

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia

SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto†, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo

Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

Recibido 13 de Octubre, 2017; Aceptado 15 de Diciembre, 2017

Resumen

El porcentaje de población en el mundo que sufre enfermedades provocados por anemia que afectan el desarrollo cognitivo y motriz es muy grande, de acuerdo a datos recabados por la Organización mundial de la salud (OMS) en 2010. El instituto nacional estadística geografía e informática (INEGI) nos da a conocer que en México 12.4 millones de personas se enfrentan a este problema, por lo que los países en pleno desarrollo son los más afectados con un crecimiento anual del 13%. El registro continuo de anemia es importante ya que este auxiliar en el seguimiento al paciente para que el médico determine si el medicamento usado o las instrucciones dadas fueron efectivas. La base fundamental para llevar un registro de los datos del usuario es por medio de papel, los cuales son posteriormente archivados. Este artículo muestra los resultados de la implementación de un instrumento analizador y registrador de anemia. El dispositivo consta de un sensor óptico el cual detecta colores, posteriormente envía una señal a un circuito acondicionador de voltaje y a una tarjeta IOIO, esta última procesará los datos y realizará la comunicación con un dispositivo móvil por medio de una App.

Sensor, anemia, SmartPhone, App

Abstract

The percentage of the world's population suffering from anemia diseases that affect cognitive and motor development is very large, according to data collected by the World Health Organization (WHO) in 2010. The national statistical institute geography and informatics (INEGI) shows that in Mexico 12.4 million people are facing this problem, reason why the countries in full development are the most affected with an annual growth of 13%. Recording anemias data is important because it helps following up the patient so the doctor can determine if the medication used or the instructions given were effective. The fundamental basis for keeping a record of the user's data is by means of paper, which are then archived. This paper shows the results of the implementation of an anemia analyzer and recorder. The device consists of an optical sensor which detects colors, then sends a signal to a voltage conditioning circuit and an IOIO card, the latter will process the data and make the communication with a mobile device through an App.

Sensor, Anemia, SmartPhone, App

Citación: SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo. Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:22-33

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La anemia es un síndrome que afecta a la sangre, se puede manifestar por cansancio o fatiga, debilidad muscular, palidez de piel y mucosas, palpitaciones, dolor de cabeza, irritabilidad y sensación de falta de aire, [1] y [2]. Hoy en día se puede detectar mediante un análisis rutinario hecho por un análisis químico (biometría hemática), la cual mide tres tipos de células que se encuentran en la sangre: glóbulos rojos (transportan oxígeno y eliminan productos de desecho), glóbulos blancos (combaten infecciones) y plaquetas, el exceso de glóbulos rojos es el indicativo principal de la existencia de esta enfermedad [3].

Las causas más frecuentes de anemia son una mala alimentación, dieta baja en hierro, pérdidas de sangre provocada por una hemorragia, menstruaciones muy abundantes, una mala alimentación, provocada por alimentos deficientes en hierro o dificultad para absorberlo [4].

Los sistemas de monitoreo y control de procesos de todo tipo se realizan con una estricta regulación, llevada a cabo por la instrumentación virtual, debido al constante avance tecnológico que requieren ciertas tareas para el mejoramiento y optimización tanto de recursos como de tiempos. Los sistemas de instrumentación virtual son ampliamente utilizados por su bajo costo, gran flexibilidad y también por el hecho de que pueden ser reconfigurados para entregar el mejor equilibrio requerido, así como por su alto rendimiento y ahorro considerable en tiempo de desarrollo.

Estado del arte

En esta sección se analizan los diferentes procedimientos y métodos en que se detectan enfermedades utilizando distintas formas para realizar el trabajo, además, también se tienen formas de registrar datos, guardarlos y posteriormente utilizarlos, esto nos ayuda a comprender mejor cómo funcionan los distintos dispositivos que hacen tareas similares a las que se hacen en este trabajo, con el fin de poder aplicar algunos pasos o herramientas en este proyecto y poder mejorar la calidad y funcionamiento de este.

