

# Gluko: Sistema de Medición de Glucosa en Sangre con Arduino UNO

*Martin Artime, Pablo Becerra, Leonel Menendez, Hernan Ruttimann,*

*Claudio Sacella, Lautaro Scarpione, Nicolás Vespoli*

*Universidad Nacional de La Matanza*

*{martin.artime, pablo.d.becerra94, lem.unlam, ruttimannh, cdsacella, lautaro.scarpione, vespoli.nicolas94}@gmail.com*

## Resumen

*El presente trabajo se enfoca en el diseño de un sistema de medición de glucosa en sangre para ser utilizado por personas diabéticas, y poder así controlar de una forma más sencilla y amigable el nivel de glucosa en sangre. Este sistema consta de una aplicación mobile con diferentes perfiles. Para la medición de glucosa se cuenta con un dispositivo inalámbrico conformado por un Arduino UNO y un shield de código abierto que será el encargado de tomar la medición de glucosa utilizando tiras reactivas de un dispositivo comercial. A su vez se está investigando el desarrollo de un prototipo de medición de glucosa no invasivo utilizando la técnica de espectroscopía.*

## Introducción

Desde 1990 hasta el día de hoy, se ha cuadruplicado el número de casos de diabetes en todo el mundo, pasando a un total de 422 millones [1], lo cual representa que actualmente 1 de cada 11 personas sufre de diabetes, y según la Organización Mundial de la Salud, será la séptima causa de muerte en el año 2030 [2]. Además de estas cifras que aumentan constantemente, uno de los principales problemas que poseen las personas diabéticas es que no controlan su nivel de glucosa de forma regular y constante debido a que los dispositivos actuales solo dan como resultado un valor de glucosa en sangre delegando la responsabilidad al paciente para gestionar dichos valores de forma manual y sin tener en cuenta otros factores importantes como la alimentación, medicación y ejercitación.

Debido a esto, surge la necesidad de desarrollar un sistema de medición de glucosa en sangre que brinde al usuario una serie de servicios y facilidades para que pueda controlar su nivel de glucosa de una manera más cómoda y fácil.

Para esto Gluko cuenta con una aplicación *mobile* desde la cual el usuario podrá solicitar una medición de glucosa, y mediante el dispositivo hardware realizar la medición propiamente dicha utilizando una tira reactiva y la aplicación de una gota de sangre. Luego el sistema

calculará su nivel de glucosa y el resultado será enviado mediante Bluetooth a la aplicación *mobile* para su posterior visualización y guardado.

Al mismo tiempo, se está investigando la espectroscopía por absorción como método alternativo y no invasivo para la medición de glucosa para contrarrestar las problemáticas de la medición invasiva, entre las cuales se encuentran el alto costo de las tiras reactivas, el dolor generado al pincharse y las posibles infecciones que estas heridas pueden llegar a generar.

## Estructura del sistema

Los componentes que conforman el sistema son los siguientes:

- Una aplicación *mobile* que posee tres perfiles:
  - Paciente
  - Allegado
  - Médico
- Una aplicación web para el médico, en la que tendrá una gama de funcionalidades más amplia que las de la aplicación *mobile*.
- Un dispositivo que está conformado por un *shield* de Arduino el cual será el encargado de medir la glucosa en sangre y un Arduino UNO que es el encargado de la lógica y cálculos de glucosa, como así también de la transmisión de datos a la aplicación *mobile*.
- Una tarjeta de realidad aumentada, con la cual los médicos, al leerla, podrán visualizar las últimas 50 mediciones del paciente. Esto es beneficioso para que, en casos de emergencia, cualquier médico que utilice el sistema Gluko pueda conocer el estado del paciente, sin la necesidad de estar vinculado.

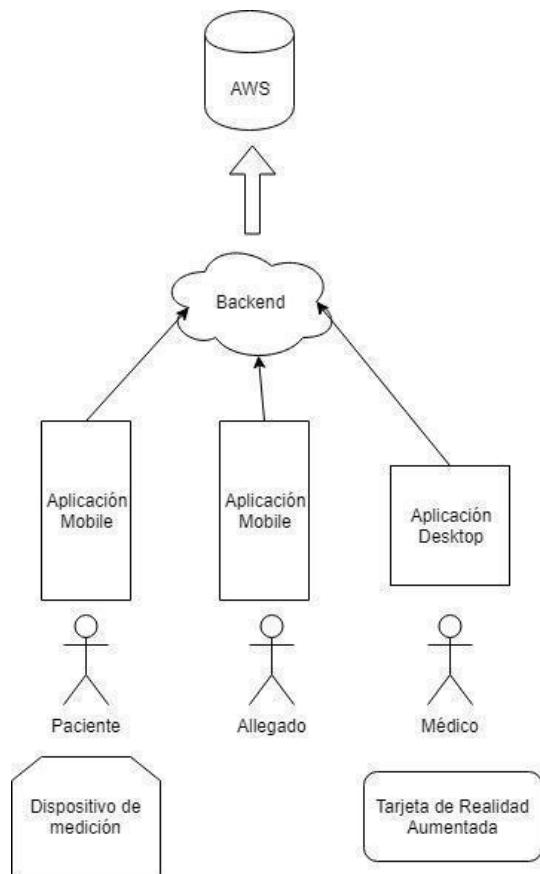


Figura 1. Arquitectura del sistema Gluko.

