



**UNIVERSIDAD UTE**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**SISTEMA EXPERTO PARA EL PRE DIAGNOSTICO MEDICO  
DE LA DIABETES MELLITUS TIPO 2**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**JULIO MARCELO HERRERÍA QUIÑONEZ**

**DIRECTOR: ING. VLADIMIR BONILLA**

**Quito, noviembre 2020**

© Universidad UTE. 2020

Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0803276526
APELLIDO Y NOMBRES:	Herrería Quiñonez Julio Marcelo
DIRECCIÓN:	Av. Manuel Córdova Galarza y Av. Shyris
EMAIL:	jmhq12@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	022398503
TELÉFONO MOVIL:	0995513815

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	<b>SISTEMA EXPERTO PARA EL PRE DIAGNOSTICO MEDICO DE LA DIABETES MELLITUS TIPO 2</b>
AUTOR O AUTORES:	<b>JULIO MARCELO HERRERIA QUIÑONEZ</b>
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	05/11/2020
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	<b>ING. VLADIMIR BONILLA</b>
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADU <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	<b>INGENIERO MECATRÓNICO</b>
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>La diabetes es una enfermedad que consiste en niveles altos de glucosa en la sangre, ya sea por mala alimentación, falta de actividad física, genética o situaciones específicas. Siendo esta anomalía metabólica una de las enfermedades crónicas que más afecta a personas a nivel mundial, aproximadamente 422 millones de adultos, de los cuales 1.6 millones fallecieron por causa directa de la diabetes, y esta cifra va en aumento debido al estilo de vida actual de las personas. En el Ecuador se considera que la diabetes es la principal causa de muerte, además que el padecimiento de la enfermedad da paso a</p>

otras complicaciones como insuficiencia renal, pie diabético, entre otros. Para la detección de la diabetes, se debe considerar varios factores, siendo el nivel de glucosa en sangre el más importante, además de otros factores como el índice de masa corporal, circunferencia abdominal, actividad física, antecedentes genéticos y niveles de colesterol. El control de estos factores es responsabilidad del paciente, pero en la mayoría de los casos se desconoce los valores adecuados de los mismos. Por esta razón, se plantea el diseño y construcción de un sistema que permita medir varios factores, proporcionar al paciente un prediagnóstico de la enfermedad. De esta manera estar más informado acerca del estado de salud del paciente, y por actuar tempranamente si el paciente tiene diabetes o prediabetes, y comenzar con un tratamiento. Para el desarrollo del sistema, se aplicará la metodología de enfoque en prototipo y el "Modelo en V", y su funcionamiento se basó en redes de inteligencia artificial, las cuales se entrenaron con casos médicos reales.

**PALABRAS CLAVES:**

**Diabetes, prediagnóstico, inteligencia artificial, sistemas médicos.**

**ABSTRACT:**


Diabetes is a disease that consists of high levels of glucose in the blood, either due to poor diet, lack of physical activity, genetics or specific situations. As this metabolic abnormality is one of the chronic diseases that most affects people worldwide, approximately 422 million adults, of whom 1.6 million died from direct diabetes, and this number is increasing due to the current lifestyle of people. In Ecuador, diabetes is considered the main cause of death, in addition to suffering from the disease of passing to other complications such as kidney

failure, diabetic foot, among others. For the detection of diabetes, you must consider several factors, such as the most important blood glucose level, in addition to other factors such as body mass index, abdominal circumference, physical activity, genetic history and cholesterol levels. Control of these factors is the responsibility of the patient, but in most cases their specific values are unknown. For this reason, the design and construction of a system that allows measuring various factors is proposed, providing the patient with a prior diagnosis of the disease. In this way, being more informed about the patient's health status, and by acting early if the patient has diabetes or prediabetes, and starting treatment. For the development of the system, the prototype approach methodology and the "V-Model" will be applied, and its operation was based on artificial intelligence networks, which are established with real medical cases.

**KEYWORDS**

**Diabetes, prediagnosis, artificial intelligence, medical systems.**

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



F: \_\_\_\_\_

HERRERIA QUIÑONEZ JULIO MARCELO

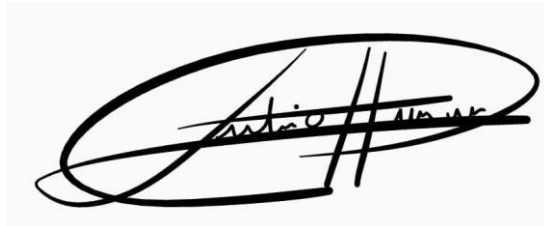
0803276526

# DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **HERRERIA QUIÑONEZ JULIO MARCELO**, CI. 0803276526 autor del proyecto titulado: **SISTEMA EXPERTO PARA EL PRE DIAGNOSTICO MEDICO DE LA DIABETES MELLITUS TIPO 2** previo a la obtención del título de **GRADO ACADÉMICO COMO APRECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, noviembre 2020

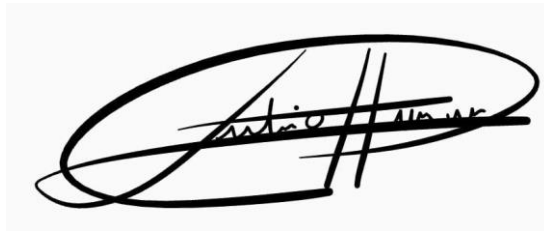
A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Julio Quiñonez'.

f: \_\_\_\_\_  
HERRERIA QUIÑONEZ JULIO MARCELO  
0803276526

## DECLARACIÓN

Yo **JULIO MARCELO HERRERIA QUIÑONEZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Julio Marcelo Herrera Quiñonez'.

---

HERRERIA QUIÑONEZ JULIO MARCELO

C.I. 0803276526

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Sistema experto para el prediagnóstico médico de la diabetes mellitus tipo 2**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Julio Marcelo Herrería Quiñonez**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



---

Félix Vladimir Bonilla Venegas

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 1710300045



# CARTA DE LA INSTITUCIÓN

Quito, 28 de enero del 2019

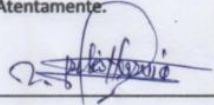
Sr. Ing. Juan Eduardo Bravo Vásquez  
Decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias  
Universidad UTE

Saludos Cordiales

Por el medio del presente, solito muy cordialmente a quién corresponda se me facilite un tesista para la elaboración de un proyecto, que consiste en un prototipo capaz de pre diagnosticar la diabetes mellitus tipo 2, tomando en cuenta varios parámetros con el fin de que el pre diagnostico tenga un alto grado de confiabilidad y que se realice el en menor tiempo posible.

Agradezco la atención prestada, espero su respuesta.

Atentamente:



Dr. Julio Marcelo Herrería Cabascango

C.I. 1001350147

Cel: 0987989884



## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mis padres, que ha sido mi apoyo toda mi vida. Mis dos héroes que lo dan todo por ver cumplir mis sueño y aspiraciones.

A mis hermanas que son mi inspiración para seguir adelante y ser mi apoyo en cada momento de mi vida.

# AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a toda mi familia, en especial a mi madre quien con su apoyo y comprensión me supo guiar durante todos los momentos de mi vida, y convertirme en una persona correcta y con valores.

A mi padre que con su incondicional apoyo para la realización de todos mis logros y ser la inspiración para crear este proyecto.

Darles gracias a mis amigos Solange Alvarado, Ángel Viracocha, Verónica Logaña, Karina Mendoza, William Zaldumbide, Zuleth Vallejo, Jonathan Lara, entre otros grandes amigos que me han apoyado con su amistad a lo largo de mi vida.

Agradezco también a David Astudillo y Patricia Serrano, quienes me han permitido desarrollarme de manera increíble en el ámbito laboral y personal, dándome la confianza y responsabilidad de grandes proyectos laborales.

Y un agradecimiento a todos mis docentes durante mi vida estudiantil, en especial los Ingenieros Pablo Velarde y Aníbal Mantilla por las revisiones de tesis y al director del proyecto, el Ingeniero Vladimir Bonilla.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN .....	1
ASBTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1. ANALISIS DEL PROBLEMA .....	12
2.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA .....	12
2.3. PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MEDICIONES MÉDICAS....	13
2.4. DISEÑO DEL SISTEMA .....	14
2.4.1. DISEÑO ELECTRÓNICO.....	17
2.4.2. DISEÑO DE SOFTWARE .....	19
Diseño Interfaz.....	20
Redes Neuronales.....	20
2.4.3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA.....	26
2.5. APLICACIÓN DE CRITERIOS DE LAS NORMAS.....	28
2.5.1. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA ISO 15197 .....	28
2.5.2. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA IEC 60601-1 .....	29
2.5.3. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA ISO 10993 .....	29
3. RESULTADOS Y CONCLUSIÓN.....	31
3.1. PRUEBA DE ESTIMACIÓN DE CIRCUNFERENCIA ABDOMINAL	32
3.2. PRUEBA DE ESTIMACIÓN DE GLUCOSA.....	33
3.3. PRUEBA DE PREDIAGNÓSTICO – PROBABILIDAD DE RIESGO	34
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFIA .....	37
ANEXOS .....	40

# ÍNDICE DE TABLAS

## PÁGINA

<b>Tabla 1.</b> Análisis de riesgos y métodos aplicados para la alternativa para la reducción del riesgo. ....	12
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones máximas del sistema. ....	13
<b>Tabla 3.</b> Características de la tarjeta electrónica ....	15
<b>Tabla 4.</b> Características de las balanzas. ....	16
<b>Tabla 5.</b> Características de sensores infrarrojos. ....	16
<b>Tabla 6.</b> Características de pantallas LCDs ....	16
<b>Tabla 7.</b> Ejemplo de la base de datos del sistema.....	21
<b>Tabla 8.</b> Variables de entrada y unidades ....	21
<b>Tabla 9.</b> Tabla de Variables con rangos y valores ....	24
<b>Tabla 10.</b> Rangos de probabilidad de riesgo.....	25
<b>Tabla 11.</b> Implementación de la norma IEC 60601-1.....	29
<b>Tabla 12.</b> Resultados de prediagnóstico de pacientes. ....	35

# ÍNDICE DE FIGURAS

## PÁGINA

<b>Figura 1.</b> Número de personas con diabetes en todo el mundo y por región.	4
<b>Figura 2.</b> Interfaz de software.....	9
<b>Figura 3.</b> Modelo de pregunta del test de diabetes.....	9
<b>Figura 4.</b> Arquitectura del sistema. ....	14
<b>Figura 5.</b> Esquema eléctrico del sistema.....	17
<b>Figura 6.</b> Subcircuito Balanza y Altura.....	18
<b>Figura 7.</b> Subcircuito Medidor de Glucosa – Circuito Emisor.....	18
<b>Figura 8.</b> Subcircuito Pantalla. ....	19
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo del algoritmo para la operación del sistema.....	19
<b>Figura 10.</b> Interfaz inicial del sistema .....	20
<b>Figura 11.</b> Interfaz del proceso de análisis.....	20
<b>Figura 12.</b> Red neuronal perceptrón - Determinación circunferencia abdominal .....	22
<b>Figura 13.</b> Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la circunferencia abdominal - Entrenamiento.....	23
<b>Figura 14.</b> Red neuronal perceptrón - Determinación de glucosa .....	23
<b>Figura 15.</b> Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la glucosa - Entrenamiento.....	24
<b>Figura 16.</b> Red neuronal perceptrón – Prediagnóstico .....	25
<b>Figura 17.</b> Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida del prediagnóstico - Entrenamiento .....	26
<b>Figura 18.</b> Estructura virtual completa. ....	27
<b>Figura 19.</b> Vista explosionada del sistema experto .....	27
<b>Figura 20.</b> Cuadrícula de análisis de errores de Clarke. ....	28
<b>Figura 21.</b> Cuadrícula de análisis consensuado de errores.....	29
<b>Figura 22.</b> Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la circunferencia abdominal - Prueba .....	32
<b>Figura 23.</b> Cuadrícula de errores de Clarke – 10 puntos dentro de las zonas A y B .....	33
<b>Figura 24.</b> Cuadrícula de errores consensuada – 10 puntos dentro de la zona A y B .....	33
<b>Figura 25.</b> Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida del prediagnóstico o probabilidad de riesgo – Prueba.....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
<b>Anexo 1.</b> Características de componentes electrónicos.....	41
<b>Anexo 2.</b> Muestra de la base de datos .....	46
<b>Anexo 3.</b> Layout de circuitos .....	47

## RESUMEN

La diabetes es una enfermedad que consiste en niveles altos de glucosa en la sangre, ya sea por mala alimentación, falta de actividad física, genética o situaciones específicas. Siendo esta anomalía metabólica una de las enfermedades crónicas que más afecta a personas a nivel mundial, aproximadamente 422 millones de adultos, de los cuales 1.6 millones fallecieron por causa directa de la diabetes, y esta cifra va en aumento debido al estilo de vida actual de las personas. En el Ecuador se considera que la diabetes es la principal causa de muerte, además que el padecimiento de la enfermedad da paso a otras complicaciones como insuficiencia renal, pie diabético, entre otros. Para la detección de la diabetes, se debe considerar varios factores, siendo el nivel de glucosa en sangre el más importante, además de otros factores como el índice de masa corporal, circunferencia abdominal, actividad física, antecedentes genéticos y niveles de colesterol. El control de estos factores es responsabilidad del paciente, pero en la mayoría de los casos se desconoce los valores de tolerancia de los mismos. Por esta razón, se plantea el diseño y construcción de un sistema que permita medir varios factores y proporcionar al paciente un prediagnóstico de la enfermedad. De esta manera se obtendrá información del estado de salud del paciente, necesaria para actuar tempranamente si el paciente tiene diabetes o prediabetes, y comenzar con un tratamiento. Para el desarrollo del sistema, se aplicará la metodología de enfoque en prototipo y el "Modelo en V", y su funcionamiento se basó en redes de inteligencia artificial, las cuales se entrenaron con casos médicos reales.

### **Palabras Claves**

Diabetes, prediagnóstico, inteligencia artificial, sistemas médicos.



## **ASBTRACT**

Diabetes is a disease that consists of high levels of glucose in the blood, either due to poor diet, lack of physical activity, genetics or specific situations. As this metabolic abnormality is one of the chronic diseases that most affects people worldwide, approximately 422 million adults, of whom 1.6 million died from direct diabetes, and this number is increasing due to the current lifestyle of people. In Ecuador, diabetes is considered the main cause of death, in addition to suffering from the disease of passing to other complications such as kidney failure, diabetic foot, among others. For the detection of diabetes, you must consider several factors, such as the most important blood glucose level, in addition to other factors such as body mass index, abdominal circumference, physical activity, genetic history and cholesterol levels. Control of these factors is the responsibility of the patient, but in most cases their specific values are unknown. For this reason, the design and construction of a system that allows measuring various factors is proposed, providing the patient with a prior diagnosis of the disease. In this way, being more informed about the patient's health status, and by acting early if the patient has diabetes or prediabetes, and starting treatment. For the development of the system, the prototype approach methodology and the "V-Model" will be applied, and its operation was based on artificial intelligence networks, which are established with real medical cases.

### **Keywords.**

Diabetes, prediagnosis, artificial intelligence, medical systems.