EKF Diagnostics desarrollo un analizador de hemoglobina que entrega resultados en tan solo 25 segundos llamado EKF Diagnostics' Hemo Control, este funciona mediante una muestra de sangre tomadas del dedo índice, las cuales son insertadas en el dispositivo y de esta forma en la pantalla del dispositivo se muestra el valor de la hemoglobina, para la detección de anemia se tiene que un valor mayor a 9 será negativo y menor a este hay presencia de anemia como lo indica la Figura 1 [5].



Figura 1 Medidor de Hemoglobina

Fuente: EKF: Diagnostic for life, sitio web 2017

La universidad australiana Monash desarrolló Eyanemia, la cual es una App que funciona a través del color de los ojos analizándolo y entregando un resultado inmediato como se muestra en la Figura 2.

Es una herramienta de detección simple, no invasivo y de fácil acceso para la anemia hecho para ser utilizado por la gente común, implementada para el SO Windows pone, tiene las siguientes características:

- Aplicación fácil de utilizar
- Resultado rápido
- No es muy exacto (ya que la tonalidad en los ojos puede variar respecto a muchas otras enfermedades)

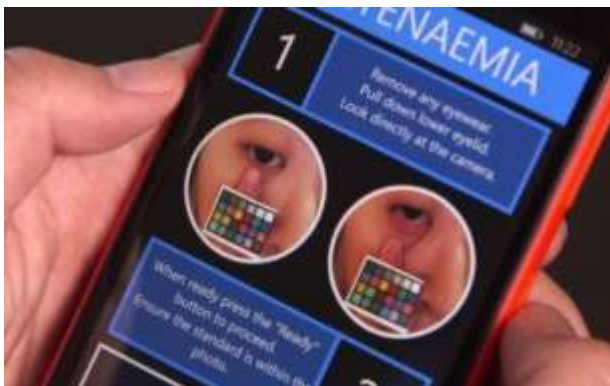


Figura 2 Eyanemia APP

Fuente: Eyanemia, sitio web 2017

El proyecto Glasswing Hb es un sistema no invasivo inalámbrico para medir la hemoglobina (Hb) utiliza un sensor óptico para el control de la anemia, la detección de la hemorragia y el examen pre-donación.

El sistema de medición Glasswing Hb se basa en la tecnología, patentada, SpectOLight, que proporciona una medición rápida, precisa y sin dolor de los componentes de la sangre del donante, mientras que mejora, en gran medida, la comodidad de los donantes, eliminando el riesgo de infección, y suministrándole al personal médico, con lecturas exactas y resultados inmediatos, mediante el uso de un láser aplicado al dedo índice como se ve en la Figura 3.

El dispositivo portátil e inalámbrico funciona con baterías recargables usando un sensor en forma de anillo colocado en el dedo del donante y que aplica presión, de manera temporal, ocluyendo el flujo sanguíneo local. Los elementos ópticos en el sensor luego realizan una medición sensible de la luz transmitida a través del dedo.

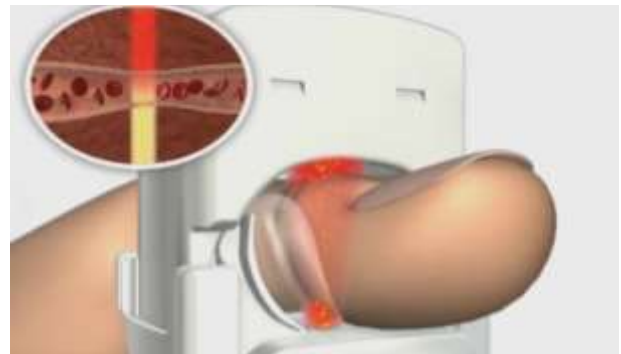


Figura 3 Sistema de medición de Hemoglobina

Fuente: OrSense, sitio web 2012

Un grupo de científicos de la Universidad de Burgos ha desarrollado un dispositivo para detectar anemia por medio de una gota de sangre, esta trabaja por medio de una lámina diseñada específicamente para detectar los niveles de hierro en un medio acuoso. Se describe como un material polimérico inteligente que cambia de color según la concentración de hierro contenido en la sangre.

