

# Amplificador portátil de señales electrocardiográficas para el sistema operativo Android basado en la tecnología e-textile

R. Fuentes-Alvarez<sup>1</sup>, I. Chairez<sup>1</sup>, A. Uranga-Lopez<sup>2</sup> y R. Fuentes Aguilar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Bioprocesos UPIBI, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México. Email: (joru.fua@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México

**Resumen**—En México, las enfermedades cardiacas representan los primeros lugares de mortalidad. La medicina actual ha permitido generar métodos muy eficientes para determinar grupos de riesgo que puedan desarrollar esta clase de enfermedades. Sin embargo, el monitoreo electrocardiográfico continuo sigue siendo la herramienta básica para poder realizar un diagnóstico oportuno. Los equipos que permiten un monitoreo constante son incómodos y poco prácticos para la realización de actividades diarias. Una opción es vincular el monitoreo a un dispositivo de uso cotidiano como el teléfono celular. En este trabajo, se propuso el diseño y construcción de un electrocardiógrafo basado en el concepto *e-textile*, que permita almacenar, enviar y visualizar la señal electrocardiográfica en la pantalla de un teléfono inteligente o tableta con el sistema operativo Android™. Se eligió este sistema operativo debido a que la mayoría de los celulares actuales lo utilizan como elemento básico de interacción con el usuario. El sistema diseñado incluyó el diseño de un sistema de colocación simple basado en la tecnología e-textile.

**Palabras clave** — Sistema operativo Android, electrocardiógrafo portátil, e-textil, Holter.

## I. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, los equipos de electrocardiografía han reducido su tamaño considerablemente, alcanzando incluso el tamaño de una cinta de audio. Este dispositivo, de monitoreo, también conocido como *Holter* [1-2], es un dispositivo que almacena la actividad eléctrica del corazón durante las jornadas de actividad del paciente. Debido a sus características de portabilidad, este dispositivo se ha consolidado como un sistema de monitoreo ambulatorio. Su relevancia en el área de la cardiología se ha incrementado recientemente debido al crecimiento de la población de edad avanzada, así como la prevalencia de enfermedades como la hipertensión y/o diversas enfermedades cardiológicas.

Por otro lado, se ha puesto mayor énfasis en el cuidado de la salud en casa, cuyo propósito principal es reducir las distancias que un paciente debe recorrer para realizarse estudios que le permitan mantener un buen estado de salud. En este sentido, se han implementando sistemas sencillos, seguros y de un costo accesible, pero muchos de estos dispositivos aún cuentan con problemas de comodidad. Esto se debe a que los dispositivos existentes pueden ser incómodos para los usuarios durante la realización de sus actividades diarias, por lo que existe la necesidad de desarrollar amplificadores de señales electrocardiográficas asociados a un dispositivo de uso cotidiano que permita almacenar una mayor cantidad de datos, que procese la

información in situ, sea cómodo y no dependa del paciente para realizar dicho monitoreo.

Un electrocardiógrafo basado en teléfonos inteligentes resolvería el problema. En particular, se debe considerar el sistema operativo Android™, debido a que este cuenta con una mayor distribución de usuarios, no solo en México y Latino América, sino también a nivel mundial [3]. Esto facilitaría la distribución de una aplicación de monitoreo cardiaco, sino que además brinda la facilidad de desarrollar aplicaciones gracias a que su entorno de desarrollo es de código abierto. Se debe notar que todos los equipos que soportan este sistema operativo cuentan con módulos de comunicación *Bluetooth*®, *Wi-fi*™, *GPS* y cuentan con sistemas de almacenamiento interno y externo de gran capacidad.

En particular, el protocolo *Bluetooth*® permite realizar una conexión punto a punto de manera inalámbrica entre dos dispositivos, sin importar la procedencia de estos, convirtiéndolo en la forma de transmisión idónea [4].