## **1. INTRODUCCIÓN**

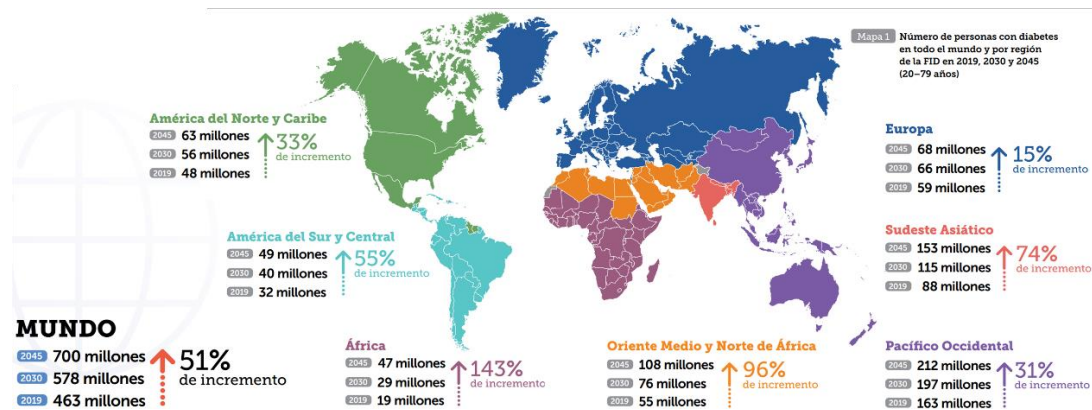
En este capítulo se comenzará con una descripción acerca de la glucosa y su participación en el funcionamiento del cuerpo humano, ya que ayuda para la realización de actividades del organismo. Además, se describe el funcionamiento del sistema que permite el control de esta y su relación con otros órganos y hormonas. Y se indica los problemas ocasionados cuando esta sustancia no está controlada en el organismo, dando lugar a la aparición de la Diabetes Mellitus.

Los carbohidratos o hidratos de carbono que se consumen con los alimentos son transformados en el tubo digestivo en fructosa, galactosa y glucosa, siendo la última, la sustancia que se encuentra en mayor concentración. Cuando la fructosa y galactosa llegan al hígado se convierten en glucosa, de esta manera, la glucosa termina siendo el producto final en común de los hidratos de carbono hacia las células del organismo.

Esto indica que más del 90% de los hidratos de carbono o glucosa, es empleada por el organismo para oxidarlo y poder liberar grandes cantidades de energía, que a la vez permite convertir el difosfato de adenosina (ADP) en trifosfato de adenosina (ATP). Siendo el ATP la principal fuente de energía de los seres vivos, ya que permite realizar distintas actividades en el organismo:

- Transporte de sustancias por intermedio de las membranas celulares.
- Permitir el movimiento mecánico de cuerpo humano (contracción y extensión muscular).
- Ayuda en la síntesis de hormonas.
- Manejo de impulsos nerviosos.
- Ayuda en el ciclo o división celulares.
- Permite funciones fisiológicas del organismo.

La diabetes mellitus es considerada como una enfermedad crónica a nivel mundial del siglo XXI, es una afección grave y de largo plazo que se presenta cuando los niveles de glucosa en la sangre se encuentran en nivel altos. Debido a que el cuerpo de la persona no produce la cantidad suficiente o absolutamente nada de insulina (hormona que regula el nivel glucosa o azúcar en sangre), o en casos el organismo no utiliza de manera eficaz la insulina. Dicha hormona permite que la glucosa en sangre ingrese a las células para ser convertida en energía, la falta de misma o incapacidad de las células deriva en hiperglucemia (altos niveles de glucosa en sangre), siendo un indicador clínico de la diabetes (IFD, 2019).



**Figura 1.** Número de personas con diabetes en todo el mundo y por región. (IFD, 2019)

Según datos del IFD (Federación Internacional de Diabetes), en el 2019 hubo aproximadamente 463 millones de personas que viven con esta enfermedad, siendo más del 50% de los casos padecen diabetes mellitus tipo 2. Y se estima que estas cifras aumenten al menos un 51% a nivel mundial, debido al estilo de vida sedentaria y a malos hábitos alimenticios.

El padecimiento de diabetes puede provocar varias complicaciones en el organismo e incrementar el riesgo de una muerte prematura. Entre las complicaciones más comunes están: problemas cardíacos, cerebrovasculares, insuficiencia renal, entre otras. En el 2012, la diabetes provocó 3,7 millones de muertes, siendo 1,5 millones directamente relacionadas a la diabetes y 2,2 millones relacionadas con niveles altos de glucosa en sangre. La OMS (Organización Mundial de la Salud), la considera como una de las 10 principales causas de muertes en el mundo (OMS, 2019).

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), indica que la diabetes es la primera causa de muerte general en el Ecuador (INEC, 2017).

La diabetes mellitus tipo 1 es una enfermedad autoinmunitaria que consiste en la destrucción de las células  $\beta$  pancreáticas, las cuales tienen como función la producción de insulina en el organismo. Su destrucción provoca una deficiencia de insulina, causando que los niveles de glucosa en sangre aumenten en sangre.

La diabetes mellitus tipo 1 inicia frecuentemente en una edad temprana, se suele manifestar en la pubertad y sigue avanzado con la edad del paciente. Esto indica que la diabetes mellitus tipo 1 por causarse por factores genéticos o ambientales.

En casos registrados supone entre 5% al 10% y se da frecuente en pacientes menores de 20 años (Patología Estructural y Funcional, 2015).

La enfermedad consiste en la resistencia periférica por parte de las células ante la hormona de insulina y la poca producción de insulina por parte de la célula  $\beta$  pancreáticas. La diabetes mellitus tipo 2 involucra interacción entre factores genéticos, ambientales y del estado proinflamatorio del paciente.

La hiperglucemia de la diabetes mellitus tipo 2 es la afección más común a nivel mundial como se muestra en la Figura 1, ocurriendo con más frecuencia en adultos con obesidad. Por razones desconocidas, en dichas personas, las células son incapaces de manejar la insulina, lo que se conoce como "resistencia a la insulina". Con el tiempo, se puede desarrollar una producción de insulina inadecuada (IFD, 2019).

El factor genético contribuye al desarrollo de la enfermedad según la tasa de concordancia en pacientes gemelos monocigóticos, con más del 90% de casos clínicos. Los parientes de primer grado poseen un riesgo de 5 a 10 veces de desarrollar diabetes tipo 2, a diferencia de personas que no tienen familiares directos con diabetes tipo 2 (Patología Estructural y Funcional, 2015).

El factor ambiental más notorio de la enfermedad es la obesidad en la sección visceral o centra el abdomen. Al menos el 80% de pacientes con diabetes tipo 2 son obesos, siendo este factor importante ya que en la actualidad las personas con obesidad han incrementado por mala alimentación o sedentarismo (Patología Estructural y Funcional, 2015).

Existen cuatro tipos más de Diabetes Mellitus.

- Diabetes Mellitus MODY, similar a la Diabetes Mellitus Tipo 2 pero con la particularidad que los pacientes no tienen a presentar obesidad. Se da en la población infantil por dieta inadecuada y falta de actividad física (La diabetes tipo MODY, 2019).
- Diabetes Mellitus Relacionada con Fibrosis Quística, por la aparición fibrosis quística que afecta a varios órganos entre ellos el páncreas. Causando fallos en las funciones de este, como baja producción de insulina (Esmeralda Colino, 2019).
- Diabetes Mellitus secundaria a medicamentos, la ingesta de ciertos medicamentos como glucocorticoides e inmunosupresores pueden alterar la producción y acción de la insulina en el organismo (Esmeralda Colino, 2019).
- Diabetes Mellitus gestacional, normalmente se presenta me mujeres en su primer embarazo entre los primeros 5 a 6 meses. Tiende a desaparecer después del parto, mientras mantenga una dieta equilibrada (Manual de Fisiopatología Clínica, 2019).

El mal manejo de la Diabetes Mellitus Tipo 2, conlleva a complicaciones agudas y crónicas.

Las complicaciones agudas se presentan por irregularidades de la concentración o producción de insulina y el estilo de vida de la persona, provocando consecuencias como:

- Cetoacidosis diabética: Complicación presente tanto en diabetes tipo 1 como en tipo 2, Provocada por la incapacidad de captar insulina asociada al incremento de adrenalina, que bloquea la función de la insulina y promueve la secreción de glucagón. Esta combinación disminuye la utilización de la glucosa por parte de la célula, dando lugar a una hiperglucemia. La persona tiene diuresis osmótica y deshidratación, siendo síntomas del estado cetoacidótico (Patología Estructural y Funcional, 2015).
- Hipoglucemia: Es la complicación más frecuente en ámbitos tipos de diabetes, consiste en bajo niveles de glucosa en sangre. Es producida por la omisión de una comida, hacer demasiada actividad física y administrar altas cantidades de insulina o antidiabéticos. El paciente llega a tener mareo, confusión, sudoración, palpitations y taquicardia (Patología Estructural y Funcional, 2015).
- Síndrome Hiperosmótico Hiperosmolar: Se da en pacientes diabéticos de edad avanzada, inducido por la deshidratación producida de la diuresis osmótica. No presenta signos y síntomas hasta que la deshidratación y el deterioro del estado son graves (Patología Estructural y Funcional, 2015).

Las complicaciones crónicas o de largo plazo, alteran el funcionamiento y estado de órganos y vasos sanguíneos. Entre las más comunes tenemos:

- Microangiopatías: Consiste en el engrosamiento de las paredes de los capilares sanguíneos, provocando alteraciones en el flujo de sangre en el cuerpo (Manual de Fisiopatología Clínica, 2019).
- Complicaciones macrovasculares: Entre las más frecuentes tenemos infarto al miocardio, insuficiencia renal y problemas cerebrovasculares. Producida por la dislipidemia que consiste en el aumento de triglicéridos en la sangre (Manual de Fisiopatología Clínica, 2019).
- Deterioro visual: Los diabéticos son más propensos al glaucoma y a la formación cataratas, siendo que entre 60-80% de pacientes tienen deterioro visual o retinopatía diabética (Patología Estructural y Funcional, 2015).
- Polineuropatía simétrica distal: Afecta al sistema nervioso central, periférico, autónomo y nervios sensitivomotores. Inicialmente se presenta en extremidades inferiores con parálisis, y con el tiempo se en otras partes del cuerpo (Patología Estructural y Funcional, 2015).

- Infecciones cutáneas: El 5% de diabéticos fallecen por esta complicación, que inicia con una infección banal desencadenando complicaciones más graves como la gangrena. Esto se da por la reducción del flujo sanguíneo, que no permite la liberación de células para la defensa del tejido infectado (Patología Estructural y Funcional, 2015).

Siendo la Diabetes Mellitus Tipo 2 con más frecuencia entre los casos clínicos, su diagnóstico temprano es fundamental para evitar o minimizar el desarrollo de la enfermedad.

Como se ha mencionado anteriormente, la diabetes posee diversos factores de riesgo para el desarrollo de la enfermedad. Distintas organizaciones como ADA (Asociación Americana de Diabetes) y IFD (Federación Internacional de Diabetes) han establecidos distintos protocolos y parámetros para el diagnóstico de la Diabetes Mellitus Tipo 2. Entre los cuales tenemos los siguientes:

- Análisis de glucosa en ayunas: Un análisis de glucosa indica el nivel de glucemia en sangre, si el nivel es superior a 126 mg/dl se diagnostica diabetes. Si la medición está entre 100-125 mg/dl, indica un estado de prediabetes (propenso a tener diabetes) o una alteración de la glucosa en sangre. Si el valor es inferior a 100 mg/dl, no presenta alteraciones de la glucosa (Secretaría de Salud México, 2019).
- Edad: Investigaciones indica que con el pasar del tiempo, las personas son más propensas a desarrollar Diabetes Mellitus Tipo 2 (ADA, 2019).
- Género: Estudios indican que los hombres tienen mayores probabilidades de desarrollar prediabetes y diabetes, a comparación de las mujeres (Asociación Europea para el Estudio de la Diabetes, 2019).
- Antecedentes familiares: El aspecto genético contribuye al desarrollo de enfermedad, según investigaciones más del 90% de casos clínicos poseen un familiar afectado (Patología Estructural y Funcional, 2015).
- Embarazo: El estado de embarazo promueve al apareamiento de Diabetes Mellitus Tipo 2, sino no es controlado adecuadamente (Infosalus, 2019).
- Actividad física: El estilo de vida de la persona influye en el desarrollo de diabetes, ya que por falta de esta no se consume el glucógeno que se encuentra en los músculos, y provocando que se transforme en glucosa (ADA, 2019).
- Índice de Masa Corporal: El riesgo de diabetes incrementa si el índice de masa corporal lo hace de igual manera. Debido a malos hábitos alimenticios de la persona (Secretaría de Salud México, 2019).
- Perímetro de cintura: El perímetro abdominal influye como indicador de la distribución de la grasa abdominal (Secretaría de Salud México, 2019).

Todos los factores mencionados están presentes en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo 2, y se usan para tener un diagnóstico más preciso.

El tratamiento más utilizado, consiste en suministrar inyecciones de insulina varias veces al día por vía subcutánea o mediante una bomba de infusión continua de insulina. Pero esto puede ocasionar una hipoglucemia, siendo bajos niveles de glucosa en sangre (Secretaría de Salud México, 2019).

Otra alternativa que está en etapa de pruebas es la sustitución de células  $\beta$  del páncreas por células madre, con la finalidad de promover la síntesis de la hormona insulina. Además de la creación de tejidos vivos, con el fin de crear páncreas artificiales y sustituir el original (EuroStemCell, 2019).

Varios estudios demuestran que la diabetes y sus complicaciones se ven reducidas al tener un control de la glucemia mediante la planificación de una dieta estructurada y actividad física (Atlas de la Diabetes de la FID, 2019).

De esta manera por medio del análisis de alguna variación en los factores de riesgo de la diabetes se puede detectar tempranamente y tratar el desarrollo de la enfermedad, para ellos se plantea la creación de un dispositivo, el cual permitirá monitorear valores de los factores de riesgo, y a su vez tomar decisiones para controlar estos y prevenir el desarrollo de diabetes en el paciente.

La aplicación de inteligencia artificial para el proceso de diagnosticar o detectar enfermedades a partir de la información en base de datos, se ha visto en aumento por tener niveles de precisión similares a los de los profesionales de la medicina (The Lancet Digital Health, 2019).

En la actualidad existen diversos sistemas para ayudar en el diagnóstico de enfermedades, a continuación, se da información de algunos de ellos para analizar la situación y características técnicas de los mismos.

Existen distintos proyectos de sistemas expertos para el diagnóstico de diabetes mediante conjuntos difusos como son; "Sistema experto para el diagnóstico de diabetes basado en conjuntos difusos" desarrollado por el Ingeniero Informático Marcelo Mendoza Laruta en la Universidad Mayor de San Andrés en Bolivia y "Análisis para el desarrollo de un sistema experto para realizar diagnósticos de enfermedades y consultas con pacientes diabéticos de la zona indígena del estado de Oaxaca, México" propuesto por el Mg. Norma Martínez en la Universidad Nova Universitas. Estas dos propuestas se basan en el ingreso manual de los datos o información del paciente por parte del médico al sistema. La información es recopilada mediante un formulario de preguntas de la historia clínica y el ingreso de valor de la medición de la glucosa en sangre, como se indica en la Figura 2. Entre los datos solicitados están problemas o anomalías con la masa corporal, deshidratación, problemas alimenticios o gastrointestinales, entre otros. Todos estos datos se comparan mediante conjuntos difusos, proporcionando el tipo de diabetes.





**Figura 2.** Interfaz de software  
(Sistema Experto para el diagnóstico de diabetes basado en conjuntos difusos, 2016)

Otra propuesta es “Sistema experto y uso de lógica proposicional para el diagnóstico preventivo de la diabetes tipo 2 para determinar la potencial existencia de la enfermedad” por el MSc. Dennis Delgado, docente la Universidad UTEPSA, esta investigación analiza una mayor cantidad de variables, a las cuales les asigna un valor fijo y múltiples según sea el caso. Posteriormente se asigna las reglas para los conjuntos difusos basando en los valores preestablecidos, esta técnica dio como resultado un acierto del 86,66% de 30 pacientes analizados de los cuales 86,66% presentan diabetes. A comparación de los dos sistemas mencionados anteriormente, este se basa en responder un formulario con preguntas acerca de posibles síntomas.



