



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA MEDICIÓN DE GLUCOSA Y TIPO DE SANGRE CON ALTA

PRECISIÓN EN MOVIMIENTO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21511136 HEGEL ANDRÉS LÓPEZ RODRÍGUEZ

ASESORA: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; JULIO, 2021

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad de los grupos sanguíneos más comunes a nivel mundial se encuentra el O+ con un 36.44% de la población mundial y siendo el menos común el AB- con un 0.45% de la población mundial. Dada a las cifras el grupo sanguíneo más fácil de encontrar para transfusiones es el O+, siendo el AB- el más difícil de encontrar. Por eso es necesario identificar bien los grupos sanguíneos ya que un error podría significar una causa o complicación para el paciente. En 2020 el hospital escuela tuvo una captación de 13,228 donantes de sangre. Dadas estas cifras es necesario de un instrumento de alta precisión y de resultados de manera inmediata para que los médicos cumplan su función. Para la invención de este instrumento se utilizó la metodología en V, ya que es la más adecuada para la realización de prototipos. Teniendo como objetivo la realización de cada una de las partes del prototipo para una final integración, no sin antes, de realizar las pruebas y simulaciones necesarias. Según la normativa NMX-EC-043-1IMNC-2000 - ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios- en los resultados la precisión no debe ser menor al 97%.

Palabras clave: *Instrumento, Metodología, Precisión, Sangre, Transfusiones*

ABSTRACT

Currently, one of the most common blood groups in the world is O + with 36.44% of the world population and the least common being AB- with 0.45% of the world population. Given the figures, the easiest blood group to find for transfusions is O +, being AB- the most difficult to find. That is why it is necessary to identify the blood groups well since an error could mean a cause or complication for the patient. In 2020, the teaching hospital had a recruitment of 13,228 blood donors. Given these figures, an instrument of high precision and immediate results is necessary for doctors to fulfill their role. For the invention of this instrument, the V methodology was used, since it is the most suitable for making prototypes. Aiming at the realization of each of the parts of the prototype for a final integration, but not before carrying out the necessary tests and simulations. According to the regulation NMX-EC-043-1IMNC-2000 -ability tests by interlaboratory comparisons- in the results the precision must not be less than 97%.

Keywords: Blood, Instrument, Methodology, Precision, Transfusions

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.1 Precedentes del problema	7
2.2 Definición del problema.....	10
2.3 Justificación	10
2.4 Preguntas de investigación.....	10
2.5 Objetivos	11
2.5.1 Objetivo General.....	11
2.5.2 Objetivos Específicos.....	11
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO	12
3.1 Sistema ABO	12
3.1.1 Perspectiva histórica y rutina de Pruebas ABO	13
3.1.2 Anticuerpos ABO	14
3.1.3 Herencia de los grupos sanguíneos ABO	15
3.1.3.1 Formación de antígenos de glóbulos rojos A, B y H.....	16
3.1.3.2 Interacción de los genes HH y ABO.....	16
3.1.3.3 Formación de antígenos solubles A, B y H.....	17
3.1.3.4 Comparación de los antígenos A, B y H en los glóbulos rojos con sustancias solubles A, B y H.....	17
3.1.4 Subgrupos ABO.....	18
3.1.4.1 Subgrupos A.....	18
3.1.4.2 Subgrupos débiles A.....	18
3.1.4.3 Subgrupos débiles B.....	19
3.1.5 Los fenotipos de Bombay (Oh).....	19
3.1.6 Antígenos y anticuerpos ABH en la enfermedad	20
3.1.7 Discrepancias ABO.....	21
3.1.7.1 Errores técnicos	21
3.1.7.2 Resolución.....	21

3.2 Detectores de luz	22
3.2.1 Fotodiodos	22
3.2.2 Fototransistor.....	23
3.3 TCS3200.....	24
3.3.1 Descripción.....	25
3.3.2 Diagrama de bloques	26
3.3.3 Función de terminal.....	26
3.4 Diabetes Mellitus	27
3.4.1 Número de diabéticos en el mundo	28
3.4.2 Tipos de diabetes.....	30
3.4.2.1 Diabetes Mellitus tipo 1	31
3.4.2.2 Diabetes Mellitus tipo 2	31
3.4.2.3 Otros tipos de diabetes mellitus	31
3.4.2.4 Diabetes mellitus gestacional	32
3.4.3 ¿Cómo se produce la diabetes mellitus?	32
3.4.4 Carga genética para diabetes	34
3.4.4.1 Diabetes mellitus tipo 1	34
3.4.4.2 Diabetes mellitus tipo 2	35
3.4.5 Síntomas sugerentes de diabetes	36
3.4.5.1 Los pacientes con diabetes mellitus tipo 1	37
3.4.5.2 La diabetes gestacional	38
3.4.6 Exámenes de laboratorio necesarios	38
CAPITULO IV- METODOLOGÍA	40
4.1 Enfoque	40
4.2 Variables de Investigación	40
4.3 Hipótesis	42
4.3.1 Hipótesis de investigación.....	42
4.3.2 Hipótesis nula	42
4.4 Técnicas e Instrumentación	42
4.5 Materiales	43
4.5.1 Microcontrolador Raspberry	43

4.5.1.1 Características	44
4.5.1.2 Pinout	45
4.5.1.3 Aplicaciones	48
4.5.2 Motores reductores	48
4.5.3 Mini Bombas sumergibles	50
4.5.4 Pantalla LCD	51
4.5.5 Sensor TCS3200	52
4.5.7 Interruptores push-button	55
4.6 Metodología de estudio	57
4.6.1 Etapa 1: Nivel de sistemas	57
4.6.2 Etapa 2: Nivel de los subsistemas	59
4.6.2.1 Subsistema de agitación	59
4.6.2.2 Subsistema de succión	59
4.6.2.3 Subsistema estructural	59
4.6.2.4 Subsistema de interfaz gráfica	62
4.6.2.5 Subsistema de medición	62
4.6.2.6 Subsistema de control.....	62
4.6.2.7 Subsistema de procesamiento	63
4.6.3 Etapa 3: Realización de partes.....	63
4.6.3.1 Parte Mecánica	63
4.6.3.2 Parte de control	63
4.6.3.3 Parte Electrónica	64
4.6.4 Etapa 4: Integración de Partes	64
4.6.4.1 Integración de partes mecánicas	64
4.6.4.2 Integración de la parte de control	64
4.6.4.3 Integración de partes electrónicas	64
4.6.5 Etapa 5: Integración de subsistemas	65
4.6.5.1 Subsistema de agitación	65
4.6.5.2 Subsistema de succión	65
4.6.5.3 Subsistema estructural	65
4.6.5.4 Subsistema de interfaz gráfica	66
4.6.5.5 Subsistema de medición	66

4.6.5.6 Subsistema de control.....	66
4.6.5.7 Subsistema de procesamiento	66
4.6.6 Etapa 6: Integración del sistema	66
4.6.6.1 Sistema Mecánico	67
4.6.6.2 Sistema de Control.....	67
4.6.6.3 Sistema Electrónico.....	67
4.7 Presupuesto	67
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	69
5.1 Resultados específicos.....	69
5.2 Resultados generales	73
5.3 Puntos de mejora	75
5.3.1 Bombas	75
5.3.2 Motores	76
5.3.3 Sensores.....	77
5.3.4 Estructura	79
5.3.5 Electrónica.....	82
5.3.4 Planos de piezas de la estructura.....	85
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	91
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	96

Índice de tablas

Tabla 1-Compatibilidad entre los glóbulos rojos	13
Tabla 2- Agrupación directa ABO: Principio, detección de antígenos en los glóbulos rojos	14
Tabla 3-Distribución de pines del sensor.....	26
Tabla 4-Opciones seleccionables	27
Tabla 5- Países con más diabéticos en el mundo	30
Tabla 6- Especificaciones de motor reductor	49
Tabla 7- Especificaciones de bomba sumergible	50
Tabla 8-Especificaciones de Pantalla LCD.....	52
Tabla 9-Especificaciones del LDR.....	54
Tabla 10- Especificaciones del interruptor push-button	56
Tabla 11-Presupuesto de proyecto	68
Tabla 12- Pruebas realizadas con diferentes distancias del sensor.....	78
Tabla 13- Pin-out de componentes electrónicos	84
Tabla 14-Interconexión de placa	85

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 – Evolución de descubrimientos de la glucosa y sangre	9
Ilustración 2- Fotodiodo	23
Ilustración 3-Fototransistor	24
Ilustración 4-Esquema del sensor tcs3200	25
Ilustración 5-Diagrama de bloques	26
Ilustración 6- Prevalencia de la diabetes en el mundo en población con edades entre 20 y 79 años	29
Ilustración 7- Diabetes tipo 2	33
Ilustración 8- Variables de investigación	41
Ilustración 9-Raspberry Pi Zero Pinout	46
Ilustración 10- Motor reductor	50
Ilustración 11- Bomba sumergible	51
Ilustración 12-Pantalla LCD	52
Ilustración 13-Sensores TCS3200	54
Ilustración 14-Sensor LDR	55
Ilustración 15-Metodología en V	57
Ilustración 16-Nivel de sistemas	58
Ilustración 17- Diseño de prototipo en SolidWorks	60
Ilustración 18-Diseño de prototipo en SolidWorks	61
Ilustración 19-Diseño de prototipo en SolidWorks	61
Ilustración 20- Diseño de prototipo en SolidWorks	62
Ilustración 21- Pruebas de Sangre Tipo A	69
Ilustración 22- Pruebas de Sangre Tipo B	70
Ilustración 23- Pruebas de Sangre Tipo AB	71
Ilustración 24- Pruebas de Sangre Tipo O	72
Ilustración 25-Pruebas de en auto en movimiento	73
Ilustración 26- Total de pruebas realizadas	74
Ilustración 27- Total de pruebas de glucosa	75
Ilustración 28- Dibujo de bomba sumergible	76
Ilustración 29-Desplazamiento angular de haz de luz	78
Ilustración 30- Diseño de cuerpo	80
Ilustración 31-Diseño de puerta lateral	80
Ilustración 32- Diseño de depósitos	81
Ilustración 33-Diseño de tapadera	82
Ilustración 34-Diseño de placa de interconexión	83
Ilustración 35-Plano de Puerta Lateral	86
Ilustración 36-Plano de Cuerpo	87
Ilustración 37-Plano de Tapadera	88
Ilustración 38-Plano de Espacio de Bombas	89

Ilustración 39-Plano de Porta-muestra 90

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

ABO – Sistema en el que las sustancias determinan el grupo sanguíneo

ABH – Antígenos productos de la interacción de dos sistemas genéticos Hh y ABO

ADA – Asociación Americana de Diabetes

OMS – Organización Mundial de la Salud

USB – Puerto de seriado universal por sus siglas en ingles

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está basada en la mejora de un prototipo para medición de tipo de sangre y glucosa diseñado por Alejandra López y Andrés Kattan, dicho prototipo de acuerdo a las normativas en relación de su precisión no cumple con los estándares médicos con respecto a la medición ya que expertos sugieren que la precisión de los instrumentos de medición al menos de 97%.

En el presente documento se presentará una línea de investigación que tiene como objetivo mejorar las especificaciones técnicas de desempeño de un instrumento portátil medidor de grupo sanguíneo y nivel de glucosa esto con el fin de cumplir los altos estándares de calidad en el área de salud.

Este trabajo de investigación se realizará para mejorar la precisión del mismo a partir del estudio de los factores más incidentes tales como, estudio de características de los sensores, aspectos constructivos y especificaciones de motores y estabilidad para poder cumplir con el objetivo de alcanzar precisiones como mínimo de un 97%. La importancia de esta investigación se centra en evitar cualquier margen de error podría tener consecuencias con respecto a la salud del paciente. También este prototipo cuenta con la consideración del movimiento, es decir ya que las mediciones se harán en un vehículo en movimiento. Simulando como si el prototipo estuviera en una ambulancia en una situación real de emergencia. Otro factor importante a determinar con la sangre, es el nivel de glucosa que hay en ella, ya que si es una persona diabética requiere de atención especial. La diabetes es una enfermedad la cual padece gran parte de la población, la cual existen diferentes tipos de diabetes. Las personas que tienen esta enfermedad tienden a regular sus comidas comiendo sanamente y tienen que tener un control del nivel de glucosa en la sangre.

El siguiente documento está distribuido con el capítulo II, el planteamiento del problema, en este capítulo se detalla todo respecto al problema de investigación. Luego continua con el capítulo III, el marco teórico, en este capítulo se detalla toda la información investigada con respecto al proyecto. Luego continua el capítulo IV, la metodología, en este capítulo se detalla la metodología utilizada para el proyecto. Continuando con el capítulo V, los resultados y análisis, en este capítulo

se detalla todos los resultados obtenidos en la realización del proyecto. Luego en el capítulo VI, las conclusiones, en este capítulo se enumeran las conclusiones finales del proyecto de investigación. Culminando con el capítulo VII, las recomendaciones, en este capítulo se enumera las recomendaciones que se hacen para ciertas mejoras que se le pueden realizar al proyecto.

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección es donde se centra todo el estudio y se detalla la definición del problema que orienta el desarrollo del proceso de investigación. A continuación, se presenta los precedentes, planteamiento del problema, objetivos y su justificación.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El primer método para medir la glucemia, se creó en 1881 por William Hyde Williston, el cual presentaba la desventaja de obtener los resultados en tiempos muy prolongados hasta de cuatro horas.

Karl Landsteiner logró identificar los cuatro grandes grupos sanguíneos en 1909, los que conocemos hoy en día que son (A, B, AB y O) y también demostró que las transfusiones dentro de esos grupos eran seguras. En 1940 el factor Rh fue descubierto por Landsteiner y Wiener, el cual fue reconocido como agente isoimmunizante en la especie humana por Levine.

El glucómetro tiene su origen en 1965, cuando se comercializaron a los médicos, tiras de papel llamadas Dextrostix, por la compañía Ames. Las cuales se le aplicaba una gota de sangre en la tira y se esperaba un minuto luego se lavaba y se comparaba con una carta de color, el color que dejaba la sangre en la tira. El uso de las tiras era limitado ya que solo indicaba si el nivel de glucosa era muy alto o bajo.

En 1970 se creó el primer glucómetro, el cual fue creado por la compañía Ames y tenía el nombre de "A.R.M", o el reflectómetro Ames. Fue el primero de su clase, pero debido a eso, mostraba varios inconvenientes y defectos. Aparte de que era pesado, grande y costoso, sus baterías recargables utilizaban ácidos con plomo lo cual se podía derramar con facilidad. Este medidor podría reflejarse en el color azul en tiras Dextrostix para dar un rango de medición más amplio.

En 1971 el Dr. Ted Danoswki publicó literatura médica acerca de las ventajas que tenía el monitoreo personal de la glucemia. Los japoneses crearon el Eytone en 1972, para utilizar las tiras Dextrostix para darles un uso más amplio, haciendo este glucómetro más liviano y pequeño. En ese mismo año, la compañía Armes desarrolló el glucochek portátil.

La compañía arnes desarrolló el glucometer II en 1976, solucionando el problema anterior del peso, este lo diseñaron con plástico haciendo que fuera más liviano y compacto. Lo novedoso de este glucómetro es que contaba con memoria lo que le dio la posibilidad de guardar los resultados, haciendo de esta manera que los médicos podrían llevar un control periódico del paciente sin estar en contacto con él.

En 1987 se desarrolló ExactTech, el primer medidor de glucosa en su clase, tenía el tamaño de un bolígrafo y funcionaba con tiras de electrodos de un solo uso.

La Roche desarrolla el accu-chek advantage en 2005. Esta novedosa forma de analizar la glucosa en la sangre permitió un aumento en la precisión y un cambio notable en su morfología. Funciona de tal manera que al introducir la tira reactiva en el glucómetro el medidor mide la glucemia en base a la intensidad eléctrica.

Bayer y su división de Diabetes Care innova desarrollando el primer glucómetro con tecnología de auto codificación en 2007, el Contour TS. Este glucómetro simplifica la configuración y ofrece pruebas simples y precisas, ya que el medidor realiza automáticamente una calibración con cada nueva tira reactiva de prueba.

En 2010 Abbott presentó las etiquetas Freestyle ZipWik, las cuales facilitaban las muestras de sangre y redujeron el gasto en tiras de prueba. En este mismo año se lanzó el primer sistema de monitoreo de pantalla táctil que permitía a las personas registrar los resultados de las pruebas de forma electrónica.

En 2014 Abbott desarrolló un dispositivo para la medición de la glucosa intersticial, el cual era el Freestyle libre. Este no se considera un sistema continuo, ya que la obtención de datos es a demanda pues necesita del lector para realizar la medición y por tanto no presenta alarmas programables de hipoglucemias o hiperglucemias. Presenta ventajas pues no necesita de calibración y aumenta la duración del sensor hasta 14 días. La aplicación del sensor, se realiza en la parte posterior del brazo mediante un aplicador, se inserta un filamento esterilizado fino y flexible justo por debajo de la piel. Se mantiene en su posición con una almohadilla pequeña adhesiva. El lector es un dispositivo con una pantalla y un puerto USB que permite descargar los datos a un ordenador mediante el uso de un software.

En 2021 fue diseñado un prototipo para la medición de glucosa y tipo de sangre, por Alejandra López y Andrés Kattan, el cual en sus resultados experimentales arrojaba una precisión, tan solo del 93%, siendo este un factor a mejorar dado a la importancia de este parámetro en los instrumentos de medición del área de la salud.

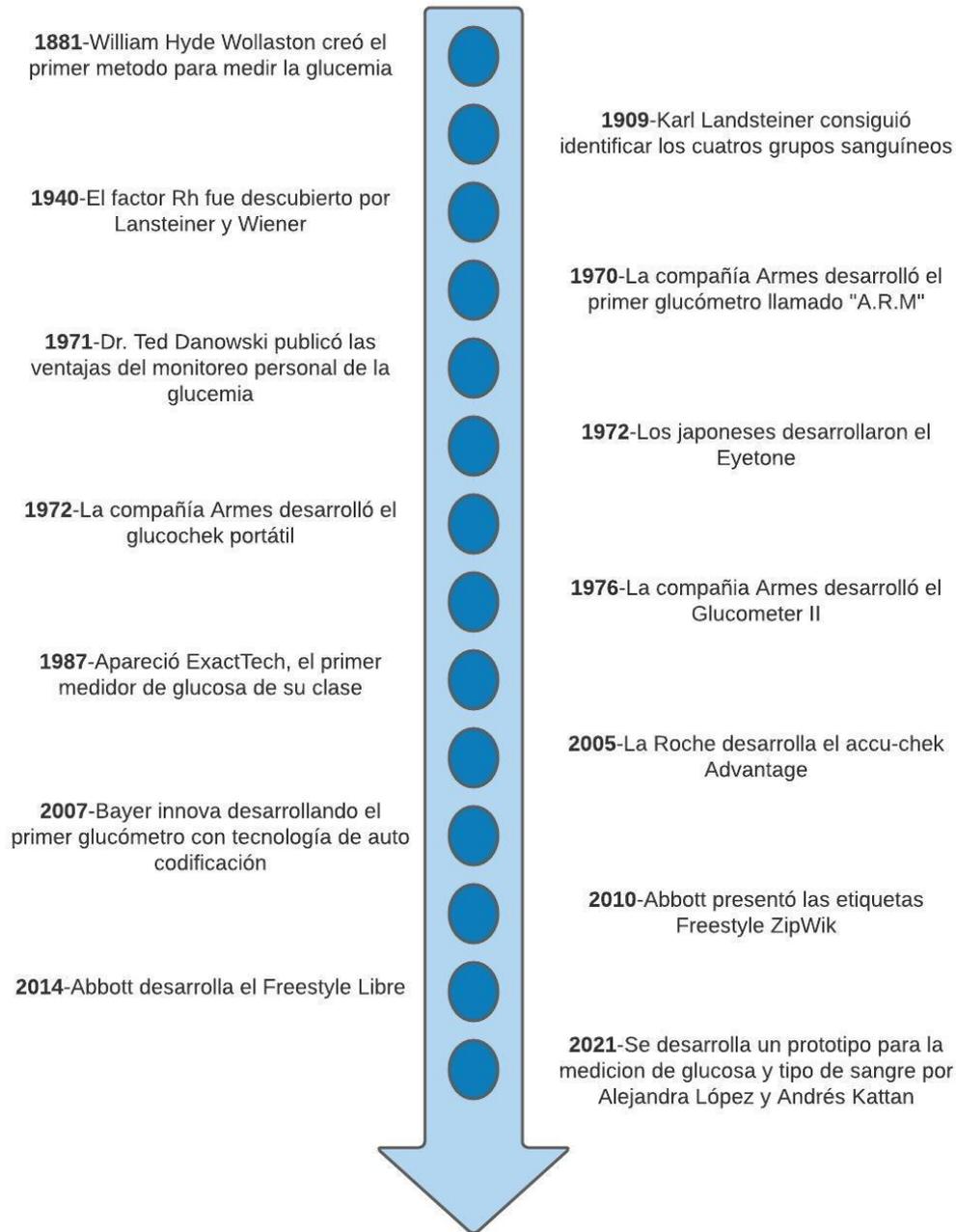


Ilustración 1 – Evolución de descubrimientos de la glucosa y sangre

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a los precedentes expuestos en la primera etapa del desarrollo del prototipo se requiere generar una línea de investigación orientada a determinar los factores que inciden en la baja precisión del dispositivo, y una vez identificados, desarrollar la metodología que nos permita mejorar la precisión de acuerdo a los estándares en este tipo de instrumentación.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Un error en la determinación de los grupos sanguíneos puede generar un accidente fatal, más si la persona es donante o si recibe una transfusión. Una detección a tiempo de un tipo de sangre puede significar el salvar una vida de un paciente ambulatorio. Han llegado a ser tan numerosos los accidentes por error en la determinación de grupos sanguíneos, que incluso se habló en algún momento de una epidemia de cambios de grupos. Así mismo es importante conocer los niveles de glucosa en la sangre para evitar alguna reacción por tener alguna anomalía y tomar las medidas preventivas.

En lo que respecta a la precisión y exactitud son elementos fundamentales en los protocolos de validación de equipos de medición en el área de la salud de tal forma que es necesario de acuerdo a los requerimientos normativos de la NMX-EC-043-11MNC-2000 en los que estipula una precisión no menor del 97%, teniendo en cuenta de la repercusión de errores de falsos positivos en la determinación de los grupos sanguíneos o niveles de glucosa en el área de medicina ya que muchas vidas dependen de la confiabilidad de los resultados que son medidos mediante dispositivos o técnicas, entonces se requiere del aseguramiento de la precisión ya que un pequeño error podría causar complicaciones en intervenciones a pacientes.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los factores más importantes que inciden y afectan la precisión en la medición del grupo sanguíneo?
2. ¿Puede afectar la distancia que se encuentra la muestra del sensor?