El proceso consiste en depositar una gota de sangre sobre un fino disco de medio centímetro de diámetro y 0,1 mm de grosor, esperar 15 minutos y comparar el resultado con un patrón de referencia, de esta forma con el cambio de color se pueden detectar los niveles de hierro en la sangre y por ende saber si se tienen o no anemia.

Pero para conocer las cifras exactas, es necesario contar con un teléfono móvil para hacer una foto al disco con la prueba ya realizada es decir con la gota de sangre ya incorporada a lámina y con la ayuda de una aplicación se leerá el cambio de color, a través de la escala de RGB (rojo, verde y azul). Con los parámetros de color se puede determinar la cantidad exacta de hierro en sangre y se confirmaría la anemia vista previamente en la lámina como se muestra en la Figura 4 [6].



Figura 4 Dispositivo detector de anemia

Fuente: Unidad Editorial Información General S.L.U., sitio web 2017

Científicos de la Universidad del Estado de Kansas (Olathe, KS, EUA) hicieron el dispositivo con una impresora 1200 Projet 3D (3D Systems, Rock Hill, Carolina del Sur, EUA).

El dispositivo consiste en láminas transparentes, impresas en plástico 3D, que contienen microfluidos, las cuales se adhieren a un teléfono inteligente. El usuario añade una gota de sangre a un portaobjetos, que se utiliza para una prueba basada en la escala de colores. Los resultados de las pruebas se producen en menos de 60 segundos y se pueden leer con un teléfono inteligente como indica la Figura 5.

El dispositivo incluye un LED para iluminar la muestra, un lente óptico que magnifica la imagen, y dos imanes que realizan la llamada “levitación magnética”: la detección de células anormales, causantes de la anemia, que al ser más densas que el resto, tienden a “flotar”. El dispositivo puede ser utilizado tanto en investigación básica y aplicada como en diagnóstico [7] y [8].



Figura 5 Dispositivo de diagnóstico móvil

Fuente: UCONN Today, sitio web 2015

Metodología

El sistema hace uso del cambio de color de cintas reactivas por saliva. El cambio de color es medido mediante un sensor óptico CNY70 y un circuito seguidor de voltaje el cual evita la pérdida de información proveniente del voltaje del sensor óptico.

La interface Bluetooth con el celular se hace mediante una tarjeta IOIO-OTG, el cual debido a sus características de voltaje máximo permisible por el ADC requiere de una etapa de acondicionamiento de voltaje; las etapas del circuito son mostradas en la Figura 6. A continuación detallaremos la síntesis de las siguientes etapas: Sensor óptico, acondicionador seguidor de voltaje, ADC y IOIO.

Circuito sensor óptico

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta [9], [10] y [11]. El circuito diseñado para la detectar colores emplea un CNY70, un par de resistencias y una fuente de 5 volts. Los colores de las tiras reactivas son: rosado (no reactivo a anemia) y naranja (reactivo a anemia), sin embargo al ser ambos colores similares es necesario que el sistema pueda diferenciarlos correctamente. El voltaje que alimenta a estos circuitos no lineales debe ser 5 volts para que permita una mayor exactitud en la diferenciación de colores a partir de su voltaje de activación, pues si se emplea el voltaje máximo permisible por el ADC de la tarjeta IOIO-OTG se incurren en falsos positivos al no existir un span de voltaje amplio para la diferenciación.

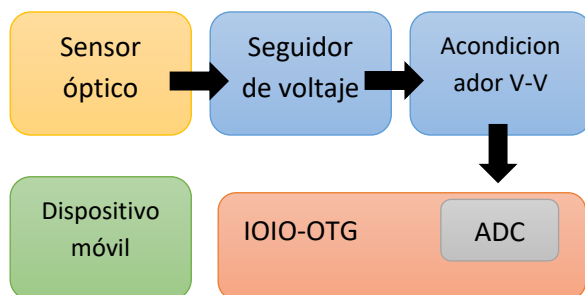


Figura 6 Etapas de la arquitectura del sistema

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a la hoja de datos del CNY70, la corriente máxima del LED es 50 mA, se propone para el diseño emplear la corriente media y calcular la resistencia mediante la ecuación 1.

