12.3. Glucómetro No Invasivo .....	19
4.13. Métodos para calcular la glucosa.....	19
4.13.1. Método Colorimétrico .....	19
4.13.2. Método amperométrico.....	20
4.14. Tecnología para la medición de glucosa.....	20
4.15. Sistemas Inteligentes .....	20
4.16. Sistemas Embebidos .....	21
4.17. Arduino Nano .....	21
4.17.1. Especificaciones Técnicas del Arduino Nano .....	22
4.17.2. Diagrama de Pines de Conexión del Arduino Nano.....	22
4.18. Tiras Reactivas .....	23
4.19. Amplificador Operacional Cuádruple LM324 .....	25
4.20. Sistemas embebidos asociados a la monitorización de glucosa .....	26
4.21. Tecnología Inalambrica .....	26
4.21.1. Bluetooth .....	27
4.21.1.1. Módulo Bluetooth HC-05.....	27
4.21.2. Tecnología inalámbrica de corto alcance .....	28
4.21.3. Seguridad de Bluetooth .....	29
4.21.4. Tecnología inalámbrica en el monitoreo de glucosa .....	29
4.22. Aplicaciones Móviles y su impacto en la sociedad .....	30
4.22.1. Aplicaciones Móviles para el monitoreo de glucosa.....	30
4.23. Ley Orgánica de Salud .....	31
4.24. Ley Orgánica de Telecomunicaciones.....	32
4.25. Constitución de La Organización Mundial de la Salud.....	33
<b>5. Metodología.....</b>	<b>35</b>
5.1. Área de Estudio .....	35
5.2. Materiales .....	35
5.3. Recursos Científicos.....	36



5.3.1. Método deductivo .....	36
5.3.2. Método analítico-sintético .....	36
5.3.3. Método experimental .....	37
5.4. Recursos Técnicos .....	37
5.5. Fases de la investigación .....	38
5.5.1. Fase 1: Investigación y recolección de información de Prototipos Inteligentes para Medición de Glucosa .....	39
5.5.2. Fase 2: Selección de selección de softwares para simulación, diseño y desarrollo.....	39
5.5.2.1. Software seleccionado para programar el microcontrolador	40
5.5.2.2. Software diseñado para diseño de circuito .....	40
5.5.2.3. Software para el desarrollo de la aplicación móvil.....	40
5.5.3. Fase 3: Simulación, Diseño y Desarrollo .....	41
5.5.3.1. Diseño del circuito.....	41
5.5.3.2. Integración con el Arduino Nano .....	47
5.5.3.3. Método Amperométrico .....	49
5.5.3.4. Obtención la formula del Método Amperométrico .....	50
5.5.3.5. Diseño de la PCB.....	51
<b>6. Resultados .....</b>	<b>54</b>
6.1. Fase 4: Implementación.....	54
6.1.1. Software de aplicación.....	54
6.1.2. Diagrama de Flujo .....	55
6.1.3. Implementación en Protoboard.....	56
6.1.4. Interfaz de Aplicación Móvil.....	58
6.1.5. Creación del PBC para la medición de la glucosa y del microprocesado....	59
6.1.6. Ensamblaje de los circuitos .....	61
6.1.7. Diseño e impresión .....	62
6.1.8. Diagrama del Glucómetro .....	62
6.2. Fase 5: Pruebas y Evaluación.....	63
6.2.1. Pruebas de desempeño y validación del prototipo.....	65

6.3. Costos para la construcción del prototipo .....	68
<b>7. Discusión.....</b>	<b>70</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>72</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>73</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>74</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>79</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Niveles de Glucosa.....	11
<b>Tabla 2.</b> Mediciones de Glucosa .....	11
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y Desventajas del Glucómetro.....	17
<b>Tabla 4.</b> Especificaciones Técnicas del Arduino Nano .....	22
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones Técnicas.....	28
<b>Tabla 6.</b> Escenario para el desarrollo del prototipo.....	35
<b>Tabla 7.</b> Materiales .....	35
<b>Tabla 8.</b> Herramientas de software.....	37
<b>Tabla 9.</b> Comparativa de resultados entre prototipo glucómetro y glucómetros tradicionales .....	63
<b>Tabla 10.</b> Costos para la elaboración del Glucómetro.....	68

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Estructura lineal y cíclica de la glucosa.....	10
<b>Figura 2.</b> Telemedicina.....	13
<b>Figura 3.</b> Evolución de la diabetes en Ecuador .....	14
<b>Figura 4.</b> Diabetes tipo 1 .....	15
<b>Figura 5.</b> Diabetes Tipo 2.....	16
<b>Figura 6.</b> Diabetes Gestacional .....	16
<b>Figura 7.</b> Glucómetro Invasivo .....	18
<b>Figura 8.</b> Glucómetros Continuo.....	18
<b>Figura 9.</b> Glucómetro No Invasivo.....	19
<b>Figura 10.</b> Arduino Nano .....	22
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Pines del Arduino Nano .....	23
<b>Figura 12.</b> Tira reactiva One Touch Ultra.....	24
<b>Figura 13.</b> Reacción química al introducir sangre en la tira reactiva.....	24
<b>Figura 14.</b> Representación de los tres electrodos .....	25
<b>Figura 15.</b> Pines del LM324.....	26
<b>Figura 16.</b> Tecnología Inalámbrica .....	27
<b>Figura 17.</b> Tecnología Bluetooth.....	27
<b>Figura 18.</b> Módulo Bluetooth HC-05 .....	28
<b>Figura 19.</b> Dispositivos con Bluetooth.....	29
<b>Figura 20.</b> Fases que se siguió para el desarrollo del siguiente Trabajo de Integración Curricular. ....	38
<b>Figura 21.</b> Circuito Medidor de Glucosa.....	41
<b>Figura 22.</b> Circuito divisor de tensión.....	43
<b>Figura 23.</b> Circuito potencióstato.....	44
<b>Figura 24.</b> Circuito convertidor I-V .....	46
<b>Figura 25.</b> Pines de conexión en Arduino Nano .....	48
<b>Figura 26.</b> Conexión Arduino Nano, Modulo Bluetooth y Circuito medidor de glucosa.....	48
<b>Figura 27.</b> Evolución de la tensión en función del nivel de glucosa.....	50
<b>Figura 28.</b> Obtención de ecuación del Método Emperico .....	51
<b>Figura 29.</b> Diseño PCB .....	52
<b>Figura 30.</b> PBC en software FlatCam del Sensor de glucosa.....	52
<b>Figura 31.</b> Circuito del Arduino Nano .....	53
<b>Figura 32.</b> Diagrama de Flujo que describe el código de arduino .....	55

<b>Figura 33.</b> Diseño del Circuito en Protoboard .....	56
<b>Figura 34.</b> Arduino Nano y Circuito medidor de glucosa .....	57
<b>Figura 35.</b> Monitor serial del Arduino Ide .....	57
<b>Figura 36.</b> Interfaz de las Aplicación Móvil .....	58
<b>Figura 37.</b> Diagrama en Proteus del circuito del Microprocesado y Circuito medidor de Glucosa.....	59
<b>Figura 38.</b> Circuito en PCB .....	60
<b>Figura 39.</b> Placas en Visión 3D .....	60
<b>Figura 40.</b> Creacion de la Placa PCB .....	60
<b>Figura 41.</b> Partes finales .....	61
<b>Figura 42.</b> Ensamblaje de Circuitos .....	61
<b>Figura 43.</b> Creación 3D de la caja del prototipo .....	62
<b>Figura 44.</b> Diagrama de Bloques del Glucómetro.....	63
<b>Figura 45.</b> Prototipo final vista frontal .....	65
<b>Figura 46.</b> Prueba de medición del prototipo sujeto 1 después de comer. ....	65
<b>Figura 47.</b> Prueba de medición del prototipo sujeto 2 antes de comer. ....	66
<b>Figura 48.</b> Prueba de medición del prototipo sujeto 3 Después de Comer .....	67
<b>Figura 49.</b> Prueba de medición del prototipo sujeto 4 Antes de Comer .....	67

## **Índice de Ecuaciones:**

<b>Ecuación 1.</b> Formula del Divisor de Tensión .....	42
<b>Ecuación 2.</b> Diferencia de Potencial.....	44
<b>Ecuación 3.</b> Formula de Voltaje de salida .....	45
<b>Ecuación 4.</b> Fórmula para calcular la frecuencia .....	47
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación para calcular la glucosa.....	49
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación de glucosa método 2 .....	50
<b>Ecuación 7.</b> Ecuación para la medición de glucosa.....	51

## **Índice de Anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Diseños 3D del prototipo medidor de glucosa .....	79
<b>Anexo 2.</b> Manual de usuario del prototipo medidor de glucosa .....	82
<b>Anexo 3.</b> Especificaciones técnicas de los componentes electrónicos .....	94
<b>Anexo 4.</b> Construcción del prototipo .....	102
<b>Anexo 5.</b> Prueba de funcionamiento .....	105
<b>Anexo 6.</b> Código de Arduino .....	106
<b>Anexo 7.</b> Interfaz gráfica del aplicativo móvil .....	109
<b>Anexo 8.</b> Prototipo final.....	111
<b>Anexo 9.</b> Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	112
<b>Anexo 10.</b> Certificación del Prototipo realizada por el Hospital Isidro Ayora.....	117
<b>Anexo 11.</b> Certificación de aprobación del Trabajo de Integración Curricular.....	118
<b>Anexo 12.</b> Certificación de traducción del resumen .....	119

## **1. Título**

Diseño e implementación de un prototipo inteligente mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil para monitorear los niveles de glucosa



## 2. Resumen

Este proyecto de investigación se centra en el diseño e implementación de un prototipo inteligente para monitorear los niveles de glucosa, empleando sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil. Su objetivo es proporcionar a los usuarios una herramienta accesible y fácil de usar para gestionar su salud. La recopilación de datos en tiempo real se logra de manera autónoma mediante sistemas embebidos, mientras que la tecnología inalámbrica facilita la transmisión de estos datos a la aplicación móvil correspondiente. Esta aplicación cuenta con una interfaz intuitiva para visualizar y analizar los niveles de glucosa, además de mostrar alertas. El desarrollo del Trabajo de Integración Curricular se dividió en cinco fases: investigación, recopilación de datos, selección de software, diseño, simulación y desarrollo, implementación, y evaluación. Para esto, se emplearon componentes como el módulo Bluetooth, el Arduino Nano y el amplificador operacional cuádruple LM324. Estos elementos fueron fundamentales para la creación de circuitos esenciales, como el divisor de tensión, el convertidor de corriente a tensión y el circuito potenciostato. Mientras el divisor de tensión se encarga de medir la tensión de la tira reactiva de glucosa y convertirla en una señal comprensible, el convertidor de corriente a tensión amplifica la señal producida por la tira reactiva y la convierte en una señal de tensión procesable. Por su parte, el circuito potenciostato regula la corriente aplicada a la tira reactiva durante las mediciones. Finalmente, una vez implementados los diversos sistemas del prototipo, se procedió a validar las especificaciones de diseño y funcionamiento mediante pruebas de campo. Simultáneamente, se realizó un análisis financiero para evaluar los costos asociados con la implementación del prototipo y compararlos con los modelos existentes en el mercado.

***Palabras clave:** aplicación móvil, circuitos electrónicos e integrados, monitoreo de glucosa, prototipos inteligentes, sistemas embebidos, tecnología inalámbrica.*

## **Abstract**

This research project focuses on the design and implementation of an intelligent prototype for monitoring glucose levels, employing embedded systems, wireless technology, and a mobile application. Its goal is to provide users with an accessible and easy-to-use health management tool. Real-time data collection is achieved autonomously through embedded systems, while wireless technology facilitates the transmission of this data to the corresponding mobile application. This app features an intuitive interface for visualizing and analyzing glucose levels and displaying alerts. The development of the Curricular Integration Work was divided into five phases: research, data collection, software selection, design, simulation and development, implementation, and evaluation. For this, components such as the Bluetooth module, the Arduino Nano, and the LM324 quad operational amplifier were used. These elements were fundamental in creating essential circuits, such as the voltage divider, the current-to-voltage converter, and the potentiostat circuit. While the voltage divider is responsible for measuring the voltage of the glucose test strip and converting it into a comprehensible signal, the current-to-voltage converter amplifies the signal produced by the test strip. It converts it into a processable voltage signal. For its part, the potentiostat circuit regulates the current applied to the test strip during measurements. Finally, once the various systems of the prototype were implemented, the design and operational specifications were validated through field testing. Simultaneously, a financial analysis was conducted to evaluate the costs associated with the prototype's implementation and compare them with existing models on the market.

**Keywords:** mobile application, electronic and integrated circuits, glucose monitoring, intelligent prototypes, embedded systems, wireless technology.

### 3. Introducción

La diabetes es una enfermedad crónica que ocurre cuando el páncreas deja de producir insulina o cuando el cuerpo no puede usarla correctamente. El páncreas produce la hormona insulina, que actúa como una llave para que la glucosa que ingerimos pase del torrente sanguíneo a las células del cuerpo para producir energía. Todos los alimentos ricos en carbohidratos son convertidos en glucosa en la sangre por el cuerpo, y la insulina ayuda a que la glucosa pase a las células, esto nos comenta (Federación Internacional de Diabetes, 2023).

Según la (FID, 2023), la hiperglucemia ocurre cuando el cuerpo no puede producir o utilizar adecuadamente la insulina. Los niveles elevados de glucosa a largo plazo causan daño al cuerpo y fallas en varios órganos y tejidos. El número de personas diagnosticadas con esta enfermedad en el mundo ha aumentado de forma alarmante, pasando de 30 a más de 356 millones, lo que la convierte en una de las principales causas de muerte en jóvenes, adultos y ancianos. La causa principal es la falta de control de la glucosa, pero también el registro incorrecto de los niveles de glucosa ha causado la muerte de personas por errores en la medición.

La convergencia de la tecnología ha creado nuevas oportunidades para el desarrollo de soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de los pacientes y simplifiquen el monitoreo de la glucosa. En este contexto, el diseño e implementación de un prototipo inteligente que utiliza sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil para revolucionar la forma en que se monitorean los niveles de glucosa es un enfoque importante.

Este prototipo inteligente tiene como objetivo no solo facilitar el monitoreo de la glucosa, sino también dar a las personas una mayor autonomía y control sobre su condición. Se ha creado una solución integral que puede ayudar a las personas a tomar decisiones informadas y a los profesionales de la salud a personalizar el tratamiento de manera más efectiva al combinar dispositivos embebidos que realizan mediciones de glucosa en tiempo real con la capacidad de transmitir estos datos de manera inalámbrica en una aplicación móvil.

En el contexto sanitario actual, el control continuo y preciso de la glucosa en sangre es esencial para la salud de las personas. La diabetes es una enfermedad crónica que afecta a millones de personas en todo el mundo y su tratamiento eficaz requiere un

control regular de los niveles de azúcar en sangre. Sin embargo, este proceso ha sido históricamente engorroso y a veces impreciso y procedimientos manuales propensos a errores.

Para abordar este desafío, el Trabajo de Integración Curricular se centra en el desarrollo e implementación de un prototipo inteligente que utilice sistemas embebidos, tecnologías inalámbricas y aplicaciones móviles para proporcionar a los pacientes soluciones innovadoras y más efectivas para el control de la glucosa en sangre. El objetivo de este enfoque no es solo facilitar el proceso de seguimiento, sino también mejorar la calidad de vida de las personas que presentan esta enfermedad, proporcionándoles herramientas de seguimiento de la salud más convenientes, precisas y efectivas. Este estudio explorará los fundamentos teóricos y técnicos necesarios para obtener una comprensión más profunda del contexto operativo y de desarrollo de este prototipo inteligente de monitoreo de glucosa.

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo estructuró de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, efectuado de la siguiente manera: **Título:** hace referencia al tema del Trabajo de Integración Curricular; **Resumen:** puntualiza de forma general el desarrollo del trabajo basándose en el cumplimiento de los objetivos, metodología, conclusiones y recomendaciones; **Introducción:** destaca la importancia del tema, el aporte a la sociedad y la estructura del Trabajo de Integración Curricular; **Marco Teórico:** presenta toda la información teórica, conceptos y opiniones de varios autores en relación a los temas propuestos; **Metodología:** describe los métodos empleados en el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular; **Resultados:** La precisión de las mediciones de glucosa en sangre del prototipo inteligente cumple con los criterios establecidos por la norma **ISO 15197:2015**. Las mediciones obtenidas demuestran la efectividad y confiabilidad del prototipo para monitorear los niveles de glucosa, ya que se sitúan dentro de los límites aceptables definidos por la normativa. **Discusión:** se ha enfocado desde un inicio al conocimiento y enfoque del desarrollo de un prototipo inteligente diseñado para monitorear los niveles de glucosa aprovecha los sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil para proporcionar a las personas un método eficiente y cómodo de controlar continuamente sus niveles de glucosa. **Conclusiones:** es la síntesis que se presenta de los resultados que se obtuvieron en el Trabajo de Integración Curricular; **Recomendaciones:** sugerencias para el buen manejo, desarrollo y mejoras del prototipo inteligente; **Bibliografía:** se presentan las diferentes fuentes de consultas utilizadas para el desarrollo del Trabajo de

Integración Curricular; **Anexos:** hacen referencia a la documentación que complementa la información y justifica el desarrollo del Trabajo del Trabajo Integración Curricular.

### **PROBLEMA**

Millones de personas en todo el mundo sufren de diabetes, por lo que deben existir prototipos inteligentes que nos ayude a responder a situaciones de emergencia en las que los niveles de azúcar en sangre estén por debajo o por encima del rango que normalmente se aconseja para controlar la progresión de la diabetes en las personas y administrar un tratamiento adecuado mediante una supervisión médica continua. Los prototipos inteligentes pueden permitir que las personas realicen un seguimiento constante y preciso de sus niveles de glucosa de forma automatizada y remota, lo que permite a los profesionales de la salud intervenir de manera oportuna y personalizada.

En un mundo donde la incidencia de la diabetes sigue en aumento y donde la comodidad, la precisión y la disponibilidad de datos en tiempo real son esenciales para una gestión efectiva de la enfermedad, esta necesidad es aún más apremiante. La investigación actual se centra en el diseño e implementación de un prototipo inteligente que combine sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil para ofrecer un enfoque innovador para monitorear los niveles de glucosa. Este enfoque abordará los desafíos actuales en la atención de la diabetes y mejorará la calidad de vida de las personas afectadas por esta enfermedad.

### **JUSTIFICACIÓN**

El siguiente Trabajo de Integración Curricular muestra el desarrollo e implementación de un prototipo inteligente medidor de glucosa, para monitorear los niveles de azúcar en sangre en las personas. Los beneficiarios directos de esta investigación serán las personas diabéticas.

El manejo de un prototipo inteligente nos facilitará el seguimiento y análisis de datos, con tecnología inalámbrica el cual nos permitirá recoger y almacenar automáticamente los datos de glucosa. Estos datos son fácilmente transferibles y sincronizados con una aplicación móvil, lo que facilitará el seguimiento y el análisis a largo plazo de los niveles de glucosa.

Esta investigación brindará un mayor conocimiento en el ámbito académico en la Facultad de Energía, Industrias y Recursos Naturales No Renovables (FEIRNNR) de la Universidad Nacional de Loja, esta investigación proporcionará un mayor conocimiento para poder realizar prototipos inteligentes dentro del área médica, ya que existen

limitados estudios y evaluaciones que aporten información.

El presente Trabajo de Integración Curricular apoyará a los problemas locales proporcionando una alternativa más conveniente, para controlar la glucosa en las personas. El uso de un prototipo inteligente para medir la glucosa facilitará que las personas tomen mediciones frecuentes de los niveles de azúcar en la sangre.

## **OBJETIVOS**

**Los objetivos planteados en el presente Trabajo de Integración Curricular son:**

### **Objetivo General:**

Diseñar e implementar un prototipo inteligente mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil para monitorear los niveles de glucosa.

### **Objetivos Específicos:**

- Investigar la fisiología de la glucosa en el cuerpo humano, además de analizar los métodos actuales de registro y control de los niveles de glucosa.
- Construir y evaluar un prototipo de glucómetro inteligente, que proporcione mediciones de glucosa precisas y confiables, minimizando errores y variaciones en las mediciones.
- Establecer una comunicación inalámbrica segura, eficaz y confiable entre el prototipo y la aplicación móvil para transmitir los datos de glucosa de manera rápida, sin interrupciones, y llevar a cabo pruebas de funcionamiento para validar la operación del prototipo.

#### 4. Marco Teórico

En el contexto monitorización del azúcar en sangre para las personas, es muy importante explorar la base científica y tecnológica que respalda el desarrollo de sistemas de monitorización inteligentes. Esto incluye una comprensión profunda de la fisiología de la diabetes con énfasis en los cambios dinámicos en los niveles de glucosa en sangre. También es importante explorar innovaciones tecnológicas, como sistemas integrados y sensores, para garantizar una recopilación de datos continua y precisa. La conectividad inalámbrica y el papel de las aplicaciones móviles en la gestión de datos sanitarios también juegan un papel clave en este estudio. Este marco teórico creará una base sólida para comprender la implementación de prototipos de monitoreo inteligente de glucosa y su impacto potencial en la atención médica y la calidad de vida de las personas y de los pacientes con diabetes.

En el proyecto que realizo (Monleón, 2019), el cual nos comenta como desarrollar un glucómetro inteligente dotado de capacidades de comunicación conectándose a Bluetooth en el teléfono Android que tiene el dispositivo llamado SmartBlood te permite organizar y gestionar los datos que obtienes de tu medidor de glucosa, este sistema permite que los usuarios siempre tengan acceso a los datos que son críticos para la adquisición.

En este artículo, se desarrolló un sistema inalámbrico de monitoreo de glucosa en sangre y una aplicación en un teléfono inteligente que utiliza el protocolo Wi-Fi para la comunicación. Cada lectura de azúcar en sangre se envía periódicamente a su teléfono a través de Wi-Fi y se comparte en la aplicación de Android. El objetivo es discutir la implementación de un sistema digital integrado de medición de glucosa en sangre y la tecnología Wi-Fi para el monitoreo en tiempo real de los niveles de glucosa en sangre en pacientes diabéticos, como lo comenta ( Rghioui, Lloret, Harane, & Oumnad, 2020).

( Mule, Mujawar , Kasbe , & Deshmukh , 2018) nos describe su trabajo, el cual consiste en el diseño y desarrollo de un sistema electrónico para medir el azúcar en sangre mediante un microcontrolador basado en un instrumento de medición de corriente. Además, registra el flujo de glucosa, el módulo sensor lo convierte en voltaje y se conecta al  $\mu\text{C}-8051$ , que luego es procesado por el módulo LCD para mostrar lecturas de glucosa en sangre. El software está desarrollado en lenguaje C. Comparado con otros sistemas comerciales, el sistema desarrollado tiene las características de portabilidad, robustez, bajo consumo de energía y rendimiento de alto costo.

En su artículo (Ilesanmi , Smart , Lanre , Khumbulani , & Ikenna , 2022) nos explica cómo se desarrolla un dispositivo de seguimiento de la diabetes. El dispositivo de monitoreo del nivel de glucosa en sangre desarrollado, consta de tres partes: una parte transmisora, una parte receptora, así como una parte procesadora y de visualización de datos.

Utilizando las tiras reactivas del medidor de glucosa en sangre, se crea un circuito permite observar la señal producida al aplicar una gota de sangre en la tira reactiva. Utiliza un sistema de recolección que almacena información de señales para observar los efectos durante un "largo período de tiempo" (antes, durante y después de colocar las gotas de sangre), esto nos comenta es su trabajo de investigación (García, 2018).

En su artículo (Becerra , Barrales , Jaimes , & Rodríguez, 2019), nos comenta sobre el autocontrol de los niveles de glucosa en sangre en pacientes diabéticos puede ayudar a mantener el control de la enfermedad. Por lo tanto, es importante que los medidores portátiles de glucosa en sangre mantengan confiabilidad a bajo costo para facilitar el autocontrol. Este artículo describe el diseño, instrumentación y validación de un medidor de glucosa portátil y económico compatible con tiras reactivas comerciales. El dispositivo puede almacenar hasta 30 mediciones de azúcar en sangre con fecha y hora y configurar alarmas preventivas con indicadores de niveles altos y bajos de azúcar en sangre, el procesamiento de señales analógicas, el sensor (tira reactiva) se fabrica con un potenciómetro y la concentración de glucosa en sangre se estima con procesamiento de datos de la relación voltaje-glucosa en sangre.

#### **4.1. Glucosa en el Cuerpo Humano**

La glucosa es un carbohidrato esencial para la vida de los seres humanos porque es la sustancia química ideal para la producción de energía celular, es la única fuente de energía que las células nerviosas pueden utilizar y es el componente esencial para la producción de ATP (Adenosin Tri Fosfato) en las células musculares durante el ejercicio de alta intensidad. Además, el cuerpo humano tiene muchos órganos que participan en los procesos metabólicos de la glucosa. La glucosa se almacena en las células musculares y hepáticas en forma de un polisacárido animal llamado glucógeno, que luego se descompone para obtener glucosa cuando el cuerpo lo necesita, como lo indica (Meza, 2020).

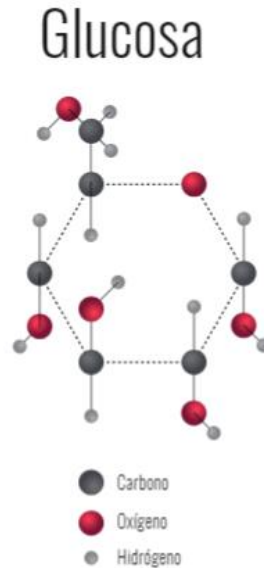
Según (Meza, 2020), cuando la glucosa no se puede obtener de otra manera, las células hepáticas pueden producirla de nuevo, ya que es una sustancia química esencial para la vida. La hipoglicemia ocurre cuando los niveles de glucosa en la sangre disminuyen por debajo de



los valores de equilibrio (homeostasis) y la diabetes ocurre cuando los niveles de glucosa en ayunas superan los 126 mg/dl en dos mediciones distintas.

**Figura 1.**

*Estructura lineal y cíclica de la glucosa.*



*Nota.* Obtenido de (Meza, 2020)

#### **4.2. Medición de la glucosa en la sangre**

Los médicos examinan regularmente a las personas que presentan síntomas de diabetes. Los profesionales de la salud realizan el análisis midiendo la glucosa. La prueba de glucosa en la sangre se utiliza para determinar si los niveles de azúcar están dentro de los límites saludables. También se utiliza con frecuencia para diagnosticar y monitorear la diabetes. Una gota de sangre se extrae a través de una pinchada en el dedo y luego se inserta en un aparato que mide el nivel de glucosa en la sangre como lo comenta (Medlineplus, 2022).

#### **4.3. Niveles de Glucosa**

Los niveles de glucosa sangre varían de una situación a otra, y vale la pena enfatizar esto, existen cambios en la concentración de glucosa por la noche, en ayunas, por la mañana o al mediodía, por lo tanto, es necesario realizar registros adecuados que incluyan la fecha y hora exacta de la medición, ya que de ello depende el tratamiento del paciente, como lo indica (Tomky, 2020).

Según (Tomky, 2020), normalmente los glucómetros arrojan valores enteros, por lo que está directamente relacionado con los siguientes niveles de glucosa deseados:

- ✓ Antes de cualquier comida: **70 - 130mg/dL**
- ✓ Después de comer: **menos de 180mg/dL**

**Tabla 1.***Niveles de Glucosa*

	<b>BAJO</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>
<b>ANTES DE COMER</b>	Menos 70mg/dL	70 a 130 mg/dL	130 a 180 mg/dL	180 mg/dL
<b>DESPUES DE COMER</b>	Menos 70mg/dL	70 a 130 mg/dL	130 a 180 mg/dL	250 mg/dL

*Nota.* Tomado de (Tomky, 2020)**4.4. Tratamientos para los diferentes tipos de diabetes**

(Mayo Clinic, 2022), nos comenta sobre las mediciones, que son de forma individual y depende del tipo de enfermedad y del tratamiento recomendado por el Médico especialista. Se recomienda a nivel mundial:

**Tabla 2.***Mediciones de Glucosa*

<b>TIPO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>FRECUENCIA</b>
<b>Diabetes Tipo 1</b>	Tomar insulina diariamente	2 veces al día o si de ser necesario más veces
<b>Diabetes Tipos 2</b>	Tomar Insulina y medicación recomendada vía oral	2 a 4 veces al día
<b>Diabetes Gestacional</b>	Tomar solución almibarada de glucosa y medicación vía oral	Monitoreo durante todo el embarazo

*Nota.* Tomado de (Mayo Clinic, 2022)**4.5. Registros Actuales de Niveles de Glucosa**

Lo más importante que puede hacer para controlar la diabetes tipo 1 o 2 es controlar su nivel de azúcar en sangre con regularidad. Podrás ver como las mediciones aumenten o disminuyan, debido a los diferentes alimentos que ingerimos, tomar medicamentos o hacer ejercicio, como lo comenta (CDC, 2022).

En la actualidad, los registros de los niveles de glucosa los puede realizar la misma persona o un médico especialista. Según (CDC, 2022) nos indica que la mayoría de los

medidores de glucosa en sangre le permiten guardar sus resultados y puede usar una aplicación en su teléfono para realizar un seguimiento de su nivel de azúcar en sangre. Si no tiene un teléfono inteligente, lleve un diario escrito. Debe llevar su medidor, teléfono o registros impresos a cada cita con su proveedor de atención médica.

#### **4.6. Métodos que utilizan las persona para medir la glucosa**

Se ha podido identificar dos métodos que usan las personas para medir la glucosa, ellos tenemos los siguientes:

##### **4.6.1. Monitoreo Continuo**

Cada cinco minutos, las 24 horas del día, el sistema CGM monitorea los niveles de azúcar en sangre mediante un pequeño sensor colocado debajo de la piel (estómago o brazo) mediante un dispositivo de administración automática. Este sensor mide la glucosa intersticial, la glucosa que se encuentra en el líquido entre las células. El tratamiento de monitoreo continuo de glucosa se puede realizar con o sin bomba de insulina, como lo comenta (El Hospital, 2021).

##### **4.6.2. Automedición**

El autocontrol está diseñado para ayudar a las personas con diabetes a comprender sus niveles de azúcar en sangre para que puedan realizar cambios en sus hábitos alimentarios, actividad física y/o recetas bajo la supervisión de su médico especialista, como lo describe (El Hospital, 2021).

Los pacientes que no necesitan insulina también pueden beneficiarse del autocontrol, que puede proporcionarles información sobre su estilo de vida y sus medicamentos. La monitorización continua de la glucosa también puede ser beneficiosa para los pacientes que desean mejorar sus niveles de HbA1c y reducir los episodios de hipoglucemia (El Hospital, 2021).

Según (El Hospital, 2021), el autocontrol permite a los pacientes cambiar su comportamiento (dieta o ejercicio) o la dosis de medicación y realizar evaluaciones a largo plazo; la atención se centra en mejorar los resultados, la seguridad y el proceso a través de la educación, el empoderamiento y el cambio terapéutico. Se utilizan datos objetivos para evaluar el control glucémico general y el riesgo de complicaciones durante semanas o meses.

#### **4.7. Telemedicina**

Según (Stolik, Jáuregui, & Galeano, 2019) La incorporación de las TIC en los servicios de salud marca un avance en la atención médica y un cambio en la forma en que se brindan estos servicios. La telemedicina es uno de los nuevos tipos de servicios de salud que han surgido como resultado de esta nueva forma de utilizar las TIC.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la telemedicina como el suministro de servicios de atención sanitaria a distancia por parte de profesionales que utilizan tecnologías de la información y la comunicación para intercambiar datos para diagnósticos, previsión de tratamientos y prevención de enfermedades y heridas. Además, se destaca la importancia de la formación permanente de los profesionales de atención de salud y su participación en actividades relacionadas con la salud, como lo indica (Stolik, Jáuregui, & Galeano, 2019).

**Figura 2.**  
*Telemedicina*



*Nota.* Tomado de (Medesk, 2021)

#### **4.7.1. Telemedicina enfocada a la Diabetes**

Según (Lizarzaburu Robles, Horruitiner Izquierdo, Saavedra Guerra, Quezada, & Villena Yauck, 2022), nos describe a la telemedicina (TM) tiene el potencial de mejorar la atención médica para las personas que tienen diabetes mellitus. En la actualidad, los pacientes con diabetes mellitus pueden ser monitoreados y controlados más fácilmente a través de una variedad de plataformas de atención y aplicaciones móviles. El uso de la TM ha demostrado ser ventajoso para el control metabólico de estos pacientes; por ejemplo, se ha demostrado que los valores de hemoglobina glicosilada (HbA1c) han disminuido ligeramente. Sin embargo, su capacidad para evaluar físicamente a los pacientes o monitorear sus complicaciones sigue siendo limitada. La TM sigue definiendo su papel dentro del sistema integral de telesalud, aunque se considera una alternativa para el control de pacientes con diabetes mellitus.

#### **4.8. Diabetes**

La (OMS, 2023) describe a la diabetes es una enfermedad metabólica crónica que se caracteriza por niveles elevados de glucosa en sangre (o azúcar en sangre), que con el

tiempo daña el corazón, los vasos sanguíneos, los ojos, los riñones y los nervios.