3. ¿Cómo afecta en la precisión el ángulo en el que se encuentra la muestra del sensor?
4. ¿La velocidad angular de los motores puede llegar afectar en el momento de recolección de datos?
5. ¿Qué sensores son los que se utilizan en este tipo de medición y como afecta las características de estos en la precisión de la medición?
6. ¿Son los reactivos los que dan ya un nivel de precisión y pueden afectar la medición?

2.5 OBJETIVOS

A continuación, se presentan los objetivos de la investigación, dichos están formados por el objetivo general y los objetivos específicos.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Aumentar la precisión al 97% del prototipo ya diseñado para que cumpla su función de manera efectiva al momento de hacer pruebas de diagnóstico rápido. Teniendo en consideración que las pruebas se realizan en un vehículo en movimiento.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar que componentes electrónicos y electromecánicos se pueden reemplazar para aumentar su precisión
- Rediseñar el prototipo para que funcione de manera efectiva.
- Realizar simulaciones en situaciones reales en las cuales el dispositivo, sería de utilidad
- Realizar un estudio de los factores que son importantes en el circuito del prototipo y que inciden en la precisión de la medición.

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

3.1 SISTEMA ABO

En esta sección se encuentra información sobre los grupos sanguíneos, su historia, la compatibilidad entre los grupos sanguíneos, los errores que pueden generarse en el momento de hacer pruebas, etc.

El primer grupo sanguíneo humano, es decir, el sistema ABO descubierto por Landsteiner, es el sistema sanguíneo más utilizado, aunque hasta ahora se han identificado muchos sistemas sanguíneos. El descubrimiento del sistema ABO y los hallazgos de la aglutinación de glóbulos rojos en suero y el reconocimiento de grupos sanguíneos sentaron las bases científicas para la práctica segura de la transfusión de sangre. Los otros sistemas sanguíneos importantes son el Rhesus (Rh) y el sistema MN. Los sistemas ABO y Rh tienen una importancia clínica importante y están determinados por la naturaleza de las diferentes proteínas presentes en la superficie de los glóbulos rojos.

Los antígenos del sistema ABO son una parte integral de la membrana de los glóbulos rojos y también se encuentran en el plasma y otros fluidos corporales. (*Grispan - GRUPOS SANGUÍNEOS ABO Y Rh.pdf*, s. f.)

Todas las poblaciones humanas comparten los mismos sistemas sanguíneos, aunque difieren en las frecuencias de tipos específicos. Los patrones de distribución de los sistemas ABO y Rh son complejos en todo el mundo. Incluso puede ocurrir alguna variación en diferentes áreas dentro de un país pequeño. La distribución de grupos sanguíneos también muestra variedad según las razas.

Uno de los grupos sanguíneos que es el más compatible con todos los grupos sanguíneos, es el de O- como se puede apreciar en la **Tabla 1**. Y el grupo menos compatible con los demás grupos sanguíneos es el de AB+. Eso se debe a las propiedades que tienen cada uno de los grupos sanguíneos.

Tabla 1-Compatibilidad entre los glóbulos rojos

Sangre completa o solo glóbulos rojos								
	Donante							
Receptor	O-	O+	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+
O-	•							
O+	•	•						
A-	•		•					
A+	•	•	•	•				
B-	•				•			
B+	•	•			•	•		
AB-	•		•		•		•	
AB+	•	•	•	•	•	•	•	•

Fuente:(*American National Red Cross- RBC compatibility table, 2006*)

3.1.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA Y RUTINA DE PRUEBAS ABO

Karl Landsteiner realmente abrió las puertas de los bancos de sangre con su descubrimiento del primer sistema de grupos sanguíneos humanos, ABO. Esto marcó el comienzo del concepto de individuo singularidad definida por los antígenos de glóbulos rojos presentes en la membrana de los glóbulos rojos. En 1901, Landsteiner se extrajo sangre y cinco asociados, separaron las células y el suero, y luego mezcló cada muestra de células con cada suero. Inadvertidamente fue el primer individuo en realizar agrupamiento. La agrupación directa (tipo frontal) se define como el uso de fuentes conocidas de antisueros comerciales (anti-A, anti-B) para detectar antígenos en los glóbulos rojos de un individuo. Se enumera los resultados del procedimiento de agrupación directa, los cuales se muestran la **Tabla 2**.

Tabla 2- Agrupación directa ABO: Principio, detección de antígenos en los glóbulos rojos

Glóbulos rojos del paciente con anti-A	Glóbulos rojos del paciente con anti-B	Interpretación de grupo sanguíneo
0	0	O
4+	0	A
0	4+	B
4+	4+	AB

Fuente:(Denise_Harmening_-_Modern_Blood_Banking__Transfusion_Practices-F._A._Davis_Company_201220191001-118060-1i8b57c-with-cover-page.pdf, s. f.)

La agrupación inversa (tipo posterior) se define como la detección de anticuerpos ABO en el suero del paciente mediante el uso de reactivos conocidos glóbulos rojos, A1 y células B.

Se ha postulado que las bacterias, las partículas de polen y otras sustancias presentes en la naturaleza son químicamente similares a antígenos A y B. Las bacterias están muy extendidas en el medio ambiente, lo que expone constantemente a los individuos a antígenos similares a B. Esta exposición sirve como fuente de estimulación de anti-A y anti-B. Todos los demás sistemas de grupos sanguíneos definidos no tienen regularmente en su suero esperados anticuerpos "naturales" contra los antígenos de los que carecen sus glóbulos rojos. Producción de anticuerpos en la mayoría de los demás grupos sanguíneos requiere la introducción de glóbulos rojos extraños por transfusión o embarazo, aunque algunas personas pueden ocasionalmente tienen presentes anticuerpos que no están relacionados con la introducción de glóbulos rojos extraños. (Estos anticuerpos no están presentes o no se esperan de forma constante en el suero de todas las personas).

3.1.2 ANTICUERPOS ABO

Los individuos normalmente producen anticuerpos dirigidos contra el Antígeno (s) A y / o B ausentes en sus glóbulos rojos. Estos anticuerpos han sido descritos como de origen natural

porque son producido sin ninguna exposición a los glóbulos rojos. Los anticuerpos ABO son predominantemente IgM y activan el complemento y reaccionan a temperatura ambiente o más fría. Anticuerpos ABO producen fuertes reacciones de aglutinación directa durante pruebas ABO. La producción de anticuerpos ABO se inicia en nacimiento, pero los títulos son generalmente demasiado bajos para la detección hasta que el individuo tiene de 3 a 6 meses de edad.

La producción de anticuerpos alcanza su punto máximo cuando un individuo se encuentra entre 5 y 10 años y declina más adelante en la vida.⁶ Personas mayores suelen tener niveles más bajos de anti-A y anti-B; por lo tanto, los anticuerpos pueden ser indetectables en el grupo inverso. Los anticuerpos ABO pueden causar hemólisis intravascular rápida si el grupo ABO se transfunde; esto puede resultar en la muerte del paciente.

3.1.3 HERENCIA DE LOS GRUPOS SANGUÍNEOS ABO

La teoría de la herencia de los grupos sanguíneos ABO fue descrito por primera vez por Bernstein en 1924. Demostró que un individuo hereda un gen ABO de cada padre y que estos dos genes determinan qué antígenos ABO son presente en la membrana de glóbulos rojos.

La herencia de genes ABO, por lo tanto, sigue la genética mendeliana simple ABO, como la mayoría de los otros sistemas de grupos sanguíneos, es codominante en expresión. (*Wiener - 1943 - Genetic Theory of the Rh Blood Types..pdf*, s. f.)

El gen O se considera amorfo, ya que no se produce ningún antígeno detectable en respuesta a la herencia de este gen. Por lo tanto, el fenotipo del grupo O es un rasgo autosómico recesivo con la herencia de dos genes O que no son funcionales.

Las designaciones grupo A y B se refieren a fenotipos, mientras que AA, BO y OO denotan genotipos. En el caso de un individuo, tanto el fenotipo como el genotipo son iguales, porque ese individuo tendría que ser homocigoto para el gen O Un individuo que tiene el fenotipo A (o B) puede tener el genotipo AA o AO (o BB o BO).

3.1.3.1 FORMACIÓN DE ANTÍGENOS DE GLÓBULOS ROJOS A, B Y H

La formación de antígenos ABH resulta de la interacción de genes en tres loci separados (ABO, Hh y Se). Estos genes en realidad no codifican la producción de antígenos, sino más bien producir glicosiltransferasas específicas que agregan azúcares a una sustancia precursora básica. Antígenos A, B y H se forman a partir del mismo material precursor básico (llamado paraglobósido o glicano) a los que se unen los azúcares en respuesta a enzimas transferasas específicas provocadas por un gen.

El antígeno H es en realidad la estructura precursora de qué antígenos A y B están hechos. Herencia del gen H da como resultado la formación del antígeno H. (*Jaime Pérez et al. - 2009 - Hematología La sangre y sus enfermedades..pdf, s. f.*)

El h y los genes Se no forman parte del sistema ABO; sin embargo, su herencia influye en la expresión de los antígenos A y B. El gen H debe heredarse para formar los antígenos ABO en el Los glóbulos rojos y el gen Se deben heredarse para formar el ABO antígenos en las secreciones.

3.1.3.2 INTERACCIÓN DE LOS GENES HH Y ABO

Las personas que pertenecen al grupo sanguíneo O heredan al menos un gen H (genotipo HH o Hh) y dos genes O. El gen H provoca la producción de una enzima llamada α -2-L-fucosiltransferasa, que transfiere el azúcar L-fucosa a una cadena de oligosacáridos en la galactosa terminal de cadenas tipo 2. Los azúcares que ocupan las posiciones terminales de esta cadena precursora y confieren especificidad de grupo sanguíneo son llamados azúcares inmunodominantes.

El gen H está presente en más del 99,99% de los casos población. Su alelo, "h", es bastante raro, y el genotipo hh es extremadamente raro. El término Bombay se ha utilizado para referirse al fenotipo que carece de la expresión normal de los antígenos ABH debido a la herencia del genotipo hh.

3.1.3.3 FORMACIÓN DE ANTÍGENOS SOLUBLES A, B Y H

Los antígenos ABH son partes integrales de las membranas de los glóbulos rojos, células endoteliales, plaquetas, linfocitos y células epiteliales. Los antígenos solubles en ABH también se pueden encontrar en todas las secreciones corporales. Su presencia depende de los genes ABO heredados y en la herencia de otro conjunto de genes llamados Sese (secretores genes) que regulan su formación. La herencia de un gen Se codifica para la producción de una transferasa (α -2-L-fucosiltransferasa) que modifica el precursor de tipo 1 sustancia en las secreciones para formar la sustancia H. Esta sustancia H puede modificarse para expresar la sustancia A y B (si el gen correspondiente está presente) en secreciones como la saliva. Personas quienes heredan el genotipo sese se denominan no secretores.

3.1.3.4 COMPARACIÓN DE LOS ANTÍGENOS A, B Y H EN LOS GLÓBULOS ROJOS CON SUSTANCIAS SOLUBLES A, B Y H

La formación de sustancias solubles A, B y H es la misma como para la formación de antígenos A, B y H en los glóbulos rojos.

En el pasado, las pruebas de secreción de ABH se han utilizado para establecer el verdadero grupo ABO de un individuo cuyos antígenos de glóbulos rojos están poco desarrollados. (*Dzieczkowski J.S., & Tiberghien P, & Anderson K.C. (2018). Biología de la transfusión y tratamiento transfusional. Jameson J, & Fauci A.S., & Kasper D.L., & Hauser S.L., & Longo D.L., & Loscalzo J(Eds.), Harrison. Principios de Medicina Interna, 20e. McGraw-Hill..*)

La demostración de A, B, y H en la saliva es evidencia de la herencia de un gen A, un gen B, un gen H y un gen Se. El término secretor se refiere solo a la secreción de antígenos solubles A, B y H en los fluidos corporales. Ambos antígenos de glóbulos rojos ABH y ABH soluble, las sustancias se forman debido a la unión de una inmunidad azúcar no dominante a una cadena de oligosacáridos.

3.1.4 SUBGRUPOS ABO

Los informes originales de la mayoría de los subgrupos ABO se realizaron antes de la disponibilidad de los reactivos de tipificación monoclonal utilizado actualmente en la agrupación ABO de rutina. Subgrupos ABO representan fenotipos que muestran variables serológicas más débiles reactividad con los reactivos policlonales anti-A, anti-B y anti-A, B humanos comúnmente utilizados.

3.1.4.1 SUBGRUPOS A

En 1911, von Dungern describió dos antígenos A diferentes basado en reacciones entre glóbulos rojos del grupo A y anti-A y anti-A1. Glóbulos rojos del grupo A que reaccionan tanto con anti-A como con anti-A1 están clasificados como A1, mientras que los que reaccionan con anti-A y no anti-A1 están clasificados como A2. Glóbulos rojos de A1 y A2, los individuos reaccionan igualmente fuerte con el reactivo monoclonal anti-A actual en pruebas de escritura directa ABO.

Los subgrupos A son generalmente más comunes que los subgrupos B. La reactividad serológica más débil de los subgrupos ABO se atribuye a la disminución del número de sitios de antígenos A y B en sus glóbulos rojos. Clasificación en A1 y fenotipos A2 representa el 99% de todos los individuos del grupo A. Las celdas de aproximadamente el 80% de todos los individuos del grupo A (o AB) son A1 (o A1B), y el 20% restante son A2 (o A2B) o más débil subgrupos. Las diferencias entre A1 y A2 son ambos cuantitativo y cualitativo.

3.1.4.2 SUBGRUPOS DÉBILES A

Los subgrupos más débiles que A2 ocurren con poca frecuencia y son más a menudo reconocida a través de una discrepancia ABO (inesperadas reacciones en la agrupación directa e inversa). Estos subgrupos de A constituyen el 1% de los encontrados en el laboratorio y, por tanto, son principalmente de interés académico. Las características de los subgrupos A débiles incluyen:

- Disminución del número de sitios de antígeno A por RBC (resultante en aglutinación débil o nula con policlonales humanos anti-A)

- Grados variables de aglutinación por anti-A humana, B
- Mayor variabilidad en la detectabilidad del antígeno H, resultando en reacciones fuertes con anti-H
- Presencia o ausencia de anti-A1 en el suero

Ocasionalmente, los subgrupos débiles de A pueden presentar prácticos problemas; por ejemplo, si un donante de Ax fue mal escrito como un grupo O y se transfundió a un paciente del grupo O. Esto es potencialmente peligroso porque el paciente del grupo O posee anti-A, B, que aglutina y lisa los glóbulos rojos Ax, causando hemólisis intravascular rápida.

3.1.4.3 SUBGRUPOS DÉBILES B

Los subgrupos de B son muy raros y mucho menos frecuentes que subgrupos A. Los subgrupos de B generalmente se reconocen por variaciones en la fuerza de la reacción usando anti-B y anti-A, B. Herencia de subgrupos B, similar a la de la mayoría de un subgrupo, se considera el resultado de alelos alternativos en el locus B. Criterios utilizados para la diferenciación de B débil los fenotipos incluyen las siguientes técnicas serológicas:

- Fuerza y tipo de aglutinación con anti-B, anti-A, B, y anti-H
- Presencia o ausencia de isoaglutininas ABO en el suero
- Estudios de adsorción-elución con anti-B
- Presencia de sustancia B en saliva
- Pruebas moleculares

3.1.5 LOS FENOTIPOS DE BOMBAY (OH)

El fenotipo de Bombay fue informado por primera vez por Bhende en 1952 en Bombay, India. Representa la herencia de una dosis doble del gen h, produciendo el genotipo muy raro S.S. (*Tolerancia, autoinmunidad y trasplante. Punt J, & Stranford S.A., & Jones P.P., & Owen J.A.(Eds.), (2020). KUBY. Inmunología, 8e. McGraw-Hill*)

Como resultado, los genes ABO no se pueden expresar y no se pueden formar antígenos ABH, ya que no hay antígeno H hecho en el fenotipo de Bombay.

Se han informado más de 130 fenotipos de Bombay en varias partes del mundo. Estos glóbulos rojos están desprovistos de antígenos ABH normales y, por lo tanto, no reaccionan con anti-A, anti-B y anti-H. En las pruebas de glóbulos rojos con anti-A y anti-B, el fenotipo Bombay sería un grupo sanguíneo O.

3.1.6 ANTÍGENOS Y ANTICUERPOS ABH EN LA ENFERMEDAD

Las asociaciones entre los antígenos ABH y prácticamente cualquier trastorno conocido por el hombre se pueden encontrar a lo largo de la literatura médica. Aún más profundas son las asociaciones de grupos sanguíneos especificidad con cosas como una "resaca" más pronunciada en los grupos sanguíneos A. También hay varios artículos que correlacionan grupos sanguíneos con rasgos de personalidad. No es de extrañar que muchos científicos se refieran a estas asociaciones como una parte de la mitología del grupo sanguíneo. Sin embargo, más relevante las asociaciones entre grupos sanguíneos y enfermedades son importantes para el banco de sangre en términos de serología de grupos sanguíneos.

Varios estados patológicos parecen alterar los antígenos de los glóbulos rojos y dar lugar a reacciones progresivamente más débiles o pseudoantígenos adquiridos adicionales, que se pueden ver durante el avance agrupamiento.

Puede ocurrir una falta de antígenos ABO detectables en pacientes con carcinoma de estómago o páncreas. Los antígenos celulares rojos del paciente no se han modificado, pero el suero contiene cantidades excesivas de sustancias solubles específicas del grupo sanguíneo (BGSS) que pueden neutralizar los antisueros utilizados en la agrupación directa. Todos estos estados de enfermedad previamente mencionado pueden resultar en discrepancias entre el avance y agrupaciones inversas, lo que indica que los glóbulos rojos del paciente grupo no es lo que parece. Todas las discrepancias ABO deben ser resuelto antes de que se libere sangre para transfusión para ese paciente. En algunos casos, los estudios secretores o moleculares pueden

ayudar a confirmar el verdadero grupo ABO del paciente.

3.1.7 DISCREPANCIAS ABO

Las discrepancias ABO ocurren cuando ocurren reacciones inesperadas en la agrupación de avance y retroceso. Estos pueden deberse a problemas con el suero del paciente (agrupación inversa), problemas con los glóbulos rojos del paciente (agrupación directa), o problemas tanto con el suero como con las células. Lo inesperado la reacción puede deberse a una reacción positiva adicional o una reacción débil o falta de reacción en el grupo de avance y retroceso. Todas las discrepancias ABO deben resolverse antes de informar un paciente o grupo ABO donante.

3.1.7.1 ERRORES TÉCNICOS

Los errores técnicos también pueden causar discrepancias ABO. Esto incluye errores en el etiquetado de la muestra de sangre en el junto a la cama o en el laboratorio; ¡por lo tanto, paciente y muestra la identificación es esencial! Otros errores incluyen la falla para agregar reactivos o la adición de reactivos o muestra incorrectos. Por tanto, se recomienda que el suero y el antisuero agregar primero, luego los glóbulos rojos del paciente o reactivo. También es recomendado que los resultados se registren inmediatamente para evitar errores de transcripción. Además, los reactivos contaminados pueden causar errores en las pruebas. Por lo tanto, mirando todo el reactivo vial al realizar pruebas ABO y durante la calidad las pruebas de control son extremadamente importantes.

3.1.7.2 RESOLUCIÓN

Si la prueba inicial se realizó con glóbulos rojos suspendidos en suero o plasma, repita la prueba de la misma muestra usando una solución salina la suspensión de glóbulos rojos generalmente puede resolver la discrepancia ABO. Es importante asegurarse de que todos y cada uno de los factores técnicos que puedan haber dado lugar a la discrepancia ABO se revisan y corregido. También es fundamental adquirir información con respecto a la edad, el diagnóstico, el historial

de transfusión, los medicamentos y el historial de embarazo de la paciente. Si persiste la discrepancia y parece deberse a un error en la recogida de muestras o identificación, se debe extraer una nueva muestra del paciente y se repitieron las pruebas de glóbulos rojos y suero.

Cuando se encuentra una discrepancia, los resultados deben ser grabado, pero la interpretación del tipo ABO debe retrasarse hasta que se resuelva la discrepancia. Si la sangre es de un potencial receptor de transfusión, puede ser necesario administrar los glóbulos rojos compatibles con el grupo O antes de que se resuelva la discrepancia.

3.2 DETECTORES DE LUZ

Los detectores de radiación electromagnética en el rango espectral de ultravioleta a los infrarrojos lejanos se denominan detectores de luz. Desde el punto de vista de un diseñador de sensores, la absorción de fotones por un material de detección puede resultar en un cuántico o respuesta térmica.

3.2.1 FOTODIODOS

Los fotodiodos son sensores ópticos semiconductores que, si se definen de manera amplia, pueden incluso incluir baterías solares. Sin embargo, aquí solo consideramos el aspecto informativo de estos dispositivos en lugar de la conversión de energía. De forma sencilla, el funcionamiento de un fotodiodo se puede describir de la siguiente manera.



Ilustración 2- Fotodiodo

Fuente: (Corona Ramírez, L. G. Abarca Jiménez, G. S. y Mares Carreño, J. (2016). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/39464>)

Si una unión pn tiene polarización directa (el lado positivo de una batería está conectado al lado p) y se expone a la luz de la frecuencia adecuada, el aumento de corriente será muy pequeño con respecto a una corriente oscura. En otras palabras, la corriente de polarización es mucho mayor que la corriente generada por la luz, y el diodo es solo un diodo, no es realmente útil para detección de luz. Como se puede observar en la **ilustración 2**, el fotodiodo tiene una apariencia física muy similar a los diodos.

3.2.2 FOTOTRANSISTOR

El fotodiodo convierte directamente los fotones en portadores de carga, específicamente un electrón y un agujero (par hueco-electrón) por fotón. Los fototransistores pueden hacer mismo, y además de proporcionar una ganancia de corriente, lo que resulta en una sensibilidad mucho mayor.