Luego, para la persistencia de los datos se utilizan los servicios provistos por AWS (Amazon Web Services).

Con todos estos componentes queda conformada la arquitectura del sistema Gluko como se puede apreciar en la **Figura 1**.

## Componentes del sistema

### Aplicación web

#### Médico

Las funcionalidades que podrá hacer el médico son:

- Registrarse y vincularse con sus pacientes
- Visualizar las mediciones de sus pacientes, indicadas con un color determinado dependiendo si son altas, normales o bajas, y el día y horario de las mismas.
- Exportar dichas mediciones a una planilla de cálculo para un mejor manejo de las mismas.
- Cargar los medicamentos que le recetó al paciente.
- Realizar informes acerca del paciente y guardarlos para generar una historia clínica,
- Exportar dicha historia a un archivo PDF.
- Ver la hemoglobina glicosilada, la cual es la media de los niveles de glucosa en los últimos 3 meses [5].

- Cargar pacientes que no utilicen el sistema (pacientes externos) para tener un control centralizado de todos sus pacientes.
- Cargar mediciones de los pacientes externos.
- Ver reportes estadísticos y anónimos de todos los pacientes registrados en Gluko que servirán para analizar el comportamiento de la enfermedad.

Los reportes serán los siguientes:

- Gráficos de mediciones promedio según edad
- Gráficos de mediciones promedio según sexo
- Gráficos de mediciones promedio según tipo de diabetes.

### Aplicación mobile

#### Paciente

El usuario de tipo paciente podrá:

- Ingresar datos personales para crear su perfil en la aplicación.
- Solicitar una medición de glucosa.
- Ver distintos reportes de sus mediciones filtrando por fechas, en los cuales se mostrará día, hora y momento de medición (antes del desayuno, después del desayuno, antes del almuerzo, después del almuerzo, antes de la merienda, después de la merienda, antes de la cena, después de la cena o no aplica).
- Exportar los reportes anteriormente mencionados a una planilla de cálculo.
- Vincularse con sus allegados.
- Configurar un contacto de emergencia en caso de irregularidades en su medición, para que de forma automática se le comunique de esto mediante un sms.
- Ingresar información acerca de sus actividades físicas, indicando el tipo de actividad, la duración de la misma, y una observación en el caso que corresponda.
- Ingresar qué alimentos ingirió, indicando la cantidad de comida (en gramos) y el horario.
- Ingresar la medicación que toma regularmente.
- Enviar una solicitud de vinculación a su médico de cabecera y enviar mensajes, que el médico podrá ver a través de la aplicación web.
- Tener a su disposición un recomendador de comidas en base al nivel de glucemia y horario actual. Esta recomendación incluirá 10 alimentos, con una foto, índice glucémico y una breve descripción.
- Imprimir una tarjeta que será leída con Realidad Aumentada para casos de emergencia, que tendrá como datos visibles, el nombre, tipo de diabetes, altura y peso del paciente.

#### Allegado

El usuario de tipo allegado podrá:

- Registrarse y vincularse con pacientes.

- Ser alertado cuando el nivel de glucosa del paciente sea irregular, como el caso de hipoglucemia [3] o hiperglucemia [4].
  - Ver las mediciones de los pacientes
  - Ver ejercicios realizados por los pacientes
  - Ver alimentos ingeridos por los pacientes
  - Ver inyecciones de insulina de los pacientes
  - Ver historial de ingestas de medicamentos
  - Tener acceso a una sección exclusiva con información de que es y cómo tratar la diabetes.
  - Ser alertado luego de que pasada una hora del horario en que el paciente debería haber tomar su medicación, el mismo no la haya cargado.

## Médico

En la aplicación el médico puede realizar todo lo anteriormente mencionado en el apartado web (exceptuando la carga de pacientes externos y mediciones).

Sumado a esto, en dicha aplicación podrá leer con realidad aumentada la tarjeta personal de los pacientes en la que verá las últimas 50 mediciones.