Con la diabetes, nuestro organismo no puede utilizar correctamente la insulina que produce o no puede crear suficiente insulina. Cuando la insulina es insuficiente o las células dejan de responder a ella, queda demasiado azúcar en el torrente sanguíneo, lo que, con el tiempo, puede provocar graves problemas de salud, como cardiopatías, pérdida de visión y enfermedades renales, como lo indica (CDC, 2022).

#### 4.8.1. Diabetes en Ecuador

Según la Federación Internacional de Diabetes, el 5,5% (3,5-8,5) de la población de Ecuador de 20 a 79 años tiene DM, de la cual el 40% no tiene un diagnóstico confirmado. En 2019, la DM fue la segunda causa de mortalidad general, siendo la segunda para las mujeres y la tercera para los hombres 1,2, como lo indican ( Benazizi, Peralta, Chilet, & Torres, 2023).

**Figura 3.**  
*Evolución de la diabetes en Ecuador*



Nota. Tomado de (Plan V, 2019)

Según (Ministerio de Salud Pública, 2023), en el marco de la prevención y control de enfermedades no transmisibles como la hipertensión, la diabetes y la enfermedad renal crónica, el Ministerio de Salud Pública (MSP) realizó un programa de prevención, para monitorear estas enfermedades crónicas.

Con 5.564 muertes en 2021, según los datos del INEC, la diabetes es la tercera causa de mortalidad en el Ecuador. Por lo tanto, e están realizando capacitaciones de alerta temprana, el tratamiento y el seguimiento de las personas con esta enfermedad. El

programa se lleva a cabo a través de una red de captación de 44 centros de salud, incluyendo 43 centros de salud y el Hospital del Puyo, el cual se ha convertido en un referente en la detección, tratamiento y monitoreo de pacientes con diabetes, como lo indica (MSP, 2023).

#### 4.9. Probabilidad de las personas de sufrir diabetes

Es importante destacar que la diabetes tipo 1, tipos 2 y la diabetes gestacional son los tipos más comunes. Cada tipo de diabetes puede comenzar en una persona de acuerdo con una serie de factores: La primera es más común en adolescentes, pero se cree que tiene algo que ver con la genética (OMS, 2023).

Con la diabetes tipo 2, existen factores metabólicos, es decir, hábitos de vida poco saludables y un porcentaje elevado de grasa corporal, juegan un papel importante, como lo indica (OMS, 2023)

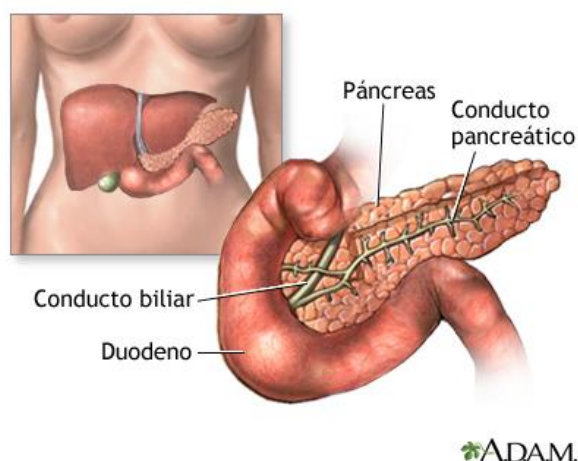
#### 4.10. Tipo de Diabetes

Existen algunos tipos de diabetes que se han desarrollado en el cuerpo del ser humano entre ellos tenemos los siguientes:

##### 4.10.1. Diabetes Tipo 1

La diabetes de tipo 1 (también conocida como diabetes juvenil o infantil) se caracteriza por una producción deficiente de insulina y requiere una cantidad diaria de esta hormona. En el año 2017, 9 millones de personas padecían diabetes de tipo 1, la mayoría de ellas vivían en países con altos ingresos. La causa de este tipo de diabetes y los métodos para prevenirla aún no han sido descubiertos (OMS, 2023).

**Figura 4.**  
*Diabetes tipo 1*



*Nota.* Tomado de (MedlinePlus, 2019)

#### 4.10.2. Diabetes Tipo 2

Representa entre el 85% y el 90% de todos los casos de diabetes, según datos de la Fundación para la Diabetes. Cuando una persona padece diabetes de tipo 2, su organismo es capaz de producir insulina, pero no lo hace en cantidad suficiente o es incapaz de reaccionar a sus efectos, lo que provoca la acumulación de glucosa en la sangre. Suele darse en adultos con obesidad o hipertensión, pero cada vez se diagnostica a más niños y adolescentes (Maset, 2021).

**Figura 5.**  
*Diabetes Tipo 2*



*Nota.* Tomado de (Kennedy, 2022)

#### 4.10.3. Diabetes Gestacional

Según (Maset, 2021) se produce durante el embarazo provoca un bloqueo de la función de la insulina. Cuando esto ocurre, una mujer embarazada puede experimentar un aumento de sus niveles de azúcar en sangre. Alrededor del 5% de las mujeres embarazadas suelen verse afectadas por esta afección, que suele manifestarse en una fase avanzada del embarazo.

**Figura 6.**  
*Diabetes Gestacional*



*Nota.* Tomado de (Díaz, 2019)

#### **4.10.4. Diabetes tipo LADA**

Es un trastorno autoinmune genético. Esto indica que el sistema inmunológico de estos pacientes no identifica y ataca las células beta del páncreas, que son responsables de la producción de insulina, es un tipo de diabetes en el que se presenta destrucción inmunológica de células beta pancreáticas, en personas adultas, como lo comenta (Rodríguez, 2023).

#### **4.11. Glucómetro**

Según (Escrivá, 2019) comenta que el glucómetro es un dispositivo que puede medir rápidamente el nivel de glucosa en la sangre y determinar si está dentro de la franja ideal. Las personas con diabetes deben llevarlo siempre. Los diabéticos deben mantener sus niveles de glucosa en la sangre lo más cercanos a lo normal para que sea efectivo y evite futuras complicaciones, y el glucómetro es esencial para proporcionar esta información. La persona con diabetes también controlará lo que come, el ejercicio y el tratamiento según los resultados del medidor de glucosa. Realizar estas mediciones es simple, pero mantener los niveles correctos de glucosa en sangre puede ser lo más difícil.

##### **4.11.1. Ventajas y Desventajas del Glucómetro Tradicionales**

A continuación, se detalla las principales ventajas y desventajas del uso del glucómetro tradicional:

**Tabla 3.**

*Ventajas y Desventajas del Glucómetro*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Ampliamente disponible en el mercado.	Para tomar una muestra de sangre, es necesario pincharse un dedo, lo que puede resultar incómodo y doloroso para algunos pacientes.
Suelen ser menos costosos que otros tipos de medidores de glucosa en sangre.	Las lecturas pueden verse afectadas por la calidad de la tira reactiva y otros factores externos.
Fácil de usar y portátil.	Por lo general, no almacenan datos a largo plazo, lo que dificulta el seguimiento a largo plazo.

*Nota. Tomado de (Villalobos, 2023)*

#### **4.12. Tipos de Glucómetros**

Actualmente existen 3 tipos de glucómetros, invasivos, continuos y no invasivos, a continuación, se los describe cada uno de ellos:



#### 4.12.1. Glucómetros Invasivos

(Villalobos, 2023), nos cometa que, estos glucómetros están diseñados para medir la glucosa en el cuerpo sin puncionar el dedo. Para obtener lecturas, utilizan tecnologías como la espectroscopía infrarroja o la medición a través de la piel. El tipo de medidor de glucosa más popular y económico es este. Estos medidores de glucosa incluyen un circuito analítico que normalmente consta de un potenciómetro de circuito que controla la corriente y la tensión del impulso reactivo, lo que permite determinar el valor de glucosa.

#### Figura 7.

*Glucómetro Invasivo*



*Nota. Tomado de (Raya, 2020)*

#### 4.12.2. Glucómetro Continuo

Estos incorporan el transmisor, el cual produce una transmisión continua de datos al receptor. La principal ventaja de estos sistemas es que pueden programarse alarmas, y cuando los niveles de azúcar en sangre se desvían de un nivel preestablecido, el receptor alerta al usuario para que tome las medidas oportunas, como lo indica (Sefap, 2020).

#### Figura 8.

*Glucómetros Continuo*



*Nota. Tomado de (sefap, 2020)*

#### 4.12.3. *Glucómetro No Invasivo*

La monitorización no invasiva de la glucosa en sangre Figura 9, como su nombre indica, se refiere a la detección de glucosa en sangre humana sin causar daño a los tejidos humanos. Existen numerosos métodos no invasivos para detectar la glucosa en sangre, que pueden clasificarse en métodos ópticos, métodos de microondas y métodos electroquímicos. Los métodos ópticos incluyen la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS), la rotación óptica polarizada, la espectroscopia Raman, la fluorescencia, la tomografía de coherencia óptica, como lo indica (Tang, Chang, Ching, & Liu, 2020).

**Figura 9.**  
*Glucómetro No Invasivo*



*Nota.* Tomado de (CNOGA MEDICAL, 2023)

#### 4.13. **Métodos para calcular la glucosa**

Actualmente, los glucómetros disponen de dos métodos para calcular la glucosa, los cuales se describen a continuación:

##### 4.13.1. *Método Colorimétrico*

Es una técnica analítica que se utiliza ampliamente en una variedad de campos científicos y aplicaciones industriales (Roman, 2023). El método colorimétrico se fundamenta en la medición y cuantificación del color de una muestra para determinar la presencia o concentración de una sustancia específica. En este método, ciertas sustancias químicas presentan propiedades de absorción y reflexión de la luz que se manifiestan a través de su color.

En (Roman, 2023) nos comenta, que la sustancia de interés absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda de luz y refleja otras cuando la muestra se expone a una longitud de onda de luz específica, lo que resulta en un cambio en el color detectable. Debido a su facilidad, precisión y precisión, el método colorimétrico es el más utilizado en los laboratorios de

bioquímica para medir la glucosa en sangre y/o en orina.

#### **4.13.2. Método amperométrico**

El método amperométrico utiliza la corriente eléctrica para calcular el valor de glucosa, gracias a las reacciones electroquímicas que tienen lugar en la tira reactiva al aplicar sangre. Esta elección se fundamenta en la amplia utilización y la mayor precisión que ofrece en comparación con el método colorimétrico (Jamachi, 2022).

(Jamachi, 2022) nos comenta, que en este método la glucosa presente en la sangre reacciona con el oxígeno al entrar en contacto con la enzima conocida como glucosa oxidasa. Esta reacción genera peróxido de hidrógeno y ácido glucónico. A su vez, al interactuar con la placa de platino, se producen dos protones y dos electrones, junto con oxígeno. Al aumentar la cantidad de glucosa en la tira, se incrementa tanto el número de reacciones químicas como el flujo de electrones que circulan.

En resumen, cuanto mayor sea la concentración de glucosa, mayor será el flujo de electrones y, por consiguiente, mayor será la corriente que circula a través del electrodo de trabajo en la tira reactiva. La decisión de aplicar una tensión de +400mV se basa en su facilidad de diseño en puentes de tensión y en su capacidad suficiente para inducir la corriente de electrones necesaria para las reacciones electroquímicas (Jamachi, 2022).

#### **4.14. Tecnología para la medición de glucosa**

(Conforme, 2020), nos comenta que, en los últimos tiempos, los avances tecnológicos han cambiado la estructura y organización del campo médico, creando dispositivos electrónicos y reparables que ayudan a controlar ciertas enfermedades, como la diabetes. Hoy en día, los teléfonos inteligentes no solo mantienen a las personas comunicadas con el entorno social, sino que también ayudan a controlar y mejorar diferentes aspectos de la salud a través de la sincronización de sus hábitos y estilo de vida. La tecnología desarrollada para el control y estudio de la diabetes es un ejemplo de ello.

Muchos de ellos aún están en pruebas y otros se utilizan en la práctica diaria. Si se implementa adecuadamente la tecnología para la diabetes, se obtendrá un avance significativo para los médicos y pacientes que padecen esta enfermedad, lo que mejorará la continuidad de la atención médica y, por lo tanto, la calidad de vida, como lo indica (Conforme, 2020).

#### **4.15. Sistemas Inteligentes**

Los sistemas inteligentes se basan en la integración de muchos procesos industriales para crear un sistema mundial de funcionamiento y supervisión. Aunque no todos son

exactamente iguales, este tipo de sistemas tienen una serie de componentes básicos, como sensores, actuadores, estándares y protocolos de comunicación (Unir, 2022).

#### **4.16. Sistemas Embebidos**

Cualquier dispositivo que contenga un ordenador programable es un "sistema embebido", pero no es un ordenador con una finalidad amplia. Un sistema embebido es un sistema electrónico que contiene un microprocesador o un microcontrolador; sin embargo, no pensamos en ellos como computadores. Uno de los componentes más importantes de un sistema que utiliza software embebido es el hardware informático embebido. Se trata de un sistema informático específico de una aplicación o producto. Puede ser un sistema independiente o un componente de un sistema mayor, y como su software suele almacenarse en ROM (memoria de sólo lectura), no necesita memoria secundaria como un ordenador (Pérez, 2009)

En un informe del profesor (Pérez, 2009) nos indica tres componentes clave de los sistemas embebidos:

- Hardware.
- Una aplicación o software principal. Este software o aplicación realiza una tarea determinada, o en ocasiones un conjunto de tareas.
- Un sistema operativo que permite supervisar la aplicación o aplicaciones, además de proporcionar los mecanismos para la ejecución de los procesos. En muchos sistemas embebidos se requiere que el sistema operativo tenga características de tiempo real.

#### **4.17. Arduino Nano**

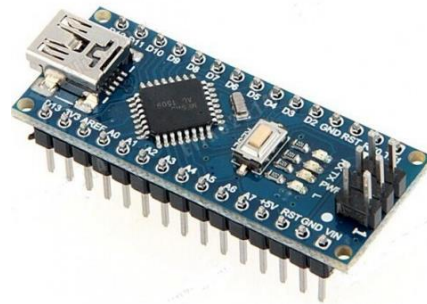
Arduino Nano comparte características similares con Arduino Duemilanove, pero se distingue por su presentación en un formato diferente. Este dispositivo incorpora el microcontrolador ATmega328P, al igual que el Arduino UNO. La principal disparidad entre ellos radica en que la placa UNO se presenta en formato PDIP (paquete plástico dual en línea) con 30 pines, mientras que el Nano se encuentra disponible en formato TQFP (paquete plano cuadruple de plástico) con 32 pines. Los dos pines adicionales del Arduino Nano están destinados a funciones ADC, a diferencia del UNO, que cuenta con 6 puertos ADC, mientras que el Nano tiene 8. A diferencia de otras placas Arduino, el Nano no cuenta con un conector de alimentación de CC; en su lugar, dispone de un puerto mini-USB que se utiliza tanto para la programación como para el monitoreo en serie. Un aspecto fascinante del Nano es su capacidad para seleccionar automáticamente la fuente de energía más potente según la diferencia de

potencial, sin necesidad de un puente de selección de fuente de energía (circuitstoday, 2020).

(Arduino, 2019) nos describe al Arduino Nano, al igual que otras placas de programación de la misma marca, se caracteriza por su compatibilidad con una amplia gama de componentes electrónicos. No presenta restricciones específicas en sus funciones, excepto en cuanto a las tensiones eléctricas que requiere para operar de manera adecuada.

**Figura 10.**

*Arduino Nano*



*Nota.* Tomado de (Arduino, 2019)

**4.17.1. Especificaciones Técnicas del Arduino Nano**

(tecmikro, 2023), nos comenta, las especificaciones técnicas del Arduino Nano, es una versión compacta de la placa Arduino Uno R3 que incorpora dos pines analógicos adicionales. A continuación, se presentan sus especificaciones técnicas:

**Tabla 4.**

*Especificaciones Técnicas del Arduino Nano*

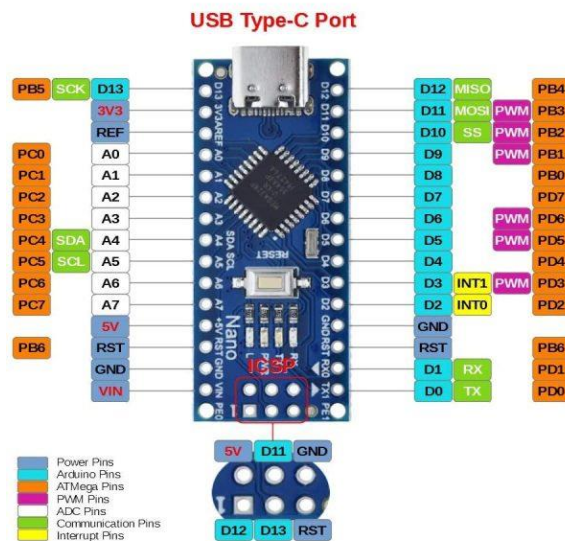
<b>Voltaje de trabajo</b>	5 V
<b>Microcontrolador</b>	ATMega328P
<b>Memoria Flash</b>	32 KB Flash (2KB para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom
<b>Voltaje de entrada</b>	7,5 a 12 voltios.
<b>Velocidad del procesador</b>	16 MHz.
<b>Pinout</b>	14 pines digitales (6 PWM) y 8 pines analógicos.

*Nota.* Tomado de (tecmikro, 2023)

**4.17.2. Diagrama de Pines de Conexión del Arduino Nano**

(circuitstoday, 2020) nos indica, el diagrama de pines del Arduino Nano, junto con una descripción breve de sus funciones principales, se muestra a continuación:

**Figura 11.**  
Diagrama de Pines del Arduino Nano



Nota. Tomado de (Megatronica, 2023)

Los pines terminales de la placa incluyen:

- **Pines de alimentación**
  - Pin Vin: Pin utilizado para proporcionar alimentación externa a la placa, admite una fuente de alimentación externa no regulada de 6-20V.
  - Pin GND: Pin utilizado para conectarse a tierra.
  - Pin +5v: Pin de salida para proporcionar 5 voltios.
  - +3v3 pin: Pin de salida para proporcionar 3,3 V para alimentar los componentes con requisitos de bajo voltaje.
- **Pines IO analógicos**
  - Pin A0-A7: Estos son los pines IO analógicos con capacidades ADC para interconectar dispositivos de salida analógica.
  - Pin Aref: Es un pin de referencia ADC.
- **Pines de E/S digitales**
  - Pin D0-D13: estos son pines IO digitales con PWM, SPI, I2C, UART y también otros tipos de soporte de interfaz.
  - Pin de reinicio: pin de entrada utilizado para restablecer (activo bajo).

#### 4.18. Tiras Reactivas

(Monleón, 2019) nos comenta que, el glucómetro prototipo usa una tira reactiva de la marca One Touch Ultra. Esta tira de reacción tiene tres terminales. Según la Figura 12, los

tres electrodos son:

- R** Terminal Reference
- C** Terminal Counter.
- W** Terminal Working.

**Figura 12.**

*Tira reactiva One Touch Ultra.*



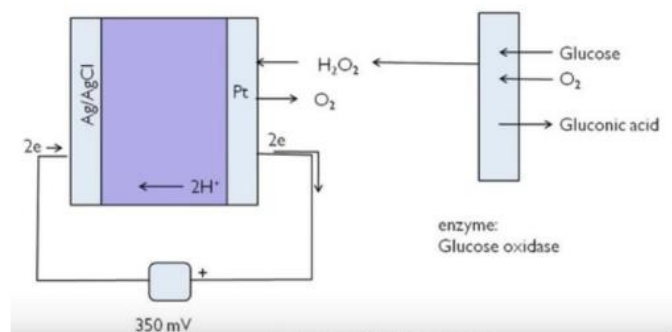
*Nota.* Tomado de (Guerrero, 2019)

La Figura 12 muestra esquemáticamente las reacciones químicas que ocurren cuando se agrega sangre a la tira reactiva. La enzima glucosa oxidasa se encuentra en la placa de platino, que se utiliza como terminal de trabajo. El cloruro de plata o la placa de plata se utilizan como electrodo de comparación. Al entrar en contacto con la enzima, la glucosa de la sangre reacciona con el oxígeno. Esto produce peróxido de hidrógeno y ácido glucónico. A su vez, reacciona con la placa de platino y produce oxígeno, dos protones y dos electrones. Los electrones circulan entre los terminales Working y Counter si se aplica una tensión de +350mV, como lo indica (Monleón, 2019).

Según (Monleón, 2019), al agregar más glucosa a la tira, se producen más reacciones químicas, lo que aumenta la cantidad de electrones que circulan. Es decir, a mayor glucosa, más electrones circulan y, por lo tanto, más corriente circulante por el electrodo de trabajo de la tira reactiva. Debido a que es más fácil diseñar puentes de tensión, se optó por aplicar un voltaje de +400mV, que es suficiente para producir la corriente de electrones de las reacciones electroquímicas.

**Figura 13.**

*Reacción química al introducir sangre en la tira reactiva*



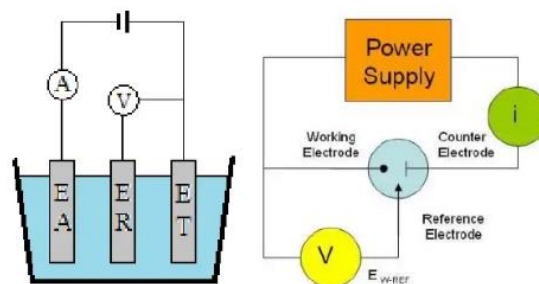
*Nota.* Tomado de (Monleón, 2019)

(Segade, 2021) nos comenta que actualmente, se utilizan tres electrodos en estos sistemas para controlar y monitorear la reacción electroquímica:

- **Electrodo de Trabajo:** El electrodo donde tiene lugar la reacción electroquímica relevante es conocido como electrodo de trabajo. Este electrodo recibe una imposición de potencial de corriente, que puede ser catódico o anódico dependiendo de si la reacción en el electrodo implica una oxidación o una reducción. Además, este electrodo puede estar hecho de metales que no se descomponen, como el platino, la plata o el oro.
- **Electrodo auxiliar:** Abre el circuito eléctrico de la celda, toda la corriente necesaria para equilibrar la corriente observada en el electrodo de trabajo se dirige hacia este electrodo.
- **Electrodo de referencia:** Este electrodo permite establecer y controlar una tensión constante y conocida, la cual se utiliza para determinar la variación de los parámetros que caracterizan las reacciones electroquímicas. Esto se logra mediante la medición del potencial generado en el electrodo de trabajo, asegurando que cualquier cambio en la celda sea atribuible únicamente a este último electrodo (Segade, 2021).

**Figura 14.**

*Representación de los tres electrodos*



*Nota.* Tomado de (Segade, 2021)

#### **4.19. Amplificador Operacional Cuádruple LM324**

El circuito LM324 es un componente integrado que contiene cuatro amplificadores operacionales de bajo voltaje. Este dispositivo se presenta en un encapsulado de 14 pines y está diseñado para ofrecer un rendimiento óptimo en una variedad de aplicaciones. Cada amplificador operacional dentro del LM324 es independiente y ofrece una alta ganancia con compensación de frecuencia incorporada (Ledsemiconductors, 2023).

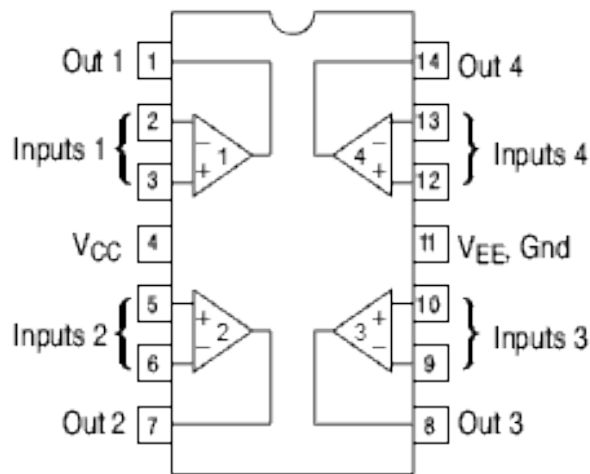
(Ledsemiconductors, 2023) nos explica que, el LM324 está diseñado para funcionar con



una fuente de alimentación única o dividida, lo que lo hace versátil y adecuado para una amplia gama de voltajes de operación. Las características de amplificación de tensión diferencial en lazo abierto del LM324 generalmente incluyen compensación de frecuencia interna y una sensibilidad de 100V/mV.

A continuación, se detalla el diagrama de pines del encapsulado de 14 pines del LM324:

**Figura 15.**  
*Pines del LM324*



*Nota.* Tomado de (Ledsemiconductors, 2023)

#### 4.20. Sistemas embebidos asociados a la monitorización de glucosa

Los sistemas de monitorización de glucosa (GMS) son herramientas tecnológicas avanzadas para el tratamiento de la diabetes que proporcionan que se vigile de cerca los niveles de glucosa en los líquidos tisulares, como lo comenta (Servicio Canario de Salud, 2022).

En esta investigación, se descubrió mucha información sobre los sistemas embebidos, integrados en el monitoreo de glucosa en sangre mediante la creación de prototipos utilizando Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi, etc. Esto significa que se han desarrollado prototipos tanto invasivos como no invasivos utilizando estos sistemas embebidos para la monitorización de glucosa.

#### 4.21. Tecnología Inalambrica

Esta tecnología se basa en la transmisión de ondas electromagnéticas, que son enviadas por antenas en todas direcciones, sacrificándose la calidad del sellado o la fuerza con que se emiten las ondas en función de la necesidad de alcance. El uso más eficaz de la tecnología de infrarrojos es capaz de obtener información y comunicarse desde cualquier dispositivo móvil, como teléfonos móviles y ordenadores portátiles (Milla, 2021).

**Figura 16.**  
*Tecnología Inalámbrica*

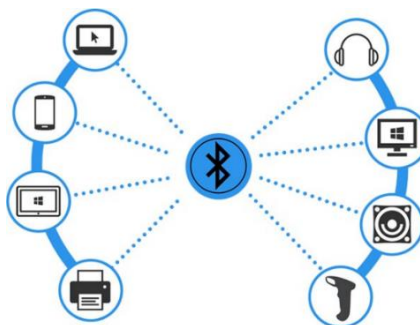


*Nota.* Tomado de (Hapo, 2021)

#### **4.21.1. Bluetooth**

Bluetooth es una tecnología de red desarrollada por el Grupo de Trabajo IEEE 802.15.1 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, que se describe como el estándar industrial para conectividad inalámbrica. La tecnología Bluetooth se utiliza para la transmisión de voz y datos sin conexión u orientada a conexión entre dos dispositivos digitales diferentes. El principal objetivo de esta tecnología es sustituir las conexiones por cable, es decir, dejarlas obsoletas, lo que supone principalmente una ventaja para dispositivos móviles como smartphones o tablets, como lo explica (IONOS, 2022).

**Figura 17.**  
*Tecnología Bluetooth*



*Nota.* Tomado de (Bassi, 2021)

##### **4.21.1.1. Módulo Bluetooth HC-05**

(Electronilab, 2023) nos comenta, que el HC-05 es un módulo Bluetooth para configuración de datos inalámbricos de corto alcance. Comunicación entre dos microcontroladores o sistemas. El módulo funciona con Bluetooth versión 2.0.

Es un protocolo de comunicación y sólo puede funcionar como dispositivo auxiliar. Este

es el método más económico de transmisión inalámbrica de datos y el más flexible en comparación con otros métodos. También puedes transferir archivos a una velocidad de 2,1 Mbps.

El HC-05 utiliza espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) para evitar interferencias. Es posible la transmisión full-dúplex con otros dispositivos, el dispositivo opera en las siguientes frecuencias: Rango de 2.402 GHz a 2.480 GHz. El módulo se utiliza para comunicaciones inalámbricas de menos de 100 metros.

**Figura 18.**

*Módulo Bluetooth HC-05*



*Nota: Tomado de (Electronilab, 2023)*

A continuación, en la tabla 5 se detallan las especificaciones técnicas del módulo Bluetooth:

**Tabla 5.**

*Especificaciones Técnicas*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Protocolo Bluetooth	Estándar de protocolo Bluetooth V2.0
<b>Nivel de Potencia</b>	Clase 2 (+6dBm)
<b>Banda</b>	2.40GHz—2.48GHz, Banda ISM
<b>Sensibilidad del Receptor</b>	-85dBm
<b>Protocolo USB</b>	USB v1.1/2.0
<b>Modo de Modulación</b>	Desplazamiento de Frecuencia Gaussiano
<b>Característica de Seguridad</b>	Autenticación y Encriptación
<b>Rango de Voltaje de Operación</b>	+3.3V a +6V
<b>Rango de Temperatura de Operación</b>	-20°C a +55°C
<b>Corriente de Operación</b>	40mA

*Nota. Tomado de (tecmikro, 2023)*

**4.21.2. Tecnología inalámbrica de corto alcance**

Bluetooth, una tecnología inalámbrica de corto alcance, facilita la conexión directa entre dos dispositivos prescindiendo de la necesidad de contar con una infraestructura de red de respaldo, tal como un enrutador inalámbrico o un punto de acceso (INTEL, 2021).

(INTEL, 2021), también nos comenta que, en la actualidad, las personas de todo el mundo emplean la tecnología Bluetooth para vincular de manera inalámbrica dispositivos como audífonos, teclados, ratones y altavoces a sus computadoras y dispositivos móviles.

**Figura 19.**

*Dispositivos con Bluetooth*



*Nota.* Tomado de (Fernández, 2020)

La tecnología Bluetooth permite que los dispositivos en una distancia de 10 a 100 metros se conecten entre sí. Varios factores, como el entorno, la posibilidad de interferencia y la potencia de transmisión, afectarán el alcance de Bluetooth de tu dispositivo (SONNY, 2022).

(INTEL, 2021) nos explica que la tecnología Bluetooth opera en la frecuencia de radio de 2,4 GHz. En la actualidad, existen dos estándares de Bluetooth en uso:

- **Bluetooth Classic:** admite dos velocidades de datos: la velocidad básica (BR) y la velocidad de datos mejorada (EDR).
- **Bluetooth Low Energy (LE):** está específicamente diseñado para minimizar el consumo de energía y se emplea principalmente en aplicaciones que requieren una mayor duración de la batería.

#### ***4.21.3. Seguridad de Bluetooth***

(INTEL, 2021) nos indica que la seguridad de bluetooth, se basa en mecanismos de cifrado y autenticación para garantizar la seguridad de los datos transmitidos. Los procedimientos de emparejamiento, como ingresar un PIN, también brindan protección contra accesos no autorizados o conexiones no deseadas. A diferencia del Bluetooth clásico, la variante Bluetooth LE (Low Energy) ofrece funciones de seguridad mejoradas denominadas "conexión LE segura". Estas características incluyen una generación mejorada de claves de seguridad que dificulta que los atacantes obtengan acceso no autorizado al dispositivo.

#### ***4.21.4. Tecnología inalámbrica en el monitoreo de glucosa***

En base a información recopilada de las tecnologías inalámbricas, muchos dispositivos creados han sido desarrollados con la tecnología bluetooth ya que es de corto alcance. Y es más

sencillo para el usuario utilizar esta tecnología.

En los últimos años, la medicina también ha tenido un cambio debido al crecimiento de la tecnología, lo cual ha ocasionado cambios de estructura y organización dentro del ámbito médico. Con la creación de dispositivos electrónicos y reparables destinados a mejorar el control algunas enfermedades, incluida la diabetes. La mayoría todavía están en pruebas y desarrollo, y algunos están en uso. El uso adecuado de la tecnología para la diabetes supondrá grandes avances para los profesionales y los pacientes que viven con la enfermedad, mejorando la continuidad de la atención y la calidad de vida, como lo indica (Conforme, 2020).

#### **4.22. Aplicaciones Móviles y su impacto en la sociedad**

Según (Acosta Espinoza, León Yacelga, & Sanafria Michilena, 2022), comenta que, en los últimos años, el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, especialmente el uso de dispositivos móviles para acceder a Internet y aplicaciones móviles, ya sean relacionadas con el comercio electrónico, el entretenimiento, la productividad o temas relacionados con la salud, ha seguido evolucionando.

Las aplicaciones móviles relacionadas con la salud están creciendo a nivel mundial, ¿por qué no crecen en Ecuador? Este tipo de aplicaciones son utilizadas por pacientes y proveedores de atención médica. Sin embargo, el uso de las redes sociales también ha cambiado en la búsqueda de información de salud, como lo indica (Acosta Espinoza, León Yacelga, & Sanafria Michilena, 2022).

Utilizando métodos de síntesis analítica, investigación descriptiva y desarrollo de software, se obtuvieron características para el desarrollo de una aplicación web que permite a los usuarios de la Fundación Santo Domingo acceder a información de medicina preventiva y comunicar mensajes con los médicos que se comunican activamente. Funciones integradas en la aplicación, como lo describe (Acosta Espinoza, León Yacelga, & Sanafria Michilena, 2022).

##### **4.22.1. Aplicaciones Móviles para el monitoreo de glucosa**

En la actualidad muchos dispositivos móviles ya tienen aplicaciones para monitorear los niveles de glucosa, algunas apps todavía presentan errores o la información no es segura. Debemos abordar con gran importancia este tema, ya que para las personas es más fácil poder llevar un registro de los niveles de glucosa dentro de su dispositivo móvil. Según (Sanofi, 2020) nos comenta que, la mayoría de las aplicaciones médicas se enfocan en mejorar la calidad del paciente a través de recomendaciones o información para realizar controles y seguimientos.