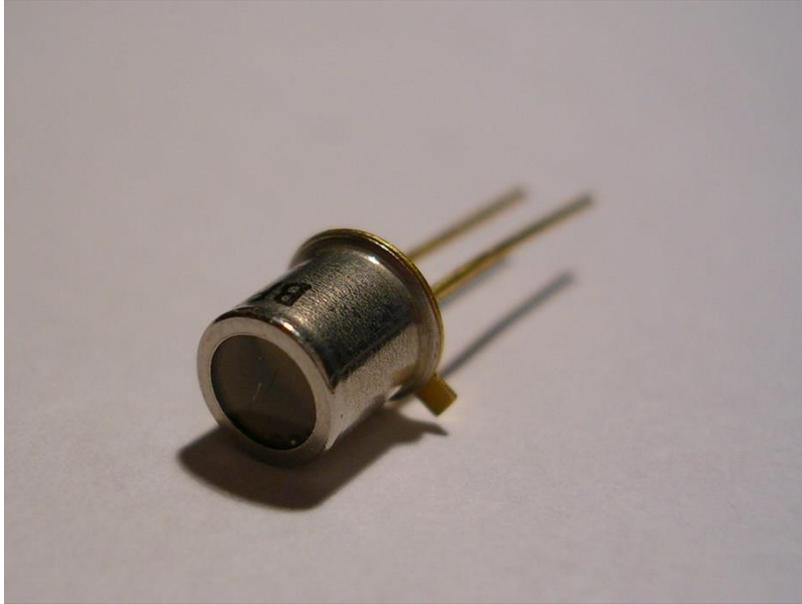


Ilustración 3-Fototransistor

Fuente: (Corona Ramírez, L. G. y Abarca Jiménez, G. S. (2019). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino (2a. ed.)*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/121284>)

Como se puede apreciar en la **ilustración 3**, el fototransistor tiene áreas de base y colector mayor en comparación a un transistor normal. La unión colector-base es un diodo de polarización inversa que funciona como se describe. Si el transistor está conectado a un circuito que contiene una batería, una corriente foto inducida fluye a través del bucle, que incluye la región base-emisor. Esto la corriente es amplificada por el transistor de la misma manera que en una corriente convencional, lo que resulta en un aumento significativo en la corriente del colector.

3.3 TCS3200

En esta sección se describe brevemente en el modelo del sensor utilizado para el proyecto, su funcionamiento, especificaciones técnicas y todas sus características.

3.3.1 DESCRIPCIÓN

El color programable TCS3200 convertidores de luz a frecuencia que combinan fotodiodos de silicio configurables y un convertidor de corriente a frecuencia en un único CMOS monolítico circuito integrado. La salida es una onda cuadrada. (Ciclo de trabajo del 50%) con frecuencia directamente proporcional a la intensidad de la luz (irradiancia).

La frecuencia de salida de escala completa se puede escalar por uno de los tres valores preestablecidos a través de dos pines de entrada de control digital. Las entradas y la salida digital permiten la interfaz directa a un microcontrolador u otro circuito lógico. Habilitación de salida (OE) coloca la salida en el estado de alta impedancia para compartir unidades múltiples de una línea de entrada de microcontrolador.

En el TCS3200, el convertidor de luz a frecuencia lee una matriz de fotodiodos de 8×8 . Dieciséis fotodiodos tienen filtros azules, 16 fotodiodos tienen filtros verdes, 16 fotodiodos tienen filtros rojos y 16 fotodiodos son transparentes, sin filtros.

Los cuatro tipos (colores) de fotodiodos están interdigitados para minimizar el efecto de la falta de uniformidad del incidente irradiancia. Todos los fotodiodos del mismo color están conectados en paralelo. Los pines S2 y S3, como se pueden observar en la **ilustración 4**, se utilizan para seleccionar qué grupo de fotodiodos (rojo, verde, azul, claro) están activos. Los fotodiodos tienen un tamaño de $110 \mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$ y están en centros de $134 \mu\text{m}$.

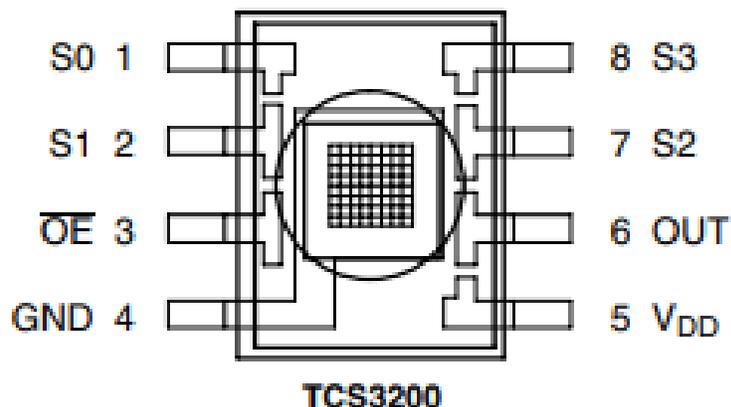


Ilustración 4-Esquema del sensor tcs3200

Fuente: (tcs3200-e11.pdf, s. f.-a)

3.3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

Como se puede observar en la **ilustración 5**, el funcionamiento del sensor es el siguiente. El sensor cuenta con sus LED, estas emiten luz, entonces cuando se pone un objeto el debajo del sensor, este emite una longitud de onda dependiendo el color y entra a la matriz de los fotodiodos. Esto es para identificar qué color es, una vez ya identificado, los fotones que reciben del objeto generan una corriente en la matriz. Después de esto pasa por un circuito integrado el cual su función es convertir la corriente generada en frecuencia, es decir en una onda cuadrada.

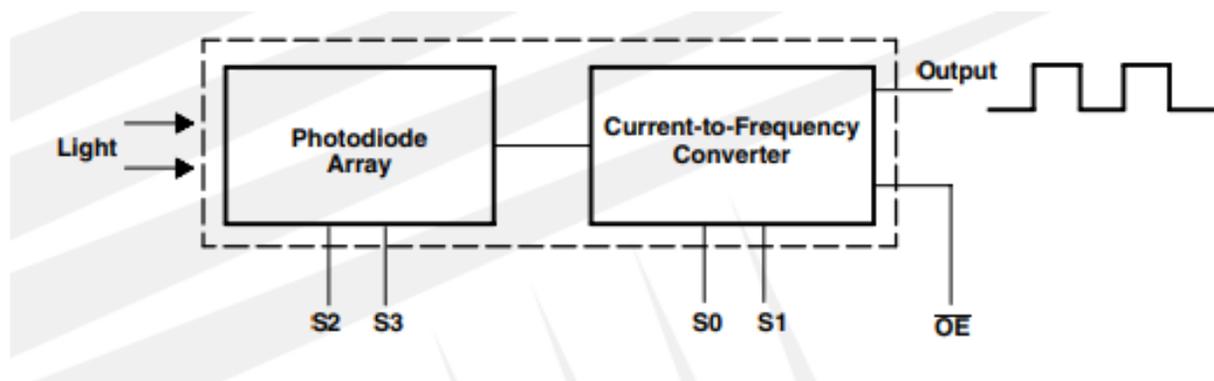


Ilustración 5-Diagrama de bloques

Fuente: (tcs3200-e11.pdf, s. f.-a)

3.3.3 FUNCIÓN DE TERMINAL

Como se puede observar en la **tabla 3**, así están distribuidos los pines del sensor con su respectiva función y descripción.

Tabla 3-Distribución de pines del sensor

Terminal		I/O	Descripción
Nombre	No.		
GND	4		Tierra de la fuente de alimentación. Todos los voltajes están referenciados a GND.
OE	3	I	Habilitar para f0 (activo bajo).
OUT	6	O	Frecuencia de salida (f0)
S0, S1	1,2	I	Entradas de selección de escalado de frecuencia de salida
S2, S3	7,8	I	Entradas de selección de tipo de fotodiodo
VDD	5		Suministro de voltaje

Fuente: (tcs3200-e11.pdf, s. f.-b)

Una ventaja de este sensor es que el usuario puede elegir como quiere que funcione. Observando la **tabla 4**, cuando el pin S0 y S1, están en low (bajo) lógico, la corriente está cortada en su frecuencia de salida. Cuando el pin S0 está en low y el S1 está en high lógico, se encuentra en una escala de frecuencia de salida al 2%. Cuando el pin S0 está en high y el S1 está en low lógico, se encuentra en una escala de frecuencia de salida al 20%. Cuando el pin S0 y S1 están en high lógico, se encuentra en una escala de frecuencia de salida al 100%. Con respecto a los fotodiodos, como anteriormente se mencionó tienen sus filtros. Entonces cuando el pin S2 y S3 están en low lógico esta seleccionado el filtro rojo. Cuando el pin S2 está en low y el S3 está en high lógico esta seleccionado el filtro azul. Cuando el pin S2 está en high y el S3 está en low lógico no está seleccionado ningún filtro. Y cuando el pin S2 y S3 están en high lógico esta seleccionado el filtro verde.

Tabla 4-Opciones seleccionables

S0	S1	ESCALA DE FRECUENCIA DE SALIDA (f0)
L	L	Corriente cortada
L	H	2%
H	L	20%
H	H	100%
S2	S3	Tipo de fotodiodo
L	L	Rojo
L	H	Azul
H	L	Transparente (sin filtro)
H	H	Verde

Fuente: (tcs3200-e11.pdf, s. f.-b)

3.4 DIABETES MELLITUS

¿Qué es la diabetes mellitus? La diabetes mellitus es un conjunto de padecimientos singularizado por la concurrencia de hiperglucemia, aunque también condiciona en el metabolismo ciertas alteraciones de las proteínas y los lípidos. Es decir que el metabolismo intermediario es también afectado. La hiperglucemia se debe a la carencia absoluta o relativa en la acción de la insulina o en la secreción. La diabetes mellitus es un padecimiento generalizado que afecta a diferentes

órganos, sistemas corporales y aparatos. Puede causar una afectación en lo que sería los riñones, el corazón, los ojos, la piel, los nervios, etc. La diabetes mellitus es una enfermedad progresiva y grave.

3.4.1 NÚMERO DE DIABÉTICOS EN EL MUNDO

La diabetes mellitus es una de las enfermedades degenerativas y crónicas que han estado presentes en la historia de la humanidad. Ya los antiguos egipcios describieron síntomas que tenían una similitud y parecían corresponder a la diabetes, fueron los médicos griegos en el siglo II d. C. quienes le asignaron el nombre de diabetes a esta afección, y desde entonces eminentes médicos han descrito factores que predisponen a padecerla, desarrollan nuevos tratamientos y describieron su comportamiento a nivel mundial.

En las últimas décadas el número de diabéticos ha tenido un incremento en el mundo, tanto de diabéticos tipo 2 como de tipo 1; sin embargo, el número de pacientes con diabetes mellitus tipo 2 es mayor (aproximadamente 90% del total son diabéticos tipo 2), y se espera que el número de ellos incremente rápidamente en el futuro como consecuencia de la obesidad y la inactividad física.

La diabetes es una alarmante epidemia que algunas instituciones internacionales de salud consideran fuera de control; está afectando a todo el mundo, ningún país está a salvo de ella. Los últimos números revelan que el número aumentó a 285 millones de personas diabéticas en el mundo, con un promedio de edad entre los 20 y los 60 años, y la mayor proporción de ellos viven en países en desarrollo como se muestra en la **ilustración 6**.



Ilustración 6- Prevalencia de la diabetes en el mundo en población con edades entre 20 y 79 años

Fuente: (Herrera Cornejo, M. A. (2011). *Diabetes mellitus*. Editorial Alfil, S. A. de C. V. .)

La diabetes afecta a 7% de la población mundial adulta con edades entre 40 y 60 años; el país con mayor número de diabéticos en el mundo es la India, con 50.8 millones, seguido por China con 43.2 millones como se puede observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5- Países con más diabéticos en el mundo

País	Diabéticos (millones)
India	50.8
China	43.2
Estados Unidos	26.8
Rusia	9.6
Brasil	7.6
Alemania	7.5
Pakistán	7.1
Japón	7.1
Indonesia	7.0
México	6.8

Fuente: (Herrera Cornejo, M. A. (2011). *Diabetes mellitus*. Editorial Alfil, S. A. de C. V. .)

Aunque la mayor proporción de la diabetes de tipo 2 es entre los adultos, algunos cambios en los estilos de vida han aumentado la incidencia de este tipo de diabetes entre adolescentes y niños, con consecuencias catastróficas.

La diabetes es una de las principales causas de mortalidad mundial y se calcula que el número de muertes por esta causa sería un aproximado de 3.9 millones. El grupo de edad, el cual se ve más afectado se encuentra entre los 20 y 79 años, y se contabilizan el mayor número de estas muertes en el continente americano.

3.4.2 TIPOS DE DIABETES

En la actualidad existen dos clasificaciones principales: la de la OMS y la propuesta por la ADA.

Los diferentes tipos de diabetes se clasifican en cuatro grupos, según la ADA:

- Diabetes mellitus tipo 1
- Diabetes mellitus tipo 2
- Otros tipos de diabetes mellitus
- Diabetes gestacional

3.4.2.1 DIABETES MELLITUS TIPO 1

Anteriormente era llamada diabetes insulino dependiente, generalmente se da en jóvenes o niños.

Se debe a un déficit absoluto de insulina dado por la destrucción de las células beta del páncreas por procesos idiopáticos o autoinmunitarios, los cuales la causa es desconocida. Suelen quedar reservas pancreáticas que permiten una secreción mínima de insulina en los primeros años de la enfermedad y posteriormente existe un déficit absoluto de la secreción de insulina.

Un 40 % de las personas con este tipo de diabetes presentan neuropatía severa e insuficiencia renal antes los 50 años de edad. Algunos pacientes presentan insuficiencia renal incluso antes de que cumplan los 30 años. *(Islas Andrade, S. A. (2013). Diabetes mellitus: actualizaciones. Editorial Alfil, S. A. de C. V.)*

3.4.2.2 DIABETES MELLITUS TIPO 2

Anteriormente este tipo de diabetes era llamado mellitus no insulino dependiente.

Se caracteriza por un déficit relativo de la producción de insulina y un déficit en la utilización periférica de glucosa en los tejidos, este tipo de diabetes se presenta a menudo en adultos.

Algunas personas que padecen de este tipo de diabetes controlan las concentraciones sanguíneas de glucosa planeando las comidas y haciendo ejercicio.

Algunas personas deben consumir tabletas que estimulan la producción de insulina, reducen la resistencia a la misma, reducen también la salida de la glucosa del hígado. Otras personas requieren de inyecciones de insulina.

3.4.2.3 OTROS TIPOS DE DIABETES MELLITUS

Estos se presentan en menos de 5% de los diabéticos. Los cuales son:

- Tipo 3 A.

- Tipo 3B. Resistencia a la insulina determinada genéticamente
- Tipo 3C. Enfermedades del páncreas exocrino.
- Tipo 3D. Es causada por defectos hormonales.
- Tipo 3 E. Es causada por compuestos químicos o fármacos; inducida por drogas o químicos, por hormonas tiroideas, por agonistas betaadrenérgicos, por glucocorticoides y por ácido nicotínico.

3.4.2.4 DIABETES MELLITUS GESTACIONAL

También es llamada diabetes del embarazo y aparece durante la gestación en un porcentaje de 1 al 14% de los pacientes y casi siempre debuta en las semanas 24 a 28 del embarazo. En ciertas ocasiones persiste después del parto y se asocia con un incremento de trastornos en la madre como infecciones vaginales o en vías urinarias, hipertensión arterial, parto prematuro o cesárea y ocasiona daños graves al bebé.

El embarazo constituye un esfuerzo metabólico en el cuerpo de la madre ya que él bebe utiliza sus órganos para obtener energía mediante alimentos, oxígeno y eliminar sus desechos.

Existen grados variables de resistencia a la insulina, trastornos de la secreción de insulina e incremento en la producción de glucosa.

Si las elevaciones de la glucosa se presentan desde los comienzos del embarazo, existen posibilidades de que se presenten malformaciones en el producto, como malformaciones cardiovasculares, renales, del sistema nervioso.

3.4.3 ¿CÓMO SE PRODUCE LA DIABETES MELLITUS?

De manera normal, el aumento en la cantidad de glucosa que entra a la sangre que se produce cuando comemos sirve de señal al páncreas para que comience a secretar insulina.

Cuando la cantidad de glucosa en nuestra sangre es mayor que la necesaria para producir la energía que se necesita de momento, la insulina cumple una función importante. Cuando esto

sucede el hígado componen largas cadenas de glucosa, a las que se conoce como glucógeno, para cuando sea necesario descomponerlas y volverlas a convertir en glucosa.

Otra defiguración es por una producción insuficiente de la insulina, o cuando por alguna razón las células de nuestro cuerpo no pueden utilizarla adecuadamente, como ocurre en los pacientes con diabetes tipo 2. en donde ellos cuentan con una producción insuficiente o bien su función es inadecuada como se muestra en la **ilustración 7**.

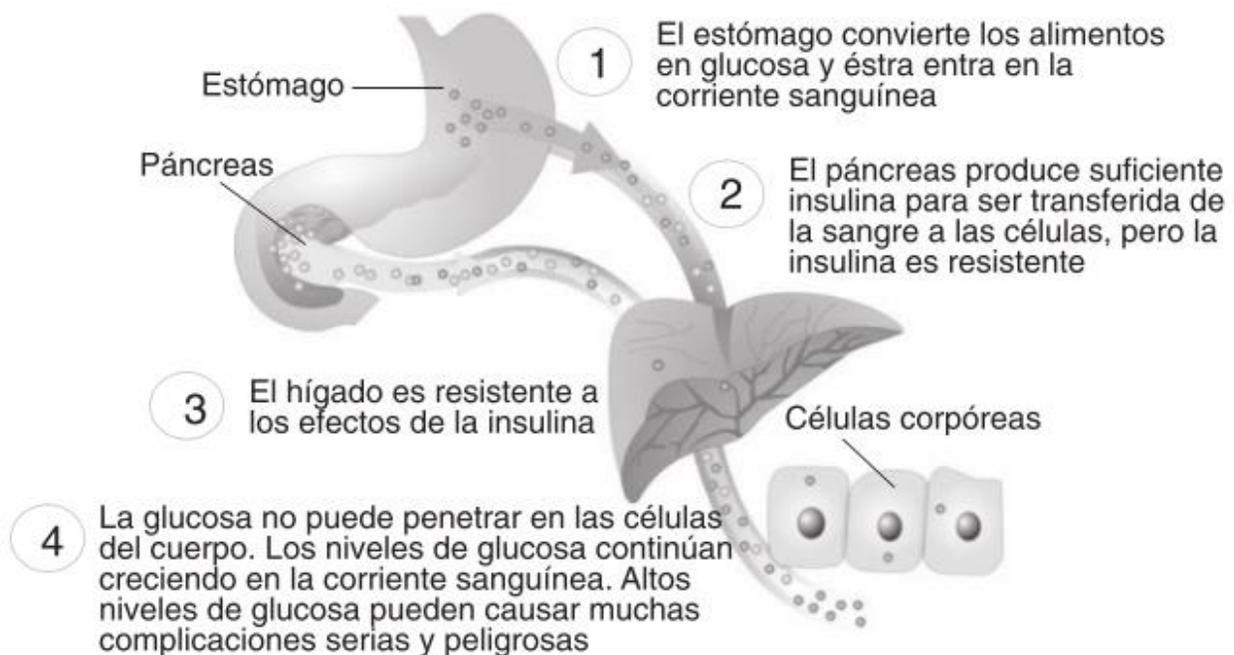


Ilustración 7- Diabetes tipo 2

Fuente: (Herrera Cornejo, M. A. (2011). Diabetes mellitus. Editorial Alfil, S. A. de C. V. .)

A estos mecanismos antes descritos debemos decir que en el paciente diabólico tipo 2 la causa es múltiple y compleja, en donde la obesidad de predominio abdominal juega un papel impórtame para su desarrollo, la grasa almacenada proporciona sustancias que al llegar al hígado son utilizadas para producir más glucosa de la que realmente se requiere, y aparte estas sustancias liberadas desde la grasa abdominal llegan a competir con el buen funcionamiento de la insulina y con estas alteraciones desarrollar diabetes.

Otro aspecto importante para el desarrollo de la enfermedad es una mala alimentación. Que los pacientes consuman grandes cantidades de azúcares simples (jugos, refrescos, licuados, etc.), alimentos ricos en grasa y todo exceso que no esté indicado en un plan de alimentación balanceado contribuirá al desarrollo de la enfermedad. Por todo lo anterior, debe hacerse hincapié en que se lleve a cabo un cambio en el estilo de vida con ejercicio aeróbico para evitar la obesidad, mantener una dieta saludable y acudir con el médico para llevar una vigilancia adecuada y así poder evitar el desarrollo de la enfermedad.

3.4.4 CARGA GENÉTICA PARA DIABETES

La diabetes mellitus es una enfermedad que se caracteriza por elevación de la glucosa (azúcar) en la sangre como consecuencia de una deficiente secreción de insulina (producida por el páncreas) o la inadecuada acción de ésta en el organismo. La diabetes mellitus se desarrolla como resultado de interacciones complejas entre factores genéticos (herencia) y ambientales. En los últimos años se han hecho grandes avances respecto a la genética de la diabetes: incluso se han descritos diferentes tipos de esta enfermedad, siendo la de mayor frecuencia de presentación la diabetes mellitus tipo 2. Veamos Los factores genéticos más destacados de los tipos 1 y 2.

3.4.4.1 DIABETES MELLITUS TIPO 1

Aunque no se ha definido claramente, la diabetes tipo I es una enfermedad que se caracteriza por la destrucción de las células beta del páncreas que producen insulina mediada por mecanismos inmunitarios: el propio organismo destruye las células del páncreas. No se han esclarecido todavía los mecanismos responsables: se cree que existe predisposición genética para desarrollar este tipo de diabetes, pero no se ha podido desarrollar un modelo que explique cómo se hereda esta enfermedad; no obstante, se han identificado regiones específicas de algunos cromosomas vinculadas con el desarrollo de diabetes tipo I: los cromosomas 6 y 11.

Aunque es indudable la participación de la herencia, la frecuencia de la diabetes tipo 1 en familias con esta enfermedad es de 5 a 10%. Se ha planteado que la intervención de factores externos

podría incrementar las posibilidades de desarrollarla. por ejemplo: infecciones virales, la ingesta de ciertos tipos de alimentos a edad temprana, algunas toxinas (como las derivadas de las nitrosaminas, contenidas en el humo del tabaco), entre las más importantes.