$$R_{led} = (5 - V_d) / I_d = 140 \text{ ohms} \tag{1}$$

Se empleó una resistencia de 10 Kohms en R2 de acuerdo a la ecuación 2 para asegurar que la potencia del fototransistor sea menor a la máxima de acuerdo a la hoja de datos del CNY70 [12].

$$I_d = (5 - 0.3v) / 10Kohms = 0.47mA \tag{2}$$

Se realizaron 30 pruebas cuantitativas para medir el voltaje relacionado a un color de una tira sin emplear, tira no reactiva a anemia y tira reactiva a anemia, la Tabla 1 muestra el resultado de las pruebas.

Tira	Media	Desviación estándar
Reactiva	0.76 v	0.04 v
No reactiva	0.50 v	0.06 v
Sin emplear	0.38 v	0.05 v

Tabla 1 Relación reactivos-voltaje

En base en los cálculos obtenidos a partir de la conexión mostrada en la Figura 7 y la Tabla 1, se determinó que para el registro de colores de una anemia positiva tiene un color naranja con voltaje promedio de 0.76 volts y una tira no reactiva entrega un voltaje de 0.5 volts.

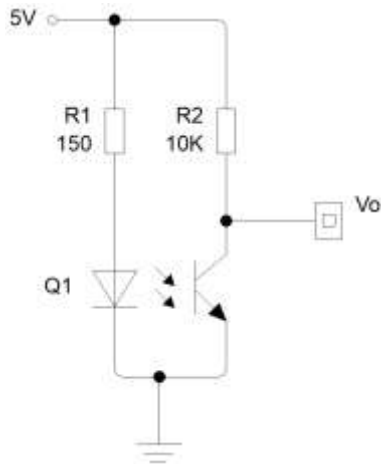


Figura 7 Conexión sensor CNY70

Fuente: Elaboración propia

Circuito acondicionador de voltaje

La salida del circuito sensor se pasa por un circuito seguidor de voltaje para asegurar que las etapas siguientes no drenen la corriente-voltaje proveniente del sensor, al ser la corriente de salida máxima del transistor 0.47 mA dependiendo la reacción de la tira.

El circuito seguidor de voltaje se muestra en la figura 8, para ello se empleó un LM358 debido a que permite ser alimentado con fuentes de asimétrica de voltaje [13], en este caso 9 volts provenientes de una batería.

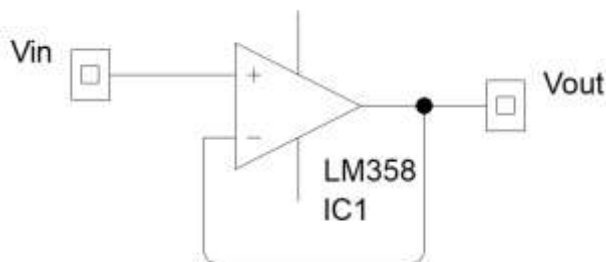


Figura 8 Circuito seguidor de voltaje

Fuente: Elaboración propia

El acondicionador de voltaje es usado para mantener una salida de voltaje con ganancia unitaria, a pesar de las variaciones en la entrada de la fuente y también de las variaciones que se puedan dar en la carga, regula la cantidad de voltaje que se administra al siguiente proceso.

La salida del seguidor de voltaje de ganancia unitaria como se muestra en la Figura 9. Se amplifica linealmente mediante un amplificador no inversor para evitar el uso de fuentes simétricas. El cálculo de la resistencia se base en la ganancia $k=2$ del amplificador emplea la ecuación característica en la ecuación 2 y al despejar las resistencias en la ecuación 3 se determina que ambas deben de tener el mismo valor, por lo que se propone el valor comercial de 1 Kohm.

$$K=1+R2/R1 \quad (2)$$

$$R1=R2 \quad (3)$$

Circuito convertidor de analógico a digital

La tarjeta IOIO sirve para agregar capacidades avanzadas de hardware de entrada/salida vinculadas a aplicaciones para Android o PC para realizar esta función cuenta con un microcontrolador [14] y [15]. Esta placa utiliza la conexión USB On-The-Go para conectarse como un *host* o un accesorio. Si la aplicación se está ejecutando en un dispositivo Android el IOIO-OTG actuará como un *host* USB y suministrará corriente de carga al dispositivo, en este caso el IOIO-OTG necesitará su propia fuente de energía) como se muestra en la Figura 10.