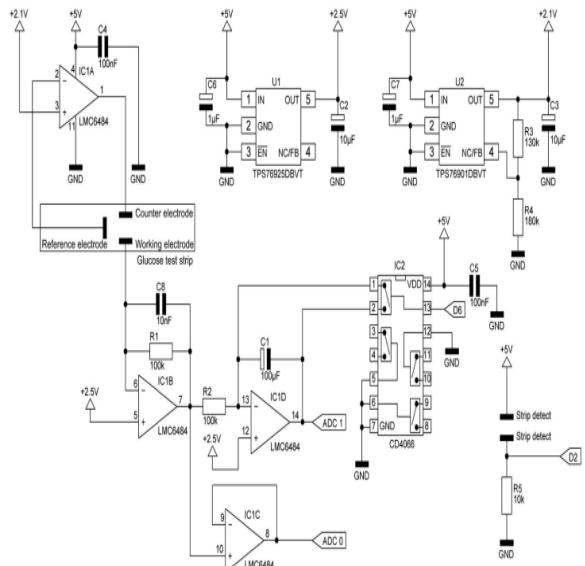
## Dispositivo de medición

El desarrollo del dispositivo se basó en un *shield* [6] de Arduino UNO de código abierto [7] que utiliza tiras reactivas [8]. El principio de funcionamiento de las tiras se debe a la reacción química que se produce entre la enzima de la tira reactiva y una gota de sangre [9].



**Figura 2. Tira reactiva ONE TOUCH Ultra.**

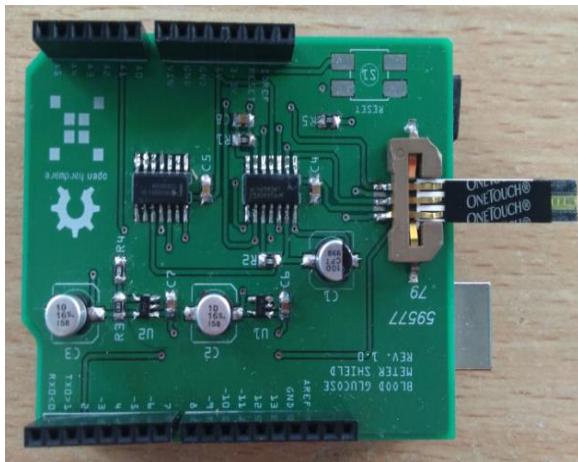
Cuando ambos componentes entran en contacto, la reacción química produce una pequeña corriente inofensiva para el usuario y que es sensada por el dispositivo, mediante un conector especial que detecta los electrodos de la tira reactiva (ver **Figura 2**). Luego esta corriente es amplificada y mapeada en tensión mediante un amplificador de transimpedancia. Esta tensión es transmitida al Arduino UNO, donde se realizará el cálculo de glucosa en sangre.



**Figura 3. Circuito del shield de Arduino UNO.**

Con respecto al circuito del *shield* de Arduino UNO (ver **Figura 3**), el mismo está conformado por los siguientes componentes:

- 1 *Shield* PCB
  - 1 conector de tira reactiva
  - 1 TPS76925DBVT, sot23-5
  - 1 TPS76901DBVT, sot23-5
  - 1 LMC6484, SOIC-14
  - 1 CD4066, SOIC-14
  - 1 SMD capacitor electrolítico, 16 Volts, 100uF, 20%, 6.3 x 5.3 mm
  - 2 SMD capacitores electrolíticos, 16 Volts, 10uF, 20%, 6.3 x 5.3 mm
  - 2 capacitores de cerámica, 50 Volts, 1uF, 20%, 0805
  - 2 capacitores de cerámica, 50 Volts, 100nF, 20%, 0805
  - 1 capacitor de cerámica, 50 Volts, 10nF, 20%, 0805
  - 2 resistencias SMD, 100k, 0.125W, 1%, 0805
  - 1 resistencia, 130k, 0.125W, 1%, 0805
  - 1 resistencia, 180k, 0.125W, 1%, 0805
  - 1 resistencia, 10k, 0.125W, 1%, 0805



**Figura 4. Shield montado sobre Arduino UNO.**

El conector original solamente es fabricado por la empresa Switchtech, cuyo distribuidor oficial es Ample Technologies y está ubicado en Taiwan. Dada esta situación, se utilizó el conector del glucómetro comercial de la misma marca de las tiras reactivas. La gran diferencia entre estos 2 conectores es la cantidad de contactos metálicos que dispone.