**Figura 3.** Modelo de pregunta del test de diabetes  
(Sistema experto y uso de lógica proporcional para el diagnóstico preventivo de la diabetes tipo 2 para determinar la potencial existencia de la enfermedad, 2018)

Otro proyecto denominado es “Un sistema experto difuso en la Web para diagnóstico de diabetes”, basado en el análisis de la información por lógica difusa. De igual manera recopila información mediante un formulario, pero en una aplicación Web. El estudio también indica que el tiempo de consulta se ve disminuido con la aplicación Web a diferencia de la consulta médica tradicional.

Analizados los sistemas mencionados anteriormente, podemos destacar lo siguiente:

- La factibilidad para el desarrollo de sistemas mediante inteligencia artificial o lógica difusa es posible siempre que se tenga una correcta correlación de variables y una buena base de datos para analizar.
- Mientras mayor sea la cantidad de variables es mejor para el sistema, debido a que analiza otros factores de riesgos, dando un resultado más preciso.
- La aplicación de nuevas tecnologías permite optimizar el tiempo de diagnóstico en las consultas médicas.
- Todos los sistemas propuestos se basan en el llenar un formulario de preguntas las cuales en ciertos casos deben ser rellenas con un médico. En el caso de no requerir la ayuda de un profesional de la salud, el paciente podría llenar el formulario por sí solo, pero esto puede llegar a provocar confusión o ingreso incorrecto de las respuestas.

Con lo expuesto anteriormente se determinó el objetivo general del proyecto: diseñar y construir de un dispositivo tecnológico para el prediagnóstico de la diabetes mellitus tipo 2.

Además, se planteó de los siguientes objetivos específicos, para poder alcanzar el objetivo general y finalizar correctamente el proyecto.

- Construir y validar un dispositivo que permita determinar el IMC de una persona, mediante la obtención de la altura y masa de esta.
- Construir y validar un sistema capaz de determinar el perímetro de cintura de una persona.
- Construir y validar un sistema capaz de estimar el nivel glucosa de una persona mediante la aplicación de un sensor de emisión de ondas no invasivo.
- Integrar el sistema y validó su funcionamiento mediante la realización de pruebas.

Esta propuesta de sistema es el primer paso hacia un concepto global para el prediagnóstico médico de enfermedades. En este caso se seleccionó como enfermedad la diabetes mellitus tipo 2, por su alto porcentaje de paciente que la padecen. Este proyecto se centra en realizar un prediagnóstico con el fin que el usuario o paciente tenga una noción de su estado de salud o su probabilidad de tener la enfermedad. Dicho prediagnóstico servirá

posteriormente para que un médico general o especialista pueda examinar y comprobar el estado del paciente.

En concreto el sistema realiza la recopilación y análisis de información del paciente, con el fin de proveer el prediagnóstico. Entre la información recopilada se encuentra:

- La anamnesis, que consiste en datos de la historia clínica del paciente con un objetivo diagnóstico. La información solicitada es la edad, género, si realiza alguna actividad física o deporte y si posee algún familiar de primer grado de consanguinidad (padre o madre) con diabetes mellitus tipo 2.
- Examen físico, medición de parámetros físicos del paciente como son masa corporal y altura.
- Examen complementario, se agregó la medición de glucosa en sangre.

## **2. METODOLOGÍA**

El sistema se realizó en base a la metodología, conocida como modelo en V. Se seleccionó esta metodología debido a que permite el desarrollo del sistema en base a los requerimientos establecidos, pasando por una etapa de diseño de la parte de electrónica, programación y mecánica, para posteriormente integrarlas para formar el sistema, y finalizando con una verificación de propiedades de este.

La aplicación de esta metodología permite desarrollar el sistema de manera correcta y eficiente, además de poder aplicar correctivos en el proceso de desarrollo.

## 2.1. ANALISIS DEL PROBLEMA

Para desarrollar el sistema, que permita adquirir y analizar los distintos factores de riesgo de la diabetes mellitus tipo 2, se concibió un método de análisis basado en redes neuronales entrenadas con datos de pacientes sanos y con diabetes. Esto se basó en informes de organizaciones de salud y literaturas médicas, las cuales mencionan las razones del apareamiento de la diabetes mellitus tipo 2 (IFD, 2019).

El presente sistema debe cumplir con los protocolos médicos para la toma de medidas antropométricas como se indica en el Manual de Procedimientos de Antropometría y Determinación de la Presión Arterial del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, además de las normas para los dispositivos médicos.

Una vez escogido el método para el desarrollo del sistema, se establecen los requerimientos de este.

## 2.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para el correcto desarrollo del presente sistema se debe cumplir los siguientes requerimientos que se describen:

**Materiales:** El sistema debe estar construido por materiales adecuados, para esto se basó en la norma IEC 60601-1. La cual indica que se debe realizar un análisis de riesgo del equipo o sistema médico, que sea diseñado de forma que, si llegará a fallar, reaccione de manera segura ante el paciente. Dicho análisis se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis de riesgos y métodos aplicados para la alternativa para la reducción del riesgo.

Riesgo	Alternativa para reducción de riesgo
Materiales de construcción inadecuados como alergénicos o que no permitan ser esterilizados previamente.	Selección de un material compatibles que cumpla con la norma ISO – 10993.
Mal uso o fallo del sistema al momento de realizar el pre diagnóstico por parte del paciente.	Implementación de condiciones para el correcto uso del sistema.
Posturas incorrectas del paciente al realizar el prediagnóstico.	Colocación de puntos de referencia para la correcta posición del paciente.

Es decir, la documentación del material del cual está construido o manufacturado el dispositivo médico puede ser provechoso, si menciona recomendaciones acerca de procesar el material o dispositivo, de igual manera de una evaluación biológica realizada.

- **Dimensiones:** El sistema no debe exceder las dimensiones que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Dimensiones máximas del sistema.

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor Máximo (cm)</b>
Altura	250
Ancho	150
Largo	150

- **Visualización:** El sistema debe tener un medio por el cual se pueda visualizar los datos y resultados del prediagnóstico.
- **Fuente de alimentación:** El sistema debe estar alimentado por corriente alterna, para evitar falta de energía eléctrica.
- **Vida útil:** El sistema debe poder trabajar por un mínimo de 4 años.
- **Requisitos técnicos:** El sistema debe cumplir los protocolos médicos para la toma de medidas medicas o antropométricas.
- **Fiabilidad:** El sistema debe tener un buen nivel de fiabilidad, al menos un 80% de exactitud.

## **2.3. PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MEDICIONES MÉDICAS**

Con el fin de que las mediciones se realicen bajo las mismas condiciones, se estableció un protocolo a seguir para que las mediciones no sufran variaciones. Entre las reglas a seguir, se indican los materiales para realizar las mediciones y el estado en cual debe estar el paciente para realizarle las mediciones (Manual de procedimiento de Antropometría y determinación de la presión arterial, 2012).

### **Materiales e instrumentos**

- Cinta métrica de costurero de 1.5 m.
- Flexómetro de 5 m.
- Balanza digital.
- Medidor de glucosa – Accu Chek Instant
- Hoja de registro de datos

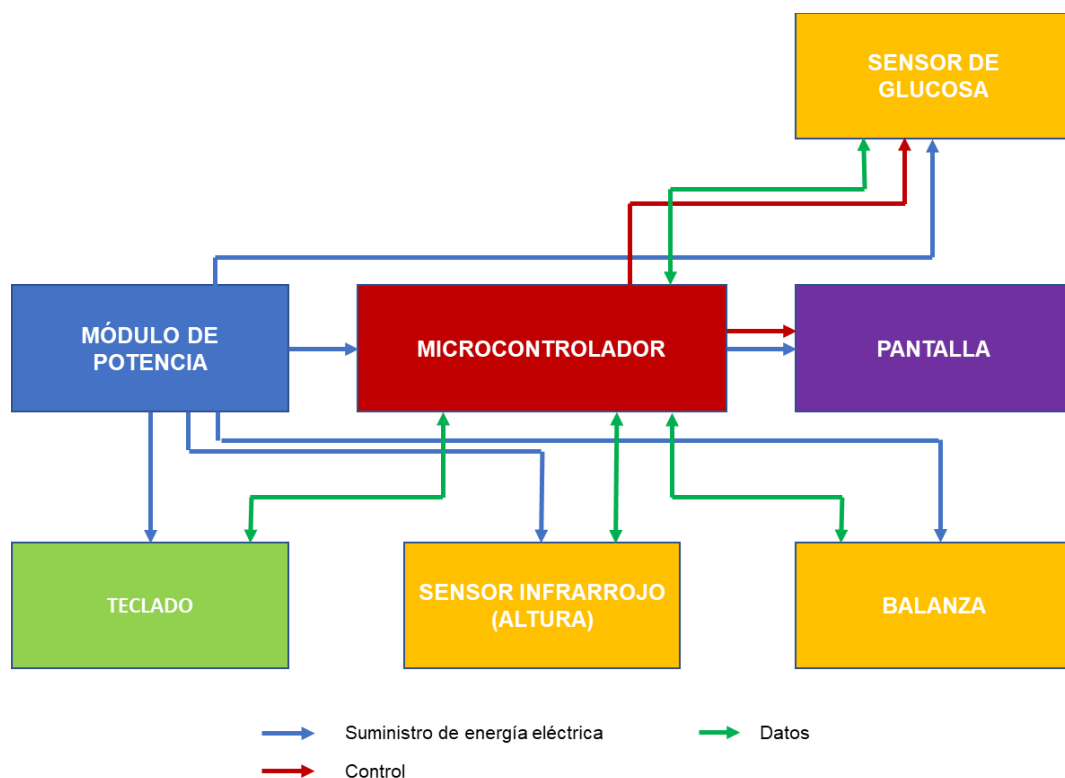
### **Estado del Paciente**

- Estar en ayuno, sin consumir ningún alimento por al menos 8 horas.

- Para la medición de la altura, el paciente debe estar con la espalda recta y se realizará con el flexómetro de 5m. Desde la planta de los pies hasta la parte superior de la cabeza.
- Para la medición de la masa corporal se la realizó con la balanza digital, el paciente debe estar con ropa ligera para no alterar la medición.
- La medición de la glucosa se realiza con un glucómetro comercial.
- Para la medición del perímetro abdominal se realiza con la cinta métrica de costurero a la altura del ombligo, el paciente debe relajarse y no debe tratar de comprimir el abdomen.
- Al recopilar la información médica del paciente, se debe indicar que datos se están solicitando para evitar datos erróneos o confusión por parte del paciente.

## 2.4. DISEÑO DEL SISTEMA

Como se muestra en la Figura 4, el sistema está compuesto de un módulo de potencia, el cual ayuda a suministrar energía eléctrica a todos los componentes electrónicos del sistema. Un microcontrolador que hace la función de unidad central para la ejecución y control de las funciones del sistema, como toma de datos del pacientes y análisis de estos para realizar el prediagnóstico; además se cuenta con una balanza y un sensor de infrarrojo que permiten determinar la masa y altura del paciente, por consiguiente, se puede calcular el IMC (Índice de Masa Corporal) y la circunferencia abdominal. Un sensor de glucosa de la medición de la sustancia de manera no invasiva. Los datos y resultados se mostrarán en una pantalla LCD.



**Figura 4.** Arquitectura del sistema.

Para la selección de los componentes, se determinaron parámetros para su correcta selección. En el caso del microcontrolador, son la velocidad máxima de reloj, capacidad de procesamiento, la memoria interna y características de los pines o periféricos de este. El microcontrolador seleccionado para el desarrollo del sistema es el ATmega2560, ya que sus salidas digitales son de 5 [V]; esto ayuda en el manejo de los componentes electrónicos del sistema. En la Tabla 3 se muestran las características del microcontrolador.

**Tabla 3.** Características de la tarjeta electrónica

<b>Tarjeta Electrónica</b>	Arduino Mega 2560 REV3
<b>Microcontrolador</b>	Atmega2560
<b>Voltaje de Operación</b>	5 [V]
<b>Voltaje de Entrada (recomendado)</b>	7 – 12 [V]
<b>Voltaje de Entrada (limite)</b>	6 – 30 [V]
<b>Pines Digitales</b>	54
<b>Pines Analógicos</b>	16
<b>Corriente de Pines Digitales</b>	20 [mA]
<b>Corriente de Pines de 3.3 v</b>	50 [mA]
<b>Memoria Flash</b>	256 [KB]
<b>SRAM</b>	8 [KB]
<b>EEPROM</b>	4 [KB]
<b>Velocidad de Reloj</b>	16 [MHz]

(ATMEL, Arduino, 2014)

Una de las razones por la cual el realizar el diagnóstico de diabetes llega a ser complicado, es porque se debe hacer una punción en el dedo para extraer una muestra de sangre para el examen de glucosa en sangre. Esto produce incomodidad, dolor y miedo a los pacientes, además que los pacientes pueden llegar a desarrollar infecciones cutáneas. Por esta razón se seleccionó un sensor no invasivo para la medición de glucosa como se muestra en la Figura 4, el cual fue desarrollado en el proyecto “Mejora del diseño de un prototipo de sensor no invasivo para la medida de glucosa en sangre” (Inmaculada Rodríguez Palomo, 2016).

El funcionamiento se basa en la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano para la capacitación de los datos del paciente. Esta tecnología tiene como fundamento la teoría de transporte de luz, en la Ley Beer – Lambert, que menciona una relación según la cual la intensidad de luz que es recibida por un fotodiodo va a depender de la intensidad de luz que emana un diodo LED, la longitud del camino óptico a través del tejido orgánico (piel humana) y un coeficiente de atenuación efectivo.

Este sensor ha sido validado siguiendo la norma ISO 15197:2015, la cual es para sistemas de ensayo para diagnóstico in vitro y requisitos para los sistemas de monitorización de glucosa en sangre para autodiagnóstico en la gestión de la diabetes mellitus. Además, que las pruebas se encuentran en las zonas A y B de las cuadrículas de errores de Clarke y de errores consensuada, las cuales se aplica para evaluar los sistemas de monitorización de glucosa.

Para la selección de la balanza para la medición de la masa de persona, se optó por una balanza digital de baño debido a que permite medir valores altos,



a diferencia de una celda de carga que están diseñadas para cargas bajas y el valor monetario es más alto como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Características de las balanzas.

Especificaciones	Celda de carga	Balanza Digital
Carga Máxima	10 [Kg]	180 [Kg]
Voltaje de Operación	3 [V]	3 [V]
Valor comercial aproximado	\$ 17.00	\$ 9.95

Por estas razones se optó por la balanza digital de la Marca FREE HOME, debido a que su relación carga máxima y valor comercial es más conveniente para el desarrollo del proyecto.

Para la medición de la altura y perímetro abdominal se optó por sensores infrarrojos ya que su precisión de medición es mayor a los sensores de ultrasonidos. Como parámetros para la elección se consiguieron los siguientes datos: rango de detección, voltaje de operación y corriente de operación. Como opciones de sensores tenemos los mostrados en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Características de sensores infrarrojos.