A pesar de las prestaciones ofrecidas por los teléfonos celulares para realizar las tareas asociadas al manejo de la información provista por un amplificador de señales electrocardiográficas, se debe notar que esto no resuelve el inconveniente de asegurar la correcta colocación de los electrodos de medición. En los últimos años, la aparición del tecnología denominada *e-textile* ha provisto una forma de integrar dispositivos electrónicos a piezas de tejido textil, el cual ofrece un alto nivel de funcionalidad y permite el desarrollo de nuevos dispositivos de base textil, dado que se puede integrar con elementos electrónicos, informáticos y mecánicos [5-9], pues cuenta con las propiedades de un hilo textil común.

Esta propiedad le ha permitido desarrollar muchas aplicaciones con fines recreativos, pero sus contribuciones en el área médica son aún escasas. Por lo anterior, el concepto de tecnología *e-textile*, aunado a un sistema de información basado en el protocolo *Bluetooth*®, permitiría resolver el problema de la adquisición y la transmisión de señales electrocardiográficas, implementando un textil que incorpora micro fibrillas de plata [11-13].

El proyecto reportado en este artículo consiste de un sistema de amplificación de señales electrocardiográficas de seis derivaciones, cuyo circuito fue integrado a través de un circuito impreso basado en cables de plata con sustento e-textile. Las señales amplificadas fueron codificadas y enviadas a través de una tarjeta de adquisición basada en el protocolo *Bluetooth*. Una aplicación para el sistema Android permitió manipular las señales obtenidas por el amplificador.

II. METODOLOGÍA

La metodología considerada en este proyecto se detalla en la Fig. 1. El desarrollo del prototipo planteado se dividió en dos fases, la primera que se denota en la Fig. 1A, presenta el funcionamiento del sistema de ECG mediante el concepto *e-textile*. Por otro lado, la Fig. 1B explica el ciclo de vida de la aplicación desarrollada para la plataforma Android™ desde su inicialización y hasta su fase de monitoreo y almacenamiento de datos.

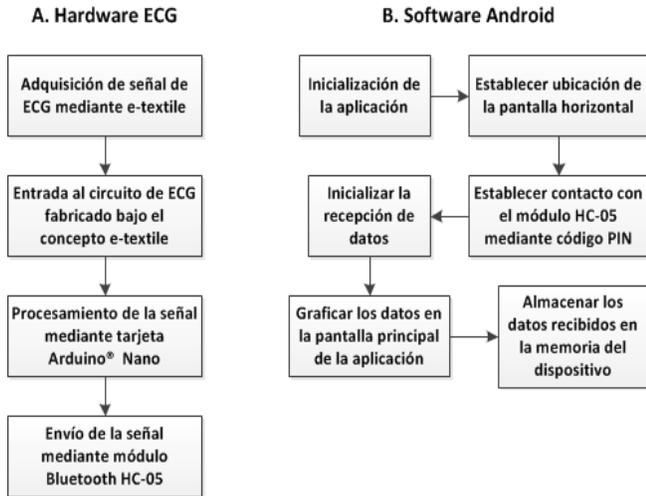


Fig. 1. Descripción de la metodología seguida en el proyecto.

A. Hardware ECG

Para poder implementar un sistema de ECG en una base textil, se propuso el uso de amplificadores operacionales que integran en su funcionamiento filtros de interferencia electromagnética. Este diseño se propuso para facilitar el tratamiento posterior de la señal, la cual será adquirida mediante electrodos integrados en una playera mediante broches de presión para evitar alguna falla de conexión. Dichos broches se colocan sobre una línea bordada en *e-textile* que corre desde cada uno de los electrodos hasta los pines denominados como BD para el brazo derecho, BI para el brazo izquierdo y PI para la pierna izquierda.

En la parte posterior de una playera se bordó el circuito de un ECG utilizando *e-textile* para reproducir las pistas del diseño del circuito de adquisición, la cual fue previamente diseñada mediante el software de diseño Eagle®, como se puede observar en la Fig. 2.

Una vez bordadas las pistas, se integran cuidadosamente los elementos electrónicos como resistencias, capacitores y amplificadores, entrelazándolos en el bordado y aislando sus terminales mediante el uso de silicón. Estas pistas se aislaron utilizando barniz, así pues, se evita un corto en el circuito derivado de algún movimiento del paciente (Fig. 3).