En este contexto, la diabetes, una de las enfermedades más comunes a nivel mundial, afecta a 422 millones de personas y requiere un control exhaustivo, continuo y riguroso sobre

el estado de salud de las personas afectadas. Como resultado, observamos la existencia de una gran cantidad de aplicaciones móviles destinadas en ayudar a las personas con diabetes a llevar a cabo sus actividades diarias, como lo indica (Sanofi, 2020). Las aplicaciones móviles para monitorear los niveles de glucosa en personas con diabetes, están incluyendo características básicas como conectividad con dispositivos de medición, gestión de datos, alertas y notificaciones, y además, estas aplicaciones brindan beneficios a los usuarios.

#### **4.23. Ley Orgánica de Salud**

Ley 67 Registro Oficial Suplemento 423 de 22-dic.-2006 Última modificación: 18

##### **dic.-2015 CAPITULO I Del derecho a la salud y su protección**

**Art. 1.-** La presente Ley tiene como finalidad regular las acciones que permitan efectivizar el derecho universal a la salud consagrado en la Constitución Política de la República y la ley. Se rige por los principios de equidad, integralidad, solidaridad, universalidad, irrenunciabilidad, indivisibilidad, participación, pluralidad, calidad y eficiencia; con enfoque de derechos, intercultural, de género, generacional y bioético.

**Art. 2.-** Todos los integrantes del Sistema Nacional de Salud para la ejecución de las actividades relacionadas con la salud, se sujetarán a las disposiciones de esta Ley, sus reglamentos y las normas establecidas por la autoridad sanitaria nacional.

**Art. 3.-** La salud es el completo estado de bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Es un derecho humano inalienable, indivisible, irrenunciable e intransigible, cuya protección y garantía es responsabilidad primordial del Estado; y, el resultado de un proceso colectivo de interacción donde Estado, sociedad, familia e individuos convergen para la construcción de ambientes, entornos y estilos de vida saludables.

**Art. 6.-** Es responsabilidad del Ministerio de Salud Pública:

1. Definir y promulgar la política nacional de salud con base en los principios y enfoques establecidos en el artículo 1 de esta Ley, así como aplicar, controlar y vigilar su cumplimiento;
2. Ejercer la rectoría del Sistema Nacional de Salud;
3. Diseñar e implementar programas de atención integral y de calidad a las personas durante todas las etapas de la vida y de acuerdo con sus condiciones particulares;
4. Declarar la obligatoriedad de las inmunizaciones contra determinadas enfermedades, en los términos y condiciones que la realidad epidemiológica nacional y local requiera; definir las normas y el esquema básico nacional de inmunizaciones; y, proveer sin costo a la población los elementos necesarios para cumplirlo;

5. Regular y vigilar la aplicación de las normas técnicas para la detección, prevención, atención integral y rehabilitación, de enfermedades transmisibles, no transmisibles, crónico-degenerativas, discapacidades y problemas de salud pública declarados prioritarios, y determinar las enfermedades transmisibles de notificación obligatoria, garantizando la confidencialidad de la información;

5-A.- Dictar, regular y controlar la correcta aplicación de la normativa para la atención de patologías consideradas como enfermedades catastróficas, así como, dirigir la efectiva aplicación de los programas de atención de las mismas.

**Art. 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir. El Estado garantizará este derecho mediante políticas económicas, sociales, culturales, educativas y ambientales; y el acceso permanente, oportuno y sin exclusión a programas, acciones y servicios de promoción y atención integral de salud, salud sexual y salud reproductiva. La prestación de los servicios de salud se regirá por los principios de equidad, universalidad, solidaridad, interculturalidad, calidad, eficiencia, eficacia, precaución y bioética, con enfoque de género y generacional.

#### **4.24. Ley Orgánica de Telecomunicaciones**

Acuerdo Ministerial 15 Registro Oficial 69 de 28-oct.-2019

#### **EL MINISTRO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACION**

**Art. 2.-** El objetivo de la presente política es transformar al país hacia una economía basada en tecnologías digitales, mediante la disminución de la brecha digital, el desarrollo de la Sociedad de la Información y del Conocimiento, el Gobierno Digital, la eficiencia de la administración pública y la adopción digital en los sectores sociales y económicos. La política Ecuador Digital, es de cumplimiento obligatorio para el sector público y privado, relacionado al régimen general de telecomunicaciones, sociedad de la información, informática, tecnologías de la información y comunicación, postal y registro civil, y de la seguridad de la información.

**Art. 4.-** La implementación de la presente política se realizará con base en tres ejes de acción: Conectividad, Eficiencia y Seguridad de la Información, e Innovación y Competitividad.

4.3. Innovación y Competitividad. - Convertir y posicionar al país como un referente en innovación y competitividad en la región, a través del uso de las tecnologías digitales en los

sectores que presenten un valor agregado, ya sea a nivel de productividad, intensidad tecnológica adecuada, grado de internacionalización, o que hayan sido identificados como prioritarios por la acción del Gobierno, a través de:

- Establecer una Agenda Nacional Digital que permita aunar esfuerzos, entre el gobierno, empresa privada, academia y ciudadanos. - Impulsar el desarrollo de los sectores productivos del país, mediante la innovación tecnológica capaces de generar clúster productivo de alto impacto.

- Fomentar el desarrollo de nuevos servicios basados en IoT, IA y computación en la nube, en todos los sectores de aplicación de la presente política.

- Fortalecer la cadena de valor del comercio electrónico del país, como habilitador para la adopción digital, principalmente en las MIPYMES.

- Determinar estrategias y mecanismos para generar capacidades basadas en el pensamiento lógico computacional en niños y jóvenes.

- Fomentar el Emprendimiento y la Innovación con base tecnológica que contribuya con el desarrollo de una economía digital.

- Fomentar el desarrollo de una industria creativa basada en tecnologías digitales (contenidos digitales, cinematografía, videojuegos, obras, entre otros). – Fortalecer el ambiente propicio para el impulsar el desarrollo de nuevos modelos de negocios, apalancados en nuevas tecnologías como IOT, Big Data, Cloud, I A, en las empresas de la industria TI.

- Desarrollar acciones que permitan difundir alertas tempranas ante desastres naturales, alertas de seguridad ciudadana, e incidentes de desaparición de menores (Cellbroadcast).

- Impulsar el crecimiento del capital humano con habilidades en tecnologías digitales y la inversión necesaria para desarrollo de industrias digitales.

- Fortalecer la interoperabilidad de los prestadores de la salud del estado con las nuevas tecnologías digitales.

- Desarrollar en los Infocentros líneas de gestión orientadas a impulsar el emprendimiento e innovación en las zonas de influencia de los Infocentros.

#### **4.25. Constitución de La Organización Mundial de la Salud**

Partes en esta Constitución declaran, en conformidad con la Carta de las Naciones Unidas, que los siguientes principios son básicos para la felicidad, las relaciones armoniosas y la seguridad de todos los pueblos: La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades.

El goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos



fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social.

La salud de todos los pueblos es una condición fundamental para lograr la paz y la seguridad, y depende de la más amplia cooperación de las personas y de los Estados.

Los resultados alcanzados por cada Estado en el fomento y protección de la salud son valiosos para todos. La desigualdad de los diversos países en lo relativo al fomento de la salud y el control de las enfermedades, sobre todo las transmisibles, constituye un peligro común.

El desarrollo saludable del niño es de importancia fundamental; la capacidad de vivir en armonía en un mundo que cambia constantemente es indispensable para este desarrollo.

La extensión a todos los pueblos de los beneficios de los conocimientos médicos, psicológicos y afines es esencial para alcanzar el más alto grado de salud. Una opinión pública bien informada y una cooperación activa por parte del público son de importancia capital para el mejoramiento de la salud del pueblo. Los gobiernos tienen responsabilidad en la salud de sus pueblos, la cual sólo puede ser cumplida mediante la adopción de medidas sanitarias y sociales adecuadas.

## 5. Metodología

En esta sección se describirá la manera en que se trabajará para dar solución al problema planteado al inicio del Trabajo de Integración Curricular.

Considerando las dificultades que enfrentan las personas que padecen diabetes, y personas que desean tener un control riguroso de sus niveles de glucosa y buscan mejorar su calidad de vida, se propone la implementación de un prototipo inteligente económico, elaborado con materiales de fácil acceso. Este dispositivo tiene como objetivo medir los niveles de glucosa de manera eficiente y autónoma, brindando a los usuarios una herramienta segura, rápida y práctica para el monitoreo de la glucosa. Este proyecto se inserta en el ámbito de investigación aplicada, donde se emplean tecnologías inteligentes y electrónicas, para abordar de manera específica el desafío de mejorar la salud de las personas en un entorno particular.

### 5.1. Área de Estudio

El Trabajo de Integración Curricular se lleva a cabo en la Universidad Nacional de Loja, en La Facultad De Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, a continuación, se da una información más detallada:

**Tabla 6.**

*Escenario para el desarrollo del prototipo*

Escenario	Coordenadas	Descripción
Bloque 2 Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables	Latitud: 4° 1' 47.61" S Longitud: 79°11'59.28"O	Ubicado específicamente al Sur de la ciudad de Loja, el bloque 2 cuenta con una elevación de 20 m.


*Nota.* Elaborado por el autor









### 5.2. Materiales

En esta sección se presenta los materiales empleados para el desarrollo del prototipo de este Trabajo de Integración curricular:

**Tabla 7.**

*Materiales*

Materiales	Descripción
Arduino Nano 	Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P

<b>Amplificador Operacional</b>		Permite amplificar el voltaje de entrada diferencial, y amplifica su salida.
<b>Resistores</b>		Nos permite limitar el valor de la corriente o para fijar el valor de la tensión.
<b>Capacitores</b>		No ayuda a almacenar la energía dentro del campo eléctrico.
<b>Tiras Reactivas</b>		Sirven para medir la glucosa en sangre.
<b>Pulsadores</b>		Interrumpe el camino de la corriente.
<b>PCB</b>		Placa de circuito impreso para colocar componentes electrónicos.
<b>Conectores de PCB</b>		Permite conectar cables a una placa de circuito impreso.
<b>Modulo Bluetooth HC-05</b>		Nos permite conectarnos inalámbricamente.

*Nota.* Elaborado por el autor

### 5.3. Recursos Científicos

Como se indica en la sección 5.4, el proyecto se fundamenta en el Método de Desarrollo por Fases. Sin embargo, se emplean diversas técnicas de investigación científica a lo largo de las distintas etapas del trabajo.

#### 5.3.1. Método deductivo

Para Rodríguez (2007, p.14) el método deductivo se inicia con el análisis de los postulados, teoremas, leyes, principios, etc., de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares.

Este método es aplicado a la investigación previa y revisión literaria de, como bien define el autor, el conjunto de conocimiento fundamental para el desarrollo del proyecto.

#### 5.3.2. Método analítico-sintético

El método analítico-sintético implica descomponer el objeto de estudio en sus elementos constituyentes para un análisis minucioso. Luego, estos elementos son integrados nuevamente para comprender el objeto en su conjunto, permitiendo así una comprensión más profunda y completa, como lo explica Rodríguez (2007, p. 15).

El método analítico-sintético se emplea en el diseño e implementación del prototipo inteligente para monitorear los niveles de glucosa, descomponiendo el problema en partes como la medición, transmisión de datos y visualización, y analizando en detalle cada componente

como el circuito medidor de glucosa, módulo Bluetooth, Arduino Nano y amplificador operacional cuádruple. Luego, se integran estos componentes en un sistema completo, diseñando y simulando su funcionamiento, y evaluando su desempeño global mediante pruebas de funcionamiento y usabilidad, asegurando que cumpla con los requisitos establecidos y garantizando una implementación efectiva y eficiente del prototipo.

### 5.3.3. Método experimental






Según Rodríguez (2007) define la investigación experimental como el proceso de analizar el efecto generado por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias variables dependientes.

El trabajo realizado en el proyecto se adhiere a la metodología experimental, puesto que se llevaron a cabo pruebas continuas en cada etapa para validar el funcionamiento del prototipo. Estas pruebas abarcaron actividades como la calibración del circuito medidor de glucosa y pruebas de validación, las cuales permitieron verificar y ajustar el rendimiento del prototipo en diversas condiciones. Este enfoque experimental establece una sólida base para asegurar la fiabilidad y precisión del sensor en su aplicación práctica, garantizando así que cumpla con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos.

### 5.4. Recursos Técnicos

Herramientas de software que contribuyen al desarrollo, diseño y simulación de este Trabajo de Investigación Curricular:

**Tabla 8.**  
*Herramientas de software*

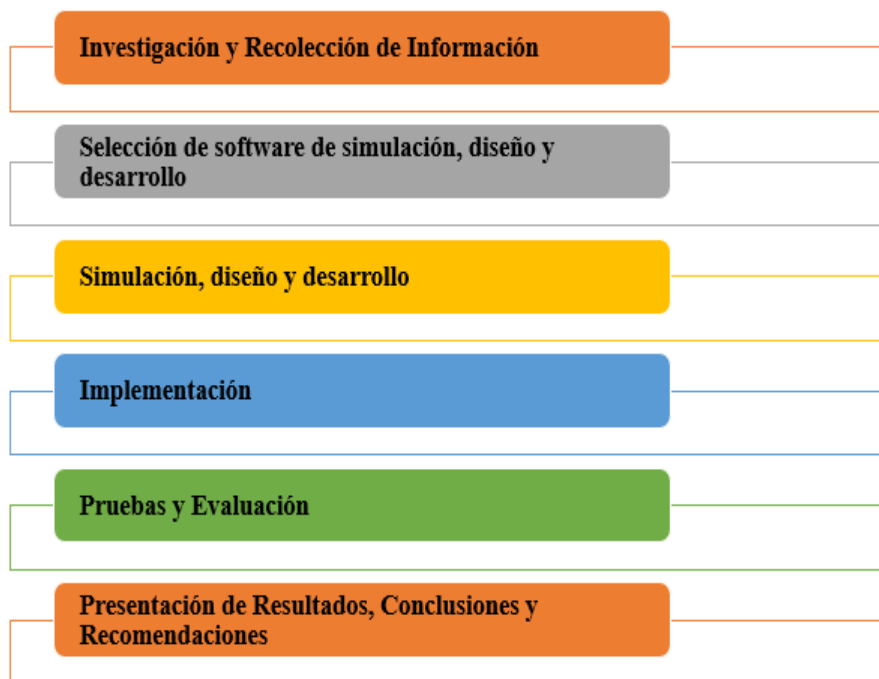
	Materiales	Descripción
<b>Proteus</b>		Software de diseño de circuitos, simulaciones y auto-ruteo para PCB.
<b>FlatCam</b>		Software para diseño de PCB.
<b>Flutter</b>		Software para la creación de aplicaciones móviles.
<b>Arduino IDE</b>		Software de código abierto para programar microcontroladores y desarrollar proyectos de electrónica.
<b>UCCNC</b>		Software destinado para la creación de placas electrónicas

*Nota.* Elaborado por el autor

## 5.5. Fases de la investigación

Figura 20.

*Fases que se siguió para el desarrollo del siguiente Trabajo de Integración Curricular.*



*Nota.* Elaborado por el autor

El presente Trabajo de Integración Curricular tiene como objetivo llevar a cabo un análisis exhaustivo de la investigación bibliográfica pertinente para explorar científicamente las variables relacionadas con el tema propuesto. Este análisis, basado en el método analítico-sintético, será fundamental para abordar el problema planteado y desarrollar una solución. Se aplicará también el método deductivo, el cual realizará una revisión detallada de libros, revistas, artículos técnicos, publicaciones médicas y recursos en línea, así como la exploración de antecedentes de proyectos similares, centrándonos especialmente en aquellos vinculados con la creación de prototipos médicos que integren sistemas embebidos y tecnologías inalámbricas.

Posteriormente, se aplicará el método experimental para respaldar el diseño e implementación del prototipo inteligente concebido para la medición de los niveles de glucosa. Este proceso comprenderá una investigación de campo exhaustiva, ya que el prototipo deberá someterse a pruebas rigurosas para asegurar la obtención de resultados precisos y confiables.

Así mismo, se establecerá un contacto directo con personas afectadas por esta condición y médicos especialistas con el objetivo de obtener información relevante y detallada sobre el monitoreo de los niveles de glucosa, enriqueciendo así el desarrollo del proyecto.

### ***5.5.1. Fase 1: Investigación y recolección de información de Prototipos Inteligentes para Medición de Glucosa***

En la primera fase, llevamos a cabo una investigación exhaustiva y recopilación de información sobre la glucosa, los niveles de glucosa, la diabetes, la telemedicina aplicada a la diabetes, así como los sistemas embebidos y la tecnología inalámbrica.

Este proceso nos proporcionó los conocimientos necesarios para la creación de un prototipo inteligente destinado a medir los niveles de glucosa en sangre. Durante esta etapa, exploramos cómo se monitorean actualmente los niveles de glucosa, identificando los principales desafíos asociados a la falta de prototipos inteligentes en Ecuador.

La ausencia de tales dispositivos ha generado dificultades en el monitoreo, ya que nuestro entorno carece de sistemas de telemedicina avanzados. Esta limitación ha motivado nuestra iniciativa de desarrollar un prototipo que permita un monitoreo más preciso, claro y eficiente.

Este trabajo permitirá conocer más sobre la diabetes y el monitoreo de los niveles de glucosa, algunos de los ítems que se han destacado son:

- Definiciones
- Niveles de Glucosa
- Monitoreo actual de glucosa
- Glucómetros
- Tipos de Glucómetros
- Ventajas y Desventajas de Glucómetros
- Sistemas Embebidos
- Tecnología Inalámbrica
- Aplicaciones Móviles

### ***5.5.2. Fase 2: Selección de selección de softwares para simulación, diseño y desarrollo***

En la segunda fase, llevamos a cabo una investigación y selección de los softwares más apropiados para realizar la simulación de los circuitos electrónicos, diseñar el PCB, y desarrollar la programación tanto del microcontrolador como de la aplicación móvil. Además, estos softwares nos permiten analizar los resultados obtenidos en esta actividad.

Es importante destacar que, para cada proceso mencionado anteriormente, se utilizan más de un software. La ventaja de los softwares seleccionados radica en su capacidad para llevar a cabo diversas acciones, tales como:

- Permite simular circuitos eléctricos

- Permite realiza el diseño y placa PCB del circuito
- Permiten programar el microcontrolador
- Permite programar la aplicación móvil
- Los resultados obtenidos son claros para su posterior implementación

#### **5.5.2.1. Software seleccionado para programar el microcontrolador**

Para la programación del microcontrolador, he optado por Arduino IDE debido a su compatibilidad con los requisitos esenciales para la programación de diversos microcontroladores. Algunas de las características que ofrece este software incluyen:

- Detección automática de la placa conectada
- Autoguardado
- Monitor Serial
- Consola de Errores
- Gestor de Tarjetas
- Botones para verificar y subir la programación

#### **5.5.2.2. Software diseñado para diseño de circuito**

He seleccionado Proteus como el software para el diseño de circuitos y simulación. Este software permite utilizar diversos parámetros, como la medición de voltaje y amperaje, así como la simulación de conexiones de circuitos electrónicos, entre otros aspectos fundamentales. Algunas de las características destacadas son:

- Diseño de circuitos electrónicos
- Simulación de circuitos
- Diseño de PCB
- Modelado de componentes
- Biblioteca de componentes
- Simulación en tiempo real
- Integración de ISIS y ARES
- Análisis y depuración de circuitos

#### **5.5.2.3. Software para el desarrollo de la aplicación móvil**

Para la creación de la aplicación móvil, se utilizará el software Flutter, un marco de desarrollo de código abierto desarrollado por Google. Flutter permite la creación de aplicaciones para Android, Web, iOS, entre otras plataformas, y se destaca por sus características clave, que incluyen:

- Leguaje de programación Dart
- Widgets personalizados
- Interfaz de usuario
- Amplia comunidad
- Desarrollo nativo
- Seguridad
- Desarrollo ágil

### 5.5.3. Fase 3: Simulación, Diseño y Desarrollo

#### 5.5.3.1. Diseño del circuito

- **Circuito medidor de glucosa**

En la Figura 21, se muestra el circuito analógico diseñado para medir la concentración de glucosa en sangre y generar un valor de voltaje correspondiente. El potencióstato, localizado en la parte superior derecha del circuito, desempeña un papel fundamental al mantener constante la diferencia de potencial entre los electrodos de trabajo y de referencia, lo que permite una medición precisa de la corriente generada por la reacción electroquímica con la muestra de sangre.

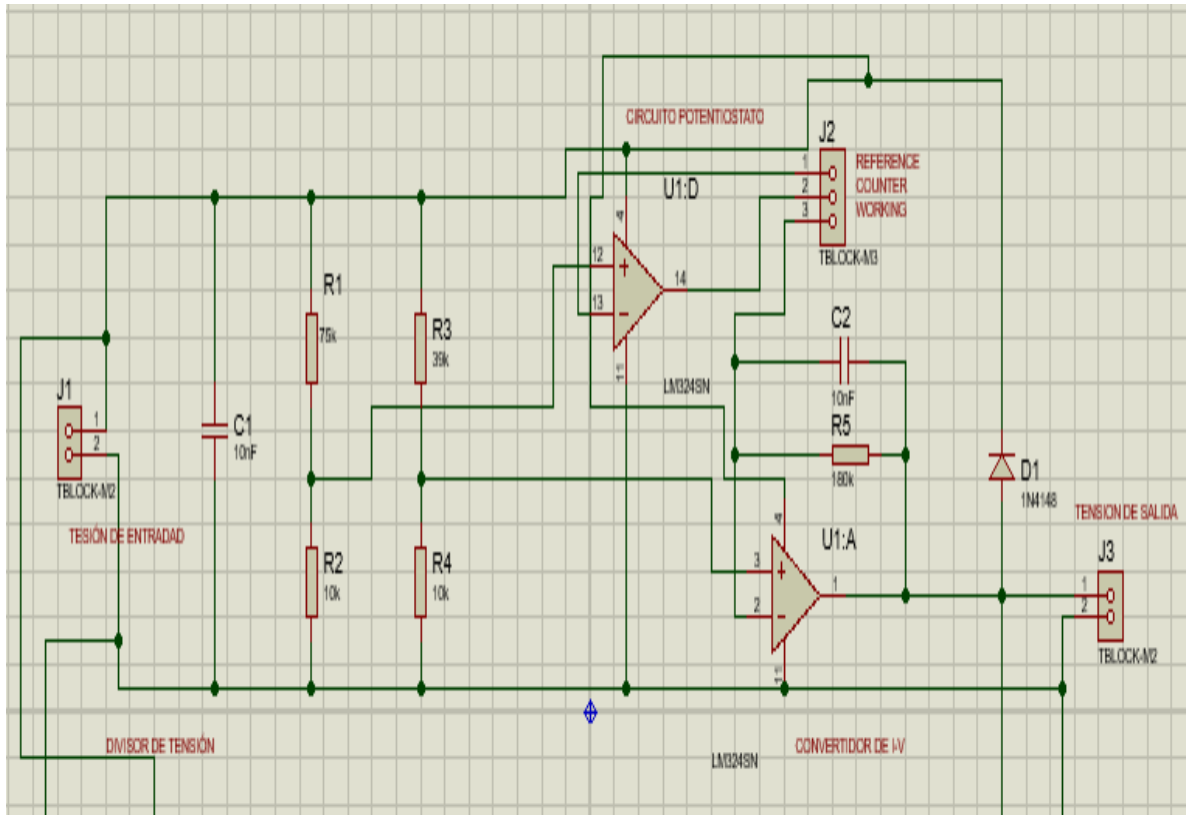
En la sección inferior derecha del circuito se sitúa el convertidor de corriente a voltaje. Esta parte del circuito transforma la corriente generada por la reacción electroquímica en una señal de voltaje proporcional, que luego puede ser procesada por el microcontrolador para obtener una lectura precisa de la concentración de glucosa.

Los dos divisores de tensión, situados en el lado izquierdo del circuito, desempeñan un papel crucial al proporcionar las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento del potencióstato y del convertidor de corriente a voltaje. Estos divisores de tensión aseguran que los voltajes en los terminales relevantes estén dentro de los rangos adecuados para garantizar mediciones precisas y estables.

En conjunto, cada componente del circuito contribuye de manera significativa al funcionamiento global del prototipo, permitiendo mediciones precisas y confiables de la concentración de glucosa en sangre, lo que es crucial para el monitoreo y control de la glucosa.

**Figura 21.**  
*Circuito Medidor de Glucosa*





Nota. Elaborado por el autor

A continuación, se detalla cada uno de los componentes del circuito medidor de glucosa:

- **Circuito Divisor de Tensión**

Los amplificadores operacionales U1: A y U1: B, que forman parte del amplificador LM324, se alimentan con 5V y GND a través de los pines correspondientes del Arduino. El divisor de voltaje izquierdo, compuesto por las resistencias R1 (75k $\Omega$ ) y R2 (10k $\Omega$ ), produce un voltaje de 0.59V, mientras que el divisor de la parte derecha, con las resistencias R3 (39k $\Omega$ ) y R4 (10k $\Omega$ ), nos proporciona un voltaje de 0.99V.

Ambos divisores suministran tensiones a las entradas no inversoras de los amplificadores operacionales LM324, respectivamente. Esto permite establecer una tensión de +0.4V o 400mV entre los electrodos Working y Counter, como se describe en el marco teórico del apartado 4.18, permitiendo así que los electrones puedan circular entre Working y Counter al aplicar sangre a la tira reactiva.

Para calcular los voltajes de los divisores de tensión, se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación 1.**

### Formula del Divisor de Tensión

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R\Omega}{R\Omega + R\Omega}$$

Esta ecuación es fundamental para calcular los voltajes de salida en cada configuración de los divisores de tensión. Esto es esencial para establecer las tensiones necesarias en las entradas no inversoras de los amplificadores operacionales LM324.

- **Divisor de Tensión 1**

Los voltajes de salida en cada divisor de tensión se calculan utilizando la fórmula del divisor de tensión.

En el caso del Divisor de Tensión 1, se usa la siguiente ecuación:

$$V_{out} = 5 \times \frac{10k}{75k + 10k} = 0.589V$$

- **Divisor de Tensión 2**

De manera similar, para el Divisor de Tensión 2, la ecuación utilizada es:

$$V_{out} = 5 \times \frac{10k}{39k + 10k} = 1.00V$$

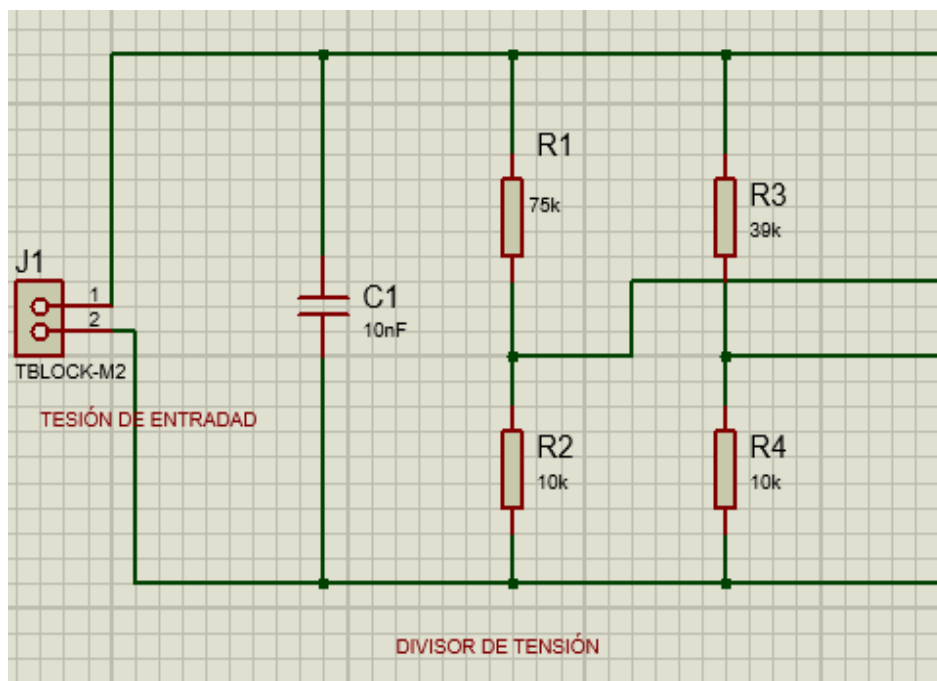
Los valores del divisor de voltaje 1 y 2 se obtienen aplicando las fórmulas matemáticas correspondientes. Sin embargo, al comparar estos valores teóricos con los que se lograron en la práctica, notamos algunas variaciones: 0.59 y 0.99, respectivamente.

A pesar de que las diferencias no son significativas, es importante recordarlas. Estos valores son esenciales para que las tiras reactivas de nuestro prototipo funcionen correctamente. Es importante destacar que la eficiencia y confiabilidad de nuestro dispositivo están determinadas por la precisión de estos valores.

Por lo tanto, la consistencia entre los cálculos teóricos y los resultados prácticos será esencial durante el proceso de optimización y calibración de nuestro prototipo.

**Figura 22.**

*Circuito divisor de tensión*



Nota. Elaborado por el autor

- **Circuito Potentiostato**

El circuito potentiostato, como se muestra en la Figura 23, utiliza los pines 12, 13 y 14 del amplificador operacional, junto con una fuente de tensión de 0.59V. Este circuito se conecta a los terminales de referencia (Reference) y contador (Counter) de la tira reactiva, asegurando así que el voltaje en el terminal Counter sea de 0.59V. Al considerar el convertidor de tensión a corriente (ver Figura 24), esta configuración, combinada con la tensión del terminal de trabajo de 0.99V, produce el resultado indicado en la ecuación 2.

**Ecuación 2.**

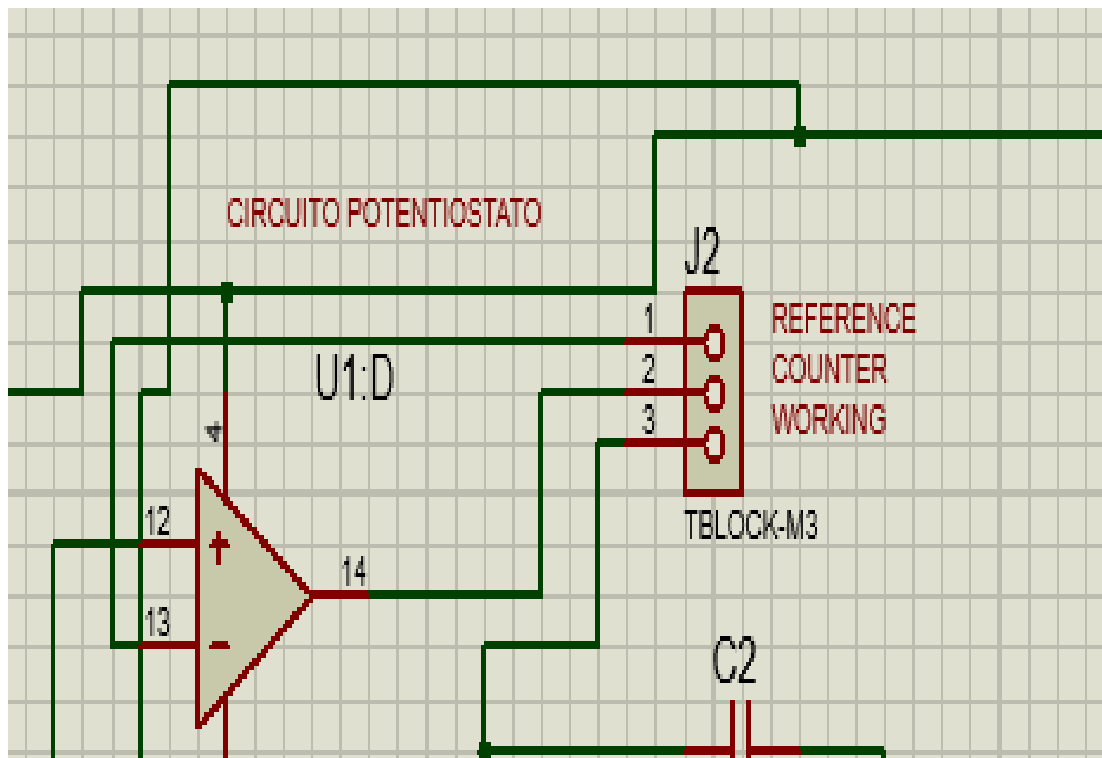
*Diferencia de Potencial*

$$0.99V - 0.59V = 400mV$$

Esta diferencia de potencial entre los terminales Working y Counter representa la base para la operación del circuito convertidor corriente-tensión. Este circuito transformará la corriente, que está en el rango de microamperios y es proporcional al nivel de glucosa, como resultado de esta diferencia de tensión.

