

# A portable electronic system for health monitoring of elderly people

Geovanny P. Guano, Darwin Alulema, Enrique V. Carrera

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

P. O. Box 171-5-231B, Sangolquí, Ecuador

Email: {gpguano,doalulema,evcarrera}@espe.edu.ec

**Abstract**—Elderly people are increasing as a percentage of the population in Ecuador and all over the world. According to population projections, Ecuador will have aged a 12% more than the current index by 2050. Thus, the application of technology to provide remote monitoring and healthcare services at home would reduce the high demand that hospitals currently experience. Under these assumptions, this paper describes the implementation of a prototype to monitor the health status of elderly people. The system collects data from different biological variables of the human body such as temperature, blood oxygen level, heart rate, body position, and even electrocardiogram signals. This prototype also uses mobile communication (*i.e.*, GSM/GPRS) to send alerts and concentrate data at a Web server. That server might generate electronic health records in order to assist distant doctors. The performance of the system was analysed according to its reliability, average sampling rate at each sensor, and message latency through the mobile network. With this proposal, we look for a significant improvement in the quality of life of elderly people by preventing possible emergencies that may cause the death of patients.

**Index Terms**—e-health, wireless communications, biometric sensors.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) han dado pasos agigantados en diferentes ámbitos de la investigación científica y tecnológica. Actualmente, la medicina también ha mejorado en cuanto a avances tecnológicos se refiere. De esta forma, las TICs y la medicina se han combinado para dar como resultado la telemedicina. La telemedicina nace para brindar asistencia médica a quien la requiera en sitios distantes o por imposibilidad de asistir a centros médicos. Se incluyen dentro de este campo: la educación para la salud, la salud pública, el desarrollo de programas de salud, la investigación científica y los estudios epidemiológicos, entre otros [1].

Al mismo tiempo, el envejecimiento de la población mundial es notorio tanto en los países desarrollados y en desarrollo. La población mundial envejece tan rápido que la mayoría de los países no cuenta con políticas públicas que tomen en consideración las cuestiones relativas al envejecimiento de la población. El número de personas con 60 años o más en todo el mundo se ha duplicado desde 1980, y se prevé que alcance los 2000 millones en el 2050 [2]. Por su parte, la población de América Latina envejece más rápido de lo previsto y se espera que en los próximos 35 años el número de personas mayores

represente casi un cuarto del total de habitantes de la región. Entre 1950 y 2000 la población con más de 60 años aumentó del 5,5% al 8,8% y hacia 2050 representará un 23,6% de la población regional. En términos absolutos, las personas de más de 60 años pasarán en un siglo de 9 a 180 millones. Entre 2005 y 2050 la población adulta habrá superado en un 30% a la población joven [3].

En Ecuador, el número de personas con más de 60 años de vida en marzo de 2014 fue 1'341.664, lo cual representa el 8,3% de la población total. Adicionalmente, en el 2010 el Ministerio de Salud Pública del Ecuador da a conocer su Plan de Telemedicina y Telesalud en el cual se proponen una serie de nuevos proyectos a ejecutarse a partir de esa fecha. Estos proyectos estarán dedicados a brindar una mejor atención a pacientes en zonas rurales del país. Sin embargo, dentro de la lista de proyectos a ejecutarse no se contempla la posibilidad de desarrollar un proyecto para monitorizar el estado de salud de adultos mayores, quienes están propensos al igual que la población infantil, a diversos agentes que pueden mermar su condición de salud y eventualmente causar su muerte.

Considerando lo expuesto, el presente trabajo se enfoca en la aplicación de la telemedicina al cuidado del adulto mayor mediante telediagnóstico, teleconsulta y monitorización remota. Para ello se implementará un dispositivo electrónico portable que permita mantener controlado el estado de salud de personas con edad avanzada. La recolección de los datos del paciente se realiza mediante sensores corporales. El dispositivo se enlaza a Internet a través de cualquier red de telefonía móvil, utilizando para ello el protocolo GPRS. De esta manera, el dispositivo implementado realiza el envío de los datos hacia un servidor en Internet. Los resultados de dicha monitorización se muestran en un sitio web desarrollado con ese objetivo. Adicionalmente, el prototipo también incorpora avisos de emergencia enviados en la forma de mensajes de texto (SMS).

