

# **HeartDroid: Sistema de monitoreo cardiaco utilizando dispositivos Android**

**Cristian Eduardo Villegas-López, Sergio Sandoval-Reyes**

*Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional. México  
City 07734, México  
cristianevillegas@gmail.com; Sergio.Sandoval9@gmail.com*

Resumen. Debido a los avances en la tecnología, la monitorización ambulatoria con instrumentos médicos y dispositivos comerciales se ha convertido en una herramienta cada vez más importante en el diagnóstico de algunas enfermedades y condiciones médicas, así como el seguimiento de las mismas en personas que han sido diagnosticadas con algún padecimiento. Este artículo describe a HeartDroid, una aplicación para dispositivos Android que permite la monitorización ambulatoria de personas que tengan un padecimiento cardiaco. La aplicación se encarga de monitorizar los signos vitales provenientes de la persona que porta un sensor Zephyr BioHarness 3 (BH3), con el cual se comunica por medio de Bluetooth al dispositivo Android. Estas bio-señales son analizadas en busca de anomalías y a su vez de forma paralela se almacenan de forma local para ser posteriormente revisadas a detalle. En caso de reconocer una anomalía en los signos de la persona, la aplicación de forma automática mostrará una alerta al usuario en su dispositivo Android y enviará una alerta a un médico/especialista y/o tutor para buscar asistencia, esto a través de mensajes SMS y en caso de que el médico o tutor cuenten con un dispositivo Android, ellos también pueden recibir una notificación e incluso ver la anomalía en pantalla.

**Palabras clave:** Android, monitoreo, arritmias, sensor, salud móvil, enfermedades cardíacas.

Abstract. Mobile health monitoring using medical instruments and commercial wearable devices has become increasingly important in the diagnostic of some cardiac diseases thus as the follow up and detection of emergent situations in the patients' health. This paper presents *HeartDroid* an Android mobile application to monitoring bioelectrical heart signals to detect cardiac arrhythmias using a Zephyr BioHarness 3 sensor, which captures these biosignals in real time and transmit them into a smartphone throughout a Bluetooth connection. These biosignals in turn are stored in the smartphone memory to be analyzed in detail in search of cardiac anomalies. When one is found automatically the app will display an alert and will send a sms alert message to his/her physician or tutor, in seek for help. The physician also receives a file which when it is processed on the phone, displays the graphic of the cardiac anomaly detected for diagnostic purposes.

**Keyword:** Android, monitoring, arrhythmias, sensor, mobile health, cardiac diseases.

## 1 Introducción

Debido a los avances en la tecnología, la monitorización ambulatoria con instrumentos médicos y dispositivos comerciales se ha convertido en una herramienta cada vez más importante en el diagnóstico de algunas enfermedades y condiciones médicas, así como el seguimiento de las mismas en personas que han sido diagnosticadas con algún padecimiento [1]. Tradicionalmente para la detección y monitorización de enfermedades cardíacas se les realiza a las personas un electrocardiograma (ECG), para de monitorear la actividad cardíaca del paciente y ver sus signos vitales en tiempo real [2]. Actualmente el ECG ofrece una gran variedad de posibilidades, no obstante la mayoría de los sistemas médicos e instrumentación necesitan conectar al paciente un conjunto de cables para que sus señales físicas puedan ser medidas y monitoreadas. Sin embargo no siempre es posible detectar todas las enfermedades en un solo estudio para ello existen alternativas como lo son el “Holter” o electrocardiograma (ECG) ambulatorio que es un sistema que permite grabar la actividad cardíaca eléctrica del paciente de manera ininterrumpida por un periodo de tiempo determinado para su posterior análisis. Lo anterior aunado a un registro manual de las actividades que realiza en el tiempo que porta el dispositivo da como resultado final un diagnóstico confiable [3]. No obstante estos sistemas tienen grandes limitaciones dado que para el diagnóstico tiene que haber transcurrido el estudio por completo, además de su costo que puede ir desde unos cientos de dólares en sus versiones básicas hasta rebasar los miles para equipos más avanzados.