**Figura 23.**

*Circuito potentiostato*



Nota. Elaborado por el autor

- **Circuito Convertidor de Corriente-Voltaje**

En la Figura 24, el circuito convertidor de corriente y voltaje desempeña simultáneamente dos funciones:

- ✓ Como se especifica en la sección 5.18, se aplica un voltaje de 0.99V a los terminales de trabajo (Working) y contador (Counter) de la tira reactiva, lo que resulta en una diferencia de potencial de +400mV.
- ✓ En la resistencia R5 (180kΩ), el circuito convierte la corriente del terminal de trabajo en voltaje, lo que genera la salida del microcontrolador, como se muestra en la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.**

*Formula de Voltaje de salida*

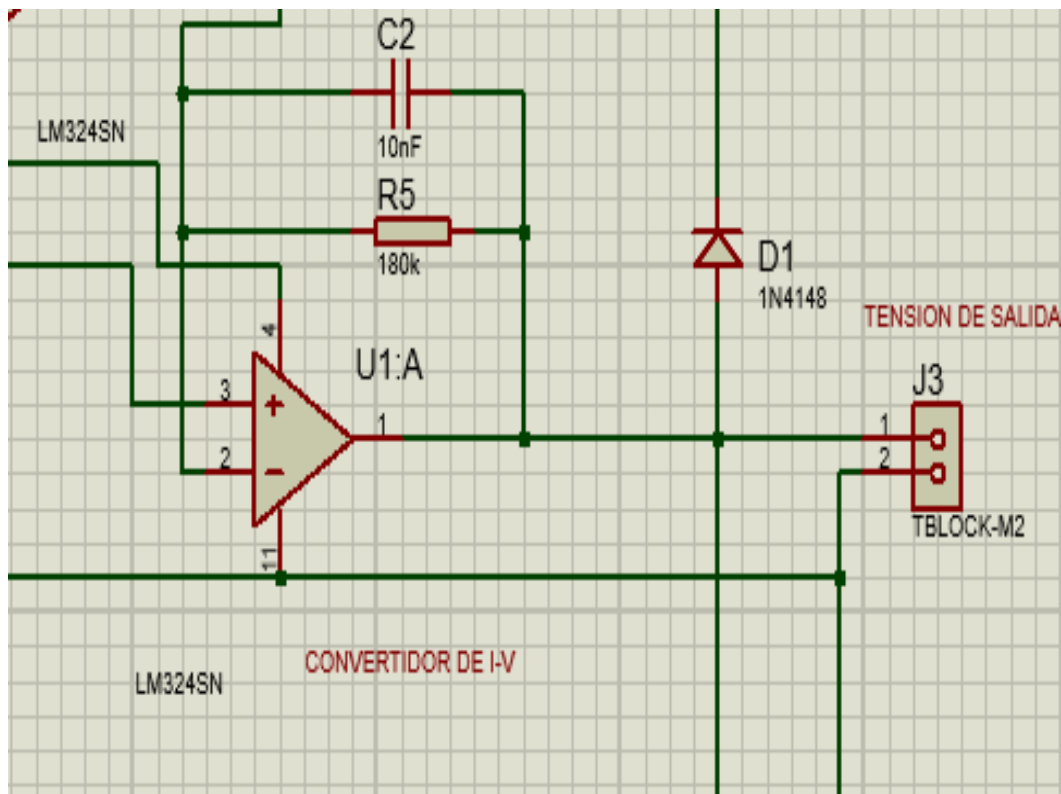
$$V_s = 0.99V + 180k * I_g$$

El valor de la resistencia se determinó experimentalmente, considerando varios factores críticos para el funcionamiento óptimo de nuestro dispositivo. Durante las pruebas, se observó que el amplificador operacional se satura cuando la resistencia es demasiado alta, lo que afecta negativamente la precisión de las mediciones. Por otro lado, si el valor de la resistencia es demasiado bajo, la amplificación de corriente resulta insuficiente para distinguir con precisión las variaciones de voltaje correspondientes a

diferentes niveles de glucosa.

Tras cuidadosos análisis y pruebas, se seleccionó un valor de resistencia de 180 k $\Omega$ . Este valor proporciona una amplificación adecuada de la corriente, lo que permite distinguir de manera efectiva diversos niveles de glucosa en el rango de 60 a 260 mg/dl. Esta elección garantiza tanto la sensibilidad como la precisión necesaria para nuestro dispositivo, asegurando mediciones fiables y consistentes en diferentes situaciones y condiciones de uso.

**Figura 24.**  
*Circuito convertidor I-V*



*Nota.* Elaborado por el autor

El capacitor C2 está conectado en paralelo a la resistencia R5 y tiene como función principal filtrar cualquier posible ruido presente en el circuito. La elección adecuada de la frecuencia de corte del filtro es crucial para garantizar un funcionamiento óptimo del circuito, especialmente teniendo en cuenta que se trata de un circuito de corriente continua cuya dinámica no es especialmente rápida.

Para lograr una frecuencia de corte de alrededor de 100 Hz, se seleccionó un capacitor de 10nF. Este valor de capacitancia proporciona el filtrado necesario para eliminar el ruido no deseado, manteniendo al mismo tiempo una respuesta adecuada en el rango de frecuencias

requerido para el circuito, se logra un filtro con una frecuencia de corte de:

**Ecuación 4.**

*Fórmula para calcular la frecuencia*

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 180000 * 10 * 10^{-7}} = 88.419412 \text{ Hz}$$

Se estima que una frecuencia de corte de 88.419412 Hz es adecuada para las necesidades de filtrado de este circuito en particular.

Además, como medida preventiva para proteger el Arduino Nano de posibles daños por sobretensión en su entrada analógica, se ha incorporado un diodo en el puerto J3 la salida de voltaje, se seleccionó el diodo 1N4148 para esta función específica. La inclusión de este diodo garantiza que la señal de entrada no supere los 5V, lo que ayuda a prevenir posibles fallos en el microcontrolador, esta medida es esencial para mantener la integridad y el funcionamiento correcto del Arduino Nano dentro del circuito.

Debido a su baja corriente máxima de offset de 5nA y su bajo offset de voltaje de entrada de 2mV, el amplificador operacional LM324 presenta características muy adecuadas para el circuito en cuestión. Además de estas cualidades, este componente ofrece un amplio rango de voltaje de alimentación, lo que simplifica su integración en una variedad de aplicaciones. Su diseño de bajo consumo de energía lo convierte en una opción especialmente apropiada para situaciones en las que se valora la eficiencia energética. Con un amplio rango de temperatura de operación y un ancho de banda considerable, el LM324 se destaca como una opción versátil y robusta. Su inclusión en el diseño del glucómetro contribuye significativamente a mejorar la precisión y confiabilidad del dispositivo.

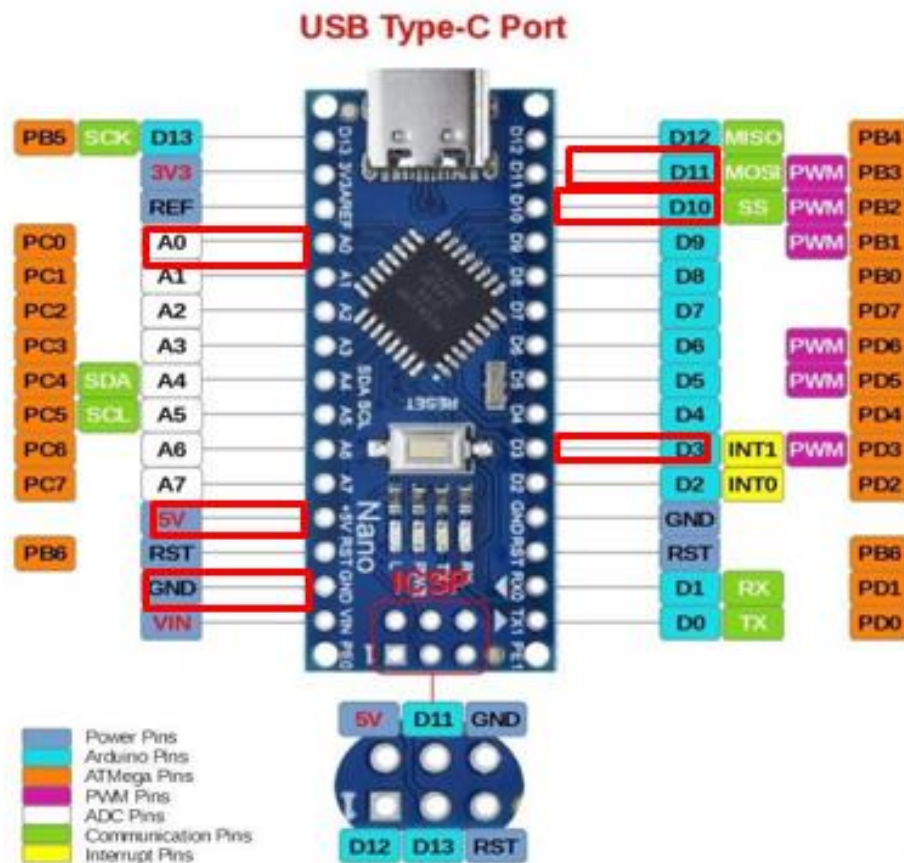
**5.5.3.2. Integración con el Arduino Nano**

El Arduino Nano desempeña un papel fundamental como microcontrolador en este sistema. Este dispositivo permite la alimentación del circuito del medidor de glucosa a través de los pines 5V y GND, suministrando así la energía necesaria para nuestro sensor de glucosa.

Además de su función de alimentación, se utilizan los pines digitales del Arduino Nano para diversas tareas. En particular, el pin D3 se utiliza para conectar el pulsador que permite encender el glucómetro. Asimismo, los pines D10 y D11 se emplean para conectar el módulo Bluetooth, lo que facilita la comunicación inalámbrica con otros dispositivos.

Es crucial realizar la programación previa de este sistema microprocesado para detectar tanto el circuito medidor de glucosa como el pulsador. Además, se debe habilitar la conectividad Bluetooth para establecer la comunicación con la aplicación móvil. Este paso garantiza el correcto funcionamiento y la interoperabilidad del sistema en su conjunto.

**Figura 25.**  
Pines de conexión en Arduino Nano

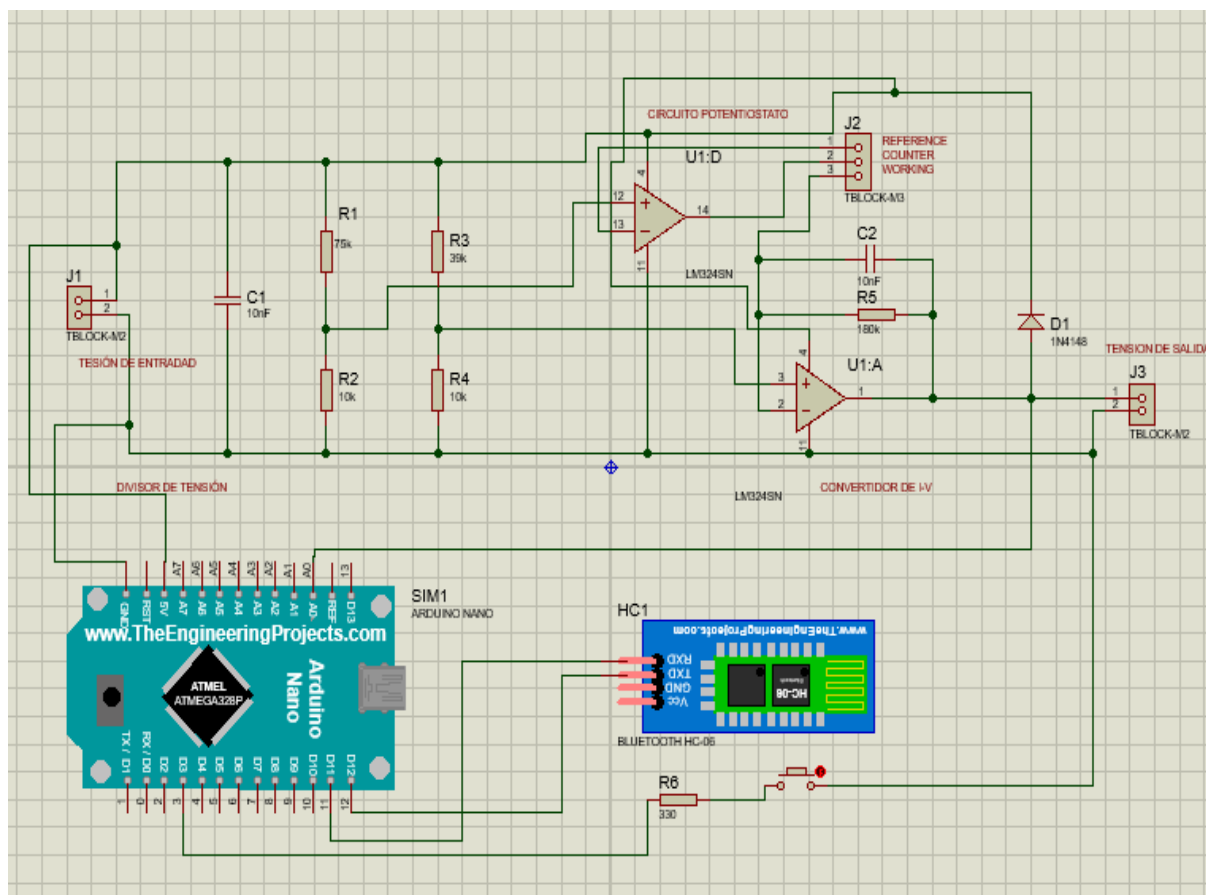


*Nota.* Tomado de (Megatronica, 2023)

Después de obtener con éxito el valor de glucosa a través del prototipo, se procede a transferir estos datos al teléfono inteligente utilizando tecnología Bluetooth, mediante el módulo Bluetooth HC-06. Este paso es crucial para integrar el dispositivo de medición de glucosa con la aplicación móvil correspondiente.

La conectividad Bluetooth permite una comunicación inalámbrica eficiente, brindando al usuario la conveniencia de monitorear sus niveles de glucosa de manera remota y en tiempo real. Este enfoque refleja la capacidad integral del sistema, que va más allá de la simple medición, ofreciendo una experiencia de usuario avanzada y accesible.

**Figura 26.**  
Conexión Arduino Nano, Modulo Bluetooth y Circuito medidor de glucosa



Nota. Elaborado por el autor

### 5.5.3.3. Método Amperométrico

Este método emplea muestras de sangre para determinar los niveles de glucosa mediante la aplicación de corriente eléctrica. Dada su amplia utilización y su mayor precisión en comparación con el método colorimétrico, se optó por el método amperométrico.

A continuación, se detalla los métodos que se usan en el cálculo de la glucosa en sangre:

- Método 1:** El método implica recolectar diez muestras después de dos segundos de aplicar una gota de sangre en la tira reactiva. Estas muestras proporcionan valores de tensión de 0.99, pero al entrar en contacto con la sangre, los valores de tensión aumentan. Si se detecta un pico de tensión de 2, se obtiene el valor de la glucosa, como se muestra en la ecuación 5 derivada mediante una aproximación lineal y una regresión polinómica de segundo grado, según lo descrito por (Guerrero, 2019). La principal ventaja de este método es su rapidez, ya que solo se necesitan 10 valores para calcular el valor medio de la tensión.

#### Ecuación 5.

*Ecuación para calcular la glucosa*



$$\text{Glucosa} \left( \frac{\text{mg}}{\text{dl}} \right) = -48.16 \times V_m^2 + 353.5 \times V_m - 369.4$$

- **Método 2:** En este método, para aplicar la regresión lineal, se llevan a cabo una serie de mediciones mediante la creación de soluciones de control con diferentes concentraciones de glucosa. Estas concentraciones se miden con un medidor de glucosa comercial y se comparan los resultados con el amplificador de transimpedancia medido y el voltaje de salida del amplificador de integración operacional. Este proceso es explicado por (Bindhammer, 2023). Utilizando el voltaje de salida del amplificador de transimpedancia, podemos obtener la siguiente fórmula para calcular la concentración de glucosa:

**Ecuación 6.**

*Ecuación de glucosa método 2*

$$\text{Glucosa} \left( \frac{\text{mg}}{\text{dl}} \right) = 495.6 \times V_{out} - 1275.5$$

- **Método 3:** Aunque existen alternativas para prototipos invasivos y no invasivos, como, por ejemplo:  $(\text{diferenciaMaxMin3.3}) / 1023$ , que calcula la diferencia de voltaje para obtener el valor de glucosa, u  $\text{overal\_data5} / 1023$ , que multiplica el valor de voltaje por 1023 (el valor máximo de lectura analógica posible) y por el valor de entrada de Arduino (5V).

**5.5.3.4. Obtención la formula del Método Amperométrico**

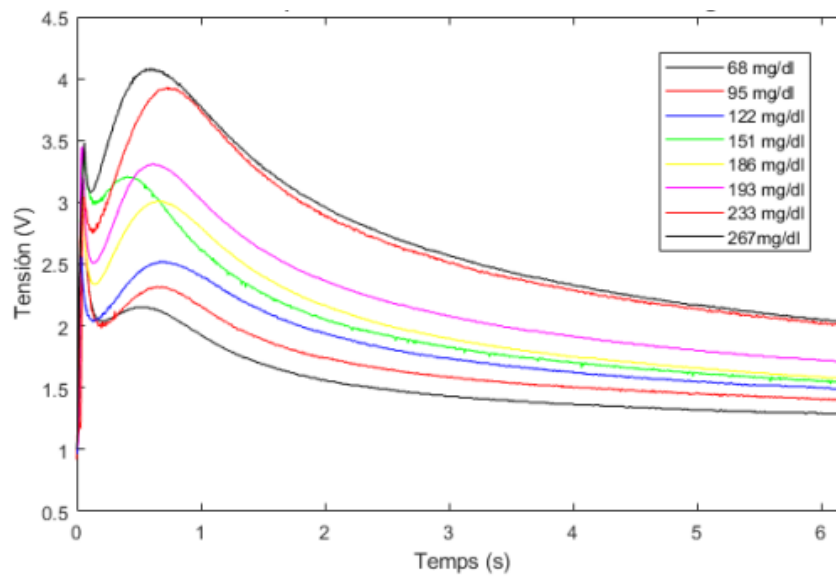
Para este Trabajo de Integración Curricular, he optado por el Método 1 para medir los niveles de glucosa. Una ventaja clave es la rapidez con la que se puede obtener el resultado. En este método, solo se toman diez muestras después de agregar una gota de sangre a la tira reactiva, lo que nos permite obtener una estimación precisa de los niveles de glucosa en la sangre en cuestión de segundos.

El Método 1 se basa en su simplicidad, mediante una ecuación derivada utilizando una aproximación lineal y una regresión polinómica de segundo grado, obtenemos resultados precisos con solo diez mediciones de tensión y la detección de un pico. Esta sencillez reduce la probabilidad de errores y facilita su aplicación en entornos clínicos y personales. Además, para un seguimiento efectivo de la glucosa en la sangre, los resultados deben ser confiables, respaldados por la ecuación que se ha obtenido, el cual nos permite obtener valor de glucosa acorde a la ISO 2015.

El Método 1 es la mejor opción para mi necesidad de monitorear los niveles de glucosa porque es rápido, simple y preciso. El prototipo requiere resultados rápidos y confiables.

**Figura 27.**

*Evolución de la tensión en función del nivel de glucosa*



Nota. Tomado de (Guerrero, 2019)

Utilizando la información proporcionada, se puede derivar una fórmula para la medición de glucosa. Los cálculos necesarios pueden llevarse a cabo utilizando Microsoft Excel u otra herramienta similar para obtener la ecuación final:

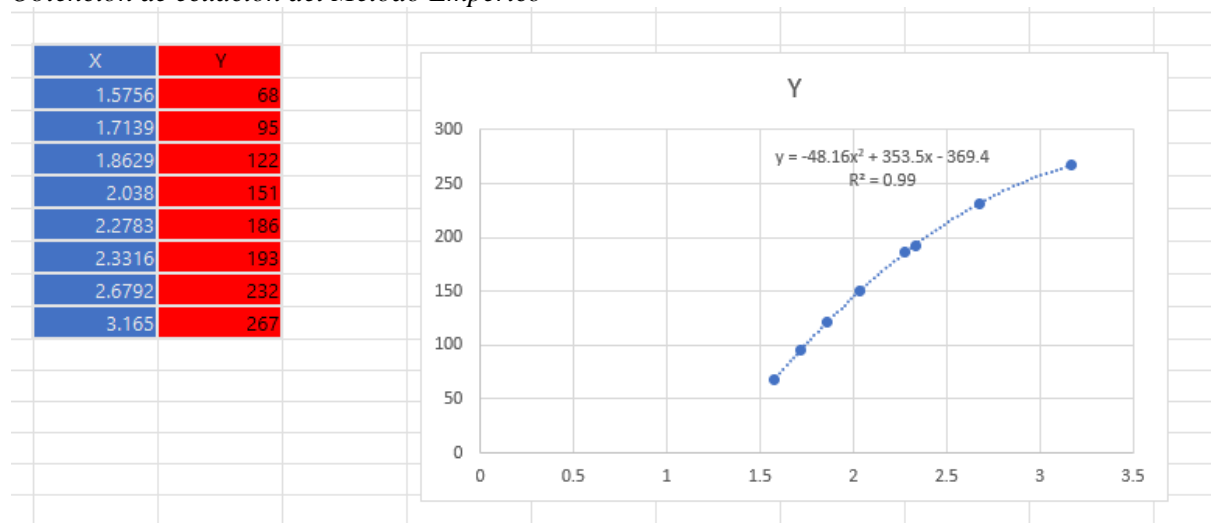
**Ecuación 7.**

*Ecuación para la medición de glucosa*

$$Glucosa = -48.16VT^2 + 353.5VMG - 369.4 \quad \text{Con una } R^2 = 0.99$$

**Figura 28.**

*Obtención de ecuación del Método Emperico*



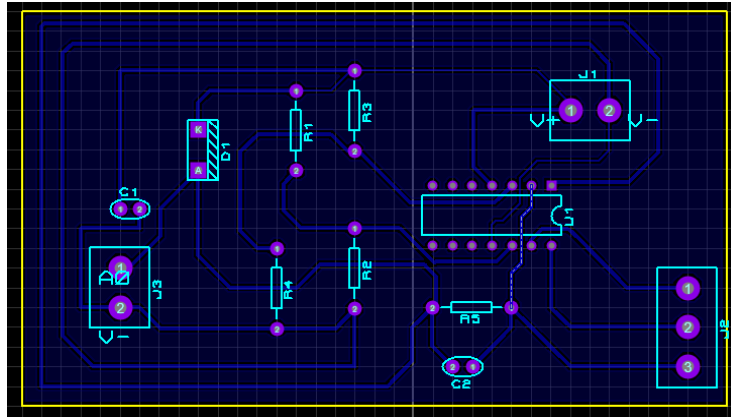
Nota: Elaborado por el autor

**5.5.3.5. Diseño de la PCB**

El diseño de la PCB del circuito se realiza mediante el software Proteus. En este proceso, los componentes se disponen en un mismo espacio con el objetivo de simplificar la

placa y evitar la necesidad de pistas largas. Esta estrategia facilita la eficiencia del diseño, contribuyendo a una disposición más ordenada y compacta de los elementos en la placa de circuito impreso.

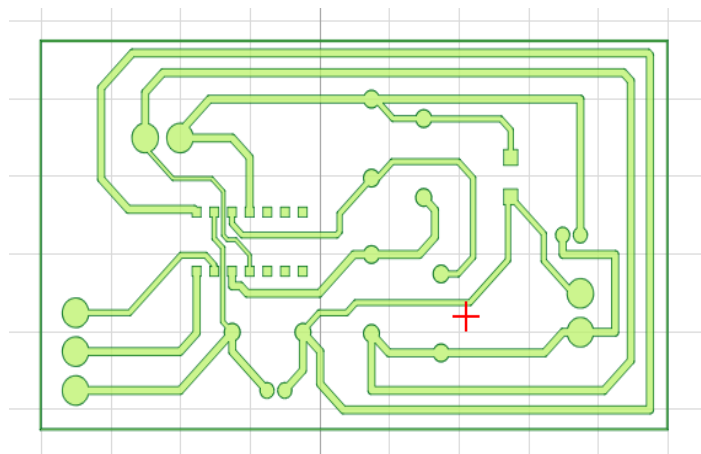
**Figura 29.**  
*Diseño PCB*



*Nota.* Elaborado por el autor

Durante el proceso de diseño de la placa, se ha utilizado el programa FlatCam. Este software permite la transferencia del diseño previamente creado en Proteus, simplificando así la posterior elaboración en la máquina CNC. Gracias a esta integración de programas, se optimiza la eficiencia y precisión en la fabricación de la placa de circuito impreso, como se observa en la figura 30.

**Figura 30.**  
*PBC en software FlatCam del Sensor de glucosa*

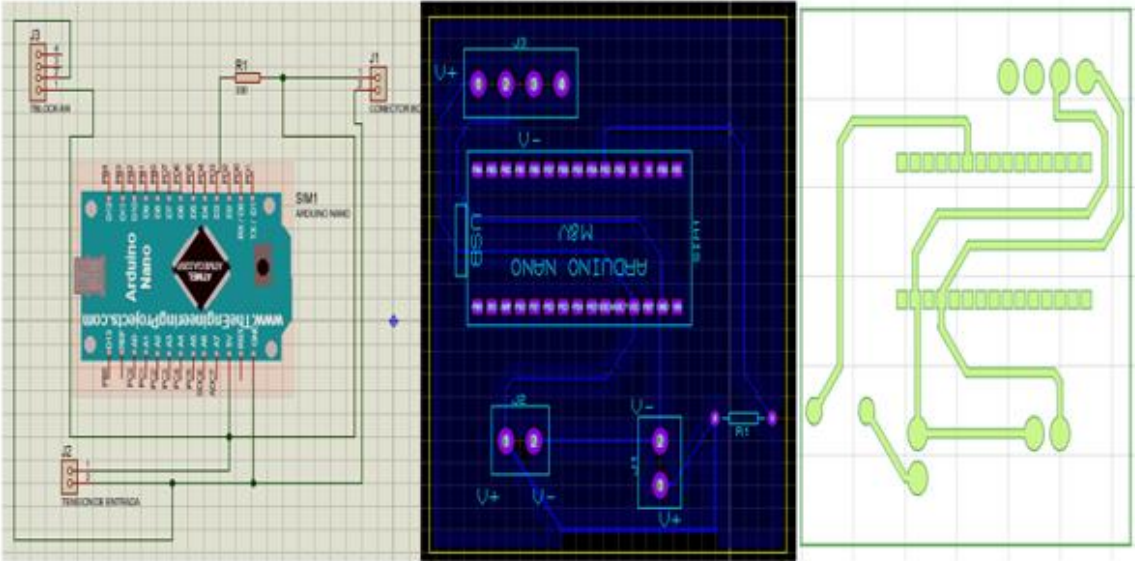


*Nota.* Elaborado por el autor

En la figura 31, se realizó un circuito y una placa para alojar el Arduino Nano y proporcionar la alimentación necesaria al circuito medidor de glucosa. Este diseño se realizó utilizando Proteus, asegurando una integración eficiente del Arduino Nano en el sistema y

facilitando el funcionamiento del circuito de medición de glucosa. Se tuvieron en cuenta consideraciones clave, como la disposición de los componentes y la eficiencia energética, para optimizar el rendimiento global del dispositivo.

**Figura 31.**  
*Circuito del Arduino Nano*



*Nota. Elaborado por el autor*

## 6. Resultados

### 6.1. Fase 4: Implementación

Tras finalizar el diseño del circuito en el software, se procede a la implementación en el Protoboard para realizar las pruebas correspondientes y, posteriormente, analizar los resultados obtenidos.

#### 6.1.1. Software de aplicación

La programación se lleva a cabo en el entorno de desarrollo integrado de Arduino, donde se desarrolla la parte fundamental de este proyecto: el cálculo de la glucosa y la comunicación inalámbrica. En una primera fase se incluyen las librerías necesarias para el funcionamiento del programa, como TimerOne, SoftwareSerial y las de Adafruit para la manipulación de la pantalla OLED, como segunda fase, se crean las variables y se definen los pines de entrada para el sensor de glucosa, el módulo Bluetooth y la pantalla Oled. Estos se asignan como señales analógicas denominadas A0 (Sen\_Glucosa), A4 (SDA) y A5 (SCL). Además, se destinan los pines 3, 10 y 11 como pines digitales de salida PWM para el pulsador y el módulo Bluetooth, respectivamente.

- **Void Setup ()**

En la función Setup (), se lleva a cabo la inicialización y configuración de periféricos y variables esenciales para el programa. Se establece un temporizador para interrupciones cada 200 ms, se configura la comunicación Bluetooth a través de SoftwareSerial en los pines 10 (RX) y 11 (TX), y se realiza la inicialización de la comunicación serial con fines de depuración. Así mismo, se inicia la pantalla OLED y se muestra un mensaje inicial.

- **Interrupciones del Temporizador y Pulsador**

Se ha definido la función ISR\_Timer () para medir el tiempo en intervalos de 200 ms, junto con la función START\_MEASURE (), la cual se activa al presionar un pulsador.

- **Void Loop ()**

Dentro de la función loop (), se lleva a cabo la actualización de la pantalla OLED con información visual, como el ícono de la batería y una animación representando una gota de sangre. Posteriormente, se realiza el procesamiento de la glucosa, siempre y cuando la variable START esté activada. Se detecta un pico de tensión y se calcula el tiempo transcurrido para determinar el valor de la glucosa.

En cuanto al método de cálculo de glucosa (calculoglucosa ()), este realiza el cálculo

basándose en muestras de tensión. Se determina el valor medio de la tensión y se aplica una ecuación para obtener el valor correspondiente a la concentración de glucosa. El resultado se transmite a través de la comunicación Bluetooth y se reinician las variables para la próxima medición.

### **6.1.2. Diagrama de Flujo**

En la figura 32 se presenta el diagrama de flujo detallando las operaciones ejecutadas paso a paso por el Arduino durante su funcionamiento.

El Arduino permanece en estado de reposo hasta que se inicia el encendido al presionar el botón. Una vez activado, el sistema comienza a monitorear la entrada analógica A0 de manera continua, buscando identificar un pico de tensión que indique la presencia de la muestra de glucosa, una vez detectado este pico, se registra una pausa de dos segundos para estabilizar la lectura.

Luego, se realizan 10 mediciones consecutivas para obtener una muestra representativa de la concentración de glucosa en la sangre. Estos datos se promedian para reducir posibles fluctuaciones y mejorar la precisión de la medición.

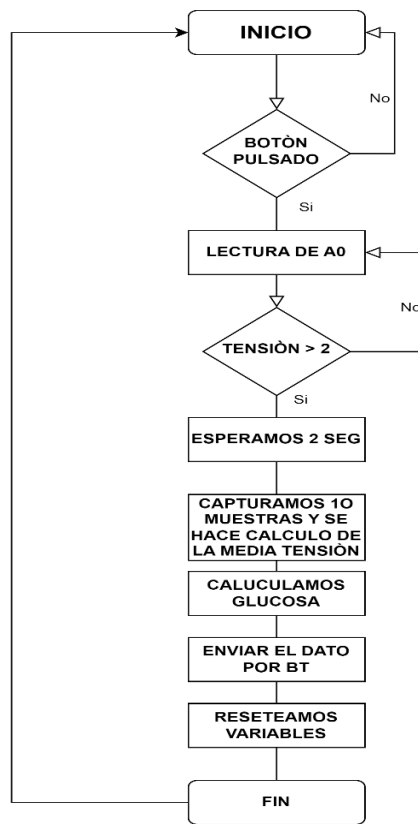
A continuación, se utiliza un algoritmo de regresión polinómica para calcular el índice de glucosa en la muestra. Este índice se utiliza como una medida cuantitativa de los niveles de glucosa en la sangre del usuario.

Una vez determinado el índice de glucosa, el Arduino transmite estos datos al dispositivo móvil a través de Bluetooth, facilitando así un monitoreo remoto y en tiempo real de los niveles de glucosa. Finalmente, se restablecen todas las variables y se prepara el sistema para una nueva medición, garantizando un funcionamiento recurrente y confiable del dispositivo.

Este proceso asegura una medición precisa y una comunicación efectiva de los datos de glucosa entre el dispositivo y la aplicación móvil correspondiente, proporcionando una experiencia de usuario avanzada y accesible.

#### **Figura 32.**

*Diagrama de Flujo que describe el código de arduino*



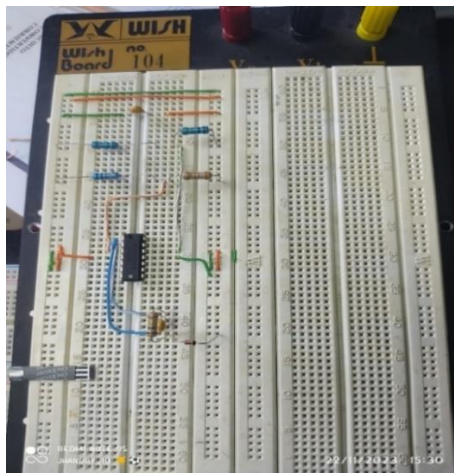
*Nota.* Elaborado por el autor

### 6.1.3. Implementación en Protoboard

En la Figura 33, se exhibe la implementación física del circuito medidor de glucosa. La elección cuidadosa de los componentes utilizados en la simulación tenía como objetivo obtener resultados similares en la práctica. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para evaluar el rendimiento del circuito medidor de glucosa.

**Figura 33.**

*Diseño del Circuito en Protoboard*

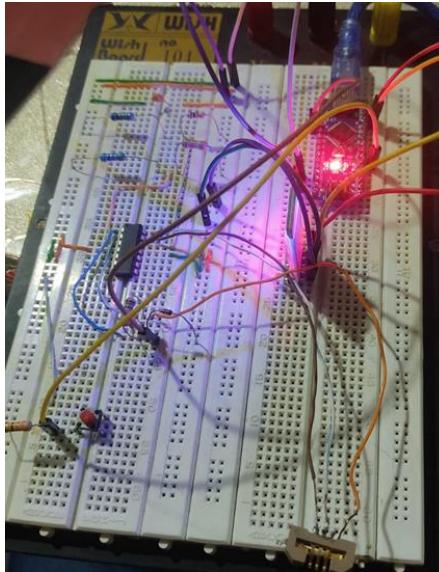


*Nota.* Elaborado por el autor

En la siguiente figura, se observa la integración del módulo Arduino Nano al circuito medidor de glucosa, con el objetivo de realizar pruebas y verificar la correcta funcionalidad del código previamente desarrollado.