Sensor	Rango de Detección	Voltaje de Operación	Corriente de Operación
GP2Y0A60, 5V	10 – 150 [cm]	2.7 – 5.5 [V]	33 [mA]
GP2Y0A60, 3V	10 – 150 [cm]	2.7 – 3.6 [V]	33 [mA]
GP2Y0A02	20 – 150 [cm]	4.5 – 5.5 [V]	33 [mA]
GP2Y0A21	10 – 80 [cm]	4.5 – 5.5 [V]	33 [mA]
GP2Y0A41	4 – 30 [cm]	4.5 – 5.5 [V]	12 [mA]
GP2Y0A51	2 – 15 [cm]	4.5 – 5.5 [V]	12 [mA]
GP2Y0A815	0.5 – 15 [cm]	2.7 – 6.2 [V]	5 [mA]
GP2Y0A810	2 – 10 [cm]	2.7 – 6.2 [V]	5 [mA]
GP2Y0A805	0.5 – 5 [cm]	2.7 – 6.2 [V]	5 [mA]

Analizando los datos de la Tabla 6, se optó por los sensores GP2Y0A21 para la medición de la altura del paciente y GP2Y0A41 para la medición del perímetro abdominal.

Para el ingreso de datos como la edad, antecedentes familiares, actividad física, género. Se decidió por un teclado matricial 4x4 modelo KEYPAD-2 como se muestra en Figura 6, el cual cuenta con 16 botones plásticos con organización matricial (4 filas x 4 columnas).

Para mostrar los datos de medición y resultados del prediagnóstico, se optó por una pantalla LCD. Entre las opciones tenemos dos; Display LCD1602 y Display LCD 2004, sus características se muestran la Tabla 6.

**Tabla 6.** Características de pantallas LCDs

Modelo	LCD 1602	LCD 2004
Caracteres	16x2	20x4
Voltaje de Operación	5 [V]	5 [V]
Retroiluminación de LED blanca	No disponible	No disponible
Área de Visualización	54.8 x 19.0 [mm]	74.4 x 24.8 [mm]

Analizando los datos de la Tabla 6, se observó que las funcionalidades de las pantallas son similares y la única diferencia significativa es la cantidad de caracteres que permiten visualizar. Por lo mencionado se decidió por la pantalla LCD 2004, por ofrecer un total de 80 caracteres para visualizar.

## 2.4.1. DISEÑO ELECTRÓNICO

En la Figura 5 se muestra el esquema eléctrico completo, el cual se trabajó mediante subcircuitos, para poder organizar de mejor manera las conexiones eléctricas y determinar los datos a enviar o recibir de cada uno. A continuación, se describen los esquemas eléctricos contenidos en cada subcircuito.

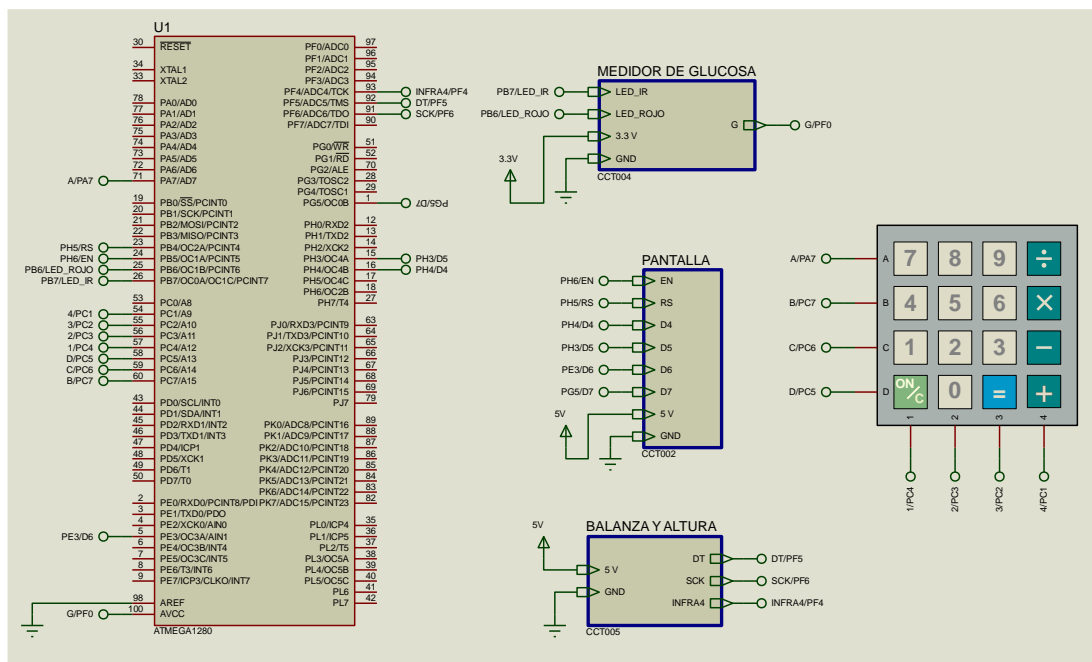
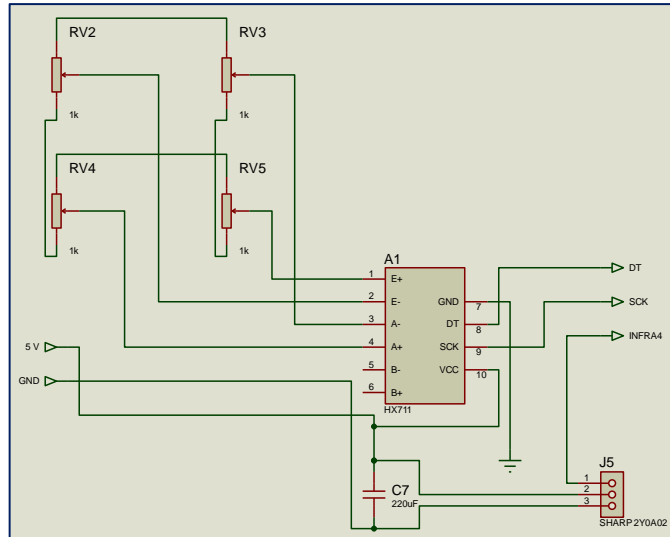


Figura 5. Esquema eléctrico del sistema.

En cuanto al subcircuito "Balanza y Altura", este compuesto de 4 celdas de cargas, un amplificador HX711 y un sensor de infrarrojo como se muestra en la Figura 6. Para las conexiones de la balanza se realizó un puente de Wheatstone con las celdas de carga, debido a que el amplificador está destinado para la lectura de una sola celda, y con el arreglo de Wheatstone se obtienen las variaciones de voltaje para posteriormente calcular la masa que se está soportando. Para la medición de la altura se utilizó de igual manera un sensor infrarrojo.



**Figura 6.** Subcircuito Balanza y Altura

Para la medición de la glucosa, se creó el subcircuito “MEDIDOR DE GLUCOSA” que se muestra en la Figura 7. Para su implementación se siguió el proceso de desarrollo eléctrico del proyecto “Mejora del diseño de un prototipo de sensor no invasivo para la medida de glucosa en sangre”, con la diferencia que se reemplazó el LED Rojo KA - 3528SRC por un LED SSL - LXA228SRC - TR11, dichos componente tienen la misma longitud de onda de 660nm. El circuito consiste en la lectura de la señal del fotodiodo Osram BP104S.

Por otra parte, se encuentran los circuitos de los emisores de luz, los leds implementados son los Vishay VSMS3700-GS08 y SSL - LXA228SRC - TR11, los cuales trabajan a voltajes distintos, 1.3 V y 2.2 V, respectivamente. Por lo cual se prosigió a calcular la resistencia necesaria para tener correcto funcionamiento de estos.

$$V_R = V_{alimentación} - V_{LED Vishay} = 5V - 1.3V = 3.7V \quad (1)$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{3.7V}{40 \times 10^{-3} A} = 92.5 \Omega \quad (2)$$

$$V_R = V_{alimentación} - V_{LED SSL} = 5V - 2.2V = 2.8V \quad (3)$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{2.8V}{40 \times 10^{-3} A} = 70 \Omega \quad (4)$$



**Figura 7.** Subcircuito Medidor de Glucosa – Circuito Emisor

Para terminar, se tiene el subcircuito de “PANTALLA” que se muestra en la Figura 8, el cual está compuesto de por una pantalla LCD 2004 y un potenciómetro, este último controla el nivel de contraste de la LCD 2004. El componente Teclado Matricial 4x4, permite al usuario ingresar las respuestas a las preguntas realizadas por el sistema.

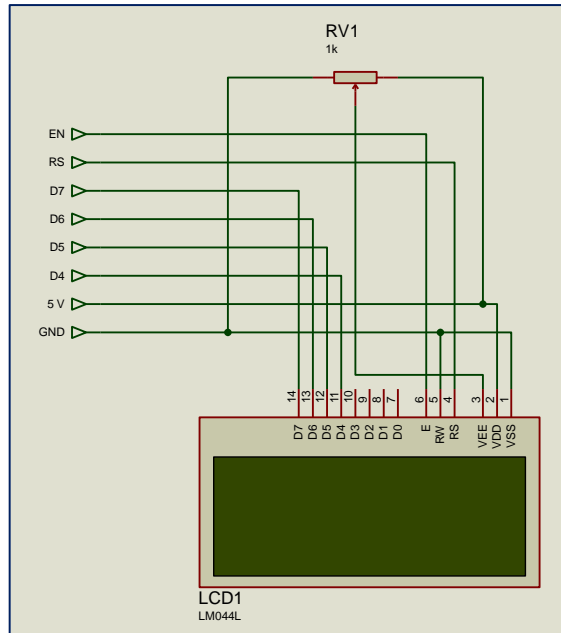


Figura 8. Subcircuito Pantalla.

## 2.4.2. DISEÑO DE SOFTWARE

El paciente puede ejecutar la secuencia del sistema, la cual está establecida siguiendo el proceso de diagnóstico utilizado por profesionales médicos he indicado por organizaciones afines al tema. En la Figura 9 se observa el diagrama de flujo del sistema.

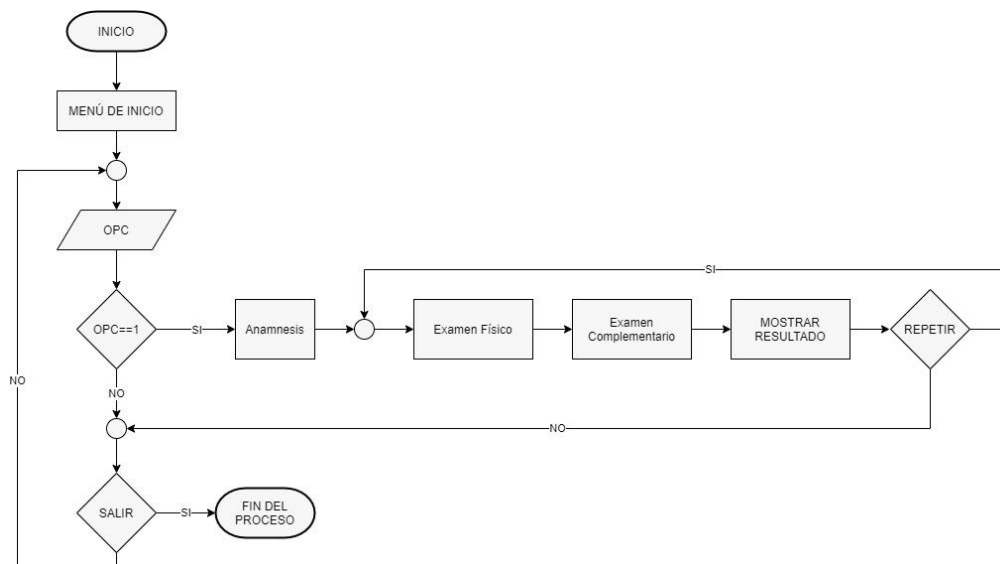


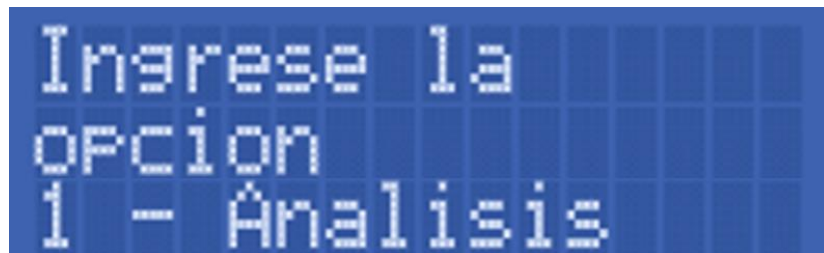
Figura 9. Diagrama de flujo del algoritmo para la operación del sistema (Julio Herrería, 2020)

Se inicia preguntado al usuario si desea iniciar con el análisis, se realizan cuatro preguntas, la cuales el paciente responde ingresando las repuestas en el teclado matricial. Posteriormente se procede a obtener las mediciones físicas como masa corporal, altura y circunferencia abdominal. Se realiza la medición de glucosa como examen complementario. Para finalizar se muestran los resultados del análisis o prediagnóstico y se pregunta si desea repetir el proceso o salir. De esta manera, se aprecia la lógica respectiva para el desarrollo del proceso de funcionamiento del sistema médico.

### **Diseño Interfaz**

Para el diseño de las interfaces del sistema, se aplicó la librería LiquidCrystal, la cual brindó facilidad al manejo de la pantalla debido a sus comando simples y adaptables a cualquier tamaño de pantalla.

La pantalla de Inicio muestra 1 opción como se indica en la Figura 10, el usuario puede seleccionar para realizar el análisis.



**Figura 10.** Interfaz inicial del sistema

En caso de seleccionar la opción de análisis, el sistema procede a realizar las preguntas de anamnesis, examen físico y complementario, los cuales fueron preestablecidos. Una vez obtenido todos los datos, se analizan mediante una red neuronal y se muestra el resultado.



**Figura 11.** Interfaz del proceso de análisis

### **Redes Neuronales**

Mediante el programa Matlab y su herramienta Neural Network Start, se crearon y entrenaron las redes neuronales, todas las redes tienen un aprendizaje supervisado debido a que se conocen los valores de entrada y objetivo (Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones, 2013).

Se creó una base de datos con 50 ensayos en un archivo de Excel como se muestra en el Anexo 3, para posteriormente utilizar dicha información en el entrenamiento de las redes neuronales del sistema de prediagnóstico. En la

Tabla 7 se indican las variables incluyendo los valores que contienen cada una.

**Tabla 7.** Ejemplo de la base de datos del sistema

CASO	1	2
PACIENTE	1	2
EDAD	58	62
GENERO	1	0
EMBARAZO	1	0
ACTIVIDAD FISICA	0	0
PATOLOGIA	2	0
ANTECEDENTES	0	0
ALTURA (CM)	152,00	173,00
ALTURA (M)	1,52	1,73
MASA CORPORAL	69,50	82,00
IMC	30,08	27,40
CIRCUNFERENCIA CINTURA	103,00	104,00
ALTURA CINTURA	87,00	103,00
PROFUNDIDAD ABDOMINAL	30,00	28,00
ANCHO ABDOMINAL	32,00	33,00
DIAMETRO DEDO	23,00	22,00
GLUCOSA	86	120
AYUNO	0	0
LED ROJO (mV)	197,56	145,41
LED IR (mV)	233,74	240,24

En la Tabla 8, se indican las unidades utilizadas en las variables de entradas para las redes neuronales.