### Calibración del dispositivo

El cálculo de la glucosa en sangre se realiza mediante una regresión lineal, que es calculada mediante una solución química con distintos niveles de glucosa que simula ser una solución de control, y que es utilizada normalmente en los glucómetros comerciales para comprobar el correcto funcionamiento del mismo y de las tiras reactivas. La solución está compuesta por:

- 91 ml de agua desionizada
- 8 gr de polivinilpirrolidona
- 0.5 gr benzoato de sodio
- 0.5 gr de sal disódica
- Glucosa en estado puro
- 1 pizca de carmín de índigo.

El procedimiento consiste en mezclar el agua desionizada, la polivinilpirrolidona, el benzoato de sodio y la sal disódica. Con respecto a este último componente, como no se disuelve a temperatura ambiente, se debe calentar aproximadamente a una temperatura de 50 grados centígrados y una vez que se enfriá, se debe agregar a la solución. Luego se debe añadir a la misma 1 pizca de carmín de índigo para darle un color azul.

```

float threshold = 2.8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop() {
  float current_voltage = analogRead(0) * (5.0 /
1023.0);

  float integral_voltage = analogRead(1) * (5.0 /
1023.0);

  if(current_voltage > threshold) {
    digitalWrite(6, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(6, LOW);
    delay(5000);
    current_voltage = analogRead(0) * (5.0 /
1023.0);

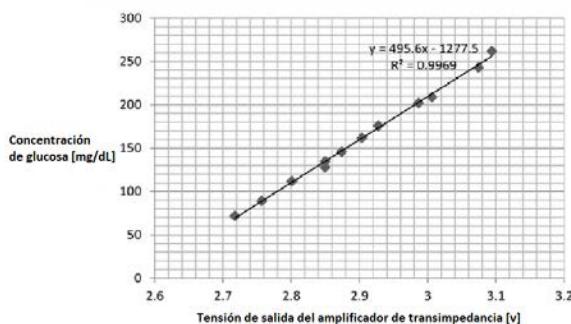
    integral_voltage = analogRead(1) * (5.0 /
1023.0);

    Serial.print("Current to voltage: ");
    Serial.println(current_voltage,5);
    Serial.print("Integral to voltage: ");
    Serial.println(integral_voltage,5);
    while(1);
  }
}

```

**Figura 5. Código fuente de calibración**

Una vez realizada la solución, se debe ir agregando de forma progresiva distintas cantidades de glucosa, empezando desde 100 mg hasta llegar a 500 mg, e ir midiendo cuánta tensión hay en la salida del amplificador de transimpedancia (ver **Figura 5**). Luego mediante un glucómetro comercial de la misma marca de las tiras reactivas se debe medir el nivel de glucosa que indica el mismo para así poder tener una tupla de tensión/nivel de glucosa y así poder realizar la regresión lineal con estos datos.



**Figura 6. Concentración de glucosa en función de la tensión de salida.**

La relación entre la tensión de salida del amplificador y la concentración de glucosa en la solución de control es directamente proporcional como se aprecia en la **Figura 6**. Con estos datos se realizó una regresión lineal que es la encargada del cálculo de glucosa en sangre.

### Alimentación del dispositivo

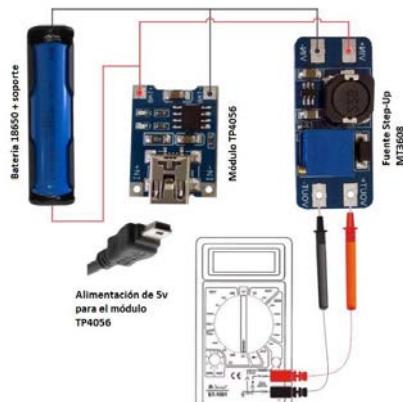
Con respecto a la alimentación del dispositivo, se tuvo que tener en cuenta que, dependiendo la tensión de entrada al Arduino, distinta era la tensión de salida que este iba a poder proporcionar en sus conectores, los cuales están directamente conectados con el *shield* y con el amplificador de transimpedancia, lo que influye directamente en la ecuación de la regresión lineal.

Por otro lado, se necesitaban cumplir con 3 requerimientos indispensables.

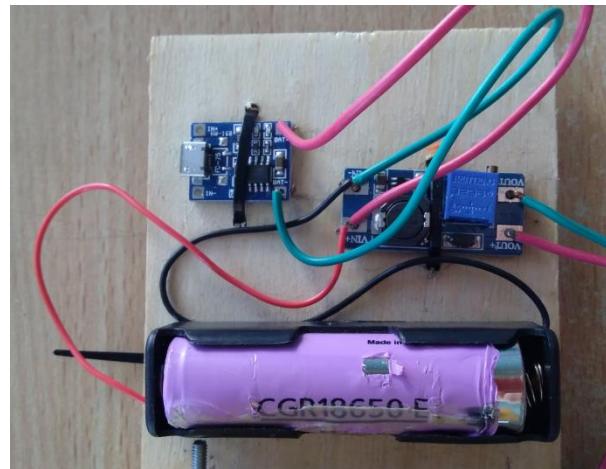
Primero, que fuera de un tamaño reducido, para así no agrandar el tamaño completo del dispositivo, ya que sería incómodo su transporte.