**Figura 34.**

*Arduino Nano y Circuito medidor de glucosa*



*Nota.* Elaborado por el autor

La figura 35, se presenta el monitor serial del programa Arduino IDE, proporcionando una visión detallada del funcionamiento de los valores de tensión y la presentación de los resultados de glucosa. La representación gráfica nos permite observar de manera clara cómo se comportan los niveles de tensión y cómo se reflejan en las lecturas de glucosa proporcionadas por el prototipo.

**Figura 35.**

*Monitor serial del Arduino Ide*



```
20:16:42.907 -> Tension actual: 2.89
20:16:42.907 -> conInt: 1
20:16:43.033 -> conInt: 2
20:16:43.247 -> conInt: 3
20:16:43.451 -> conInt: 4
20:16:43.636 -> conInt: 5
20:16:43.843 -> conInt: 6
20:16:44.029 -> conInt: 7
20:16:44.247 -> conInt: 8
20:16:44.463 -> conInt: 9
20:16:44.634 -> conInt: 10
20:16:44.840 -> conInt: 11
20:16:44.883 -> 1.74
20:16:44.883 -> 1.75
20:16:44.883 -> 1.76
20:16:44.883 -> 1.77
20:16:44.883 -> 1.83
20:16:44.883 -> 1.91
20:16:44.883 -> 1.96
20:16:44.928 -> 1.98
20:16:44.928 -> 2.00
20:16:44.928 -> 2.01
20:16:44.928 -> Tiempo: 1989
20:16:44.968 -> V: 1.87
20:16:44.968 -> Valor glucosa: 123
20:16:44.968 -> Encienda glucometro
```

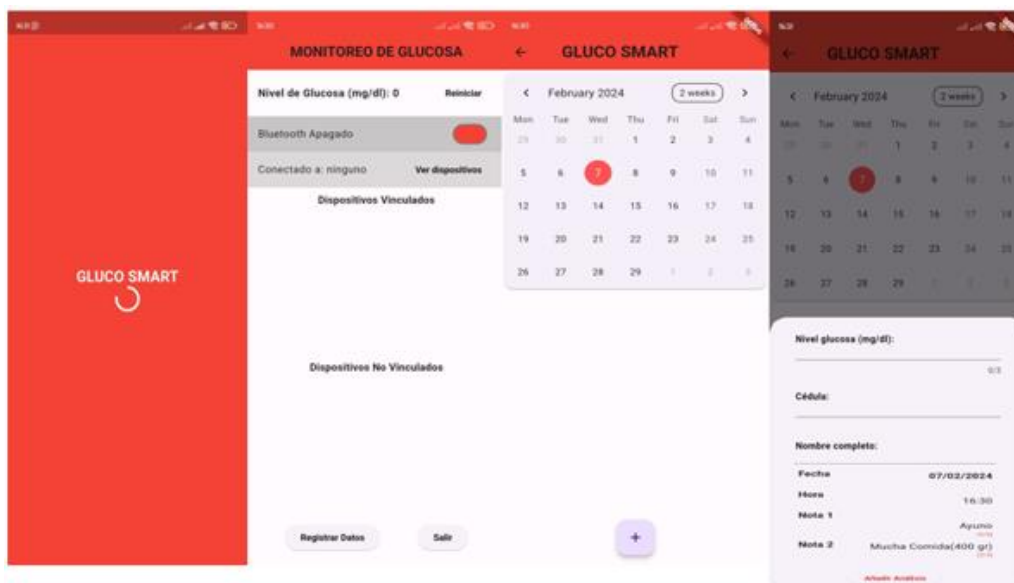
Nota. Elaborado por el autor

### 6.1.4. Interfaz de Aplicación Móvil

La aplicación, creada con Flutter, consta de dos interfaces que facilitan la navegación entre ellas, como se puede apreciar en la figura 36. A continuación, se detalla la funcionalidad de cada pantalla:

**Figura 36.**

*Interfaz de las Aplicación Móvil*



Nota. Elaborado por el autor

1. La pantalla ubicada a la izquierda en la Figura 36 nos muestra la interfaz donde nos permite la conexión mediante Bluetooth con nuestro glucómetro. En esta interfaz, se destaca por mostrar el nivel de glucosa proporcionado por el glucómetro y brinda la opción de reiniciar el dato para una nueva lectura. Se incluye un botón que facilita la

activación o desactivación del Bluetooth, y al seleccionar la opción de visualizar dispositivos, una vez activado el Bluetooth, se pueden observar tanto los dispositivos vinculados como los no vinculados por esta tecnología. Además, la pantalla cuenta con dos botones finales: uno para salir de la aplicación y otro para registrar datos, este último lleva a la siguiente pantalla. En esta etapa, se pueden añadir dos notas que caracterizan el valor de glucosa medido.

2. En la segunda pantalla, que se despliega después de presionar el botón de "Registrar Datos", se presenta un calendario visual. Para almacenar la información, es necesario seleccionar un día específico del calendario y luego pulsar el botón correspondiente. En esta sección, se proporciona un espacio dedicado para ingresar el valor de glucosa obtenido, la hora exacta de la medición, así como dos campos para agregar notas relevantes, indicando si la medición fue realizada antes o después de comer, y especificando el tipo de comida (abundante o ligera) o el nivel de actividad física, entre otras opciones.

#### ***6.1.5. Creación del PBC para la medición de la glucosa y del microprocesado***

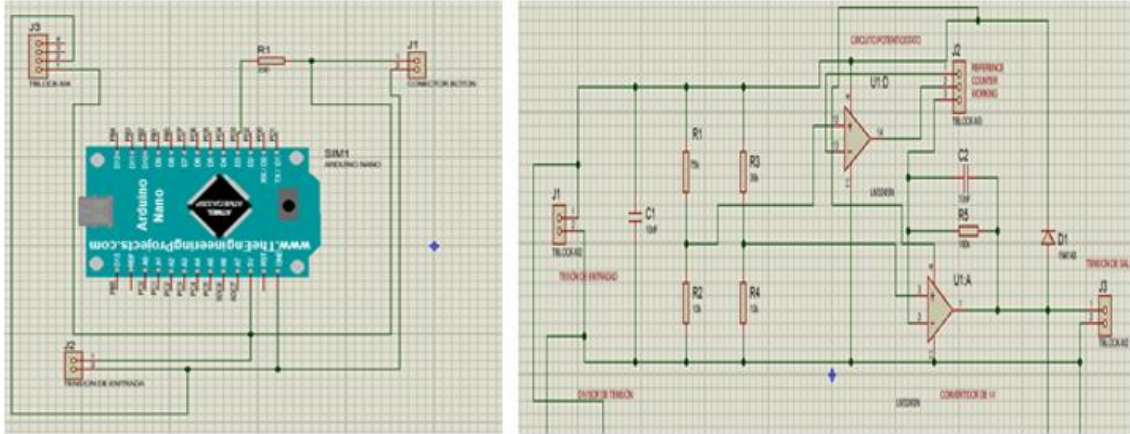
Con el objetivo de alcanzar una precisión óptima en la supervisión y disposición de los componentes electrónicos esenciales, se inicia el proceso de elaboración de las placas de circuito impreso (PBC). Estas placas están diseñadas específicamente para albergar tanto el circuito de medición de glucosa como el microprocesador, asegurando una integración eficiente y un rendimiento sin contratiempos. Este enfoque meticuloso en el diseño del PBC garantizará la funcionalidad y estabilidad del sistema, proporcionando una base sólida para la implementación exitosa del prototipo.

La cuidadosa atención dedicada al diseño del PBC no solo asegurará una integración sin fisuras de los elementos clave, sino que también se traducirá en una mayor estabilidad y rendimiento del prototipo.

Esta fase es fundamental, ya que sienta las bases para la implementación exitosa del dispositivo de medición de glucosa, garantizando un control preciso y fiable de los niveles de glucosa para mejorar la experiencia y la gestión de la salud de los usuarios.

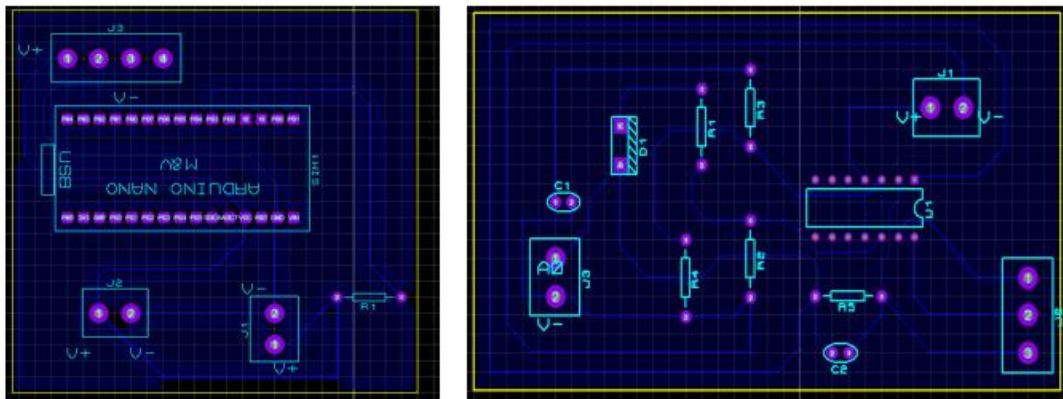
#### **Figura 37.**

*Diagrama en Proteus del circuito del Microprocesado y Circuito medidor de Glucosa*



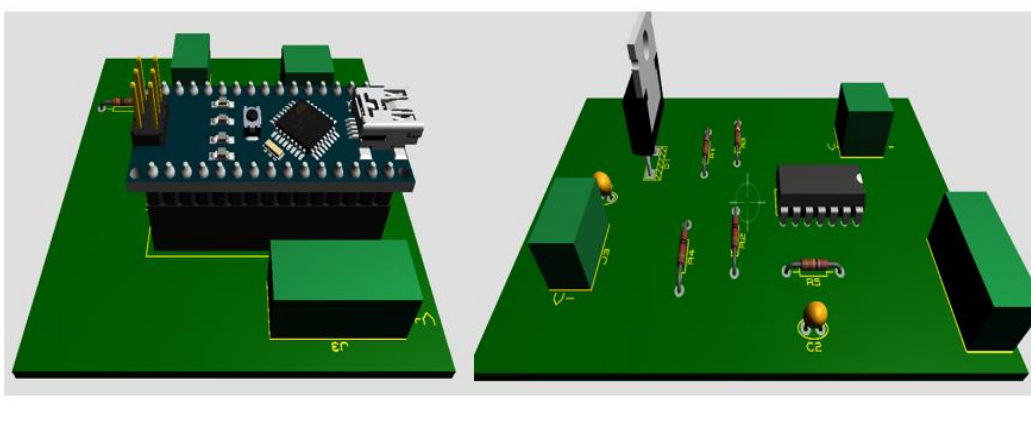
Nota. Elaborado por el autor

**Figura 38.**  
Circuito en PCB



Nota. Elaborado por el autor

**Figura 39.**  
Placas en Visión 3D



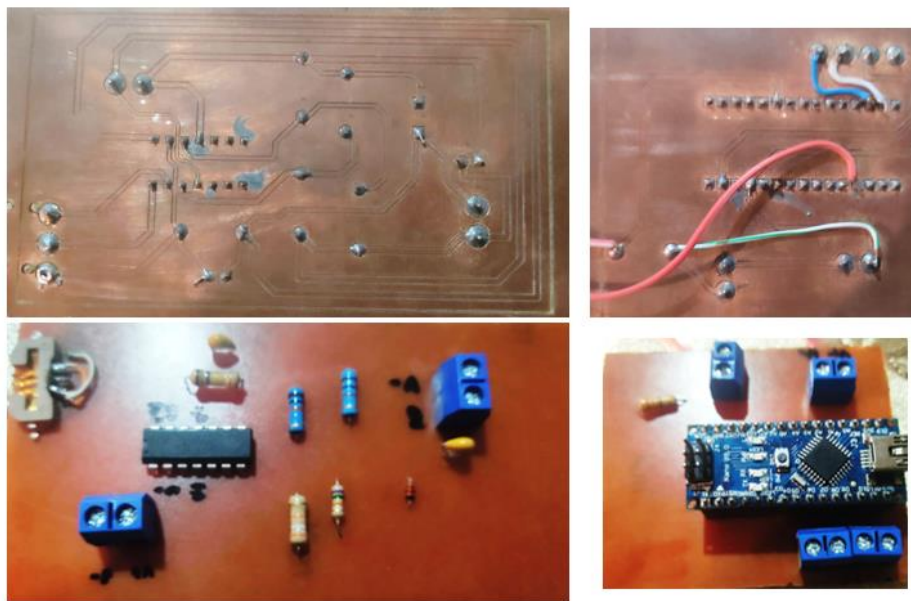
Nota: Elaborado por el autor

**Figura 40.**  
Creacion de la Placa PCB



*Nota.* Elaborado por el autor

**Figura 41.**  
*Partes finales*

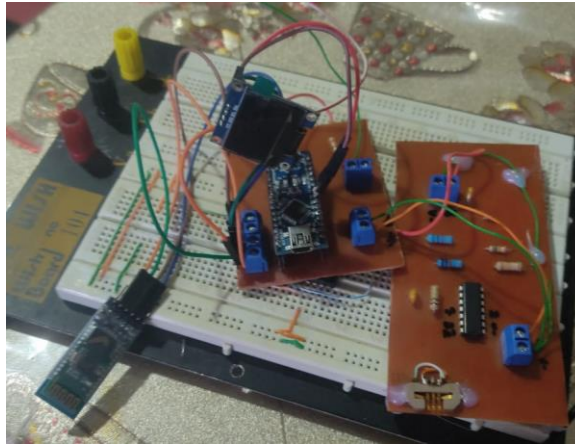


*Nota.* Elaborado por el autor

### **6.1.6. Ensamblaje de los circuitos**

Finalmente, se lleva a cabo la incorporación de todos los elementos que integran el prototipo; se vincula el módulo bluetooth, una pantalla oled, y el pulsador. Una vez que los circuitos impresos y los componentes han sido instalados en las placas correspondientes, se procede a la ensambladura de todos los módulos. La configuración del circuito final se verá en la figura 42.

**Figura 42.**



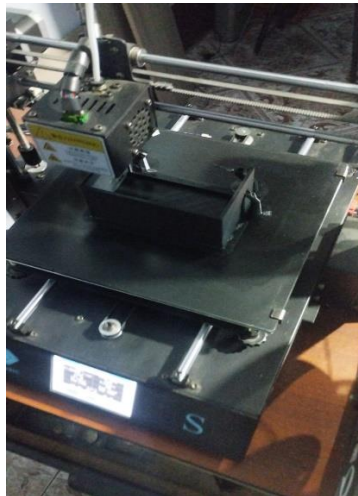
*Nota.* Elaborado por el autor

### ***6.1.7. Diseño e impresión***

Con el objetivo de asegurar la seguridad y prolongar la vida útil del prototipo, se realiza una carcasa resguardar y evitar daños, como impactos, entre otros riesgos. Este diseño toma en consideración las dimensiones de la de las placas electrónicas creadas. El diseño de esta caja presenta una forma única y distintiva. Además de su forma particular, se han tenido en cuenta los espacios destinados al cableado, la entrada de carga, la incorporación de un pulsador y una pantalla oled para darle un diseño agradable al prototipo.

### **Figura 43.**

*Creación 3D de la caja del prototipo*



*Nota.* Elaborado por el autor

### ***6.1.8. Diagrama del Glucómetro***

El diagrama de bloques del glucómetro se presenta en la Figura 44. Un potentiostato y un convertidor de corriente-tensión, como se muestra en la Figura 24, se utilizan para conectar la tira reactiva en un circuito analógico. Al depositar una gota de sangre en la tira reactiva, se



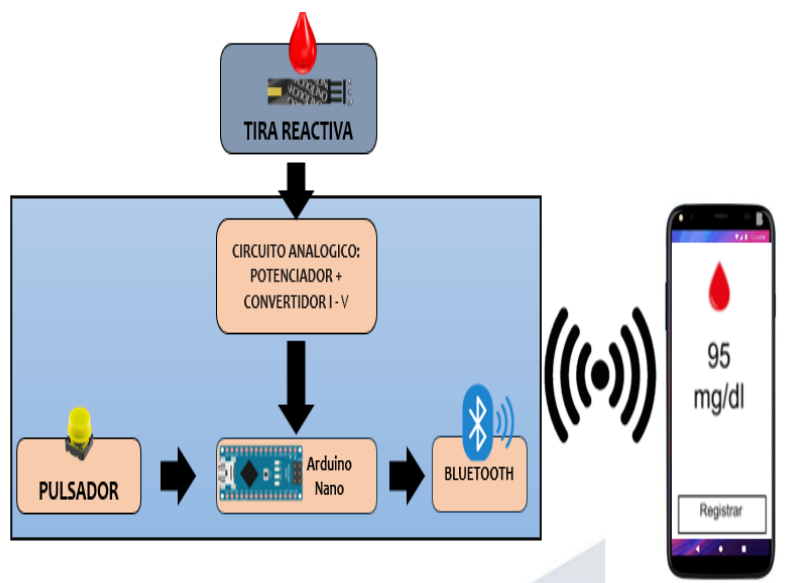
desencadena una reacción electroquímica que genera una tensión en la entrada analógica del Arduino Nano. El valor de glucosa se determina según la tensión obtenida.

En el Arduino Nano se ha incorporado un pulsador que permite encender el glucómetro, generando interrupciones y transmitiendo el valor de glucosa al teléfono móvil inteligente mediante Bluetooth.

Se ha desarrollado una aplicación Android específica, donde el glucómetro exhibe el valor de glucosa. Si los resultados del análisis son satisfactorios, se pueden almacenar en la memoria del teléfono móvil. Además, es posible explorar el calendario de la aplicación en cualquier momento para visualizar todos los valores de glucosa registrados.

**Figura 44.**

*Diagrama de Bloques del Glucómetro*



*Nota.* Elaborado por el autor

## **6.2. Fase 5: Pruebas y Evaluación**

La Tabla 9 detalla los resultados obtenidos en el desarrollo y la implementación del prototipo inteligente diseñado para el monitoreo de los niveles de glucosa. Este Trabajo ha integrado de manera armoniosa sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil, creando así una solución avanzada que redefine la gestión de la diabetes.

A través de exhaustivas pruebas y evaluaciones, se han obtenido datos cruciales que revelan el rendimiento excepcional de este prototipo en diversos aspectos clave. Desde la precisión de las mediciones de glucosa hasta la confiabilidad de la conectividad inalámbrica y la usabilidad de la aplicación móvil, cada componente del sistema ha sido meticulosamente examinado.

**Tabla 9.**

*Comparativa de resultados entre prototipo glucómetro y glucómetros tradicionales*

<b>PROTOTIPO GLUCÓMETRO</b>	<b>GLUCOMETROS TRADICIONALES</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>RANGO ACEPTABLE SEGÚN ISO 2015</b>
151 mg/dl	128 mg/dl	Después de comer	[155, 115] mg/dl
109 mg/dl	95 mg/dl	Antes de Comer	[94, 126] mg/dl
97 mg/dl	93 mg/dl	Después de Comer	[99, 69] mg/dl
132 mg/dl	101 mg/dl	Después de Comer	[138, 102] mg/dl
121 mg/dl	105 mg/dl	Después de Comer	[138, 102] mg/dl
97 mg/dl	101 mg/dl	Antes de Comer	[105, 90] mg/dl
127 mg/dl	113 mg/dl	Antes de Comer	[150,110] mg/dl

*Nota.* Elaborada por el autor

La precisión de las mediciones de glucosa en sangre del prototipo inteligente cumple con los criterios establecidos por la norma **ISO 15197:2015**. Las mediciones obtenidas demuestran la efectividad y confiabilidad del prototipo para monitorear los niveles de glucosa, ya que se sitúan dentro de los límites aceptables definidos por la normativa. Es relevante destacar que los datos de glucosa se transmiten correctamente a la aplicación móvil. Esta función no solo simplifica el registro de los niveles de glucosa, sino que también posibilita un seguimiento continuo y conveniente de estos niveles.

La interfaz de la aplicación móvil es intuitiva y de fácil manejo, lo que facilita aún más que los usuarios registren y analicen los datos. En conjunto, estos aspectos refuerzan la calidad y la utilidad del prototipo inteligente como una herramienta eficaz y práctica para el monitoreo de la glucosa en sangre.

En la Tabla 9, se presenta las mediciones de glucosa, tomadas con el prototipo y realizando comparación con el glucómetro tradicional.

Los glucómetros comerciales deben adherirse a las pautas establecidas por la normativa ISO 15197:2015. Esta norma define los criterios mínimos que los sistemas de monitorización de glucosa en sangre (glucómetros) deben cumplir para que la precisión del sistema sea considerada aceptable.

- En caso de que la concentración de glucosa en sangre sea inferior a 100 mg/dL, se espera que el 95% de las lecturas se sitúen dentro de un rango de  $\pm 15$  mg/dL. A modo de ejemplo, si el resultado es 90, se considera aceptable obtener un valor entre 75 y 105 en el laboratorio.
- El 95% de las mediciones deben caer dentro de un margen de  $\pm 15\%$  cuando las concentraciones de glucosa en sangre sean iguales o superiores a 100 mg/dL. Por ejemplo,

si el valor de laboratorio es 110 mg/dL, se considera aceptable obtener resultados en un intervalo entre 94 y 126 mg/dL.

- El 99% de las lecturas deben ubicarse en un intervalo de  $\pm 20$ , sería admisible obtener resultados entre 88 y 132 mg/dL ( $\pm 20\%$ ) en el 99% de las mediciones realizadas con el glucómetro.
- El 99% de las mediciones deben encontrarse dentro del rango de  $\pm 20\%$ . En otras palabras, una lectura entre 88 y 132 mg/dL (dentro de un margen del  $\pm 20\%$ ) es considerada aceptable.

### **6.2.1. Pruebas de desempeño y validación del prototipo**

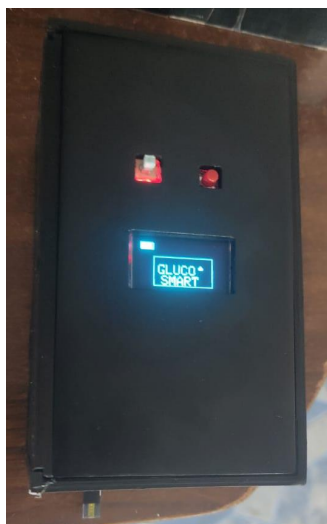
El prototipo inteligente emplea sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil para monitorizar automáticamente los niveles de glucosa, lo que capacita al usuario para gestionar su salud sin depender de terceros. La tecnología inalámbrica facilita la transmisión de datos en tiempo real a la aplicación móvil, mientras que la integración de sistemas embebidos asegura un monitoreo preciso y continuo de los niveles de glucosa.

Para garantizar resultados precisos, se llevaron a cabo pruebas de desempeño con el prototipo con el objetivo de evaluar su precisión. Estas pruebas se realizaron de manera repetitiva y progresiva con diversos usuarios. Este enfoque demostró la correcta operatividad del prototipo y la precisión en el envío de datos a la aplicación móvil.

Además, durante las pruebas se demostró que la aplicación es fluida y de fácil uso para el usuario, lo que contribuye a una experiencia satisfactoria y accesible.

#### **Figura 45.**

*Prototipo final vista frontal*

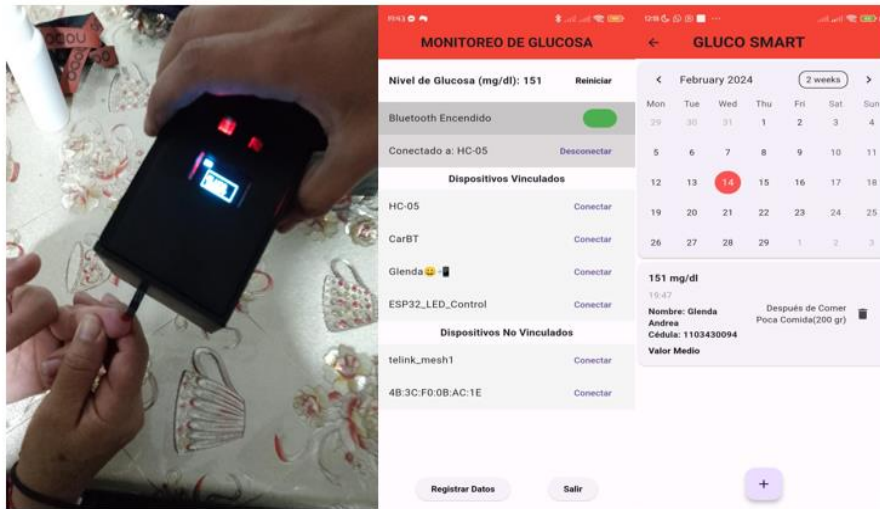


*Nota.* Elaborado por el autor

#### **Figura 46.**



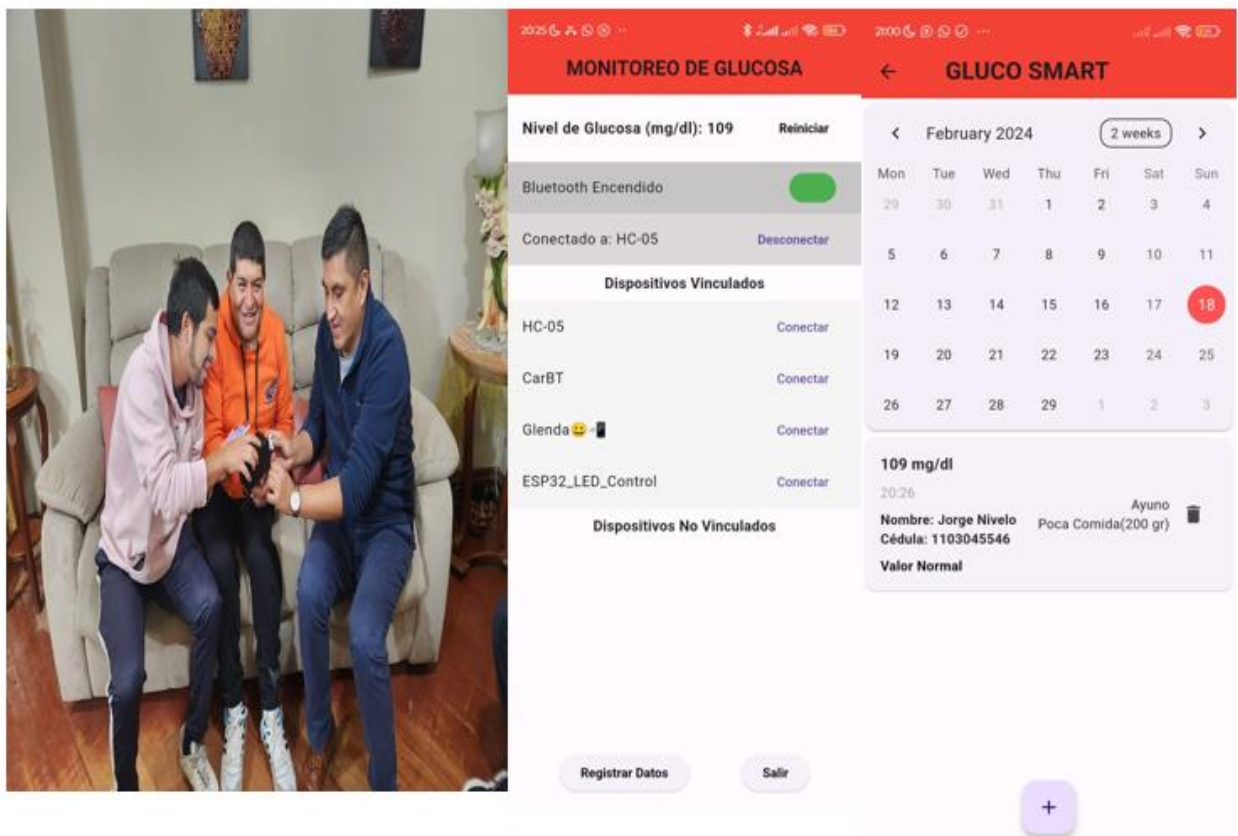
Prueba de medición del prototipo sujeto 1 después de comer.



Nota. Elaborado por el autor

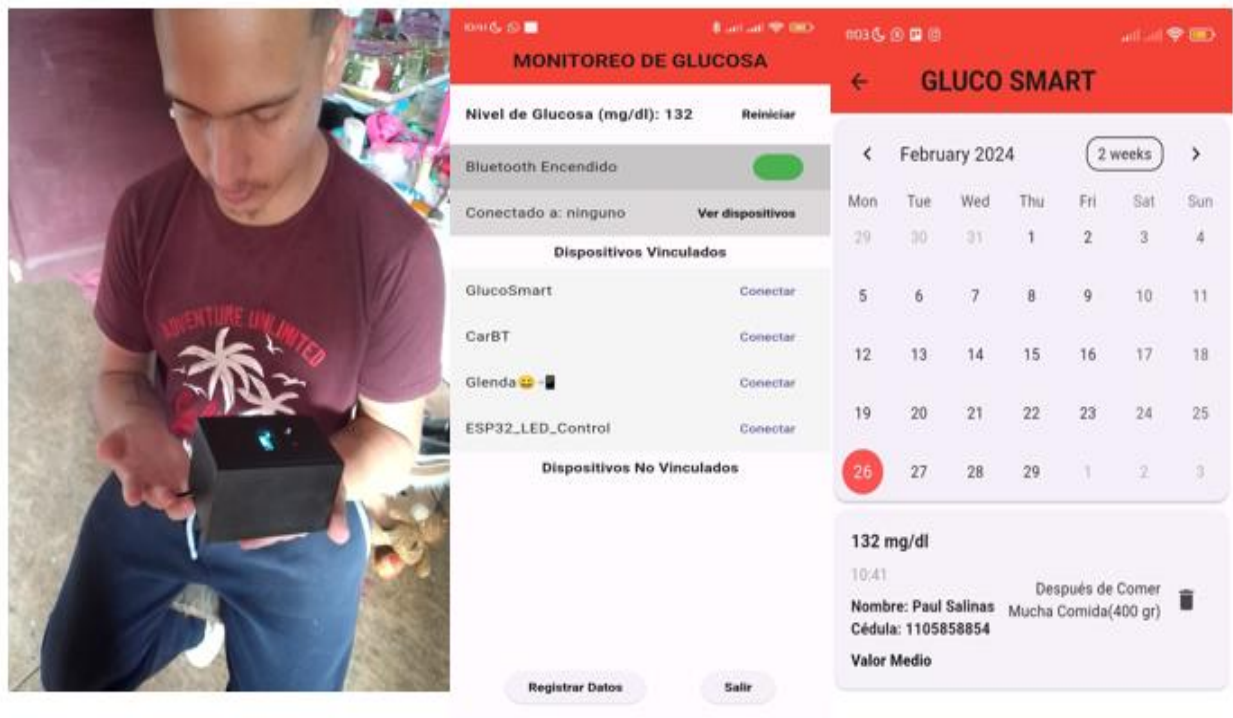
**Figura 47.**

Prueba de medición del prototipo sujeto 2 antes de comer.



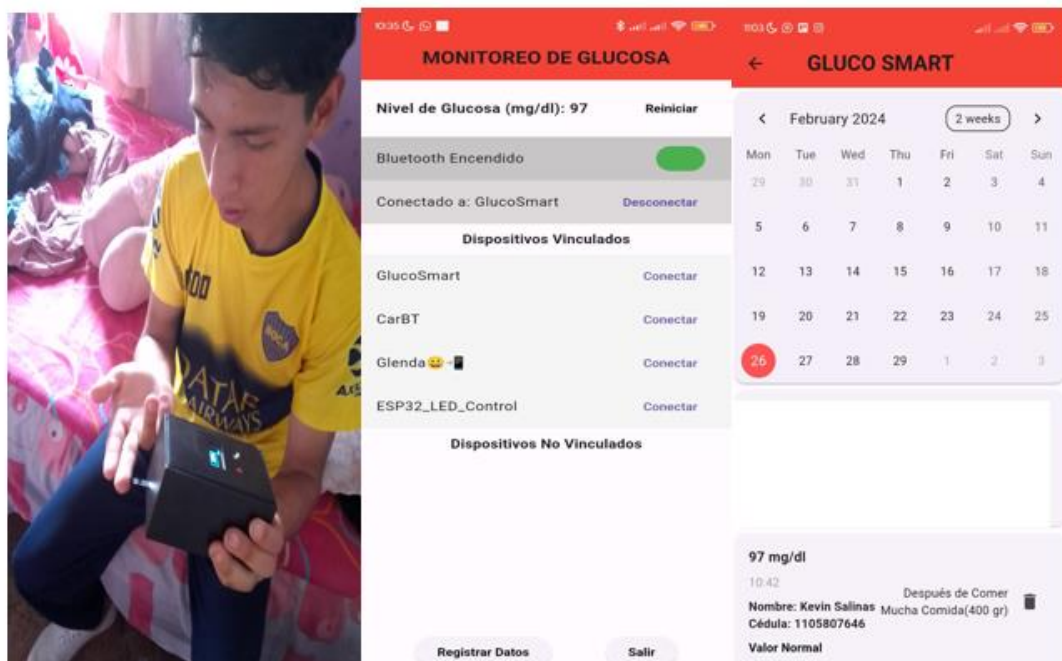
Nota. Elaborado por el autor

**Figura 48.**  
*Prueba de medición del prototipo sujeto 3 Después de Comer*



*Nota.* Elaborado por el autor

**Figura 49.**  
*Prueba de medición del prototipo sujeto 4 Antes de Comer*



*Nota:* Elaborado por el autor

### 6.3. Costos para la construcción del prototipo

En un mercado donde los dispositivos médicos pueden representar una carga financiera significativa para las personas, el prototipo ofrece una solución económica sin comprometer la calidad. Esta característica distintiva posiciona al prototipo como una solución viable y atractiva para aquellos que buscan una herramienta de monitoreo de glucosa, asequible y de alta calidad.