3.4.4.2 DIABETES MELLITUS TIPO 2

Muchos adultos diabéticos tipo 2 tienen la enfermedad muchos años antes de que se les diagnostique, de ahí la importancia de la detección oportuna de pacientes con factores de riesgo para padecerla. Esto ha motivado la búsqueda de factores genéticos que pueden influir en el desarrollo de este tipo de diabetes. Desde 1970 se han hecho innumerables estudios para demostrar la participación de la genética en la presentación de esta enfermedad: por ejemplo, estudios en ratones o estudios de seguimiento a diferentes tipos de poblaciones en el mundo, incluyendo personas de ascendencia mexicana. Los hallazgos de estos estudios demuestran el gran impacto hereditario de esta enfermedad, pues en gemelos idénticos la posibilidad de que ambos padezcan diabetes es de 80%: en gemelos no idénticos la probabilidad es menor, aunque mayor a la del resto de la población. En familiares consanguíneos. entré hermanos, si uno de ellos padece la enfermedad. la probabilidad de que el resto de ellos la padezcan es de 50% (el doble de la probabilidad que en el resto de la población) y aumenta a 80% si ambos padres son diabéticos: en una familia de padres diabéticos con cuatro hijos, tres de ellos podrían ser diabéticos. En los últimos años se han identificado algunas regiones de los genes 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8,10, 11, 12 y 16 que se relacionan con el desarrollo de la diabetes mellitus tipo 2. La detección de estas alteraciones genéticas en pacientes con factores de riesgo en algunos estudios incrementa la predicción de la aparición de este problema en el futuro. La diabetes mellitus tipo 2 es un desorden complejo en el que intervienen tanto factores genéticos como del medio ambiente para manifestar la enfermedad; las medidas de prevención incluyen identificar a personas con alto riesgo, como son aquellas con historia familiar de diabetes, sobrepeso, obesidad, alteraciones en la secreción de insulina, edad, grupo étnico (raza), diabetes durante el embarazo, y tal vez. en un futuro no muy lejano, con ayuda de la medicina genómica la detección

de las variantes genéticas que predisponen a la diabetes sea también una medida de prevención para la gran amenaza de salud que representa la diabetes mellitus.

3.4.5 SÍNTOMAS SUGERENTES DE DIABETES

Algunas personas no tendrán ningún síntoma antes de que se les diagnostique la diabetes. Otras personas pueden notar los siguientes síntomas:

- Debilidad y cansancio, por falta de la utilización de la glucosa en las células y por la incapacidad que tiene el organismo para transformar la glucosa en energía
- Sensación de malestar en el estómago y vómitos.
- Aumentó en la frecuencia en orinar, esto debido al efecto osmótico de la glucosa al estar presente en vías urinarias.
- Irritabilidad y cambios de ánimo.
- Sed excesiva, debida a la pérdida de agua a través de la orina, y estímulo en el centro de la sed a causa de la deshidratación.
- Pérdida de peso. La excreción renal de glucosa implica pérdida de calorías. Los pacientes pierden peso, aunque no hayan dejado de comer.
- Infecciones frecuentes, principalmente de vías urinarias.
- Aumento del apetito, por la presencia de déficit de la glucosa en el interior de las células del centro de la saciedad.
- Piel seca.
- Vista nublada, como si vieran una pequeña niebla.
- Las uñas pierden fuerza y pueden empezar a caerse o desprenderse.
- Disfunción eréctil.
- Presencia de halitosis. es decir, mal aliento.
- Cortaduras y rasguños que no se curan, o que se curan lentamente.

Por laboratorio se puede detectar la presencia de glucosa en orina, debido a que la concentración de glucosa en orina excede su umbral renal y la reabsorción de glucosa hacia la sangre es incompleta. La obesidad se encuentra en aproximadamente 55% de los pacientes diagnosticados

con diabetes mellitus tipo 2. En la última década la diabetes tipo 2 ha comenzado a afectar cada vez más niños y adolescentes, en probable relación con el aumento de la prevalencia de la obesidad infantil. La diabetes mellitus tipo 2 puede pasar desapercibida durante años porque los síntomas son normalmente leves, inexistentes o esporádicos. Sin embargo, las graves complicaciones de la diabetes tipo 2 a largo plazo pueden resultar inadvertidas. Incluyendo insuficiencia renal debida a neuropatía diabética, enfermedad vascular (incluyendo enfermedad de las arterias coronarias), daños a la vista, generalmente causados por retinopatía diabética o bien cataratas, pérdida de la sensibilidad al dolor o a la temperatura por neuropatía diabética, el hígado dañado por esteatosis hepática (hígado graso) e insuficiencia cardiaca por miocardiopatía diabética.

3.4.5.1 LOS PACIENTES CON DIABETES MELLITUS TIPO 1

Pueden presentar una etapa preclínica o «sintomática que precede al diagnóstico y varía en el tiempo de duración: durante este periodo existe destrucción progresiva de las células beta del páncreas y hasta que el daño alcanza destrucción de 80% o más cuando aparecen los síntomas; durante este tiempo se puede detectar por laboratorio marcadores de autoinmunidad. También es posible la autoinmunidad contra las células beta y en algunas situaciones, como en infecciones o en la exposición a diversos tóxicos. Estos pacientes por lo general tienen una presentación súbita con manifestaciones clásicas (incremento del apetito, de la sed, del deseo de orinar, pérdida de peso) dos a cuatro semanas antes del diagnóstico. Puede causar pérdida rápida de peso (a pesar de comer normal o en exceso); 30% de los niños y adolescentes tienen una presentación de cetoacidosis con los siguientes signos y síntomas:

- Náuseas o vómitos.
- Respiración profunda y rápida.
- Aliento con olor a fruta.
- Boca y piel secas.
- Cara enrojecida.
- Fatiga mental irreductible.

- Dolor de estómago.
- Deshidratación.

Varias semanas a meses (hasta seis meses) después del inicio clínico de la diabetes los pacientes pueden presentar disminución de los requerimientos de insulina, esto secundario a la actividad de las células beta funcionantes; sin embargo, esto no se presenta en todos los casos.

3.4.5.2 LA DIABETES GESTACIONAL

Ocurre en aproximadamente de 2 a 5% de los embarazos y puede mejorar o desaparecer después del parto. En los últimos seis años la prevalencia de diabetes gestacional se ha duplicado. A pesar de que suele ser transitoria, puede dañar la salud del feto o la de la madre. Los riesgos para el bebé incluyen macrosomía (peso alto al nacer, igual o mayor de 4 kg), cardiopatía congénita, anomalías del sistema nervioso central y malformaciones musculoesqueléticas. El incremento de la insulina puede afectar la producción del factor surfactante fetal y causar síndrome de insuficiencia respiratoria. Puede causar hiperbilirrubinemia secundaria a la destrucción de glóbulos rojos. En casos graves puede ocurrir muerte perinatal, como consecuencia de la mala perfusión placentaria debida a alteración vascular.

3.4.6 EXÁMENES DE LABORATORIO NECESARIOS

Los siguientes exámenes de sangre se utilizan para diagnosticar la diabetes:

- Glucemia aleatoria: tener un resultado de glucosa en sangre mayor de 200 mg/dL en cualquier momento provoca una alta sospecha de diabetes, más aún si se acompaña de síntomas clásicos (sed, micción aumentada, fatiga, alteraciones en el apetito). Para corroborar se puede solicitar una prueba de glucosa en ayunas.
- Glucemia en ayunas: tener un resultado mayor de 126 mg/dL en dos ocasiones hace el diagnóstico de diabetes. Se define como ayuno a no haber ingerido ningún alimento al menos ocho horas antes de la realización de la prueba. Tener un resultado entre 100 y 126

mg/dL clasifica como una alteración de la glucosa de ayunas, la cual se considera como un riesgo alto para desarrollar plenamente diabetes mellitus.

- Curva de tolerancia a la glucosa: se realiza al tener la sospecha de diabetes. sin haber cumplido alguno de los otros criterios, en pacientes con factores de riesgo para tener diabetes, dando a beber 75 g de glucosa diluidas en agua. Se diagnostica diabetes si el nivel de glucosa es mayor de 200 mg/dL luego de dos horas.

Exámenes utilizados para el control de pacientes con diagnóstico de diabetes mellitus:

- Glucosa posprandial: se les solicita a algunos pacientes cuando se realizan ajustes del tratamiento, pero es conveniente solicitarlo a todos los pacientes. Se toma una pequeña muestra de sangre después de 2 horas de que el paciente haya ingerido alimentos.
- Glucosa de ayuno: se le solicita al paciente por cada visita con su médico.
- Albuminuria: se les realiza a todos los pacientes con diabetes mellitus tipo 1 cuando tienen 5 años de diagnóstico y esto se repite una vez al año una determinación de excreción de albumina en orina. En el caso de los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 se les realiza a todos al momento del diagnóstico y se repite una vez al año.
- Perfil lipídico: se les realiza a todos los pacientes adultos al menos una vez al año.
- Depuración de creatinina en orina de 24 horas: se les realiza a todos los pacientes diabéticos que tengan albumina en orina, y a los adultos al menos una vez al año.

CAPITULO IV- METODOLOGÍA

En este capítulo se abordará la metodología implementada para el desarrollo del proyecto, explicando a detalle cada uno de los factores importantes

4.1 ENFOQUE

El presente proyecto tiene un enfoque mixto, aborda aspectos tanto cuantitativos como cualitativos. Desde la perspectiva cuantitativa, uno de sus objetivos es mejorar el nivel de precisión del prototipo ya diseñado tomando en cuenta las variables de investigación independientes que más adelante se explican. Desde el punto de vista cualitativo nos ayudará a realizar ciertos análisis con respecto a la calidad del producto, no perdiendo como fin primordial la optimización de la precisión.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Una vez teniendo en cuenta el enfoque de la investigación, se identifican las variables de investigación. Las variables independientes que nos ayudan a identificar los factores que inciden en la variable dependiente.

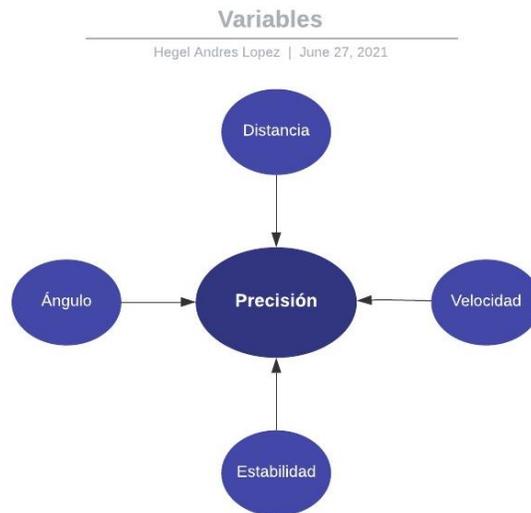


Ilustración 8- Variables de investigación

Fuente: Elaboración propia

Para la investigación se establecieron las variables como se observa en la **ilustración 8**, siendo la variable dependiente la precisión en la medición de grupo sanguíneo y glucosa, ya que es el principal objetivo de esta investigación.

En relación a las variables independientes se han identificado las siguientes:

- La distancia sensor a muestra, tomando en cuenta especificaciones técnicas y cómo este factor puede afectar a los resultados,
- El ángulo de incidencia de sensor a muestra,
- La velocidad angular aplicada a las muestras,
- La estabilidad del prototipo en un escenario ambulatorio para tal fin se realizarán simulaciones para determinar que la precisión del prototipo no sea afectada bajo estas condiciones.

4.3 HIPÓTESIS

Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado. Se derivan de la teoría existente (Williams, 2003)

4.3.1 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La precisión del prototipo se logró incrementar al 97% en todas sus mediciones y pruebas, capaz de cumplir los estándares al nivel de medicina.

4.3.2 HIPÓTESIS NULA

La precisión del prototipo no se logró incrementar al 97% en todas sus mediciones y pruebas, capaz de cumplir los estándares al nivel de medicina.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN

Para realizar el desarrollo del proyecto se necesitó recurrir a la información de fuentes diversas como:

- Artículos publicados en revistas científicas
- Libros electrónicos
- Tesis realizadas de investigaciones

Se empleó de SOLIDWORKS para el desarrollo de la estructura que soportará todos los elementos que requiere el prototipo, tales como depósitos de reactivos, soporte de motores DC, elementos porta muestras y electrónica.

La programación del prototipo fue elaborada con el lenguaje Python, el cual es el lenguaje requerido por microcontrolador Raspberry. Este microcontrolador es el más apropiado ya que permite un procesamiento con mayor potencia de cálculo.

4.5 MATERIALES

Los materiales usados para el desarrollo del proyecto fueron los siguientes:

- Microcontrolador Raspberry
- Motores DC reductores
- Bombas DC
- Pantalla LCD
- Sensores TCS3200
- Sensor LDR
- Interruptores push-button
- Fuentes reguladas DC
- Inversor AC
- Reactivos
- Estructura
- Tarjeta de interconexión

4.5.1 MICROCONTROLADOR RASPBERRY

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, es capaz de ejecutar las ordenadas grabadas en su memoria. Un microcontrolador en su interior incluye tres partes fundamentales y principales que son la unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de salida y entrada.

Raspberry Pi Zero es una mini computadora de placa única, utilizada principalmente para diseñar proyectos de IoT basados en sistemas integrados. El precio económico, el tamaño pequeño y el diseño de código abierto de este módulo lo convierten en una opción adecuada para aplicaciones, es decir. monitoreo del clima, cámara con detección de movimiento, computadoras diminutas del tamaño de una fuente de alimentación y mucho más.

El módulo Pi Zero lleva mini conectores que contienen GPIO de 40 pines, lo que hace que este dispositivo sea compacto, robusto y flexible. Es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito que contiene múltiples pines de I/O y se puede utilizar para diversas operaciones

informáticas típicas, incluidos programas de escritura, navegación por Internet y escritura de documentos.

4.5.1.1 CARACTERÍSTICAS

El módulo Pi Zero contiene las siguientes características.

- CPU de un solo núcleo de 1 GHz
- 512 MB de RAM
- Puerto mini-HDMI
- Puerto Micro-USB On-The-Go
- Alimentación micro-USB
- Cabezal de 40 pines compatible con HAT
- Vídeo compuesto y encabezados de reinicio
- Conector de cámara CSI
- LAN inalámbrica 802.11n
- Bluetooth 4.0

Este pequeño módulo contiene una CPU de un solo núcleo de 1 GHz, que es el cerebro de este módulo. Las operaciones aritméticas, lógicas y de entrada y salida básicas son realizadas por la CPU que ejecuta la instrucción que consiste en un programa de computadora.

La frecuencia de reloj de esta computadora es de 400MHz, que es necesaria para la sincronización de todas las funciones internas. No hay conexión WiFi o Ethernet disponible en la placa.

Este módulo contiene 512 MB de RAM que se utilizan para almacenar programas en ejecución. Es una memoria volátil, lo que significa que los datos almacenados en esta memoria se perderán cuando se desconecte la alimentación del dispositivo.

La placa viene con un puerto Micro USB OTG que permite leer los datos en ausencia de una computadora y la energía Micro USB se usa para encender el módulo.

El puerto mini HDMI está incorporado en la placa que se utiliza para transmitir señales de audio y video entre dispositivos. La placa cuenta con un conector de cámara CSI que se utiliza para conectar la cámara externa con el módulo

En el módulo se incluyen diferentes protocolos de comunicación como SPI, I2C y UART. Con estos protocolos de comunicación, puede desarrollar la comunicación con dispositivos externos.

Este módulo contiene una tarjeta micro SD que ofrece almacenamiento inicial para los diferentes archivos y sistemas operativos. Este almacenamiento se puede ampliar utilizando periféricos conectados por USB. Con una tarjeta SD, aprovecha el almacenamiento mejorado con facilidad.

Raspberry Zero contiene un solo puerto USB 2.0 que está conectado directamente al módulo. Con este puerto USB, puede conectar dispositivos periféricos externos como ratones, teclados y cámaras web para una funcionalidad adicional.

Además, simplemente se conecta este módulo a la computadora usando el puerto USB y se puede utilizar. Esto dará la sensación de que se está operando una microcomputadora con todas las funciones típicas de una computadora de escritorio normal.

4.5.1.2 PINOUT

El modulo Raspberry Zero como se menciona anteriormente contiene 40 pines, como se puede observar en la **ilustración 9**, se encuentra la distribución y asignación de cada uno de los pines.

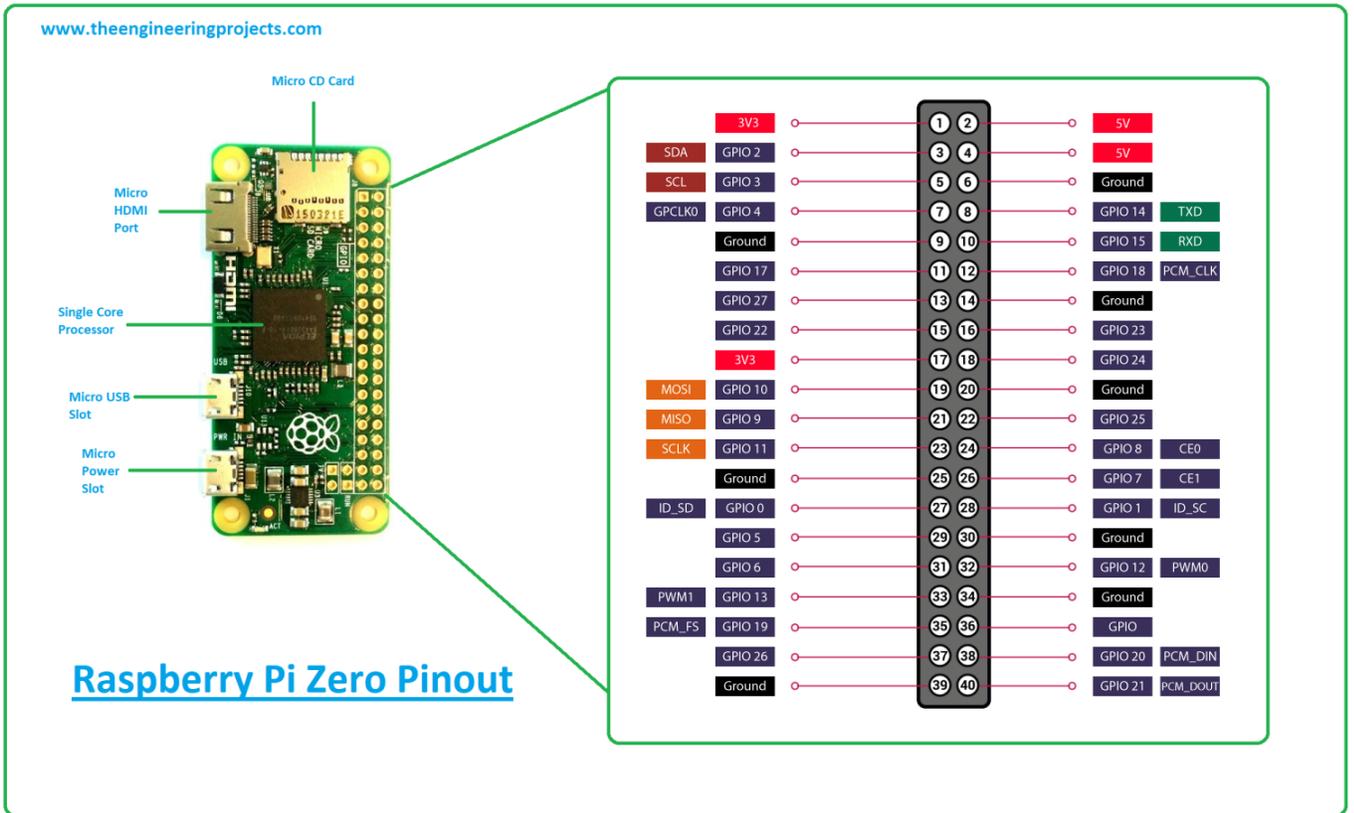


Ilustración 9-Raspberry Pi Zero Pinout

Fuente: (Shaw, 2021)

Pines de alimentación y tierra en RPi0:

Raspberry Pi Zero Pinout tiene 3 niveles de voltaje disponibles, que son:

- 5V
- 3.3V
- 0V (Ground/GND)

Pines GPIO en Raspberry Pi Zero:

Los pines GPIO son pines de entrada / salida de uso general que pueden manejar dispositivos externos.

Estos pines se utilizan para obtener / enviar comandos / datos a / desde dispositivos externos.

Se pueden configurar estos pines para salida de propósito general o pines de entrada de propósito general o como una de hasta seis configuraciones especiales, esas funciones dependen de los pines.

Las etiquetas externas (de GPIO2 a GPIO27) representan la convención de nomenclatura de Broadcom (BCM). Esta convención es útil cuando se programa con bibliotecas de Python.

Las etiquetas internas (de 1 a 40) representan la convención de nomenclatura de la Junta. Esto resulta útil cuando no se admite BCM. Se utiliza con algunas bibliotecas de programación.

Pines SPI en Raspberry Pi Zero:

La placa contiene un protocolo de comunicación SPI. SPI significa una interfaz periférica en serie que admite la comunicación maestro-esclavo. Se utiliza para desarrollar la comunicación entre el controlador y otros dispositivos periféricos como sensores y registros de desplazamiento. Viene con dos pines... MISO (entrada maestra salida esclava) y MOSI (entrada maestra salida esclava) para la comunicación SPI.

La sincronización de datos se lleva a cabo usando un reloj (SCLK en GPIO11) del maestro (RPi) y la información se entrega al componente SPI desde el módulo usando el pin MOSI. Si el componente requiere responder a nuestro módulo, entonces envía datos usando el pin MISO.

Pines I2C en Raspberry Pi Zero:

Este módulo viene con un protocolo de comunicación I2C. Contiene dos pines SDL y SCL. SDL es el pin de datos en serie que transporta los datos, mientras que SCL es la línea de reloj en serie que asegura la sincronización de la transferencia de datos a través del bus I2C. Este protocolo de comunicación necesita roles maestro-esclavo entre las dos partes.

Pines UART en Raspberry Pi Zero:

Hay un protocolo de comunicación serial UART incorporado en la placa. El puerto serie UART viene con dos pines Rx y Tx. El Rx es el pin de recepción que asegura la recepción de datos en serie, mientras que Tx es el pin de transmisión que se utiliza para la transmisión de datos en serie.

4.5.1.3 APLICACIONES

Las siguientes son las aplicaciones Raspberry Pi Zero.

