



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**DISPOSITIVO ELECTRÓNICO NO INVASIVO PARA LA MEDICIÓN DE  
NIVELES DE GLUCOSA EN LA SANGRE**

---

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

**ÁREA:** Física y electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas electrónicos

**AUTOR:** Dennis Iván Miño Altamirano

**TUTOR:** Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

**marzo - 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO NO INVASIVO PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE GLUCOSA EN LA SANGRE**, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Dennis Iván Miño Altamirano, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo

Ambato, marzo 2022

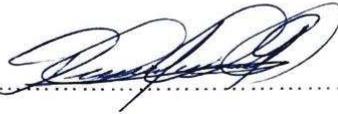
.....  
Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg.

**TUTOR**

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: DISPOSITIVO ELECTRÓNICO NO INVASIVO PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE GLUCOSA EN LA SANGRE, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2022



Dennis Ivan Miño Altamirano

C.C. 1804907242

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Dennis Ivan Miño Altamirano, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO NO INVASIVO PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE GLUCOSA EN LA SANGRE**, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2022

.....  
Ing. Pilar Urrutia, Mg.

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

.....  
Dra. Martha Esperanza Sevilla Abarca

**PROFESOR CALIFICADOR**

.....  
Ing. Mario Geovanny García Carrillo

**PROFESOR CALIFICADOR**

## DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, marzo 2022



Dennis Ivan Miño Altamirano

C.C. 1804907242

AUTOR

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente Dios por darme las fuerzas y la capacidad intelectual que me ha sido dada.

A mis padres por ser quienes me guían día a día con su apoyo y sus consejos que a día de hoy puedo agradecerles de ser quien soy.

A mi esposa e hijo, motor de mi vida y quienes han hecho que paso a paso pueda lograr las metas que me he propuesto en mi vida.

Dennis Ivan Miño Altamirano.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a mi familia quienes han hecho posible para pueda realizar mi carrera profesional y logre mis metas propuestas.

A la Universidad Técnica de Ambato, por ser la institución en donde pude adquirir mis conocimientos y logré desarrollar mis capacidades académicas con satisfacción.

A mi tutora Ing. Paulina Ayala quien me ha guiado en la elaboración de mi trabajo investigativo, además de guiarme en el transcurso de mi carrera universitaria con su labor de docente.

Dennis Ivan Miño Altamirano.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEORICO.....	1
1.1    Antecedentes investigativos .....	1
1.2    Contextualización del problema.....	3

1.3	Fundamentación teórica.....	5
1.3.1	La glucosa y sus complicaciones .....	5
1.3.2	Diabetes Mellitus .....	6
1.3.3	Glucómetro.....	8
1.3.4	Glucómetro invasivo .....	9
1.3.5	Glucómetro no invasivo .....	9
1.3.6	Espectroscopía.....	9
1.3.7	La luz infrarroja y su interacción con los tejidos .....	10
1.3.8	Principio de los ultrasonidos .....	11
1.3.9	Normas ISO 15197:2015.....	12
1.3.10	Hardware libre.....	12
1.3.11	Software libre .....	12
1.3.12	Sistema de control .....	12
1.3.13	Placas de control y microprocesadores .....	13
1.4	Objetivos.....	14
1.4.1	Objetivo General .....	14
1.4.2	Objetivos Específicos.....	14
2	CAPITULO II .....	15

METODOLOGÍA .....	15
2.1 Materiales .....	15
2.2 Métodos .....	18
2.2.1 Modalidad de la investigación .....	18
2.2.2 Recolección de información.....	19
2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos .....	21
2.2.4 Desarrollo del proyecto .....	21
3 CAPÍTULO III.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	23
3.1.1 Análisis de Factibilidad.....	23
3.2 Desarrollo de la propuesta.....	24
3.2.1 Requerimientos del Dispositivo .....	24
3.2.2 Diagrama de bloques del Dispositivo .....	24
3.2.3 Selección de los elementos para el desarrollo del dispositivo .....	25
3.2.4 Fuente de voltaje .....	26
3.2.5 Sensor infrarrojo.....	27
3.2.6 Sensor ultrasónico .....	28

3.2.7	Circuito de adecuación de señal.....	29
3.2.8	Tarjeta electrónica.....	30
3.2.9	Tarjeta inalámbrica.....	32
3.2.10	Pantalla de visualización de datos.....	34
3.2.11	Case del dispositivo.....	34
3.2.12	Diseño e implementación del dispositivo .....	35
3.3	Resultados.....	53
3.4	Presupuesto.....	77
CAPÍTULO IV.....		79
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
4.1	Conclusiones.....	79
4.2	Recomendaciones.....	80
5	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	81
6	Referencias.....	81
7	ANEXOS.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 1. Otros tipos específicos de diabetes mellitus .....	7
Tabla 3. Placas de control y microcontroladores .....	13
Tabla 4. Materiales utilizados .....	15
Tabla 5. Población del Centro Médico MediFamilia .....	20
Tabla 6. Características de la fuente de voltaje.....	26
Tabla 7. Especificaciones de los diodos IR 3mm .....	27
Tabla 8. Sensores Ultrasónicos - características .....	28
Tabla 9. Amplificadores Operacionales comerciales.....	30
Tabla 10. Tipos de Arduino .....	31
Tabla 11. Tipos de Tarjeta inalámbrica.....	33
Tabla 12. Mediciones del Paciente 1.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 13. Mediciones del paciente 2.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 14. Mediciones del paciente 3.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 15. Mediciones del paciente 4.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 16. Mediciones del paciente 5.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Tabla 17. Mediciones del paciente 6.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 18. Mediciones del paciente 7.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 19. Mediciones del paciente 8.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 20. Variación total del dispositivo electrónico no invasivo;	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 21. Presupuesto del Dispositivo .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Glucómetro, kit de lancetas y reactivos .....	8
Figura 2. Glucómetro no invasivo.....	9
Figura 3. Espectroscopia .....	10
Figura 4. Diagrama de bloques del circuito .....	25
Figura 5. Pantalla LCD 16X2.....	34
Figura 6. Case.....	35
Figura 7. Pruebas del sensor Infrarrojo .....	36
Figura 8. Circuito emisor IR .....	37
Figura 9. Espectro de emisión del sensor HC-SR04 .....	38
Figura 10. Ángulo de Emisión Sensor HC-SR04.....	38
Figura 11. Amplificador de Transimpedancia .....	39
Figura 12. Filtro pasa banda.....	40
Figura 13. Amplificador No inversor.....	41
Figura 14. Esquema general del circuito de acondicionamiento.....	42
Figura 15. Onda cuadrada de 1Hz.....	43
Figura 16. Onda cuadrada AM.....	44

Figura 17. Código de petición al servidor web desde la ESP32 .....	46
Figura 18. Diseño de la placa en LiveWire .....	46
Figura 19. Primera prueba en Protoboard del Dispositivo .....	47
Figura 20. Circuito impreso elaborado en LiveWire .....	47
Figura 21. Colocación de los elementos en el Case .....	48
Figura 22. Credenciales en cPanel del servidor web.....	49
Figura 23. Creación de un subdominio .....	50
Figura 24. Creación de cuenta ftp .....	50
Figura 25. Creación de usuario y base de datos .....	51
Figura 26. Creación de una tabla en la base de datos.....	52
Figura 27. Página web del centro médico MediFamilia .....	52
Figura 28. Zonas A y B – Análisis de errores .....	53
Figura 29. Paciente 1 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 30. Paciente 2 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 31. Paciente 3 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 32. Paciente 4 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 33. Paciente 5 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 34. Paciente 6 realizándose las mediciones ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Figura 35. Paciente 7 realizándose las mediciones ....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 36. Paciente 8 realizándose las mediciones ....**¡Error! Marcador no definido.**

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación trata del desarrollo de un dispositivo electrónico no invasivo para medir los niveles de glucosa en la sangre. Actualmente los procedimientos en la toma de niveles de glucosa en la sangre se realizan con dispositivos invasivos que lastiman e incomodan a los pacientes; además, al extraer una muestra de sangre, compromete la higiene en dicho procedimiento. Por otro lado, se puede mencionar la parte económica del paciente al tener que comprar el dispositivo que utiliza puesto que estos son desechables.

El dispositivo se basa en el diseño del receptor óptico, el cual consta de dos diodos IR los cuales al hacer atravesar la luz infrarroja por el tejido humano puede extraer la información sobre los niveles de glucosa que se encuentran en la sangre. Se lo realiza con la ayuda de un nodo acústico a partir del uso de un sensor ultrasónico, el cual produce dicho sonido a una frecuencia específica; haciendo que las moléculas de la glucosa se agrupen en el nodo creado y resulte más fácil y preciso realizar las mediciones con los diodos IR. La señal que se obtiene del sensor óptico no se puede interpretar, por esta razón se crea un circuito de adecuación de señal el cual finalmente entrega la información a un controlador; donde se realiza el procesamiento de la información y se envía a la visualización en un LCD, se envía los datos hacia una página web en donde se presenta la información obtenida.

El dispositivo electrónico ofrece la facilidad de realizarse las mediciones de glucosa en la sangre, sin necesidad de lastimar alguna parte del cuerpo. Lo que permite disminuir el uso de instrumentos adicionales para poder realizarse las mediciones. Con este proyecto se logró desarrollar un dispositivo de gran ayuda para el médico como para el paciente.

**Palabras Clave:** Luz infrarroja, glucosa, nodo acústico

## ABSTRACT

This research project deals with the development of a non-invasive electronic device to measure blood glucose levels, because current procedures for taking blood glucose levels are performed with invasive devices that hurt and bother. to the patients; In addition, since it is necessary to extract a blood sample, it compromises hygiene in said procedure. On the other hand, it can be mentioned that the economic investment in the instruments used is usually very expensive and they need to be bought constantly, since they are disposable.

The device is based on the design of an optical receiver, which consists of two IR diodes which, by passing infrared light through human tissue, can extract information about glucose levels found in the blood. This is done with the help of an acoustic node that is created from the use of an ultrasonic sensor, which produces said sound at a specific frequency; causing the glucose molecules to group together in the created node and making it easier and more precise to carry out measurements with the IR diodes. The signal obtained from the optical sensor cannot be interpreted, for this reason a signal adaptation circuit is created which finally delivers the information to a controller; where the processing of the information is carried out and it is sent to the display on an LCD and the data is also sent to a web page where the information obtained is presented.

The electronic device offers the ease of performing blood glucose measurements, without the need to injure any part of the body. In addition, the use of additional instruments to be able to carry out the measurements is reduced; being of great help both for the doctor and for the patient the development of a device with the qualities that it offers.

**Keywords:** Infrared light, glucose, acoustic node

# CAPÍTULO I

## MARCO TEORICO

### 1.1 Antecedentes investigativos

Al realizar la búsqueda de información en repositorios de universidades y revistas de alto impacto, se ha encontrado proyectos de investigación relacionados con el dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre:

En el año 2018, en Bangladesh, Mohammed Arefin, Adnan Khan y Rabiul Islam, en su tema de investigación “Non-invasive Blood Glucose Determination using Near Infrared LED in Diffused Reflectance Method” desarrollaron un dispositivo de bajo costo, quienes utilizaron el uso de arduino y sensores infrarrojos convencionales haciendo que el precio del dispositivo sea económico y accesible para el usuario final. Para realizar las mediciones de glucosa en la sangre utilizaron la reflectancia difusa, en donde sus algoritmos permiten al dispositivo que aprenda y realice análisis de regresión más precisos. Sin embargo, los algoritmos se pueden modificar para eliminar en su mayoría los errores que se producen en las mediciones, ya sea por motivos ambientales o de las características de la piel de la persona, así como el espacio del cuerpo en donde se realice las mediciones [1].

En el año 2017, en Bangalore, Aishwarya Lakshmi, R Rashmi y Swetha Sadanand, en su tema de investigación “Studies On Relating To Monitoring Blood Glucose Levels Using Non-invasive Optical Methods” desarrollaron un prototipo de un dispositivo no invasivo para la medición de los niveles de glucosa en la sangre, sencillo y de bajo costo, en donde utilizan una placa Arduino para el procesamiento de los datos adquiridos y realizar la linealización de las medidas tomadas, las mismas que provienen desde un sensor óptico infrarrojo tipo cercano de 940nm. Básicamente se utilizan dos diodos infrarrojos (transmisor-receptor), en donde los valores tomados por el receptor mediante la reflectancia en el cuerpo humano son procesados y asimilados a un valor específico de nivel de glucosa; los errores que se obtiene en las mediciones

son bajos y depende del tipo de piel o luminosidad en el ambiente que se realice la medición [2].

En el año 2014, en la ciudad de Quito, Víctor Leandro López Toctaguano y William Paul Oñate Amaguaña en su trabajo de titulación “Diseño e implementación de un glucómetro no invasivo basado en la ley de Lambert Beer y longitud de onda cercana al infrarrojo (NIR), con interfaz de comunicación bluetooth a dispositivos con sistema operativo android”, desarrollaron un dispositivo electrónico el cual mediante un sensor infrarrojo utilizado para medir la concentración de oxígeno en la sangre se lo adapta para que pueda extraer los niveles de glucosa que tiene la sangre, esto se logra mediante la aplicación de 6 ecuaciones diferenciales para linealizar las mediciones y compararlas con otro dispositivo comercial existente en el mercado, en este caso con el Accu-Check, teniendo un error del 5.226% al comparar las medidas, es decir que cumple con los estándares de medición según la norma ISO 15197, por lo tanto consiguieron excelentes resultados, además de ubicar una interfaz gráfica para la visualización de resultados [3].

En el año 2011, en la ciudad de Santiago de Cali, Castro y Miller describe en su investigación “Método de Medición de glucosa en sangre mediante luz infrarroja” a partir de técnicas estadísticas determina longitudes de onda y regiones con una mayor tendencia a predecir la concentración de glucosa en las muestras. Con este método se pretende desarrollar un dispositivo que pueda adoptar estos algoritmos para realizar las mediciones en los pacientes, pues aun solo se realizaron análisis teóricos mas no se implementó en un prototipo [4].

En el año 2012, en Texas, Vishnu Dantu, Jagannadh Vempati y Srinivasan Srivilliputhur con su tema de investigación “Non-Invasive Blood Glucose Monitor Based on Spectroscopy Using a Smartphone”, desarrollaron una aplicación para teléfonos celulares inteligentes con sistema operativo Android, la misma que puede obtener los niveles de glucosa en la sangre, mediante el uso de la cámara del teléfono. El proceso consiste en introducir el dedo de la persona entre la luz infrarroja y la cámara del teléfono, en donde la aplicación desarrollada recopila fotogramas de la cámara del teléfono inteligente y mide las intensidades RGB (rojo, verde y azul) para

100 píxeles de cada fotograma. Con esto se pretende disminuir los gastos de las personas que necesitan realizarse mediciones de sus niveles de glucosa en la sangre [5]

## **1.2 Contextualización del problema**

La vida sedentaria y los hábitos alimenticios son las principales causas de la diabetes, enfermedad que provoca disfunción, lesión y colapso de varios órganos. Según datos de la OMS (Organización Mundial de la Salud), a nivel mundial el 8.5% de la población padece de esta enfermedad, por otro lado, según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), en Ecuador cerca del 7.8% de las personas padecen de diabetes, siendo la segunda causa de mortalidad en el país en los años 2016 y 2017 [6].

La necesidad de las personas que padecen diabetes para realizarse mediciones constantes de sus niveles de glucosa en la sangre es muy importante para llevar a cabo su tratamiento. Pues cada persona que tiene esta enfermedad necesita de medicación para mantener controlado el nivel de azúcar en su cuerpo y evitar la hipoglucemia, así como la hiperglucemia. Pues estas personas tienen un daño en su páncreas, el cual no produce los niveles adecuados de insulina para el cuerpo. Debido a esto, la persona debe tener un control constante de sus niveles de glucosa, porque pueden caer en ocasiones en coma diabético, convulsiones, visión borrosa y otros síntomas que incluso pueden llevar a la muerte de la persona [7]. Los controles que se realizan mediante las mediciones con dispositivos invasivos, actualmente usados, tienen varias desventajas como el alto costo del dispositivo para realizar dichas mediciones, carencia de higiene, errores en las mediciones por mala técnica al utilizar instrumentos cortopunzantes, entre otras. Actualmente se piensa en desarrollar dispositivos invasivos, los cuales eviten la incomodidad de un pinchazo o errores en las mediciones por una toma de muestra errónea, además, sea rápido y los resultados confiables [8].

Actualmente en el mercado existen varios glucómetros invasivos muy utilizados; el más económico que se puede encontrar a un precio de \$20, y un glucómetro promedio se puede conseguir por los \$ 33 [9]. Cabe mencionar que para el funcionamiento de estos dispositivos es necesario contar de dos herramientas adicionales; la lanceta o

aguja y la tira reactiva. Estos dos elementos se pueden utilizar una sola vez por cada medición, y el kit de estos dos elementos oscila entre los \$37, teniendo en cuenta que la frecuencia que el paciente necesite realizarse las mediciones. Se tendrán que adquirir nuevas cada determinado tiempo, llegando a ser un método muy costoso, los pacientes deben consumir medicamentos que regulen sus niveles de glucosa en la sangre haciendo que el tratamiento de esta enfermedad eleve aún más los gastos [1].

La implementación de un dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre tiene como principales beneficiarios a las personas adultas o niños que padezcan de diabetes. Incluir en los centros o instituciones de salud pública y privada que realizan este tipo de controles a sus pacientes, pudiendo dotar de este dispositivo para que las mediciones que se realicen sean rápidas, eficientes y sin dolor.

El dispositivo consta de tres partes, la primera es la recopilación de datos, la misma que estará conformada por un sensor de Pulsioximetría tipo pinza, utilizado comúnmente para medir la concentración de oxígeno en la sangre. A continuación se realizó el procesamiento de la información; en donde primero se tiene un circuito para adaptar la señal del sensor y enviarla a un microprocesador, el mismo que depurará los datos recibidos y los enviará a una LCD para presentar los datos obtenidos, además se enviará de forma serial a una ESP-32. La tercera parte es la presentación de los datos; en donde además de visualizar la información en la pantalla LCD, se subirá dicha información a una base de datos a la cual el médico va a tener acceso y poder tener un historial de los niveles de glucosa que el paciente vaya teniendo. Todo esto cumpliendo la norma ISO 15197, la misma que presenta los rangos permitidos que debe tener el dispositivo al realizar las mediciones de glucosa en la sangre.

Por lo tanto, el presente proyecto tiene como finalidad contribuir al control constante de los niveles de glucosa en la sangre en personas diabéticas, implementando nuevas tecnologías en la toma de muestras, procesar y guardar los datos para su análisis.

Además, es importante que se logre levantar el interés de la comunidad médica por esta alternativa de realizar los controles de niveles de glucosa en una persona. La

información de los pacientes se optimizará para poder llevar un diagnóstico personalizado mejorando así su calidad de vida.

Por todo lo anteriormente mencionado, el proyecto es viable presentando una solución tecnológica para mejorar el control del nivel de glucosa en la sangre de una persona que padece diabetes, contando con los conocimientos teóricos y prácticos necesarios, la tecnología adecuada y las diferentes fuentes bibliográficas para el cumplimiento del proyecto.

### **1.3 Fundamentación teórica**

#### **1.3.1 La glucosa y sus complicaciones**

El consumo de glucosa en el cuerpo del ser humano se puede comprender en un 55% por la oxidación de esta al producir energía por los diferentes tejidos, un 20% resultado de la glucólisis y el 25% restante es almacenado en el hígado y otros tejidos [10]. Existen dos fuentes principales de lactato y piruvato utilizados en la gluconeogénesis, [10] como son la oxidación y la glucólisis, pues en situaciones de hipoglicemia son muy importantes [10].