Como segundo requerimiento, se necesitaba que el dispositivo fuera inalámbrico, así se podrían realizar mediciones sin tener que contar con una fuente de alimentación externa como un tomacorrientes.

Y, por último, al ser inalámbrico, se tiene que alimentar con algún tipo de batería o pila, pero dados los altos costos que conlleva el cambio de estas fuentes cuando se agotan, se necesitaba que el dispositivo sea recargable.



**Figura 7. Esquema del circuito de alimentación.**



**Figura 8. Circuito de alimentación utilizado.**

Por lo mencionado anteriormente, el circuito consta de una batería recargable de Ion-Litio 18650, la cual tiene un voltaje nominal de 3.7 v y una capacidad de corriente de 1800 mAh, que es más que suficiente para alimentar a todo el circuito. Para cargarla se utiliza el módulo cargador TP4056, que tiene una tensión de carga completa de 4,2v y necesita una tensión de entrada entre 4,5 v a 5,5 v, la cual es suministrada por un cargador de celular con entrada micro USB. Luego, se utilizó una fuente step up MT3608, para incrementar la tensión de 3,7 v de la batería a 7 v, y con esta tensión alimentar tanto al Arduino UNO como al *shield* mediante la entrada jack (ver **Figura 7** y **Figura 8**).

### Resultados del dispositivo invasivo

Actualmente el dispositivo se encuentra en fase de pruebas, ya que se realizó la solución de control y se obtuvo la regresión lineal que permite calcular los valores de la medición.

**Tabla 1. Comparación de mediciones invasivas**

Dispositivo invasivo	Glucómetro comercial	Porcentaje de error
93	107	13,08%
100	95	5,00%
85	91	6,59%

Hasta el momento las pruebas arrojan resultados favorables, ya que de acuerdo con la norma ISO 15197 [10] el 95% de los valores medidos de glucosa deben estar comprendidos dentro de un rango de error de 15 mg/dL respecto al promedio de las mediciones obtenidas con un procedimiento de referencia cuando se trate de concentraciones de glucosa en sangre inferiores a 100 mg/dL. En el caso de concentraciones iguales o superiores a 100 mg/dL, el margen de error aceptable es porcentual y se establece en 15%.

Obsérvese que el coeficiente de determinación de la recta es de aproximadamente 0.99, lo que demuestra una gran fiabilidad (Ver **Figura 6**)

## Investigación de mediciones no invasivas

Uno de los principales problemas de las mediciones invasivas es el dolor que genera pincharse como también las posibles infecciones que estas heridas pueden acarrear. Además de esto, para las mediciones invasivas es necesario el uso de tiras reactivas, que varían dependiendo la marca del glucómetro, y poseen un alto costo. Dado esto, se comenzó, en paralelo, con la investigación de mediciones de glucosa de manera no invasiva [11].

En la actualidad no hay ningún dispositivo comercial de estas características, y existen diversos enfoques y técnicas que se están estudiando. Se hizo foco en una en particular, la espectroscopia, que es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Entre las distintas espectroscopias, hay 2 que se destacan, que son la MIR (*mid infrared*) y NIR (*near infrared*) [12,13].



Figura 9. Espectro electromagnético.

La espectroscopia MIR se inicia en la banda de los 2500 nm hasta los 50000 nm aproximadamente (ver **Figura 9**). Una de las características principales es que tiene poca dispersión de la luz, lo que la hace una buena candidata para la espectroscopia por reflexión. Pero una de sus principales limitantes es la poca penetración en la piel que posee y que el agua tiene alta absorción en esas longitudes de onda.

Con respecto a la espectroscopia NIR, la misma trabaja en la banda de los 750 nm hasta los 2500 nm, y una de las ventajas que posee NIR es que puede alcanzar hasta unos pocos centímetros de penetración en la piel con la potencia adecuada, con lo cual se puede utilizar la espectroscopia por absorción.

Dadas las características de ambas tecnologías, se optó por investigar la espectroscopia NIR por absorción, ya que la espectroscopia MIR tiene 2 limitantes muy importantes, que son la poca penetración en la piel y el gran nivel de absorción del agua (que es el principal componente de la sangre) en esas longitudes de onda.