Este artículo describe la aplicación HeartDroid, un sistema para dispositivos Android que permite la monitorización ambulatoria de personas que tengan un padecimiento cardíaco. El sistema se encarga de monitorear los signos vitales provenientes de la persona que porta un sensor Zephyr BioHarness 3 (BH3), el cual se comunica por medio de Bluetooth al dispositivo Android. Estas bio-señales son analizadas en busca de anomalías y de forma paralela se almacenan de forma local para ser posteriormente revisadas a detalle. En caso de reconocer una anomalía en los signos de la persona, el sistema de forma automática mostrará una alerta al usuario en su dispositivo Android y enviará una alerta a un médico/especialista y/o tutor para buscar asistencia. Esto a través de mensajes SMS y en caso de que el médico/especialista o tutor cuenten con un dispositivo Android ellos también pueden recibir una notificación e incluso ver detalles de la anomalía en pantalla.

El artículo está organizado de la siguiente manera: Sección 2 presenta un compendio de los trabajos relacionados con la monitorización ambulatoria en dispositivos Android. Sección 3 describe el diseño del sistema HeartDroid. Sección 4 muestra la implementación así como las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Las conclusiones y los trabajos a futuro se encuentran en la Sección 5.

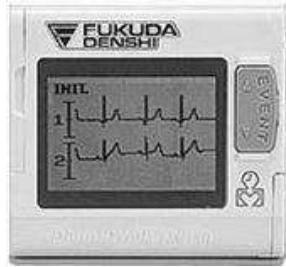
## 2 Estado del arte

La Salud Móvil (mHealth) [4] es una de las tecnologías más innovadoras en cuidado de la salud. Su propósito principal es el de transmitir, almacenar, procesar y recuperar datos tanto en tiempo no-real como en tiempo real a los usuarios finales (pacien-

tes, doctores, familiares, etc.). Estos sistemas los podríamos clasificar dentro de tres grupos: 1) sistemas que recolectan las señales obtenidas de los sensores realizando el análisis y clasificación de los datos recolectados después de terminado un periodo de tiempo; 2) sistemas que realizan el análisis y clasificación en tiempo real de manera remota y 3) sistemas que proveen de análisis y clasificación en tiempo real de manera local. Algunos de los trabajos más importantes son descritos a continuación.

## 2.1 Análisis y clasificación después de la recolección de datos

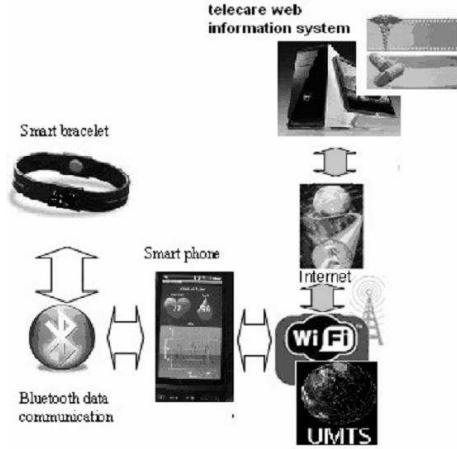
Dentro de la primera clasificación de sistemas podemos hablar de sistemas basados en Holter (Figura 1), los cuales realizan la recolección de la señal ECG durante un periodo determinado de tiempo, siendo 24 horas lo más común. Sin embargo, no existe ningún tipo de procesamiento de la señal en tiempo real ya que el análisis se realiza después de que la recolección de datos llegó a su fin.