**Tabla 8.** Variables de entrada y unidades

<b>Variables de entrada</b>	<b>Unidad</b>
Edad	[años]
Género	0 para hombre, 1 para mujer
Embarazo	0 no embarazo, 1 embarazo
Actividad Física	0 para realiza actividad física, 1 para no realiza actividad física
Patología	0 para no diabetes, 1 para diabetes tipo 1, 2 para diabetes tipo 2
Antecedentes	0 para no poseer antecedentes, 1 para tener 1 familiar diabético, 2 para tener 2 familiares diabéticos
Altura	[cm]
Masa Corporal	[Kg]
IMC	[Kg/m <sup>2</sup> ]
Circunferencia Abdominal	[cm]
Glucosa	[mg/dL]
Voltaje LED Rojo	[mV]
Voltaje LED IR	[mV]

Debido a que las variables como altura, masa corporal, índice de masa corporal, circunferencia abdominal, glucosa, datos proporcionados por el sensor, poseen valores con escalas distintas, se procedió a realizar una normalización de dichos parámetros con el fin de que el rango de la entrada escale con facilidad al rango de salida.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Donde:

z: valor normalizado

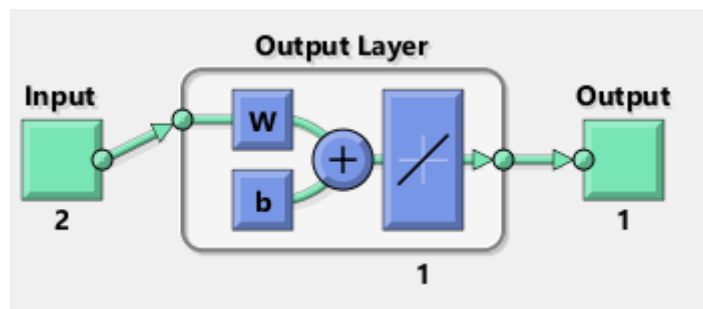
x: valor observado

$\mu$ : media

$\sigma$ : desviación típica

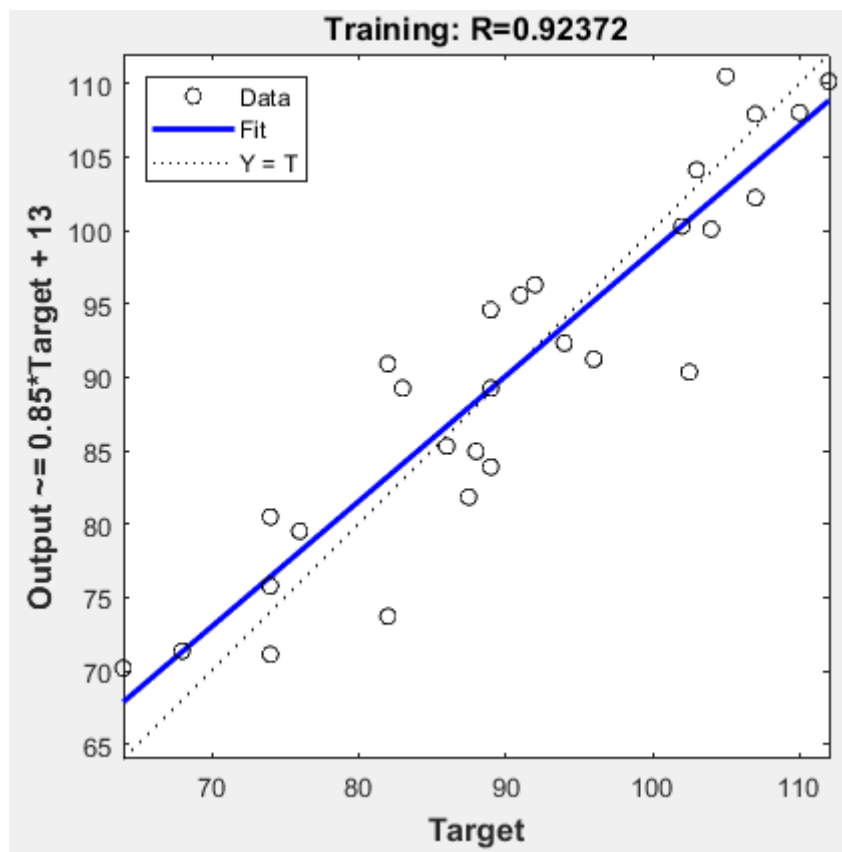
### Estimación de la circunferencia abdominal

La red tiene como propósito estimar el perímetro abdominal, mediante los valores de la altura y masa corporal del usuario. Se optó por un perceptrón con aprendizaje supervisado, se entrenó con el algoritmo de retro propagación de Levenberg-Marquardt y con una función de activación lineal.



**Figura 12.** Red neuronal perceptrón - Determinación circunferencia abdominal

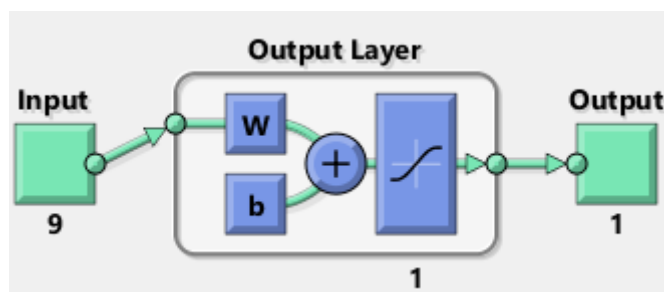
Para verificar el rendimiento de la red se aplicó la función del error cuadrático medio con función de desempeño de regularización, obteniendo un coeficiente de correlación del 0.92372 y un error absoluto promedio 4.94 cm, como se indica en la Figura 13.



**Figura 13.** Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la circunferencia abdominal - Entrenamiento

### Estimación de Glucosa

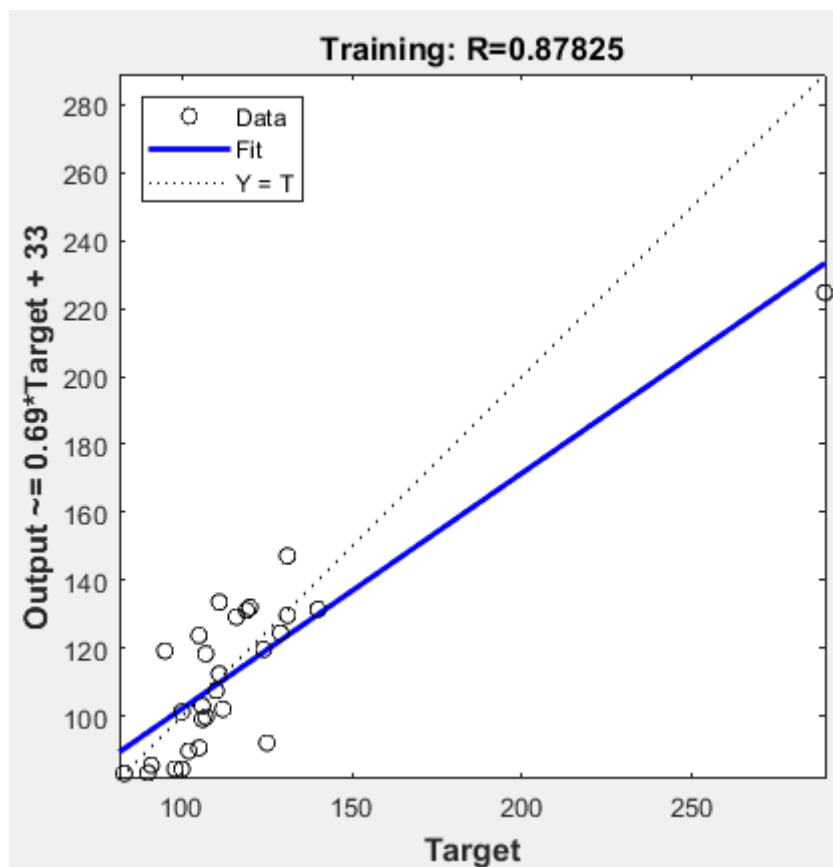
La red tiene como propósito estimar el valor de glucosa, mediante los valores de la edad, género, embarazo, antecedentes, actividad física, altura, masa corporal y mediciones del sensor del usuario. Se optó por un perceptrón con aprendizaje supervisado, se entrenó con el algoritmo de retro propagación de Levenberg-Marquardt y con una función de activación sigmoide tangente hiperbólica.



**Figura 14.** Red neuronal perceptrón - Determinación de glucosa

Para verificar el rendimiento de la red se aplicó la función del error cuadrático medio, obteniendo un coeficiente de correlación del 0.87825 y un error absoluto promedio 12.24 mg/dL, como se indica en la Figura 15.





**Figura 15.** Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la glucosa - Entrenamiento

### **Análisis Final – Prediagnóstico**

Para determinar el prediagnóstico o la probabilidad de riesgo de padecer diabetes mellitus tipo 2, se creó una red neuronal con el fin de cumplir esta tarea. Para el entrenamiento de esta red neuronal, se establecieron rangos y valores en cada variable de entrada a la red como se indica en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Tabla de Variables con rangos y valores

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
Edad	Menor de 30 años	0
	De 30 a 39 años	1
	De 40 a 49 años	2
	De 50 a 59 años	3
	Mayor a 60 años	4
Género	Hombres	1
	Mujeres	0
Embarazo	Si	1
	No	0
Antecedentes Familiares	Sin antecedentes	0
	1 antecedente	1
	1 antecedentes	2
Actividad Física	Si	0
	No	1
IMC	Menor de 18.5	0
	De 18.5 a 24.9	1
	De 25 a 29.9	2
	Mayor a 30	3

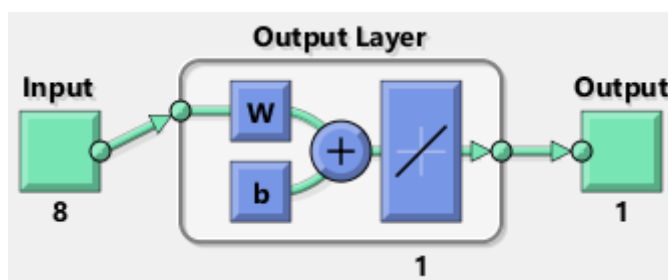
Glucosa	Menor a 100 mg/dl	0
	De 100 a 125 mg/dl	1
	Más de 125 mg/dl	2
Circunferencia Abdominal (Hombres)	Menor a 90 cm	0
	De 90 cm a 100 cm	1
	Mayor de 100 cm	2
Circunferencia Abdominal (Mujeres)	Menor a 80 cm	0
	De 80 cm a 90 cm	1
	Mayor de 90 cm	2

Para este caso, se decidió por un perceptrón con aprendizaje supervisado como se muestra en la Figura 16, se entrenó con el algoritmo de retro propagación de Levenberg-Marquardt y con una función de activación lineal.

Para poder clasificar la probabilidad de riesgo, se estableció rangos para determinar un prediagnóstico como se indica en la Tabla 10.

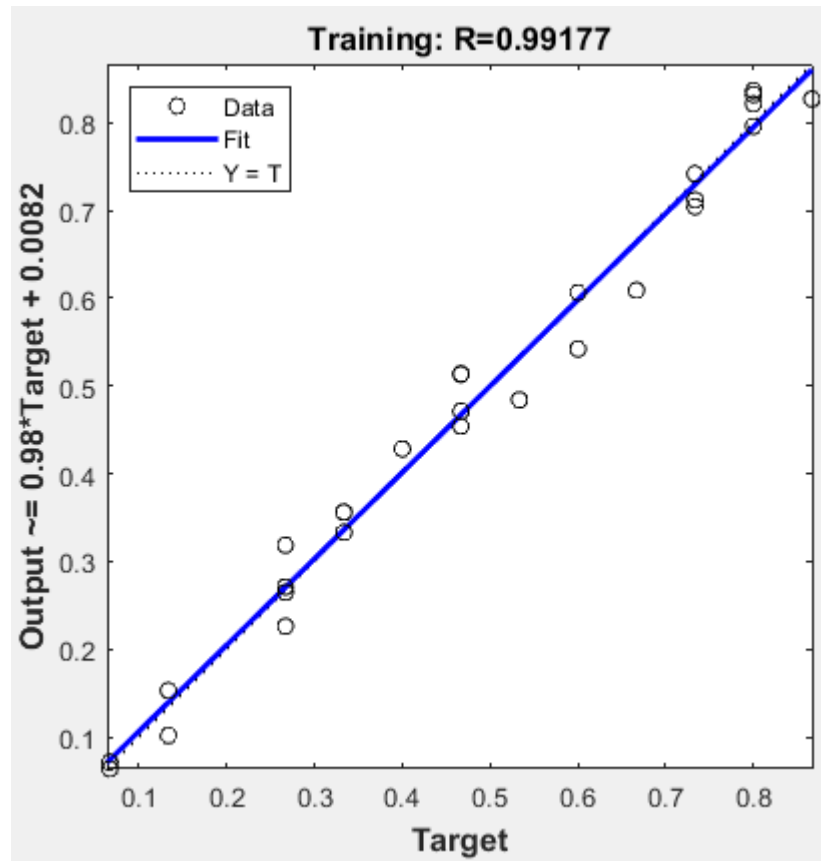
**Tabla 10.** Rangos de probabilidad de riesgo

Probabilidad de Riesgo	Riesgo muy bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Moderado	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Valor	0% - 20%	20% - 40%	40% - 60%	60% - 80%	80% - 100%
Posible Patología	No diabético	No diabético	No diabético	Prediabetes Principios de prediabetes	Prediabetes Diabético Mellitus Tipo 2



**Figura 16.** Red neuronal perceptrón – Prediagnóstico

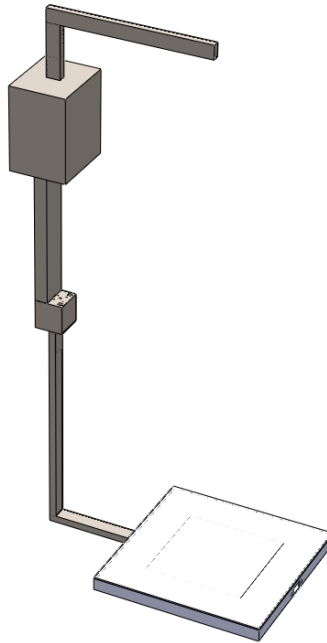
Para verificar el rendimiento de la red se aplicó la función del error cuadrático medio, obteniendo un coeficiente de correlación del 0.99177 y un error absoluto promedio 2.6492, como se indica en la Figura 17.



**Figura 17.** Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida del prediagnóstico - Entrenamiento

### 2.4.3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA

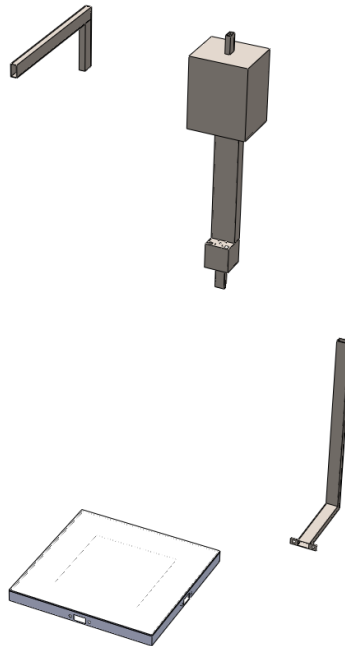
Para el sistema se diseñó una estructura como se indica en la Figura 18, consiste en una base cuadrada en la cual está colocada una balanza, de dicha base se extiende un tubo rectangular, este soporta una caja metálica que contiene una pantalla LCD, un teclado matricial, el sensor de glucosa y el microcontrolador. En la parte superior se extiende desde la caja superior, otro tubo rectangular en el cual se colocó un sensor infrarrojo para medir la altura del usuario.



**Figura 18.** Estructura virtual completa.

Para las dimensiones de la base, se consideraron las medidas antropométricas promedio de una persona en posición de pie, con un ancho promedio de 504 mm y una profundidad de 276 mm, aproximadamente.

Para el diseño del sistema se aplicaron criterios de diseño modular, con el fin que el ensamble de este sea fácil de armar y desarmar como se indica en la Figura 19. Además, que permite que se le aplique modificaciones o nuevas piezas al diseño.