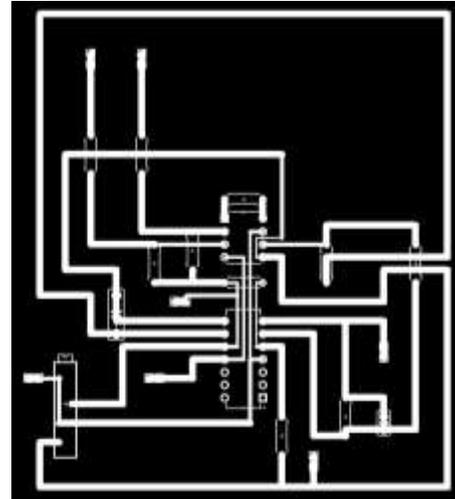


Fig. 2. Circuito de ECG diseñado utilizando el software de diseño Eagle.

La salida del circuito se conectará entonces a uno de los puertos analógicos de la tarjeta de adquisición Arduino® Nano, la cual se encargará de realizar un mapeo de la señal estableciendo y delimitando los puntos máximos y mínimos de la señal, para posteriormente ser enviados por el puerto serial de la tarjeta, a la cual se conecta el módulo Bluetooth® HC-05 previamente configurado utilizando los comandos AT. Este proceso incluye el establecimiento del código PIN (que servirá para aparear el módulo con el teléfono inteligente), así como el nombre con el que el teléfono reconocerá la playera. Esto permite la individualización del sistema para cada paciente, además de simplificar al hardware necesario para desarrollar el amplificador portátil de señales electrocardiográficas. La frecuencia de muestreo de cada canal de adquisición de fijó a un Kiloherz. Se utilizó un convertidor analógico-digital de 12 bits.

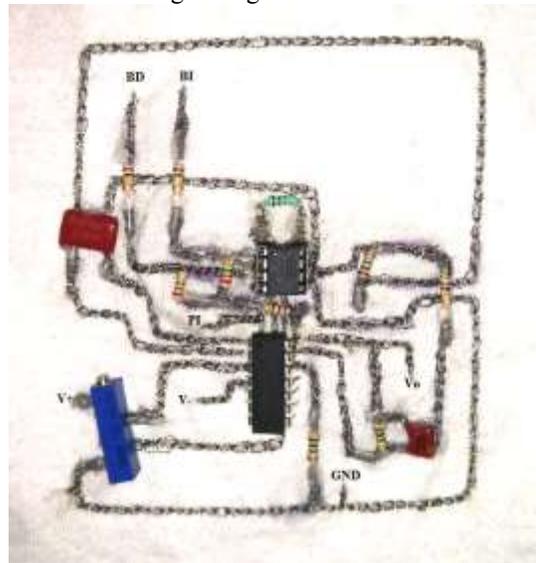


Fig. 3. Diseño del circuito de ECG fabricado bajo el concepto *e-textile*.

B. Software Android

Considerando las diferentes cualidades entre las versiones del Sistema Operativo, se seleccionó la versión 4.1.2 de Android para desarrollar la aplicación para adquirir las señales de ECG. Al tratarse de un dispositivo de uso cotidiano, es necesario utilizar una forma segura de almacenamiento de los datos del paciente, por lo que se implementó un sistema de bloqueo de usuario, el cual solo conocerá el paciente, y solo será modificable desde el código fuente del sistema si este lo solicita. En la Fig. 4 se puede apreciar la pantalla de inicio de la aplicación.



Fig. 4. Pantalla de inicio de sesión del paciente.

Una vez que el paciente accede con su usuario y contraseña, se muestra la pantalla principal, en la cual se establece por defecto una pantalla en modo panorámico para facilitar la visualización de la señal. En dicha parte de la aplicación, se pueden establecer opciones de conexión con el módulo Bluetooth® instalado en la playera, a la cual solo se podrá acceder si el paciente ha permitido la conexión mediante el código PIN. De igual forma se permitirá la desconexión de este para comodidad del usuario como se observa en la Fig. 5.