**Fig. 1.** Holter Fukuda Denshi, 48 horas máximo de grabación.

## 2.2 Análisis y clasificación de forma remota

Esta clasificación se caracteriza por realizar el procesamiento de la información recolectada de forma remota, esto implica que siempre se debe tener una conexión estable de datos. En [5] se describe el sistema Telecare (Figura 2) el cual presenta una pulsera que sensa el ritmo cardiaco, saturación de oxígeno en la sangre y agrega un nuevo sensor, un acelerómetro, el cual tiene como tarea monitorear la actividad motriz diaria. Todas las señales son enviadas mediante Bluetooth al teléfono inteligente donde posteriormente serán transmitidas a la Web para ser registrados en la base de datos. Una vez que los datos son sincronizados con la base de datos el personal médico realizará un análisis detallado de la información para proporcionar un diagnóstico y asistir al paciente que porta el dispositivo.

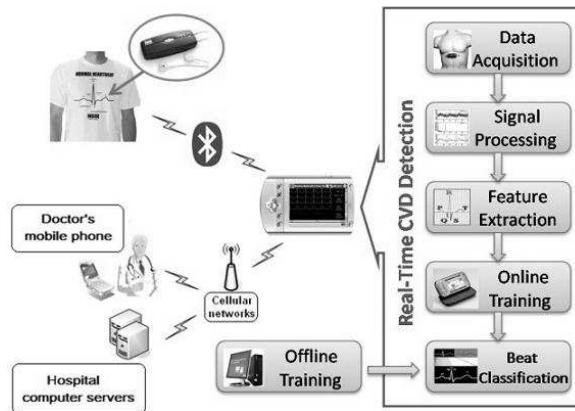


**Fig. 2.** Diagrama de bloques del sistema Telecare [5]

### 2.3 Análisis y clasificación en tiempo real de manera local

Este tipo de sistemas si bien no están aislados de una central que recolecta los datos y procesa la información enviada, sí realizan un análisis local de manera profunda a las señales que recolectan para generar un diagnóstico previo y ver si existe riesgo alguno. Esta característica permite que el paciente pueda saber en todo momento si corre algún riesgo incluso si el dispositivo pierde la conexión con la central, con lo que es una mejora a las dos clasificaciones anteriormente descritas.

El proyecto propuesto en [6] llamado HeartToGo (Figura 3) se enfoca principalmente en enfermedades cardiovasculares.



**Fig. 3.** Flujo de trabajo del procesado de la señal ECG en el sistema HeartToGo [6]

Este prototipo no solo permite colectar, almacenar, transmitir, y mostrar información de ECG en tiempo real, sino que además analiza la señal ECG adquirida y detec-

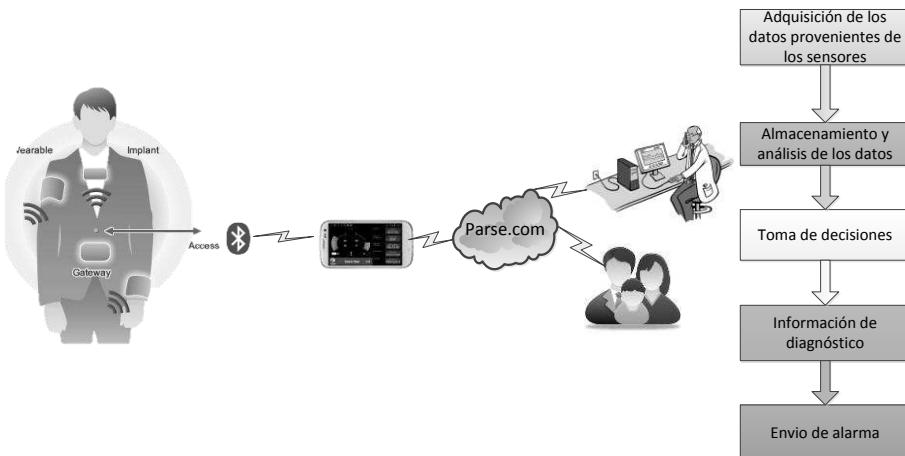
ta anomalías cardíacas, utilizando una red neuronal artificial capaz de clasificar 13 tipos de arritmias y el ritmo sinusal.