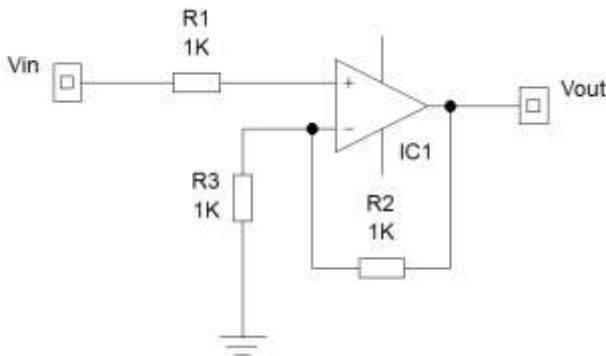


Figura 9 OPAMP LM358

Fuente: Elaboración propia

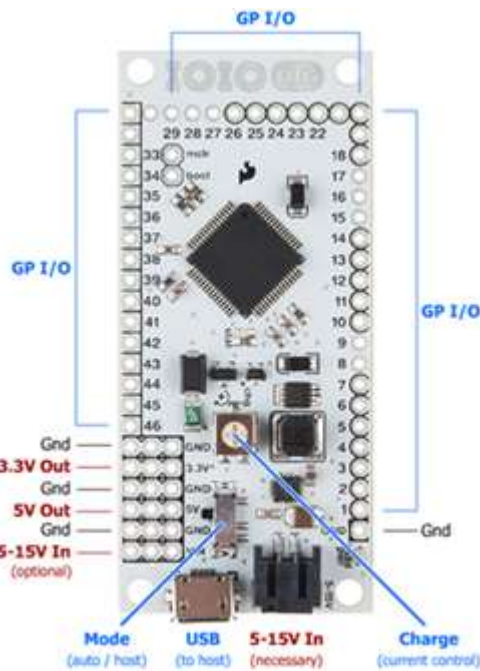


Figura 10 Conexión IOIO OTG

Fuente: SparkFun, 2015

El convertidor de señal de voltaje a digital (ADC) de la placa IOIO OTG es a 10 bits y cuenta con una frecuencia de 1 Khz, ya que El IOIO-OTG. La tarjeta IOIO tiene dos reguladores de tensión:

- Un regulador de conmutación que puede tomar la entrada 5V-15V y da salida hasta 1.5A de 5V CD.

- Un regulador lineal que se alimenta de la línea de 5V y da salida hasta 800mA de 3.3V CD empleado para el ADC.

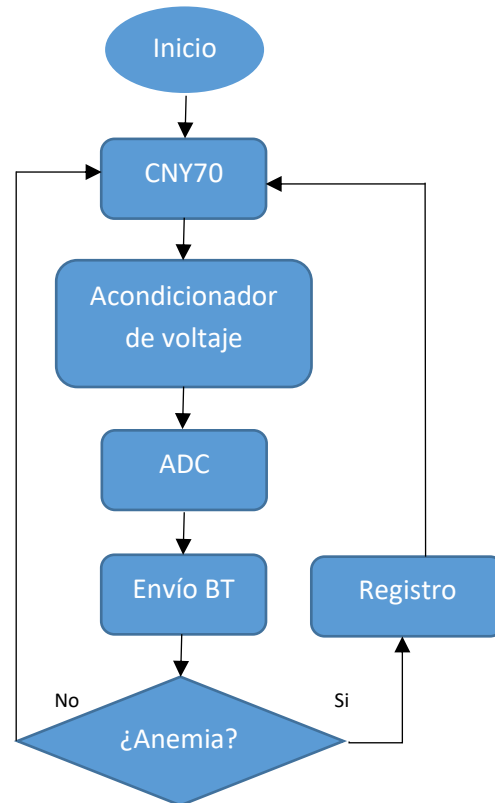


Figura 11 Diagrama de flujo de adquisición de datos

Fuente: Elaboración propia

La etapa de salida de la figura 9 entrega 1.52 volts para tiras reactivas, 1 volts para tira no reactiva y 0.76 volts para aquellas tiras que no han probado. El ADC de la IOIO trabaja a 3.3v y 10 bits de resolución, las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 determinan el valor del umbral requerido para la detección de la anemia por parte de la App.