Lo que se espera con el desarrollo e implementación de este prototipo es brindar un servicio de monitorización constante, que permita garantizar una mejor calidad de vida en los adultos mayores. Esto permitirá evitar que el índice de mortalidad en nuestro país, y posiblemente en la región, siga creciendo a causa de diferentes patologías como arritmias cardíacas, variaciones en la presión arterial, entre otros. Por último, pero no menos importante, contribuir con el desarrollo de nuevas tecnologías que apoyen a las ciencias médicas.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección II presenta una breve revisión de los trabajos relacionados con el tema de investigación. La sección III expone un resumen de los fundamentos teóricos en los cuales se basa este trabajo. La sección IV muestra el diseño e implementación de los componentes que integran el dispositivo. La sección V presenta la evaluación del sistema. Finalmente, la sección VI analiza los resultados más relevantes.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Trabajos previos proponen la monitorización de diferentes variables corporales a través del diseño e implementación de hardware y software que permita la captura de datos utilizando sensores experimentales y medios alámbricos de comunicación con algún dispositivo que permita la visualización de los resultados obtenidos [4]. Estudios similares se han propuesto, por ejemplo [5], aborda como tema central la presión arterial. Este trabajo propone la medición de la presión arterial implementando una aplicación sobre la plataforma Android para su funcionamiento en *smartphones* y *tablets*. La información capturada por este dispositivo es enviada hasta un *smartphone* mediante un cable USB.

Dichos medios alámbricos han sido sustituidos a medida que la tecnología inalámbrica se ido desarrollando en diversos protocolos inalámbricos como ZigBee, Bluetooth [6] o simplemente radio frecuencia [7].

Sin embargo, estas técnicas de monitorización van quedando casi obsoletas a medida que el acceso a Internet va en aumento en los últimos años. Debido a esto se han propuesto numerosas iniciativas que cuentan ya con transmisiones de mucho más alcance en donde se involucran redes de acceso como WiFi, GPRS, entre otras. Por ejemplo en [8], se emplean diversos protocolos inalámbricos como ZigBee para la recepción de datos de los sensores y protocolos WiFi y/o GPRS para enviar esta información hacia un servidor conectado a Internet. Estas nuevas propuestas tienen una desventaja, ya que permiten trabajar con una sola variable [9], por ejemplo: ritmo cardíaco, presión arterial, electrocardiograma, entre otras.

Por otro lado, gracias al desarrollo tecnológico de los últimos años hoy se cuenta con dispositivos electrónicos totalmente digitales y táctiles. Entre estos diversos dispositivos están los denominados *wearables* [10] que existen actualmente en el mercado y que pueden medir diversas variables corporales. Sin embargo presentan algunas desventajas entre ellas: su costo elevado (*e.g.* Samsung Gear 2), su dificultad al momento de recondicionar el software para obtener mejores funcionalidades (*i.e.* lenguaje de programación nativo muy poco conocido), entre otras.

El presente artículo expone la implementación de un prototipo para monitorizar el estado de salud en personas de edad avanzada. Para esto utiliza comunicación inalámbrica a través de la red de acceso GPRS de las operadoras móviles. De esta forma, los datos obtenidos son albergados en un servidor en Internet. Adicionalmente, el dispositivo cuenta con servicios de alerta temprana en caso de una emergencia. La emergencia

es comunicada mediante SMS, donde se muestran las razones de la emergencia suscitada con el paciente en cuestión.

## III. FUNDAMENTO TEÓRICO

### A. Población de adultos mayores en el Ecuador

Según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), al 2014 la población de adultos mayores equivaldría al 8,3 % de la población total, lo que significa que conforme los años pasan la población ecuatoriana tiende a envejecer.

Al año fallecen 34.000 ecuatorianos mayores de 60 años. El 30 % de los adultos mayores cuentan con asistencia de alguien para cuidarlo. El 75 % no cuentan con afiliación a un seguro privado y solo el 23 % de la población con 60 años o más está afiliado al seguro social. Alrededor de 625.000 adultos mayores son atendidos por los servicios de organismos gubernamentales. El 82,8 % se dedican a realizar tareas manuales, más de 90.000 adultos mayores se concentran en las provincias de Pichincha y Guayas. 3 de cada 10 adultos mayores dicen sentirse desamparados frecuentemente, 5 de cada 10 adultos mayores viven en zonas rurales y son pobres, 9 de cada 10 adultos mayores viven con alguna persona que los acompaña, el 27 % de adultos mayores enviudó, el 23 % de adultos mayores tienen discapacidad permanente y el 16 % ha sufrido violencia psicológica [11].