Como se ha mencionado en los trabajos anteriormente citados, el diagnóstico médico es uno de los temas más importantes en el cuidado de la salud. La precisión en el diagnóstico contribuye a que el paciente reciba un tratamiento adecuado, lo que conlleva a su recuperación y por ende a la cura o control de la enfermedad.

La aplicación HeartDroid que se describe a continuación queda dentro de la tercera clasificación de las antes presentadas, esto implica que cuenta con las características de registro de la información recolectada, además de poder realizar un análisis de estos datos para en base a reglas predefinidas dar un pre-diagnóstico del estado de salud del paciente y en caso de existir una anomalía informar al personal médico y tutores asignados. En la siguiente sección se describe el diseño de la aplicación así como su funcionamiento.

### 3 Diseño de HeartDroid

La aplicación de HeartDroid utiliza un sensor que proporciona una serie de datos que adquiere de la persona que lo porta. El sensor Zephyr BioHarness 3 utiliza el protocolo Bluetooth para la comunicación con el dispositivo Android. Sobre este sensor se crea una aplicación capaz de comunicarse con él y mostrar, almacenar e interpretar los datos adquiridos.



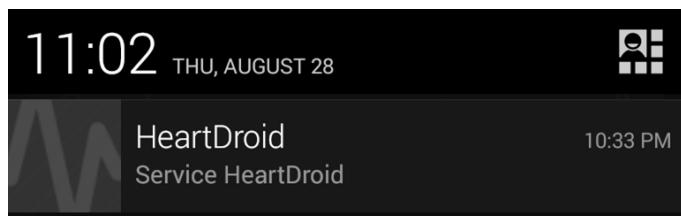
**Fig. 4.** Arquitectura de HeartDroid.

La principal característica de la aplicación son los mensajes de alerta que utiliza para comunicar tanto al portador del sensor como a un médico y/o tutor (que se hayan registrado para estar al pendiente) y proporcionar asistencia de ser necesario (Figura 4).

### 3.1 Servicio de monitorización

El núcleo de la aplicación es un Servicio, componente del sistema operativo que se ejecuta en el teléfono Android en segundo plano. Este servicio es el encargado de mantener la comunicación con el sensor BioHarness 3, realizar el análisis de los datos adquiridos y su almacenamiento, todo ello de forma automática sin que el usuario tenga que mantener la aplicación en pantalla, además, el servicio se encarga de la comunicación con la interfaz gráfica que muestra los signos vitales y envío de los mensajes de alarma.

El servicio puede convivir con todas las demás aplicaciones que estén trabajando en primer plano, sin embargo está configurado para reiniciarse automáticamente en caso de que el sistema requiera terminar su ejecución para liberar recursos, con lo que se trata de asegurar que siempre esté monitoreando al usuario (Figura 5).



**Fig. 5.** Servicio HeartDroid corriendo en segundo plano

### 3.2 Alarmas

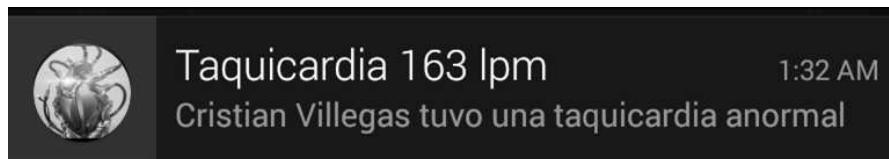
Las alarmas son de distintos tipos dependiendo de la situación. No todas las anomalías cardiacas (arritmias) tienen el mismo grado de peligrosidad, por lo cual la atención que requieren no es la misma. En la siguiente tabla se hace una clasificación de la peligrosidad de las arritmias que el sistema es capaz de reconocer.

