

# **PROTOTIPO DE MONITOREO CARDIACO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS APLICANDO IOT EN LA PLATAFORMA PARTICLE PHOTON**

*PROTOTYPE OF CARDIAC MONITORING AND DETECTION OF FALLS APPLYING IOT IN THE PARTICLE PHOTON PLATFORM*

**Octavio Enrique Ávila Mexicano**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
*tavo.\_22@hotmail.com*

**Aldrin Barreto Flores**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
*aldrin.barreto@correo.buap.mx*

**Verónica Edith Bautista López**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
*vbautista@cs.buap.mx*

**Salvador Eugenio Ayala Raggi**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
*saraggi@ece.buap.mx*

## **Resumen**

El presente artículo da a conocer las características y el funcionamiento de un prototipo implementado en la plataforma Particle Photon, el cual, mediante un giroscopio y un sensor de señales cardiacas, permita conocer algunos parámetros físicos que ayuden a determinar y al mismo tiempo alertar sobre posibles situaciones de riesgo en las que se pueda encontrar la persona que utiliza el dispositivo. Las pruebas realizadas demuestran que el prototipo permite conocer de manera confiable el estado de la persona que lo porta mediante el análisis y procesamiento conjunto de las señales medidas, así como identificar algunos patrones de riesgo que permitan alertar a los familiares del usuario. En las pruebas realizadas con el prototipo se contó con la presencia de una enfermera quien asesoró sobre aspectos importantes a considerar al momento de obtener e interpretar un electrocardiograma y al mismo tiempo dio su opinión profesional sobre la importancia de estos dispositivos como sistemas de alerta tanto para personas

de la tercera edad como para personas que sufren alguna condición médica, vulnerables a sufrir caídas o alteraciones del corazón.

**Palabra(s) Clave:** Monitoreo cardiaco, Detección de caídas, Particle Photon.

## **Abstract**

*The present article discloses the characteristics and the operation of a prototype implemented in the Particle Photon platform, which through a gyroscope and a sensor of cardiac signals, allows to know some physical parameters that help to determine and at the same time alert about possible situations of risk in which the person using the device can be found. The tests carried out show that the prototype allows to know in a reliable way the state of the person who carries it through the analysis and joint processing of the measured signals, as well as to identify some risk patterns that allow alerting the family members of the user. The tests carried out with the prototype included the presence of a nurse who advised on important aspects to consider when obtaining and interpreting an electrocardiogram and at the same time gave his professional opinion on the importance of these devices as warning systems for both elderly people as well as people suffering from a medical condition, vulnerable to falls or heart alterations.*

**Keywords:** *Cardiac monitoring, Detection of falls, Particle Photon.*

## **1. Introducción**

El internet de las cosas o también conocido como IoT por sus siglas en inglés, es una tecnología que se basa en la interconexión digital de distintos dispositivos electrónicos mediante internet, es decir, se podrían interrelacionar máquinas, dispositivos electrónicos, objetos, lugares e incluso personas mediante distintos dispositivos tecnológicos, generando así una red de información más amplia y variada que lo que es internet hoy en día. Y aunque este concepto no es nuevo sí es una realidad de que ha ganado mayor relevancia en los últimos años [Salazar y Silvestre, 2016].

El potencial más grande de esta tecnología radica en la obtención de la información, ya que hasta antes del IoT, prácticamente todos los datos que teníamos disponibles

en la red fueron creados y publicados por personas que se dedicaron a compartir dicho contenido con el resto del mundo mediante internet, ahora con el IoT se tiene la capacidad de agregar una cantidad de información más grande y precisa a la red mediante distintos dispositivos electrónicos sin la necesidad de que la información sea recabada manualmente por un individuo y en consecuencia los datos recabados por distintos dispositivos interconectados por todo el mundo permitiría generar una red de información más amplia y con mayores posibilidades de beneficios para la vida del ser humano.

Una de las muchas aplicaciones para esta tecnología es el monitoreo de signos vitales en las personas, ya que en México como en muchos otros países existe una gran parte de la población con condiciones médicas que representan un riesgo constante, principalmente las personas de la tercera edad. En México la tasa de mortalidad por infarto agudo al miocardio es de 27.2%, de acuerdo con información de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), además entre 2000 y 2012 los niveles de sobrepeso aumentaron de 62 a 71 por ciento en la población adulta y se registra que aproximadamente el 15% de esta población padece diabetes, siendo estos dos padecimientos precursores de infartos [Perdomo, 2017].