$$V_p = 3.3 \text{ v} / 1024 = 3.2 \text{ mV} \tag{4}$$

$$\text{ADC}(1.52\text{V}) = 1.52\text{V} / 3.2\text{mV} = 475 \tag{5}$$

$$\text{ADC}(1\text{V}) = 1 / 3.2\text{mV} = 312 \tag{6}$$

$$ADC(0.76V)=0.76/3.2mV=237.5 \quad (7)$$

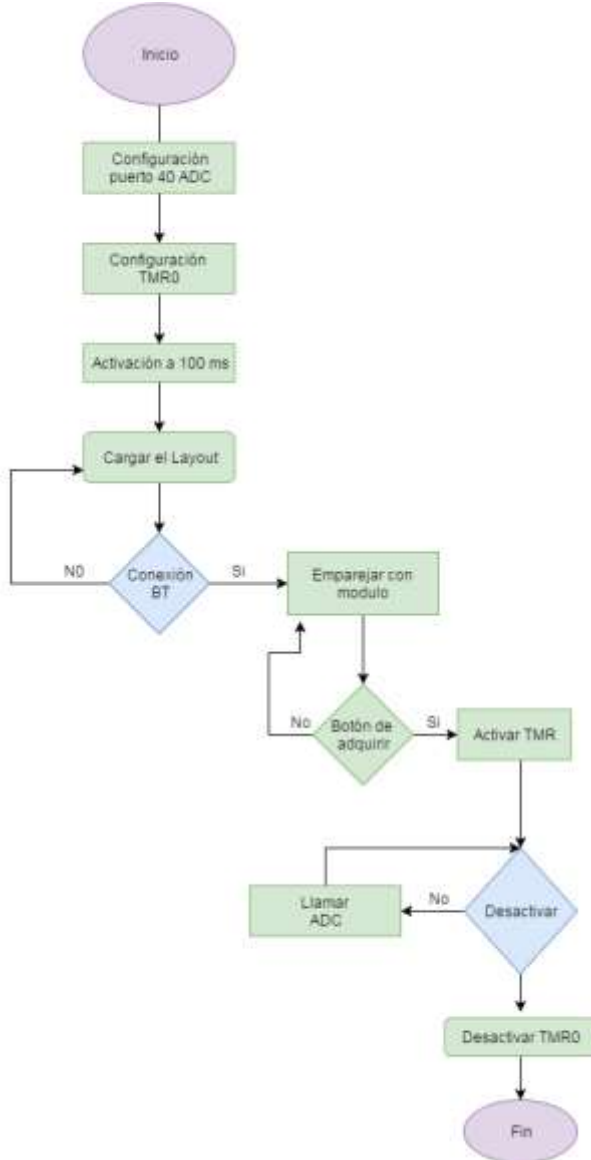


Figura 12 Diagrama de flujo de APP

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se muestra el diagrama mediante el cual se hace la adquisición de datos de estados de anemia, desde el uso del sensor hasta lograr el mensaje que será mostrado en el dispositivo Android.