Se ha estudiado que los ácidos grasos en altas concentraciones no permiten que se produzca la glucólisis, [10] disminuyendo la cantidad de insulina que segrega el cuerpo generando apoptosis celular, dando paso a sufrir de alteraciones en los niveles de glucosa en la sangre como la diabetes. El efecto que causa realizar actividad física en la cantidad de transportadores de glucosa es que se tiene una mejor regulación en el sistema de generación de insulina [10].

Algunas patologías que modifican los niveles de glucosa en la sangre suelen ser por alteraciones en el metabolismo, así como en las vías de absorción y también vías regulatorias [10]. La Diabetes Mellitus tiene estas características y por su alto número de personas en el mundo que lo tienen se ha puesto mucha atención a sus riesgos. Pues esta patología compromete a que la sensibilidad de la insulina y los transportadores de glucosa sean afectados y sus niveles provoquen la hiperglucemia [10]. Sin embargo, no solo ocurre esto sino que además presenta un aumento en los niveles del glucagón,

haciendo que la insulina no tenga efecto alguno al momento de que el cuerpo la produzca para estabilizar los niveles de glucosa en la sangre [11].

### **1.3.2 Diabetes Mellitus**

Es considerada una enfermedad que se diferencia por la hiperglicemia, [12] causado por el deterioro total o relativo en la secreción de la insulina transmitidas por las células beta que se encuentran en el páncreas, o también por un problema en los receptores de insulina. Este dado por un proceso muy complejo en el metabolismo que asocia a los carbohidratos, las grasas y por último las proteínas [12].

La diabetes mellitus conjuga un gran grupo de enfermedades metabólicas que están asociadas por la hiperglucemia, resultado de las secreciones de insulina, o dada la acción de la insulina o de ambas formas [12]. La diabetes se vincula a complicaciones agudas que alteran el cuerpo humano, provocando accidentes cardiovasculares o cerebrovasculares, un gran riesgo en las partes neurológicas, en caso de no ser tratado a tiempo [13]. La diabetes está relacionada a daños a largo plazo que ocasionan daños permanentes en órganos especialmente en los ojos, riñones, corazón, vasos sanguíneos [13].

#### **1.3.2.1 Diabetes tipo 1**

Se diferencia especialmente por la destrucción autoinmune en la célula  $\beta$ , lo cual conduce a un déficit de manera total de insulina con tendencia a cetoacidosis. El daño en mayor porcentaje es medida en el sistema inmunitario, de tal forma que suele ser evidente por medio de los anticuerpos [14].

Por esta razón, el cuerpo deja de producir insulina o en cantidades mínimas, puede ocurrir a la combinación en la sensibilidad genética, infección vírica y factores en la alimentación [15]. En gran magnitud se ven afectados indistintamente niños y jóvenes en cualquier edad, los síntomas más comunes que surgen a partir de la enfermedad están dados por sed excesiva, orina muy frecuente y la pérdida de peso. El tratamiento está basado en inyecciones de insulina en el cuerpo para poder sobrellevar los niveles estándar de la glucosa [15].

### **1.3.2.2 Diabetes tipo 2**

Es la más habitual y esta relaciona con la obesidad o el aumento de la grasa visceral. En pocas ocasiones se da cetoacidosis de forma espontánea. En efecto, empieza con la resistencia en lo que se conoce como insulina, unida con la deficiencia relativa en la hormona, que llega a un defecto en la secreción de la misma [14].

La hiperglucemia causada por la diabetes tipo 2, empieza en la inhabilidad de las células del organismo al momento de dar una eficiente respuesta en la insulina. En el momento donde se presenta una resistencia a la insulina, la hormona se vuelve ineficiente y ocasiona un incremento de producción de esta. A través del tiempo puede desencadenar una producción incorrecta de las células beta pancreáticas, son varias las causas la predisposición genética o factores ambientales [15]. Es común que los adultos mayores la padezcan, aunque hoy en día son varios niños y jóvenes que también se ven afectados por esta enfermedad, como respuesta a la obesidad, la vida sedentaria y una alimentación no nutritiva [15].

### **1.3.2.3 Diabetes mellitus gestacional**

Asocia concretamente a la intolerancia a la glucosa que se presenta por primera vez en el proceso del embarazo. La hiperglucemia previa se detecta aproximadamente a las veinticuatro semanas en el proceso del embarazo, se denomina diabetes preexiste que no ha sido diagnosticada [14].

### **1.3.2.4 Otros tipos específicos de diabetes**

Está conformado por una extensa variedad de condiciones que no se presentan con demasiada frecuencia, rápidamente se encuentra descrito en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Otros tipos específicos de diabetes mellitus**

<b>Otros tipos específicos de diabetes mellitus</b>
Defectos genéticos en la función dada en célula beta [14].

Defectos genéticos generados en la acción procedente de la insulina [14].
Enfermedades asociadas al páncreas exocrino [14].
Endocrinopatías [14].
Provocada por drogas o algún tipo de químicos [14].
Infecciones [14].
Formas habituales de diabetes mediada inmunológicamente [14].
Algunos síndromes genéticos que tienen relación a la diabetes [14].

*Elaborado por:* El investigador

### 1.3.3 Glucómetro

El glucómetro es un medidor de glucosa y lo hace extrayendo sangre capilar en donde se mide la cantidad de glucosa que se encuentra en la gota de sangre que se extrae. Con este dispositivo se permite conocer si los niveles del paciente son los considerados normales [16]

Para utilizar el medidor de glucosa, primero se debe lavar las manos con agua y jabón, colocar la tirilla en el glucometro, utilizar una torunda con alcohol para esterilizar el área en el cual se realiza el pinchazo, con la ayuda de una lanceta se procede hacer un pinchazo en la yema del dedo, la primera gota de sangre se coloca en la tirilla, el equipo emitirá un sonido y empezara a leer, en 4 segundos el equipo emite un resultado el cual es medido en mg/dL [16]



**Figura 1. Glucómetro, kit de lancetas y reactivos**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooKN>

### 1.3.4 Glucómetro invasivo

Son aquellos dispositivos que toman una muestra de sangre utilizando una lanceta el cual penetra a cierta profundidad en el dedo del paciente, obteniendo así el nivel de glucosa en la gota de sangre extraída. Actualmente en el mercado dispone de estos dispositivos [17]

### 1.3.5 Glucómetro no invasivo

Este tipo de glucómetro evita los pinchazos en los dedos del paciente y hace uso de sensores para obtener los niveles de glucosa en la sangre [16]. Actualmente los dispositivos no han logrado obtener mediciones de niveles de glucosa sin tener que practicar la glucomia capilar, sin embargo, estos tienen sensores que duran 14 días evitando los constantes pinchazos que se debía hacer con el glucómetro convencional. Por otro lado, el cambio de los sensores es costoso y, además debe estar colocado en el cuerpo del paciente todo el tiempo, generando incomodidad [16].



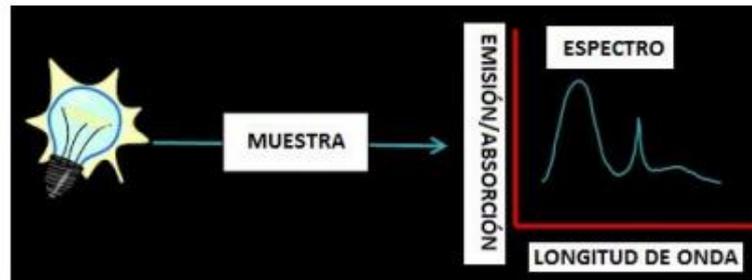
**Figura 2. Glucómetro no invasivo**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooKX>

### 1.3.6 Espectroscopía

La espectroscopía se basa en estudiar una sustancia utilizando la detección de la absorción o emisión de la radiación electromagnética que atraviesa a dicha sustancia [13]. Para comprender esta técnica se debe tener en claro los 3 elementos que son necesarios: la fuente de luz, la muestra a estudiar y el receptor o detector. La fuente de

luz irradia a la muestra y esta al interactuar con la muestra modifica sus características. La variación que exista entre la luz incidente y la resultante nos arrojará el resultado que se desea conocer sobre la muestra que se está estudiando [18].



**Figura 3. Espectroscopia**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooMc>

### **1.3.7 La luz infrarroja y su interacción con los tejidos**

La luz incidente en un tejido determina como interactúa en el medio biológico, esto cuando principalmente las características de dicha luz dependen de la longitud de onda. Cuando la luz incidente atraviesa un tejido se tiene ciertas pérdidas conocidas como reflexión, absorción y dispersión. Y debido a esto se puede conocer cierta información al realizar una relación entre las intensidades de luz incidente y luz transmitida [19]

La reflexión es la devolución de la radiación realizada por la luz incidente en un medio. Esto se debe a la transición de los fotones entre dos medios con distintos índices de refracción. La reflexión puede ser especular o dispersa, esto depende de las superficies a las que la luz incidente es sometida. Si son superficies lisas se tiene reflexión especular y si es un material rugoso como la piel se tiene una reflexión dispersa la cual devuelve cierta radiación en varias direcciones de manera aleatoria [19]

La reflexión en un tejido se puede identificar mediante dos parámetros: la reflectividad la cual no es más que la relación entre la amplitud del campo magnético incidente y el reflejado; y la reflectancia que identifica la relación entre la intensidad incidente y la intensidad reflejada. Estos dos dependen de la polarización de radiación, el ángulo de

incidencia y de los índices de refracción de la sustancia o material. Para determinar su relación se utiliza la ley de Fresnel, en donde la absorción se da por la transformación de la energía lumínica en calor o vibración de las moléculas del material. Esto se da por la igualdad entre las frecuencias de vibración y frecuencia de radiación, de vibración en el material y radiación de la luz incidente [19].

La relación entre la intensidad incidente y la absorbida se conoce como absorbancia y se da cuando el material recibe un haz de luz. Varía dependiendo el grosor de la muestra, la temperatura y de la concentración de moléculas. Los cuales se pueden describir con la ley de BeerLambert y por esta razón se utiliza la espectroscopía para determinar la concentración de distintas moléculas en muestras [20].

### **1.3.8 Principio de los ultrasonidos**

Cuando la sangre es sometida a una onda continua de amplitud modulada, provocan que las moléculas que conforman a la sangre se agrupen o se acumulen en las llamadas regiones nodales de la onda de ultrasonido; esto se logra con la presión acústica de las ondas. [21]

Modulando la amplitud de una señal de ultrasonidos se puede realizar la agrupación de las moléculas de sangre, sin embargo, esta debe ser también estacionaria para poder mantener la redistribución de dichas moléculas. Esta onda se puede crear mediante el uso de dos emisores opuestos que estén sincronizados o haciendo que la onda rebote. [21]

Las oscilaciones y vibraciones que se producen en las ondas ultrasónicas se denotan con una fuerza de radiación, la cual es aplicada a una molécula de cierto volumen, colocada a una distancia del nodo de presión. De esta manera cuando la concentración en un punto de las moléculas de la glucosa es redistribuida se puede obtener una mejor respuesta al incidir con una fuente de luz externa la cual pueda recolectar alguna información necesaria para su estudio. [22]

### **1.3.9 Normas ISO 15197:2015**

La norma establece los criterios mínimos para que un medidor de glucosa consiga una exactitud mínima que se pueda aceptada. Se tienen dos criterios, los cuales son:

- El 95% de las mediciones de glucosa tomadas deben estar en el rango de error de  $\pm 15$  mg/dL con respecto al promedio de las mediciones obtenidas, esto en concentraciones inferiores a los 100 mg/dL. Por otro lado, las mediciones superiores a los 100 mg/dL, su margen de error debe ser de un  $\pm 15\%$ . [23]
- El 99% de las mediciones de glucosa deber estar en las zonas A y B de la cuadrícula de análisis consensuado de errores para la diabetes tipo 1 [24].

### **1.3.10 Hardware libre**

Se conceptualiza como un hardware disponible para el público, cuyo diseño puede ser estudiado, modificado o distribuido. Además, el hardware libre es una herramienta muy útil para fomentar la innovación de la tecnología la cual puede tener cierto impacto social [24].

### **1.3.11 Software libre**

Se puede decir que el software libre se trata de la libertad que se tiene como usuario para poder ejecutar, copiar, estudiar, distribuir o modificar y realizar mejoras a dicho software [25].

### **1.3.12 Sistema de control**

Un sistema de control es una interconexión de elementos, que al interactuar entre sí conforman un sistema el cual es capaz de controlarse así mismo. A dicho sistema se le aplica una señal de entrada y realiza el proceso necesario para poder producir una señal de salida deseada; a esta relación de entrada/salida se le conoce como el proceso por controlar del sistema [26].

### 1.3.13 Placas de control y microprocesadores

La placa de control es el elemento que controla todo el sistema. La cual está compuesta por un microcontrolador e interfaces de entrada y salida. En el mercado actual existen varias placas las cuales su costo varía dependiendo de las características que tiene cada una. Por otro lado, un microcontrolador es un circuito integrado programable, el cual es capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Dispone de periféricos de entrada y salida, sin embargo, no dispone de interfaces y varios elementos más que una placa de control tiene. A continuación, en la Tabla 1, se muestran las principales placas y microcontroladores que pueden ser utilizados [27]

**Tabla 2. Placas de control y microcontroladores**

<b>TARJETA / MICROCONTROLADOR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Arduino 	<b>Microcontrolador:</b> ATmega328 <b>Voltaje Operativo:</b> 5v <b>Voltaje de Entrada (Recomendado):</b> 7 – 12 v <b>Pines de Entradas/Salidas Digital:</b> 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) <b>Pines de Entradas Análogas:</b> 6 <b>Memoria Flash:</b> 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader. <b>SRAM:</b> 2 KB (ATmega328) <b>EEPROM:</b> 1 KB (ATmega328) <b>Velocidad del Reloj:</b> 16 MHZ.
PIC16F87XA 	<b>CPU de arquitectura:</b> RISC <b>Frecuencia de reloj:</b> De hasta 20 MHz <b>Memoria FLASH:</b> Hasta 8K x 14 palabras <b>Memoria RAM:</b> Hasta 268 x 8 bytes <b>Tipo de oscilador:</b> RC, HS, XT, LP, Externo <b>Voltaje de operación:</b> De 2 a 5,5V <b>Convertor Analógico/Digital:</b> De 10 bits multicanal <b>Módulos de captura:</b> comparación/PWM <b>Comunicaciones por interfaz:</b> USART
ESP32	<b>Procesador:</b> dual core Xtensa LX6. Es compatible con Arduino <b>Velocidad de reloj:</b> Entre 160 Mhz y 240 Mhz <b>Memoria RAM:</b> 520 Kb



**Wifi:** Acces point y Station

**Bluetooth:** 2.4 Ghz, BT 2.0 y 4.0 BLE

**GPIO:** 36 pins.

2 x Digital to Analog converter DAC de 8 bits.

Se puede definir hasta 16 canales de PWM.

2 x UART o puertas serie

2 x I2C channels y 4 x SPI channels.

*Elaborado por:* El investigador

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Implementar un Dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en personas con diabetes.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar los tipos de diabetes que existen y describir las características que presenta la sangre al modificarse los niveles de glucosa.
- Determinar las características técnicas que debe tener el dispositivo electrónico para la medición de glucosa en la sangre.
- Validar el dispositivo electrónico no invasivo en personas con diabetes y determinar su exactitud.

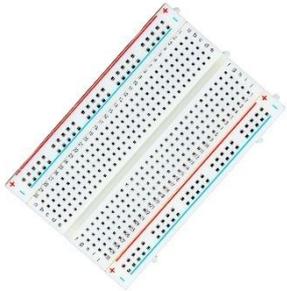
## CAPITULO II

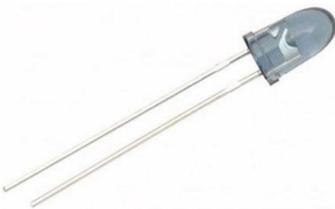
### METODOLOGÍA

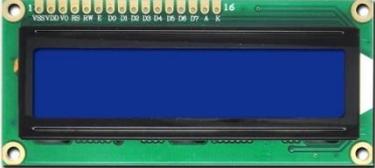
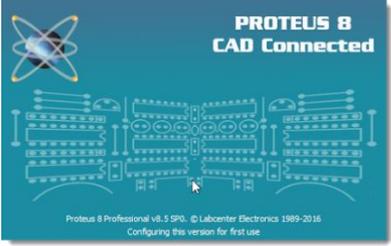
#### 2.1 Materiales

Para la ejecución del presente proyecto de investigación se utilizaron distintos materiales necesarios para la elaboración del dispositivo electrónico no invasivo cuyo fin es la medición de niveles de glucosa en la sangre del paciente, a continuación, se detallan en la tabla 3.

**Tabla 3. Materiales utilizados**

<b>Nombre</b>	<b>Imagen</b>	<b>Función</b>
Protoboard		La Protoboard sirve para realizar pruebas de circuitos electrónicos antes de proceder a realizar la placa del mismo, evitando errores futuros en su funcionamiento.
ESP-32		Este módulo sirve para realizar conexiones inalámbricas por medio de Bluetooth o WiFi, además de una comunicación serial. Es el elemento encargado de enviar los datos a la página web.

<p>Arduino nano</p>		<p>Arduino nano es una placa de desarrollo que integra un microprocesador y periféricos de entrada y salida, siendo este el que reciba la señal por parte del sensor.</p>
<p>Resistencias</p>		<p>Es el elemento encargado de proteger a otros elementos de un circuito electrónico, ya que su característica es que se opone al paso de la corriente eléctrica.</p>
<p>Capacitores</p>		<p>Este elemento es usado para almacenar energía eléctrica, sustentando un campo eléctrico.</p>
<p>Diodo infrarrojo emisor</p>		<p>Este elemento es quien produce luz infrarroja y dependiendo el voltaje aplicado modificará su longitud de onda. No es visible para el ser humano.</p>
<p>Diodo infrarrojo receptor</p>		<p>Este diodo es sensible a la luz infrarroja y puede detectar sus variaciones, sin embargo, la variación de voltaje que produce al percibir la luz infrarroja es muy pequeño, teniendo que depender de un circuito de amplificación de señal para poder ser entendido.</p>

Amplificador operacional		Es un elemento activo, el cual dispone de dos entradas y una salida; dependiendo su configuración puede realizar varias funciones.
Sensor ultrasonido HC-SR04		Este módulo, es utilizado para medir distancias mediante el uso del ultrasonido que este puede producir, la frecuencia a la que este trabaja es de 40kHz.
Pantalla Lcd 16X2		Es una pantalla de cristal líquido, la misma que funciona con un arreglo de 16 columnas por 2 filas.
Software Proteus		En este software se pueden realizar simulaciones y diseños de placas electrónicas, combinando un avanzado programa de captura de esquemas con la simulación de circuitos analógicos y digitales.
Software Arduino		Este entorno de desarrollo libre permite crear varias aplicaciones electrónicas mediante el uso de programación en Java.
Software php		Mediante el uso de PHP se puede realizar el desarrollo de aplicaciones, pues permite con su lenguaje

		de programación diseñar páginas web.
Software html		Con este editor web se puede crear contenido en la web como documentos o incluso desarrollar gráficas.

*Elaborado por:* El investigador

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Modalidad de la investigación

El presente proyecto buscará dar solución a un problema social y generando nuevos conocimientos para alcanzar los objetivos planteados, que será la implementación de un dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre utilizado por personas que padecen diabetes.