Fig. 5. Pantalla principal de la aplicación.

Aunado a los controles de conexión, se implementan algunos botones que facilitan la navegación a través de la pantalla para mejorar la visualización de la señal a través del tiempo.

III. RESULTADOS

Con base en las pruebas realizadas, el funcionamiento del circuito de ECG colocado sobre una base textil no altero la calidad de la señal amplificada (Fig. 6)- La respuesta de los circuitos integrados seleccionados para la supresión de las señales portadoras de ruido electromagnético permitieron simplificar la instrumentación necesaria para amplificar las señales lo cual también redujo la complejidad del circuito e-textile implementado.

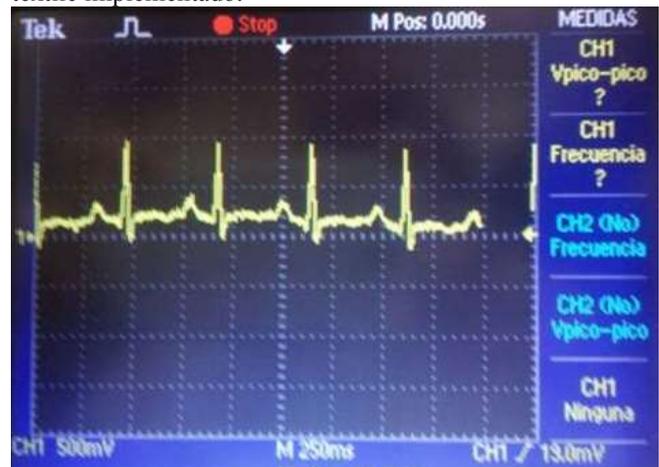


Fig. 6. Prueba de funcionamiento del circuito de ECG con base textil.

Mediante el uso de los botones de control ubicados en la pantalla principal de la aplicación, se permite al usuario visualizar o modificar la velocidad con la que se despliega la señal en la pantalla del dispositivo. La Fig. 7 muestra una señal periódica mediante la cual se puede calibrar el funcionamiento de la aplicación para adquirir y mostrar los datos en pantalla.



Fig. 7. Pantalla principal de la aplicación desplegando una señal periódica.

Finalmente se probó el funcionamiento de la aplicación mediante un simulador de señales electrocardiográficas, que se presenta en la Fig. 8, mostrando la fidelidad con que se despliega la señal en la pantalla del dispositivo.

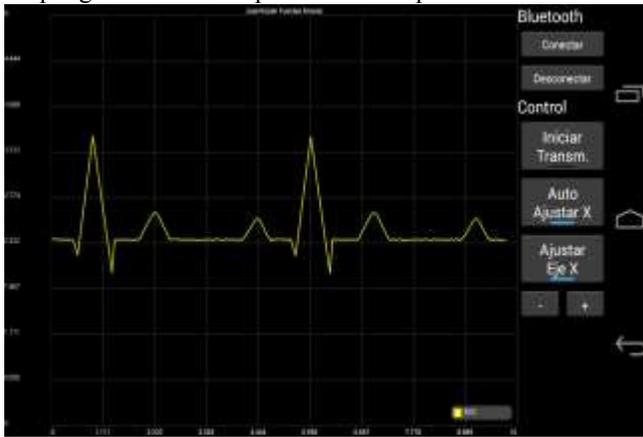


Fig. 8. Pantalla principal desplegando una señal de ECG simulada.

#### IV. DISCUSIÓN

Un sistema de monitoreo de signos vitales basado en la tecnología de los teléfonos celulares beneficiaría a la población, debido a que el costo de dispositivos similares a un Hölder disminuiría. Esto tiene como inmediata consecuencia el facilitar el diagnóstico de enfermedades cardiacas, debido al tamaño y la comodidad al estar implementado en una prenda de uso diario, lo que a su vez elimina interferencias por el manejo del paciente sobre el dispositivo.

La implementación del amplificador propuesto en un sistema operativo como el Android, permite además su rápida diseminación entre una gran cantidad de usuarios.