Algoritmo de control

En las figuras 12 se explica la forma en el que trabaja el algoritmo que usa la App mediante un diagrama de flujo, en la cual se envía la señal obtenida por el sensor y convertida a una señal digital por el OPAMP, para que de esta forma el envío de datos sea más exacta al App.

```

1 'Aquí se describen los atributos del proyectos que se
2 'veran en el dispositivo móvil
3 #Region Project Attributes
15 'Atributos de las actividades
16 #Region Activity Attributes
22 'Estas variables serán declaradas una vez que la
23 'aplicación inicie y serán accesibles desde todos los módulos
24 #Sub Process Global
31 'Estas variables se redeclaran cada vez que se reinicie la
32 'actividad, solo pueden ser accedadas desde este módulo
33 #Sub Global
87 'Creación de la actividad
88 #Sub Activity_Create(firsttime As Boolean)
123 'Acciones que realiza cuando se cierra el programa
124 #Sub Activity_Resume
127 'Acciones que realiza cuando se sale del programa (cambis de App)
128 #Sub Activity_Pause (UserClassed As Boolean)
141 'Subrutina para la conexión del IOIO
142 #Sub togglebutton1_CheckedChange(Checked As Boolean)
166 'Subrutina que maneja una vez que ha sido conectado el IOIO
167 #Sub ioio1_connected(noerror As Boolean)
187 'Temporizador que maneja el reintento de conexión
188 #Sub timer1_tick
210 'Temporizador para chequear el estado del IOIO
211 #Sub timer10_tick
219 'Obtiene el estado de la conexión
220 #Sub Button1_Click
224 'Obtiene información del BT
225 #Sub Button2_Click
245 'Captura el log
246 #Sub logGet_LogGetData(buffer() As Byte, Length As Int)
255 'Busca en el log por el valor dado y lo muestra en la lista
256 #Sub Spinner1_ItemClick (Position As Int, Value As Object)
271 'Prueba la salida digital
272 #Sub togglebutton7_CheckedChange(Checked As Boolean)
287 'salida de led de la prueba digital
288 #Sub led_open(noerror As Boolean, result As Object)
297 'Prueba la entrada analógica
298 #Sub ToggleButton16_CheckedChange(Checked As Boolean)
308 'Abre el pin 40
309 #Sub pin40_open(noerror As Boolean, result As Object)
352 'Termina el sample
353 #Sub sample_done(noerror As Boolean, list1 As List)

```

Figura 13 Implementación de la APP

Fuente: Elaboración propia

La figura 13 muestra la implementación dela APP y las secciones del código comentadas de acuerdo a [16].

Al abrir la interfaz se carga el layout para el usuario, posteriormente se solicita la conexión al dispositivo en hardware empleando temporizadores para medir el tiempo para reintento de conexión, de no estar disponible se envía un mensaje de error al usuario. La aplicación es capaz de emparejar hasta 16 dispositivos distintos.

Una vez emparejados se debe de introducir la tira reactiva al hardware para que el sistema pueda sensarlo, posteriormente el usuario presiona el botón de analizar. Al presionar el botón, se activa un temporizador para poder realizar 30 mediciones continuas y obtener el promedio de las mediciones con el objeto de eliminar falsos positivos. Si se ha detectado anemia, entonces se registra la información en la App, de lo contrario se descarta.

Resultado

La figura 14 muestran el hardware armado sin la tapa con el fin de ver los dispositivos interiores con los que fue necesario contar para realizar el dispositivo, entre los más importantes la placa IOIO OTG, sensor CNY70 y la etapa acondicionadora de señal. En la fig. 14 se tiene el dispositivo encendido para mostrar el funcionamiento de la placa IOIO y sensor, con la utilización de fotografía se puede observar como el sensor esta funcionando ya que la parte emisora muestra una luz.



Figura 14 Sensor y Hardware

Fuente: Elaboración propia

En la fig. 15 se tiene los colores que son utilizados para entregar los resultados de los análisis clínicos de anemia, estos son los que utilizaremos para realizar los registros, de izquierda a derecha se tiene el positivo y negativo.



Figura 15 Colores de las muestras utilizadas

Fuente: Elaboración propia

Para poder realizar los registros fue necesario crear una APP, la cual se muestra en la Fig. 16, en las siguientes figuras se muestran impresiones de pantalla de dicha APP.



Figura 16 Menu App android

Fuente: Elaboración propia

Antes de comenzar a utilizarla se debe conectar vía bluetooth el dispositivo hardware con la APP, en el menú de esta se presiona sobre conectar con dispositivo hasta que aparezca en verde el botón IOIO, como se muestra en la figura 17, si aparece en rojo como en la figura. 18 se debe de volver hacer el proceso hasta tener el resultado deseado.