#### **Modalidad Aplicada**

Se buscó dar solución a los objetivos planteados con la implementación de un dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre utilizado por personas que padecen diabetes.

#### **Modalidad Bibliográfica**

En el proyecto de tesis se realizó investigación bibliográfica de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en proyectos de tesis similares referente a temas de dispositivos electrónicos para la medición de niveles de glucosa

en la sangre que permitan entender de mejor manera el problema y con ello proponer una solución factible.

### **Modalidad de Campo**

Se utilizó la investigación de campo para recolectar información en el lugar donde se observa con mayor frecuencia el problema, es decir con la población involucrada para de acuerdo con ello plantear una solución.

### **Modalidad Experimental**

El desarrollo del proyecto se requirió de pruebas de funcionamiento para demostrar que al modificar los parámetros de la longitud de onda o la frecuencia del sensor ultrasónico se puede obtener distintos resultados.

#### **2.2.2 Recolección de información**

Para desarrollar de manera eficiente el proyecto se extrajo información de varias fuentes como son: libros, tesis vinculadas con el tema de investigación y artículos científicos, las mismas que son de mucha importancia para poder realizar un buen funcionamiento del dispositivo.

##### **2.2.2.1 Población y muestra**

El proyecto se efectuó en Centro Médico MediFamilia, ubicado en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, en el transcurso del mes se detectaron 20 pacientes que sufren de diabetes mellitus y 10 que se realizaron la prueba por síntomas relacionados con la enfermedad, como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Población del Centro Médico MediFamilia**

<b>Numero</b>	<b>Nombre del paciente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Edad</b>
1	Johel Garcés	Joven	28
2	Christina Villacís	Adulto	31
3	Dayana Miño	Joven	19
4	Raquel Altamirano	Adulto	43
5	Ermes Miño	Adulto	52
6	Silvana Salazar	Adulto	30
7	Christian Lema	Joven	23
8	Johanna Jeréz	Joven	26
9	Samuel Paredes	Niño	7
10	Christian Olivares	Joven	29
11	Alan Jeréz	Joven	20
12	Edelina Naranjo	Adulto Mayor	70
13	Héctor Villacís	Adulto	58
14	Rosa Naranjo	Adulto	50
15	Henry Pastuña	Joven	26
16	Anthony Sánchez	Joven	27
17	Carlos Gómez	Adulto	39
18	Paul Martinez	Adulto	48
19	José Naranjo	Adulto	62
20	Marco Yépez	Adulto Mayor	71
21	Marcelo Miño	Adulto	44
22	Martha Montachana	Adulto Mayor	65
23	Sandra Chacha	Adulto	53
24	Manuel Salgado	Adulto Mayor	66
25	Miguel Amores	Adulto	42
26	Francisco Masabanda	Adulto	33
27	Maricela Cornejo	Adulto	38
28	Valeria Soria	Joven	27
29	Nathaly Otorongo	Joven	16
30	Ximena García	Joven	18

*Elaborado por:* El investigador

Se realizaron múltiples pruebas al equipo, para una correcta validación se utilizó a todo el universo de la población objetivo, debido a que el tamaño de la población es pequeño, conformado así por 8 pacientes entre jóvenes, adultos y niño que se tiene sospecha y padecen de diabetes mellitus.

### **2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se realizarán los siguientes pasos:

- Revisión de la información recopilada.
- Estudio de la propuesta de solución planteada para mejorar los métodos de medición de glucosa en la sangre.
- Determinación de la mejor propuesta de solución.
- Planteamiento de la propuesta de solución.

### **2.2.4 Desarrollo del proyecto**

1. Estudio de los tipos de diabetes que mayormente afecta a la población de Ecuador.
2. Determinación del comportamiento de la sangre al modificar los niveles de glucosa.
3. Evaluación del grado de exactitud de los dispositivos utilizados actualmente para realizar las mediciones de niveles de glucosa en la sangre.
4. Determinación del hardware adecuado a ser utilizado en el dispositivo electrónico no invasivo para medir los niveles de glucosa en la sangre.
5. Programación del software del dispositivo electrónico.
6. Diseño y simulación del dispositivo electrónico no invasivo.
7. Implementación de un dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre.
8. Ejecución de pruebas, detección y corrección de errores de un dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre.
9. Establecer la exactitud del dispositivo, realizando una comparación con otro dispositivo actualmente disponible en el mercado.

10. Análisis de resultados y la obtención de conclusiones del dispositivo electrónico en funcionamiento.

11. Elaboración del informe final de la propuesta.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis y discusión de resultados**

El desarrollo de un dispositivo no invasivo para medir los niveles de glucosa en la sangre permite que los pacientes del Centro Médico MediFamilia se realicen sus controles en el tratamiento de la Diabetes de manera cómoda, eficiente, higiénica y económica; pues con este dispositivo se eliminan los pinchazos en las yemas de los dedos, fallas en las lecturas de las muestras tomadas, gasto en los reactivos que se usan para colocar en el glucómetro lo cual suele ser un costo elevado para pacientes que requieren de un control constante en sus niveles de glucosa.

##### **3.1.1 Análisis de Factibilidad**

###### **Factibilidad Técnica**

El presente proyecto se considera técnicamente factible, teniendo en cuenta que los distintos elementos electrónicos que se emplearon son comercializables y se pueden conseguir en cualquier parte del país, además que el funcionamiento de cada elemento del dispositivo no invasivo ha sido estudiado detenidamente.

###### **Factibilidad Económica**

El proyecto es factible económicamente, puesto que todos los gastos que se incurrieron en la ejecución del proyecto fueron costeados por el investigador.

###### **Factibilidad Bibliográfica**

La literatura que hizo parte de este proyecto es de libre acceso, a través de revistas indexadas, libros, tesis, entre otros que fueron vitales para la ejecución del proyecto.

## **3.2 Desarrollo de la propuesta**

### **3.2.1 Requerimientos del Dispositivo**

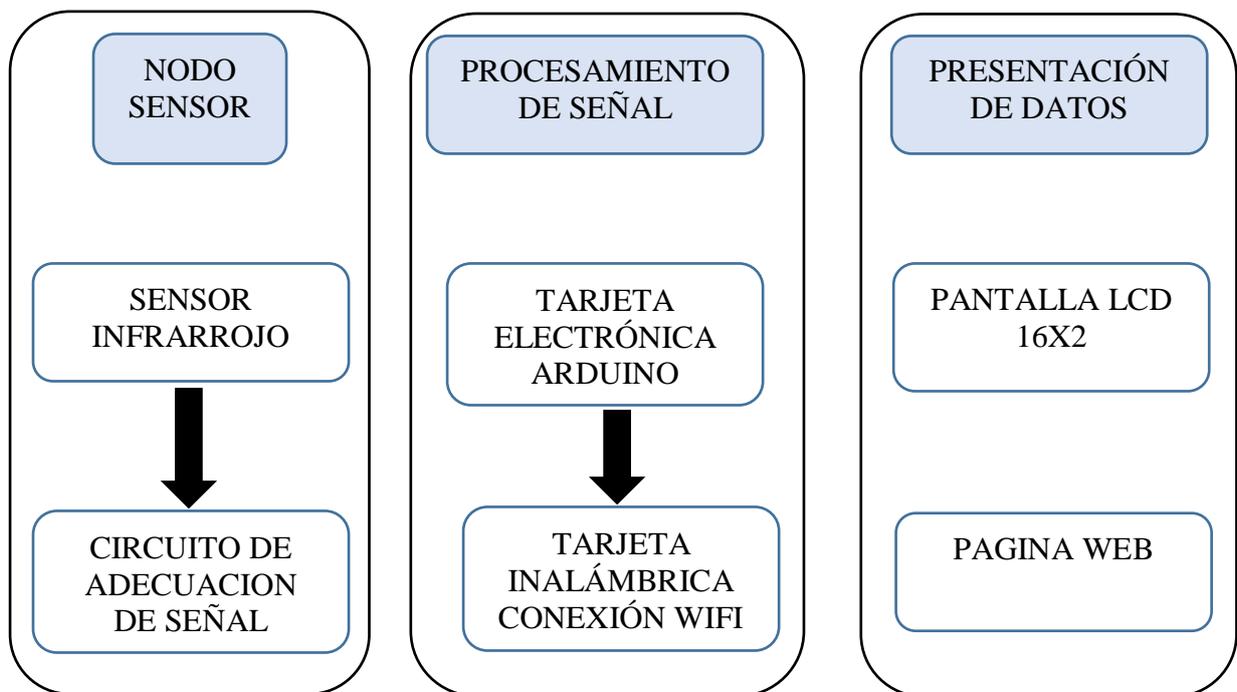
Para el desarrollo del dispositivo electrónico no invasivo para la medición de niveles de glucosa en la sangre, el Centro Médico MediFamilia planteó varios requerimientos que se deben cumplir:

- Los datos de las mediciones de glucosa deben ser presentados en una página web.
- El uso del dispositivo debe ser sencillo y tener fácil acceso al mismo.
- Visualizar en un lcd las mediciones, además de los valores que se presenten en la página web.
- No se debe ingresar los datos personales desde la placa Arduino, solo debe enviar las medidas tomadas.

### **3.2.2 Diagrama de bloques del Dispositivo**

En el siguiente diagrama de bloques que se puede observar en la figura, se describen en síntesis las tres partes de las que consta el dispositivo electrónico para medir los niveles de glucosa en la sangre. La primera parte se trata del nodo sensor, el mismo que consta de un sensor infrarrojo que mediante sus características propias puede recolectar la información del dedo que es introducido entre el diodo emisor y el diodo receptor de luz infrarroja y enviar en respuesta un voltaje muy pequeño; siendo necesario hacer atravesar a dicha señal por una etapa de amplificación, esta etapa es controlada por un circuito de adecuación de señal; el circuito integra elementos activos como son los amplificadores operacionales. Una vez que la señal es tratada para que pueda ser entendida por un elemento de control, se pasa a la segunda parte que es el procesamiento de señal. En esta etapa se necesita de la señal que proviene del circuito de adecuación para poder linealizarla y ajustar los niveles de voltaje que se tiene para hacer la transformación necesaria mediante un código de programación y poder obtener las lecturas en mg/dl, que son las unidades de medida de los niveles de glucosa en la sangre. Una vez que se obtiene las mediciones en la tarjeta electrónica Arduino se envía por una canal serial hacia la tarjeta de comunicación inalámbrica, la cual será

la encargada de hacer llegar las mediciones de los niveles de glucosa en la sangre hacia la página web solicitada por el Centro Médico MediFamilia. Por último, para la presentación de datos, se tiene una pantalla LCD de 16X2, en la cual se reflejan las mediciones enviadas desde el Arduino, además que en la página web se observan los mismos datos que son asignados al paciente que se realiza los controles en el Centro Médico.



**Figura 4. Diagrama de bloques del circuito**

### 3.2.3 Selección de los elementos para el desarrollo del dispositivo

Los elementos seleccionados para el desarrollo del dispositivo electrónico están dados de acuerdo al diagrama de bloques elaborado, como se puede observar en la Figura 4. A continuación se realiza una selección analítica y comparativa de cada componente a fin de tener la mejor opción para el correcto funcionamiento del dispositivo electrónico. Los elementos que se utilizaron son:

- Fuente de voltaje

- Sensor infrarrojo
- Sensor ultrasónico de distancia
- Circuito de adecuación de señal
- Tarjeta electrónica
- Tarjeta inalámbrica
- Pantalla de visualización de datos
- Case del dispositivo

### 3.2.4 Fuente de voltaje

El dispositivo electrónico, contiene elementos de bajo consumo de energía, motivo por el cual no es necesario utilizar una fuente de energía muy robusta y que haga pesado al dispositivo final, razón por la cual se justifica que la fuente de voltaje pueda ser un cargador convencional de teléfono celular; la energía que suministre este cargador será suficiente para alimentar todo el circuito. En este caso se utilizó un cargador de un teléfono celular Samsung, el cual tiene las siguientes características:

**Tabla 5. Características de la fuente de voltaje**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DETALLE</b>
Tipo de cargador	Micro USB con carga rápida adaptativa
Voltaje de entrada	100-240V
Voltaje de salida	5.0V – 9.0V
Corriente de salida	2A

**Elaborado por:** El investigador

Para determinar que la fuente de voltaje será suficiente, se midió la resistencia total del circuito con un multímetro, teniendo como resultado una resistencia-3 de 0.78k  $\Omega$ , además se midió el voltaje de salida del cargador teniendo como resultado 4,9 V. Aplicando la ley de ohm se puede afirmar que la corriente suministrada por el cargador es suficiente para alimentar a todo el circuito.

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{4.9}{0.78 \times 10^3} = 6.2 \times 10^{-3}$$

$$I = 6.2 \text{ mA}$$

### 3.2.5 Sensor infrarrojo

El sensor infrarrojo es necesario para las mediciones de los niveles de glucosa. Se utiliza dos elementos, los cuales están descritos como diodo emisor de luz infrarroja y diodo receptor de luz infrarroja, encargados de enviar la información recolectada una vez que se someten al tejido humano. Para lograr esto basta con colocar de manera opuesta un diodo de otro [28]. Existen varios tipos de sensores en el mercado, sin embargo, se encuentra como módulos y tienen un aplicativo en específico como medir distancia, calor, detección de líneas, entre otros. Por esta razón se optó por utilizar los diodos led IR 3mm, los cuales permiten trabajar con una longitud de onda deseada y ubicar el transmisor, así como el receptor en puntos específicos; lo que no se lograría con los módulos existentes en el mercado porque no permiten direccionarlos en otro sentido. [29] Las características de estos diodos son las siguientes:

**Tabla 6. Especificaciones de los diodos IR 3mm**

<b>ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DIODO IR EMISOR</b>	<b>DIODO IR RECEPTOR</b>
Voltaje típico de trabajo	1.2 a 1.5 V	Trabajo inverso 1.3 V

Corriente	20 mA	20 mA
Longitud de onda	940 nm	980 nm
Angulo de visión	45°	30°
Número de pines	2	2
Diámetro de cápsula	3mm	3mm
Material de Shell	Epóxico	Epóxico

**Elaborado por:** El investigador

### 3.2.6 Sensor ultrasónico

El uso de un sensor ultrasónico en el dispositivo electrónico permitirá hacer eficiente la toma de mediciones del nivel de glucosa de los pacientes. [30] No existen muchos sensores ultrasónicos en el mercado, sin embargo, se pudo encontrar pocos que podían servir para el desarrollo del dispositivo. Se realizó la comparación necesaria descrita en la tabla 7, con el fin de asegurarnos que se elija la mejor opción para el correcto funcionamiento del circuito.

**Tabla 7. Sensores Ultrasónicos - características**

CARACTERÍSTICAS	SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04	MODULO SENSOR ULTRASÓNICO Us-015	MÓDULO SENSOR ULTRASÓNICO GH311
			
<b>Voltaje Operativo</b>	5V	5V	6V
<b>Corriente</b>	2 mA	2.2 mA	2 mA
<b>Ángulo de detección</b>	No más de 15°	No más de 15°	No más de 15°
<b>Distancia de detección</b>	2 – 450 cm	2 – 157.5 in	2 – 300 cm
<b>Precisión</b>	3 mm	0.0 en +1%	3 mm

<b>Frecuencia de operación</b>	40 kHz	40 kHz	40 kHz
--------------------------------	--------	--------	--------

**Elaborado por:** El investigador

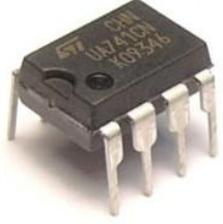
Los tres sensores se encuentran disponibles en el mercado, y los más utilizados en aplicaciones en proyectos electrónicos. Sus características son similares y su costo de igual manera, por lo que se decidió utilizar el sensor HC-SR04, siendo estudiado anteriormente y se conoce más acerca de su funcionamiento; el principal motivo de su elección es la frecuencia a la que trabaja, siendo fácil la programación para producir el ultrasonido a la frecuencia de 40Khz (frecuencia de mayor sensibilidad), además en las tiendas electrónicas este sensor es más sencillo de conseguir.

### **3.2.7 Circuito de adecuación de señal**

El circuito de adecuación de la señal es necesario utilizarlo cuando se requiere que las señales provenientes de un sensor sean entendidas por un elemento procesador de señales. [31] Por este motivo existen varias maneras de poder adecuar una señal. Para el dispositivo electrónico que se ha desarrollado, se optó por hacer uso de amplificadores operacionales con un arreglo de resistencias y capacitores. En el mercado no existen circuitos de adecuación de señales, motivo por el cual no se puede realizar una comparación de estos. Por consiguiente, se explica en el diseño del dispositivo como fue utilizado y calculado las diferentes etapas de la adecuación de la señal.

El elemento principal de este circuito es el amplificador operacional. En las tiendas de elementos electrónicos que se pudo averiguar, se pudo encontrar 3 tipos de amplificadores operacionales que se detallan a continuación en la Tabla 9.

**Tabla 8. Amplificadores Operacionales comerciales**

CARACTERÍSTICAS	LM 358	LM 741	LM 324
Descripción Gráfica			
Voltaje máximo de amplificación	$\pm 32V$	$\pm 22V$	$\pm 32V$
Ancho de banda típico	700 KHz	1 MHz	1 MHz
Voltaje de precisión típico	0.3V/us	0.5 V/us	0.3V/us
Voltaje offset de entrada típico	7 mV	1 mV	2 mV
Encapsulado	DIP 8 pines	DIP 8 pines	DIP 14 pines

**Elaborado por:** El investigador

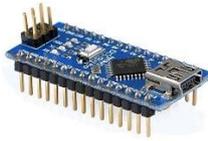
Al verificar sus parámetros de funcionamiento se concluyó en que el amplificador operacional LM 741 tiene las características suficientes como para lograr buenos resultados en la adecuación de la señal. Los tres amplificadores presentados difieren en ciertos parámetros, siendo importante mencionar que el voltaje offset del LM741 es el más bajo y esto hace que se tenga menos errores en la salida del circuito. Su tamaño facilita la construcción de un dispositivo más compacto y liviano.