Aunque para evitar estos padecimientos es necesario un cambio en la cultura de salud de las personas, la realidad es que hoy en día muchas personas se enfrentan a estas enfermedades y en ocasiones controlarlas puede ser complicado, así como evitar situaciones de riesgo como caídas o infartos principalmente en personas de la tercera edad, pues ante las actividades diarias de los familiares a veces se complica estar al pendiente de los pacientes las 24 horas del día. Y es precisamente esta situación la cual se podría atender aplicando el IoT, ya que esto permitiría monitorear los signos vitales de la persona que padece alguna enfermedad crónica y así evitar o alertar a los familiares en situaciones de riesgo para el paciente.

Dentro del campo de monitoreo de signos vitales se han realizado trabajos en los cuales la principal diferencia radica en la manera como se envía la información y el alcance que se tiene. Por ejemplo, Cárdenas y García [2016] desarrollaron un sistema embebido para el monitoreo de signos vitales haciendo uso de una interfaz

en Labview la cual les permitió hacer el envío de datos por internet utilizando la herramienta web publishing tool que proporciona una dirección IP con la cual es posible acceder a la interfaz desde la web. Por otra parte, Lomelí, Aguayo y Martínez [2017] presentan un dispositivo telemétrico para el monitoreo de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno, sistema que se encarga de almacenar los datos y transmitirlos de un punto a otro haciendo uso de módulos de radio frecuencia con una potencia de 950MHz implementando dos sistemas, uno configurado como emisor y otro en su configuración de receptor de datos.

Otro método para el envío de la información recabada en prototipos de monitoreo de signos vitales es mediante módulos Bluetooth como presentan Caballero, Jiménez, Sánchez y López [2017] en el desarrollo de su prototipo de un electrocardiógrafo portátil en el cual utilizaron el módulo Bluetooth RN-42 de la marca Microchip el cual ofrece un alcance aproximado de veinte metros.

También Herrera y Ambrosio [2014] presentan un sistema de monitoreo de ritmo cardiaco y velocidad de onda de pulso en el cual los datos obtenidos por el sensor piezoeléctrico SDT1-028K son enviados a un dispositivo móvil mediante el módulo Bluetooth.

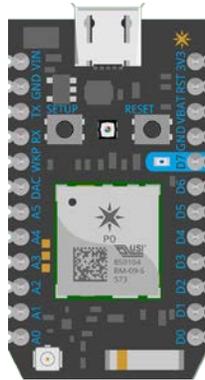
## **2. Métodos**

Para el desarrollo de este prototipo se realizó una investigación sobre la aplicación que puede tener la tecnología IoT en el área de la salud, lo cual nos dirigió al monitoreo de señales vitales y se seleccionaron como señales principales para el funcionamiento del dispositivo las pulsaciones por minuto y la aceleración física de las personas. Posteriormente se consideraron los sensores necesarios para medir dichas variables y al mismo tiempo se compararon distintas plataformas que nos permitieran integrar ambos sensores, así como la vinculación con algún servicio de mensajería y monitoreo de datos.

### **Selección de los microcontroladores a utilizar en el prototipo**

Se realizó una investigación y una comparación previa sobre los microcontroladores disponibles para el diseño del prototipo. Para la parte del

procesamiento de datos y conexión a internet se optó por la plataforma Particle Photon ya que ofrece una fácil conexión WiFi para los usuarios finales, conexión con distintos tipos de mensajería web, un eficiente procesamiento de datos tanto digitales como analógicos y un tamaño pequeño con el objetivo de que sea cómodo al momento de utilizarlo, dicha plataforma se muestra en la figura 1.



*Fuente: <https://goo.gl/foyq55>.*

Figura 1 Dispositivo Particle Photon.

Para la lectura de señales cardíacas se seleccionó el sensor AD8232 de la marca SparkFun, el cual incluye un amplificador de instrumentación que permite obtener una gráfica representativa de las señales eléctricas del corazón, la cual posteriormente se utilizó para analizar los datos e identificar los pulsos por minuto de cada persona.