### B. Telemedicina

En términos sencillos luego de analizar todas las definiciones existentes, la telemedicina consiste en la prestación de servicios médicos a distancia utilizando para ello tecnologías de comunicación inalámbrica y medios electrónicos que hagan posible la adquisición de datos, el intercambio de información médica, gestión e incluso intervención quirúrgica por parte del médico al paciente [12], [13], [14], [15], [16].

### C. Signos Vitales del Cuerpo Humano

Los signos vitales son mediciones de las funciones básicas del cuerpo humano como la temperatura, la frecuencia cardíaca, concentración de oxígeno en la sangre y en muchos casos la posición que el cuerpo adopta en diferentes condiciones clínicas, acompañada de mediciones más profesionales como la electrocardiografía. Los signos vitales son utilizados con el fin de detectar o monitorizar posibles problemas de salud, las mediciones pueden ser llevadas a cabo en un centro médico, el hogar o durante una emergencia.

## IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El prototipo implementado en este trabajo es un sistema de telemetría no invasivo. La conexión de los sensores al cuerpo es superficial, ya sea en contacto directo con la piel o simplemente ubicados sobre la vestimenta de la persona.

El sistema en general puede ser descrito mediante el diagrama de bloques de la Fig. 1. De acuerdo a lo expuesto en el diagrama, el paciente es supervisado mediante sensores adheridos a su cuerpo. Estos sensores son conectados a una tarjeta de adquisición de datos encargada de centralizar y enviar la

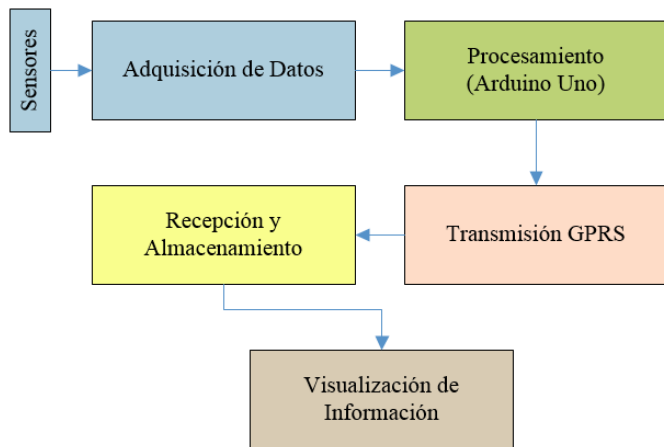


Fig. 1. Visión general del sistema de monitorización.

información hasta el sistema de procesamiento Arduino. Los datos son tratados parcialmente por Arduino dependiendo de la variable a la cual corresponden. En el caso de tratarse de un electrocardiograma la información es muestreada de acuerdo a un algoritmo que asegure confiabilidad a la hora de reconstruir la señal en el receptor. Luego del procesamiento y tratamiento respectivo de los datos, se procede a realizar el envío de la información hacia un servidor localizado en Internet, para su posterior visualización.

#### A. Adquisición de Datos

La adquisición de los datos biométricos de la persona se la realiza mediante la tarjeta *e-Health Sensor Platform* y la plataforma de hardware libre Arduino Uno. Arduino Uno es responsable de realizar el procesamiento y tratamiento parcial de las señales procedentes de los sensores por medio de la tarjeta de adquisición de datos. La tarjeta *e-Health* en su modularidad ofrece conexión directa a Arduino, ya que fue diseñada con este objetivo. Esta tarjeta sirve para realizar aplicaciones médicas y biométricas donde es necesario monitorizar el cuerpo humano. *e-Health* incorpora un conjunto de 9 sensores (La información puede usarse para monitorizar en tiempo real el estado de un paciente o para obtener datos susceptibles, con el fin de ser analizados posteriormente para emitir un diagnóstico médico). En la Fig. 2, se muestra la tarjeta de adquisición de datos *e-Health* y los sensores que empleados para este trabajo, los cuales son: sensor de posición del paciente, sensor de temperatura del cuerpo, sensor de pulso y oxígeno en la sangre, sensor de electrocardiograma (ECG).