### 3.2.8 Tarjeta electrónica

El elemento encargado de procesar la señal que se obtiene del nodo sensor es la tarjeta electrónica, en este caso se ha elegido el Arduino nano. Por todas las características que posee es ideal que sea utilizado en este dispositivo, pues el tamaño ayuda a que el

dispositivo electrónico no sea exageradamente grande. [32] Además, que el código es sencillo de programar y entender, pues simplemente se definen las sentencias que hacen que el voltaje de entrada sea traducido en mg/dl. Se eligió entre varias tarjetas, describiendo así las características de las demás:

**Tabla 9. Tipos de Arduino**

TIPO DE ARDUINO	DESCRIPCIÓN GRÁFICA	DIMENSIONES	VOLTAJE DE OPERACIÓN	E/S ANÁLOGAS Y DIGITALES	ATRIBUTOS
Arduino FIO		28X65 mm <sup>2</sup>	3.3V	14 digitales 8 análogos	UART TTL Posee TWI así como SPI
Arduino Nano		45X18 mm <sup>2</sup>	7V – 12V	16 digitales 6 análogos	Tiene similitud en sus características al Arduino UNO
Arduino Micro		48X18 mm <sup>2</sup>	7V – 12V	20 digitales 12 análogos	Es similar al Arduino Leonardo, excepto en su tamaño
Arduino Mega ADK		101.52X53.3 mm <sup>2</sup>	7V – 12V	54 digitales 16 análogos	USB Host
Arduino Mega 2560		101.52X53.3 mm <sup>2</sup>	7V – 12V	54 digitales 16 análogos	4 UART 2 PWI 1 SPI
Arduino Leonardo		68.6X53.4 mm <sup>2</sup>	5V	20 digitales  12 análogos	Tiene comunicación  TWI, SPI y 2 UART

Arduino DUE		101.52X53.3 <i>mm</i> <sup>2</sup>	3.3V	54 digitales  12 análogos	2 puertos USB
Arduino UNO		68.6X53.4 <i>mm</i> <sup>2</sup>	6V – 12V	16 digitales  6 análogos	Posee I2C, SPI y un módulo UART

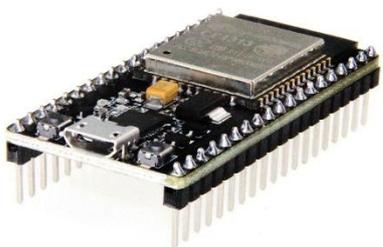
**Elaborado por:** El investigador

Al observar la tabla 10 con respectivas características, se comparó, se decidió utilizar el Arduino NANO, puesto que es robusto en cuanto a su contenido, tiene similares características del Arduino UNO, además que sus dimensiones se acondicionan al uso que se desea obtener. Además, en el caso de querer ampliar los usos del dispositivo se dispone de más pines análogos y digitales para poder utilizarlos.

### 3.2.9 Tarjeta inalámbrica

Cuando se desea enviar datos desde un circuito electrónico hacia una base de datos en una página web, es necesario disponer de un elemento que realice la conexión inalámbrica mediante el uso de WiFi; en el mercado existen varias tarjetas que pueden ser utilizadas, sin embargo, se debe elegir una que pueda realizar la comunicación serial con el Arduino para que pueda recibir por el puerto serial los datos y envíe via WiFi hacia la página web. Además, se busca que la codificación sea sencilla y no muy robusta al igual que su estructura física, ya que las dimensiones para el aplicativo que se le desea realizar, no amerita un gran tamaño.

**Tabla 10. Tipos de Tarjeta inalámbrica**

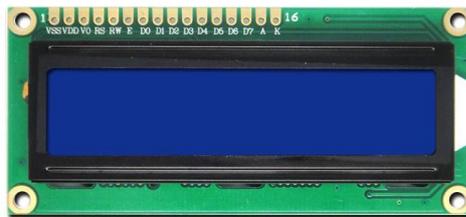
<b>TIPO DE TARJETA INALÁMBRICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN GRÁFICA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>ESP8266</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesador Xtensa L106</li> <li>- Compatible con Arduino</li> <li>- Velocidad de 80 Mhz</li> <li>- Memoria RAM de 64kb</li> <li>- 1 puerto serie UART</li> <li>- 16 pines GPIO</li> </ul>
<b>ESP32</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesador dual core Xtensa LX6</li> <li>- Compatible con Arduino</li> <li>- Velocidad de reloj entre 160 Mhz a 240 Mhz</li> <li>- Memoria RAM de 520 kb</li> <li>- 2 puertos serie UART</li> <li>- Bluetooth 4.2</li> <li>- 36 pines GPIO</li> </ul>

**Elaborado por:** El investigador

Teniendo los dos tipos de tarjetas inalámbricas que existen en el mercado y a disponibilidad de poder adquirirlas en las tiendas electrónicas. Se decidió utilizar la ESP32, por disponer de un mejor procesador, mayor capacidad de memoria RAM, y por disponer de dos puertos serie; pues el objetivo es que el proyecto tenga varias posibilidades de crecer, por esta razón si dispone de más alternativas para conectar más periféricos de entrada nos dará la oportunidad de poder hacer un dispositivo más robusto y sacarle un mejor provecho.

### 3.2.10 Pantalla de visualización de datos

Para poder observar los datos que el Arduino obtiene realizando el procesamiento de la señal, se decidió colocar una LCD de 16X2, considerando que sus características son suficientes para poder cumplir con el objetivo de que los pacientes y el médico puedan visualizar los niveles de glucosa en la sangre. Además, que su conexión al Arduino es muy sencilla realizarlo y su espacio en la pantalla es suficiente para poder imprimir los valores que se vayan obteniendo.



**Figura 5. Pantalla LCD 16X2**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooMo>

No se eligió entre otras pantallas LCD que disponen de más funciones por motivo de que solo se desea presentar las medidas, mas no gráficas u otros elementos. Por costo y utilidad se escogió este LCD que viene a ser muy útil y fácil de usar.

### 3.2.11 Case del dispositivo

Para poder encapsular todo el circuito y que pueda ser manipulado las veces que sean necesarias, se optó por diseñar un case en donde vayan todos los elementos del dispositivo. El case se dividió en dos partes, en el primer espacio se encuentran los diodos IR, ya que para obtener mejores resultados se decidió aislarlos del resto del circuito para que así se pueda evitar el contacto y por ende la alteración en la toma de mediciones. Se utilizó como materia prima para su elaboración el Tol, motivo por el cual también se colocó una base aislante para prevenir un cortocircuito en la placa.

Las dimensiones del case son las siguientes:

**Alto:** 8 cm

**Ancho:** 13 cm

**Profundidad:** 18 cm

Se hará un compartimiento, midiendo 5cm desde la parte frontal del case hacia atrás. En esta pequeña área irá colocado los diodos IR. Se optó por realizar este aislamiento para evitar interferencias en las mediciones realizadas.

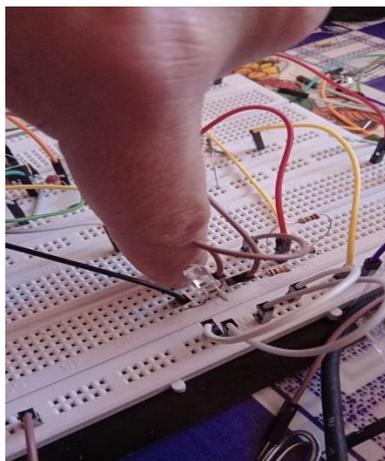


**Figura 6. Case del dispositivo**

### **3.2.12 Diseño e implementación del dispositivo**

#### **3.2.12.1 Adquisición de niveles de glucosa**

Como primera parte, el dispositivo electrónico debe obtener las variaciones de los niveles de glucosa en la sangre del paciente, es decir que la persona debe interactuar directamente con los diodos IR. Para que se puedan obtener una buena calidad en las lecturas de estos niveles de glucosa se ha dispuesto que el diodo emisor y el diodo receptor se coloquen uno opuesto del otro con una separación de 2,5cm; en este espacio el paciente debe colocar su dedo para poder realizar las mediciones.



**Figura 7. Pruebas del sensor Infrarrojo**

Como se puede observar en la Figura 7 el dedo se interpone entre el diodo emisor y el receptor. En esta etapa del circuito se procedió a realizar los cálculos necesarios para poder obtener las mediciones correctas. Se divide en dos partes, el diodo emisor y el receptor.

Para el diodo emisor, se conoce que el voltaje de entrada que nos proporciona la fuente del Arduino NANO es de 3,3V, sin embargo, el voltaje de operación para que el diodo led trabaje a una longitud de onda de 950 nm debe estar entre 1,3V – 1,5V. Se conoce además que la corriente que proporciona el Arduino es de 15 mA. Como la resistencia y el diodo led se conectan en serie, quiere decir que la corriente es la misma para los dos elementos, entonces se eligió una resistencia de 130 ohm para protección del diodo como se observa en la Figura 8. A continuación se presenta el cálculo. En donde:

Vt: es el voltaje total suministrado por la fuente.

V1: es el voltaje en la resistencia.

V2: es el voltaje en el diodo

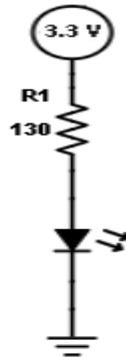
$$V = I \times R$$

$$V1 = 15mA \times 130\Omega$$

$$V1 = 1,95V$$

$$V2 = Vt - V1$$

$$V2 = 3.3V - 1.95V = 1.35V$$

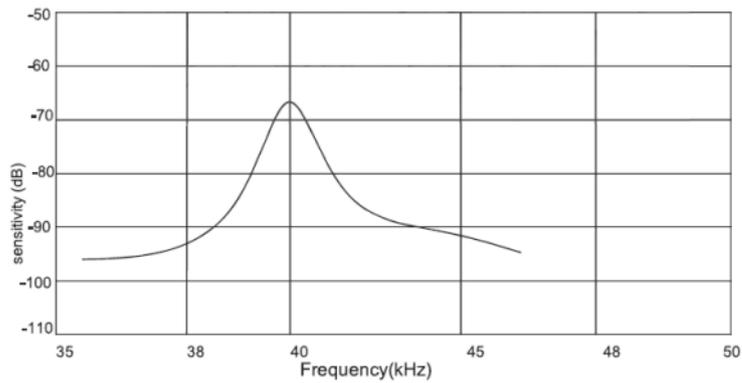


**Figura 8. Circuito emisor IR**

A continuación, se tiene al diodo receptor de luz infrarroja, el cual debe ir conectado al circuito de adecuación de la señal el cual se verá en la Figura 9.

### **3.2.12.2 Emisor de ultrasonidos**

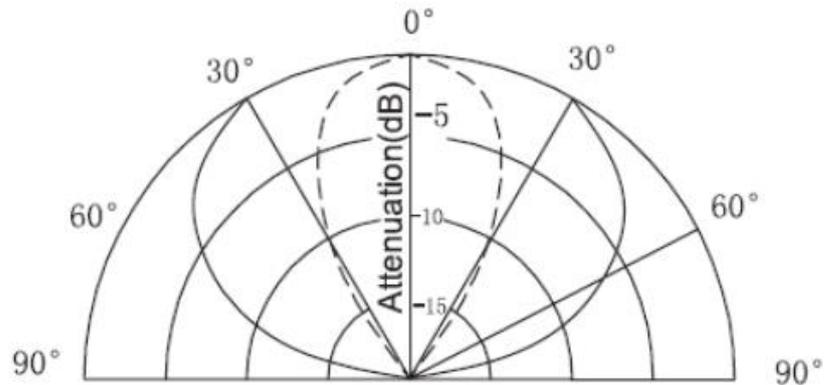
Para realizar la agrupación de las moléculas de glucosa en los nodos como se describió anteriormente, es necesario hacer uso de un elemento que produzca ultrasonido, por tal motivo se hizo uso el sensor HC-SR04, el mismo que tiene como una importante característica su sensibilidad máxima se produce a una frecuencia de 40KHz, como se puede observar en la Figura 9.



**Figura 9. Espectro de emisión del sensor HC-SR04**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooKD>

Como el emisor de ultrasonido debe ir colocado un lado de los diodos IR, se debe conocer el ángulo de emisión del sensor HC-SR04, esto con el objetivo de producir la mayor potencia donde se coloca el dedo del paciente; según el fabricante nos describe que su ángulo de emisión es de 30° como se observa en la Figura 10.

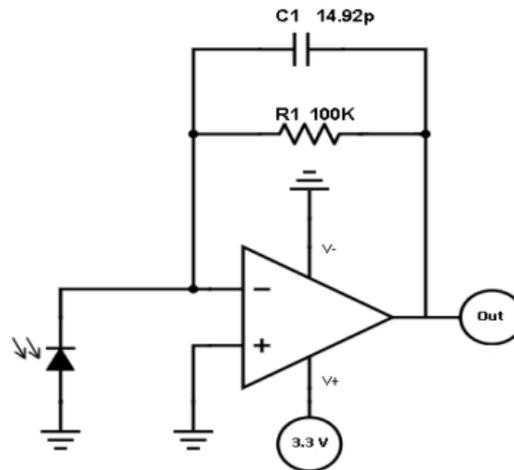


**Figura 10. Ángulo de Emisión Sensor HC-SR04**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooKD>

### 3.2.12.3 Circuito de adecuación de señal

El circuito de adecuación de señal se empieza por el diodo receptor de luz infrarroja, el cual va conectado a una etapa de amplificación de señal donde se utiliza un amplificador operacional como se ve en la Figura 11.



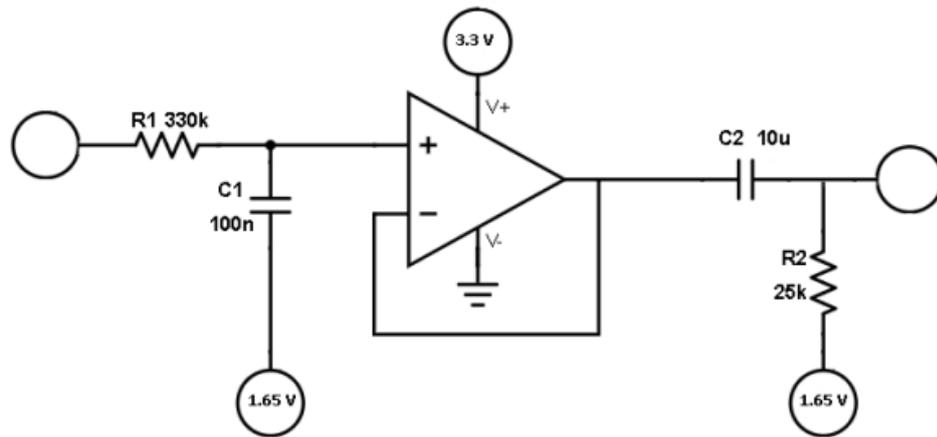
**Figura 11. Amplificador de Transimpedancia**

Esta configuración del amplificador operacional se la conoce como amplificador de transimpedancia, utilizado específicamente para fotodiodos de amplio rango. Los valores de R1 y C1 se pueden calcular a partir de las características del diodo receptor, tiene una capacitancia de 48 pF y un ancho de banda (GBW) que va de 1 – 45 Mhz. Se utilizó una resistencia de 100 k para realizar el cálculo del capacitor que debe colocarse, como se muestra a continuación:

$$C_1 = \frac{1}{4\pi R_F GBW} [1 + \sqrt{1 + 8\pi R_F GBW * CD}]$$

$$C_1 = 14.92 \text{ pF}$$

Luego de realizar las investigaciones necesarias se ve la necesidad de implementar un filtro pasa banda, el cual elimine el ruido que proviene del movimiento del dedo y de fuentes de luz externas, además de eliminar la componente continua de la señal pulsátil. En donde se deduce que el filtro debe tener frecuencias entre 0.6 a 5 Hz. Por tal motivo se construirá un filtro paso bajo y un paso alto como se muestra en la figura.



**Figura 12. Filtro pasa banda**

En el caso del filtro paso bajo, se menciona que se desea tener una frecuencia de corte de 5Hz. Para esto se eligió una resistencia de 330k y mediante el cálculo se resuelve que el capacitor debe ser:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$5 = \frac{1}{2\pi(330 \times 10^3)C}$$

Despejando C, se tiene:

$$C = \frac{1}{2\pi(330 \times 10^3)5} = 96,46 \text{ nF}$$

EL resultado que se obtiene del valor de la capacitancia no es un valor que se encuentre en el mercado; los fabricantes de elementos electrónicos realizan capacitores de ciertos valores de capacitancia puesto que sería muy difícil fabricar un capacitor de un valor exacto al que se necesite, prácticamente porque el fabricante desconoce en lo que será aplicado dicho capacitor, es por eso que se aproxima a un valor que, si se puede conseguir, en este caso se aproxima a 100 nF, que es un valor que si se dispone en el mercado. Para el filtro paso alto se menciona que se desea obtener una frecuencia de

corte de 0.6Hz; para este caso se trabaja con una resistencia de 25k y se realiza el mismo cálculo para obtener el valor de la capacitancia del filtro.

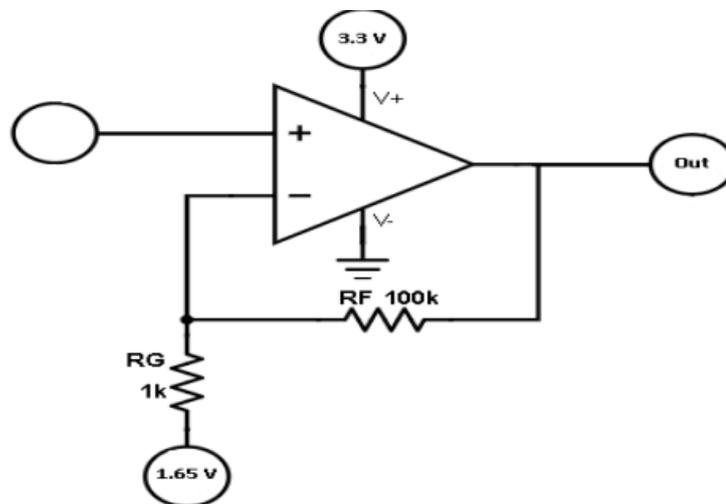
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$0.6 = \frac{1}{2\pi(25 \times 10^3)C}$$

Despejando C, se tiene:

$$C = \frac{1}{2\pi(25 \times 10^3)0.6} = 10.61 \mu F$$

Si se aproxima a un valor comercial que se tiene en el mercado sería en 10  $\mu F$ . Por otra parte, el uso del amplificador operacional en configuración de seguidor de tensión se lo hace para reducir los efectos de carga en el paso de un filtro a otro. Finalmente, ya filtrada la señal y eliminada el ruido, se procede a amplificar dicha señal, utilizando a un amplificador operacional en configuración no inversor, como se observa en le Figura.



**Figura 13. Amplificador No inversor**

En este amplificador se desea tener una ganancia de 100, entonces se desarrolló el siguiente análisis del circuito, las dos resistencias que son  $R_f = 100k\Omega$  y  $R_g = 1k\Omega$ , fueron utilizadas en el circuito y se procede a realizar los cálculos de la ganancia con estos valores.

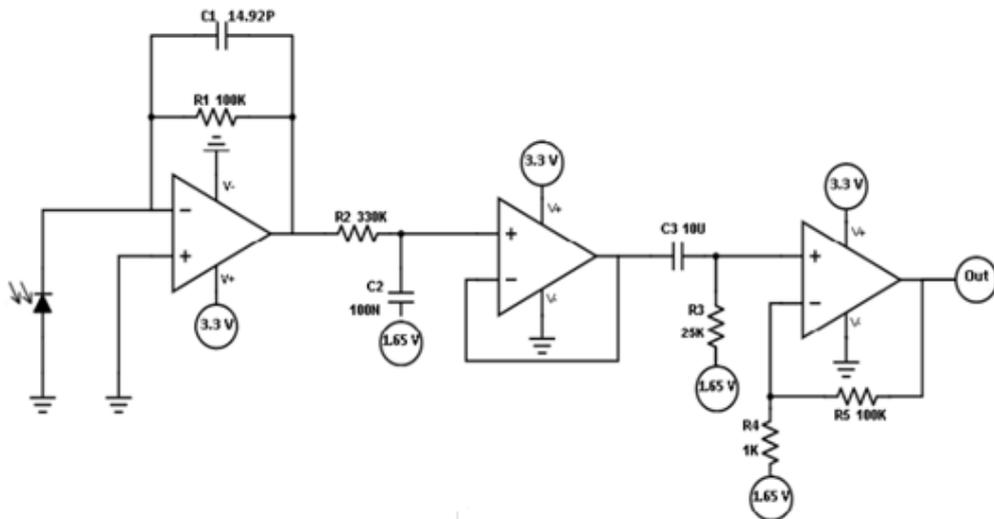
$$I_2 = \frac{V_{out} - V_{in}}{100k\Omega}$$

$$I_1 = \frac{V_{in} - V_o}{1k\Omega}$$

$$\frac{V_{out} - V_{in}}{100k\Omega} = \frac{V_{in}}{1k\Omega}$$

$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{100k\Omega}{1k\Omega} \right)$$

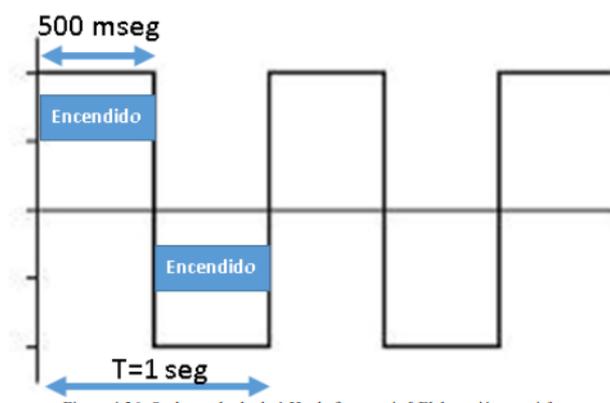
Una vez que se a elaborado el análisis de todas las etapas, se une a todo el circuito para ponerlo en funcionamiento. El esquema del circuito final se puede observar en la Figura 14.