Para la detección de caídas se usó el sensor MPU6050, el cual fue implementado y colocado de manera que durante el andar de la persona que lo utiliza se genere un nivel de referencia con mínimas variaciones y al detectarse un movimiento brusco hacia abajo se produzca una disminución del nivel de referencia, lo cual será mostrado en una gráfica en tiempo real mediante una aplicación móvil y al no restablecerse el nivel normal de la señal durante unos segundos se enviara una alerta vía internet a familiares o personas que puedan auxiliar a la persona afectada. La aplicación mencionada fue realizada con Blynk, la cual es una plataforma con aplicaciones iOS y Android que permite crear una interfaz gráfica, ya que cuenta con diferentes widgets como son botones, leds indicadores, displays, servicios de mensajería, graficadoras etc. Dichos widgets también pueden ser configurados

según las necesidades de nuestro proyecto y Blynk también permite la conexión directa con plataformas como Arduino, Raspberry pi, ESP8266, Particle Photon y otros dispositivos con conexión WiFi. Se seleccionó la plataforma Android para el uso de Blynk ya que en la actualidad está presente en un gran porcentaje de dispositivos móviles además de que está en constante desarrollo, en la figura 2 se presenta una aplicación desarrollada en Blynk.



Fuente: Elaboración propia.

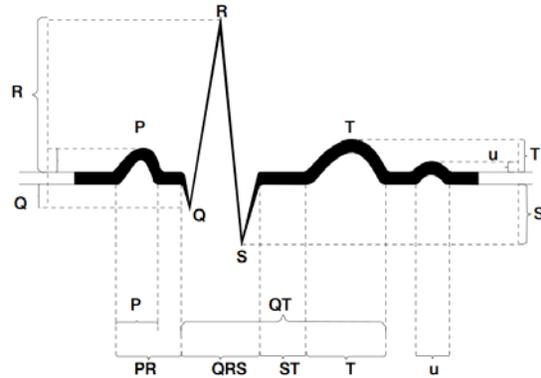
Figura 2 Plataforma Blynk en un sistema Android.

La combinación de señales de ambos sensores, permitió conocer de manera más precisa si el usuario se encontraba en una situación de peligro y en caso de estarlo alertar rápidamente para que fuera atendido.

### **Programación y procesamiento de datos del sensor AD8232**

Como primer paso en el desarrollo del prototipo, se realizaron pruebas con el dispositivo AD8232 para conocer los alcances del mismo y saber que tan confiable son los datos que ofrece este sensor. Se obtuvo una señal definida y clara con el inconveniente de que ante el movimiento de quien porta el dispositivo se genera un cambio significativo en la referencia de las mediciones, es decir el nivel medio de referencia se desplaza hacia arriba o hacia abajo, lo cual descartó la opción de manejar un nivel de referencia fijo para detectar los pulsos en la zona QRS (figura 3), la cual es la zona del electrocardiograma formada por la sucesión de tres ondas

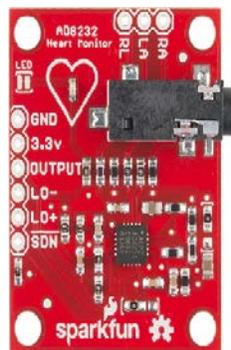
que se caracterizan por presentar rápidos desplazamientos, y es en este segmento donde se presentan los voltajes máximo y mínimo de cada pulso cardiaco [Franco, 2005].



Fuente: [Franco, 2005].

Figura 3 Esquema de un electrocardiograma normal e identificación de segmentos.

Para solucionar el problema anterior se optó por hacer un análisis de las pendientes generadas en ciertos intervalos de tiempo para detectar aquellas donde la pendiente era más significativa y poder así identificar los pulsos sin importar que el nivel de referencia de la señal se desplazara. Posteriormente se procesaron los datos obtenidos para poder aproximar los PPM (Pulsos por minuto) del paciente y determinar rangos en los cuales se podría determinar si la persona se encuentra en su frecuencia cardiaca normal, por arriba del rango normal alertando de una posible taquicardia, o por debajo de lo normal con riesgo de presentar una bradicardia. En la figura 4 se aprecia el sensor utilizado en esta etapa.