Tabla 1. Clasificación de arritmias

Arritmia	Latidos por minuto (lpm)	Peligrosidad
Bradicardia peligrosa	< 40	Alta
Bradicardia (sinusal)	40 > lpm < 60	Baja
Ritmo Sinusal	60 > lpm < 100	Nula
Taquicardia lenta (sinusal)	100 > lpm < 120	Baja
Taquicardia rápida (sinusal)	120 > lpm < 180	Mediana
Taquicardia peligrosa	180 > lpm	Alta

Teniendo en cuenta la tabla anterior es necesario mencionar que se tienen que dar cumplir varios criterios dependiendo de la arritmia, esto con el fin de evitar lo más posible falsos positivos. Estos criterios son una combinación de datos ingresados en el historial médico y datos que se obtienen en tiempo real, entre ellos la actividad física que se realiza.

Si se sobrepasan los límites prestablecidos (en combinación con otros criterios) y la bradicardia o taquicardia continua por un periodo de tiempo mayor a un minuto, es indicio de una posible emergencia. En este caso se dispara una alarma audible y visual para la persona que porta el sensor y a su vez se envían notificaciones o mensajes SMS de alarma a una lista de médicos y tutores previamente ingresados en la aplicación. El médico al recibir la notificación puede ver con más detalle la situación y se le dan opciones para tomar acciones (Figura 6).



**Fig. 6.** Mensaje de notificación.

### 3.3 Funciones adicionales

La aplicación no solo permite lo antes mencionado, sino además tiene agregadas otras funcionalidades, tales como llevar una bitácora de lo que el paciente realiza durante su actividad diaria. Además es posible ver en tiempo real los datos adquiridos por el sensor de dos formas: una de manera gráfica mostrando el ECG, ritmo cardíaco, respiratorio y la actividad física, mientras la otra más sencilla solo muestra los valores en forma de texto. Como agregado la aplicación permite la gestión de una base de datos para pacientes, tutores, médicos. Desde esta base de datos se establecen tanto los especialistas y tutores que estarán relacionados con el monitoreo. Esta base de datos está sincronizada con una base de datos de respaldo en la nube que proporciona el servicio de Parse.com (Figura 7). Este mismo servicio en la nube es el que facilita el envío y recepción de notificaciones de alarma entre dispositivos Android.



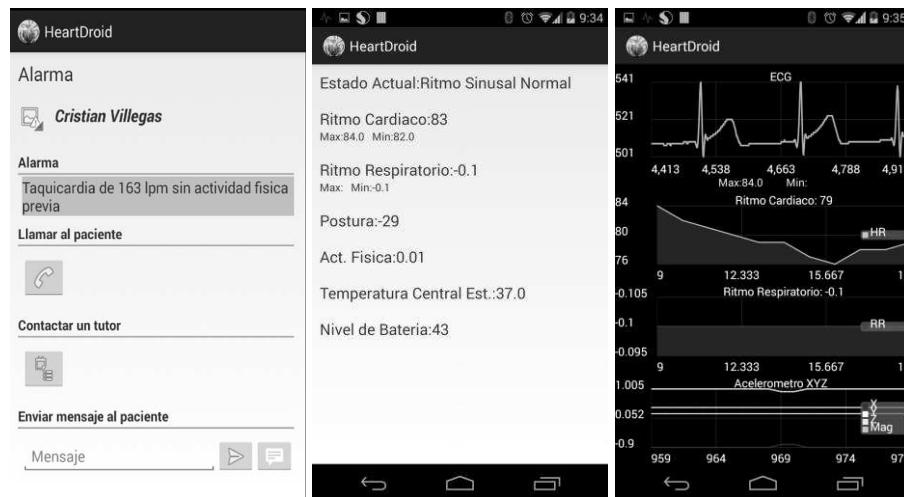
**Fig. 7.** Registro de eventos, información de la persona monitoreada, datos de un tutor.

## 4 Pruebas y Resultados

Con el fin de realizar pruebas se realizó una estancia en el hospital Cetro Médico de Especialidades (CME) de ciudad Juárez, Chihuahua del 10 de marzo al 10 de abril de 2014, bajo la tutela del cardiólogo Dr. Luis Rodolfo Flores Montaño jefe de Juárez Cardio-Vascular.