## Dispositivo no invasivo

Se desarrolló un prototipo que consta de 4 barreras infrarrojas, formadas por 1 par de leds NIR y fotodiodos correspondientes a esas longitudes de onda. Las longitudes de los leds que se utilizaron fueron de 640 nm, 740 nm, 850 nm y 940 nm, ya que estas son longitudes correspondientes a la banda NIR. Entre led y fotodiodo se dejó un espacio de

2 cm para que se pueda colocar el dedo índice, y se hizo una separación entre barreras de 1 cm.

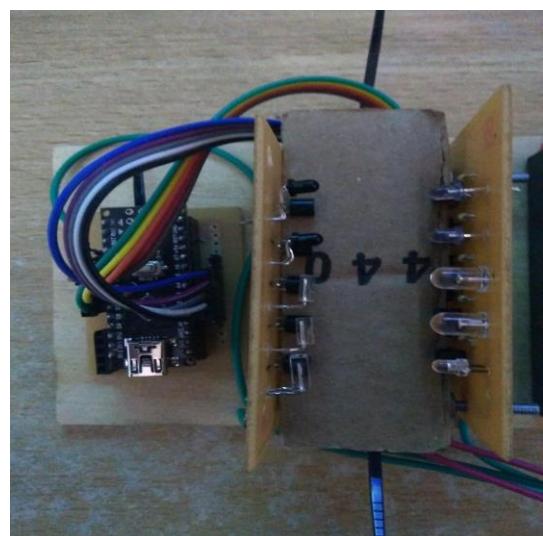


Figura 10. Prototipo no invasivo.

Este dispositivo consiste en que, al colocar el dedo entre los leds y fotodiodos, la barrera se corta y se obtiene un valor de tensión determinado. El objetivo de la investigación es obtener una relación lineal entre la glucosa en sangre y la tensión obtenida a la salida de los fotodiodos, y así poder realizar una regresión lineal. Para medir esta tensión se dispuso de un Arduino NANO, cuya principal función es leer las entradas analógicas de tensión y realizar un promedio entre las  $n$  mediciones realizadas. Para esto, se hizo una multiplexación de los 4 leds para que solamente 1 barrera esté activa en un mismo momento, y así no tener mediciones erróneas por las barreras vecinas (ver **Figura 10**).

Una vez realizado el promedio de las 4 barreras, el Arduino NANO envía las tensiones medidas a la aplicación *mobile* mediante Bluetooth. Luego se procede a realizar una medición invasiva con un glucómetro comercial, y de la misma forma que la calibración del dispositivo invasivo explicada anteriormente, se obtiene una tupla de tensión/nivel de glucosa para cada una de las tensiones correspondientes a cada led. Con cada una de estas tuplas se realizan las 4 regresiones lineales.

Con las regresiones lineales ya realizadas, el nivel de glucosa en sangre será el resultado de reemplazar la tensión de cada barrera en su recta correspondiente y realizar un promedio de los 4 resultados parciales.

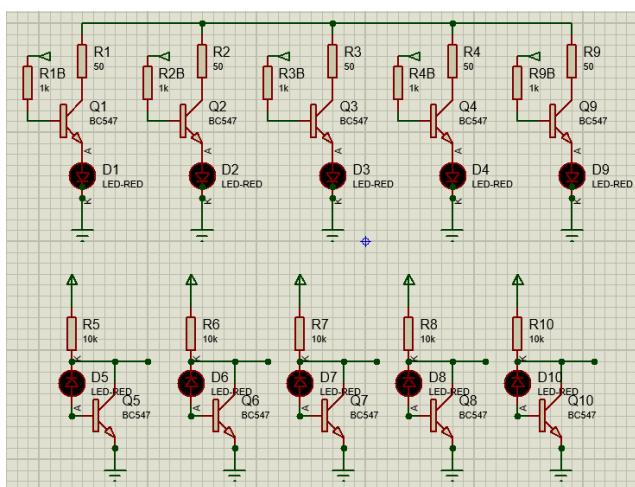


Figura 11. Circuito del prototipo no invasivo.

Los componentes utilizados en el circuito del prototipo no invasivo fueron: (ver Figura 11):

- 1 led MTE5063C5-UR
- 1 led MTE1074N1-R-
- 1 led HIR8323/C16
- 2 led IR204
- 1 fotodiodo PDB-C156
- 2 fotodiodos OP954
- 2 fotodiodo PD204-6B
- 5 resistencias de 10k ohm
- 5 resistencias de 1k ohms
- 5 resistencias de 50 ohms
- 10 transistores BC54
- 1 Arduino NANO

Cabe destacar que no se pudo conseguir un fotodiodo con una longitud de onda correspondiente a la del LED de 740 nm, por lo tanto, se utilizó el fotodiodo de 850 nm. Además de las 4 barreras principales, se empleó una 5ta para detectar el correcto posicionamiento del dedo, así el circuito no comenzará a sensar hasta que esta barrera este cortada. Los transistores BC547 tienen 2 funciones específicas:

Por un lado, para los leds, multiplexan las barreras haciendo que el transistor trabaje en los estados de saturación y corte, manteniendo siempre 1 saturado durante un intervalo de tiempo y todos los demás cortados.