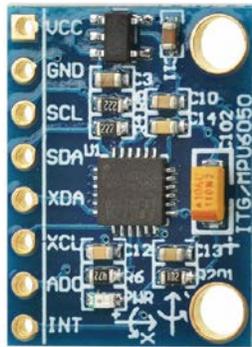


Fuente: <https://www.sparkfun.com>

Figura 4 Electrocardiógrafo AD8232.

## **Programación e implementación del sensor MPU6050**

La implementación del MPU6050 (figura 5) consistió en medir la aceleración que se aplica sobre el eje Z; a través del protocolo I2C, se decidió usar esta configuración tanto por la posición física del sensor como por la menor variación registrada al trabajar sobre este eje como referencia, los datos se registran con una frecuencia de un dato por segundo y se envían inmediatamente a la aplicación de Blynk para generar una gráfica en tiempo real con los datos obtenidos.



*Fuente: <https://www.tomsonelectronics.com>*

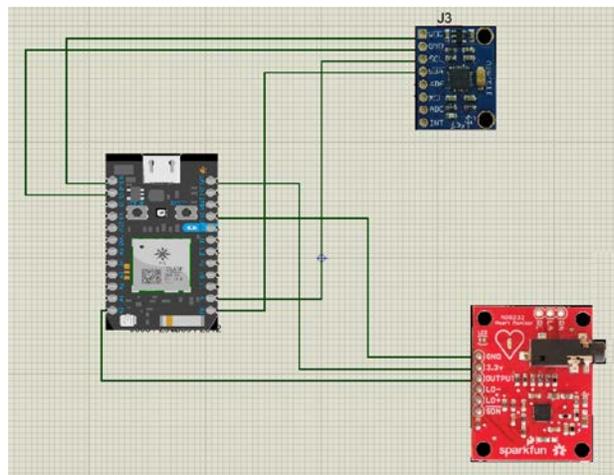
Figura 5 Sensor de aceleración MPU6050.

Por una parte se muestra de manera visual una gráfica representativa de la actividad física de la persona que lo utiliza según la aceleración de su cuerpo, generando un nivel de referencia casi lineal mientras realiza actividades cotidianas; siendo mínimas las variaciones durante el caminar o las actividades simples del usuario como subir escaleras, tomar objetos o sentarse, y mostrando una variación significativa al agacharse, concentrándonos en este movimiento ya que es el de mayor interés para poder identificar caídas. En esta etapa fue necesario diferenciar dos casos para evitar falsas alertas, el nivel de referencia de la aceleración sólo se ve afectado de manera significativa cuando el cuerpo de la persona se acelera hacia abajo presentando sólo dos posibilidades, que la persona se haya agachado a levantar un objeto del suelo o que haya sufrido una caída, la diferencia radica en el tiempo que dura el evento, si el nivel de referencia se restablece al poco tiempo no indicaría ninguna situación que amerite una alerta pues todo indicaría que la persona se ha reincorporado, sin embargo si el nivel de referencia no se restablece

será evidente caída de la persona lo que daría lugar a un mensaje de alerta inmediato.

### **Integración de los sensores con el dispositivo Particle Photon**

Una vez configurados e implementados tanto el sensor de caídas como el electrocardiógrafo se procedió a programar el dispositivo Particle Photon, el cual es el encargado de hacer un análisis constante y en tiempo real de los datos y al mismo tiempo enviar las señales de alerta usando la aplicación de Blynk. En el dispositivo Photon se programaron las situaciones que ameritan una alerta, es decir en el caso del electrocardiógrafo se configuran los rangos en los cuales los PPM son considerados normales y al recibir más de tres valores fuera de rango procede a enviar la alerta correspondiente. Por otra parte, para la detección de caídas se configuran los tiempos que debe esperar a que señal de referencia de la aceleración se establezca antes de enviar un mensaje de advertencia si este evento no ocurre. Para la recepción de las alertas y la visualización de eventos el dispositivo Particle Photon fue enlazado con la aplicación de Blynk, la cual se configuró para recibir los mensajes de alerta y al mismo tiempo mostrar la gráfica en tiempo real de la aceleración del usuario, así como sus pulsos por minuto en intervalos constantes de 20 segundos. En la figura 6 se muestra como fueron realizadas las conexiones para la integración de cada uno de los sensores con la plataforma Particle Photon.