- Utilizado en proyectos de IoT de sistemas integrados.
- Se utiliza para hacer una consola de juegos portátil.
- Sistema de música de red doméstica incorporado.
- Empleado en bloqueador de anuncios de red.
- Utilizado en altavoz Airplay.
- Empleado en hacer pedal de guitarra.
- Utilizado en la fabricación de robots FPV.
- Incorporado en cámara de seguridad WiFi.
- Utilizado en una cámara de lapso de tiempo portátil.

4.5.2 MOTORES REDUCTORES

Los motores reductores son mecanismos que su función es regular la velocidad angular de los motores haciendo que estos funcionen a determinado ritmo. También el reductor del motor es el sistema encargado de ajustar la potencia mecánica de un sistema.

Como se puede observar en la **tabla 6**, se encuentran las especificaciones técnicas del motor utilizado para el proyecto.

Tabla 6- Especificaciones de motor reductor

Motor reductor metálico	
Longitud total	36 mm
Material	Metal
Corriente de trabajo	0.1 A
Corriente de bloqueo	0.8 A
Relación de engranajes	150:1
Par de parada	0.29 kg cm
Velocidad de rotación	300 rpm
Voltaje	12 V
Tamaño del motor	12 mm (diámetro) * 26 mm (altura)
Tamaño del eje	3 mm (diámetro) * 10 mm (longitud)

Fuente: Elaboración propia obtenida de (*CD Tecnología, s. f.-d*)

Como se puede observar en la **ilustración 10**, así es como lucen los motores reductores utilizados para este proyecto.

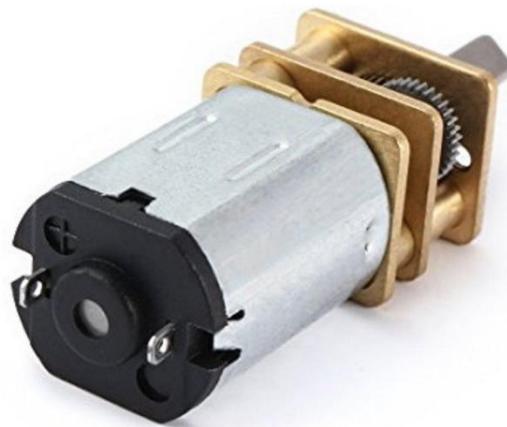


Ilustración 10- Motor reductor

Fuente: (CD Tecnología, s. f.-d)

4.5.3 MINI BOMBAS SUMERGIBLES

Lo que hace diferente a este tipo de bombas de las demás, es que esta va sumergida en el agua o en el líquido que el usuario desea. Estas bombas cuentan con un cuerpo termo-plástico resistente. Como se puede observar en la **tabla 7**, se detallan las especificaciones técnicas de las bombas utilizadas en el proyecto.

Tabla 7- Especificaciones de bomba sumergible

Bomba sumergible	
Material	Plástico
Potencia	3W
Voltaje	3-5V
Elevación	0.3-0.8 in
Flujo	1.2-1.6 L/min
Dimensión (aprox.)	3.3 cm x 2.6 cm x 3.7 cm
Longitud del cable (aprox.)	140 cm
Diámetro de salida (aprox.)	8 mm
Peso (aprox.)	132.5 g / 4.7 oz

Fuente: Elaboración propia obtenida de (CD Tecnología, s. f.-d)

Como se puede observar en la **ilustración 11**, así es como lucen las bombas sumergibles.



Ilustración 11- Bomba sumergible

Fuente: (*Mini bomba de agua sumergible 5V 100L/H JT-DC3W*, s. f.)

4.5.4 PANTALLA LCD

LCD son las siglas en ingles de (Liquid Crystal Display), pantalla de cristal líquido en español, es un tipo de dispositivo que se utiliza para la visualización de diferentes tipos de información o contenidos de manera gráfica, con la utilización de diferentes caracteres, dibujos o símbolos.

Incorpora una interfaz I2C en la misma placa para una sencilla configuración y menor cableado ya que solo utiliza dos pines que son el SDA y SCL.

Permite la visualización de mensajes y caracteres que provengan de cualquier microcontrolador como la PIC, Raspberry Pi, Arduino, etc.

Puede desplegar 16 caracteres en dos filas, generando un total de 32 caracteres alfanuméricos.

Se alimenta con 5V y es compatible con librerías variadas existentes en la web.

Como se puede observar en la **tabla 8**, se encuentran las especificaciones de la pantalla LCD.

Tabla 8-Especificaciones de Pantalla LCD

Pantalla LCD	
Tensión de alimentación	5V DC
Dimensiones	80 mm x 36 mm x 12 mm
Área de visualización	64.5 mm x 16 mm

Fuente: (Pantalla LCD 16X2 con interfaz I2C, s. f.)

Como se puede observar en la **ilustración 12**, así lucen las pantallas LCD.



Ilustración 12-Pantalla LCD

Fuente:(Pantalla LCD 16X2 con interfaz I2C, s. f.)

4.5.5 SENSOR TCS3200

Este módulo utiliza un sensor integrado provisto de 64 fotodiodos. De ellos, 16 fotodiodos tienen un filtro para el color rojo, otros 16 para el color azul, otros 16 para el color verde y otros 16 para luz directa (sin filtro).

Al estar distribuidos uniformemente sobre el chip, estos fotodiodos captan la luz y filtran los colores y generan una salida de señal de onda cuadrada cuyo ancho de pulso indica la información sobre la intensidad del rojo, verde y azul.

Contiene cuatro grupos de detección:

- Rojo
- Verde
- Azul
- Luz blanca (sin filtro, detecta todas las longitudes de onda)

Se puede detectar cualquier color cuantificando la intensidad de cada uno de los componentes RGB que posee la luz recibida

Fotodiodos de cada grupo ubicados de manera intercalada para minimizar el efecto de una irradiación incidente no uniforme

La salida es una onda cuadrada con ciclo de trabajo del 50% cuya frecuencia es directamente proporcional a la intensidad de la luz (irradiación) para el color seleccionado.

Color de detección seleccionable mediante S2 y S3.

Escalamiento de la frecuencia de salida configurable mediante S0 y S1 (apagado, 2%, 20% y 100%).

Como observar en la **ilustración 13**, así lucen los sensores TCS3200.

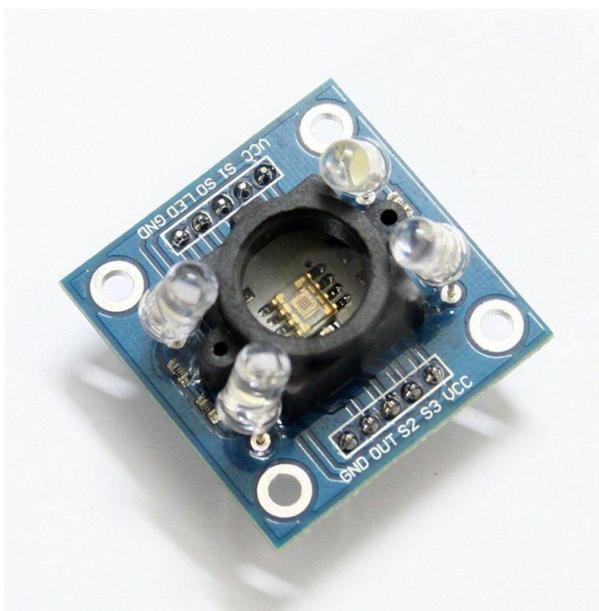


Ilustración 13-Sensores TCS3200

Fuente:(Sensor para reconocer color TCS3200, s. f.)

4.5.6 Sensor LDR

Un LDR es un dispositivo cuya resistencia varia dependiendo con la cantidad de luz que reciba. Este modulo posee 2 salidas, una analógica que se conecta a una entrada analógica y así se utiliza el conversor ADC. La salida digital posee solo 2 estados, activo y apagado, el cambio de estado depende del umbral en el que se fije el potenciómetro del módulo. Se puede utilizar para controlar un relay y así desarrollar una acción dependiente de la intensidad de luz.

Como se puede observar en la **tabla 9**, se describen las especificaciones del sensor.

Tabla 9-Especificaciones del LDR

LDR	
Voltaje de funcionamiento	3.3 V - 5 V
Tamaño de placa PCB	3.2 cm x 1.4 cm
Amp. Op. en modo comparador	LM393

Fuente:(Modulo sensor de Luz LDR, s. f.)

Como se puede observar en la **ilustración 14**, así lucen los sensores LDR.

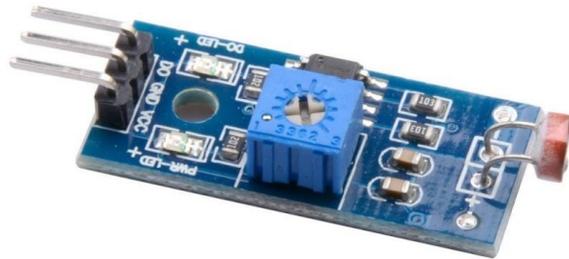


Ilustración 14-Sensor LDR

Fuente:(*Modulo sensor de Luz LDR*, s. f.)

4.5.7 INTERRUPTORES PUSH-BUTTON

Como se puede observar en la **tabla 10**, se encuentran las especificaciones técnicas de los push-button.

Tabla 10- Especificaciones del interruptor push-button

Interruptor push-button	
Resistencia de contacto	$\leq 50 \text{ m}\Omega$
Resistencia de aislamiento	$\geq 1000 \text{ m}\Omega$
Intensidad dieléctrica	2000 VAC
Temperatura de funcionamiento	20° C - 55° C
Vida mecánica	500000 ciclos
Vida eléctrica	50000 ciclos
Espesor del panel	1-10 mm
Clasificación del interruptor	3A / 250 VAC
Par de apriete de la tuerca	5 - 14 Nm
Material del cuerpo	Latón niquelado/acero inoxidable
Material del botón	Latón niquelado/acero inoxidable

Fuente: (*Interruptor Push button con bloqueo ON / OFF (NO) 19mm, s. f.*)

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología en "V" era la mejor opción para este proyecto y por lo tanto se optó a ella, ya que está enfocada en lo que es el desarrollo de dispositivos y en la producción. En el ciclo es donde se realiza el diseño y se hace un análisis, una vez el prototipo sea creado y se haya implementado todos los componentes. Como se puede observar en la **ilustración 11**, se encuentran todas las etapas de esta metodología.

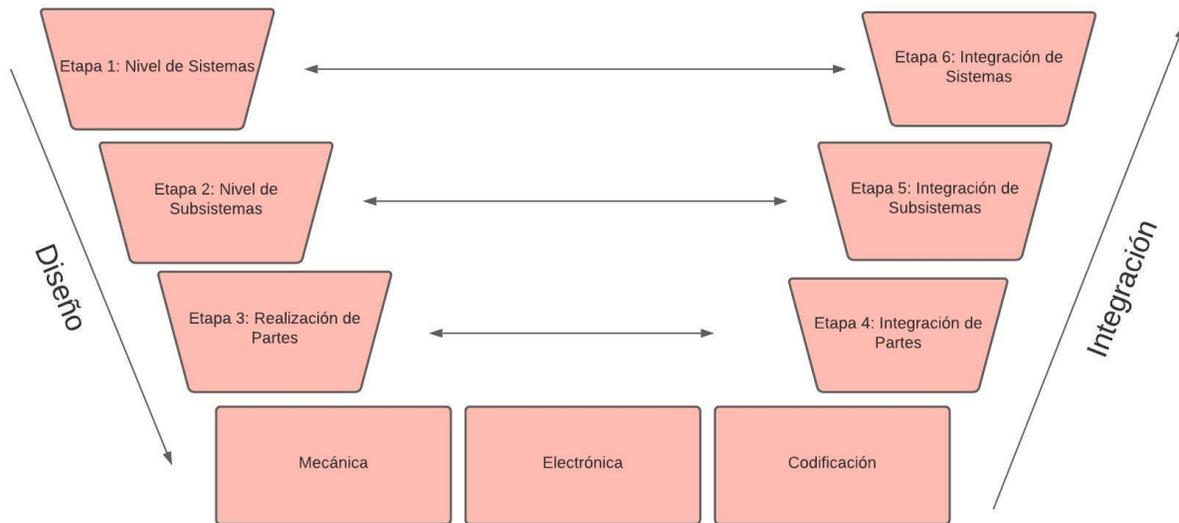


Ilustración 15-Metodología en V

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 ETAPA 1: NIVEL DE SISTEMAS

Para el prototipo se definieron los siguientes sistemas:

- Sistema de control
- Sistema mecánico
- Sistema electrónico

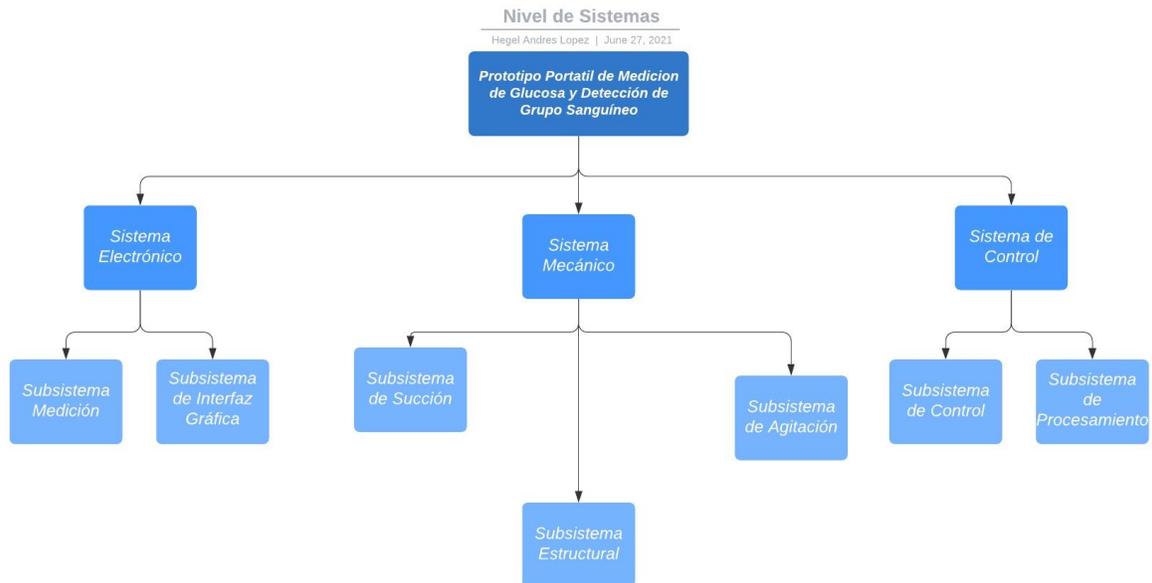


Ilustración 16-Nivel de sistemas

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la **ilustración 16**, se encuentran todos los sistemas y subsistemas de la metodología del proyecto.

El sistema de control cuenta con la parte de la programación la cual está encargada de hacer que el prototipo funcione de manera efectiva y procesar la información que se obtendrá y el microcontrolador es el que está encargado de regular el funcionamiento. Los subsistemas serian el de procesamiento y el subsistema de control.

El sistema mecánico está dividido en 4 subsistemas, los cuales serían el subsistema de succión, el subsistema de agitación, el subsistema estructural y el subsistema de amortiguamiento. En los cuales se desarrolla la estructura y las propiedades de esta.

El sistema electrónico está formado por dos subsistemas, los cuales serían, el subsistema de interfaz gráfica y el subsistema de medición, los cuales tienen como función recopilar toda la información obtenida sobre la muestra y crear una impresión sobre la información.

4.6.2 ETAPA 2: NIVEL DE LOS SUBSISTEMAS

En esta etapa se describe brevemente lo que son los subsistemas y por medio de que componentes están conformados. Los subsistemas a dar a detalle vienen siendo el subsistema de agitación, el subsistema de succión, el subsistema estructural, el subsistema de amortiguamiento, el subsistema de interfaz gráfica, el subsistema de medición, el subsistema de control y el subsistema de procesamiento.

4.6.2.1 SUBSISTEMA DE AGITACIÓN

En este subsistema se utilizan los mini motores DC con reductor, que tienen la función de agitar la muestra hasta que esta sea homogénea. En las revisiones preliminares del prototipo se encontró que los motores utilizados estaban sobredimensionados, la velocidad angular era de 3000 rpm causando derramamientos de la muestra. Se mejoró el diseño después de ensayos con motores DC con reductores de 100rpm y 300 rpm se logró determinar que la velocidad óptima fue 300 rpm ya que garantizaba un mezclado homogéneo de la muestra.

4.6.2.2 SUBSISTEMA DE SUCCIÓN

En este subsistema se utilizan las mini bombas, las cuales tienen sus mangueras y su función es transportar los reactivos. Se incorporó un sistema de ensamble de manera de garantizar la sujeción de la bomba a la estructura.

4.6.2.3 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

En este subsistema es con respecto a la estructura que fue fabricada en impresión 3D, con el material adecuado que fue seleccionado por factores importantes los que se destacan dos, que

es su durabilidad y la resistencia a la humedad. En el diseño se modificaron las dimensiones que permita reducir la distancia sensor-muestra de acuerdo a los requerimientos del sensor TCS230, Los depósitos de reactivos se fabricaron de tal forma que puedan ser removidos de la estructura principal para fines de mantenimiento y limpieza, a fin de garantizar la calidad de los reactivos a emplear. Los elementos porta-muestras se fabricaron de color blanco para mejorar la recepción de color. Se diseñó los recipientes con las dimensiones apropiadas que garantizaran la estabilidad de la muestra en condiciones de medición ambulatoria.

En **la ilustración 13 y 14**, se puede observar el diseño del prototipo anterior y en la ilustración 13 y 14, se puede observar el nuevo diseño tomando en cuenta las consideraciones ya antes mencionadas.

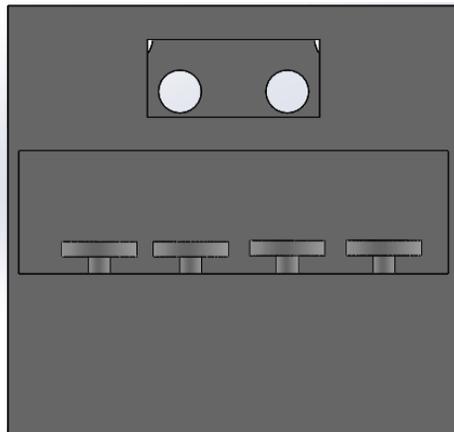


Ilustración 17- Diseño de prototipo en SolidWorks

Fuente: Elaboración de Alejandra López y Andrés Kattan

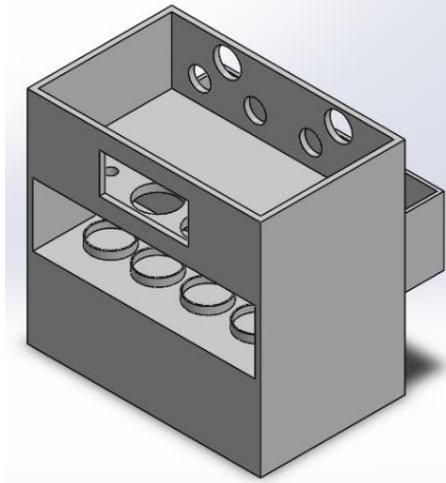


Ilustración 18-Diseño de prototipo en SolidWorks

Fuente: Elaboración de Alejandra López y Andrés Kattan

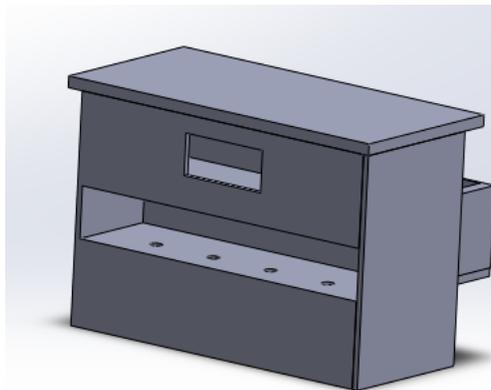


Ilustración 19-Diseño de prototipo en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

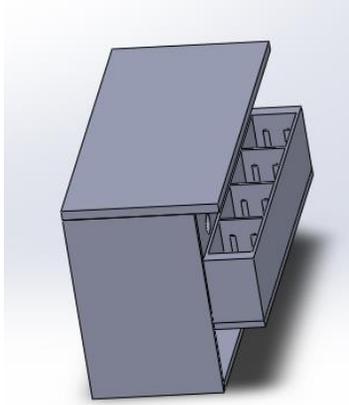


Ilustración 20- Diseño de prototipo en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

4.6.2.4 SUBSISTEMA DE INTERFAZ GRÁFICA

En este subsistema es con respecto a la impresión de los datos obtenidos de las muestras, los cuales son mediante una pantalla LCD.

4.6.2.5 SUBSISTEMA DE MEDICIÓN

En este subsistema se encuentran los sensores que tienen el papel más importante del prototipo, el cual es recolectar los datos sobre las muestras, eso siempre y cuando el sistema mecánico haya finalizado su función.

4.6.2.6 SUBSISTEMA DE CONTROL

En este subsistema se encuentra el microcontrolador Raspberry, este es el componente más esencial del prototipo ya que mediante de este, recopila toda la información por el sistema de medición y la transmite al subsistema de interfaz gráfica. Se diseñó una tarjeta de interconexión de señales entre Raspberry, sensores y LCD, con la finalidad de garantizar la conectividad sobre

todo en las condiciones de medición ambulatoria. Se incorporó mandos manuales para bombas y motores a través de push-buttons.

4.6.2.7 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO

En este subsistema, tiene la principal función de interpretar la información recopilada para obtener el resultado final.

4.6.3 ETAPA 3: REALIZACIÓN DE PARTES

En esta sección se describirá de manera breve la realización de las partes del prototipo. Tales cuales se desarrollan en tres categorías, la parte mecánica, la parte de control y la parte electrónica.

4.6.3.1 PARTE MECÁNICA

Se elaboro el diseño del prototipo con las medidas y distribución necesaria de los componentes que generan la mayor comodidad y que tenga su mejor rendimiento.

Para obtener los valores de la velocidad de agitación y succión, se realizaron las pruebas necesarias con los motores y las bombas, los cuales se deben configurar de manera correcta para que logre su funcionamiento de manera correcta.

4.6.3.2 PARTE DE CONTROL

Para obtener la respuesta y los valores del microcontrolador, se realizaron las pruebas necesarias con las variables, tales como, distancia de sensor a la muestra, posición angular del sensor a la muestra, la velocidad angular del agitador y la estabilidad de muestra en medición ambulatoria.