Figura 17 App sin conexión bluetooth

Fuente: Elaboración propia



Figura 18 App con conexión bluetooth

Fuente: Elaboración propia

Una vez que tenemos una conexión normal, podemos empezar con el registro, simplemente presionamos sobre iniciar detección y automáticamente cambiará a leyendo datos, pidiéndonos que insertemos la prueba sobre el sensor.



Figura 19 Registro de anemia negativo

Fuente: Elaboración propia



Figura 20 Registro de anemia positivo

Fuente: Elaboración propia

Si la prueba es positiva entonces mostrará en pantalla “Registro de anemia positivo” si es negativo entonces mostrará “Registro de anemia negativo” Figura 19 y 20.

Agradecimiento

El presente trabajo de investigación fue desarrollado con el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, en el departamento de ingeniería en sistemas computacionales con el cuerpo de investigación Sistemas de información para administrar procesos bajo la LGCA Domótica y Robótica

Conclusiones

Con base en los cálculos obtenidos en el sensor, se determinó que para el registro de colores de una anemia positiva a otra negativa basada en color, los cuales son obtenidos por medio de análisis clínicos y registrados en color, es decir una anemia positiva tiene un color de registro naranja y una negativa un color morado, con base en estos colores y el sensor de color se registró un voltaje de 0.75 v para color positivo mientras que para un resultado negativo el sensor entrega un voltaje de 0.5v basado en el convertidor de señal de voltaje o corriente (ADO) de la placa IOIO OTG es a 10bits ya que se trabaja con 3,3 V, registrando los datos en una APP instalada en un dispositivo android.

La tabla 1 muestra la relación de 30 pruebas distintas con diversos pacientes, sin embargo la detección y registro de los estados de anemia esta ligada directamente a la efectividad de las tiras reactivas y su uso sin errores gruesos.

La colocación de la tira reactiva para su detección también juega un papel importante, por lo que fue necesario imprimir en 3D un gabinete para mantener la distancia entre el sensor y la tira reactiva a 3 milímetros de acuerdo a la hoja de datos del CNY70.

Referencias

- [1] María Paulal Hernández et al, “*Prevención, diagnóstico y tratamiento de la anemia por deficiencia de Hierro en Niños y adultos*”, Consejo de salubridad general, IMSS, ISSTE, 2010
- [2] José Carlos Jaime Pérez, Dr. David Gómez Almaguer, “*Hematología La sangre y sus enfermedades.*” Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01376, México, D.F: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. De C.V, 2009
- [3] Julio Hernández Moreno, “*Anemia todas las respuestas*”. Editorial Océano AMbar, Ciudad de México, D.F, 2012
- [4] National Heart, Lung, and blood institute. , “*What Is Anemia?* “, Department of Health and Human Services, 2015
- [5] EKF, “*Diagnostics for life.*”, Hemo Control Hemoglobin Analyzer. 2017,
- [6] Laura Tardón, “*Un móvil para diagnosticar anemia*”, Journal of Materials Chemistry Sitio, 2016
- [7] Angela Bernardo, “*Test para detectar la anemia basado en la impresión 3D*”, Yale University, 2015
- [8] OrSense “*Sensor no invasivo de hemoglobina ayuda en detección de anemia*”. Equipo editorial de HospiMedica, 2012.
- [9] Ramón Pallás Areny, “*Sensores acondicionadores de señal*”. Editorial Marcombo, México D.F., 2012
- [10] Antonio Creus, “*Instrumentación industrial*”, Editorial Marcombo, S.A., Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor, 2012
- [11] Mercedes Granda Miguel Elena Mediavilla Bolado, “*Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal.*” Textos Universitarios Cantabria, España, 2010.
- [12] CNYT70, Reflective Optical Sensor with Transistor Output, VISHAY Semiconductors
- [13] LM358, Reflective Optical Sensor with Transistor Output, VISHAY Semiconductors
- [14] Monk S., “*Making Android Accessories with IOIO: going mobile with sensors, and robots*”, Editorial O’reilly, 1ra edición, 2012.
- [15] Milette Greg, “*Professional Android Sensor Programming*”, Editorial wroc, 2010.
- [16] Tomas Girones, “*El gran libro de Android*”, Editorial Alfa Omega, 2011