**Figura 14. Esquema general del circuito de acondicionamiento**

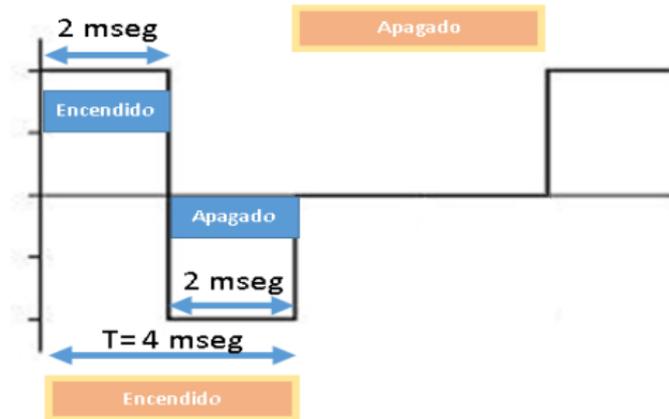
### 3.2.12.4 Procesamiento y visualización de la señal

Una vez que la señal es acondicionada y está lista para ser leída por el Arduino, se procede a realizar el tratamiento de esta para poder mostrar los niveles de glucosa en la pantalla LCD y su respectivo envío de datos a la página web. Primero se debe generar una onda cuadrada que alimente al LED IR emisor, en donde se hizo que se active y desactive cada 500 ms, para poder conseguir una frecuencia de 1Hz, como se muestra en la Figura 15.



**Figura 15. Onda cuadrada de 1Hz.**

Por otro lado, para conseguir el agrupamiento de las moléculas de glucosa se hizo uso de una onda cuadrada con amplitud modulada para activar al sensor de ultrasonido; en donde la portadora es de 40KHz es decir un  $T=0.025$  mseg, y la onda moduladora es de 250 Hz con  $T=4$  mseg. Para elaborar la onda cuadrada, se hizo uso de un temporizador de 4 mseg para de esta forma obtener la modulación de 250 Hz que se necesita. Es decir, que 2 mseg corresponden a encendido y 2 mseg apagado como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16. Onda cuadrada AM**

Para realizar esta configuración en el código del Arduino se utiliza tres funciones:

- **millis():** se utilizó para medir el tiempo en que se ejecuta la aplicación, para este caso permitió determinar el periodo del temporizador manual, cada 4 mseg.
- **delayMicroseconds():** se utilizó para poder producir el retardo que necesita el sensor de ultrasonido, en este caso se enciende el altavoz durante 12,5 us y se apaga la misma duración, haciendo que se genere los 40 KHz de la onda portadora.
- **digitalWrite():** se utilizó para establecer los estados lógicos del sensor ultrasonido.

Básicamente de eso consta el código de la programación del Arduino para poder generar estas dos señales muy importantes para el comportamiento de todo el dispositivo. Por otro lado, para la visualización de datos se debe realizar un procesamiento de la señal de entrada, en donde se realiza lo siguiente:

- Se adquiere la señal mediante el comando **analogRead()**, el cual obtiene la lectura de la señal de interés.
- Se crean dos variables para poder asignar un valor máximo y un valor mínimo.
- Se realiza una comparación entre la lectura anterior y la actual y se imprime el valor considerado como nivel de glucosa en la sangre.

- Para probar que corresponde según el nivel de voltaje se procede a realizar una pequeña igualdad matemática, en donde el voltaje será igual a la señal adquirida multiplicada por el voltaje máximo de entrada, en este caso sería de 3,3V; este valor se divide para 1023 cuyo calor corresponde al ADC del Arduino.
- Finalmente para presentar los datos en la LCD se utiliza el comando `printf()`; en donde según la ubicación que se coloque los datos se debe especificar las coordenadas de la matriz de la pantalla.

#### 3.2.12.4.1 Comunicación serial y envío de datos a la página web

Para el envío de los datos del Arduino hacia la placa de comunicación inalámbrica ESP32, se debe realizar una conexión serial utilizando los puertos de las dos placas conocidos como UART. Aquí se realiza la programación en las dos placas a la par.

Primero en la placa de Arduino se debe saber la estructura del envío de datos por el puerto serial, la cual se puede hacer utilizando los siguientes comandos:

- **serial.print(dato):** se utiliza para poner un dato en el puerto serial del Arduino.
- **serial.write(dato):** tiene la misma función de escribir un dato en el puerto serial del Arduino.
- **serial.begin():** este comando se utiliza para inicializar la comunicación serial de la placa de Arduino.

Con estos tres comandos se puede realizar la comunicación serial, basta con ubicar en donde corresponde, es decir que las impresiones en el puerto serial tiene un orden para que pueda ser leído de manera correcta en el lado de la placa inalámbrica. La placa ESP32 de igual manera utiliza el mismo código para la comunicación serial con una diferencia, consiste en que envés de enviar los datos, ahora este debe recibir la información, entonces se hace uso del comando **serial.read()**, obviamente habiendo inicializado la comunicación antes de colocar la lectura en el puerto serial, caso contrario no se obtendrá ningún valor. Luego se iguala a una variable para poder guardar estos datos y proceder al envío de los datos a la página web. Para el envío de datos a la página web se debe conocer la estructura de la petición que se debe hacer

para poder acceder a la base de datos de nuestro servidor, en donde se procedió a escribir el siguiente código como se muestra en la Figura 17.

```
client.print(String("POST ") + strurl + " HTTP/1.1" + "\r\n" +
"Host: " + host + "\r\n" +
"Connection: keep-alive" + "\r\n" +
"Content-Length: " + datos.length() + "\r\n" +
"Cache-Control: max-age=0" + "\r\n" +
"Origin: http://inpronet.ec" + "\r\n" +
"Upgrade-Insecure-Requests: 1" + "\r\n" +
"User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/59.0.3071.86 Safari/537.36 OPR/46.0.2597.32" + "\r\n" +
"Content-Type: application/x-www-form-urlencoded" + "\r\n" +
"Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8" + "\r\n" +
"Referer: http://tutorialesp.epizy.com/" + "\r\n" +
"Accept-Language: es-419,es;q=0.8" + "\r\n" +
"Cookie: __test=f8113e8304f97333c04e20518549f29c; _ga=GA1.2.2140598187.1499029965; _gid=GA1.2.1824054122.1499029966" + "\r\n" +
"\r\n" + datos);
```

**Figura 17. Código de petición al servidor web desde la ESP32**

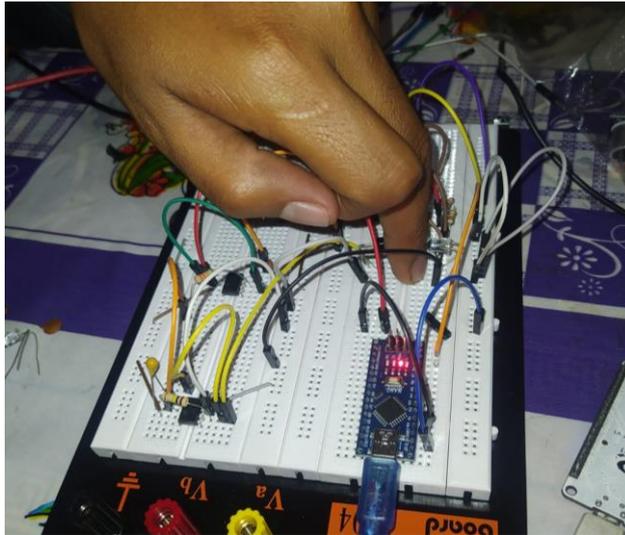
### 3.2.12.5 Desarrollo del Hardware

Para la construcción del dispositivo se empezó por la simulación del circuito en el LiveWire, en donde aprovechando sus herramientas se elabora además el PCB de este, como se puede apreciar en la Figura 18.



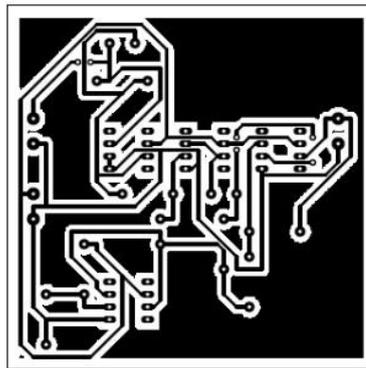
**Figura 18. Diseño de la placa en LiveWire**

Para probar que el circuito diseñado funciona correctamente se procede a realizar las pruebas en la Protoboard, en donde se realiza mediante las mediciones de los niveles de glucosa sin insertar el sensor ultrasónico para ver qué diferencias tiene al colocarlo después en el Case del dispositivo como se muestra en la Figura 19.



**Figura 19. Primera prueba en Protoboard del Dispositivo**

Una vez que se realizaron las pruebas de funcionamiento del dispositivo en la Protoboard, se procedió a realizar la placa que se creó en el PCB del software LiveWire, en donde se reduce el espacio al máximo para evitar que las dimensiones del dispositivo sean muy grandes. Obteniendo una placa adecuada y eficiente en su funcionamiento.



**Figura 20. Circuito impreso elaborado en LiveWire**

Luego se colocó los diodos IR en el case, haciendo uso del compartimento mas pequeño del case; esto con el fin de evitar que ingre luz u otros elementos en el medio y así se vea comprometido las mediciones de los niveles de glucosa. Por tal motivo se procedió a realizar solo un orificio para que solamente ingrese el dedo del paciente.

El Case fue diseñado pensando en las interferencias que se tuvo al realizar las pruebas en la protoboard, como factor principal que afectaba las mediciones fue la luz del día, es por eso que al realizar las pruebas en la noche se tenían mejores resultados, por estos motivos se pensó en diseñar el Case en color negro y sellado en su totalidad.

En cuanto a la Tarjeta ESP32 se ubicará en el espacio más grandes del Case junto con el Arduino y el circuito de acondicionamiento. Pues no presentó mayor problema o inconveniente al juntar estos elementos, solo se debe fijar bien las tarjetas en el Case para así no tener problemas al momento que el dispositivo presenta algún movimiento.



**Figura 21. Colocación de los elementos en el Case**

Finalmente, se añade el LCD en la parte superior del Case sin que cause alguna alteración en la toma de mediciones de los diodos IR. Se coloca además un interruptor principal para el encendido y apagado del sistema, así como el botón de reset. Presentando un dispositivo que el usuario final tenga la facilidad de utilizarlo ya que además se añadieron leyendas donde se instruye al paciente en donde colocar el dedo.

### 3.2.12.6 Incorporación de la página web

Para la creación de la página web, en primer lugar, se debe comprar un servidor web en donde se aloja nuestra página; asegurando que se tenga acceso a todos los servicios, en especial a la Base de Datos MySQL, por motivo de que mediante el uso de esta se pueden enviar los datos desde el dispositivo hace la página web. Para la contratación del servidor web se debió cancelar un valor de \$79, obteniendo una capacidad de almacenamiento de 50Gb, suficiente como para poder utilizarlo con nuestro aplicativo. Una vez que se adquirió el servidor de la empresa ECUAHOSTING, se ingresó al panel de control en donde se debe ingresar los datos que nos proporcionó la empresa; se ingresa el usuario y contraseña que nos llegó al correo electrónico.



**Figura 22. Credenciales en cPanel del servidor web**

Ingresando en el panel de control se puede observar varias herramientas que se puede utilizar; lo que en este caso se necesita crear el dominio para poder alojar la página web. Para realizarlo, se deber realizar lo siguiente:

- Ingresar en la opción Domains.
- Crear un dominio asignando un nombre.
- El nombre asignado debe tener la siguiente estructura, “nombredominio.com”



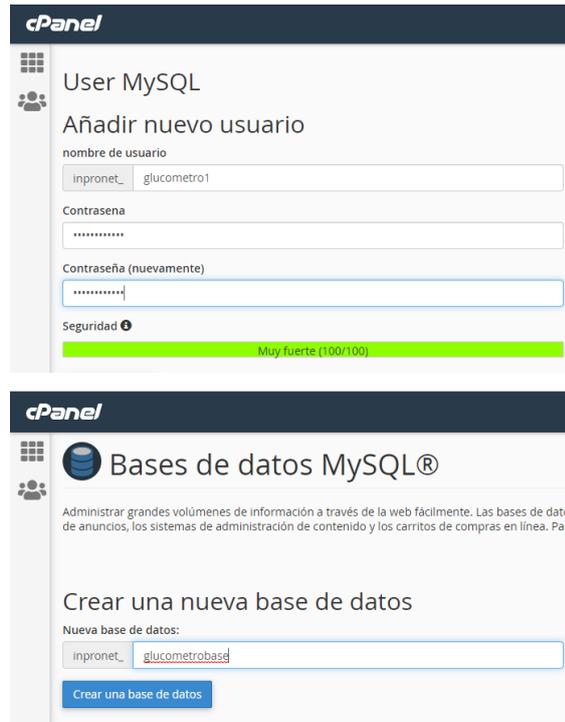
**Figura 23. Creación de un subdominio**

Luego se crea un servidor FTP, ya que se necesitará subir los archivos de programación php y html al servidor, motivo por el cual se crea este servidor. Se puede asignar los permisos que se desee, en este caso se asignó un usuario y contraseña.



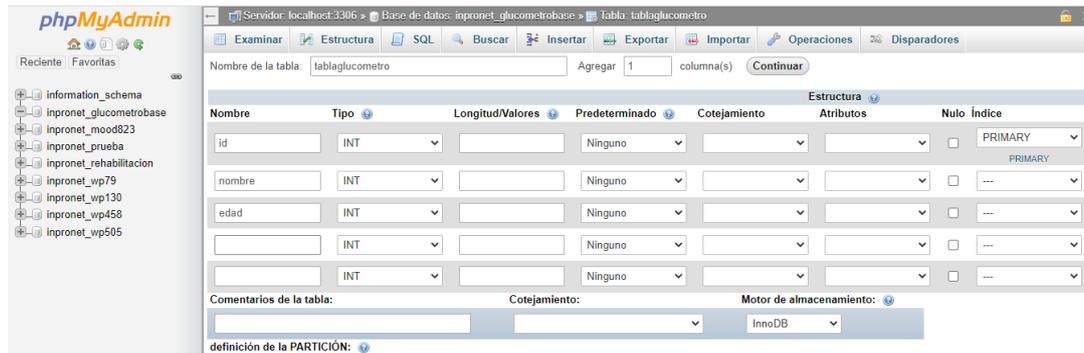
**Figura 24. Creación de cuenta ftp**

El dispositivo se puede conectar y enviar los datos a la página web. En el panel del servidor web se tiene la opción de “Databases” en donde se puede crear una base de datos con las características que se requieran; en este caso se activará todos los privilegios para no tener inconvenientes a futuro con el envío de los datos. Se le asigna el nombre de “glucometrobase”.



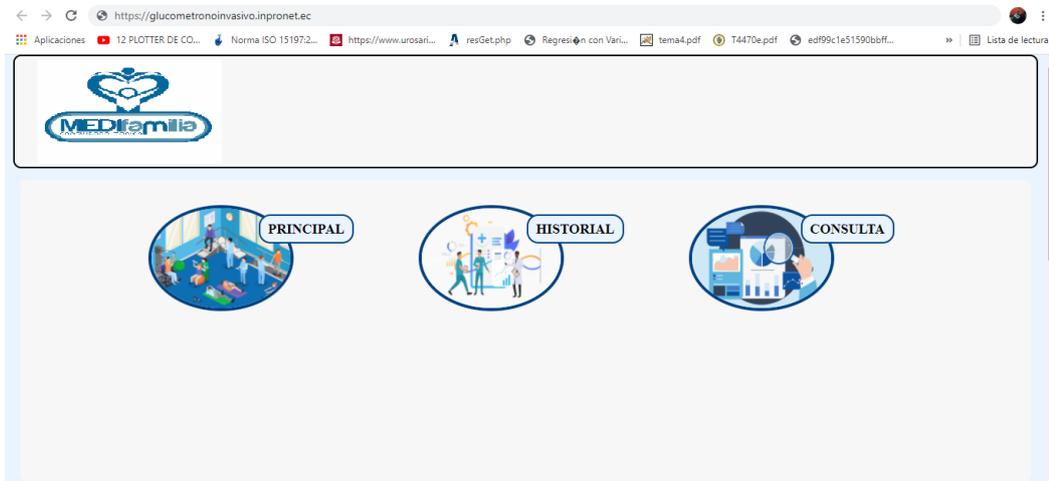
**Figura 25. Creación de usuario y base de datos**

Una vez creada la base de datos, se procede a crear una tabla en donde se alojarán los datos enviados desde el circuito. Es importante saber el tipo de dato que se va a enviar a la tabla, porque se debe especificar lo que se va a recibir desde el dispositivo. Al igual que la base de datos, la tabla también debe tener un nombre, el cual se designa “tablaglucometro”; para luego añadirle las columnas que se vaya a necesitar. Para el dispositivo, se necesita solamente de un dato, puesto que los datos del paciente son ingresados desde un html creado, esto por petición del Centro Médico MediFamilia. El dato lo llevará el nombre de “nivel” el cual será un dato tipo flotante, ya que así se envía desde la ESP32. El dato de autoincremento y fecha se obtiene desde la misma tabla, entonces no es necesario asignarle algún tipo especial de parámetro.



**Figura 26. Creación de una tabla en la base de datos**

Una vez creado esto, se procede al diseño de la página web, en el cual se hará uso de la herramienta Dreamweaver, para la posterior conectividad directa hacia un servidor ftp; es aquí en donde se enlaza al server ftp para poder subir o modificar los archivos del servidor. Para la página principal se utilizará un archivo index.html, el cual ha sido utilizado anteriormente en una aplicación web, de esta manera se evita la creación de todo el código. De igual forma el archivo php, encargado de enlazar al dispositivo con el html y hace posible la presentación de los datos.