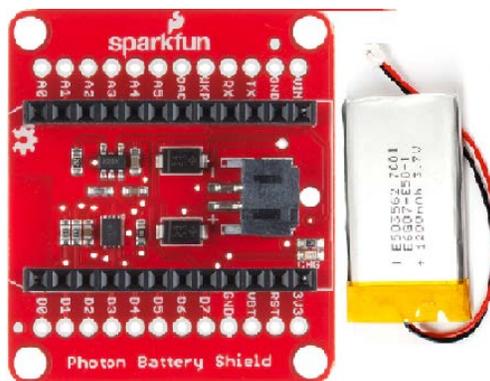


*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 6 Esquema de conexiones del prototipo.

## **Implementación final y pruebas**

Finalmente, para la fuente de alimentación del prototipo se utilizó la Photon Battery Shield de la marca SparkFun y se conectó una batería LiPo que suministra 3.7V y 1200mA, dichos elementos se presentan en la figura 7. Para mayor comodidad y portabilidad para el usuario el prototipo se ajustó de manera conveniente dentro de una funda ligera para posteriormente colocarla en la parte superior del brazo del usuario, se procedió a probar el prototipo en dos personas, una de ellas la enfermera que nos asesoró durante estas pruebas y la otra persona una mujer de la tercera edad a quienes se les pidió realizaran actividades que son comunes en rutina diaria. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.



*Fuente: <https://www.sparkfun.com>.*

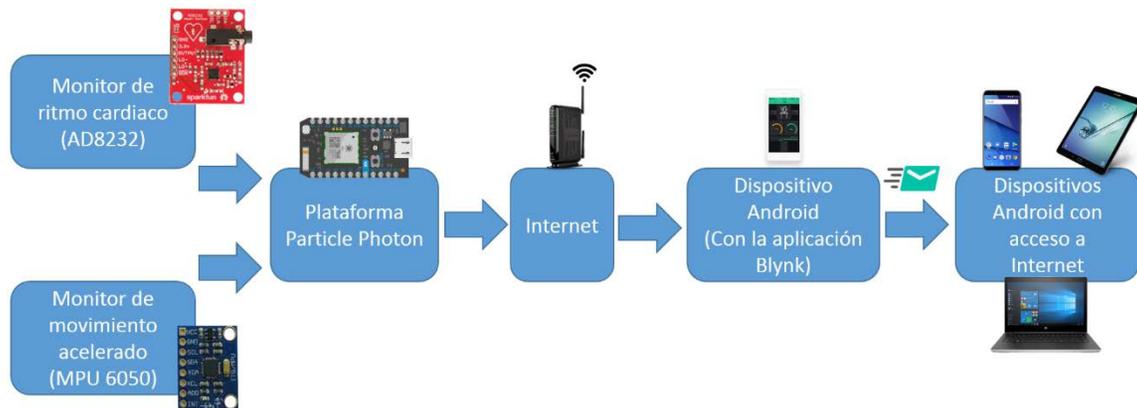
Figura 7 Placa de alimentación y batería Lipo.

## **3. Resultados**

Se ha logrado desarrollar un primer prototipo para la alerta de situaciones de riesgo en personas de la tercera edad o con condiciones de salud que representan un riesgo constante para quien la padece.

En la figura 8 se presenta un diagrama del funcionamiento general del sistema, en donde se observa que los dos sensores envían los datos obtenidos al dispositivo Photon, el cual procesa las señales y según el resultado del procesamiento de la información decide si enviar un mensaje de alerta, en caso de que así se decida envía la señal al dispositivo Android vinculado con la aplicación Blynk y