Dentro de los sensores utilizados en el desarrollado del presente trabajo, se encuentran:

1. *Sensor de Temperatura Corporal*: En la Fig. 2 elemento A, se muestra el sensor que permite medir la temperatura corporal. Este sensor es de tipo WINGS el cual presenta una arquitectura avanzada y hace que el sistema de fijación al paciente sea más simple pero más estable y eficiente. Este sensor tiene una precisión de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  y la posibilidad de captar inmediatamente variaciones de temperatura, ya que trabaja bajo el principio de una termocupla. En la tarjeta de adquisición, la señal procedente del sensor es procesada

mediante un puente de Wheatstone, para posteriormente ser amplificada.

2. *Sensor de Pulso y Oxígeno en la sangre*: La oximetría de pulso es una prueba simple no dolorosa y no invasiva que mide cuanto oxígeno existe en la sangre y se ha convertido en una pieza cada vez más común en la monitorización. La tecnología de oximetría de pulso utiliza las características de absorción de luz de la hemoglobina y la naturaleza pulsátil del flujo sanguíneo en las arterias. En primer lugar, hay una diferencia de color entre la hemoglobina arterial saturada con oxígeno, que es de color rojo brillante, y la hemoglobina venosa sin oxígeno, que es más oscura. En segundo lugar, con cada pulsación o latido del corazón hay un ligero aumento en el volumen de sangre que fluye a través de las arterias.

Un dispositivo con forma de pinza llamado sonda, se coloca en uno de los dedos de la mano, como un dedal, para medir la sangre que transporta oxígeno. La sonda contiene una fuente de luz, un detector de luz, y un microprocesador, que compara y calcula las diferencias en la hemoglobina pobre en oxígeno y rica en oxígeno. Un lado de la sonda tiene una fuente de luz de dos tipos, infrarroja y roja, que se transmiten a través del dedo hacia el lado detector de luz de la sonda. La hemoglobina rica en oxígeno absorbe más luz infrarroja y la hemoglobina sin oxígeno absorbe más luz roja. El microprocesador calcula las diferencias y convierte la información en una lectura digital. Esta información ayuda al médico a evaluar la cantidad de oxígeno transportado en la sangre y evaluar la necesidad de oxígeno suplementario. En la Fig. 2 elemento B, se muestra el sensor de  $SPO_2$ . El resultado es enviado a la tarjeta de adquisición donde es procesado por software.

3. *Sensor de Posición Corporal (Acelerómetro)*: En la Fig. 2 elemento C, se muestra el sensor de posición corporal. Este sensor monitorea cinco diferentes posiciones (e.g., de pie/sentado, recostado ya se de forma lateral o frontal entre otras). En muchos casos es necesario monitorizar las posiciones del cuerpo y los movimientos realizados a causa de su relación con enfermedades particulares. Analizar los movimientos durante el sueño también ayuda en la determinación de la calidad del sueño y los patrones de sueño irregulares [17], [18]. El sensor de posición corporal puede ayudar también a detectar desmayos o caídas de las personas mayores o personas con discapacidad.

El sensor de posición trabaja internamente con un acelerómetro. Un acelerómetro es un tipo de sensor que mide aceleraciones lineales utilizando la unidad "G" como unidad de referencia de la aceleración gravitatoria. Gracias a esto el sensor de posición puede determinar la posición exacta del cuerpo humano. El sensor de posición trabaja con un acelerómetro analógico ADXL335 de 3 ejes (i.e., x, y, z), el cual mide la aceleración con un rango mínimo de escala de  $\pm 3$  g. La posición del paciente se determina mediante la lectura de los valores analógicos de cada uno de los ejes de coordenadas del acelerómetro, luego las lecturas analógicas son convertidas en valores proporcionales dentro de un rango previamente establecido en base a pruebas de funcionamiento realizadas (i.e., aquí influye también la altura promedio de