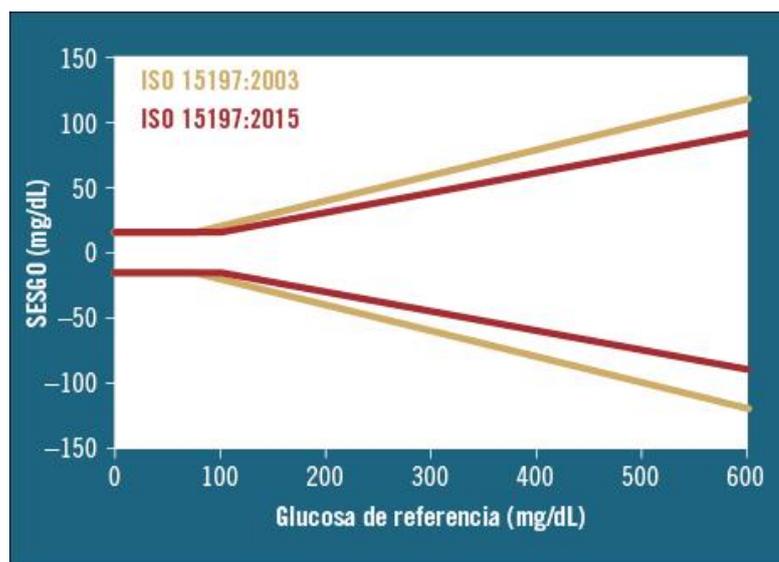
**Figura 27. Página web del centro médico MediFamilia**

### 3.3 Resultados

Para realizar las mediciones respectivas en los pacientes asignados por el centro médico MediFamilia, se debe aclarar las normas a las cuales se debe regir para poder realizar las debidas comparaciones con los otros dispositivos. Las normas ISO 15197:2015 establecen dos criterios, los cuales son:

- El 95% de las mediciones de glucosa tomadas deben estar en el rango de error de  $\pm 15$  mg/dL con respecto al promedio de las mediciones obtenidas, esto en concentraciones inferiores a los 100 mg/dL. Por otro lado, las mediciones superiores a los 100 mg/dL, su margen de error debe ser de un  $\pm 15\%$ .
- El 99% de las mediciones de glucosa deber estar en las zonas A y B de la cuadrícula de análisis consensuado de errores para la diabetes tipo 1.

Las zonas A y B se establecen a continuación en la Figura 22, en donde se ubicarán las mediciones que se realicen a todos los pacientes.



**Figura 28. Zonas A y B – Análisis de errores**

**Fuente:** <http://bitly.ws/ooPS>

Una vez descrito las normas se procedió a realizar las mediciones en 8 pacientes. En donde 5 pacientes padecen de diabetes y 3 personas adicionales con niveles de glucosa

supuestamente normales; fueron sometidos a las distintas mediciones. Las 3 personas adicionales a la población descrita en el presente documento se realizaron las pruebas para comparar el funcionamiento del dispositivo a niveles de bajos y altos de glucosa. Las variaciones en porcentaje así como en mg/dL, se desarrollaron tablas individuales de cada paciente con los niveles obtenidos por los 3 dispositivos invasivos y el dispositivo electrónico no invasivo. Como se necesitó del promedio de las mediciones para poder obtener los porcentajes de variación de las mediciones, se procedió a realizar las tablas en Excel, en donde se pudo obtener los resultados deseados.

Los pacientes se sometieron a dos mediciones en un lapso de dos semanas seguidas. Empezando con el primer paciente se elaboró la tabla con las mediciones tomadas como se muestra en la Tabla 11. En la parte inferior de la tabla se puede observar los promedios de las variaciones de las mediciones en porcentaje y en mg/dL. Pues estos datos nos servirán para determinar si el dispositivo cumple con la norma ISO 15197:2015.

### **Paciente 1**

El paciente 1 se trata de una persona joven de 28 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 11. Mediciones del Paciente 1**

FECHA	MEDICIONES DE PACIENTE 1 EN mg/dL							
	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	98	99	98	103	31	98.33	4.75%	4.67
24/01/2022	99	99	100	101	30	98.33	1.68%	1.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 1 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 4.75% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 4.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual

se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

## Paciente 2

El paciente 2 se trata de una persona adulta de 31 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 12. Mediciones del Paciente 2**

MEDICIONES DE PACIENTE 2 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO O NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO O MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	99	99	97	102	31	98.33	3.73%	3.67
24/01/2022	98	98	99	104	32	98.33	5.76%	3.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 2 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5,76% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 3.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 3

El paciente 1 se trata de una persona joven de 19 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 13. Mediciones del Paciente 3**

	MEDICIONES DE PACIENTE 3 EN mg/dL							
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	101	100	100	105	32	100.33	4.65%	4.67
24/01/2022	102	100	100	105	32	100.67	4.30%	4.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 3 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 4.65% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 4.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 4

El paciente 1 se trata de una persona adulta de 43 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 14. Mediciones del Paciente 4**

MEDICIONES DE PACIENTE 4 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	100	100	99	107	32	99.67	7.36%	7.33
24/01/2022	98	100	102	106	32	100	6%	6

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 4 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 7.36% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 7.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

#### **Paciente 5**

El paciente 5 se trata de una persona adulta de 52 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 15. Mediciones del Paciente 5**

MEDICIONES DE PACIENTE 5 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	99	98	99	104	31	98.67	5.41%	5.33
24/01/2022	99	99	100	102	30	99.33	2.68%	2.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 5 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.41% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 5.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados

o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 6

El paciente 6 se trata de una persona adulta de 30 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 16. Mediciones del Paciente 6**

MEDICIONES DE PACIENTE 6 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
17/01/2022	100	100	101	105	31	100.33	4.65%	4.57
24/01/2022	102	102	101	107	32	101.67	5.25%	5.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 6 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.25% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 5.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 7

El paciente 7 se trata de una persona joven de 23 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 17. Mediciones del Paciente 7**

MEDICIONES DE PACIENTE 7 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	95	94	95	100	30	94.67	5.63%	5.33
25/01/2022	94	96	96	100	30	95.33	4.90%	4.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 7 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.63% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 5.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 8

El paciente 8 se trata de una persona joven de 26 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 18. Mediciones del Paciente 8**

MEDICIONES DE PACIENTE 8 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	101	101	100	110	33	100.67	9.27%	9.33
25/01/2022	102	102	104	108	32	102.67	5.19%	5.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 8 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 9.27% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 9.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 9**

El paciente 9 se trata de un niño de 7 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 19. Mediciones del Paciente 9**

MEDICIONES DE PACIENTE 9 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	99	99	99	104	31	99	5.05%	5
25/01/2022	98	97	98	103	30	97.67	5.46%	5.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 9 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.46% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 5.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados

o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 10**

El paciente 10 se trata de una persona joven de 29 años, el cual se realizó un control de sus niveles de glucosa, ya que se presume que por su sintomatología puede padecer de Diabetes, y si fuese el caso se empezaría con el respectivo tratamiento.

**Tabla 20. Mediciones del Paciente 10**

MEDICIONES DE PACIENTE 10 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	98	98	99	102	30	98.33	3.73%	3.67
25/01/2022	97	96	97	105	31	96.67	8.62%	8.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 10 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 8.62% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 8.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente no presentó niveles elevados o anormales de glucosa para poder afirmar que se trata de diabetes, motivo por el cual se tienen niveles bajos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

## Paciente 11

El paciente 11 se trata de una persona joven de 20 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 21. Mediciones del Paciente 11**

MEDICIONES DE PACIENTE 11 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	120	121	121	133	40	120.67	10.22%	12.33
25/01/2022	119	119	118	130	39	118.67	9.55%	11.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 11 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 10.22% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 12.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

## Paciente 12

El paciente 12 se trata de una persona adulto mayor de 70 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 22. Mediciones del Paciente 12**

MEDICIONES DE PACIENTE 12 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
18/01/2022	140	141	139	150	45	140	7.14%	10
25/01/2022	143	144	142	151	46	143	5.59%	8

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 12 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 7.14% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 10 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 13**

El paciente 13 se trata de una persona adulta de 58 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 23. Mediciones del Paciente 13**

MEDICIONES DE PACIENTE 13 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	151	150	149	166	50	150	10.67%	16
26/01/2022	150	150	148	164	49	149	9.82%	14.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 13 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 10.67% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 16 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

#### **Paciente 14**

El paciente 14 se trata de una persona adulta de 50 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 24. Mediciones del Paciente 14**

MEDICIONES DE PACIENTE 14 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	136	135	134	156	46	135	15.56%	21
26/01/2022	133	133	135	158	47	133.67	18.20%	24.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 14 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 18.20% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 24.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

#### **Paciente 15**

El paciente 15 se trata de una persona joven de 26 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 25. Mediciones del Paciente 15**

MEDICIONES DE PACIENTE 15 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	151	152	153	166	49	152	9.21%	14
26/01/2022	150	153	150	165	49	151	9.27%	14

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 15 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 9.27% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 14 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 16**

El paciente 16 se trata de una persona joven de 27 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 26. Mediciones del Paciente 16**

MEDICIONES DE PACIENTE 16 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	134	133	134	148	44	133.67	10.72%	14.33
26/01/2022	132	133	133	150	45	132.67	13.07%	17.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 16 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 13.07% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 17.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 17**

El paciente 17 se trata de una persona adulta de 39 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 27. Mediciones del Paciente 17**

MEDICIONES DE PACIENTE 17 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	156	155	154	167	50	155	7.74%	12
26/01/2022	152	152	150	169	51	151.33	11.67%	17.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 17 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 11.67% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 17.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 18**

El paciente 18 se trata de una persona adulta de 48 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 28. Mediciones del Paciente 18**

MEDICIONES DE PACIENTE 18 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
19/01/2022	146	145	146	158	47	145.67	8.47%	12.33
26/01/2022	144	144	145	159	47	144.33	10.16%	14.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 18 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 10.16% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 14.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 19**

El paciente 19 se trata de una persona adulta de 62 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 29. Mediciones del Paciente 19**

MEDICIONES DE PACIENTE 19 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	138	136	137	155	46	137	13.14%	18
27/01/2022	136	135	135	158	47	135	16.75%	22.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 19 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 16.75% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 22.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 20

El paciente 20 se trata de una persona adulto mayor de 71 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 30. Mediciones del Paciente 20**

MEDICIONES DE PACIENTE 20 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	144	145	146	161	48	145	11.03%	16
27/01/2022	143	143	144	162	48	143.33	13.02%	18.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 20 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 13.02% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 18.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles medianamente altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 21

El paciente 21 se trata de una persona adulta de 44 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 31. Mediciones del Paciente 21**

MEDICIONES DE PACIENTE 21 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	160	159	160	168	50	159.67	5.22%	8.33
27/01/2022	166	165	165	169	50	165.33	2.22%	3.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 21 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.22% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 8.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 22**

El paciente 22 se trata de una persona adulto mayor de 65 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 32. Mediciones del Paciente 22**

MEDICIONES DE PACIENTE 22 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	165	166	166	170	51	165.67	2.62%	4.33
27/01/2022	168	169	168	171	51	168.33	1.58%	2.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 22 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 2.62% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 4.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 23

El paciente 23 se trata de una persona adulta de 53 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 33. Mediciones del Paciente 23**

MEDICIONES DE PACIENTE 23 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCUCHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	165	166	164	176	55	165	6.67%	11
27/01/2022	167	166	166	177	55	166.33	6.41%	10.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 23 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 6.67% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 11 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 2, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 24

El paciente 24 se trata de una persona adulto mayor de 66 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 34. Mediciones del Paciente 24**

MEDICIONES DE PACIENTE 24 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
20/01/2022	181	182	182	189	76	181.67	4.04%	7.33
27/01/2022	180	180	179	189	76	179.67	5.19%	9.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 24 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 5.19% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 9.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 25**

El paciente 25 se trata de una persona adulta de 42 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 35. Mediciones del Paciente 25**

MEDICIONES DE PACIENTE 25 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	177	176	176	188	76	176.33	6.62%	11.67
28/01/2022	177	177	176	189	76	176.67	6.98%	12.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 25 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 6.98% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 12.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 26**

El paciente 26 se trata de una persona adulta de 33 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 36. Mediciones del Paciente 26**

MEDICIONES DE PACIENTE 26 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	165	165	166	181	73	165.33	9.48%	15.67
28/01/2022	166	166	165	182	73	165.67	9.86%	16.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 26 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 9.86% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 16.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 27**

El paciente 27 se trata de una persona adulta de 38 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 37. Mediciones del Paciente 27**

MEDICIONES DE PACIENTE 27 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	173	172	173	188	76	172.67	8.88%	15.33
28/01/2022	175	175	174	189	76	174.67	8.21%	14.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 27 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 8.88% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 15.33 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### **Paciente 28**

El paciente 28 se trata de una persona joven de 27 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 38. Mediciones del Paciente 28**

MEDICIONES DE PACIENTE 28 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	170	171	170	189	76	170.33	10.96%	18.67
28/01/2022	171	173	171	189	76	171.67	10.10%	17.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 28 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 10.96% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 18.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece

Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 29

El paciente 29 se trata de una persona joven de 16 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 39. Mediciones del Paciente 29**

MEDICIONES DE PACIENTE 29 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	156	157	156	177	57	156.33	13.22%	20.67
28/01/2022	155	155	156	178	58	155.33	14.59%	22.67

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 29 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 14.59% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 22.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

### Paciente 30

El paciente 30 se trata de una persona joven de 18 años, el cual se realiza un seguimiento constante de sus niveles de glucosa, ya que por su tratamiento el doctor tratante necesita saber las variaciones que sufren los niveles de glucosa en su sangre, y así mantener la medicación, elevar o bajar la dosis; incluso cambiar la medicación.

**Tabla 40. Mediciones del Paciente 30**

MEDICIONES DE PACIENTE 30 EN mg/dL								
FECHA	VIVA CHECK FED	TRUE RESULT	ACCU-CHEK	DISPOSITIVO NO INVASIVO	Voltaje (mV)	PROMEDIO MEDIDAS	VARIACIÓN EN %	VARIACIÓN EN mg/dL
21/01/2022	166	167	166	181	73	166.33	8.82%	14.67
28/01/2022	165	165	164	179	56	164.67	8.70%	14.33

**Elaborado por:** El investigador

En el paciente 30 se obtuvo como resultados del dispositivo electrónico no invasivo una variación de 8.82% con respecto al promedio de los tres dispositivos invasivos, y una variación de 14.67 mg/dL. Se debe aclarar que el paciente presenta o padece Diabetes tipo 1, motivo por el cual se tienen niveles altos de glucosa en la sangre. Por otro lado, se observa que la desviación media del dispositivo no invasivo es baja y está dentro de las zonas A y B que se presenta en la Figura 22.

Como se había especificado en las normas ISO 15197:2015, se tiene dos formas de poder establecer si el dispositivo cumple con lo necesario para poder confiar en los resultados que presente. La primera norma nos dice que si los rangos leídos son superiores a niveles de más de 100 mg/dL se debe hacer un cálculo en donde del 95% de estas mediciones debe oscilar en valores de  $\pm 15$  mg/dL; este no es el caso del presente estudio ya que de los niveles obtenidos se supera los 100 mg/dL, entonces se apega a la segunda norma que nos dice que si las mediciones son superiores a 100 mg/dL se puede tener variaciones de  $\pm 15\%$ . Con esto, se procedió a obtener los promedios de las mediciones de cada paciente, de la siguiente manera. Como punto final se procedió a realizar una correlación de los datos del dispositivo electrónico, para observar si los datos obtenidos tienen relación y así verificar la eficiencia de las lecturas que se obtiene con el dispositivo. El método utilizado es una Regresión Lineal Simple, en donde X será el nivel de glucosa obtenido en mg/dL y la Y será el voltaje obtenido en mV. Para realizar los cálculos se desarrolló una tabla de Excel en donde se colocaron los datos y se procedió a realizar la regresión como se muestra a continuación.

Número	Concentración (mg/dL)	Voltaje (mV)	$X_i$	$Y_i$	$X_i^2$	$X_i Y_i$
	X	Y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	103	31	-44.13333333	-16.76666667	1948	740
2	101	30	-46.13333333	-17.76666667	2128	820
3	102	31	-45.13333333	-16.76666667	2037	757
4	104	32	-43.13333333	-15.76666667	1860	680
5	105	32	-42.13333333	-15.76666667	1775	664
6	105	32	-42.13333333	-15.76666667	1775	664
7	107	32	-40.13333333	-15.76666667	1611	633
8	106	32	-41.13333333	-15.76666667	1692	649
9	104	31	-43.13333333	-16.76666667	1860	723
10	102	30	-45.13333333	-17.76666667	2037	802
11	105	31	-42.13333333	-16.76666667	1775	706
12	107	32	-40.13333333	-15.76666667	1611	633
13	100	30	-47.13333333	-17.76666667	2222	837
14	100	30	-47.13333333	-17.76666667	2222	837
15	110	33	-37.13333333	-14.76666667	1379	548
16	108	32	-39.13333333	-15.76666667	1531	617
17	104	31	-43.13333333	-16.76666667	1860	723
18	103	30	-44.13333333	-17.76666667	1948	784
19	102	30	-45.13333333	-17.76666667	2037	802
20	105	31	-42.13333333	-16.76666667	1775	706
21	133	40	-14.13333333	-7.76666667	200	110
22	130	39	-17.13333333	-8.76666667	294	150
23	150	45	2.86666667	-2.76666667	8	-8
24	151	46	3.86666667	-1.76666667	15	-7
25	166	50	18.86666667	2.23333333	356	42
26	164	49	16.86666667	1.23333333	284	21
27	156	46	8.86666667	-1.76666667	79	-16
28	158	47	10.86666667	-0.76666667	118	-8
29	166	49	18.86666667	1.23333333	356	23
30	165	49	17.86666667	1.23333333	319	22
31	148	44	0.86666667	-3.76666667	1	-3
32	150	45	2.86666667	-2.76666667	8	-8
33	167	50	19.86666667	2.23333333	395	44
34	169	51	21.86666667	3.23333333	478	71
35	158	47	10.86666667	-0.76666667	118	-8
36	159	47	11.86666667	-0.76666667	141	-9
37	155	46	7.86666667	-1.76666667	62	-14
38	158	47	10.86666667	-0.76666667	118	-8
39	161	48	13.86666667	0.23333333	192	3
40	162	48	14.86666667	0.23333333	221	3
41	168	50	20.86666667	2.23333333	435	47
42	169	50	21.86666667	2.23333333	478	49
43	170	51	22.86666667	3.23333333	523	74
44	171	51	23.86666667	3.23333333	570	77
45	176	55	28.86666667	7.23333333	833	209
46	177	55	29.86666667	7.23333333	892	216
47	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
48	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
49	188	76	40.86666667	28.23333333	1670	1154
50	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
51	181	73	33.86666667	25.23333333	1147	855
52	182	73	34.86666667	25.23333333	1216	880
53	188	76	40.86666667	28.23333333	1670	1154
54	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
55	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
56	189	76	41.86666667	28.23333333	1753	1182
57	177	57	29.86666667	9.23333333	892	276
58	178	58	30.86666667	10.23333333	953	316
59	181	73	33.86666667	25.23333333	1147	855
60	179	56	31.86666667	8.23333333	1015	262
<b>TOTAL</b>	<b>8828</b>	<b>2866</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>64805</b>	<b>28241</b>
$\bar{x}$	147.1333333					
$\bar{y}$	47.7666667					