Otra ventaja significativa del prototipo inteligente es que la mayoría de los componentes utilizados en su fabricación están disponibles en el país, esto no solo hizo el proceso de adquisición más sencillo, sino que también redujo los costos y los tiempos de producción. Las tiras reactivas, importadas de Estados Unidos, fueron la única excepción. Sin embargo, esta necesidad mínima de importación mejora la capacidad de usar los recursos locales y garantiza la disponibilidad de los componentes necesarios para fabricar el prototipo.

La propuesta de valor de nuestro prototipo como una solución práctica y económica para el monitoreo de la glucosa en sangre se fortalece aún más como resultado de la combinación de la accesibilidad local y la necesidad limitada de importación.

**Tabla 10.**

*Costos para la elaboración del Glucómetro.*

<i>TABLA DE COSTOS</i>				
<i>Ítem</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Precio total</i>
<b>MECANICOS</b>	Diseño e impresión 3D.	1	\$5,50	\$5,50
	<b>SUBTOTAL</b>			<b><u>\$5.50</u></b>
<b>ELECTRICOS Y ELECTRONICOS</b>	Arduino Nano	1	\$6.00	\$6.00
	Resistencias	6	0.05 ctvs.	0.30 ctvs.
	Capacitores	2	0.05 ctvs.	0.10 ctvs.
	Pantalla Oled	1	\$5.50	\$5.50
	Pulsadores	2	0.10 ctvs.	0.20 ctvs.
	Batería	1	\$2.00	\$2.00
	Cargador para batería	1	\$1.45	\$1.45

---

	Amplificadores	1	0,35 ctvs.	0,35 ctvs.
	Diodos	1	0.10 ctvs.	0.10 ctvs.
	Borneras	5	0.17 ctvs.	0.85 ctvs.
	Cables	10	0.05 ctvs.	0.50 ctvs.
	Modulo bluetooth	1	\$5.00	\$5.00
	<b>SUBTOTAL</b>			<b><u>\$22.35</u></b>
<b>GASTOS</b>	Transporte			\$32.00
<b>VARIOS</b>	Envió		\$2.00	\$3.00
	<b>SUBTOTAL</b>			<b><u>\$35.00</u></b>
	<b>VALOR COSTO TOTAL</b>			<b><u>\$62.85</u></b>

---

*Nota.* Elaborado por el autor

## 7. Discusión

El presente Trabajo de Integración Curricular se ha enfocado desde un inicio al conocimiento y enfoque del desarrollo de un prototipo inteligente diseñado para monitorear los niveles de glucosa aprovecha los sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y una aplicación móvil para proporcionar a las personas un método eficiente y cómodo de controlar continuamente sus niveles de glucosa.

El centro del desarrollo de este prototipo se centra en usar el método amperométrico que emplea muestras de sangre para determinar los niveles de glucosa mediante la aplicación de corriente eléctrica, luego de esto se realiza la creación del circuito medidor de glucosa que incluye componentes esenciales como un divisor de tensión, un circuito potencióstato y un convertidor corriente-tensión. Y se coloca un conector para introducir las tiras reactivas, estas tiras permiten realizar mediciones y se integran con el sistema electrónico para obtener datos de glucosa al introducir sangre en la tira.

El divisor de tensión es la fase inicial del circuito, desempeña un papel fundamental, este se encarga de ajustar la señal proveniente del sensor de glucosa, normalmente basado en una celda electroquímica. Su función es vital, ya que adapta la señal a niveles de voltaje compatibles con el resto del sistema, asegurando así una medición precisa y segura. Por otro lado, el circuito potencióstato es otro componente clave dentro del sistema. Este controla la polarización del electrodo en la celda electroquímica del sensor de glucosa. Garantiza que la reacción química en el electrodo se produzca de manera controlada. La integración del potencióstato en el circuito contribuye significativamente a la estabilidad y la precisión de las mediciones de glucosa. Una vez que la señal se ha procesado a través del potencióstato, entra en juego un convertidor corriente-tensión. Este componente convierte la corriente generada por la reacción electroquímica en una señal de tensión proporcional. Este paso es crucial para que el microcontrolador pueda entender y procesar la información de manera efectiva. La salida del convertidor corriente-tensión se transmite al microcontrolador por medio de una señal analógica, el cual le permite leer los datos enviados por el circuito medidor de glucosa, luego de procesar estos datos se utiliza tecnología Bluetooth para enviarlos a la aplicación móvil. La aplicación, a través de una interfaz intuitiva, y fácil de utilizar para el usuario, permite monitorear sus niveles de glucosa, configurar ajustes personalizados e incluso guardar las mediciones para tener un registro de los análisis realizados.

El aporte que ofrece el siguiente trabajo de integración curricular es poder monitorear los niveles de glucosa, el cual proporciona a las personas una herramienta más completa y eficaz

para gestionar su salud. Además, el prototipo no solo beneficia individualmente a los usuarios al mejorar su calidad de vida, sino que también representa un avance valioso en el campo de la salud, ofreciendo una solución tecnológica que tiene el potencial de impactar positivamente a la sociedad en general.

## 8. Conclusiones

**Luego de haber realizado el Trabajo de Integración Curricular se plantea las siguientes conclusiones:**

- En este Trabajo de Integración Curricular se diseñó y se implementó un prototipo inteligente, mediante el uso de sistemas embebidos, tecnología inalámbrica y aplicación móvil, esto representa una solución innovadora que mejora la calidad de vida de las personas y al mismo tiempo que facilita el trabajo de los profesionales de la salud.
- La combinación de la investigación sobre la fisiología de la glucosa y el análisis de los métodos de control existentes brinda una visión completa y enriquecedora. Este conocimiento puede ser fundamental para desarrollar soluciones más efectivas y centradas, para el monitoreo y control de la glucosa en las personas, mejorando así la calidad de vida y la gestión de esta enfermedad crónica.
- La construcción y evaluación de un prototipo de glucómetro inteligente se presenta como un paso significativo hacia la mejora de la gestión de la diabetes, destacando la importancia de la tecnología avanzada al medir los niveles de glucosa en la sangre de forma más inteligente, precisa y eficaz.
- El establecimiento de una comunicación inalámbrica segura y confiable entre el prototipo y la aplicación móvil, respaldado por pruebas de funcionamiento rigurosas, refleja un compromiso con la excelencia en el diseño del prototipo. Esta conexión efectiva no solo potencia la utilidad del mismo, sino que también sienta las bases para una implementación exitosa en entornos del mundo real, mejorando así la eficiencia y la confiabilidad del monitoreo de los niveles de glucosa para el beneficio de los usuarios.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda evaluar la eficacia del prototipo y la viabilidad de estas soluciones en el ámbito de la telemedicina, se sugiere investigar las posibilidades de implementación a gran escala en entornos clínicos y comunitarios.
- Seguir investigando y creando soluciones basadas en las mediaciones de glucosa y los métodos actuales de control. Esto le permitirá mantenerse al día con los avances en el campo y buscar continuamente formas de mejorar la efectividad y la accesibilidad de las soluciones de monitoreo de glucosa.
- Centrarse en la optimización del prototipo, teniendo en cuenta las opiniones de los usuarios y las últimas innovaciones tecnológicas. Es crucial integrar el dispositivo en el sistema de atención médica actual. Esta medida no solo impulsará mejoras continuas en el monitoreo de la glucosa, sino que también allanará el camino para proyectos que incorporen tecnología inteligente en el campo de la salud, lo que sin duda mejorará la calidad de vida de las personas.
- Explorar y evaluar tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth de baja energía (BLE), LoRa y SigFox. Esta evaluación ayudará a seleccionar la combinación de tecnologías más adecuada para mejorar el monitoreo de los niveles de glucosa, lo que incluye el acceso remoto a los datos del usuario y la colaboración entre profesionales de la salud.



## 10. Bibliografía

- Benazizi, I., Peralta, A., Chilet, E., & Torres, A. (2023). Proyecto Contextualización de la Evidencia para la Acción en Diabetes . *Ibero American*, 1-11.
- Mule, S., Mujawar , T., Kasbe , M., & Deshmukh , L. (2018). MICROCONTROLLER BASED BLOOD GLUCOSE METER:DESIGN AND DEVELOPMENT. *Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 1-7.
- Rghioui, A., Lloret, J., Harane, M., & Oumnad, A. (2020). Un sistema inteligente de monitorización de glucosa para pacientes diabéticos. *MDPI*, 1-28.
- Stolik , O., Jáuregui , C., & Galeano, L. (2019). TELEMEDICINA: SERVICIOS DE SALUD Y TIC. *REVISTA CUBANA DE ECONOMÍA INTERNACIONAL*, 1-22.
- Acosta Espinoza, J., León Yacelga, A., & Sanafria Michilena, W. (2022). Las aplicaciones móviles y su impacto en la sociedad. *SCIELO*, 1-8.
- Aguilar, J. P. (2019). Telemedicina. *ICONTEC*, 1-19.
- Arduino. (2019). *Arduino Nano: Todo lo que necesitas saber*. Obtenido de Arduino: <https://arduino.cl/arduino-nano/#:~:text=Arduino%20Nano%20es%20una%20placa,basada%20en%20el%20microcontrolador%20ATmega328P>
- Arduino. (2022). *Arduino Hardware*. Obtenido de Arduino: <https://www.arduino.cc/en/hardware>
- Bassi, A. (2021). *Intro a la tecnología Bluetooth*. Obtenido de gotoiot: [https://www.gotoiot.com/pages/articles/bluetooth\\_intro/content.html](https://www.gotoiot.com/pages/articles/bluetooth_intro/content.html)
- Becerra , M., Barrales , R., Jaimes , J., & Rodríguez, M. (2019). Glucómetro portátil de bajo costo. *Ingeniantes*, 1-9.
- Bindhammer, M. (2023). *Open source Arduino blood glucose meter shield*. Obtenido de <https://hackaday.io/>: <https://hackaday.io/project/11719/logs>
- Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria* , 1-5.
- CDC. (13 de Julio de 2022). *¿Qué es la diabetes?* Obtenido de Centro para el control y Prevencion de enfermedades: <https://www.cdc.gov/diabetes/spanish/basics/diabetes.html>
- circuitstoday. (2020). *Arduino Nano Tutorial – Pinout & Schematics*. Obtenido de circuitstoday: <https://www.circuitstoday.com/arduino-nano-tutorial-pinout->

- schematics#google\_vignette
- Cisco. (2021). *¿Qué es Wi-Fi?* Obtenido de Cisco:  
[https://www.cisco.com/c/es\\_mx/products/wireless/what-is-wifi.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wifi.html)
- CNOGA MEDICAL. (2023). *Glucómetro no invasivo CoG*. Obtenido de medicalexpo:  
<https://www.medicalexpo.es/prod/cnoga-medical/product-104505-1094755.html>
- Conforme, M. E. (2020). *PLATAFORMA DE ALARMAS PARA PERSONAS DE LA TERCERA EDAD CON DIABETES*. Obtenido de  
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2606/1/UISRAEL-EC-ELTD-378.242-035.pdf>
- Díaz, E. R. (2019). Diabetes Gestacional. *diabetesaldia*, 1-10.
- El Hospital. (2021). Monitoreo de glucosa en pacientes con diabetes mellitus con miras a tratamiento individualizado. *elhospital*, 1-6.
- Electronilab. (2023). *Modulo Bluetooth AT-09*. Obtenido de Electronilab:  
<https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-at-09-at09-ble-4-0-cc2541-compatible-hm-10/>
- Entel. (2022). *Redes móviles: qué son, cómo funcionan y qué tipos existen*. Obtenido de Entel:  
<https://ce.entel.cl/articulos/redes-moviles/>
- Escrivá, R. N. (2019). *GLUCÓMETRO*. Obtenido de atida: <https://www.atida.com/es-es/blog/diccionario-farmacia/glucometro/>
- Federación Internacional de Diabetes. (2023). *Datos y Cifras de la Diabetes*. Obtenido de idf.org: <https://idf.org/es/about-diabetes/what-is-diabetes/>
- Fernández, Y. (2020). *Bluetooth: diferencias y características de sus clases y versiones*. Obtenido de xataka: <https://www.xataka.com/basics/bluetooth-diferencias-caracteristicas-sus-clases-versiones>
- FID. (2023). *Datos y Cifras de la Diabetes*. Obtenido de idf.org: <https://idf.org/es/about-diabetes/diabetes-facts-figures/>
- García, J. A. (2018). *Glucómetro*. Obtenido de  
<https://www.academia.edu/40562940/Gluc%C3%B3metro>
- Guerrero, D. M. (2019). *PROYECTO DE UN GLUCÓMETRO*. Obtenido de upcommons:  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/172685/REPORT\\_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/172685/REPORT_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- Hapo. (2021). *Tecnología Inalámbrica, Definición, Historia y Ejemplos*. Obtenido de bighardware: <https://bighardware.es/tecnologia-inalambrica-definicion-ejemplos/>

- Ilesanmi , D., Smart , I., Lanre , D., Khumbulani , M., & Ikenna , D. (2022). Development of a Smart Glucose Monitoring Device. *ScienceDirect*, 1-6.
- INTEL. (2021). *¿Qué es la tecnología Bluetooth?* Obtenido de intel.la:  
<https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/what-is-bluetooth.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20inal%C3%A1mbrica%20de%20corto,o%20un%20punto%20de%20acceso.>
- IONOS. (2022). *¿Qué es Bluetooth? Toda la información sobre el estándar inalámbrico.* Obtenido de ionos.es: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-bluetooth/>
- Jamachi, D. (2022). *Metodos Analiticos Investigacion de Glucometro.* Obtenido de Scrib:  
<https://es.scribd.com/document/638687962/analitica-investigacion-GLUCOMETRO>
- Kennedy, M. N. (2022). *¿Qué es la Diabetes tipo 2?* Obtenido de ucsf:  
<https://dtr.ucsf.edu/es/tipos-de-diabetes/diabetes-tipo-2/comprencion-de-la-diabetes-tipo-2/que-es-la-diabetes-tipo-2/>
- Ledsemiconductors. (2023). *Circuito Integrado LM324.* Obtenido de ledsemiconductors:  
<https://www.ledsemiconductors.com/product-page/lm324#:~:text=Amplificador%20Operacional%20Cu%C3%A1druple%20LM324&text=El%20LM324D%20es%20un%20amplificador,de%20frecuencia%20alta%20ganancia%20compensados.>
- Lizarzaburu Robles , J., Horruitiner Izquierdo , M., Saavedra Guerra , R., Quezada, A., & Villena Yauck, L. (2022). Telemedicina para la atención de personas con diabetes: ¿Es un sistema efectivo? *RAEM*, 1-10.
- Luz, S. D. (2023). *Qué significa cada sigla de las características WiFi.* Obtenido de RedesZone: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/significado-sigla-caracteristicas-wifi/>
- Maset, J. (08 de Noviembre de 2021). *La incidencia de la diabetes está aumentando.* Obtenido de Cinfasalud : <https://cinfasalud.cinfa.com/p/diabetes/>
- Mayo Clinic. (2022). *Diabetes diagnosticos y tratamientos.* Obtenido de Mayo Clinic:  
<https://www.mayoclinic.org/es>
- Medesk. (2021). Telemedicina: facilita el trabajo de tu clínica y la vida de tus pacientes. *MEDESK*, 1-12.
- MedlinePlus. (2019). Diabetes tipo 1. *medlineplus*, 1-11.
- Medlineplus. (2022). *Prueba de glucosa en la sangre.* Obtenido de Medlineplus:

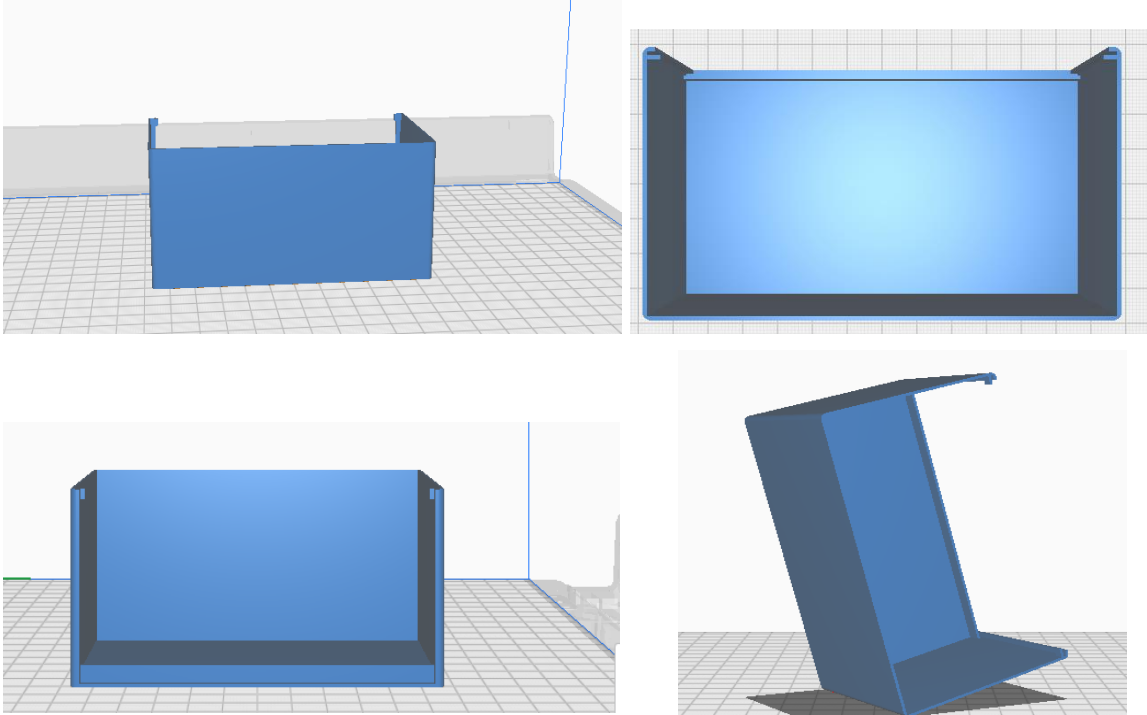
- <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/prueba-de-glucosa-en-la-sangre/>
- Megatronica. (2023). *ROBÓTICA ELECTRÓNICA COMPUTACION INGENIERÍA*. Obtenido de Megatronica: <https://megatronica.cc/>
- Meza, R. E. (2020). La glucosa en el cuerpo humano. *Revista Institucional Tiempos Nuevos*, 43-53.
- Milla, J. W. (2021). *Tecnología inalámbrica*. Obtenido de Monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos37/tecnologia-inalambrica/tecnologia-inalambrica2>
- Ministerio de Salud Pública. (2023). *MSP presentó el programa de Atención Integral de la Diabetes Mellitus*. Obtenido de Salud.gov: <https://www.salud.gob.ec/msp-presento-el-programa-de-atencion-integral-de-la-diabetes-mellitus/#:~:text=La%20diabetes%20mellitus%20es%20la,con%20diagn%C3%B3stico%20de%20la%20enfermedad.>
- Monleón, D. (2019). *Proyecto de un glucómetro*. Obtenido de upcommons: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/172685/REPORT\\_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/172685/REPORT_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- MSP. (2023). *MSP presentó el programa de Atención Integral de la Diabetes Mellitus*. Obtenido de salud.gov: <https://www.salud.gob.ec/msp-presento-el-programa-de-atencion-integral-de-la-diabetes-mellitus/#:~:text=La%20diabetes%20mellitus%20es%20la,con%20diagn%C3%B3stico%20de%20la%20enfermedad.>
- OMS. (2023). *Diabetes*. Obtenido de Organizacion Panamericana de la Salud: <https://www.paho.org/es/temas/diabetes>
- OMS. (2023). *Diabetes, datos y cifras*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Pérez, D. (2019). *Sistemas Embebidos y Sistemas*. Caracas: ISSN.
- Plan V. (2019). *El sistema de salud en el Ecuador es una fábrica de enfermos*. Obtenido de Plan V: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/el-sistema-salud-el-ecuador-una-fabrica-enfermos>
- Raya, A. (2020). *Glucómetro Invasivo*. Obtenido de elespanol: [https://www.elespanol.com/omicrono/hardware/20200129/nuevo-samsung-diabeticos-nivel-glucosa-sin-pinchazos/463454057\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicrono/hardware/20200129/nuevo-samsung-diabeticos-nivel-glucosa-sin-pinchazos/463454057_0.html)

- Rodriguez, M. (2023). *LADA, el otro tipo de diabetes*. Obtenido de AARP:  
<https://www.aarp.org/espanol/salud/enfermedades-y-tratamientos/info-11-2012/diabetes-lada-diagnostico-tratamiento.html>
- Roman, A. (2023). *Método colorimétrico*. Obtenido de scribd:  
<https://www.scribd.com/document/671934080/Informe-3-Metodo-Colorimetrico>
- Sanofi. (2020). *¿Cuáles son las mejores apps para controlar la diabetes?* Obtenido de campus: <https://campus.sanofi.es/es/noticias/2021/apps-control-diabetes>
- Sefap. (2020). *Medidores continuos de glucosa*. Obtenido de Sefap:  
<https://www.sefap.org/2020/02/26/medidores-continuos-de-glucosa-que-quien-donde-cuando-como-para-que-por-que/>
- sefap. (2020). *Medidores continuos de glucosa*. Obtenido de sefap:  
<https://www.fundaciondiabetes.org/general/articulo/173/sistemas-de-monitorizacion-continua-de-glucosa>
- Segade, E. A. (2021). *MEDIDOR DE GLUCOSA*. Obtenido de scrib:  
<https://es.scribd.com/document/599633423/Informe-Proyecto-Integrador-Medidor-de-Glucosa-Emiliano-Segade>
- Servicio Canario de Salud. (2022). *SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE GLUCOSA. Infarma, 1-6.*
- Simbase. (2023). *Cómo funcionan las redes móviles*. Obtenido de simbase:  
<https://es.simbase.com/learning/how-mobile-networks-work>
- SONNY. (2022). *¿Qué es la tecnología inalámbrica BLUETOOTH?* Obtenido de helpguide:  
<https://helpguide.sony.net/gbmig/44506666/v1/es/contents/02/01/01/01.html>
- Tang, L., Chang, J., Ching, J., & Liu, J. (4 de Diciembre de 2020). *Tecnología no invasiva de monitoreo de glucosa en sangre: una revisión*. Obtenido de National Library of Medicine : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7731259/>
- tecmikro. (2023). *NANO PARA ARDUINO*. Obtenido de tecmikro:  
<https://tecmikro.com/tarjetas-programables/457-nano-para-arduino.html>
- Tomky, D. (2020). *Automonitoreo de la glucosa en sangre. BD Consumer Healthcare, 1-10.*
- Unir. (2022). *¿Qué son los sistemas inteligentes? Importancia y aplicaciones?* Obtenido de Universidad en Internet: <https://www.unir.net/ingenieria/revista/sistemas-inteligentes/>
- Villalobos, A. B. (2023). *Guía Completa de Glucómetros: Tipos, Ventajas y Desventajas. MIDHEC, 1-12.*

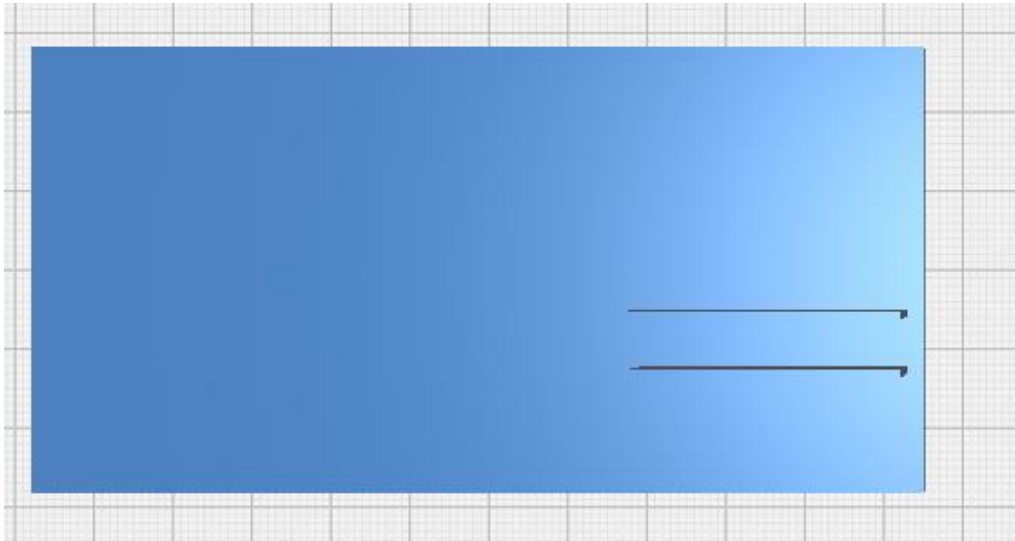
## 11. Anexos

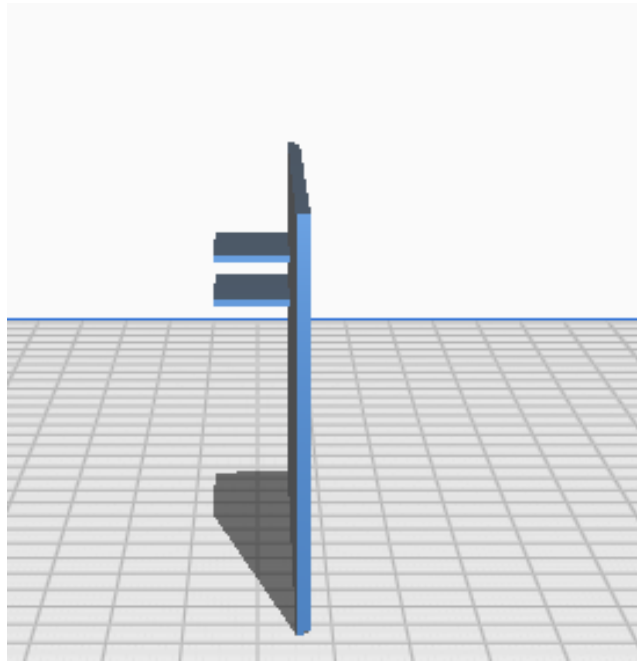
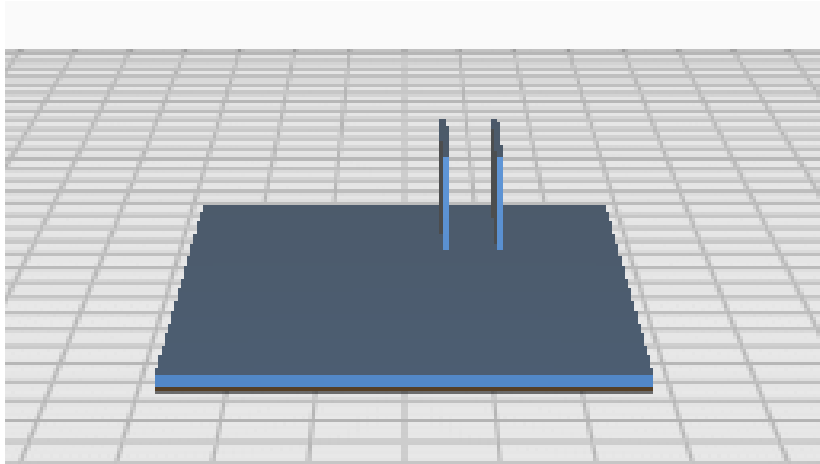
### Anexo 1. Diseños 3D del prototipo medidor de glucosa

#### 1.1. Caja del Prototipo

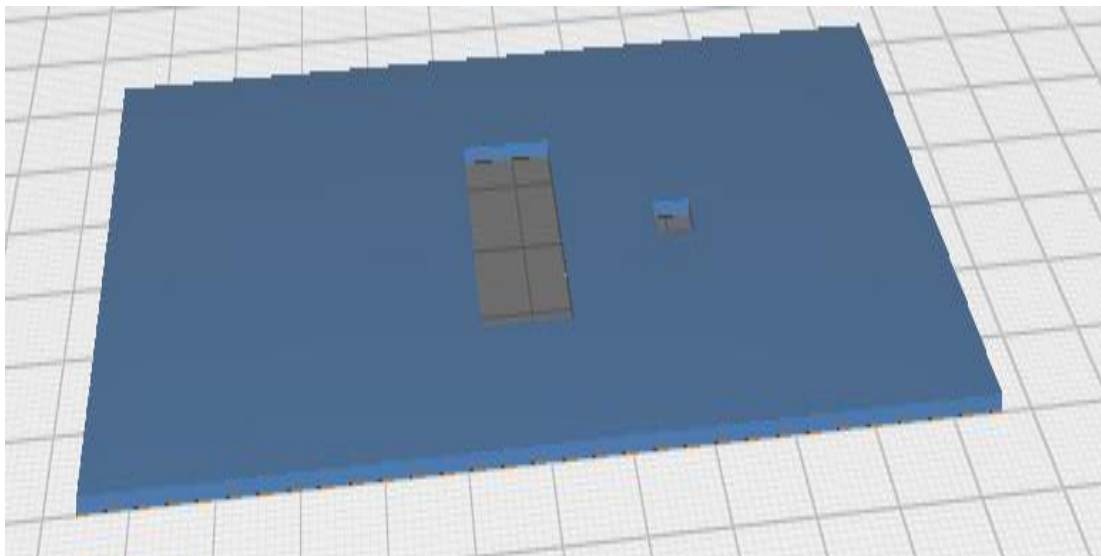


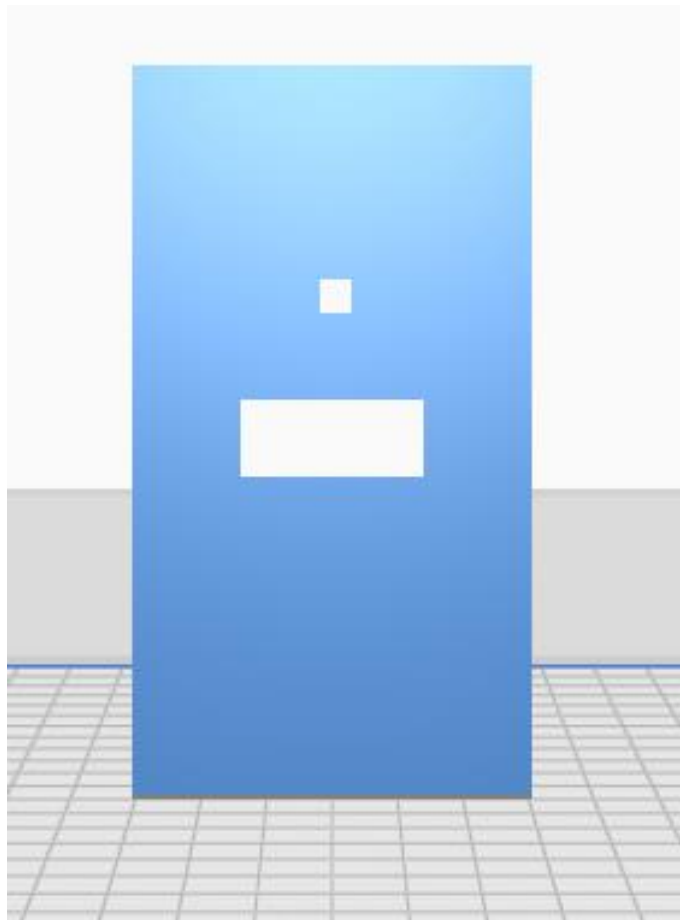
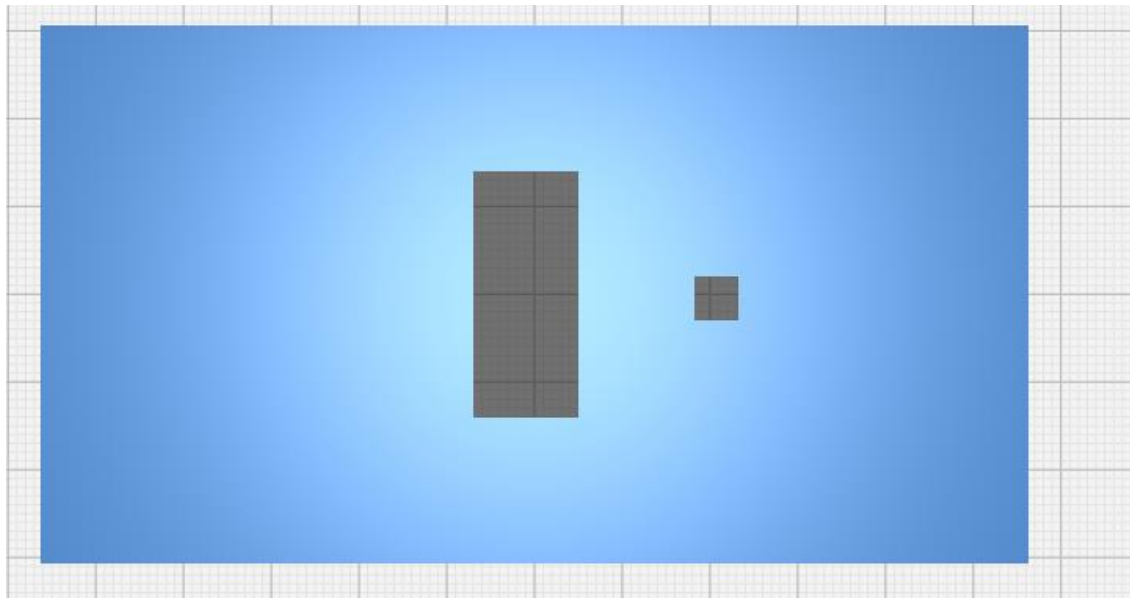
#### 1.2. Tapa lateral





### 1.3. Tapa Frontal







**Anexo 2.** Manual de usuario del prototipo medidor de glucosa

## **MANUAL DE USUARIO**

# **PROTOTIPO MEDIDOR DE GLUCOSA GLUCO SMART**



**Autor:** Jhandry Alfredo Niveló Andrade

**Estudiante CIT**

**Loja 2023-2024**

## Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	84
1.1.	Sobre este manual de usuario .....	84
1.2.	Aplicación conforme a lo prescrito .....	84
1.2.1.	Vida Útil.....	84
2.	Seguridad.....	84
2.1.	Indicaciones de Seguridad.....	84
2.2.	Indicaciones para la conservación y mantenimiento.....	85
2.3.	Instrucciones para el usuario .....	86
3.	Especificaciones Técnicas.....	86
4.	Descripción del producto .....	87
5.	Estructura y funcionamiento .....	88
5.1.	Batería .....	88
6.	Manejo por la aplicación móvil.....	90
7.	Mantenimiento y conservación .....	92

## **1. Introducción**

### **1.1. Sobre este manual de usuario**

Este manual proporciona al usuario todas las instrucciones necesarias sobre el montaje, las funciones, el manejo y el mantenimiento del prototipo inteligente diseñado para monitorear los niveles de glucosa. Está diseñado para garantizar el uso seguro y eficaz del dispositivo, así como para proporcionar orientación en caso de averías.