**Figura 19.** Vista explosionada del sistema experto

## 2.5. APLICACIÓN DE CRITERIOS DE LAS NORMAS.

### 2.5.1. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA ISO 15197

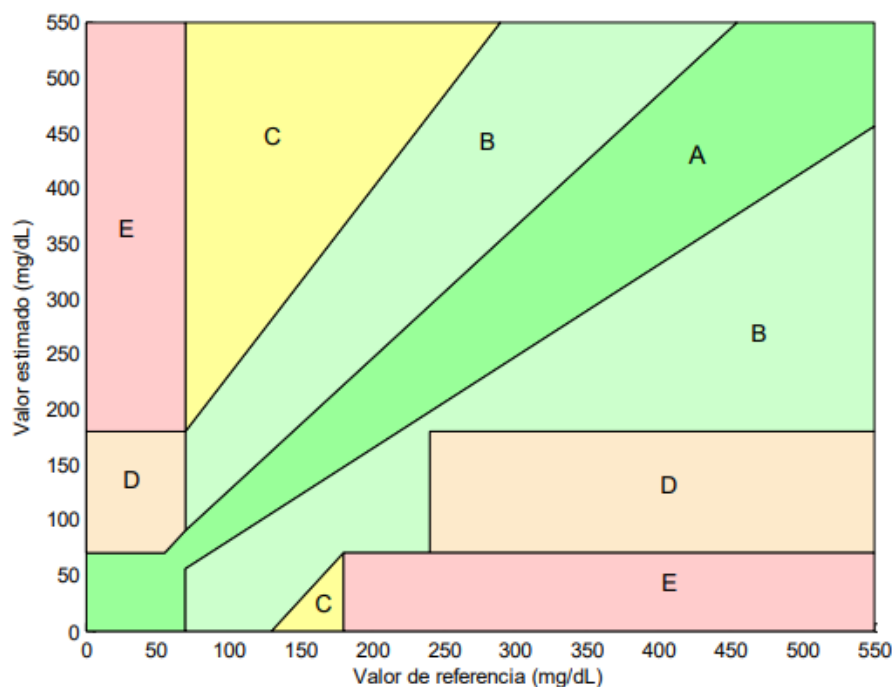
La norma ISO 15197:2015, indica los requisitos para los sistemas de monitorización de glucosa en sangre para autodiagnóstico en el control de la diabetes mellitus. La norma consta de dos criterios para la exactitud aceptable del sistema de medición.

- El 95% de los valores medidos de glucosa deben estar comprendidos dentro de un rango de error de  $\pm 15$  mg/dL respecto al promedio de las mediciones obtenidas con un procedimiento de referencia cuando se trate de concentraciones de glucosa en sangre inferiores a 100 mg/dL.

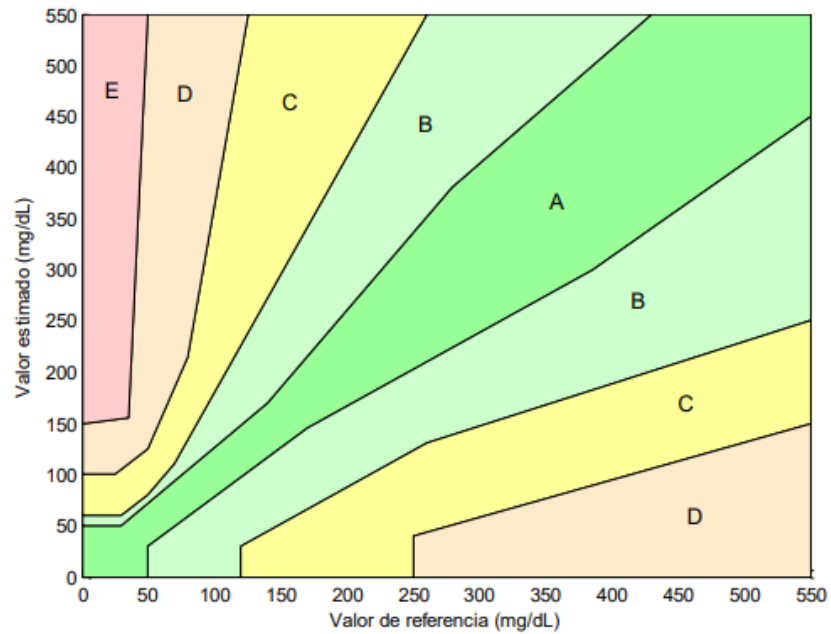
En el caso de concentraciones iguales o superiores a 100 mg/dL, el margen de error aceptable es porcentual y se establece en  $\pm 15\%$

- El 99% de los valores individuales medidos de glucosa deben estar comprendidos dentro de las zonas A y B de la cuadrícula de análisis consensuado de errores (CEG – Consensus Error Grid) para la diabetes tipo 1.

Para la validación del sistema de medición de glucosa se aplicó la cuadrícula de análisis de errores de Clarke y la cuadrícula de análisis consensuado de errores, la cuales se indica en la Figura 20 y Figura 21 respectivamente.



**Figura 20.** Cuadrícula de análisis de errores de Clarke.



**Figura 21.** Cuadrícula de análisis consensuado de errores

### 2.5.2. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA IEC 60601-1

Implementando el criterio de validación condición de falla segura del sistema, se indica en la Tabla 11, el siguiente análisis:

**Tabla 11.** Implementación de la norma IEC 60601-1

<b>Simple condición de falla segura</b>	<b>Riesgo residual</b>
Materiales adecuados para el contacto con la piel, y esterilización previa.	Materiales de baja probabilidad de producir alergias y permitan esterilización. Seguir la norma ISO 10993 para selección del material.
Mal uso o fallo del sistema al momento de realizar el pre diagnóstico por parte del paciente.	Inadecuado diseño del algoritmo o interfaz del sistema, provocando confusión en el paciente.
Posturas incorrectas del paciente al realizar el prediagnóstico.	Inadecuado diseño mecánico del sistema, haciendo que el paciente se coloque en posturas incorrectas o incómodas.

Una vez analizado los posibles residuales, la reducción del riesgo a fallar durante la vida útil del sistema experto es despreciable.

### 2.5.3. VALIDACIÓN RESPECTO A LA NORMA ISO 10993

La norma ISO 10993 proporciona los estándares para evaluar la biocompatibilidad de materiales de dispositivos médicos para gestionar el riesgo biológico ante el usuario.

Para el sistema se aplicaron materiales como acero galvanizado y PLA. Ambos materiales no producen ninguna reacción alérgica y permiten la esterilización de sus superficies con equipos o productos de limpieza.

El acero galvanizado se lo emplea en armaduras para cubiertas y columnas, vigas, largueros, barandas y cercas, además en plantas para el tratamiento de agua. Por estas razones se lo empleo para la construcción de la estructura del sistema.

El PLA es un biopolímero eco amigable, tiene varias aplicaciones en la actualidad, entre las cuales está la medicina, ya sé que no implican contacto con el cuerpo humano, en in vivo temporales o en cirugías generales. El PLA por sus buenas propiedades mecánicas a comparación de otros materiales termoplásticos.

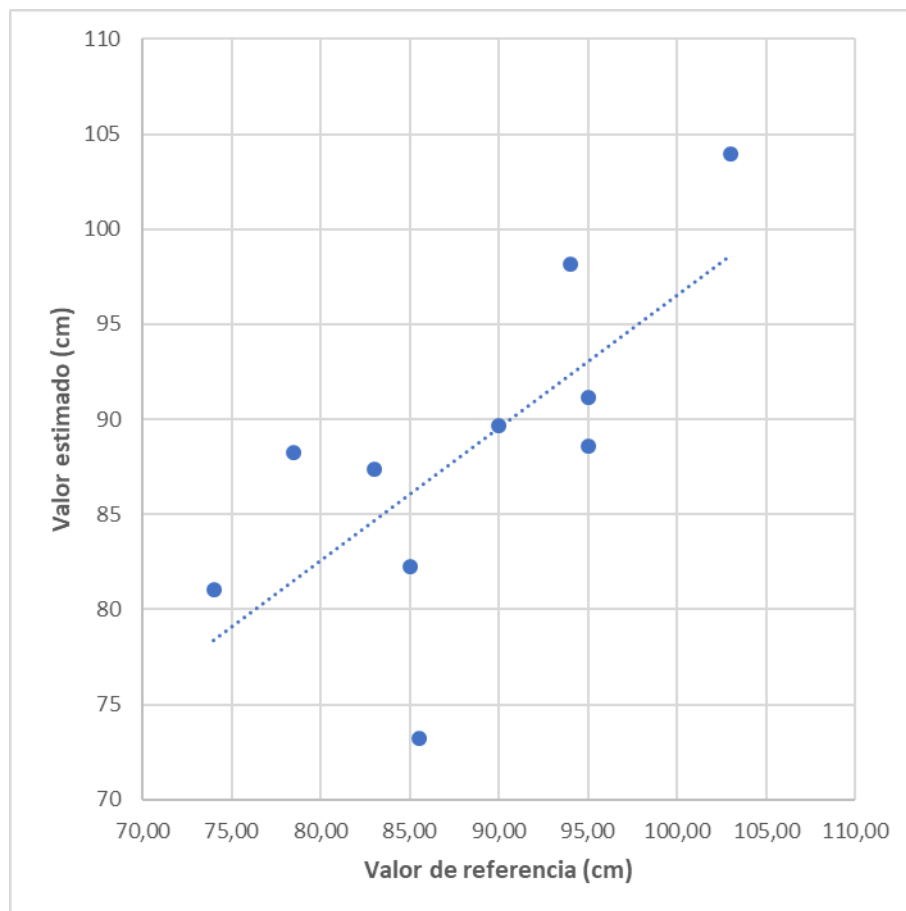
### **3. RESULTADOS Y CONCLUSIÓN**



Para la etapa de pruebas se seleccionaron 10 pacientes aleatorios para comprobar el funcionamiento de este. Entre los pacientes están 1 diabético mellitus tipo 2, 2 pacientes con prediabetes y resto no son diabéticos.

### 3.1. PRUEBA DE ESTIMACIÓN DE CIRCUNFERENCIA ABDOMINAL

Para poder comprobar el funcionamiento y exactitud de la red neuronal para la determinación de la circunferencia abdominal, se realizaron 10 ensayos a diferentes participantes. En la Figura 22 se muestra la correlación entre los datos de objetivos y los de salida de la prueba realizada, siendo el coeficiente de correlación de 0.928951.

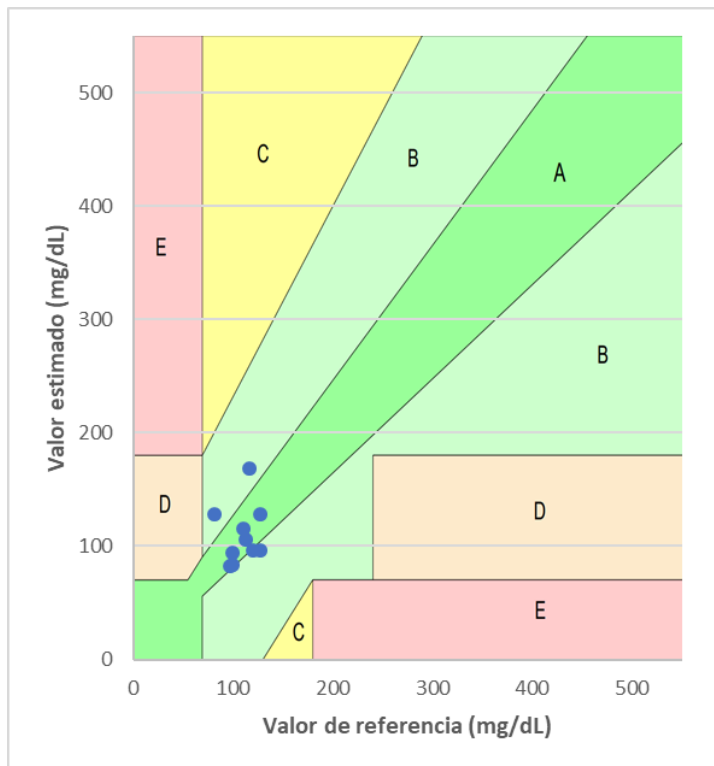


**Figura 22.** Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida de la circunferencia abdominal - Prueba

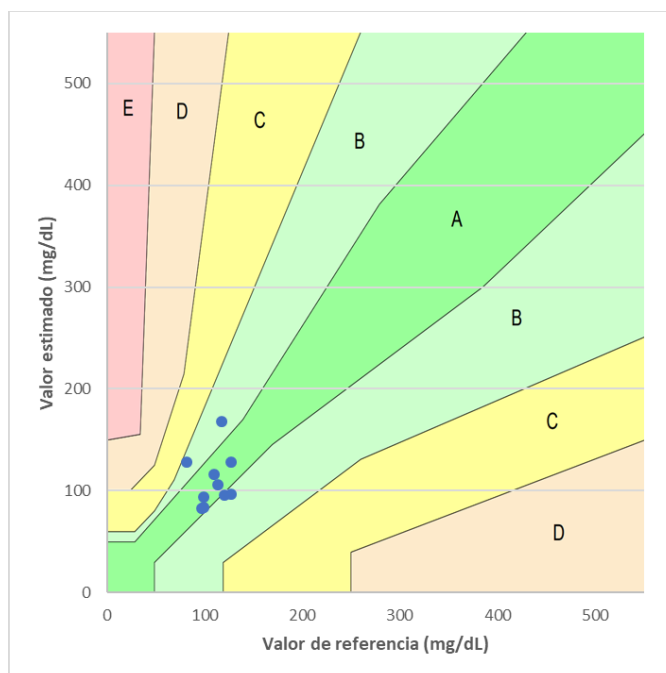
Se compararon los datos de objetivo y de salida, y se determinó una exactitud promedio del 93.87% y un error promedio absoluto 5.19 cm en la prueba de los 10 ensayos.

### 3.2. PRUEBA DE ESTIMACIÓN DE GLUCOSA

Para la comprobación del sistema de medición de glucosa se realizaron 10 ensayos, cada uno a diferentes personas. A continuación, se muestran las gráficas de la cuadrícula de errores de Clarke y la cuadrícula de errores consensuada.



**Figura 23.** Cuadrícula de errores de Clarke – 10 puntos dentro de las zonas A y B

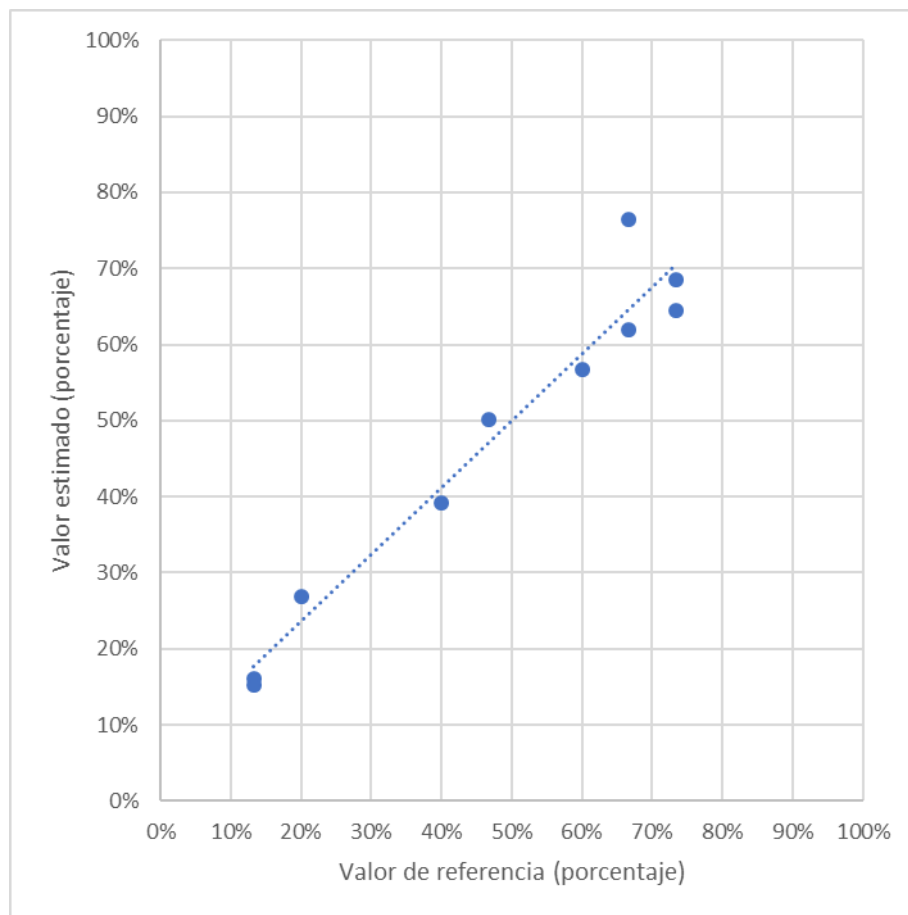


**Figura 24.** Cuadrícula de errores consensuada – 10 puntos dentro de la zona A y B

En las Figura 23 y Figura 24 puede observarse como todos los puntos están dentro de las zonas A y B de ambas cuadrículas, esto indica que las mediciones se pueden considerar clínicamente aceptable.