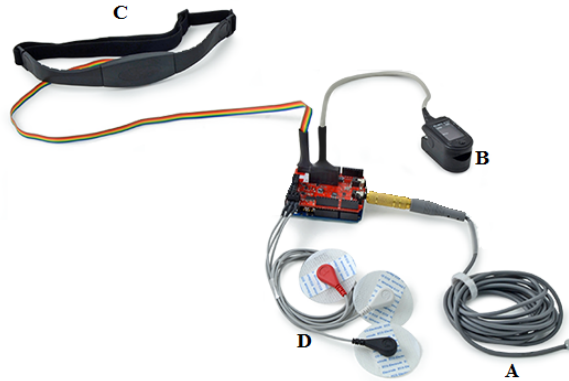


Fig. 2. Plataforma e-Health para adquisición de datos.

una persona). Una vez obtenidos los valores proporcionales se procede a calcular el ángulo en grados con respecto al vector de gravedad de referencia. Con el valor de los ángulos de los tres ejes se determina la posición en el plano tridimensional (*i.e.*,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) del paciente.

4. *Sensor de Electrocardiograma:* El electrocardiograma (ECG) es una herramienta de diagnóstico que se utiliza habitualmente para evaluar las funciones eléctricas y musculares del corazón. Los sensores o electrodos son instrumentos con base de metal que perciben las ondas eléctricas generadas durante el ciclo cardíaco. Los electrodos empleados son de la marca Kendall, modelo H124SG. El H124SG tiene un lado único, pre-gelificado con gel no irritante, especialmente desarrollado para prevenir las reacciones alérgicas. Estos electrodos de espuma son libres de látex y por lo tanto adecuado para distintos tipos de piel. El H124GS tiene una resistencia de  $220\Omega$  y un voltaje offset de  $0,2\text{ mV}$ . La información procedente de los electrodos conectados a la tarjeta de adquisición de datos es amplificada y se discriminan los distintos tipos de ruido existe en la señal. El resultado es un valor entre 0 y 5 voltios. En la Fig. 2 elemento *D*, se muestran los electrodos empleados en el sistema.

#### B. Procesamiento

La etapa de procesamiento es realizada por la plataforma Arduino Uno. Arduino es una parte fundamental en el dispositivo, pues esta encargado de controlar el ciclo de lectura de los sensores corporales, el tratamiento de la información y parte de la etapa de transición.

Arduino alberga la lógica de funcionamiento del dispositivo. De esta manera, se puede establecer la frecuencia con la que se realizará la lectura de los sensores corporales. Arduino recibe las señales de forma analógica, para luego mediante software externo convertir los datos analógicos en datos digitales. Este software externo son bibliotecas las cuales han sido diseñadas previamente con el objetivo de disminuir el procesamiento en la memoria de Arduino.

Arduino también controla la conexión del dispositivo a la red de telefonía móvil. Para esto, Arduino se comunica

mediante su puerto serial con el módulo GSM/GPRS.

#### C. Transmisión GPRS

La transmisión de la información obtenida del paciente está bajo la responsabilidad del módulo inalámbrico GSM/GPRS para Arduino, el cual se observa en la Fig. 3. El módulo GSM/GPRS cuenta con un chipset de operación SIM900 de SIMCom Wireles Solutions. Este módulo ofrece una solución completa para transmisión inalámbrica ya que posee una configuración cuatri-banda que puede trabajar en las frecuencia GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz para transmitir y recibir voz, SMS y datos.

Este módulo se conecta a Internet mediante la red de acceso GPRS y el protocolo HTTP. El protocolo HTTP también es soportado por este módulo, lo cual lo convierte en una solución muy viable a la hora de transmitir paquetes de datos. El módulo lleva incrustado una tarjeta SIM de cualquier operadora que se haya elegido previamente en base a un estudio de cobertura, velocidad de transmisión, disponibilidad del punto de acceso y facilidades de conexión para el usuario. Para realizar la conexión GPRS se necesita contar con un punto de acceso GPRS.

Para establecer la conexión a la red móvil Arduino se comunica con el módulo de transmisión mediante comandos AT a través del puerto serial del mismo.