La versatilidad de este sistema operativo, permite que la implementación de un sistema de alerta que indique la geolocalización del paciente cuando este se encuentre en una situación crítica, sea una tarea relativamente simple. De la misma forma se pueden agregar una cantidad adicional de funcionalidades sin mayor inversión.

#### V. CONCLUSIÓN

Se logró obtener un dispositivo para amplificar señales de ECG mediante el uso del concepto *e-textile*. Las señales se pudieron visualizar en un teléfono inteligente. El sistema diseñado tiene similitudes con un dispositivo Hölder, sin embargo al no requerir de un Hardware específico, el sistema propuesto resulta una opción más viable desde el punto de vista económico, además de que resulta funcionalmente más práctico, debido a que su operatividad es similar al de aplicaciones regulares de celulares de con el sistema operativo Android. La integración del sistema de electrodos para el monitoreo a través de la tecnología e-

textile permitió reducir significativamente las interferencias debidas a la manipulación por parte del usuario. La aplicación desarrollada fue capaz de desplegar y almacenar las señales electrocardiográficas adquiridas a través del dispositivo propuesto. La versatilidad del sistema operativo Android permite fácilmente adaptar la presente solución para que pueda realizar nuevas tareas de envío de alerta y aviso oportuno, incluyendo un sistema de prediagnóstico.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Toshiyo Tamura, "Home Health Care Devices" en *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, Volume 3*, John G. Webster, Ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2006, pp. 525-526.
- [2] H. Wang, A. Elsharydah, R. Cork, J. Fraizer, "Ambulatory Monitoring" en *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, Volume 1*, John G. Webster, Ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2006, pp. 12-13.
- [3] Paul Moore, (2014, Jun 1). *Smartphone OS market share* (29th ed.) [en línea]. Disponible en: <http://www.kantarworldpanel.com>
- [4] C. S. R. Prabhu, A. Prathap Reddi, *Bluetooth Technology: and Its Applications with Java and J2ME*. New Delhi, India: Prentice-Hall of India, 2004, pp. 20-32.
- [5] C. Rotsch, S. Hanus, D. Schwabe, H. Oschatz, A. Neudeck, U. Möhring, "Intelligent Textiles and Trends" en *Springer Handbook of Medical Technology*, R. Kramme, K. Hoffmann, R. S. Pozos, Ed. Berlin, Germany: Springer, 2011, pp. 1321-1329.
- [6] Leah Buechley, Mike Eisenberg, Jaime Catchen, Ali Crockett, "The LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education", presented at 26th Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, Italy, 2008.
- [7] Leah Buechley, Nwanua Elumeze, Michael Eisenberg, "Electronic/Computational Textiles and Children's Crafts", presented at 5th International Conference on Interaction Design and Children, Tampere, Finland, 2006.
- [8] Leah Buechly, "A Construction Kit for Electronic Textiles", presented at 5th International Semantic Web Conference, Athens, GA, USA, 2006.
- [9] Leah Buechley, Michael Eisenberg, "Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft", Personal and Ubiquitous Computer, en prensa.
- [10] Murugavel Raju, "Heart-Rate and EKG Monitor Using the MSP430FG439", Texas Instruments, Rep. SLAA280A, 2005.
- [11] Chan, C.H.; Zhang, Y.T. "Continuous and long-term arterial blood pressure monitoring by using h-Shirt", Information Technology and Applications in Biomedicine, 2008. ITAB 2008. International Conference on, On page(s): 267 – 269.
- [12] Gu, W.B.; Poon, C.C.Y.; Sy, M.Y.; Leung, H.K.; Liang, Y.P.; Zhang, Y.T. "A h-Shirt-Based Body Sensor Network for Cuffless Calibration and Estimation of Arterial Blood Pressure", Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2009. BSN 2009. Sixth International Workshop on, On page(s): 151 – 155.
- [13] Xiao-Fei Teng; Yuan-Ting Zhang; Poon, C.C.Y.; Bonato, P. "Wearable Medical Systems for p-Health", Biomedical Engineering, IEEE Reviews in, On page(s): 62 - 74 Volume: 1, 2008.