### 3.3. PRUEBA DE PREDIAGNÓSTICO – PROBABILIDAD DE RIESGO

Se realizaron 10 pruebas para analizar el funcionamiento de la red neuronal encargada para el prediagnóstico de la enfermedad, se obtuvieron los siguientes resultados.



**Figura 25.** Coeficiente de correlación entre los datos de objetivo y de salida del prediagnóstico o probabilidad de riesgo – Prueba

La estimación de la probabilidad de riesgo del tuvo un coeficiente de correlación del 0.9742, con un error promedio absoluto del 4.73% en las pruebas realizadas.

Como se indica en la Tabla 12, el sistema fue capaz de analizar los datos de cada paciente y proporcionar una probabilidad de riesgo o prediagnóstico de padecer la enfermedad. Teniendo de las 10 pruebas, 9 test acertados con la condición del paciente y 1 test no acertado pero indicado la probabilidad de padecer diabetes mellitus tipo 2 debido a la edad y antecedentes familiares del paciente.

**Tabla 12.** Resultados de prediagnóstico de pacientes.

Nº	PACIENTE	EDAD	PROBABILIDAD RIESGO	RANGO	PATOLOGÍA	TEST ACERTADO
1	3	24	39,20%	Riesgo Bajo	NO DIABETICO	SI
2	4	50	64,44%	Riesgo Alto	DIABETICO	SI
3	7	77	61,89%	Riesgo Alto	PRE DIABETICO	SI
4	9	63	76,40%	Riesgo Alto	NO DIABETICO	NO
5	11	24	16,16%	Riesgo Muy Bajo	NO DIABETICO	SI
6	12	50	68,48%	Riesgo Alto	PRE DIABETICA	SI
7	19	42	56,77%	Riesgo Moderado	NO DIABETICO	SI
8	24	50	50,09%	Riesgo Moderado	NO DIABETICO	SI
9	29	24	15,25%	Riesgo Muy Bajo	NO DIABETICO	SI
10	31	21	26,87%	Riesgo Bajo	NO DIABETICO	SI

Para la prueba de funcionamiento de esta red, se le proporcionaron los resultados de circunferencia abdominal y glucosa de las redes neuronales anteriores.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- El sistema experto concebido, pretende actuar como un herramienta o agente coadyuvante para el diagnóstico final de la diabetes mellitus tipo 2. Permitiendo que el paciente tenga conocimiento de su estado de salud y la probabilidad de padecer la enfermedad.
- Mediante la aplicación de redes neuronales en el ámbito de la medicina, se puede realizar estimaciones de parámetros antropométricos o clínicos con son el perímetro abdominal, hasta llegar a realizar un prediagnóstico de la enfermedad.
- El sistema cumple con la norma ISO 15197 para la exactitud de las mediciones de glucosa. Realizando una estimación de esta de manera no invasiva.

## RECOMENDACIONES

- Al realizar las mediciones a los pacientes, se recomienda que todos los participantes estén cumpliendo el protocolo establecido, con el fin que todas las medidas sean bajo las mismas condiciones.
- Se recomienda probar espectro de luz distintos a 950 nm y 660 nm, los cuales se implementaron el sistema realizado.
- Se recomienda realizar la normalización de las entradas para las redes neuronales, con el fin de que puedan escalar entre ellas de manera fácil.

## BIBLIOGRAFIA

- American Diabetes Association. (2019). Standards of Medical Care in Diabetes-2019. Recuperado de <https://care.diabetesjournals.org/>.
- Baradó, S., Ibañez, L.J. y Agüero, M.J. (2013). Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones. Palermo, Argentina: Universidad de Palermo.
- Casar, J.C., Correa, I., Czischke, K., Gaínza, F., Godoy, J., González, F., ... Zagolin, M. (2019). Manual de Fisiopatología Clínica. Santiago de Chile, Chile: Mediterráneo.
- Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. (2020). Diabetes gestacional (22-0133). Recuperado de [https://www.cdc.gov/pregnancy/spanish/documents/Diabetes-and-Pregnancy\\_sp.pdf](https://www.cdc.gov/pregnancy/spanish/documents/Diabetes-and-Pregnancy_sp.pdf).
- Cruz, V. (2015). *Un sistema experto difuso en la web para diagnóstico de diabetes* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- Cruz, R. (2020). Redes Bayesianas aplicadas a la detección de diabetes mellitus tipo 2 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Delgado, D. (diciembre de 2018). Revista UTEPSA Investiga: Sistema experto y uso de lógica proporcional para el diagnóstico preventivo de la diabetes tipo 2 para determinar la potencial existencia de la enfermedad. p. 5-34.
- Fernández, Á. (2015). *Análisis e implementación de un sensor para la detección no invasiva de glucosa* (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Gaibor, N. G. (2017). *Equipo biomédico para prevención y tratamiento del pie diabético* (Tesis de pregrado). Universidad UTE, Quito, Ecuador.
- Gobierno de México Secretaria de Salud. (2014). Tratamiento de la Diabetes Mellitus Tipo 2 en el primer nivel de atención. Recuperado de <http://educads.salud.gob.mx/sitio/vRes/recursos.php>.
- Gobierno de México Secretaria de Salud. (2013). Diagnóstico, metas de control ambulatorio y referencia oportuna de la diabetes mellitus tipo 2 en el primer nivel de atención. Recuperado de <http://educads.salud.gob.mx/sitio/vRes/recursos.php>.
- Gobierno de México Secretaria de Salud. (2015). Intervenciones de enfermería para el control de la diabetes mellitus tipo 2 en la población adulta en el primer nivel de atención. Recuperado de <http://educads.salud.gob.mx/sitio/vRes/recursos.php>.

- Gobierno de México Secretaria de Salud. (2013). Algoritmo de atención clínica de diabetes mellitus. Recuperado de <http://educads.salud.gob.mx/sitio/vRes/recursos.php>.
- Infosalus. (2019). La diabetes no afecta igual a hombres y mujeres. Recuperado de <https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-diabetes-no-afecta-igual-hombres-mujeres-20190923074632.html>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador. (2017). Diabetes, segunda causa de muerte después de las enfermedades isquémicas del corazón. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/diabetes-segunda-causa-de-muerte-despues-de-las-enfermedades-isquemicas-del-corazon/>.
- International Diabetes Federation. (2019). Atlas de la Diabetes de la FID Novena Edición. Recuperado de <https://idf.org/>.
- Maitra, A. (2015). Sistema endocrino. En Kumar, V., Abbas, A.K. Y Aster, J.C. (ELSEVIER), *Robbins y Cotran. Patología estructural y funcional* (pp. 1105-1122), Barcelona, España: ELSEVIER.
- Martínez, N. (2017). Análisis para el desarrollo de un sistema experto para realizar diagnósticos de enfermedades y consultas con pacientes diabéticos de la zona indígena del estado de Oaxaca, México. p. 22-30.
- Méndez, K. (2017). Desarrollo e implementación de un programa de detección temprana de Diabetes Mellitus (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Cuaututlán Izcalli, México.
- Mendoza, M. (2016). *Sistema Experto para el diagnóstico de diabetes basado en conjuntos difusos* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Meza, R., Aguilar, A., Ureña, E., Vázquez, C., Posada, R. y González, M. (2018). Sistema experto difuso para el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *SciELO*, 28(2), doi: 1015174/au.2018.1561.
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2012). Manual de procedimiento de Antropometría y determinación de la presión arterial. Recuperado de <https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH9d40.dir/doc.pdf>.
- Morel, A. (2019). Detección, diagnóstico y tratamiento oportuno de prediabetes y diabetes mellitus tipo 2 en pacientes “millennials” mediante la aplicación de los fundamentos de la medicina familiar (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Informe Mundial sobre la Diabetes (16.3). Recuperado de [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204877/WHO\\_NMH\\_](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204877/WHO_NMH_)



NVI\_16.3\_spa.pdf;jsessionid=4477B049211B933F8DA5BECA2B39C290?sequence=1.

Peñafiel, F. M. (2015). *Equipo biomédico de ayuda a pacientes diabéticos para el monitoreo y control de la enfermedad en base a tecnología tft* (Tesis de pregrado). Universidad UTE, Quito, Ecuador.

Ramón, J. (2012). La diabetes tipo MODY. Fundación para la Diabetes novo nordisk, Recuperado de <https://www.fundaciondiabetes.org/general/articulo/44/la-diabetes-tipo-mody>.

Rodríguez, I. (2016). *Mejora del diseño de un prototipo de sensor no invasivo para la medida de glucosa en sangre* (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

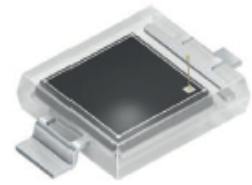
**ANEXOS**

## Anexo 1. Características de componentes electrónicos

### Silicon PIN Photodiode Version 1.5

---

#### BP 104 S



#### Features:

- Suitable for reflow soldering
- Especially suitable for applications from 400 nm to 1100 nm
- Short switching time (typ. 20 ns)
- Suitable for SMT
- The product qualification test plan is based on the guidelines of AEC-Q101-REV-C, Stress Test Qualification for Automotive Grade Discrete Semiconductors.

#### Applications

- Photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits
- IR remote control of hi-fi and TV sets, dimmers, remote controls of various equipment

#### Ordering Information

Type:	Photocurrent $I_P$ [ $\mu$ A] $E_V = 1000 \text{ lx, Std. Light A, } V_R = 5 \text{ V}$	Ordering Code
BP 104 S	55 ( $\geq 40$ )	Q65110A2626

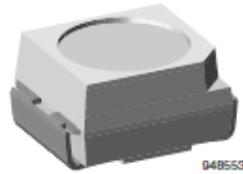
**Maximum Ratings** ( $T_A = 25\text{ °C}$ )

Parameter	Symbol	Values	Unit
Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	-40 ... 100	°C
Reverse voltage	$V_R$	20	V
Total Power dissipation	$P_{tot}$	150	mW
ESD withstand voltage (acc. to ANSI/ ESDA/ JEDEC JS-001 - HBM)	$V_{ESD}$	2000	V

**Characteristics** ( $T_A = 25\text{ °C}$ )

Parameter	Symbol	Values	Unit
Photocurrent ( $E_V = 1000\text{ lx}$ , Std. Light A, $V_R = 5\text{ V}$ )	(typ (min)) $I_P$	55 ( $\geq 40$ )	$\mu\text{A}$
Wavelength of max. sensitivity	(typ) $\lambda_{Smax}$	850	nm
Spectral range of sensitivity	(typ) $\lambda_{10\%}$	(typ) 400 ... 1100	nm
Radiant sensitive area	(typ) A	4.84	$\text{mm}^2$
Dimensions of radiant sensitive area	(typ) L x W	2.2 x 2.2	mm x mm
Half angle	(typ) $\varphi$	$\pm 60$	°
Dark current ( $V_R = 10\text{ V}$ )	(typ (max)) $I_R$	2 ( $\leq 30$ )	nA
Spectral sensitivity of the chip ( $\lambda = 850\text{ nm}$ )	(typ) $S_{\lambda typ}$	0.62	A / W
Quantum yield of the chip ( $\lambda = 850\text{ nm}$ )	(typ) $\eta$	0.90	Electrons / Photon
Open-circuit voltage ( $E_V = 1000\text{ lx}$ , Std. Light A)	(typ (min)) $V_O$	360 ( $\geq 280$ )	mV
Short-circuit current ( $E_V = 1000\text{ lx}$ , Std. Light A)	(typ) $I_{SC}$	50	$\mu\text{A}$
Rise and fall time ( $V_R = 5\text{ V}$ , $R_L = 50\ \Omega$ , $\lambda = 850\text{ nm}$ )	(typ) $t_r, t_f$	0.02	$\mu\text{s}$
Forward voltage ( $I_F = 100\text{ mA}$ , $E_e = 0$ )	(typ) $V_F$	1.3	V
Capacitance ( $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$ )	(typ) $C_0$	48	pF
Temperature coefficient of $V_O$	(typ) $TC_V$	-2.6	mV / K

## Infrared Emitting Diode, 950 nm, GaAs



### DESCRIPTION

VSMS3700 is an infrared, 950 nm emitting diode in GaAs technology, molded in a PLCC-2 package for surface mounting (SMD).