-16.3514897

$$\beta_1 = \bar{Y} - \bar{X}\beta_2$$

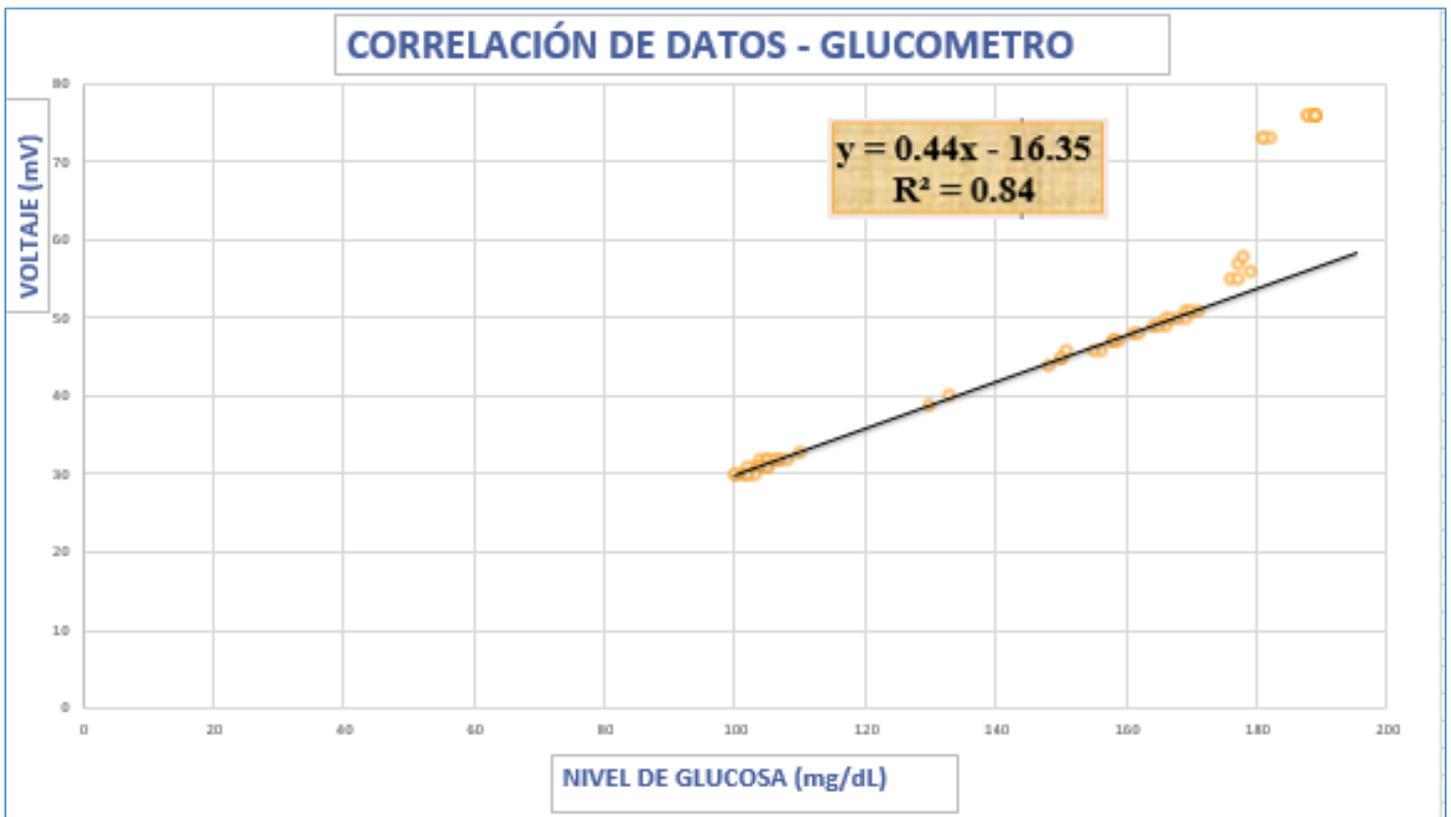
$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

0.435782667

En donde se obtuvo la siguiente ecuación:

$$y = 0.44x - 16.35$$

Luego se realizó la gráfica en donde se observó lo siguiente:



Como podemos observar el coeficiente de correlación tiene un valor de 0.84, demostrando así que el voltaje y el nivel de glucosa tienen una intensidad de relación aceptable y además se puede notar que al tener niveles de glucosa más elevados se produce un mayor error en las lecturas del dispositivo electrónico.

### 3.4 Presupuesto

En la siguiente tabla se puede observar de forma más detallada el presupuesto que se ejecutó en la realización del presente proyecto, en el cual consta el costo del diseño incluida la implementación en cuanto al sistema del glucómetro no invasivo, es así que el valor que nos arroja es de \$471.50.

**Tabla 41. Presupuesto del Dispositivo**

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
1	Arduino Nano	1	\$ 12.00	\$ 12.00
2	ESP32	1	\$ 11.00	\$ 11.00
3	Resistencias varias	20	\$ 0.05	\$ 1.00
4	Capacitores varios	8	\$ 0.15	\$ 1.20
5	Amplificadores Operacionales LM 741	6	0,5	\$ 0.50
6	Servidor web Ecuahosting	–	\$ 79.00	\$ 79.00
7	LCD 16X2	1	\$ 5.60	\$ 5.60
8	Case del dispositivo	1	\$ 30.00	\$ 30.00
9	Baquelita de Cobre	1	\$ 3.00	\$ 3.00
10	Diodos IR	4	\$ 0.25	\$ 1.00
11	Interruptor On/Off	1	\$ 0.30	\$ 0.30
12	Bornes de dos pines	4	\$ 0.25	\$ 1.00
13	Cable multipar		\$ 0.60	\$ 0.00
14	Cargador de celular	1	\$ 10.00	\$ 10.00
15	Sensor HC-SR04	1	\$ 4.75	\$ 4.75
16	Diseño e implementación	-	\$ 250.00	\$ 250.00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 410.35
<b>IMPREVISTOS (15%)</b>				\$ 61.50
<b>TOTAL</b>				\$ 471.50

**Elaborado por:** El investigador

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se analizó los tipos y características de Diabetes que existen y las características propias de cada tipo; teniendo que la Diabetes tipo 1 no es muy común, las personas que lo padece básicamente su cuerpo no produce insulina. Se deben inyectar dosis de insulina en el cuerpo, haciendo que sus niveles de glucosa tengan cambios más abruptos y su tratamiento es más complicado. Por otra parte la Diabetes tipo 2 es la más común entre quienes la padecen, pues su cuerpo produce cierta cantidad de insulina para poder normalizar los niveles de glucosa en la sangre, no siendo suficiente y causa que necesiten medicarse con pastillas que ayudan a regular la cantidad de glucosa en la sangre.
- El dispositivo electrónico no invasivo se diseñó en base a los estudios previamente realizados en otros trabajos similares; se decidió añadir un altavoz de ultrasonido para poder crear un campo o nodo acústico el cual produce la agrupación de las moléculas de la glucosa en la sangre; existen evidencias de tratamientos con este tipo de tecnología para la diabetes, motivo por el cual se decidió crear este nodo para así poder conseguir mejores resultados al momento de realizar las mediciones en los pacientes. Además, que se pudo observar que la frecuencia de trabajo del altavoz debe ser de 40kHz para producir el nodo deseado, así como también fijar la resistencia necesaria para conseguir que los diodos IR se encuentren en el rango establecido de voltaje para que puedan trabajar en una longitud de onda de 950 nm, en donde se encontró un mejor resultado ante las pruebas realizadas.
- Al realizar las mediciones pertinentes con los dispositivos invasivos y el dispositivo no invasivo se pudo concluir que la variación en porcentaje del dispositivo es de -7.71%, porcentaje con el cual se acepta al dispositivo como un elemento de medición de los niveles de glucosa en la sangre, esto basándonos en la norma ISO 15197:2015, la cual regula los errores que puede

tener un dispositivo de medición de niveles de glucosa. Sin embargo, el dispositivo presenta problemas al realizar mediciones de altas concentraciones de glucosa en la sangre, se pudo observar en los pacientes 4 y 5, que los niveles de glucosa obtenidos con el dispositivo no invasivo, variaron entre -20.39 mg/dL y -21.72 mg/dL; concluyendo que es producto de la mala práctica al momento de tomar las muestras, puesto que al colocar el dedo el paciente en ocasiones presionaba con demasiada fuerza sobre el receptor óptico y hacía que la variación en la medida sea significativa, haciendo necesario el uso de un protector para el receptor óptico, que debe ser diseñado específicamente para que la luz no se refleje o se difracte; además siguiendo los estudios realizados sobre las mediciones de glucómetros invasivos se notó que son más exactos porque recogen las muestras directamente de los cuerpos cetónicos de la sangre, y en caso de los no invasivos se tiene problemas por varias interferencias y ruidos en el medio.

- Se desarrolló el dispositivo electrónico no invasivo con procedimiento fácil y sencillo sin causar ningún daño al paciente y entregando resultados confiables de los niveles de glucosa de cada paciente. Esto se demostró mediante el desarrollo de un análisis de datos aplicando Regresión Lineal simple, observando que la respuesta es aceptable y como consecuencia el análisis de aceptación de una hipótesis nula es correcta, el valor de  $R^2$  es de 84% y el ajuste cumple con el modelo de Regresión Lineal.

## **4.2 Recomendaciones**

- Las dimensiones del case se pueden reducir y hacer que el dispositivo sea más compacto y manipulable; por motivos de la actual situación del sistema de salud y que no se pueden realizar compras en el exterior no se pudo colocar los elementos ideales que hagan del dispositivo más preciso y eficiente; a futuro se normalizará el comercio y se puede optar por realizar las modificaciones necesarias. Es recomendable para futuras investigaciones sobre este tema, que se utilicen elementos con mejores características y que se pueden conseguir en otros países, además de que su costo no es excesivo.

- Al momento de realizar las mediciones con el dispositivo se debe evitar en lo posible que el dedo se mueva en el sensor, ya que de esta manera se provocan alteraciones en los datos que recibe el Arduino, y por tal razón se produce un error de precisión, lo cual contribuye a que aumente la desviación porcentual de las mediciones.
- Para una mejor efectividad del dispositivo se podría optar por incluir en el mismo dispositivo el ingreso de los datos personales mediante el uso de un teclado o incluso se podría colocar una pantalla touch y poder reproducir contenido visual adicional destinado al usuario final.
- Como una mejora adicional que ayudaría al desempeño óptimo del dispositivo se podría realizar una investigación profunda para conocer los motivos por el cual se produce un error notorio al realizar las mediciones de los niveles de glucosa con valores altos, ya que se puede deber al diseño propio del dispositivo u otros factores que se pudieron haber ignorado.

## **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] R. Islam, K. Hossain y M. Arefin, «Non-invasive Blood Glucose Determination using Near Infrared LED in Diffused Reflectance Method,» 2018, pp. 1-4.
- [2] S. Sadanand y A. Lakshmi, «Studies on relating to monitoring blood glucose levels using non invasive optical methods,» de *Ramaiah Institute of Technology*, Bangalore, 2017.

- [3] L. López y V. Amaguaña, «Diseño e implementación de un glucómetro no invasivo basado en la ley de Lambert Beer y longitud de onda cercana al infrarrojo (NIR), con interfaz de comunicación bluetooth a dispositivos con sistema operativo android,» Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [4] I. Miller y D. Castro, «Método de Medición de Glucosa en sangre mediante luz infrarroja,» Universidad Autónoma de Occidente, 2011.
- [5] D. Vishnu, V. Jagannadh y S. Srinivasan, «Non-Invasive Blood Glucose Monitor Based on Spectroscopy Using,» vol. 1, 2012, pp. 1-4.
- [6] Organización Mundial de la Salud, «OMS,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.who.int/diabetes/country-profiles/ecu\\_es.pdf?ua=1](https://www.who.int/diabetes/country-profiles/ecu_es.pdf?ua=1). [Último acceso: 24 Febrero 2021].
- [7] R. Cervantes y J. Presno, Fisiopatología de la diabetes y los mecanismos de muerte de las células  $\beta$  pancreáticas, Revista de Endocrinología, 2013, pp. 98-106.
- [8] Contour, «Contour,» 24 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.diabetes.ascensia.es/products/contour-xt/>. .
- [9] Accu-Chek, «Accu-Chek,» [En línea]. Available: <https://www.accu-chek.com.ec/medidores-de-glucosa/guide>. [Último acceso: 2021 Febrero 13].

- [10] S. Pizarro, A. M. Ronco y M. Gotteland, « $\beta$ -glucanos: ¿qué tipos existen y cuáles son sus beneficios en la salud?,» 4 ed., vol. 41, *Revista Chilena de Nutrición*, 2014.
- [11] C. Crespo, M. Bros, A. Soria, J. López, A. López y B. Martínez, «Direct cost of diabetes mellitus and its complications in Spain (SECCAID Study: Spain estimated cost Ciberdem-Cabimer in Diabetes),» *Science Direct*, 2013, pp. 183-189.
- [12] Y. Naranjo, «La diabetes mellitus: un reto para la Salud Pública,» *Finlay*, vol. 6, n° 1, 2019.
- [13] J. Mediavilla, «Complicaciones de la diabetes mellitus,» *Semergen*, pp. 132-145, 2020.
- [14] E. Rojas, R. Molina y C. Rodríguez, «Definición, clasificación y diagnóstico de la diabetes mellitus,» *Revista venezolana de Endocrinología y Metabolismo*, vol. 10, n° 1, pp. 7-12, 2019.
- [15] R. García, «Diseño de un glucómetro no invasivo,» *Universidad de Málaga*, p. 105, 2020.
- [16] F. Muñoz, «Glucómetro no invasivo,» Quito, 2019.

- [17] Sant Joan Déu, «Centro para la innovación de la diabetes infantil Sant Joan Déu,» 2014. [En línea]. Available: <https://diabetes.sjdhospitalbarcelona.org/es/diabetes-tipo-1/debut/es-glucometro>. [Último acceso: 12 05 2021].
- [18] Lab virtual, «Lab virtual,» 08 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://labvirtual.iciq.es/es/espectroscopia/>. [Último acceso: 12 Mayo 2021].
- [19] L. Valdivia, «Fotobiología Cutánea: Generalidades,» *Dermatología Peruana*, 2002.
- [20] E. M. García Martínez, «Aplicación de la ley de Lambert-Beer en espectroscopía UV-visible,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia, 2012.
- [21] N. Quevedo Ramirez, «Ultrasonido y elastografía de transición en pacientes diabéticos tipo 2 con hígado graso no alcohólico,» *Revista electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta*, vol. 4, nº 1, pp. 19 - 21, 2019.
- [22] J. E. Solorio Meza, «Los AGE fluorescentes en piel están asociados con alteraciones en el ultrasonido de la carótida en sujetos con diabetes mellitus tipo 2 de reciente diagnóstico,» *Universidad de Guanajuato*, vol. 4, nº 1, pp. 30 - 36, 2015.

- [23] G. Freckmann y C. Haug, «System accuracy evaluation of 18 CE-marked current-generation blood glucose monitoring systems based on EN ISO 15197:2015,» BMJ Journals, Scotland, 2018.
- [24] A. Lazalde, J. Torres y D. Vila , «Hardware libre Recomendaciones para el fomento de la innovación ciudadana,» Guayaquil, Senescyt, 2015.
- [25] R. Stallman, «Software libre para una sociedad libre,» Madrid, Traficantes de sueños, 2004.
- [26] R. Hernández, «Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB,» México, Pearson Education, 2010.
- [27] F. Váldez y R. Pallas, «Microcontroladores, Fundamentos y aplicaciones con Pic,» Marcombo S.A., 2007, pp. 9-11.
- [28] A. d. E. d. I. UVA, Sensores, España: Universidad de Valladolid, 2005.
- [29] A. Guarnizo, «Diseño e implementación de dispositivo para oximetría de pulso como alternativa a pulsioxímetros comerciales,» Universidad de los Andes, Colombia, 2020.
- [30] F. Y. Putra Stevano , «IMPLEMENTASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 SEBAGAI SENSOR PARKIR MOBIL BERBASIS ARDUINO,» State University of Medan, 2017.

[31] E. Vasquez, «Diseño de etapa de amplificación y adecuación de señal en un circuito integrado para un micro sensor de gases (Mems) inteligente,» Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2018.

[32] R. Salcedo Martínez, «Introducción a la robótica con Arduino,» CSI - F, MADrid, 2018.

## ANEXOS

### Anexo A. Programación ESP32

```

////Internet

//-----LIBRERIAS-----
-----
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
//-----VARIABLES
GLOBALES-----
int contconexion = 0;

int serieenviado;

#define DEBUG(a)

////timer

//-----DATOS DE RED
WIFI-----
const char *ssid = "dennisivan01";
const char *password = "mino1996";

//-----PAGINA WEB
EXTERNA-----
unsigned long previousMillis = 0;
const char* host =
"glucometronoinvasivo.inpronet.ec";
String strurl = "/envio.php";
//-----FUNCION CONEXION Y
ENVIO A BD-----
String enviardatos(String datos) {
String linea = "error";
WiFiClient client;
if (!client.connect(host, 80)) {
Serial.println("Fallo de conexion");
return linea;
}
client.print(String("POST ") + strurl +
" HTTP/1.1" + "\r\n" +
"Host: " + host + "\r\n" +
"Connection: keep-alive" +
"\r\n" +
"Content-Length: " +
datos.length() + "\r\n" +
"Cache-Control: max-age=0" +
"\r\n" +
"Origin: http://inpronet.ec" +
"\r\n" +

```

```

"Upgrade-Insecure-Requests:
1" + "\r\n" +
"User-Agent: Mozilla/5.0
(Windows NT 6.1; Win64; x64)
AppleWebKit/537.36 (KHTML, like
Gecko) Chrome/59.0.3071.86
Safari/537.36 OPR/46.0.2597.32" +
"\r\n" +
"Content-Type: application/x-
www-form-urlencoded" + "\r\n" +
"Accept:
text/html,application/xhtml+xml,appli
cation/xml;q=0.9,image/webp,image/a
png,*/*;q=0.8" + "\r\n" +
"Referer:
http://tutorialesp.epizy.com/" + "\r\n" +
"Accept-Language: es-
419,es;q=0.8" + "\r\n" +
"Cookie:
__test=f8113e8304f87333c04e205185
49f29c;
_ga=GA1.2.2140598187.1499029965;
_gid=GA1.2.1824054122.1499029966
" + "\r\n" +
"\r\n" + datos);
delay(10);
Serial.print("Enviando datos a la BD
MySQL...");
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
  if (millis() - timeout > 5000) {
    Serial.println("Cliente sin permisos
de acceso");
    client.stop();
    return linea;
  }
}
while(client.available()){
  linea = client.readStringUntil('\r');
  Serial.print(linea);
}
return linea;
}
///
void setup() {

//////////INICIALIZACION DE
LIBRERIAS//////////

```

```

Serial.begin(9600); //Visualizar el
estado del programa

int nivelingresado = Serial.read();

unsigned long currentMillis =
millis();
if (currentMillis - previousMillis >=
30000 and auxenvio==1) {
  previousMillis = currentMillis;
  int dato1 = int(nivelingresado);

  enviardatos("nivel=" +
String(dato1));
}
}

```

#### Anexo B. Programación Arduino Nano

```

#define ultrasoundPin 3 //D3
Ultrasonido
#define LEDpin 2 //D2 LED NIR
#define glucoseSensor 35 //A0 Salida
Sensor glucómetro
//BLEService
glucoseService("19B10010-E8F2-