La secuencia de conexión del módulo GSM/GPRS se muestra en la Fig. 4, donde el parámetro importante para realizar la conexión es el código PIN de la tarjeta SIM. Para ello se

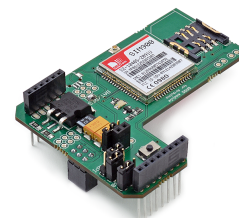


Fig. 3. Módulo transmisor GSM/GPRS.

```

sendATcommand("AT+CPIN=****", "OK", 2000);
delay(3000);
Serial.println("Connecting to the network...");
while( (sendATcommand("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 500) ||
sendATcommand("AT+CREG?", "+CREG: 0,5", 500)) == 0 );

```

Fig. 4. Secuencia de registro y conexión a la red móvil.

```

sendATcommand("AT+SAPBR=3,1,\"Contype\", \"GPRS\", \"OK\", 2000);
sendATcommand("AT+SAPBR=3,1,\"APN\", \"APN\", \"OK\", 2000);
sendATcommand("AT+SAPBR=3,1,\"USER\", \"user_name\", \"OK\", 2000);
sendATcommand("AT+SAPBR=3,1,\"PWD\", \"password\", \"OK\", 2000);
while (sendATcommand("AT+SAPBR=1,1", "OK", 20000) == 0){
delay(5000);
}

```

Fig. 5. Secuencia de conexión a la red GPRS.

emplea el comando AT+CPIN. Luego, el módulo se registrara en la red móvil con el comando AT+CREG.

El siguiente paso es conectar el prototipo a la red GPRS. En la Fig. 5 se muestra la secuencia de comandos que permiten establecer la conexión GPRS. El comando AT que permite realizar la conexión con un perfil GPRS es AT+SAPBR. El comando AT+SAPBR, entre sus parámetros, lleva el tipo de conexión, el nombre del punto de acceso para GPRS (APN), el usuario y la clave de acceso. Una vez que se haya recibido la respuesta OK del último comando AT enviado, el dispositivo esta listo para empezar con el enlace al servidor en Internet.

#### D. Recepción y Almacenamiento

La arquitectura que se maneja para realizar en envío y recepción de la información es Cliente Servidor. Donde el cliente es el dispositivo móvil.

Los datos enviados hacia el servidor a través del módulo GSM/GPRS, son recibidos por una página web creada en el lenguaje PHP. PHP es un lenguaje de código abierto muy popular, adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. La elección de emplear el lenguaje PHP en la recepción y almacenamiento de datos se debe a que PHP se procesa del lado del servidor. La página web es una página dinámica y es la encargada de recibir los datos. Para esto, empieza un diálogo con el dispositivo en donde se envían mensajes de aviso de llegada por parte de la aplicación web.

El almacenamiento está también a cargo de la aplicación web. Esta aplicación, luego de recibir los datos gestiona una base de datos (ubicada también en el servidor) donde se albergara la información recibida. La información personal del paciente también está dentro de esta base de datos para hacer posible su identificación en el sistema. La base de datos fue desarrollada en MySQL. Esto, debido a que MySQL es un motor de base de datos de código abierto que tiene un buen desempeño junto con PHP.

#### E. Visualización de Información

Otra de las funciones de la página web, a más de recibir y gestionar los datos, es actuar como una interfaz para la presentación de resultados. Para la visualización cuenta con

una sección que muestra mediante gráficos los resultados actuales y/o pasados del paciente.

## V. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

El dispositivo esta orientado al cuidado de adultos mayores, por lo tanto su aplicabilidad o no depende de su desempeño en la fase pruebas. El dispositivo revisa constantemente las variables corporales en busca de un posible evento que suscite una emergencia. De no existir actividad fuera de lo normal el dispositivo realiza el envío de los datos hasta una aplicación web. Esta aplicación recibe la información y se conecta a una base de datos para guardarlos. De forma simultánea, la información del paciente puede ser presentada en forma gráfica a través de la web. De esta manera, el médico o cualquier persona autorizada puede generar un diagnóstico previo. La información es guardada en la base de datos con el fin de crear un historial clínico electrónico, al que se pueda acceder en un futuro para mantener un seguimiento permanente del estado de salud que el paciente ha mantenido.