### FEATURES

- Package type: surface mount
- Package form: PLCC-2
- Dimensions (L x W x H in mm): 3.5 x 2.8 x 1.75
- Peak wavelength:  $\lambda_p = 950$  nm
- High reliability
- Angle of half intensity:  $\phi = \pm 60^\circ$
- Low forward voltage
- Suitable for high pulse current operation
- Good spectral matching with Si photodetectors
- Package matched with IR emitter series VEMT3700
- Floor life: 168 h, MSL 3, acc. J-STD-020
- Lead (Pb)-free reflow soldering
- AEC-Q101 qualified
- Material categorization: For definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



### APPLICATIONS

- Infrared source in tactile keyboards
- IR diode in low space applications
- PCB mounted infrared sensors
- Emitter in miniature photo-interrupters

### PRODUCT SUMMARY

COMPONENT	$I_o$ (mW/sr)	$\phi$ (deg)	$\lambda_p$ (nm)	$t_r$ (ns)
VSMS3700	4.5	$\pm 60$	950	800

#### Note

- Test conditions see table "Basic Characteristics"

### ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
VSMS3700-GS08	Tape and reel	MOQ: 7500 pcs, 1500 pcs/reel	PLCC-2
VSMS3700-GS18	Tape and reel	MOQ: 8000 pcs, 8000 pcs/reel	PLCC-2

#### Note

- MOQ: minimum order quantity

<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS</b> ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	100	mA
Peak forward current	$t_p/T = 0.5$ , $t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$	$I_{FM}$	200	mA
Surge forward current	$t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$	$I_{FSM}$	1.5	A
Power dissipation		$P_V$	170	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	-40 to +85	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	-40 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature	Acc. figure 11, J-STD-020	$T_{sd}$	260	$^{\circ}\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	J-STD-051, soldered on PCB	$R_{thJA}$	250	K/W

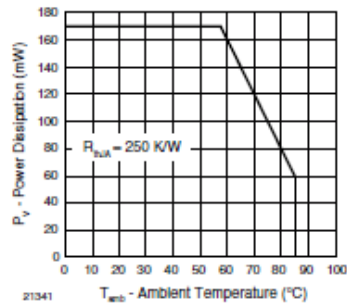


Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

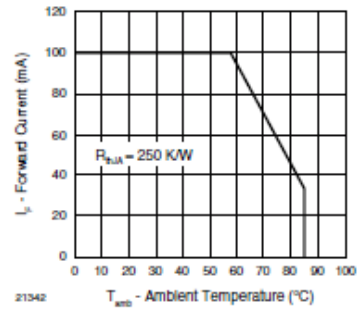
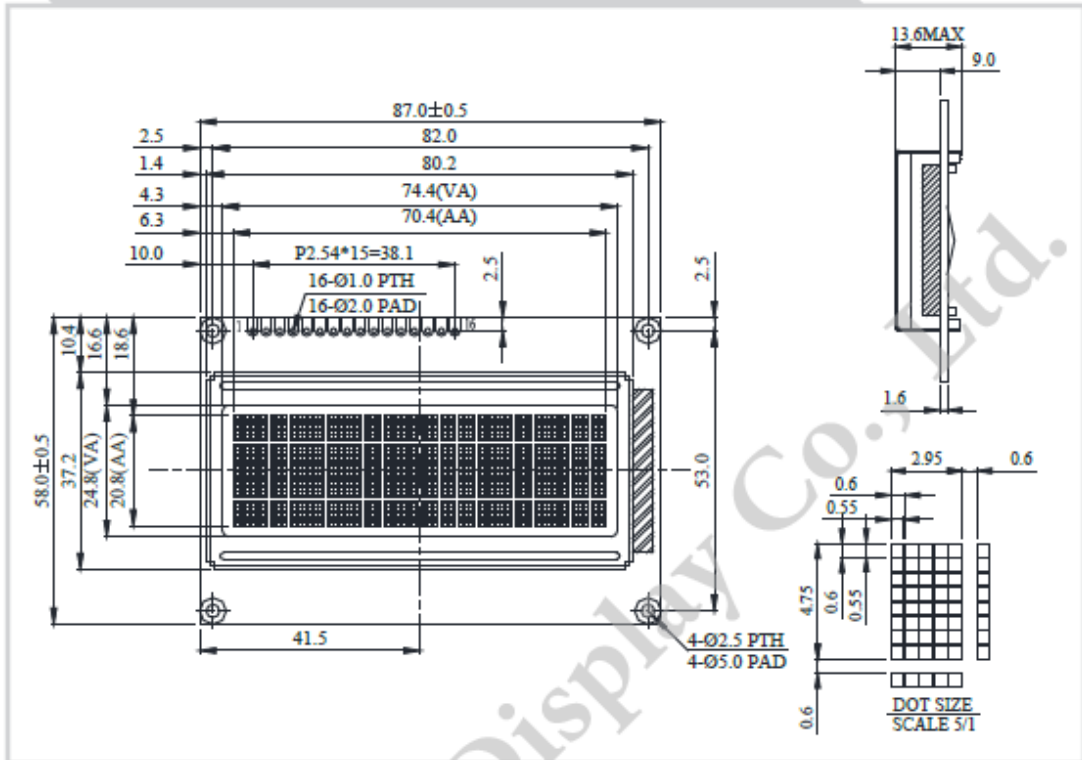


Fig. 2 - Forward Current Limit vs. Ambient Temperature

<b>BASIC CHARACTERISTICS</b> ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$V_F$		1.3	1.7	V
	$I_F = 1\text{ A}$ , $t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$	$V_F$		1.8		V
Temperature coefficient of $V_F$	$I_F = 100\text{ mA}$	$TK_{V_F}$		-1.3		mV/K
Reverse current	$V_R = 5\text{ V}$	$I_R$			100	$\mu\text{A}$
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_j$		30		pF
Radiant intensity	$I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$I_o$	1.6	4.5	8	mW/sr
	$I_F = 1.5\text{ A}$ , $t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$	$I_o$		35		mW/sr
Radiant power	$I_F = 100\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$\phi_o$		15		mW
Temperature coefficient of $\phi_o$	$I_F = 100\text{ mA}$	$TK_{\phi_o}$		-0.8		%/K
Angle of half intensity		$\varphi$		$\pm 60$		deg
Peak wavelength	$I_F = 100\text{ mA}$	$\lambda_p$		950		nm
Spectral bandwidth	$I_F = 100\text{ mA}$	$\Delta\lambda$		50		nm
Temperature coefficient of $\lambda_p$	$I_F = 100\text{ mA}$	$TK_{\lambda_p}$		0.2		nm/K
Rise time	$I_F = 20\text{ mA}$	$t_r$		800		ns
	$I_F = 1\text{ A}$	$t_r$		400		ns
Fall time	$I_F = 20\text{ mA}$	$t_f$		800		ns
	$I_F = 1\text{ A}$	$t_f$		400		ns
Virtual source diameter	EN 60825-1	$d$		0.5		mm

## WH2004G Character 20x4



### Feature

- 1.5x8 dots includes cursor
- Built-in controller (RW1063 or Equivalent)
- +5V power supply (Also available for +3V)
- Negative voltage optional for +3V power supply
- 1/16 duty cycle
- LED can be driven by PIN1, PIN2, PIN15, PIN16 or A and K
- Interface : WH2004G - 6800, WH2004G1 - SPI, WH2004G2 - I2C

Pin No.	Symbol	Description
1	V <sub>SS</sub>	Ground
2	V <sub>DD</sub>	Power supply for logic
3	V <sub>O</sub>	Contrast Adjustment
4	RS	Data/ Instruction select signal
5	R/W	Read/Write select signal
6	E	Enable signal
7	DB0	Data bus line
8	DB1	Data bus line
9	DB2	Data bus line
10	DB3	Data bus line
11	DB4	Data bus line
12	DB5	Data bus line
13	DB6	Data bus line
14	DB7	Data bus line
15	A	Power supply for B/L +
16	K	Power supply for B/L -

### Mechanical Data

Item	Standard Value	Unit
Module Dimension	87.0 x 58.0	mm
Viewing Area	74.4 x 24.8	mm
Mounting Hole	82.0 x 53.0	mm
Character Size	2.95 x 4.75	mm

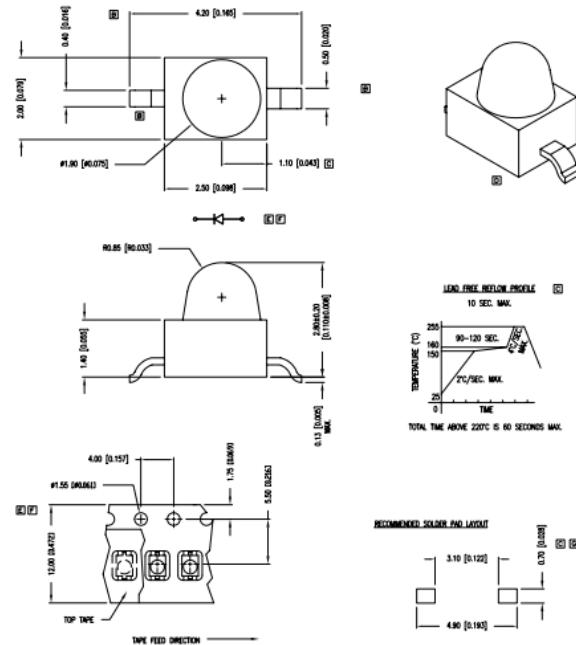
### Electrical Characteristics

Item	Symbol	Standard Value	Unit
		typ.	
Input Voltage	VDD	3/5	V
Recommended LCD Driving Voltage for Normal Temp. Version module @25°C	VDD-VO	4.20	V

### Display Character Address Code

Character located	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
DDRAM address	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
DDRAM address	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

UNCONTROLLED DOCUMENT



PART NUMBER	SSL-LXA228SRC-TR11	REV.	J
DATE	E.C.N. NUMBER AND REVISION COMMENTS		
10.12.95	CHKD LENS LOCATION TO FIT SR STYLE		A
11.07.95	ADDED LEAD WIDTHS, UPDATED LEAD O.A.L.		B
10.21.99	E.C.N. #10550, #10551		C
01.31.01	E.C.N. #10555, #10556		D
06.31.01	E.C.N. #10744		E
09.07.01	E.C.N. #10784		F
07.08.04	E.C.N. #11145		G
09.23.04	E.C.N. #11170		H
11.15.06	E.C.N. #11148		I
10.14.10	E.C.N. #11665		J

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST COND
PEAK WAVELENGTH	660			nm	
FORWARD VOLTAGE	1.7	2.2		V <sub>f</sub>	I <sub>f</sub> =100mA
REVERSE VOLTAGE	5.0			V <sub>r</sub>	I <sub>f</sub> =20mA
RAJG INTENSITY	75	100		mcd	I <sub>f</sub> =20mA
VIEWING ANGLE	25			2θ (half)	
EMITTED COLOR	RED				
EPLOY LENS FINISH	WATER CLEAR LENS				

PARAMETER	MIN	MAX	UNITS
PEAK FORWARD CURRENT*	160		mA
STEADY CURRENT	25		mA
POWER DISSIPATION	60		mW
DERATE FROM 25°C	-1.2		mW/°C
OPERATING TEMP.	-40 to +85		°C
STORAGE TEMP.	-40 to +85		°C

- NOTES:
1. LEAD PITCH PER REEL.
  2. THE CENTER IS ORIENTED TOWARDS THE TAPE SPOCKET HOLE.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED TOLERANCES PER DECIMAL PRECISION ARE: X=±0.1 (±0.025), XX=±0.5 (±0.025), XXX=±0.25 (±0.010), XXXX=±0.127 (±0.005). LEAD SIZE=±0.05 (±0.002), LEAD LENGTH=±0.75 (±0.030), MIN=±0.025 (±0.001), MAX=±0.025 (±0.001).

AXIAL LED, GULL WING LEADS, 660nm SUPER RED, WATER CLEAR LENS, TAPE AND REEL.

\*THE SPECIFICATIONS MAY VARY IN ANY THE ABOVE VARIATION DUE TO NEW MATERIALS OR PRODUCT IMPROVEMENTS\*

© LUMEX CORPORATION

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF LUMEX INC. EXCEPT AS SPECIFICALLY AUTHORIZED IN WRITING BY LUMEX INC. NO PORTION OF THIS DOCUMENT SHALL BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.

DATE: 11.15.06 DRAWN BY: JC  
 PAGE: 1 OF 1 CHKD BY: JD  
 SCALE: N/A APRVD BY: JD  
 UNIT: mm [INCH]



## Anexo 2. Muestra de la base de datos

Autoguardado BASE DE DATOS - Microsoft Excel - Modo seguro

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	CASO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2	PACIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	EDAD	58	62	24	50	57	70	77	55	63	54	24	90	43	51	28	20	37	47	42	21	38	19	21	50	35	23	59	18	24	55
4	GENERO	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	
5	EMBARAZO	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	ACTIVIDAD FISICA	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
7	PATOLOGIA	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	ANTECEDENTES	0	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
9	ALTURA (CM)	152.00	173.00	174.00	153.00	150.00	175.00	153.00	167.00	161.00	174.00	171.00	154.00	165.00	159.00	165.00	172.50	161.00	170.00	177.00	164.00	160.00	159.00	160.00	170.00	176.00	162.50	167.00	158.50	154.50	150.0
10	ALTURA (M)	1.52	1.73	1.74	1.53	1.50	1.75	1.53	1.67	1.61	1.74	1.71	1.54	1.65	1.59	1.65	1.73	1.61	1.70	1.77	1.64	1.58	1.59	1.60	1.70	1.76	1.63	1.67	1.59	1.55	1.50
11	MASA CORPORAL	69.50	82.00	80.00	49.00	49.00	82.50	66.30	90.10	68.60	73.40	60.30	69.30	65.40	75.00	68.70	76.50	63.30	93.30	86.90	47.10	69.60	56.90	50.30	67.30	71.60	53.20	75.00	47.40	59.40	62.50
12	IMC	30.08	27.60	26.42	20.93	21.78	26.94	28.32	32.31	26.47	24.24	20.62	25.22	24.02	29.67	25.23	25.71	24.42	32.28	27.74	17.51	27.88	22.51	19.65	23.29	23.11	20.15	26.89	18.87	24.88	27.71
13	CIRCUNFERENCIA CINTURA	103.00	104.00	94.00	85.50	85.50	102.00	95.00	110.00	90.00	94.00	74.00	95.00	85.00	91.00	89.00	94.00	83.00	105.00	103.00	64.00	83.00	76.00	75.50	83.00	96.00	74.00	89.00	74.00	85.00	96.00
14	ALTURA CINTURA	87.00	103.00	102.00	91.50	92.00	102.00	95.00	101.00	95.00	111.00	110.00	90.00	100.00	97.00	105.00	104.50	97.00	106.00	107.00	101.00	94.00	90.00	100.00	98.00	97.50	96.00	92.00	86.50	91.00	
15	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	30.00	28.00	22.00	20.00	20.50	28.00	27.00	26.00	21.00	23.00	15.00	23.00	20.00	24.00	21.00	25.50	20.00	30.00	27.00	15.00	20.00	18.00	19.40	20.00	20.00	20.00	20.00	18.00	21.00	22.00
16	ANCHO ABDOMINAL	32.00	33.00	32.50	28.50	29.50	36.00	38.00	36.00	37.00	33.00	31.00	32.00	31.00	31.00	31.00	34.00	27.00	38.00	35.00	26.00	32.00	28.00	28.30	29.50	32.50	19.00	32.50	26.50	30.50	35.50
17	DIAMETRO DEDO	23.00	22.00	23.00	19.00	17.00	24.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	18.00	24.00	17.00	16.00	17.50
18	GLUCOSA	86	120	113	127	106	265	127	116	81	111	99	120	111	100	106	92	105	110	117	100	90	96	110	124	103	108	111	97	125	
19	AYUNO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	LED R (mV)	197.56	145.41	183.39	209.96	164.67	167.67	196.83	169.60	168.77	162.08	187.43	151.46	156.76	169.77	173.52	142.22	165.26	188.92	134.10	170.30	150.28	188.66	647.00	599.78	595.33	457.10	526.83	488.16	462.38	440.12
21	LED R (mV)	233.74	240.24	192.68	239.39	484.76	186.51	234.77	188.01	198.51	207.24	221.56	222.59	180.51	205.35	200.71	366.50	191.61	228.89	154.53	217.37	227.15	224.14	647.90	648.22	601.64	613.33	556.63	359.25	665.93	643.13
22																															
23																															
24																															
25																															
26	CASO	1																													
27	PACIENTE	0.40113148	1																												
28	EDAD	-0.07809011	-0.48833	1																											
29	GENERO	-0.21941421	-0.22532	-0.0036	1																										
30	EMBARAZO	0.21223708	-0.20026	0.27368	0.46131	1																									
31	ACTIVIDAD FISICA	0.31810406	-0.29427	0.22093	0.19569	0.6494	1																								
32	PATOLOGIA	-0.21160433	-0.42034	0.13079	-0.07342	0.17115	0.21406	1																							
33	ANTECEDENTES	-0.06148462	0.03976	-0.0301	0.38068	-0.26555	0.26034	0.8424	1																						
34	ALTURA (CM)	-0.14755538	-0.21057	-0.0632	-0.75455	-0.477	-0.18953	0.02098	-0.26045	1																					
35	ALTURA (M)	-0.14755538	-0.21057	-0.0632	-0.75455	-0.477	-0.18953	0.02098	-0.26045	1																					
36	ALTURA (M)	-0.14755538	-0.21057	-0.0632	-0.75455	-0.477	-0.18953	0.02098	-0.26045	1																					
37	MASA CORPORAL	-0.09995511	-0.403	0.42382	-0.31108	0.0368	0.17595	0.01554	-0.11325	0.54528	0.54528	1																			
38	IMC	0.012051157	-0.34557	-0.54794	-0.12209	-0.3399	-0.13409	0.06783	0.																						



### Anexo 3. Layout de circuitos