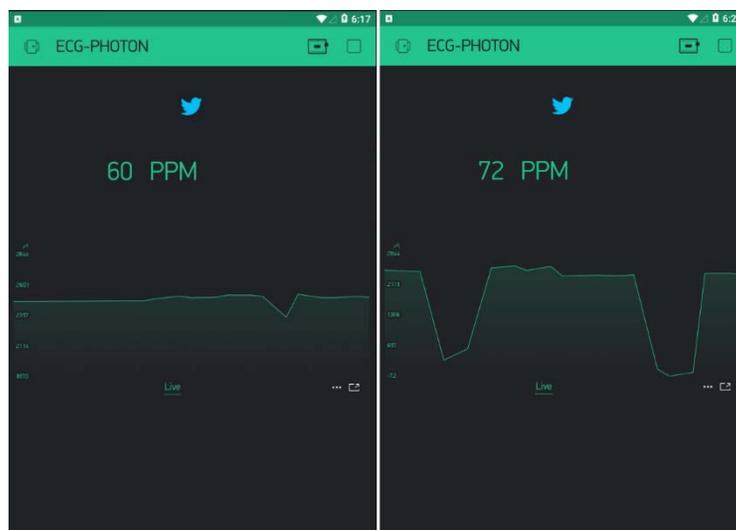
posteriormente se envía un mensaje a otros dispositivos electrónicos con los que se tenga vinculación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Esquema general del sistema.

Uno de los aspectos más sobresalientes en este primer diseño es la fiabilidad que se logró al momento de detectar caídas, ya que los patrones obtenidos para estas situaciones son muy claros de identificar, como se aprecia en la figura 9. Así mismo el tiempo de respuesta entre la detección de riesgo y la entrega de la alerta es casi inmediato afectado principalmente por la estabilidad de la red de internet con la que se cuenta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Gráfica obtenida en estado de reposo y al tomar dos objetos del suelo.

Otro elemento importante es que a pesar del inconveniente del ruido generado por el contacto de los cables de los electrodos con la ropa del usuario, el algoritmo programado logro aminorar los valores erróneos en las mediciones y se confirmó que para lograr una mayor precisión en los datos obtenidos es necesario integrar un sensor que no requiera el uso de cables.

Se realizaron pruebas en personas mayores de 50 años a quienes se monitoreo mientras realizaban algunas actividades y se verificó que las señales y los datos obtenidos correspondieran a los movimientos de los usuarios.

La prueba más sobresaliente fue la que se realizó en una persona de 70 años, ya que los resultados obtenidos tanto por parte del electrocardiógrafo como por el acelerómetro realmente representaron las actividades realizadas por la persona durante la prueba, al mismo tiempo que se corroboró con la enfermera presente que los valores de los pulsos por minuto fueran congruentes con las acciones realizadas por la paciente, en la figura 10 se puede observar a la persona mencionada haciendo algunas actividades durante las pruebas.



*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 10 Pruebas realizadas en una mujer de 70 años.

Las tablas 1 y 2 presentan los datos obtenidos para los pulsos por minuto y para los valores representativos de la aceleración, verificando que los resultados corresponden a los valores y las formas de la gráfica que se obtuvieron en la aplicación. Aunque esta prueba fue satisfactoria, también se presentó el caso en el cual los resultados no fueron los esperados, específicamente con los valores de los

pulsos por minuto, ya que en algunas ocasiones la medición mostrada en la aplicación hecha en Blynk no correspondía a valores que se estimaban, presentando valores por arriba del rango considerado normal o mostrando valores menores a dicha referencia.

Tabla 1 Pulsos por minuto registrados en intervalos de 15 segundos.

TIEMPO (s)	Pulsos por minuto (PPM)
15	66
30	70
45	69
60	67
75	74
90	72
105	65
120	68
135	66
150	68
165	71
180	73
195	67
210	72
225	74
240	68

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 2 Muestras representativas de la aceleración en intervalos de dos segundos.

TIEMPO (s)	Valor representativo de aceleración
2	2563
4	2518
6	2553
8	1418
10	275
12	1382
14	2612
16	2579
18	2546
20	2486
22	1387
24	536
26	-62
28	1426
30	2560
32	2508
34	2579
36	2522
38	2545
40	2517

*Fuente: Elaboración propia.*

La colaboración de la enfermera permitió ampliar el conocimiento sobre el uso correcto de un electrocardiógrafo, ya que comentó que es necesario buscar los espacios correctos en el pecho en donde deben colocarse los electrodos para una medición más correcta y precisa.