La información contenida en este manual es esencial para la utilización segura del prototipo. Se recomienda encarecidamente que antes de utilizar el dispositivo, se lea detenidamente todas las instrucciones proporcionadas, especialmente la sección de "Seguridad". Esto garantizará un uso adecuado del prototipo y ayudará a prevenir posibles complicaciones relacionadas con la salud.

Por lo tanto, la comprensión completa de este manual es crucial para aprovechar al máximo todas las funcionalidades y características del prototipo inteligente de monitoreo de niveles de glucosa, así como para garantizar la seguridad tanto del usuario como de quienes lo acompañan.

### **1.2. Aplicación conforme a lo prescrito**

El prototipo de monitoreo de niveles de glucosa está diseñado exclusivamente para ser utilizado individualmente por personas que necesiten controlar sus niveles de glucosa. Cualquier uso que exceda los límites establecidos se considerará inadecuado y podría causar daños al dispositivo.

Es fundamental utilizar el prototipo únicamente para su propósito previsto, es decir, para el monitoreo de los niveles de glucosa. No debe ser utilizado para otras funciones o aplicaciones que no estén relacionadas con su diseño original. Esto asegurará el rendimiento óptimo y la durabilidad del dispositivo.

#### **1.2.1. Vida Útil**


Se estima que este prototipo, sin modificaciones, tenga una vida útil de aproximadamente 5 años. Es importante tener en cuenta que esta estimación se basa en un uso normal del dispositivo. No obstante, la duración exacta puede variar según varios factores, incluido el mantenimiento adecuado y el manejo correcto.


## **2. Seguridad**


### **2.1. Indicaciones de Seguridad**


- Es fundamental utilizar este prototipo exclusivamente para su propósito previsto.

- El dispositivo se lo puede compartir, pero cada usuario debe usar una tira reactiva diferente.
- El manual de usuario debe estar disponible en todo momento y al alcance del ocupante.
- El prototipo de monitoreo de niveles de glucosa no debe ser modificado ni reparado sin la autorización y la asistencia adecuada del fabricante o personal calificado.
- No se diseñó específicamente el dispositivo para llevar en una cartera, bolsillo, etc, pero se lo puede transportar con mucho cuidado.

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Colocación inadecuada de la tira reactiva</b></p> <p>Al introducir la tira reactiva en el dispositivo, asegúrese de que esté firmemente insertada y bien ajustada. Una colocación inadecuada, donde la tira reactiva no esté correctamente insertada, puede interferir con el proceso de medición.</p>
---	--

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de caídas</b></p> <p>Al usar el prototipo para realizar mediciones, es importante tener en cuenta el riesgo de caídas. Por ello, asegúrese de mantener el dispositivo en una posición estable y firme durante el proceso de medición para prevenir cualquier accidente.</p>
--	---

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Riesgo de Sobre calentamiento</b></p> <p>Es importante tener en cuenta que los componentes del prototipo pueden calentarse si se exponen a una fuerte radiación solar o a cualquier sustancia inflamable.</p>
---	---

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Riesgo de Manipulación Inadecuada</b></p> <p>Seguir las indicaciones proporcionadas en el manual del usuario y buscar asistencia profesional en caso de dudas o problemas con el funcionamiento del dispositivo.</p>
---	--

## **2.2.Indicaciones para la conservación y mantenimiento**

- Es fundamental desconectar la batería antes de llevar a cabo cualquier tarea de mantenimiento, con el fin de evitar posibles descargas eléctricas o daños en el sistema.

- Evita limpiar el prototipo con una manguera u otro método que implique una gran cantidad de agua. Se recomienda utilizar un paño suave y ligeramente humedecido para limpiar las superficies exteriores del dispositivo.
- Es importante proteger el prototipo de golpes o impactos durante el transporte. Para ello, se recomienda utilizar un estuche o bolsa acolchada que pueda proteger el dispositivo de posibles daños.
- Almacene el prototipo en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente, manteniéndolo alejado de la luz solar directa y fuentes de calor excesivo. Esto ayudará a preservar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil.

### **2.3. Instrucciones para el usuario**

- Por favor, asegúrate de leer cuidadosamente las siguientes instrucciones antes de utilizar el prototipo.
- Lava tus manos con agua y jabón antes de manipular el prototipo y realizar la medición de glucosa.
- Verifica que el dispositivo esté completamente cargado o que tenga suficiente energía para realizar la medición.
- Retira una tira reactiva del envase sellado y asegúrate de cerrar el envase inmediatamente para evitar la contaminación de las tiras restantes.
- Conectar el prototipo mediante bluetooth por medio de la app móvil.
- Espera el tiempo necesario para que el prototipo realice la medición y muestre los resultados en la aplicación móvil.

### **3. Especificaciones Técnicas**

<b>Características Técnicas del Prototipo</b>	
Largo	11.7 cm
Ancho	6.9 cm
Alto	5.7 cm
Microcontrolador	Arduino Nano
Batería	5v
Marca tiras reactivas	One Touch Ultra Mini
Comunicación inalámbrica	Bluetooth
Peso	100 g

<b>Características Aplicación</b>	
Sistema Operativo	Android/iOS
Tamaño de Aplicación	26.6 MB
Comunicación	Bluetooth
Conexión a Internet	No

#### 4. Descripción del producto

El prototipo Gluco Smart es un dispositivo innovador diseñado para monitorear los niveles de glucosa en sangre de manera efectiva y precisa. Las características principales de este dispositivo son las siguientes:

- ✓ **Interfaz de usuario intuitiva:** Gluco Smart permite a los usuarios realizar mediciones de glucosa de manera rápida y sencilla, sin complicaciones ni problemas.
- ✓ **Mediciones Precisas:** Gluco Smart, equipado con tecnología avanzada, proporciona mediciones precisas de los niveles de glucosa en sangre, lo que lo ayuda a controlar la diabetes y otras condiciones médicas relacionadas.
- ✓ **Portabilidad:** A pesar de que el Gluco Smart no es muy pequeño, se puede llevar con cuidado, lo que permite a los usuarios llevarlo consigo para realizar mediciones en cualquier momento y lugar.
- ✓ **Conectividad Inalámbrica:** Gluco Smart puede conectarse inalámbricamente a través de bluetooth a dispositivos móviles por medio de su aplicación móvil, lo que facilita el seguimiento y la gestión de los niveles de glucosa a lo largo del tiempo.
- ✓ **Batería Recargable:** El Gluco Smart cuenta con una batería recargable que proporciona una larga duración de la energía, lo que garantiza un uso continuo y fiable del dispositivo sin la necesidad de cambiar las baterías con frecuencia.

## 5. Estructura y funcionamiento



1	Switch de encendido y apagado
2	Pulsador para realizar las mediciones
3	Pantalla oled
4	Tira Reactiva

### 5.1. Batería

La batería del prototipo se encuentra dentro de la caja y es la fuente principal de energía del sistema. La instalación de la batería se realiza de la siguiente manera:

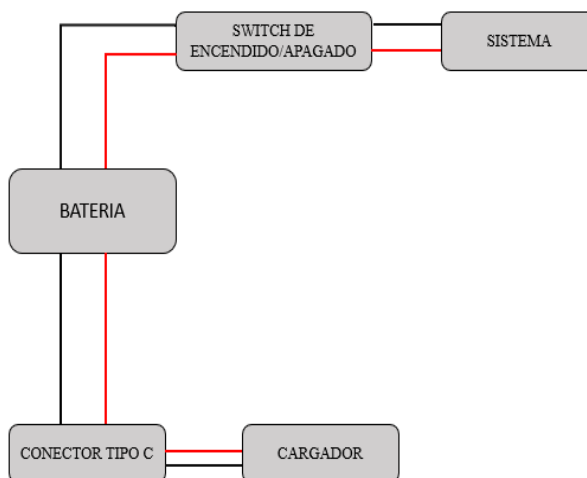
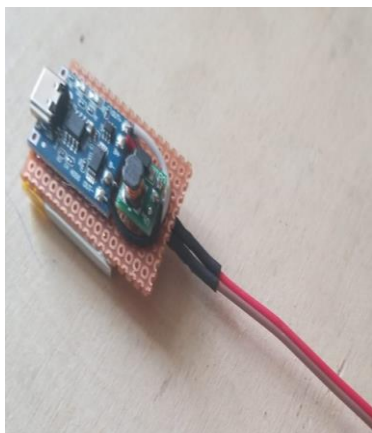
- **Descripción de los Cables:**

Dos cables medianos, uno rojo y otro negro.

Dos cables delgados, uno rojo y otro negro.

- **Conexión de los Cables:**

- ✓ Los cables medianos (rojo y negro) se conectan al interruptor de encendido y apagado dentro de la caja del dispositivo. Estos cables proporcionarán la energía necesaria para el funcionamiento del prototipo cuando el interruptor esté encendido.
- ✓ Los cables delgados (rojo y negro) se mantienen separados y se conectan al conector del cargador. Estos cables permitirán la recarga de la batería cuando sea necesario, independientemente del estado del interruptor.



### **¡ADVERTENCIA! Manipulación Inadecuada de la Batería**

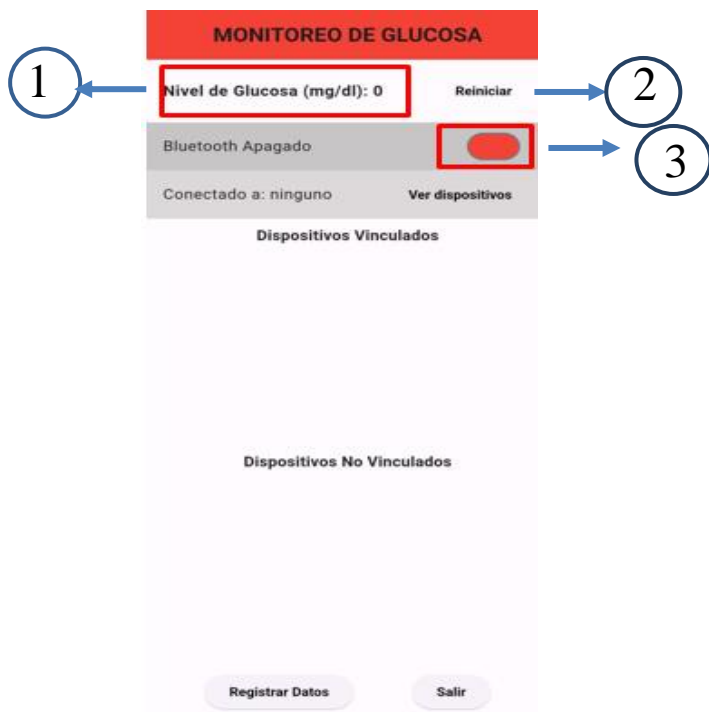
Manipule el dispositivo con cuidado para evitar dañar la batería. Evite golpes, caídas o cualquier otra situación que pueda dañar la integridad de la caja y la batería dentro de ella.

Temperatura Ambiente: Para garantizar un rendimiento óptimo de la batería y evitar daños por temperaturas extremas, utilice el Gluco Smart en un ambiente adecuado (generalmente entre 0 y 45°C).

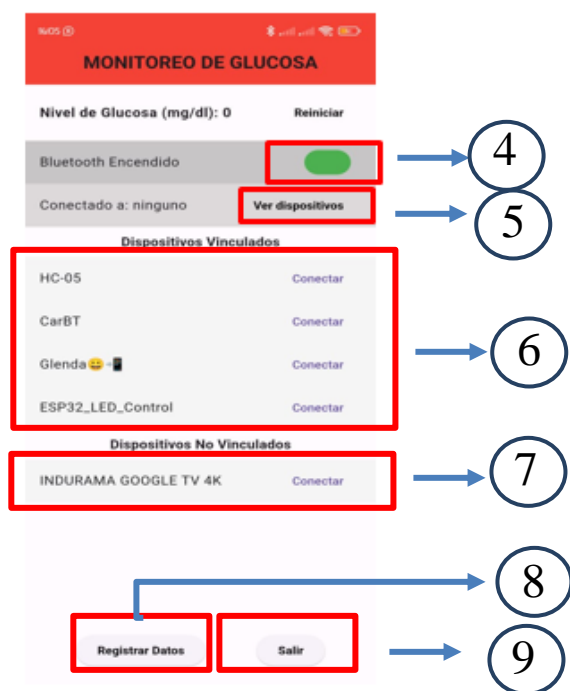
Mantenga la caja del dispositivo alejada de la humedad y del agua. La humedad puede infiltrarse en la batería, causando daños irreparables o un mal funcionamiento.



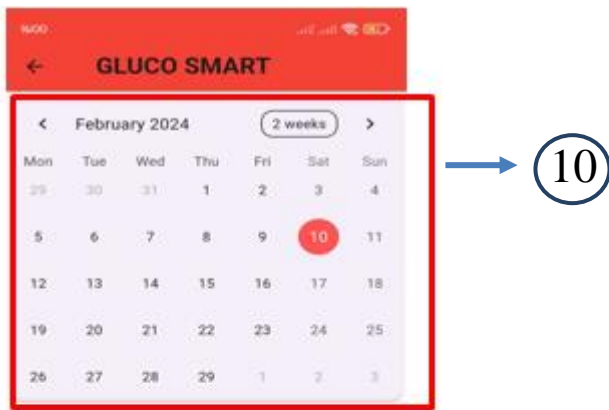
## 6. Manejo por la aplicación móvil



1. En esta sección es donde recibiremos el valor de la glucosa enviado desde nuestro prototipo.
2. Permite eliminar el valor recibido en nuestra aplicación para realizar una nueva medición posteriormente.
3. No indica si el bluetooth está apagado; si presionamos el botón, el bluetooth se encenderá.



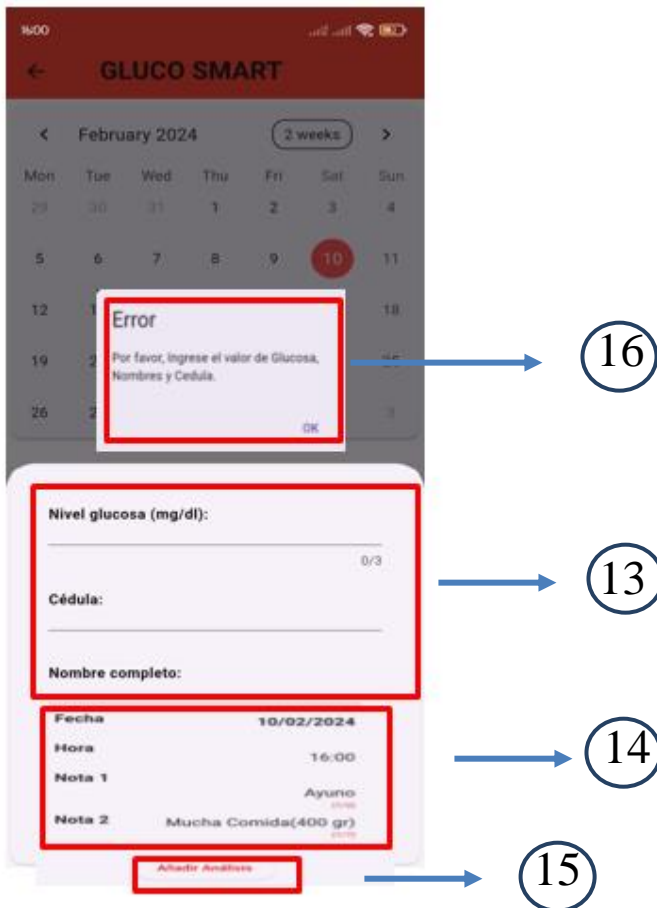
4. Al encender el bluetooth, se nos solicita activar los permisos en nuestro teléfono. Una vez que hemos otorgado dichos permisos, el icono se volverá verde, indicando que el bluetooth está activado.
5. Después, seleccionamos la opción "Ver dispositivos" y podremos observar los dispositivos previamente vinculados y no vinculados.
6. En la lista de dispositivos vinculados, siempre debemos conectarnos al dispositivo identificado como HC-05
7. Aquí se mostrarán los dispositivos no vinculados, y procedemos a conectarnos al que esté identificado como HC-05, utilizando el pin de vinculación 1234.
8. Nos permite acceder a la pantalla de registro de datos para guardar los valores de la glucosa.
9. Permite salir de la aplicación.



10. Calendario actualizado para el registro de datos disponible.

11. Si presionamos el botón sin haber escogido previamente un día del calendario, se mostrará un error, lo que indica que es necesario seleccionar primero un día del calendario.

12. El error que se visualiza al presionar el botón sin haber seleccionado un día del calendario es el siguiente: "Por favor, seleccione un día en el calendario".



13. Todos los datos deben ser completados manualmente, incluyendo la medición de la glucosa que llega a nuestro móvil, nuestros nombres y apellidos, así como la cédula.

14. En esta sección se mostrará la fecha y la hora. La primera nota indica si la medición se realizó en ayunas (antes de comer) o después de comer; para cambiar esta opción, basta con presionarla. En la segunda nota, se ofrecen siete opciones, como: mucha comida, poca comida, menstruación, hipoglucemia, entre otras.

15. Una vez completados todos los pasos anteriores, se debe pulsar el botón de "Añadir Análisis".

16. Si no se ha completado ningún dato previamente y se presiona el botón, se mostrará un mensaje de error.



17. Después de añadir el análisis, se presentará un resumen y se guardará en el día seleccionado en el calendario. Además, habrá alertas para glucosa alta o baja; el texto se mostrará en rojo para valores extremos y en negro para valores normales o medios.
18. Existe la opción de borrar el análisis realizado.
19. Este botón nos permite volver a la interfaz principal.

## 7. Mantenimiento y conservación

Para asegurar la seguridad y confiabilidad necesarias, es importante realizar periódicamente las siguientes tareas de mantenimiento, o bien, delegarlas a otra persona:

	Diario	Semanal	Mensual	Anual
Comprobación de batería			X	
Limpieza		X		
Comprobación de las conexiones	X			
Revisión de caducidad de tiras reactivas			X	
Revisión del prototipo de manera técnica				X

- **Comprobación de la Batería:**
  - ✓ Verifique que la batería esté correctamente conectada y cargada.
  - ✓ Compruebe que no se genere ningún cortocircuito.
- **Limpieza**
  - ✓ Realizar una limpieza periódica, para evitar que le entre suciedad al prototipo y pueda dañar un componente electrónico.
- **Comprobación de las conexiones**
  - ✓ Verificar que todo esté bien conectado

- ✓ Verificar siempre que la batería este cargada
- **Revisión de caducidad de tiras reactivas**
  - ✓ Revisar siempre que las tiras estén dentro de la fecha de caducidad, esto con el fin de evitar errores en las mediciones.
- **Revisión del prototipo de manera técnica**
  - ✓ Hacer una revisión técnica anual, cada año, para evitar avería en el prototipo

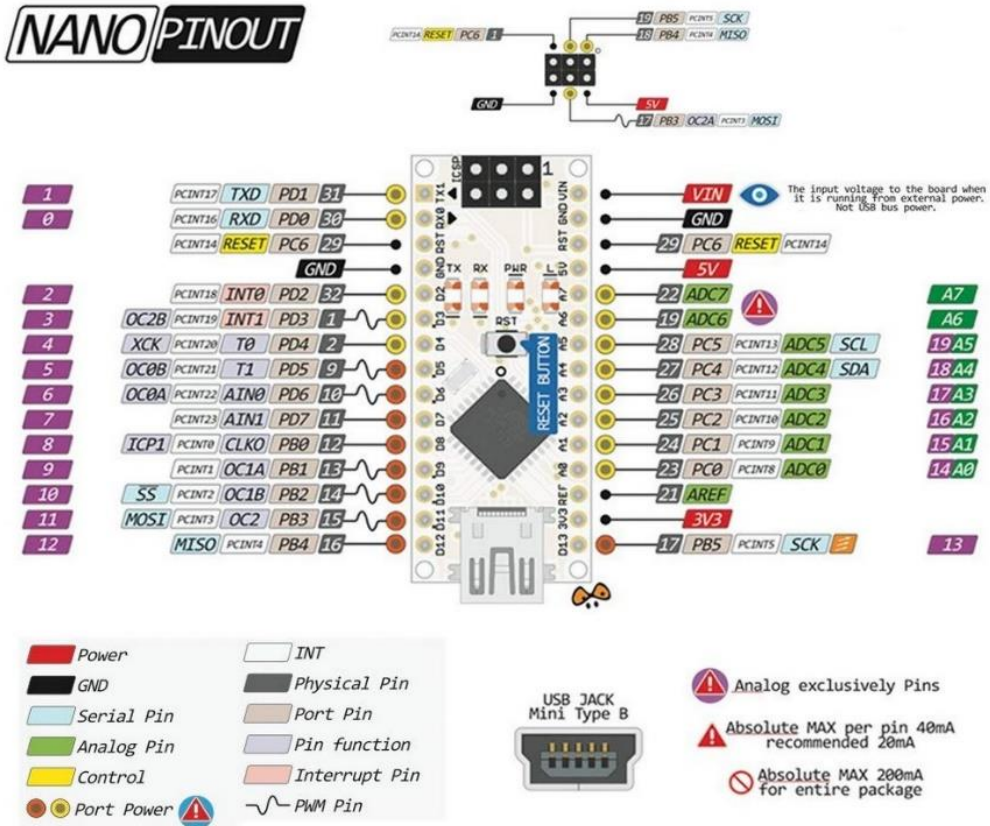
## Anexo 3. Especificaciones técnicas de los componentes electrónicos

### 3.1. Especificaciones técnicas del Arduino Nano

#### Especificaciones

Microcontrolador	ATmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de funcionamiento	5V
Memoria flash	32KB, (2 KB son usados por el bootloader)
SRAM	2 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz
Pines de entrada analógicos	8
EEPROM	1 KB
Corriente por cada pin I/O	40 mA
Voltaje de entrada	7 - 12V
Pines digitales I/O	22
Pines PWM	6
Consumo de corriente	19 mA
Tamaño de la placa	18 x 45 mm
Peso	7 g

En la siguiente figura se muestra el diagrama de pines de la placa de Arduino Nano.



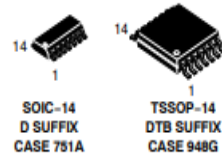
### 3.2. Especificaciones técnicas de Amplificador Operacional Cuádruple



DATA SHEET  
www.onsemi.com

## Single Supply Quad Operational Amplifiers

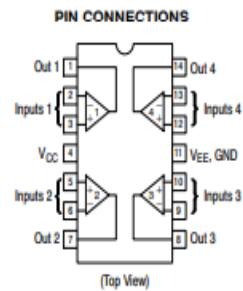
### LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902



The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

#### Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



**ORDERING INFORMATION**  
See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

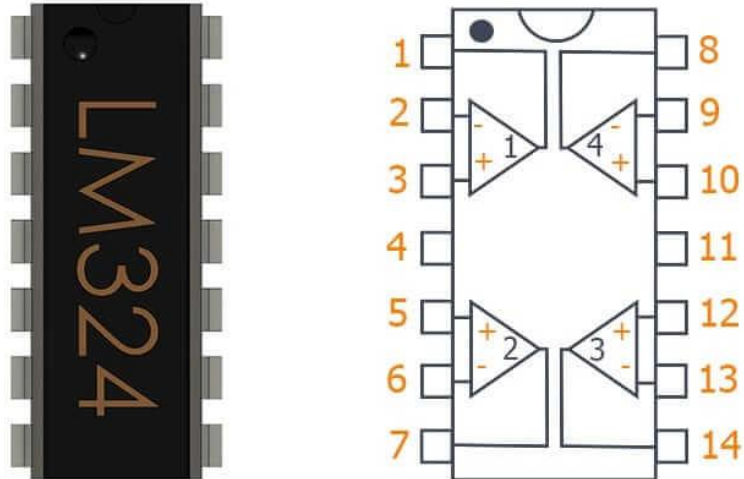
**DEVICE MARKING INFORMATION**  
See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

#### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit	
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V <sub>CC</sub> V <sub>CC</sub> , V <sub>EE</sub>	32 ±16	Vdc	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V <sub>IDR</sub>	±32	Vdc	
Input Common Mode Voltage Range	V <sub>ICR</sub>	-0.3 to 32	Vdc	
Output Short Circuit Duration	t <sub>SC</sub>	Continuous		
Junction Temperature	T <sub>J</sub>	150	°C	
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 2)	R <sub>θJA</sub>	Case 646 Case 751A Case 948G	118 156 190	°C/W
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +150	°C	
Operating Ambient Temperature Range	T <sub>A</sub>	LM224 LM324, LM324A, LM324E LM2902, LM2902E LM2902V, NCV2902 (Note 3)	-25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	°C

En la siguiente figura se muestra el diagrama de pines del amplificador LM324.

## AMPLIFICADOR OPERACIONAL CUADRUPLE LM324



PINOUT LM324	
1. OUT 1	8. OUT 3
2. - INPUTS 1	9. - INPUTS 3
3. + INPUTS 1	10. + INPUTS 3
4. VCC	11. VEE , GND
5. + INPUTS 2	12. + INPUTS 4
6. - INPUTS 2	13. - INPUTS 4
7. OUT 2	14. OUT 4



### 3.3. Especificaciones técnicas del Módulo Bluetooth HC-05

## Specifications

### Hardware features

- Typical -80dBm sensitivity.
- Up to +4dBm RF transmit power.
- Low Power 1.8V Operation, 3.3 to 5 V I/O.
- PIO control.
- UART interface with programmable baud rate.
- With integrated antenna.
- With edge connector.

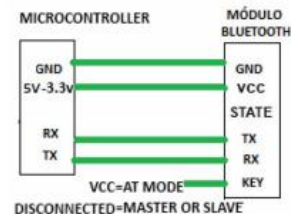
### Software features

- Slave default Baud rate: 9600, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity.
- PIO9 and PIO8 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing **PINCODE:"1234"** as default.
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

### Pin out configuration



### Typical Application Circuit



### 3.3. Especificaciones técnicas de la Pantalla Oled

Item	Dimension	Unit
Dot Matrix	128 x 64 Dots	—
Module dimension	27.30 x 27.30 x 2.37	mm
Active Area	21.74 x 10.86	mm
Pixel Size	0.148 x 0.148	mm
Pixel Pitch	0.17 x 0.17	mm
Display Mode	Passive Matrix	
Display Color	Monochrome	
Drive Duty	1/64 Duty	
IC	SSD1306	
Interface	I2C	
Size	0.96 inch	

#### Interface Pin Function

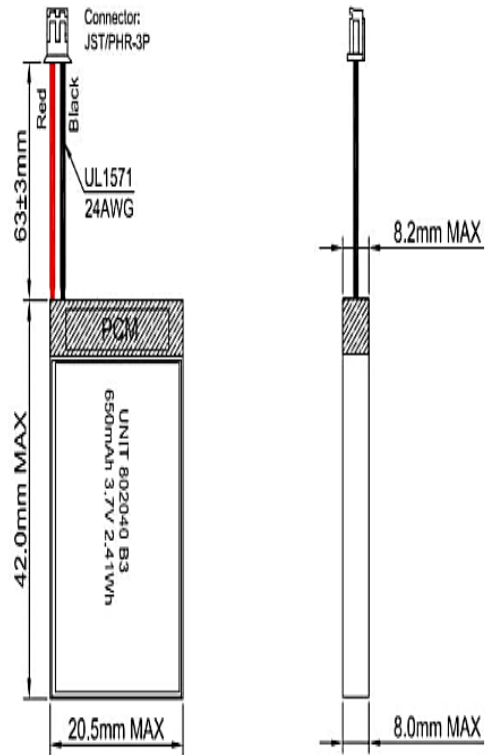
No.	Symbol	Function
1	VCC	Power supply input: 2.8 – 5.2V
2	GND	Ground
3	SCL	The serial clock input.
4	SDA	The serial data input/output.

#### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage for Logic	VCC	1.65	5.5	V
Operating Temperature	TOP	-40	+80	°C
Storage Temperature	TSTG	-40	+85	°C

### 3.4. Especificaciones Técnicas de la Batería Lipo Litio 5V

- Marca: UNIT Electronics
- Modelo: 802040 B1
- Capacidad: 650mAh
- Potencia: 2.41 Wh
- Dimensiones: 40mmx20mmx8.0mm
- Número de celdas: 1
- Voltaje
  - Nominal: 3.7V DC
  - Detección de Sobrecarga :  $4.28 \pm 0.025$  V
  - Detección de Sobre descarga :  $3 \pm 0.05$  V
- Limite de máxima carga de corriente:
  - Pico: 1.3 A
  - Constante: 0.65A
- Impedancia Interna: 220 m $\Omega$
- Ciclos de vida:  $\geq 800$
- Conector: JST PHR-2 Pitch 2mm
- Longitud de cable: 63mm
- Temperatura
  - Carga:  $0^{\circ}\text{C} / +45^{\circ}\text{C}$
  - Descarga:  $-20^{\circ}\text{C} / +60^{\circ}\text{C}$
  - Humedad:  $65 \pm 20\%$
  - Almacenamiento:  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$



### 3.5. Especificaciones técnicas del módulo TP4056

## Especificaciones:

Módulo de carga tipo lineal

Corriente: 1A. Puede ser variable cambiando la resistencia.

Carga precisión: 1.5%

Voltaje de entrada: 4.5 V a 5.5 V

Tensión de carga completa: 4.2 V

Indicador LED: Rojo (carga en curso), Verde o Azul (carga finalizada).