En el caso de existir eventos que alerten al sistema de una posible emergencia, como variaciones en la temperatura, cambios en el ritmo cardíaco, bajos niveles de oxígeno en la sangre, se activa el estado de emergencia. Al existir una emergencia, esta es comunicada a los familiares o personas más cercanas mediante mensajes SMS.

Para evaluar el sistema, se ha realizado un análisis estadístico que determine la frecuencia de lectura de cada sensor, los tiempos de respuesta promedio de cada sensor, y el grado de confiabilidad de los datos. Para el envío de los mensajes SMS se calculó la latencia de dichos mensajes. Esto con el objetivo de determinar el tiempo en que la emergencia es comunicada.

#### A. Análisis del sensor de posición corporal

Se inició analizando el comportamiento del sensor de posición corporal. Para esto se ha tomado el tiempo que se demora en detectar el cambio de una posición a otra. Esta medición se realizó en 20 ocasiones. Obteniendo los siguientes resultados.

- El tiempo promedio en detectar un cambio de posición es 768,5 ms.
- La desviación estándar de este tiempo es 338,58 ms.
- El porcentaje de error en predecir un cambio de posición es del 5%.

Adicionalmente, de los resultados obtenidos en las pruebas se observó que el sensor se demora más en detectar el cambio de posición, cuando el paciente está sentado a cuando el paciente está recostado.

#### B. Análisis del sensor de temperatura

El siguiente componente en ser analizado es el sensor de temperatura corporal. De igual forma se realizaron 20 mediciones. Donde se obtuvo que:

- El tiempo promedio para que el sensor se establezca y entregue una lectura correcta es de 47,95 seg que es un valor cercano al que el fabricante aconseja (entre 50 y 60 seg).

- La temperatura promedio capturada por el sensor es de 36,73°C.
- La desviación estándar es 0,44°C.

En base a estos resultados, se determina que el sensor de temperatura permite una mayor exactitud en las lecturas obtenidas. Para las pruebas realizadas se consideró el tiempo de estabilización y la desviación estándar de la temperatura.

### C. Análisis del sensor de pulso y oxígeno en la sangre

Para el sensor de oximetría, se tomaron 20 muestras en tiempos distintos. El objetivo fue comparar los datos con un oxímetro digital (*i.e.*, el oxímetro integrado en el Samsung Gear 2). De estas mediciones se obtuvo que el error promedio entre ambos resultados es aproximadamente 2%.

### D. Resumen de Resultados

De los resultados obtenidos se establece que el tiempo para realizar la lectura de los sensores en promedio es 1 minuto con un grado de confiabilidad del 95%. Para el caso particular del electrocardiograma, la frecuencia de muestreo es 700 Hz conforme establecido en [6]. En cuanto a la latencia del mensaje SMS enviado desde el dispositivo hacia un terminal móvil es en media 5,94 seg.

En la Fig. 6 se muestra el resultado de la implementación experimental. Donde, el sistema ha sido alertado de una emergencia en este caso la temperatura se ha elevado y ha sobrepasado el rango establecido por la OMS (entre 36,5°C y 37,2°C.). En la alerta enviada en el SMS, también se envía información acerca de los motivos de la emergencia.

## VI. CONCLUSIONES

De los resultados tanto para los tiempos de la lectura de los datos y el porcentaje de error, se concluye que el desempeño es bastante bueno, ya que se pueden tener lecturas de los sensores a intervalos menores a 1 minuto. Además, al no tener retardos significativos en la lectura remota de los sensores, se garantiza una pronta detección de una posible emergencia. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que la latencia de los mensajes SMS varía de acuerdo a la arquitectura de red de cada operador, de la velocidad de transmisión SMS fijada por el operador, de la cantidad de datos que se envíen en el SMS, e incluso de la distancia del móvil a la antena de servicio.



Fig. 6. SMS enviado por el dispositivo ante una emergencia.

Finalmente, como trabajos futuros se ha planteado la opción de reducir el tiempo entre lecturas de los sensores, asegurando el nivel de confiabilidad previamente establecido. También se prevé emprender un análisis acerca de como incide en el desempeño del sistema la adición de nuevas funcionalidades (*e.g.*, nuevas variables corporales, ambientes controlados que permitan conocer la ubicación del paciente dentro de su domicilio) y así generar alertas más relevantes en cuanto al estado de salud del paciente.