Para las pruebas se utilizó el sensor Zephyr BioHarness 3, un LG Nexus 4 con la versión de Android Kit-Kat (4.4.4) con conexión a internet vía 3G. Con el fin de establecer la validez de las lecturas proporcionadas por el sensor se realizó una comparativa entre el sensor BH 3 y el Holter (Philips DigiTrack-Plus) que utilizan para realizar las pruebas de ECG ambulatorio. La prueba consistió en que una persona saludable portara ambos dispositivos por 24 horas para el registro de sus signos vitales. El resultado de esta prueba permitió establecer que el sensor cuenta con la precisión necesaria para realizar un diagnóstico médico del estado de salud del paciente, quedando el personal médico conforme con el desempeño del sensor, permitiendo continuar con las pruebas de detección de arritmias bajo diferentes escenarios.

Las pruebas se condujeron de dos formas, la primera con el fin de asegurar que los tipos de alarma fueran activados correctamente se simularon diferentes condiciones, utilizando valores de ritmo cardiaco predefinidos al rango que se observa en la Tabla 1. Cabe mencionar que las alarmas no se activan en el momento de que el valor entra en el rango, sino que se configuró el prototipo para esperar un determinado tiempo en el que por ejemplo si una taquicardia se presenta, ésta debe sostenerse por al menos un minuto con valores de actividad física mínima para que pueda dispararse la alarma correspondiente. En todos los casos se disparó la alarma de forma adecuada ingresando los valores simulados correspondientes, con ello en mente se puso a prueba con personas portando el sensor (Figura 8).

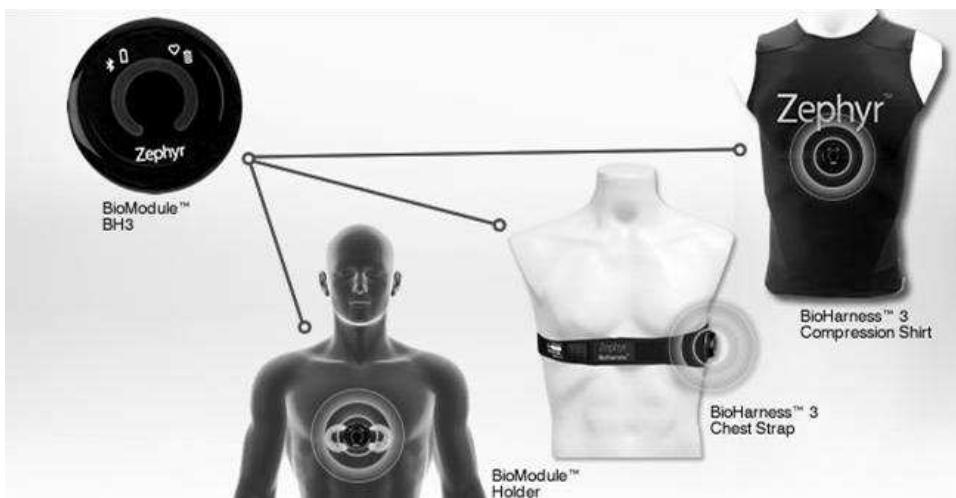


**Fig. 8.** Detalles el mensaje de alarma, visualización de signos vitales, ECG y actividad física.

Para la segunda prueba se crearon 3 escenarios donde un grupo de 5 personas participó: El primer escenario consistió en que cada persona debió mantenerse en reposo en una silla para lograr un ritmo cardiaco normal; la segunda prueba se realizó recostando a cada persona para bajar su ritmo cardiaco y llegar a una bradicardia y por último una situación de estrés, donde había que subir a una caminadora eléctrica y correr para provocar una taquicardia. Dado que provocar tanto una bradicardia por debajo de 40 lpm o una taquicardia arriba de 180 lpm es muy peligroso, estos valores solo fueron probados en las simulaciones (Figura 8).