4.6.3.3 PARTE ELECTRÓNICA

Se realizaron pruebas con los sensores para comprobar que cumplen con su funcionamiento de manera correcta, el cual es recopilar los datos obtenidos de las muestras y al mismo tiempo obtienen los valores de referencia para elaborar el código en su programación.

4.6.4 ETAPA 4: INTEGRACIÓN DE PARTES

En esta etapa se detalla brevemente la integración de ciertas partes al prototipo, los cuales son, la integración de partes mecánicas, la integración de la parte de control y la integración de partes electrónicas.

4.6.4.1 INTEGRACIÓN DE PARTES MECÁNICAS

En esta sección es donde se realizó el ensamblaje de las partes que fueron creadas mediante SolidWorks de la estructura, para verificar que todas las piezas encajan de manera correcta y sin errores.

4.6.4.2 INTEGRACIÓN DE LA PARTE DE CONTROL

En esta sección es donde se integró la parte de la programación en Python para verificar que el funcionamiento del microcontrolador y la habilidad que este tiene de interpretar, transmitir información y recopilación de datos.

4.6.4.3 INTEGRACIÓN DE PARTES ELECTRÓNICAS

En esta sección es donde se integraron todos los componentes electrónicos que son los sensores, el microcontrolador, motores, bombas y los cables, para verificar que tienen un funcionamiento

correcto. De la misma manera se verifico que la comunicación de los subsistemas de interfaz gráfica y el subsistema de medición era correcta.

4.6.5 ETAPA 5: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS

En esta sección es donde se realizó la integración de los subsistemas al prototipo y se detalla de manera breve cada uno de estos.

4.6.5.1 SUBSISTEMA DE AGITACIÓN

Se realizó una integración de los soportes de agitación a los motores, los cuales encajaron de manera correcta a los soportes de la estructura. Se verificó que el sistema funcionaba de manera correcta y no presentaba derramamiento de muestra y la misma se integraba de forma homogénea.

4.6.5.2 SUBSISTEMA DE SUCCIÓN

Se realizó una integración de las bombas a los soportes de la estructura, sus respectivas mangueras y los recipientes en los que se encuentran los reactivos y se verificó que el sistema operaba de la mejor manera y no ocurrían errores o fugas.

4.6.5.3 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Se comprobó que todas las partes se acoplaban de manera correcta y sencilla. También se comprobó que los orificios que estaban distribuidos en la estructura fueran del tamaño correcto para que se acoplaran la pantalla LCD y los sensores de manera correcta.

4.6.5.4 SUBSISTEMA DE INTERFAZ GRÁFICA

Se integro la pantalla LCD con el módulo I2C, la pantalla funciona de manera correcta e imprime los resultados como se desea.

4.6.5.5 SUBSISTEMA DE MEDICIÓN

Se ensamblaron todos los sensores y se llevaron a cabo las conexiones de estos, se verificó que operaban de la manera adecuada y no ocurrían errores en las lecturas.

4.6.5.6 SUBSISTEMA DE CONTROL

Se soldaron los pines al microcontrolador Raspberry para poder llevar a cabo las conexiones con los demás subsistemas, se desarrollaron pruebas para garantizar la correcta operación de estos.

4.6.5.7 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO

Se incorporaron todos los bloques del código de programación, correspondientes a cada uno de los subsistemas y se verificó el código completo compilara sin problemas y no tuviera fallas que fueran a alterar los resultados.

4.6.6 ETAPA 6: INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

En esta sección es donde se realizó la integración de los sistemas del proyecto, tales como el sistema mecánico, de control y electrónico.

4.6.6.1 SISTEMA MECÁNICO

Se incorporaron todos los subsistemas del sistema mecánico, se integraron los motores con los soportes y las bombas con las mangueras a la estructura, y se comprobó que todo funcionara de manera correcta.

4.6.6.2 SISTEMA DE CONTROL

Se hizo la unión del código de la programación y el microcontrolador, es decir los subsistemas de control y de procesamiento, comprobando la funcionalidad de los subsistemas ya integrados y que la obtención y transmisión de datos fuera la deseada.

4.6.6.3 SISTEMA ELECTRÓNICO

Se incorporaron los subsistemas de medición e interfaz gráfica, se verificó que la funcionalidad de los subsistemas electrónicos incorporados, que su comunicación entre los sensores y la pantalla LCD fuera la correcta.

4.7 Presupuesto

En esta sección se expone el presupuesto para poder fabricar el prototipo. Teniendo como un presupuesto final de fabricación de 16,345 lps. Como se puede observar en la tabla 9, detallando el precio de cada componente o material utilizado para la realización de este proyecto.

Tabla 11-Presupuesto de proyecto

Producto	Costo por unidad	Cantidad	Costo
Impresión de piezas	L 1,700.00	4	L 6,800.00
Motores	L 250.00	4	L 1,000.00
Bombas	L 170.00	4	L 680.00
Raspberry	L 1,100.00	1	L 1,100.00
Fuente para Raspberry	L 410.00	1	L 410.00
Inversor	L 900.00	1	L 900.00
Pantalla lcd	L 250.00	1	L 250.00
Sensores tcs3200	L 275.00	3	L 825.00
Sensores ldr	L 200.00	1	L 200.00
Placa de interconexión	L 500.00	1	L 500.00
Reactivos de antígenos	L 400.00	3	L 1,200.00
Reactivo de glucosa	L 500.00	2	L 1,000.00
Mangueras	L 30.00	2	L 60.00
Conjunto de cables	L 150.00	3	L 450.00
Conjunto de pines macho-macho	L 90.00	3	L 270.00
Fuente reguladora de voltaje	L 350.00	2	L 700.00
Costo total			L 16,345.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por cada prueba realizada de todas las muestras de sangre obtenidas con el prototipo portátil detector de grupos sanguíneos y glucosa en la sangre. También se incluye los resultados obtenidos del proceso de validación del prototipo.

5.1 RESULTADOS ESPECÍFICOS

En esta sección se presentan los resultados específicos y típicos obtenidos por cada uno de los grupos sanguíneos y la glucosa con las pruebas desarrolladas en el prototipo. Se desarrollaron análisis individuales de cada grupo sanguíneo para conocer la precisión que tiene el prototipo. A continuación, se ilustra los resultados obtenidos mediante gráficos.

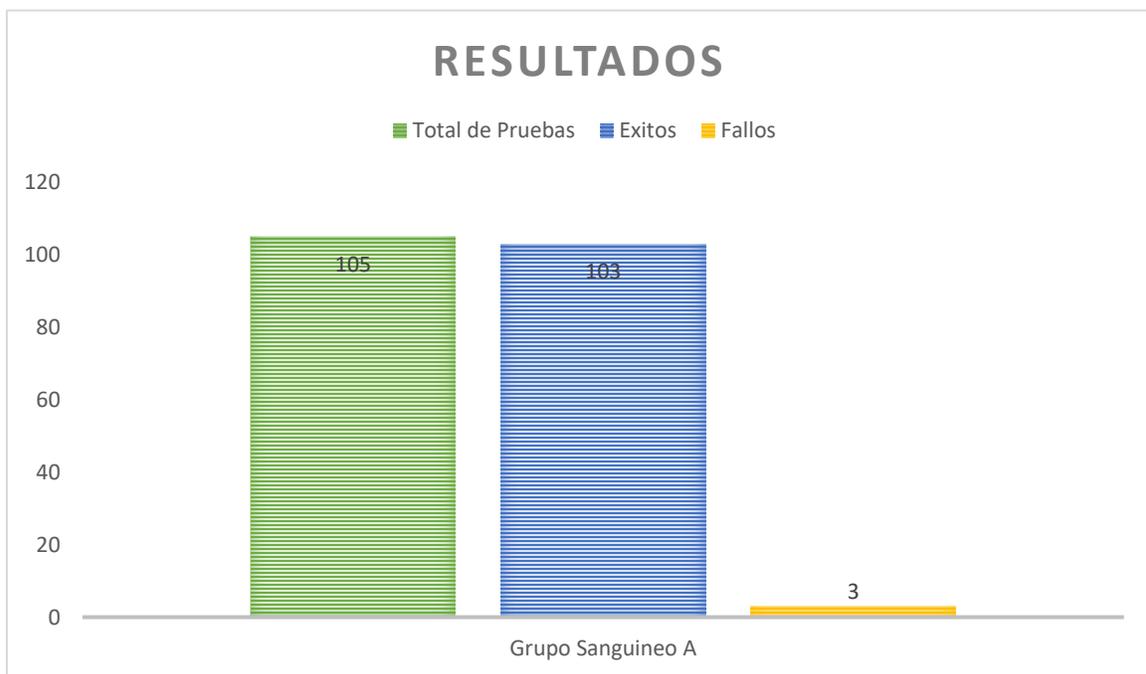


Ilustración 21- Pruebas de Sangre Tipo A

Fuente: Elaboración propia

En la **ilustración 17**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo cuando se utilizó sangre del grupo sanguíneo A, de un total de 105 pruebas realizadas, se tuvo una precisión del 97%, lo cual esto representa 102 aciertos y 3 fallo en los resultados.



Ilustración 22- Pruebas de Sangre Tipo B

Fuente: Elaboración propia

En la **ilustración 18**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo cuando se utilizó sangre del grupo sanguíneo B, de un total de 100 pruebas realizadas, se tuvo una precisión del 98%, lo cual esto representa que las 98 pruebas tuvieron éxito y 2 tuvieron fallo.



Ilustración 23- Pruebas de Sangre Tipo AB

En la **ilustración 19**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo cuando se utilizó sangre del grupo sanguíneo AB, de un total de 103 pruebas realizadas, se tuvo una precisión del 97%, lo cual esto representa que las 100 pruebas tuvieron éxito y 3 fallo.



Ilustración 24- Pruebas de Sangre Tipo O

En la **ilustración 20**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo cuando se utilizó sangre del grupo sanguíneo O, de un total de 180 pruebas realizadas, se tuvo una precisión del 96%, lo cual esto representa que las 172 pruebas tuvieron éxito y 8 fallo.

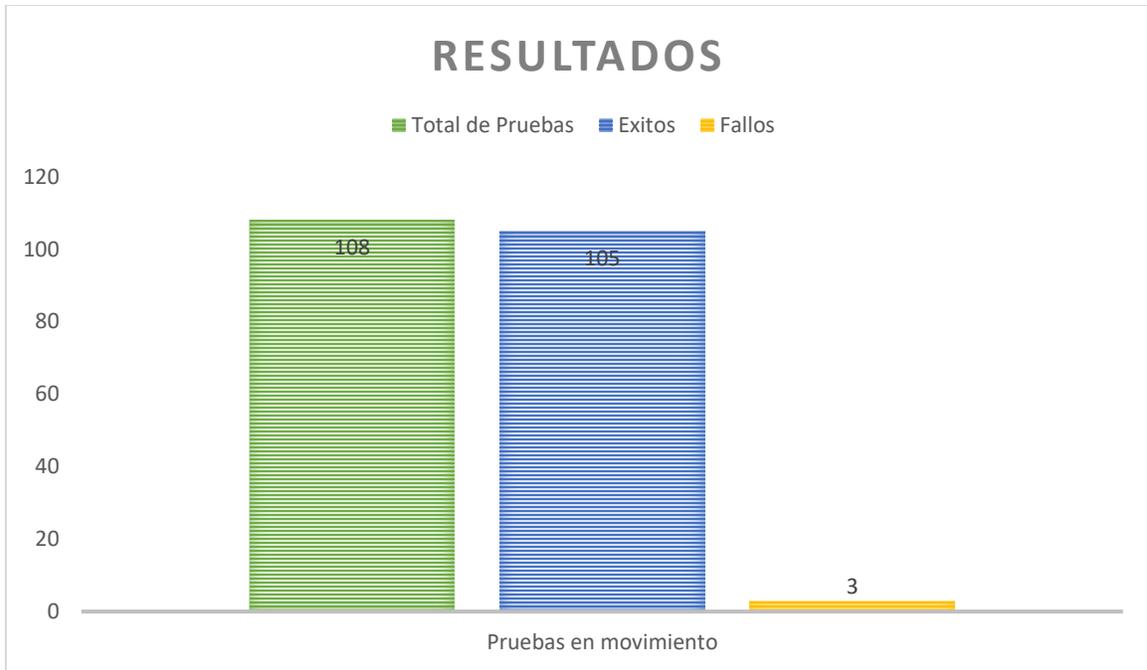


Ilustración 25-Pruebas de en auto en movimiento

En la **ilustración 21**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo cuando se utilizó en un auto en movimiento, de un total de 108 pruebas realizadas, se tuvo una precisión del 97%, lo cual esto representa que las 105 pruebas tuvieron éxito y 3 fallo.

5.2 RESULTADOS GENERALES

Analizando la situación de las pruebas, se desarrollaron un total de 596 pruebas. En la **ilustración 22**, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo, se obtuvo una precisión del 97%, lo cual esto representa que las 577 pruebas tuvieron éxito y 19 fallos.

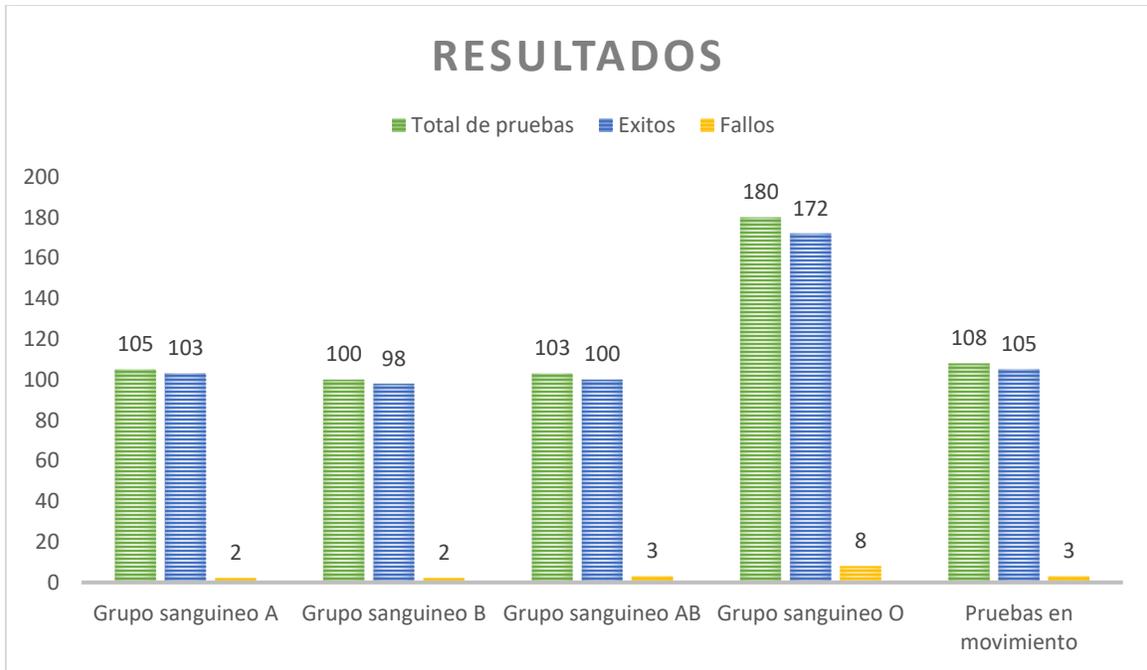


Ilustración 26- Total de pruebas realizadas

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al nivel de glucosa en sangre se realizaron un total de 596 pruebas, de las cuales como se puede observar en la **ilustración 23**, el 98% resultaron en éxitos, lo cual representa 585 pruebas exitosas.



Ilustración 27- Total de pruebas de glucosa

Fuente: Elaboración propia

5.3 PUNTOS DE MEJORA

En esta sección se presentan todos los cambios y mejoras que se le hicieron al proyecto con el fin de perfeccionar el funcionamiento y la precisión.

5.3.1 BOMBAS

Haciendo un análisis de la documentación del proyecto anterior, los depósitos en donde se encontraban las bombas no contaban con el espacio necesario para que operaran de manera correcta.

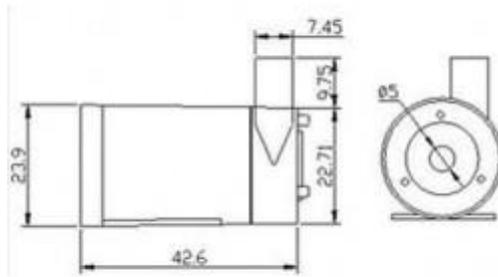


Ilustración 28- Dibujo de bomba sumergible

Fuente: (*Mini bomba de agua sumergible 5V 100L/H JT-DC3W*, s. f.)

Como se puede observar en la **ilustración 24**, la bomba cuenta con un orificio en la parte inferior, ahí es donde hace la succión y cuenta con otro en el lado frontal, ahí es donde hace la expulsión del líquido que succiona. Entonces al no contar con el espacio suficiente hace que la bomba se sobrecargue y no permite el paso completo del líquido.

Un punto de mejora fue este ya mencionado, el cual se rediseñó los depósitos de bombas teniendo en cuenta esta consideración. Es decir, fueron diseñados con el espacio suficiente para que las bombas operaran de manera correcta y no hubiera problemas con el paso del reactivo, ya que como cuenta con el espacio necesario y las mangueras que van conectadas a las bombas no se encuentran tensas.

5.3.2 MOTORES

Haciendo un análisis según la documentación del proyecto anterior, los motores que se habían utilizado tenían en sus especificaciones técnicas que contaban con una velocidad angular de 3,500 revoluciones por minuto. Se realizaron varias pruebas para comprobar si era bueno tener estos motores en el proyecto, y de todas las pruebas que se realizaron, en la mayoría había un derramamiento de la muestra lo que hacía que en el momento de la mezcla fuera inestable. El

problema era la velocidad de estos, entonces se realizaron varias pruebas con varias resistencias para reducir su velocidad, pero el resultado siempre era el mismo.

Su punto de mejora fue que se optó por buscar otros motores que resolvieran este problema, la primera opción que se encontró fueron unos motores-reductores que según sus especificaciones técnicas su velocidad angular de 100 revoluciones por minuto. Se realizaron varias pruebas con este motor y definitivamente resolvía el problema anterior pero surgió uno nuevo, que era el de no homogenizar bien. Entonces se encontró otra opción, un motor-reductor pero según sus especificaciones técnicas su velocidad angular es de 300 revoluciones por minuto. Se realizaron varias pruebas con este motor y se resolvió el problema que había surgido, entonces se optó por utilizar este motor en el proyecto ya que homogenizaba bien y no había inestabilidad o derramamiento de muestra.

5.3.3 SENSORES

Haciendo un análisis general sobre la hoja de especificaciones del sensor, para lograr una mejora notable en la precisión. Se realizaron varias pruebas con diferentes distancias del sensor hacia la muestra.

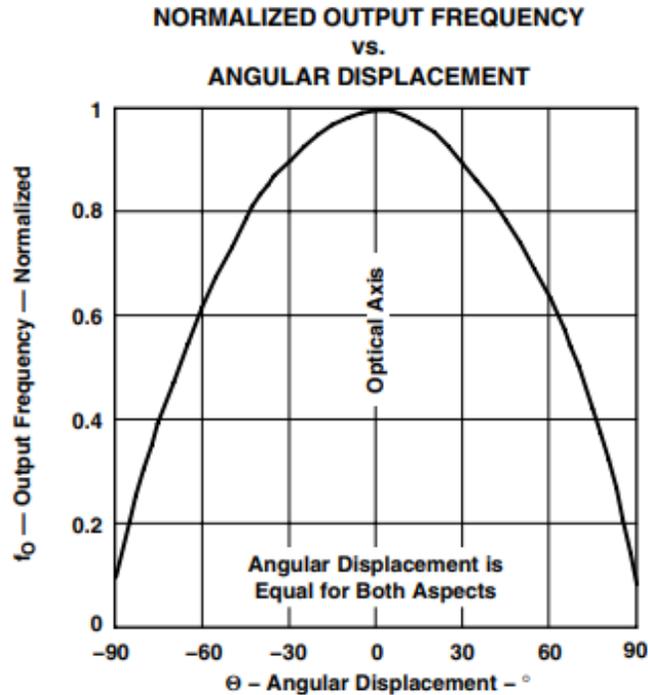


Ilustración 29-Desplazamiento angular de haz de luz

Fuente: (tcs3200-e11.pdf, s. f.-a)

Como se puede observar en la **ilustración 25**, dependiendo del ángulo del haz de luz que genera el sensor tiene su frecuencia normalizada de salida. Esto quiere decir ya que el sensor está programado para que tenga un 100% de su frecuencia normalizada de salida para una mejor recepción de colores. Así se le hace más fácil identificar el color por su frecuencia que es emitida hacia la matriz de fotodiodos.

Tabla 12- Pruebas realizadas con diferentes distancias del sensor

Para un porta-muestra de radio de 1.5 cm		
Distancia (cm)	Angulo de incidencia (°)	Frecuencia normalizada de salida
7	12	0.978
6.5	13	0.97
6	14	0.962
5.5	15	0.96
5	17	0.956
4.5	18	0.95
4	21	0.935

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **tabla 9**, de todas las pruebas que se realizaron se optó por elegir la distancia de 4.5 cm. Ya que según especificaciones técnicas a la frecuencia de operación de 500 kHz presenta una no-linealidad de $\pm 0.5\%$ de la frecuencia de salida del sensor. Tomando esto como parámetro para la selección de la ubicación de la muestra con respecto a la posición del sensor, la ubicación óptima alcanzada fue de 4.5 cm. Ya que con distancias superiores a 4.5cm el área de cobertura del haz de luz del sensor es superior al área del porta-muestra teniendo como resultado lecturas erróneas ya que censa fuera del porta-muestra. Con respecto a las distancias inferiores de 4.5cm, el área de cobertura del haz de luz del sensor es menor que el área del porta-muestra teniendo como resultado de que en el caso de aglutinación de sangre no pueda ser percibida por el sensor.

5.3.4 ESTRUCTURA

Haciendo un análisis en la documentación del proyecto anterior, se percibió que el espacio que había entre las muestras no era el mejor ya que se tiene que tomar en cuenta la fácil manipulación de las muestras. Otro punto que se analizó fue el que el diseño anterior era solo una pieza.

Partiendo de lo antes expuesto, los puntos de mejora con base a la estructura, se rediseñó. Teniendo la consideración de la manipulación de las muestras, se redimensionó y se hizo más amplio con el fin también de que hubiera un espacio considerado para todos los componentes electrónicos y la parte electrónica del prototipo.