Por otro lado, para los fotodiodos, los transistores cumplen la función de transformar a los fotodiodos en fototransistores, ya que la diferencia de tensión entre un fotodiodo excitado con luz y sin luz es muy chica. Por lo tanto, con los transistores se amplifica esta tensión, que luego es sensada por el Arduino NANO.

## Resultados del dispositivo no invasivo

Se realizó la calibración con 3 personas, las cuales 2 son no diabéticas y una es diabética del tipo 2. La calibración consiste en realizar una medición invasiva con un glucómetro comercial durante todo un día, en distintos

momentos del mismo. Se deben realizar 9 mediciones, las cuales son:

- Antes del desayuno
- Despues del desayuno
- Antes del almuerzo
- Despues del almuerzo
- Antes de la merienda
- Despues de la merienda
- Antes de la cena
- Despues de la cena
- Madrugada

Durante la madrugada la glucemia alcanza su valor más bajo en el cuerpo humano. Con cada una de estas mediciones, las personas deben medirse con el dispositivo no invasivo, y se deben guardar los valores de tensión que median los leds NIRs. Luego con estos datos se procede a realizar las regresiones lineales.



Figura 12. Resultados de mediciones Paciente 1.

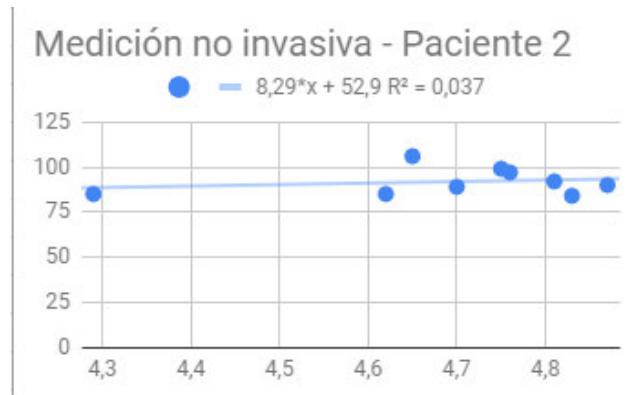


Figura 13. Resultados de mediciones Paciente 2.

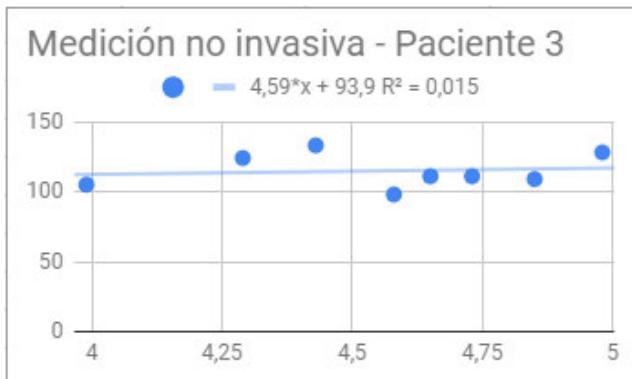


Figura 14. Resultados de mediciones Paciente 3.

Como se observa en la **Figura 12**, **Figura 13** y **Figura 14**, las regresiones lineales que se realizaron dieron un coeficiente de determinación muy bajo, con lo que se da a entender que la relación entre la glucosa en sangre y la tensión obtenida no es lineal [14]. Otro punto importante es que se obtuvieron 2 pendientes distintas, una positiva (paciente 2 y 3) y otra negativa (paciente 1), con lo cual es otro indicio de una relación no lineal. Esta es una de las posibilidades que se plantearon, la otra posibilidad es que estén faltando otras variables a tener en cuenta para el cálculo de la glucosa, como por ejemplo el pH, el oxígeno en sangre y la dispersión de la luz en contacto con el cuerpo, entre otras.

Tabla 2. Comparación de mediciones no invasivas

Dispositivo no invasivo	Glucómetro invasivo comercial	Porcentaje de error
93	90	3,33%
91	113	19,46%
117	116	0,86%
85	114	34,12%
94	100	6,00%
94	108	12,97%

## Discusión

Con respecto al dispositivo invasivo, se están implementando mejoras en el sistema de alimentación, ya que actualmente el dispositivo no dispone de ningún medio para informar acerca del estado de la batería o del estado de conexión con la aplicación *mobile*. Así que se están agregando una serie de LEDs indicadores para diferenciar los distintos estados del dispositivo de medición.