```

```

537E-4F6C-D104768A1214"); // crear
servicio
// crear características del sensor y
permitir a los dispositivos remotos
recibir notificaciones
//BLEByteCharacteristic
glucoseCharacteristic("19B10012-
E8F2-537E-4F6C-D104768A1214",
BLERead | BLENotify);
//Definir variables globales
int periodo = 4; // periodo del
temporizador encendido y apagado
int contadorNIR = 0; //generar la onda
cuadrada del IR
int contadorSensor = 0; //leer salida del
sensor
int diferenciaMaxMin = 0; //salida
sensor
int lecturaMaxima = 0; //valor maximo
int lecturaMinima = 1023; //valor
mínimo
int lecturaSensor = 0; // valor que lee a
la salida del sensor
int stateLEDNIR = 0; //0 estado
apagado, 1 estado encendido
unsigned long tiempoAnterior = 0;
//guarda tiempo de referencia para
comparar
//int valorsensor = 0;
void setup()
{
// Configurar puerto de salida
Serial.begin(9600);
while (!Serial);
// Definir altavoz,fotodiodo, LED NIR
pinMode(ultrasoundPin, OUTPUT);
pinMode(LEDpin, OUTPUT);
//pinMode(glucoseSensor, INPUT);
// Empezar inicialización
//if (!BLE.begin()) {
//Serial.println("starting BLE failed!");
//while (1);
}

void loop() {
tiempoAnterior=millis(); //guarda el
tiempo actual como referencia
// Elección para eventos BLE
//BLE.poll();

```

```

while(millis()-
tiempoAnterior<=periodo)
{
digitalWrite (ultrasoundPin, LOW);
delayMicroseconds (12.5);
digitalWrite (ultrasoundPin, HIGH);
delayMicroseconds (12.5);
if(millis()-tiempoAnterior==2)
{
digitalWrite(ultrasoundPin, LOW);
}
}
//Almacenar los valores de la salida del
sensor
lecturaSensor =
analogRead(glucoseSensor);
//Si los valores de la salida son mayores
que la lectura máxima, estos valores
son ahora los máximos
if (lecturaSensor>lecturaMaxima)
{
lecturaMaxima=lecturaSensor;
}
//Si los valores de la salida son menores
que la lectura mínima, estos valores son
ahora los mínimos
if (lecturaSensor<lecturaMinima)
{
lecturaMinima=lecturaSensor;
}
// Cada vez que se ejecuta el loop
aumenta el contador del LED NIR en 1
contadorNIR=contadorNIR+1;
// 125 veces*4ms=500ms encendido y
500 ms apagado
if (contadorNIR == 125)
{
contadorNIR = 0;
if (stateLEDNIR == 0)
{
digitalWrite(LEDpin, HIGH);
stateLEDNIR = 1;
}
else
{
digitalWrite(LEDpin, LOW);
stateLEDNIR = 0;
contadorSensor=contadorSensor+1;
}
}

```

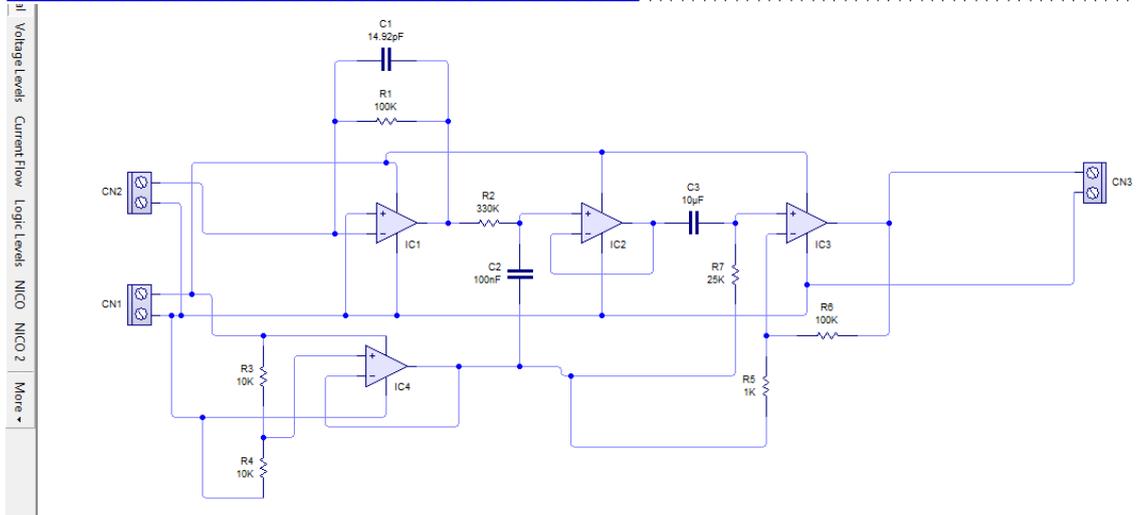
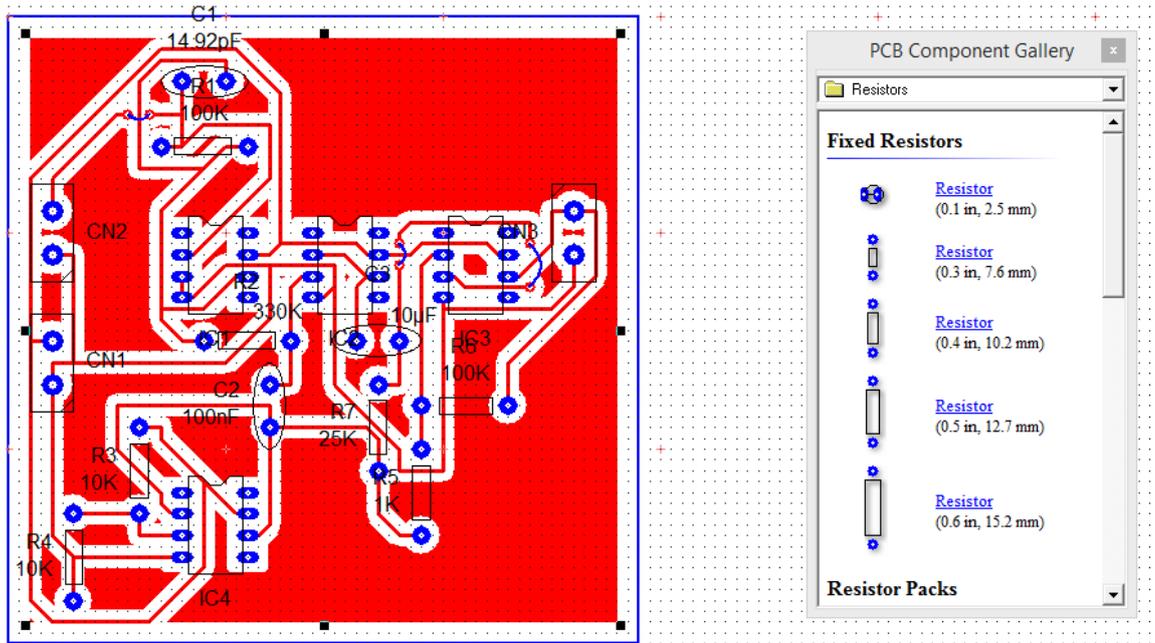
```

//cada 3 segundos se calcula la
diferencia entre valores máximo y
mínimo
if (contadorSensor == 3)
{
contadorSensor = 0;
diferenciaMaxMin = lecturaMaxima-
lecturaMinima;
lecturaMaxima=0;
lecturaMinima=1023;
float          voltaje          =
(diferenciaMaxMin*3.3)/1023;
Serial.print("Nivel de glucosa: ");
Serial.print(diferenciaMaxMin);
Serial.print(" mg/dl");
Serial.print(" Voltaje: ");
Serial.println(voltaje);

}
}
}
}

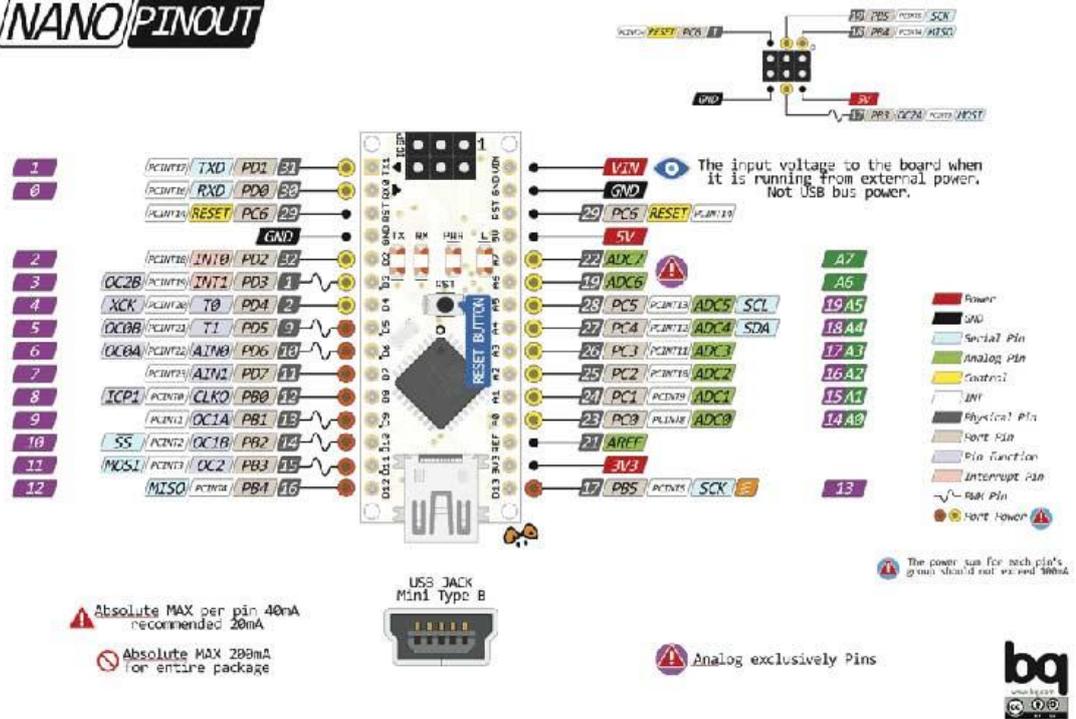
```

Anexo C. Diseño de la placa en PCB Wizard



Anexo D. Arduino NANO

# NANO PINOUT

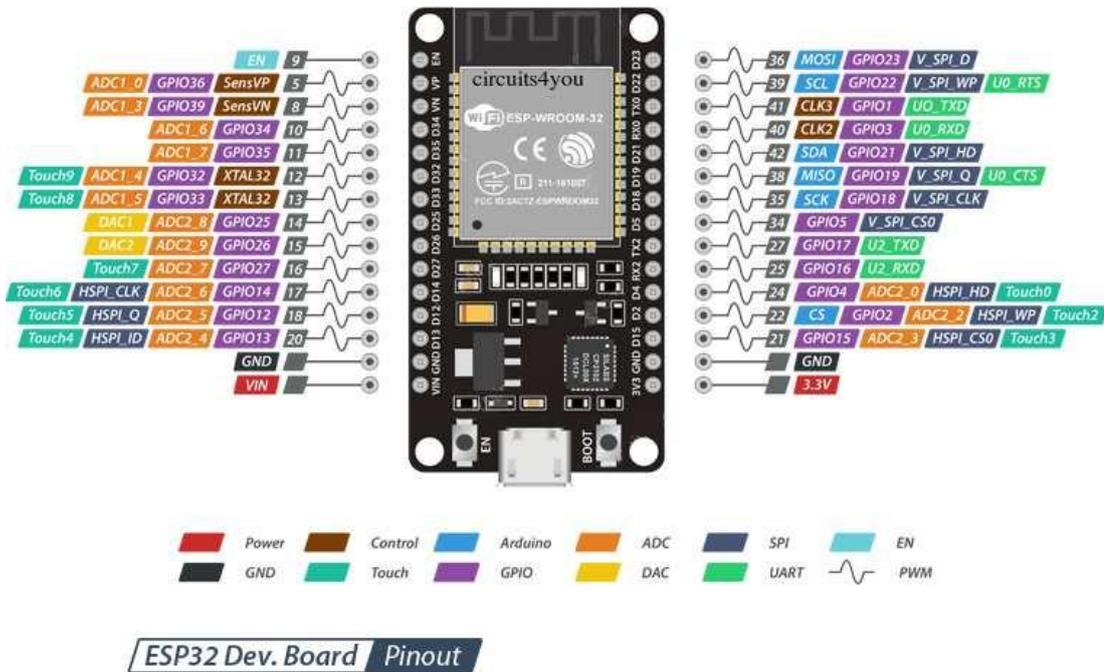


## Arduino Nano Pinout Configuration

Pin Category	Pin Name	Details
Power	<b>Vin, 3.3V, 5V, GND</b>	<p><b>Vin:</b> Input voltage to Arduino when using an external power source (6-12V).</p> <p><b>5V:</b> Regulated power supply used to power microcontroller and other components on the board.</p> <p><b>3.3V:</b> 3.3V supply generated by on-board voltage regulator. Maximum current draw is 50mA.</p> <p><b>GND:</b> Ground pins.</p>
Reset	<b>Reset</b>	Resets the microcontroller.
Analog Pins	<b>A0 – A7</b>	Used to measure analog voltage in the range of 0-5V
Input/Output Pins	<b>Digital Pins D0 - D13</b>	Can be used as input or output pins. 0V (low) and 5V (high)

Serial	Rx, Tx	Used to receive and transmit TTL serial data.
External Interrupts	2, 3	To trigger an interrupt.
PWM	3, 5, 6, 9, 11	Provides 8-bit PWM output.
SPI	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)	Used for SPI communication.
Inbuilt LED	<b>13</b>	To turn on the inbuilt LED.
IIC	A4 (SDA), A5 (SCA)	Used for TWI communication.
AREF	<b>AREF</b>	To provide a reference voltage for input voltage.

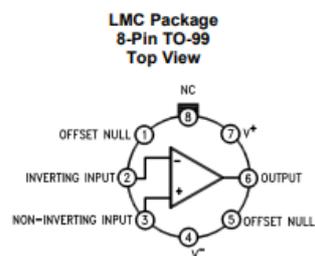
### Anexo E. ESP32



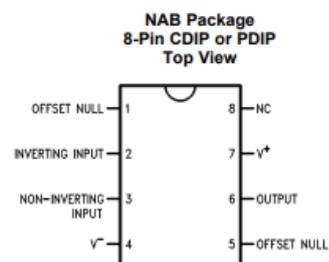
<b>Microprocesador</b>	Tensilica Xtensa LX6
<b>Frecuencia de funcionamiento máxima</b>	240MHz
<b>Tensión de funcionamiento</b>	3.3V
<b>Pines de entrada analógica</b>	12 bits, 18 canales
<b>Pines DAC</b>	8 bits, 2 canales
<b>Pines de E / S digitales</b>	36 (de los cuales 32 es un pin GPIO normal)
<b>Corriente CC en pines de E / S</b>	40 mA
<b>Corriente DC en Pin de 3.3V</b>	50 mA
<b>SRAM</b>	520 KB
<b>Comunicación</b>	SPI (4), I2C (2), I2S (2), CAN, UART (3)
<b>Wifi</b>	802.11 b / g / n
<b>Bluetooth</b>	V4.2: compatible con BLE y Bluetooth clásico

## Anexo F. LM 741

### 5 Pin Configuration and Functions



LM741H is available per JM38510/10101



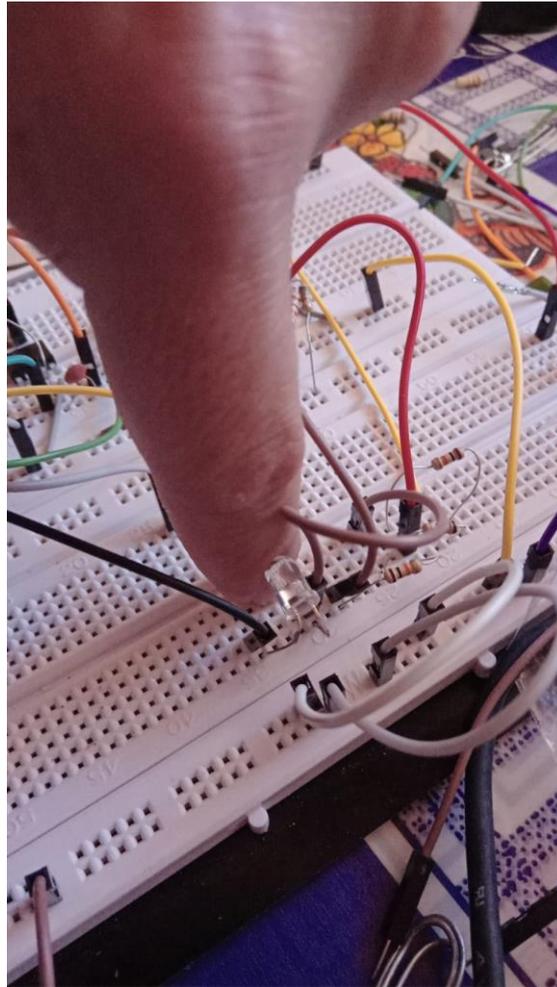
#### Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	LM741, LM741A		±22	V
	LM741C		±18	
Power dissipation <sup>(4)</sup>			500	mW
Differential input voltage			±30	V
Input voltage <sup>(5)</sup>			±15	V
Output short circuit duration			Continuous	
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125	°C
	LM741C	0	70	
Junction temperature	LM741, LM741A		150	°C
	LM741C		100	
Soldering information	PDIP package (10 seconds)		260	°C
	CDIP or TO-99 package (10 seconds)		300	°C
Storage temperature, T <sub>stg</sub>		-65	150	°C

### Anexo G. Pruebas de funcionamiento del dispositivo





Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

TesisFinal Arduino 1.8.12

Monitor Serie

TesisFinal

```

abc1, //Boton OK Repeticion
abc2, //Boton OK Serie
abc3, //Boton OK Descanso
abc4, //Boton OK Velocidad
abiniciar, //Boton inicar el sistema
abinicio, //Boton de regreso o resetve
  ledcWrite(ledChannel, 0);
  tauX=1;
  pulsos=0;
  direccionarriba=1;
  sumapulsos=1;
  auxpulsos=0;
  auxespera=1;
}
//sale de arriba
if(pulsos<anguloflexion and direccionarriba==1
digitalWrite(dir, 0);
ledcSetup(ledChannel, velocidad, resolution)
ledcWrite(ledChannel, 512);
auxespera=0;
}
//llega al punto cero
//nrepeticiones=pulsos;
if(pulsos>anguloflexion and direccionarriba==
digitalWrite(dir, 0);
// nrepeticiones=25;
//nrepeticiones=nrepeticiones+1;
//nseries=nseries+1;
pulsos=0;

```

COM3

Enviar

```

Nivel de glucosa: 8 mg/dl Voltaje: 0.03
Nivel de glucosa: 9 mg/dl Voltaje: 0.03
Nivel de glucosa: 8 mg/dl Voltaje: 0.03
Nivel de glucosa: 7 mg/dl Voltaje: 0.02
Nivel de glucosa: 30 mg/dl Voltaje: 0.10
Nivel de glucosa: 35 mg/dl Voltaje: 0.11
Nivel de glucosa: 33 mg/dl Voltaje: 0.11
Nivel de glucosa: 28 mg/dl Voltaje: 0.09
Nivel de glucosa: 28 mg/dl Voltaje: 0.09
Nivel de glucosa: 6 mg/dl Voltaje: 0.02
Nivel de glucosa: 8 mg/dl Voltaje: 0.03
Nivel de glucosa: 15 mg/dl Voltaje: 0.05
Nivel de glucosa: 16 mg/dl Voltaje: 0.05
Nivel de glucosa: 14 mg/dl Voltaje: 0.05
Nivel de glucosa: 8 mg/dl Voltaje: 0.03

```

Autoscroll  Mostrar marca temporal

Nueva linea 9600 baudio Limpiar salida

Anexo H. Toma de niveles de glucosa a los pacientes