Con respecto al otro punto ya antes expuesto, se diseñaron 4 partes ensamblables, las cuales serían:

- Cuerpo
- Puerta lateral
- Depósitos
- Tapadera

Con respecto al cuerpo, tiene dos compartimientos en los que van ensambladas la puerta lateral y los depósitos de las bombas. Como se puede observar en la **ilustración 26**.

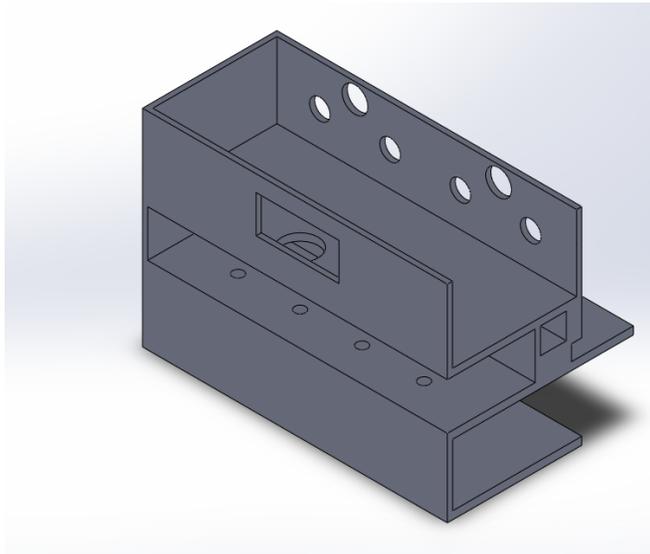


Ilustración 30- Diseño de cuerpo

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la puerta lateral, se diseñó para poder tener una mejor manipulación de los motores y así tener un fácil acceso para darles mantenimiento por si llegan a tener alguna falla y toca sustituir algún motor. Esta parte va ensamblada al cuerpo y una vez ensamblada les da estabilidad a los depósitos y hace que no se salgan de su lugar. Diseño de la puerta se puede observar en la **ilustración 27**.

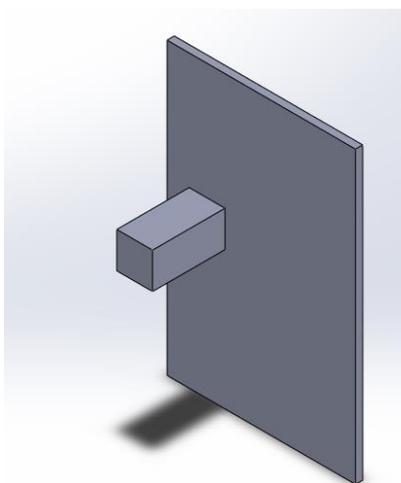


Ilustración 31-Diseño de puerta lateral

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los depósitos, se diseñó con el fin de poder darle mantenimiento a las bombas y también guardar el reactivo sobrante y evitar el desperdicio de estos. Y así poder darle limpieza ya que el reactivo viejo al combinarlo con el reactivo nuevo puede afectar a las futuras pruebas. Esta parte va ensamblada al cuerpo y la estabilidad de esta parte es gracias al ensamble de la puerta lateral con el cuerpo. También se diseñó una guía para que se ensamblaran las bombas a los depósitos, como se puede observar en la **ilustración 28**.

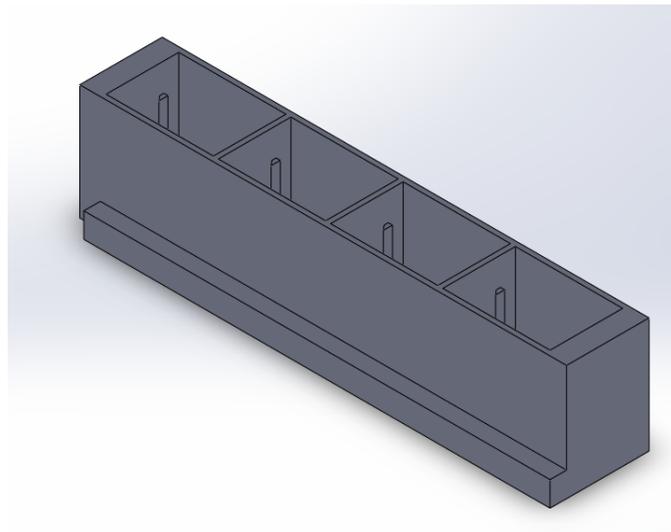


Ilustración 32- Diseño de depósitos

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tapadera, se diseñó con el fin de lograr el ensamble final de todas las piezas y evitar que ninguna se salga de su lugar, para poder lograr una mejor estabilidad de la estructura del prototipo. Como se puede observar en la **ilustración 29**.

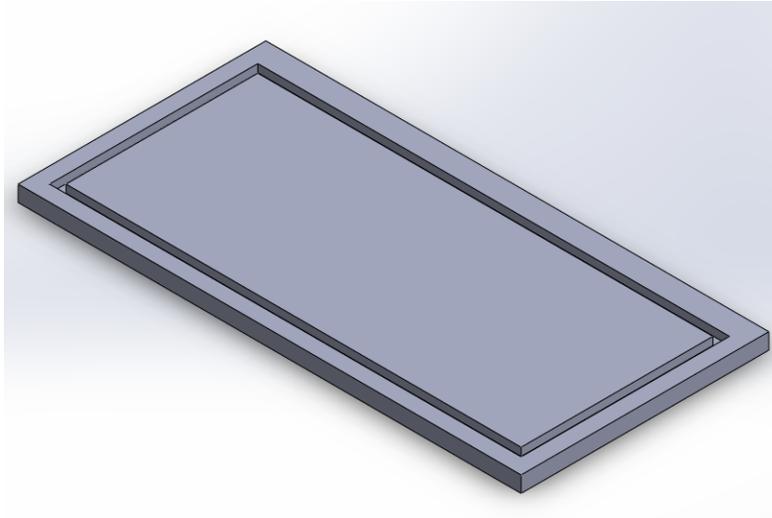


Ilustración 33-Diseño de tapadera

Fuente: Elaboración propia

Otro punto de mejora fue el porta-muestra, según la documentación del proyecto anterior habían utilizado porta-muestras de color negro. Se sustituyeron para utilizarlos de color blanco ya que el negro es ausencia de luz por lo tanto es más difícil que el sensor lo detecte de manera precisa.

5.3.5 ELECTRÓNICA

Haciendo un análisis en la documentación del proyecto anterior, se pudo denotar que los cables no presentaban un orden y esto es un problema ya que un posible error en algún componente electrónico es difícil encontrar la falla si no se mantiene un orden.

El punto de mejora es que se diseñó una placa de interconexión esto con el fin de tener un orden en el cableado y así evitar también utilizar cables de más. Logrando tener una confiabilidad de conexión entre los componentes con sus cables. Como se puede apreciar en la **ilustración 30**, se encuentra el diseño de la placa de interconexión.

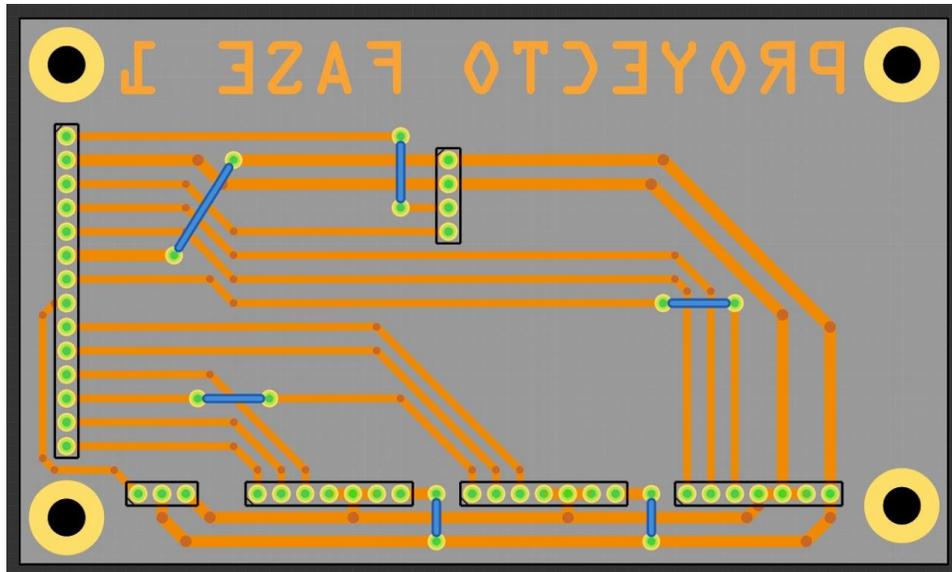


Ilustración 34-Diseño de placa de interconexión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13- Pin-out de componentes electrónicos

Sensores (B1, B2, B3)		Bornera A	
Pines	Numero asignado	Pines	Pines del Raspberry
S3	1	1	3
S2	2	2	4
OUT	3	3	5
VCC	4	4	16
S1	5	5	18
S0	6	6	20
GND	7	7	22
LCD (D)		8	29
Pines	Numero asignado	9	33
GND	1	10	35
VCC	2	11	36
SDA	3	12	37
SCL	4	13	38
Sensor C		14	40
Pines	Numero asignado		
DO	1		
GND	2		
VCC	3		

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **tabla 10 y 11**, se encuentra la distribución de todos los pines de todos los componentes y como estos van conectadas a la placa que fue diseñada. De manera de saber identificar los pines por si llegara a suceder alguna falla y corregirlo de manera más fácil.

Tabla 14-Interconexión de placa

Interconexiones Tarjeta					
Bornera A	D	B1	B2	B3	C
1	3				
2	2	4,5,6	4,5,6	4,5,6	3
3	4				
4			2		
5			1		
6	1	7	7	7	2
7			3		
8					1
9		3			
10		2			
11				3	
12		1			
13				2	
14				1	

Fuente: Elaboración propia

También se implementó un sistema de mando, dos push-button que al accionarlos, se encienden los motores o bombas. Logrando así tener un mejor manejo de la dosificación del reactivo y un control en el momento de utilizar los motores para la homogenización de las muestras.

5.3.4 PLANOS DE PIEZAS DE LA ESTRUCTURA

En esta sección se encuentran los planos de las piezas diseñadas en SolidWorks con sus respectivas dimensiones y representaciones.

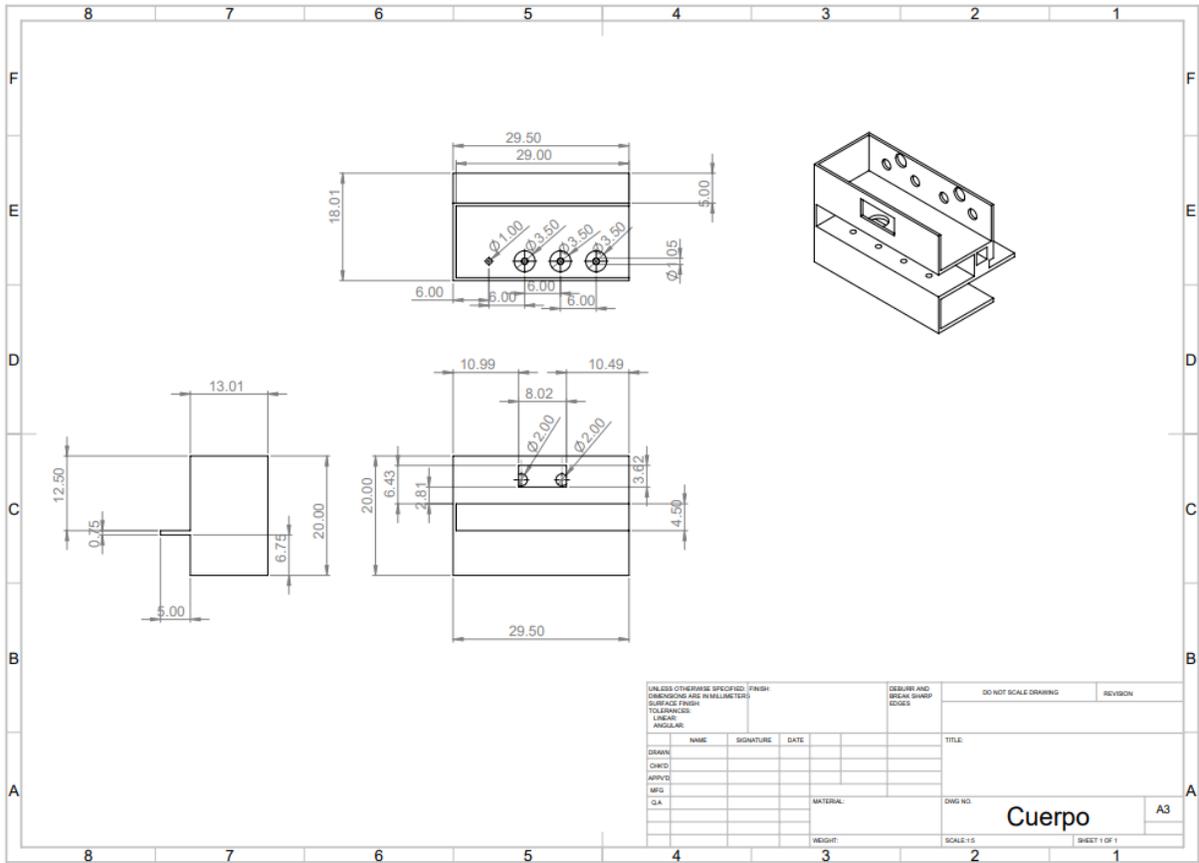


Ilustración 36-Plano de Cuerpo

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **ilustración 36**, se presenta el plano de la pieza llamada cuerpo con sus respectivas dimensiones.

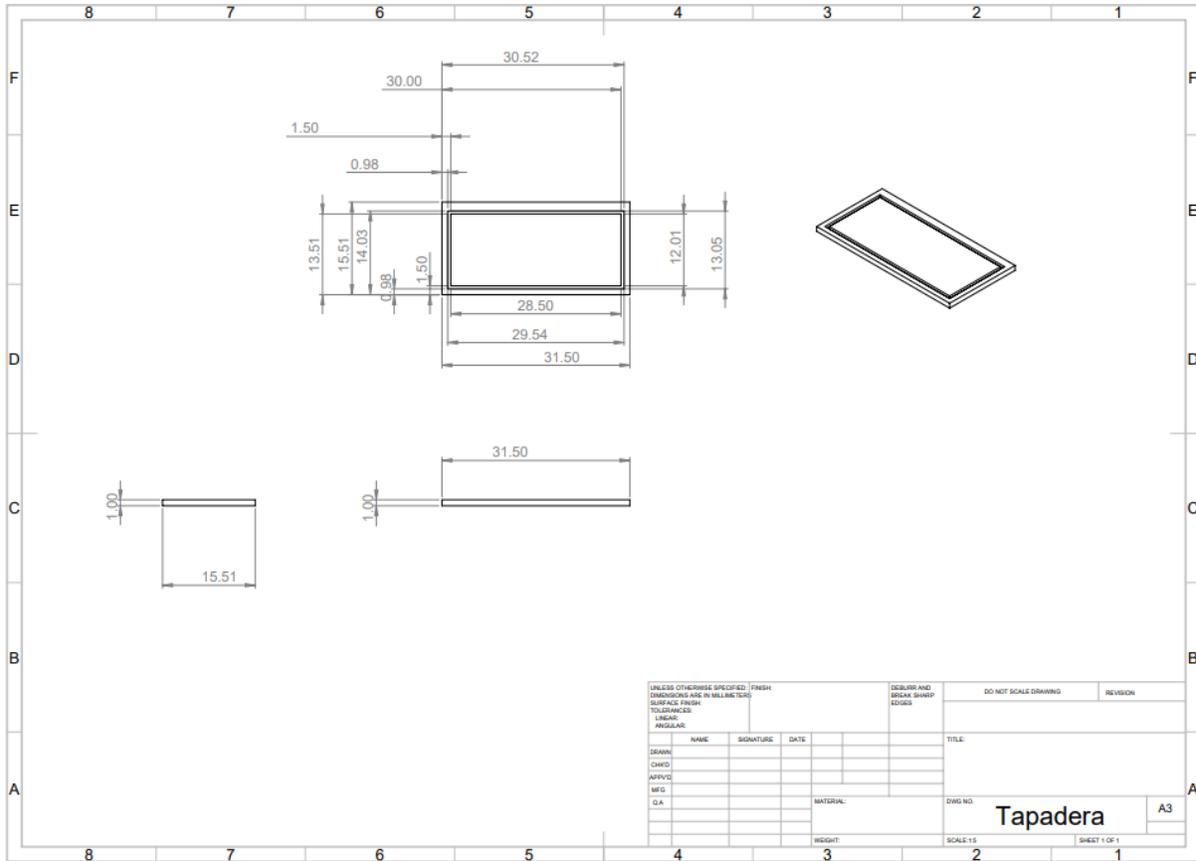


Ilustración 37-Plano de Tapadera

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **ilustración 37**, se presenta el plano de la pieza llamada tapadera con sus respectivas dimensiones.

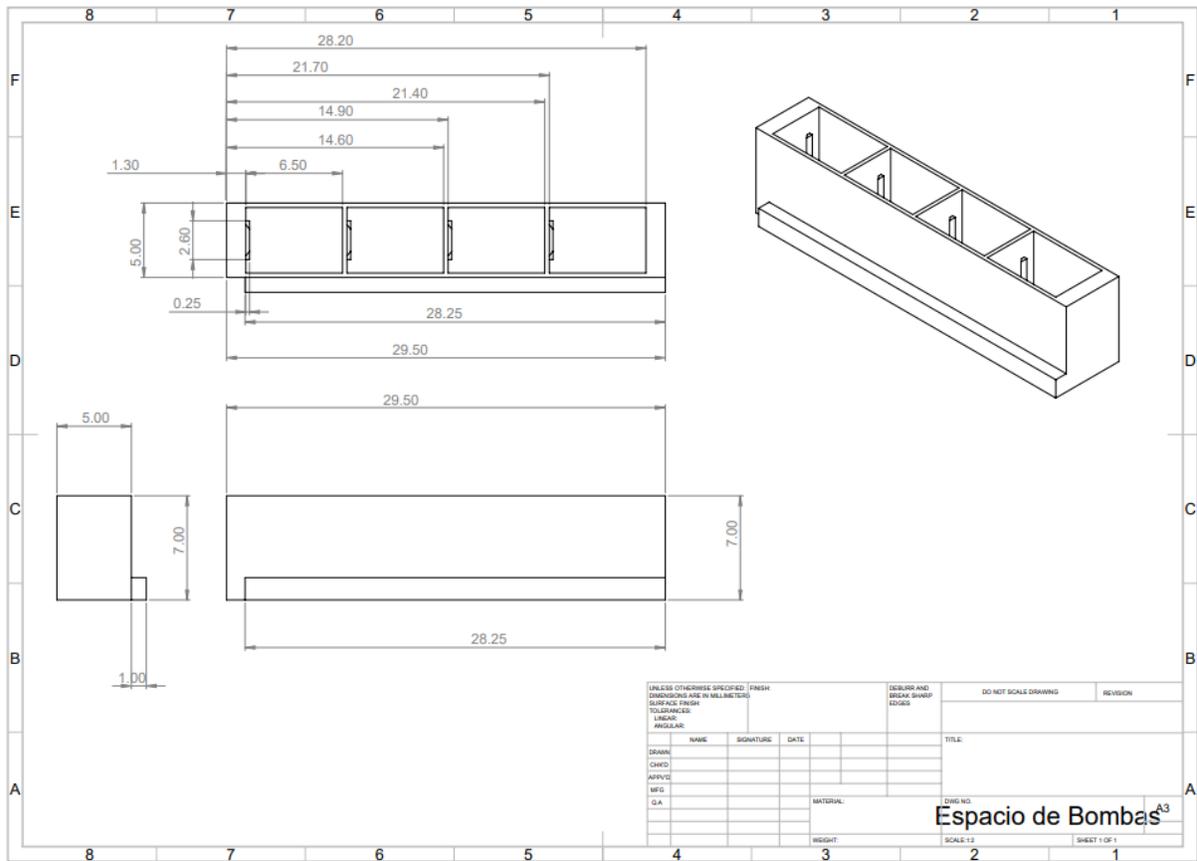


Ilustración 38-Plano de Espacio de Bombas

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **ilustración 38**, se presenta el plano de la pieza llamada espacio de bombas con sus respectivas dimensiones.

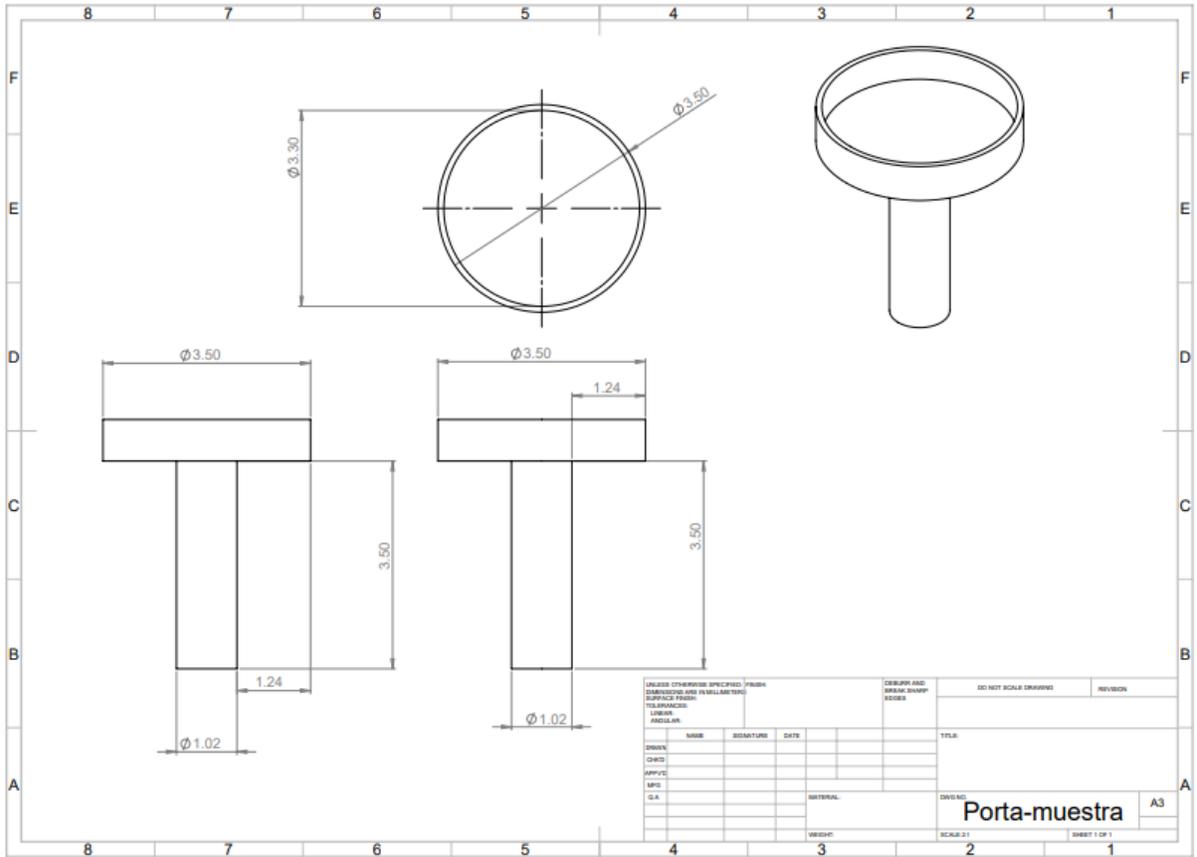


Ilustración 39-Plano de Porta-muestra

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **ilustración 39**, se presenta el plano de la pieza llamada porta-muestras de bombas con sus respectivas dimensiones.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones del proyecto de investigación, culminando el presente documento.