Si bien no se realizaron una cantidad significativa de pruebas aún, se tienen altas expectativas de éxito debido al

buen coeficiente de determinación de la regresión lineal ( $R^2$  cuadrado), ya que es muy próximo a 0.99, lo que indica una fuerte relación lineal entre la concentración de glucosa y la tensión de salida del amplificador de transimpedancia.

Con respecto al dispositivo no invasivo, se continúa la investigación la espectroscopía por reflexión, la cual estudia el comportamiento de los haces de luz que son reflejados por el objeto a analizar.

Otra posible aproximación sería tener en cuenta más variables como se mencionaron anteriormente e intentar realizar un modelo de inteligencia artificial [15] para poder predecir el nivel de glucosa de los pacientes.

## Conclusión

El desarrollo de este proyecto se basó en construir un sistema de control de glucosa en sangre que sea práctico y sencillo de usar, para poder facilitar la medición de la glucosa en las personas con diabetes y brindar una serie de funcionalidades que actualmente no se encuentran en el mercado.

Con esto se busca promover el cuidado de la diabetes, no solo manteniendo un control más detallado de las mediciones rutinarias, si no a su vez, fomentando el cuidado por medio de la realización de actividades físicas y un control en las comidas, como también en brindar mayor información a las personas. Esto facilitará el día a día del paciente, ya que el sistema le permitirá organizar todo esto, como también contactarse con sus allegados y su médico.

Este proyecto también intenta mejorar el proceso que conlleva la medición de la glucosa en sangre. Es por esto que se está investigando el desarrollo de un dispositivo de medición no invasivo. Ya que con este, los pacientes que encuentren estresante o doloroso la situación de medirse, podrán tener una alternativa que los estimule a controlarse más rigurosamente. Esto se debe a que podrán realizarlo sin la necesidad de extraerse sangre. Podrán medirse de una manera rápida y sencilla, obteniendo una sensación más positiva, lo cual motivará al paciente a llevar un mejor control de su condición.

## Agradecimientos

Se agradece a los profesores Alejandra María de los Ríos, Graciela Rosana Garrido, Alfredo Amato, Daniel Leiva como así a todos los demás profesores de la cátedra de Química del departamento de Ingeniería de la UNLaM que contribuyeron al proyecto realizando las soluciones de control para la calibración del dispositivo invasivo, ya que sin ellos no hubiera sido posible el desarrollo de la misma. También queríamos agradecer a la doctora Juana Szurpik por su buena predisposición, y aportar diferentes materiales bibliográficos y dispositivos que ayudaron a realizar el proyecto de la forma mejor forma posible.

## Referencias

- [1] Información de la diabetes provista por la OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>

[2] Mathers CD, Loncar D., "Projections of Global Mortality and Burden of Disease from 2002 to 2030"; <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.0030442>

[3] Información sobre hipoglucemia en la diabetes: [https://www.niddk.nih.gov/-/media/Files/Diabetes/hypoglycemia\\_508.pdf](https://www.niddk.nih.gov/-/media/Files/Diabetes/hypoglycemia_508.pdf)

[4] Información sobre hiperglucemia en la diabetes: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430900/>

[5] Uso de hemoglobina glicosilada en el diagnóstico de la diabetes: [https://www.who.int/diabetes/publications/report-hb1c\\_2011.pdf](https://www.who.int/diabetes/publications/report-hb1c_2011.pdf)

[6] Shield de Arduino: <http://arduino.cl/que-es-un-shield/>

[7] Marcus Bindhammer, "Open source Arduino blood glucose meter shield": <https://hackaday.io/project/11719-open-source-arduino-blood-glucose-meter-shield>

[8] Tiras reactivas ONE TOUCH Ultra: <https://www.onetouch.com/products/accessories/onetouch-ultra-test-strips>

[9] Norma ISO 15197:2015 <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15197:ed-2:v1:en>

[10] Informacion de tiras reactivas: <https://www.fisterra.com/Salud/3proceDT/glucometros2.asp>

[11] Wilbert Villena Gonzales, Ahmed Toaha Mobashsher, Amin Abbosh, "The Progress of Glucose Monitoring—A Review of Invasive to Minimally and Non-Invasive Techniques, Devices and Sensors": <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6412701>

[12] Neda Jahangiri, Alireza Bahrampour, Majid Taraz, "Non-invasive Optical Techniques for determination of blood Glucose levels:A Review Article"

[13] Chi-Fuk So, Kup-Sze Choi, Thomas KS Wong, Joanne WY Chung, "Recent advances in noninvasive glucose monitoring"

[14] Coeficiente de determinación en regresiones lineales: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>

[15] Yosef Segman, "Device and Method for Noninvasive Glucose Assessment"