Las pruebas tuvieron un tiempo variado dependiendo de la persona, sin embargo los resultados para todos fueron similares, en el caso de los dos primeros escenarios hubo un 100% de aciertos a la hora de disparar la alarma, sin embargo en el tercer escenario se encontró un contratiempo a la hora de que se realiza una actividad física intensa: el ruido se incrementó de forma considerable impidiendo lecturas correctas, oscilando desde los 0 latidos por minuto hasta los 200; el sudor y el contacto físico con la banda que se coloca en el pecho hace que los sensores no tengan un buen contacto.

Una vez detectado este problema se contactó a la empresa responsable del sensor la cual recomendó utilizar el BioModule Holder en lugar del Chest Strap que viene con el sensor por defecto (Figura 9).



**Fig. 9.** Sensor BioHarness 3 [7]

Realizando una prueba posterior con este módulo alternativo que utiliza electrodos, se vio un descenso del ruido a la hora de hacer actividad física intensa, con lo que se pudo comprobar que la aplicación funciona de forma adecuada. Sin embargo existen diferencias entre ambos módulos, la principal y más significativa es que al usar el módulo de Holder se pierde la capacidad de adquirir el ritmo de respiración así como de estimar la temperatura corporal.

## 5 Conclusiones y trabajos a futuro

El monitoreo de signos cada vez se encuentra más presente en el día a día, utilizando tecnologías que nos permiten estar al tanto de nuestra salud, existiendo diversas propuestas como la de Apple y su sistema Health para el monitoreo de la salud, además del anuncio por parte de Google y su aplicación de Fit, ambos utilizando dispositivos diversos para la recolección de la frecuencia cardíaca. En este trabajo se diseñó la aplicación HeartDroid para monitoreo de enfermedades cardíacas utilizando el sensor Zephyr BioHarness 3 y un dispositivo Android. Este monitoreo de signos permite alertar tanto al usuario que lo porta así como a un médico y/o tutor de que ocurre una anomalía en tiempo real. Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos muestran los inconvenientes de la presencia de ruido, sin embargo se superó este problema al colocar el sensor BH 3 en el Holder (Figura 9), que al tener mejor contacto con la piel por medio de electrodos adheribles, permite tener mayor precisión en las mediciones y un correcto aviso de la alarma correspondiente dada la situación. Este trabajo contribuye con un prototipo que puede utilizarse en ambientes reales, no con el fin de reemplazar a los dispositivos médicos actuales sino como un complemento para realizar monitoreo en tiempo real.

Como trabajo a futuro en la aplicación HeartDroid se pretende utilizar la información recolectada del ECG con el fin de detectar arritmias específicas que no son identificables solo utilizando el ritmo cardíaco, es decir, la identificación de cada latido individual, además que es importante mejorar el sistema de alarmas para incluir más información que ayude al correcto análisis y diagnóstico de la anomalía.

## Agradecimientos

Este trabajo contó para su realización con el apoyo del Instituto Politécnico Nacional, a través de la “Beca Tesis Maestría” y el proyecto SIP 20140791.

## Referencias

1. John G. Webster Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation Second Edition Volume 1pp. 12-13, 2006
2. Zhang Y.; Xiao H. “Bluetooth-Based Sensor Networks for Remotely Monitoring the Physical Signals of a Patient” IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 13, No. 6, November 2009.
3. Mikati I. “Holter Monitor”, Verimed Healthcare Network, 2010.
4. mHealth New horizons for health through mobile technologies (2011), Global Observatory for eHealth series, Vol. 3, World Health Organization.
5. Postolache O.; Girao P.; Ribeiro M. “Enabling telecare assessment with pervasive sensing and Android OS smartphone” Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA) IEEE International Workshop, 2011.
6. Jin Z.; Sun Y.; Cheng A. “Predicting Cardiovascular Disease from Real-Time Electrocardiographic Monitoring: An Adaptive Machine Learning Approach on a Cell Phone” 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS, Minneapolis, Minnesota, USA, Septiembre 2-6 2009.
7. Zephyr BioHarness 3, <http://zephyranywhere.com/products/bioharness-3>