Interfaz de entrada: Mini USB (no incluye cable)

Temperatura de trabajo: -10 ° C a 85 ° C

Polaridad invertida: NO

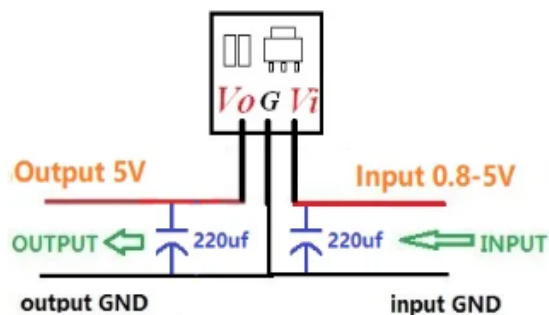
Tamaño de 1 unidad: 28 mm \* 19 mm \* 6 mm

### 3.6. Especificaciones técnicas del módulo HW 626

1. Voltaje de entrada: 0,9-5V; Voltaje de salida: 5V
2. Corriente de salida máxima: 480mA
3. Voltaje de arranque: 0,8 V; Corriente de salida: 7mA
4. Voltaje de entrada: 1-1,5 V; 5V voltaje de salida; Corriente 40-100mA
5. Voltaje de entrada: 1,5-2V; 5V voltaje de salida; Corriente 100-150mA
6. Voltaje de entrada: 2-3V; 5V voltaje de salida; Corriente 150-380mA
7. Voltaje de entrada: >3V; 5V voltaje de salida; Corriente 380-480mA
8. Frecuencia de funcionamiento: 150KHz
9. Eficiencia de conversión típica: 85%
10. Espacio Pin: 2,54mm
11. Tamaño: 11\*10,5\*7,5mm

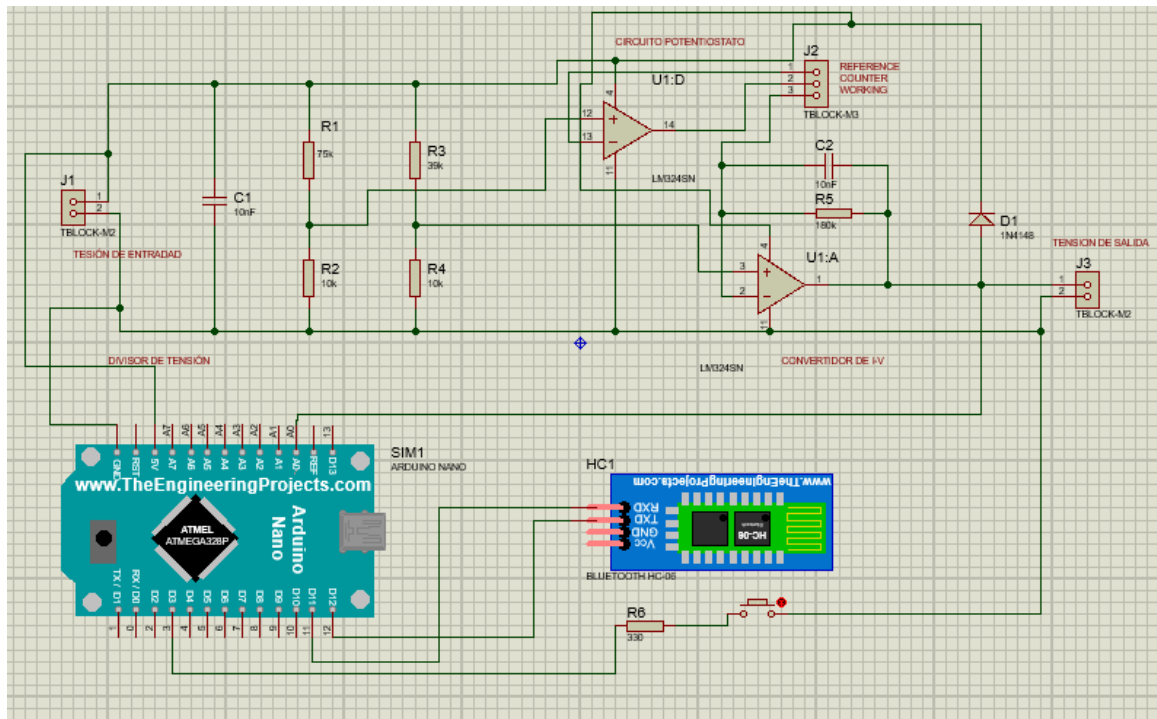
Aviso:

1. El voltaje de entrada no debe ser más que el voltaje nominal, o el módulo se quemará
  2. La potencia de entrada debe superar la potencia de salida, o el voltaje de salida será menor que el voltaje nominal
  3. La carga de salida no debe ser mayor que la carga nominal, o el voltaje de salida será menor que el voltaje nominal
- Imagen de conexión:

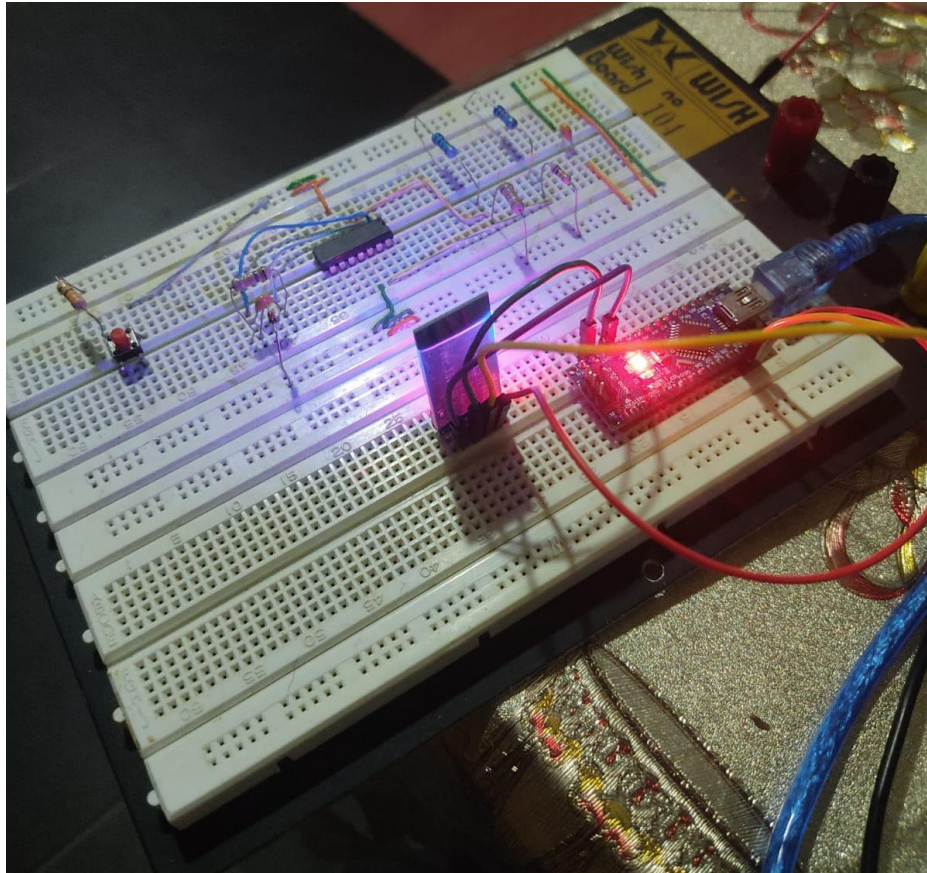


## Anexo 4. Construcción del prototipo

### Creación en proteus

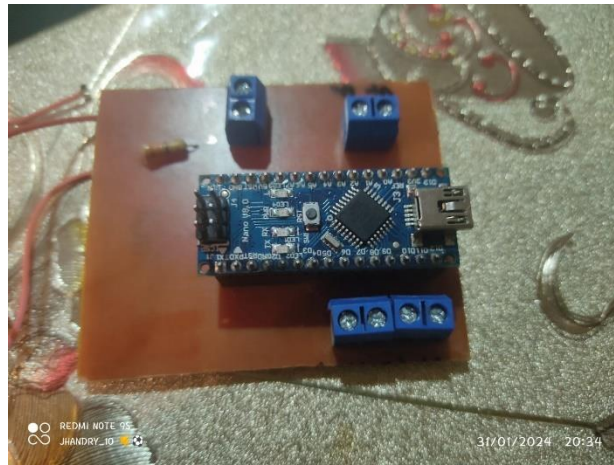


### Implantación en Protoboard

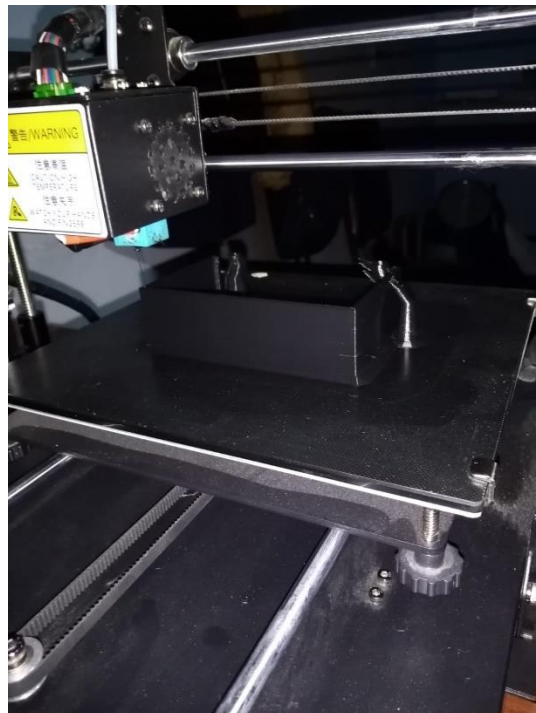
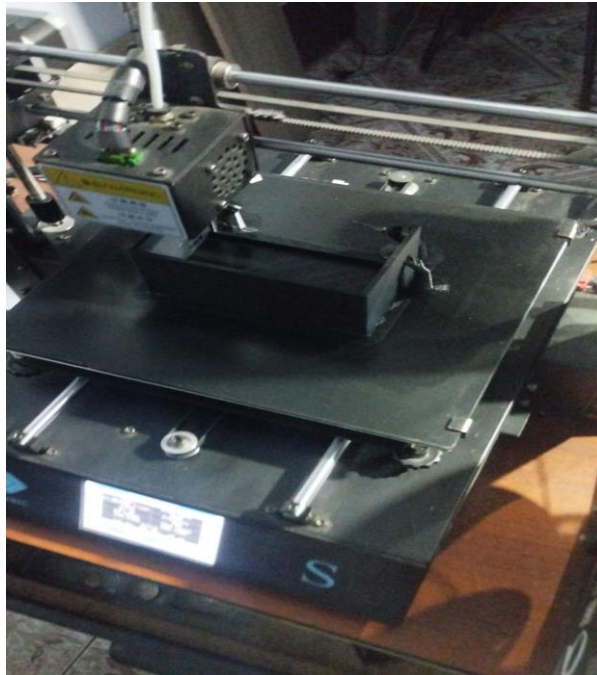




## Creación de las PCB

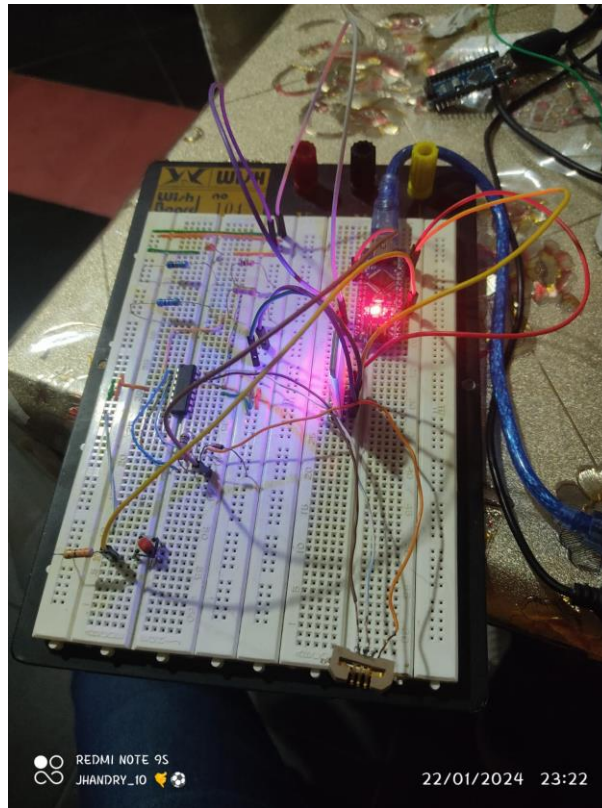


## Diseño de la caja del prototipo



## Anexo 5. Prueba de funcionamiento

### Circuito de Prueba



### Valores obtenidos

```
20:16:42.907 -> Tension actual: 2.89
20:16:42.907 -> conInt: 1
20:16:43.033 -> conInt: 2
20:16:43.247 -> conInt: 3
20:16:43.451 -> conInt: 4
20:16:43.636 -> conInt: 5
20:16:43.843 -> conInt: 6
20:16:44.029 -> conInt: 7
20:16:44.247 -> conInt: 8
20:16:44.463 -> conInt: 9
20:16:44.634 -> conInt: 10
20:16:44.840 -> conInt: 11
20:16:44.883 -> 1.74
20:16:44.883 -> 1.75
20:16:44.883 -> 1.76
20:16:44.883 -> 1.77
20:16:44.883 -> 1.83
20:16:44.883 -> 1.91
20:16:44.883 -> 1.96
20:16:44.928 -> 1.98
20:16:44.928 -> 2.00
20:16:44.928 -> 2.01
20:16:44.928 -> Tiempo: 1989
20:16:44.968 -> V: 1.87
20:16:44.968 -> Valor glucosa: 123
20:16:44.968 -> Encienda glucometro
```



## Anexo 6. Código de Arduino

```
//LIBRERIAS UTILIZADAS //
#include <TimerOne.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
SoftwareSerial MYBT(10, 11); //RX TX // Inicialización de un objeto SoftwareSerial para la comunicación Bluetooth en pines 10 (RX) y 11 (TX)

// Variables para procesar el valor de la glucosa
float Muestrasglucosa[10]; // Array que almacena 10 muestras de glucosa
float Sen_glucosa = 0; // Variable que almacena la lectura actual del sensor de glucosa
float VMG = 0; // Variable que almacena el valor medio de la glucosa
float VT2 = 0; // Variable que almacena el valor al cuadrado
float val_glucosa = 0; // Variable que almacena el valor calculado de la glucosa
int pin_Glucosa = 0; // Pin al que está conectado el sensor de glucosa

// Variables para la gestión de interrupciones
boolean START = false; // Indicador para iniciar la medición
int conteo = 0; // Contador para el tiempo de interrupción
boolean timerON = false; // Indicador del estado del temporizador

// Variables para el cálculo del tiempo
unsigned long tBegin, tEnd;

// PANTALLA OLED
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
```

```
#define OLED_RESET 4
//Adafruit_SH1106 display(OLED_RESET);
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
//iconos de la pantalla oled
void drawBatteryIcon(int x, int y, int width, int height, int borderWidth);
void drawBloodDrop(int x, int y, int size);
const unsigned char bloodDrop[] PROGMEM = {
  B00011000,
  B00111100,
  B01111110,
  B11111111,
  B11111111,
  B01111110,
  B00111100,
  B00011000,
};

// CONFIGURACIÓN //
void setup() {
  Timer1.initialize(200000); // Inicialización del temporizador para interrupciones cada 200 ms
  Timer1.attachInterrupt(ISR_Timer); // Asociación de la interrupción con el método ISR_Timer
  Timer1.stop(); // Detención inicial del temporizador
  attachInterrupt(1, START_MEASURE, FALLING); // Configuración de la interrupción del pulsador que llama a START_MEASURE
  pinMode(Sen_glucosa, INPUT); // Configuración del pin del sensor de glucosa como entrada
  MYBT.begin(9600); // Inicialización de la comunicación Bluetooth
  Serial.begin(9600); // Inicialización de la comunicación serial para depuración
```

```

display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
delay(2000);
display.clearDisplay();
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
}

// INTERRUPTIÓN TEMPORIZADOR 200 MS //
void ISR_Timer() {
  conteo++; // Se cuenta las veces que pasan 200 ms
  Serial.print("Contador: ");
  Serial.println(conteo);
}

// INTERRUPTIÓN PULSADOR //
void START_MEASURE() {
  START = true;
  //Serial.println("START TRUE");
}

// DETECCIÓN DE PICO TENSIÓN Y TEMPORIZADOR 2 SEGUNDOS //
void loop() {

  ///PANTALLA OLED ///
  display.clearDisplay(); // limpia pantalla
  // Dibuja rectángulo central en la pantalla
  display.drawRect(20, 20, 93, 44, WHITE);

```

```

// Dibuja el texto "GLUCO"
display.setTextSize(2); // establece tamaño de texto en 2
display.setTextColor(WHITE); // establece color al único disponible (pantalla monocroma)
display.setCursor(27, 32); // ubica cursor en coordenadas 28,34
display.print("GLUCO");
// Dibuja el texto "SMART"
display.setCursor(32, 48); // ubica cursor en coordenadas 28,48 (ajustado para estar más arriba)
display.print("SMART");
// Dibuja la gota de sangre al lado del texto
// Alterna entre mostrar y ocultar la gota de sangre en intervalos de 1 segundo
if (millis() % 2000 < 1000) {
  drawBloodDrop(90, 32);
}

// Dibuja el icono de la batería en la parte superior izquierda
drawBatteryIcon(0, 0, 20, 10, 1);
display.display(); // muestra en pantalla todo lo establecido anteriormente

////////////////////////////////PROCESO DE GLUCOSA////////////////////////////////////////
if (START == true) {
  if (conteo == 0) {
    // Tensión antes de aplicar sangre
    Sen_glucosa = analogRead(pin_Glucosa);
    Sen_glucosa = (Sen_glucosa / 1023 * 5); // 1023 se utiliza como el valor máximo posible de una lectura analógica en un pin en Arduino y voltaje de entrada

```

```

Serial.print("Tension actual: ");
Serial.println(Sen_glucosa);

// Se detecta pico de tensión
if (Sen_glucosa > 2) {
  if (timerON == false) {
    conteo = 0;
    Timer1.start(); // Temporizador encendido
    tBegin = millis();
    timerON = true;
  }
  if (conteo == 11) { // Han pasado 2 segundos
    Timer1.stop();
    tEnd = millis();
    conteo = 0;
    noInterrupts(); // Se deshabilita interrupciones para el cálculo de la glucosa
    calculoglucosa();
  }
}
}

// MÉTODO DE CÁLCULO DEL VALOR DE GLUCOSA //
void calculoglucosa() {
  // Cálculo de la tensión
  for (int g = 0; g < 10; g++) {

```

```

timerON = false;
interrupts();
Timer1.stop();
Serial.println("Encienda glucometro"); // volvemos al bucle principal

// CREACION DE ICONOS

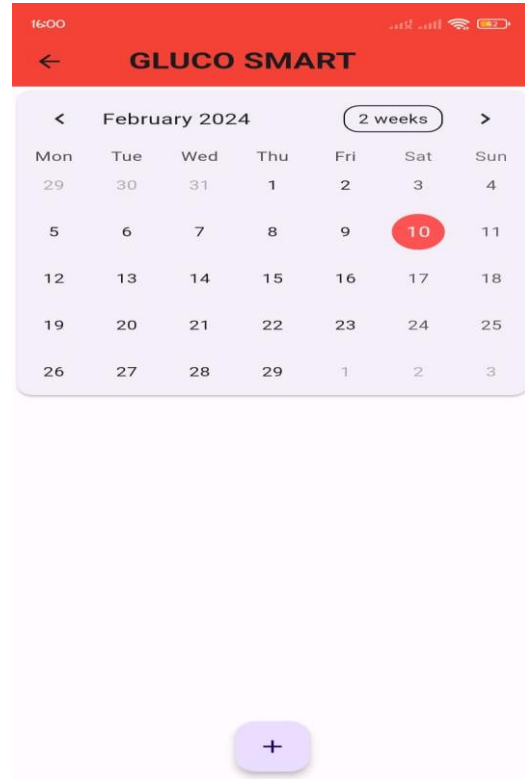
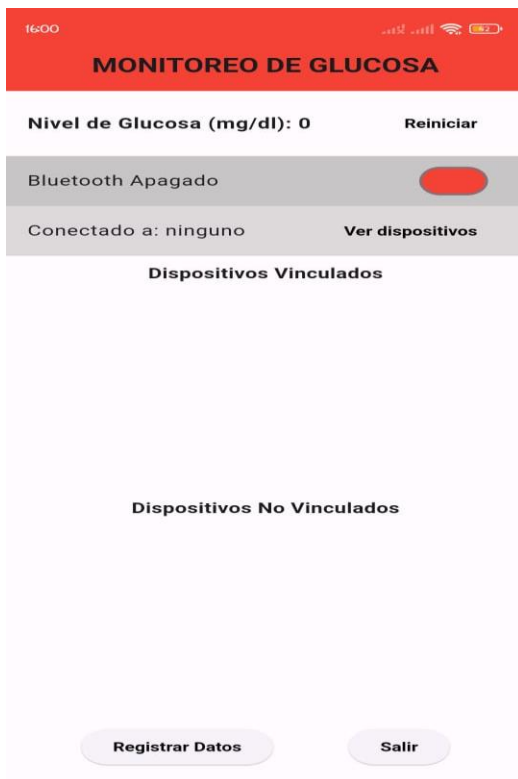
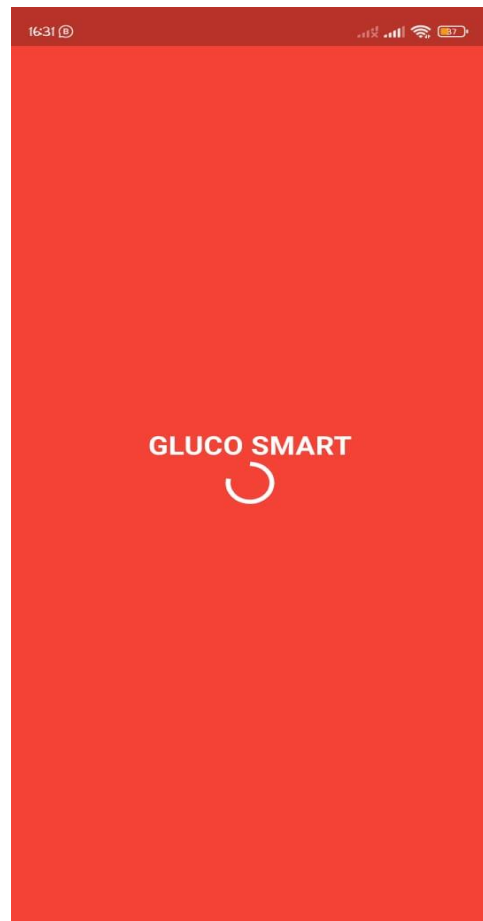
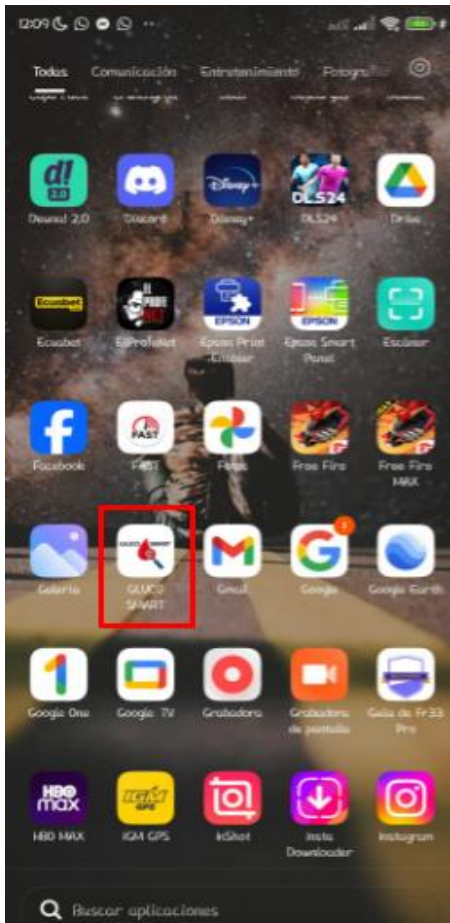
void drawBatteryIcon(int x, int y, int width, int height, int borderWidth) {
  // Dibuja el contorno del icono de la batería
  display.drawRect(x, y, width, height, WHITE);

  // Dibuja el nivel de la batería (relleno)
  int batteryLevel = 90; // Puedes ajustar este valor según el nivel de la batería
  int fillWidth = map(batteryLevel, 0, 100, 0, width - 2 * borderWidth);
  display.fillRect(x + borderWidth, y + borderWidth, fillWidth, height - 2 * borderWidth, WHITE);
}

void drawBloodDrop(int x, int y) {
  // Dibuja la gota de sangre usando la matriz de bytes
  display.drawBitmap(x, y, bloodDrop, 8, 6, WHITE);
}

```

## Anexo 7. Interfaz gráfica del aplicativo móvil





**Anexo 8. Prototipo final**



## Anexo 9. Pruebas de funcionamiento del prototipo







20:25 2500

### MONITOREO DE GLUCOSA

### GLUCO SMART

Nivel de Glucosa (mg/dl): **109** Reiniciar

Bluetooth Encendido Green Toggle

Conectado a: HC-05 Desconectar

#### Dispositivos Vinculados

- HC-05 Conectar
- CarBT Conectar
- Glenda 😊 📱 Conectar
- ESP32\_LED\_Control Conectar

#### Dispositivos No Vinculados

2 weeks

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	<b>18</b>
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	1	2	3

**109 mg/dl**

20:26

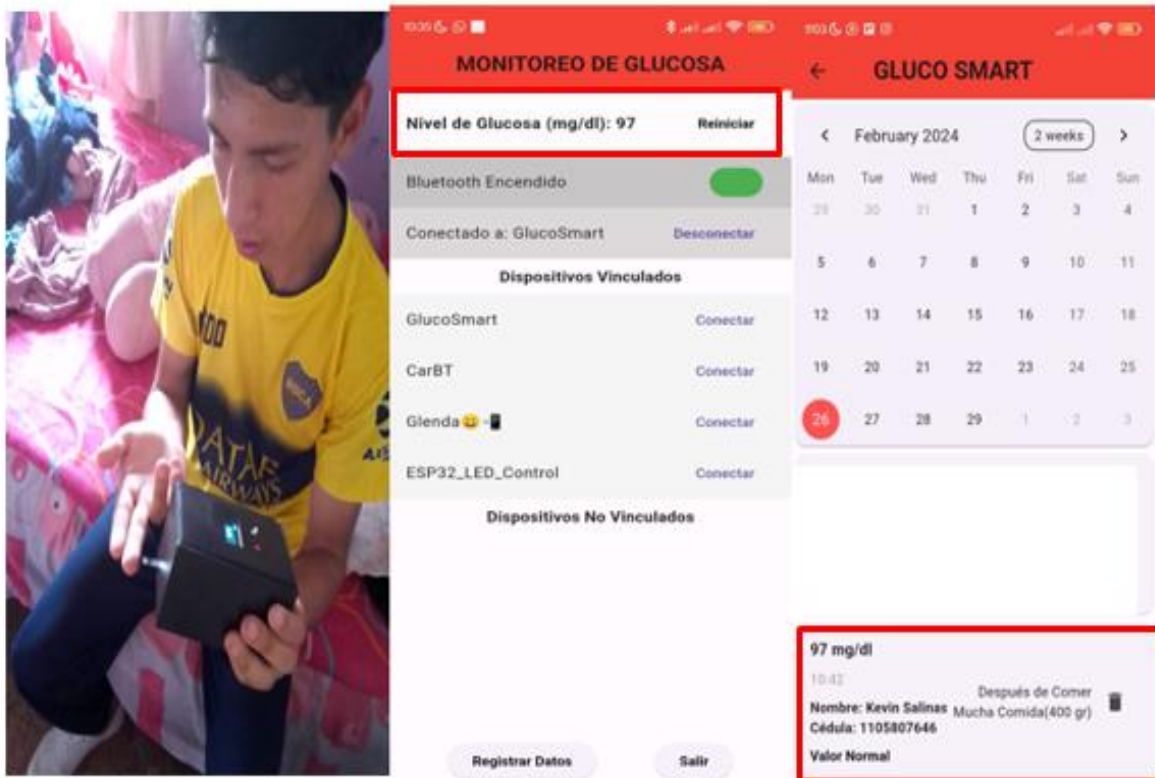
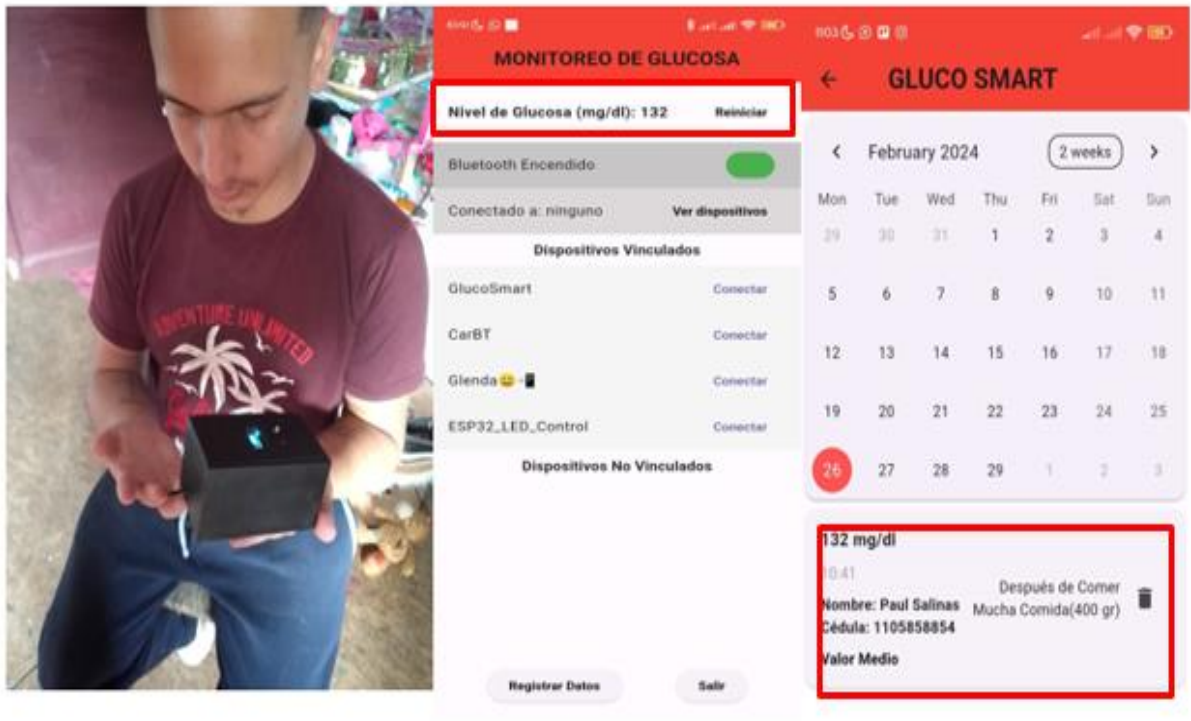
Nombre: Jorge Niveló Ayuno

Cédula: 1103045546 Poca Comida(200 gr)

Valor Normal

Registrar Datos Salir +







11:44 5G 100%  
← **GLUCO SMART**

< February 2024 2 weeks >

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	1	2	3

**97 mg/dl**  
10:42 Después de Comer  
Nombre: Kevin Salinas Mucha Comida(400 gr)  
Cédula: 1105807646  
Valor Normal

**121 mg/dl**  
10:47 Después de Comer  
Nombre: Liana Romero Poca Comida(200 gr)  
Cédula: 1104234156  
Valor Normal

+







**Anexo 10.** Certificación del Prototipo realizada por el Hospital Isidro Ayora



Ministerio  
de Salud Pública

HOSPITAL GENERAL ISIDRO AYORA  
ENDOCRINOLOGÍA-Consulta Externa

Loja, 23 de Febrero del 2024

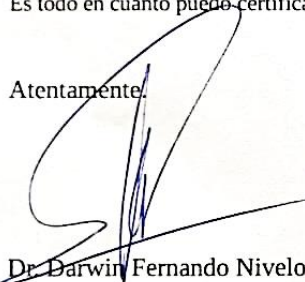
**Dr. Darwin Fernando Niveló**  
**MÉDICO TRATANTE DE ENDOCRINOLOGÍA DEL HIAL**

CERTIFICA:

Después de realizada la observación y prueba del dispositivo pototipo (GLUCOSMART), puedo certificar que cumple con las medidas adecuadas para la determinación de glucosa, por cuanto se recomienda su utilización para el control y monitoreo para pacientes con diabetes contribuyendo así al mejor control metabólico de DIABETES MELLITUS TIPO2.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad para los fines correspondientes

Atentamente,

  
Dr. Darwin Fernando Niveló .  
**Especialista en Endocrinología del HIAL.**

Dr. Darwin Niveló S.  
ENDOCRINOLOGO  
SENESCYT: 0014R-15-27173  
INIRAT: 11-03-56 28-30



Avenida Manuel Aguirre y Juan José Samaniego

Teléfono: 2570540 ext. 7316

<http://instituciones.msp.gob.ec/dps/loja/>

## Anexo 11. Certificación de aprobación del Trabajo de Integración Curricular



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF

### CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Campoverde Ramirez Christian Hernan**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO INTELIGENTE MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS EMBEBIDOS, TECNOLOGÍA INALÁMBRICA Y APLICACIÓN MÓVIL PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE GLUCOSA"**, perteneciente al estudiante **JHANDRY ALFREDO NIVEL ANDRADE**, con cédula de identidad N° **1104998768**.

#### Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las Instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 8 de Marzo de 2024



CHRISTIAN HERNAN  
CAMPVERDE RAMIREZ

F)

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR

## Anexo 12. Certificación de traducción del resumen

Loja, 13 de marzo de 2024

Lic.

Juliana Carolina Maza Valladares.

**DOCENTE DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN MINEDUC**

A petición del interesado:

**Certifica:**

Que, según lo solicitado por el egresado de la Carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Loja Sr. **Jhandry Alfredo Niveló Andrade**, con cédula de ciudadanía No. **1104998768**, cuyo tema de investigación se denomina **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO INTELIGENTE MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS EMBEBIDOS, TECNOLOGÍA INALÁMBRICA Y APLICACIÓN MÓVIL PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE GLUCOSA"**, el apartado de Resumen se tradujo del idioma español al inglés y que, es una traducción correcta de acuerdo a los documentos originales.

Así lo certifico, en base a la formación de grado en la Enseñanza del Inglés como lengua extranjera, facultando al portador del presente documento hacer el uso legal pertinente

Atentamente



Lic. Juliana Carolina Maza Valladares

CI:1104899933

**Docente del Ministerio de Educación MINEDUC**

Registros SENESCYT: 1008-2016-1770566