## REFERENCIAS

- [1] F. P. Regalado and W. R. Sifuentes, "Promoción y desarrollo de las tic en américa latina," *Proceedings of the 4th ACORN-REDECOM Conference. Brasilia, DF*, vol. 1, no. 1, 5 2010.
- [2] G. S. Andrews, "Los desafíos del proceso de envejecimiento en las sociedades de hoy y del futuro," *En: Encuentro Latinoamericano y Caribeño sobre las Personas de Edad: ponencias presentadas al Seminario Técnico-LC/L. 1399-P-2000-p. 247-256*, 2000.
- [3] L. Rivadeneira, M. Villa *et al.*, "El proceso de envejecimiento de la población en américa latina y el caribe: una expresión de la transición demográfica," *En: Encuentro Latinoamericano y Caribeño sobre las Personas de Edad: ponencias presentadas al Seminario Técnico-LC/L. 1399-P-2000-p. 25-58*, 2000.
- [4] J. Bustamante, J. F. Sáenz, and A. A. Amaya, "Monitor de eventos electrocardiacos implementado en plataforma pda," *Revista colombiana de cardiología*, vol. 14, no. 2, pp. 78–86, 2007.
- [5] V. Cahuasquí and M. Germán, "Diseño e implementación de un dispositivo de monitorización de la presión arterial." Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en electrónica, automatización y control, Sangolquí, Ecuador, Tech. Rep. 1, 5 2013.
- [6] D. M. Ballesteros, H. E. Melo, and A. J. M. Quintero, "Sistema de transmisión inalámbrica de señales ecg y de temperatura para ambientes hospitalarios (sinho)-wireless transmission system of ecg and temperatura for hospital areas," *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 4, no. 7, pp. 52–60, 2010.
- [7] J. Pubiano and N. Aguilar, "Sistema telemétrico de monitoreo cardiaco y variables hombre-maquina aplicado al ciclismo," in *Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, VI Congreso de la Sociedad Cubana de bioingeniería*, 2002, pp. 2–5.
- [8] E. V. Carrera and P. Morales, "ECG signal monitoring using networked mobile devices," in *Andean Region International Conference (ANDES-COIN), 2012 VI*. IEEE, 2012, pp. 35–38.
- [9] J. B. Osorno, J. Sáenz, and A. Amaya, "Sistema de tele-monitoreo inalámbrico de eventos cardiacos para seguimiento de arritmias," in *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin America Health*. Springer, 2008, pp. 948–952.
- [10] R. W. Picard and J. Healey, "Affective wearables," *Personal Technologies*, vol. 1, no. 4, pp. 231–240, 1997.
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, Ecuador, "Proyecciones de población por provincias, cantones, sexo y grupo de edad," Período, 7 2001.
- [12] D. Andrada, P. M. Sparhakl, H. M. Novillo, and J. Ierache, "Arquitectura para el monitoreo remoto de funciones vitales en pacientes ambulatorios," in *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2006.
- [13] M. Cabral, P. Galván, and V. Cane, "Telemedicina: metas y aplicaciones," *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, vol. 6, no. 1, pp. 40–44, 2008.
- [14] J. Monteagudo, L. Serrano, and C. H. Salvador, "La telemedicina: ¿ciencia o ficción? telemedicine: science or fiction," *An. Sist. Sanit. Navar*, vol. 28, no. 3, pp. 309–323, 2005.
- [15] O. F. Roca, *Telemedicina*. Ed. Médica Panamericana, 2001.
- [16] J. M. Vergeles-Blanca, "La telemedicina. desarrollo, ventajas y dudas," *Tema monográfico, Búsqueda bibliográfica. Internet y las nuevas tecnologías*, 2011.
- [17] E. Borsini, M. Bosio, S. Quadrelli, J. Campos, T. Décima, and J. Chertcoff, "Poligrafía respiratoria en el diagnóstico de los trastornos respiratorios durante el sueño: Una herramienta necesaria para el neumólogo," *Revista americana de medicina respiratoria*, vol. 12, no. 4, pp. 152–160, 2012.
- [18] D. Sánchez Morillo, "Procesado y transmisión de señales biomédicas para el diagnóstico de trastornos y enfermedades del sueño," 2008.