Por otra parte la enfermera destacó la importancia y la utilidad de estos dispositivos de monitoreo de situaciones de riesgo, orientado de manera especial a las personas de la tercera edad, ya que en su experiencia ha presenciado casos en los que personas sufren algún accidente dentro de su domicilio y al no tener la manera de pedir ayuda resultan gravemente afectados, incluso comentó casos de personas que han fallecido en sus hogares sin que nadie se percate de ello hasta algunos días después. Además, mencionó que el campo de aplicación de este proyecto no está limitado sólo a este sector de la población, sino que existen condiciones médicas que por sus efectos en el paciente también podrían apoyarse de estos sistemas tecnológicos para mejorar la calidad de vida de quien la padece.

#### **4. Discusión**

Los resultados obtenidos en esta primera etapa del prototipo muestran una óptima integración de todos los elementos utilizados, particularmente la plataforma Particle Photon la cual puede considerarse como la base fundamental de este proyecto, ya que esta permitió el correcto análisis de los datos obtenidos mediante el electrocardiograma y el acelerómetro lo cual se reflejó satisfactoriamente en las mediciones obtenidas en cada prueba realizada.

Otro punto importante es el alcance que tiene este prototipo de monitoreo, ya que al conectarse directamente a una red inalámbrica con conexión a Internet permite conocer el estado del paciente en todo momento y así mismo enviar los mensajes de alerta a cualquier dispositivo que tenga acceso a la web.

Por otra parte fue posible identificar un factor importante que limita la eficiencia del prototipo en su etapa actual y que está relacionado con el sensor de electrocardiograma (AD8232), el cual a pesar de ofrecer una señal de salida clara se ve afectado constantemente por el ruido generado durante el movimiento y roce de los cables pertenecientes a los tres electrodos. Provocando que los datos

obtenidos para el cálculo de los pulsos por minuto resulten alterados durante algunas actividades, lo cual se refleja en un bajo porcentaje de mediciones erróneas, sin embargo, al considerarse que se trata de un dispositivo de aplicación a la salud y que involucra alertas en situaciones de riesgo potencial, no se puede permitir el procesamiento de datos erróneos que pudieran propiciar falsas alarmas. Considerando el punto anterior se contempla hacer un cambio del sensor utilizado por uno de banda torácica que evite el uso de cables para los electrodos, reduciendo así el ruido que entra al sistema de monitoreo lo que permitirá ofrecer una mayor precisión en los datos procesados y una mayor confiabilidad en las emisiones de alertas.

Finalmente se considera que los resultados obtenidos en este primer prototipo son satisfactorios y dan oportunidad al desarrollo de un sistema más eficiente y con mejores características, lo cual es posible atendiendo aquellos puntos que limitaron los resultados en esta etapa inicial.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Caballero, J. Jiménez, R. Sánchez, T. López, S. (2017). Prototipo de electrocardiógrafo portátil. *Pistas educativas* Vol. 39, Núm. 127. 82-99. México: Tecnológico Nacional de México en Celaya: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [2] Cárdenas G., L., García, M., A. (2016). Diseño de un sistema electrónico embebido para el monitoreo local y a distancia de los signos vitales de un ser humano. *Pistas educativas* Vol. 38, Núm. 119. 20-27. México: Tecnológico Nacional de México en Celaya: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [3] Franco S., G. (2005), *Electrocardiografía*: <http://www.sld.cu/sitios/pdvedado/temas.php?idv=8415>.
- [4] Herrera, P. Ambrosio, L. (2014). Sistema de monitoreo de ritmo cardíaco y velocidad de onda de pulso usando sensores piezoeléctricos con aplicación a dispositivos Android. *Pistas educativas*, 35(108), 998-1011.
- [5] Lomelí, H. Aguayo, R. Martínez, P. (2018). Dispositivo telemétrico para monitoreo de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno. *Pistas educativas*

Vol. 39, Núm. 128. 926-943. México: Tecnológico Nacional de México en Celaya: <http://pistaseducativas.itc.mx/>.

- [6] Perdomo, Sergio. (2017). Sobrepeso y la obesidad convierten al infarto al miocardio en primera causa de muerte en México. Enfoque Noticias: <https://bit.ly/2Av14WI>.
- [7] Salazar, Jordi y Silvestre, Santiago. (2016). Internet de las cosas: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/100921>.