- Se acepta la hipótesis ya que se logró incrementar la precisión del prototipo al 97% en todas sus mediciones y pruebas, capaz de cumplir los estándares al nivel de medicina.
- Se comprobó la eficiencia y el desempeño del prototipo en condiciones adversas en la alimentación del mismo comprobando que se mantiene el nivel de precisión.
- Se mejoró la conectividad de los elementos y dispositivos diseñando una placa de interconexión y reduciendo los factores de falla por errores de conectividad o por falsas conectividades.
- Se comprueba la hipótesis, logrando alcanzar la precisión del 97%.
- Se rediseñó el prototipo teniendo en cuentas nuevas consideraciones que afectaban las mediciones y el mantenimiento del mismo.
- Se verificó que factores influían en el circuito del prototipo y que incidían en la precisión del mismo, de tal manera de corregirlos y así lograr su precisión.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las recomendaciones o puntos de mejora que se le pueden dar al proyecto en futuras modificaciones.

- Automatizar la dosificación del reactivo de manera que la operación de este prototipo sea más eficiente y económico.
- Implementar un módulo de alimentación DC recargable con el inversor que vuelva más autónomo el prototipo y logre funcionar en lugares remotos donde no hay AC.
- Realizar una aplicación que se conecte con el prototipo para que este envíe los datos a un dispositivo móvil.
- Realizar un temporizador en la homogenización mediante el microcontrolador de manera que el proceso sea más autónomo.
- Mejorar el diseño de los depósitos de los reactivos de manera de hacerlo herméticamente sellado, para evitar derramamiento de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

A14_Artificial_or_machine_int.pdf. (s. f.).

ABC de la Mecatrónica—Stere.pdf. (s. f.).

Anti_a_anti_b_anti_ab_monoclonal_sp.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de junio de 2021, de https://www.wiener-lab.com.ar/VademecumDocumentos/Vademecum%20espanol/anti_a_anti_b_anti_ab_monoclonal_sp.pdf

Art04.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v17n4/art04.pdf>

Bentley—2005—Principles of measurement systems.pdf. (s. f.).

Camacho—CAUSAS DE ERROR EN LA DETERMINACIÓN DE GRUPOS SAN.pdf. (s. f.).

Cañaverl et al. - GUÍA METODOLÓGICA PARA BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFAC.pdf. (s. f.).

Denise_Harmening_-_Modern_Blood_Banking___Transfusion_Practices-F._A._Davis_Company_201220191001-118060-1i8b57c-with-cover-page.pdf. (s. f.). Recuperado 19 de mayo de 2021, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60760517/Denise_Harmening_-_Modern_Blood_Banking___Transfusion_Practices-F._A._Davis_Company_201220191001-118060-1i8b57c-with-cover-page.pdf?Expires=1621473393&Signature=VjZT7DCEXiSeE8Rak19E~4Zhw19oY1SG9O12okm3ERlOL-eDm08BlhujjJ8XvSDq7BfCRvOU9hpPnkWuOnuuO9gBNLwV7lppalrKaO2K9VZcg1s6aJJWlcv2w1wyAZwX2LsKVu7C2mYMxon5WPiIO19iObgiSG-xPGKHIPzxucofW2XKDIAJKKwqOf5ueNQBHKfYpTkcNRnh1zikc1kJwZuCd7NOqf2KjQsALbfZdHL1~ug1oU15INUscpSkZF5ZNeGHj4e6-flEBtblsITE8ZRY5WL~ZsbbsYlvQft5kJUYuehu1A3VOR0VlfZXMNk7z-PpApSCZELXDgq-E2uCrg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=138

E Libro. (s. f.). Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/40778>

Fraden—Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and .pdf. (s. f.).

Grispan—GRUPOS SANGUÍNEOS ABO Y Rh.pdf. (s. f.).

Ha—2009—Validación y verificación de métodos de laborator.pdf. (s. f.).

Interrupor Push button con bloqueo ON / OFF (NO) 19mm. (s. f.). Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnologia. Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/conectores-interruptores-y-botones/2416-interruptor-push-button-con-bloqueo-on-off-no-19mm.html>

Jaime Pérez et al. - 2009—Hematología La sangre y sus enfermedades..pdf. (s. f.). Recuperado 24 de julio de 2021, de

<http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0838.%20Hematolog%C3%ADa%20-%20Jaime%20P%C3%A9rez%20ed.pdf>

Kumar Saha, S. (2010). *Introducción a la robótica*. McGraw-Hill España.

<https://elibro.net/ereader/elibrodemo/36580>

López Rodríguez, R. (2011). *Mecánica*. Editorial Tébar.

*Miguel y Bolado—INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA TRANSDUCTORES Y ACOND.*pdf. (s. f.).

Mini bomba de agua sumergible 5V 100L/H JT-DC3W. (s. f.). Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnología. Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/motores-y-bombas/1019-mini-bomba-de-agua-sumergible-5v-100lh-jt-dc3w.html>

Modulo sensor de Luz LDR. (s. f.). Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnología. Recuperado 24 de julio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/sensores/52-modulo-sensor-de-luz-ldr.html>

Pantalla LCD 16X2 con interfaz I2C. (s. f.). Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnología. Recuperado 24 de julio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/inicio/487-pantalla-lcd-16x2-con-interfaz-i2c-.html>

ROBOTICS.pdf. (s. f.).

Sensor para reconocer color TCS3200. (s. f.). Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnología. Recuperado 24 de julio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/sensores/318-sensor-para-reconocer-color-tcs3200.html>

Sensores y Acondicionadores de Señal_Ramon Pallas Areny.pdf. (s. f.).

SENSORES OPTICOS.pdf. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2021, de <https://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/SENSORES OPTICOS.PDF>

Sensors Actuators Engineering System Instrumentation-2e-Silva-pdf.pdf. (s. f.).

Shaw, A. (2021, marzo 10). *What is Raspberry Pi Zero? Pinout, Specs, Projects & Datasheet*. The Engineering Projects. <https://www.theengineeringprojects.com/2021/03/what-is-raspberry-pi-zero-pinout-specs-projects-datasheet.html>

Snapshot. (s. f.-f). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/motores-y-bombas/1201-motorreductor-metalico-12v-300rpm.html>

Snapshot. (s. f.-e). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/motores-y-bombas/1019-mini-bomba-de-agua-sumergible-5v-100lh-jt-dc3w.html>

Snapshot. (s. f.-d). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/conectores-interruptores-y-botones/2416-interruptor-push-button-con-bloqueo-on-off-no-19mm.html>

Snapshot. (s. f.-c). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://cdtecnologia.net/fuentes-de-energia/1986-fuente-regulable-de-3v-a-12v-2a.html>

Snapshot. (s. f.-a). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002224.htm>

Snapshot. (s. f.-b). Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003345.htm>

Tcs3200-e11.pdf. (s. f.-a). Recuperado 22 de julio de 2021, de <https://www.mouser.com/catalog/specsheets/tcs3200-e11.pdf>

Tcs3200-e11.pdf. (s. f.-b). Recuperado 21 de julio de 2021, de <https://www.mouser.com/catalog/specsheets/tcs3200-e11.pdf>

Wiener—1943—Genetic Theory of the Rh Blood Types..pdf. (s. f.).

ANEXOS

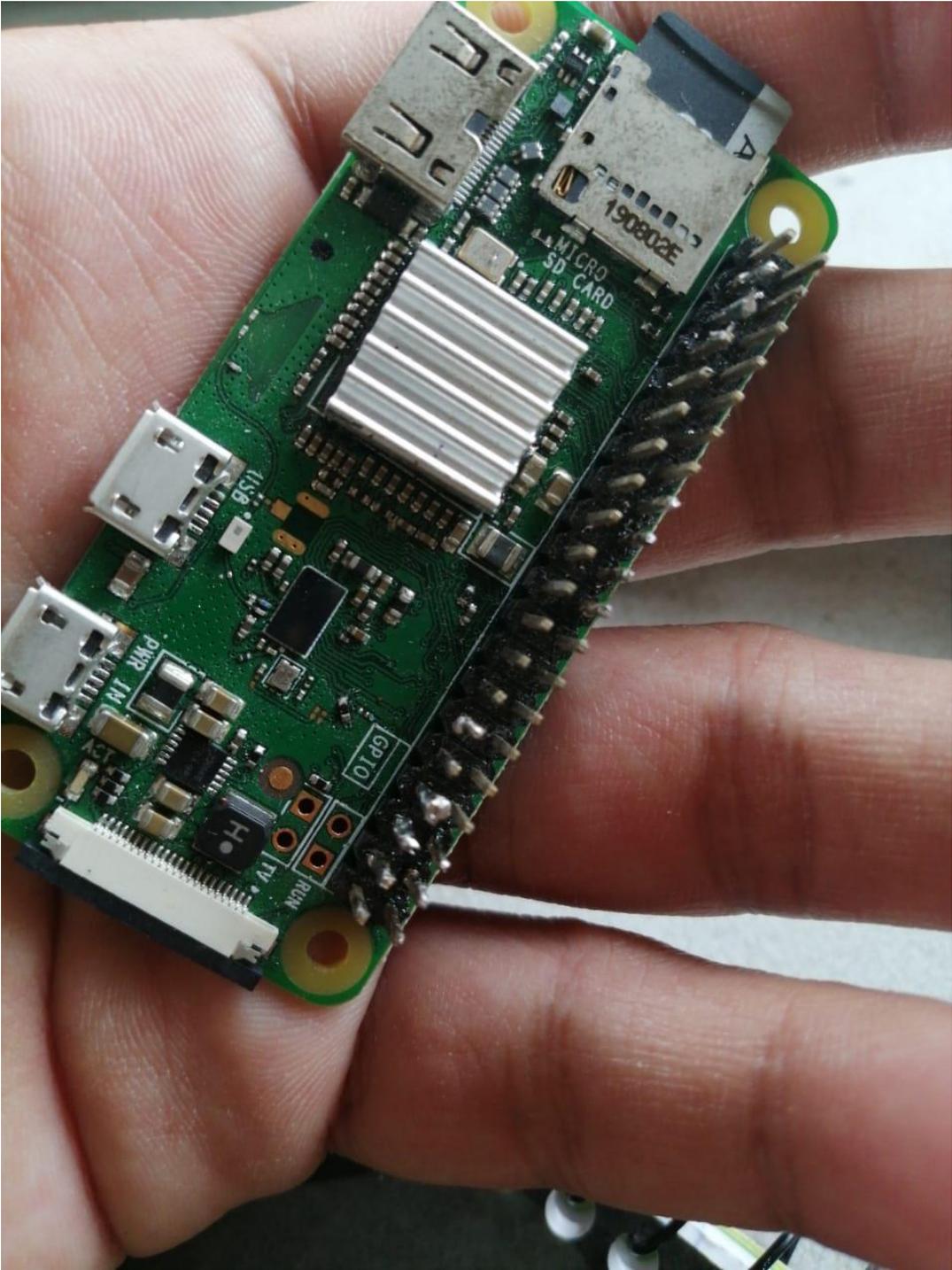
Anexo 1- Midiendo y comprobando los componentes



Anexo 2- Toma de sangre



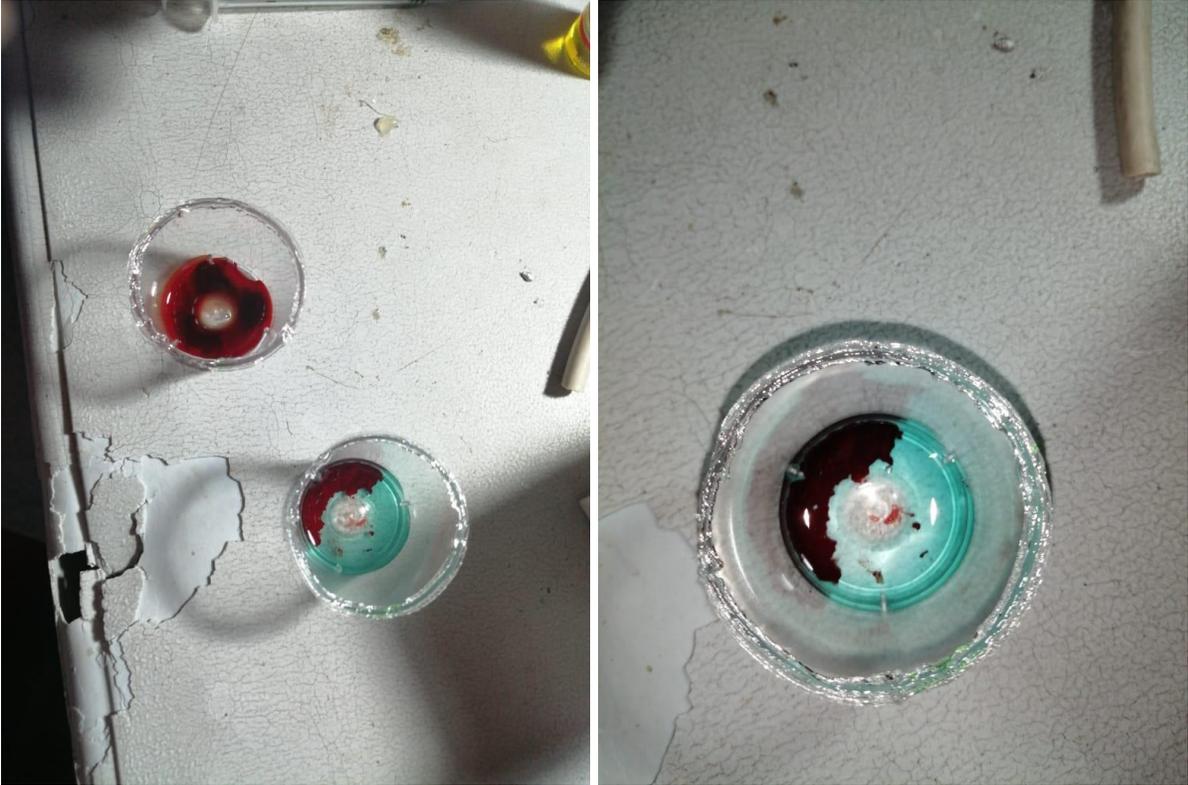
Anexo 3- Microcontrolador Raspberry



Anexo 4- Placa utilizada para las interconexiones



Anexo 5- Reacción de sangre con los reactivos



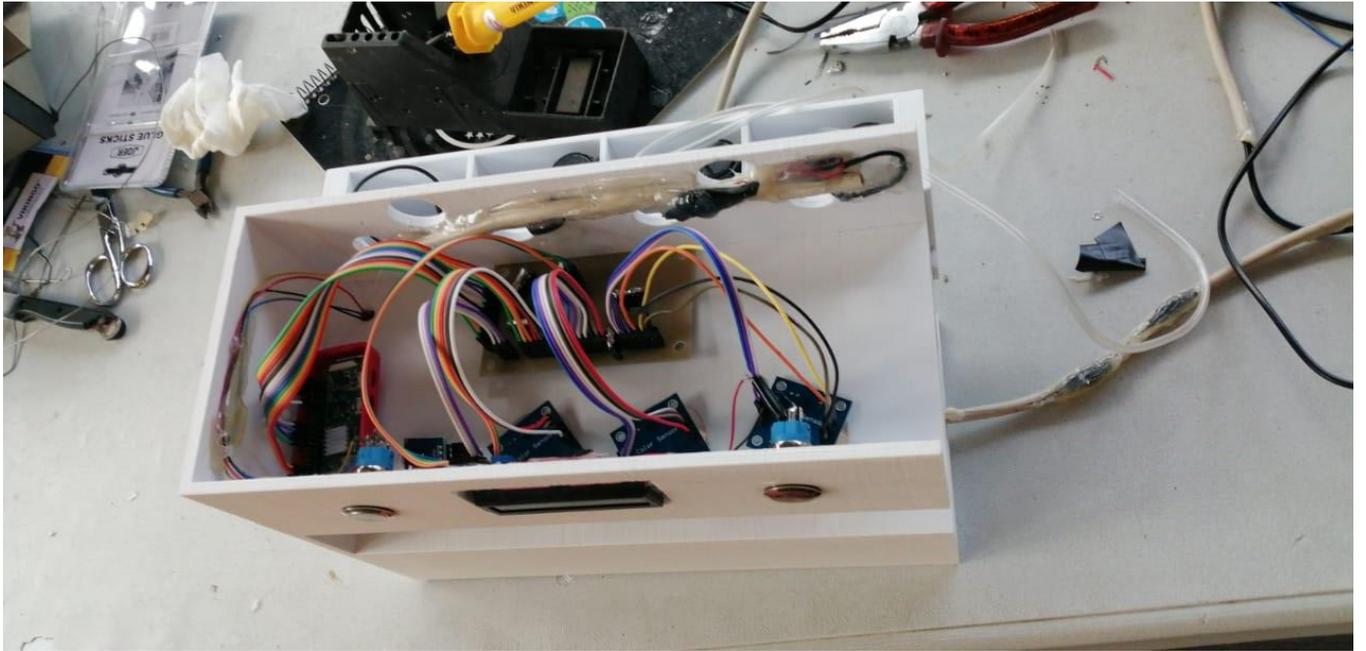
Anexo 6- Prototipo final ya impreso



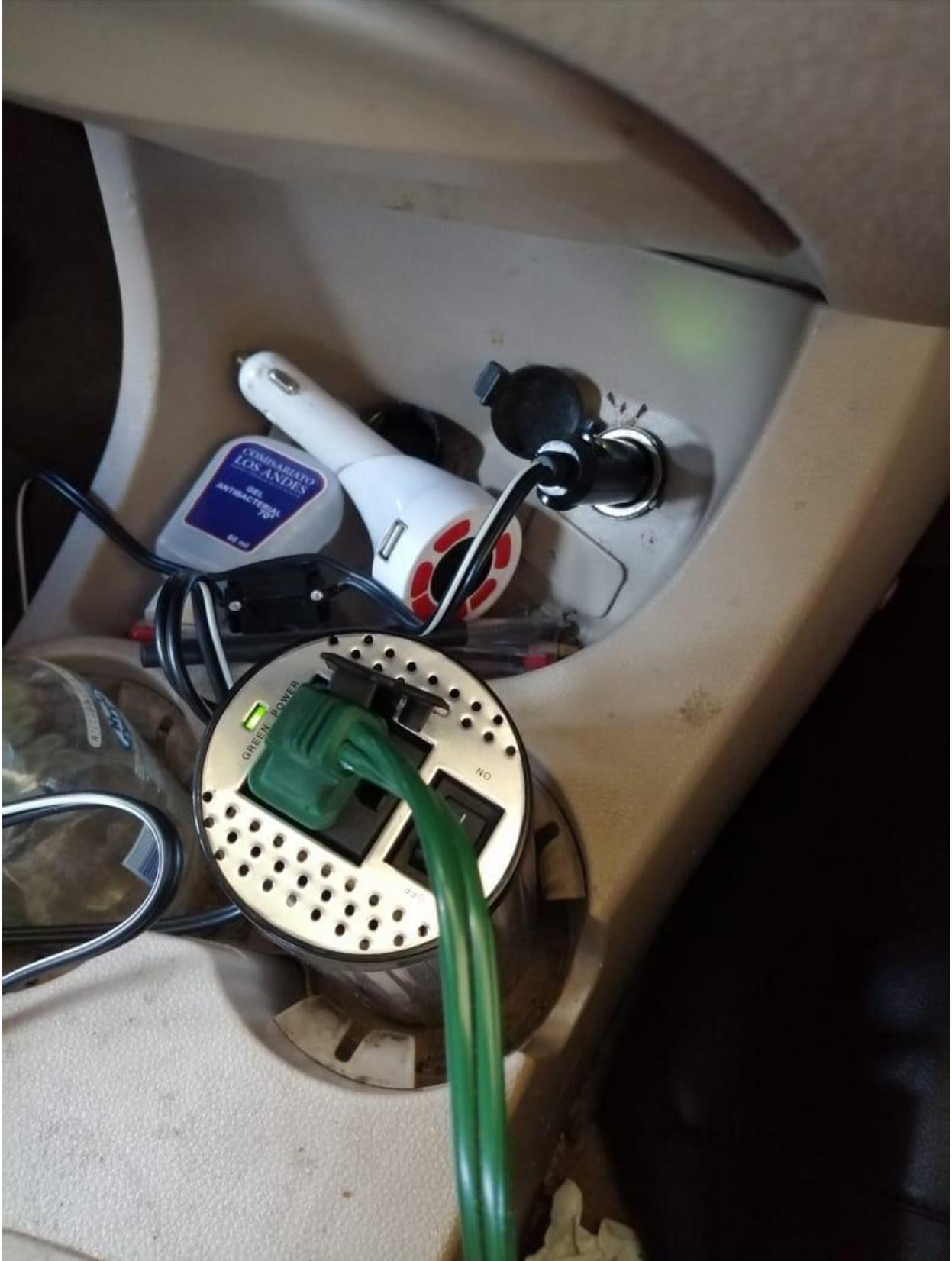
Anexo 7- Prototipo con sus reactivos



Anexo 9- Cableado del prototipo



Anexo 10- Inversor utilizado para pruebas en auto en movimiento



Anexo 11- Montaje del prototipo en el auto



Anexo 12- Pruebas finales del prototipo

