

# Apropiación de la tecnología Bluetooth y el sistema operativo Android para la solución de problemas en ingeniería biomédica.

## Caso de estudio: sistema de transmisión de señales ECG a sistema móvil con sistema Android vía Bluetooth.

Briyith DE LA CRUZ<sup>1</sup>, Ricardo CUELLAR<sup>1</sup>, Ermin ROJAS<sup>1</sup>, Valentín Molina<sup>2</sup>, Horderlin Vrangel ROBLES<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Carreras Industriales – ECCI.  
<sup>2</sup>GINIC-HUS, Hospital Universitario de la Samaritana.  
Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

**Resumen**— Aplicar la telemetría en el monitoreo de señales biomédicas permite llevar un control continuo de los parámetros de los pacientes previniendo futuras complicaciones en su salud y elevando la eficiencia del personal médico que, gracias a estos sistemas, puede atender a más pacientes a la vez. En el presente artículo se plantea la importancia de la telemetría en el monitoreo de señales biomédicas y se diseña un prototipo con un módulo de transmisión Bluetooth para señales electrocardiográficas (ECG). El diseño presentado abarca desde la digitalización de la señal y su transmisión vía bluetooth hasta su recepción y visualización en un software supervisor implementado en Android. En la realización de pruebas se emplean equipos para amplificar la señal ECG (que está en el orden de los milivoltios) a un rango de voltaje adecuado para su digitalización. Se hace énfasis en que no se abarca la etapa de adquisición de la señal sino que se asume que la señal está amplificada.

**Palabras Clave:** Bluetooth, Android, señales electrofisiológicas.

**Abstract**— Apply telemetry in biomedical signal monitoring allows to control parameters continuously patients preventing future health complications and increasing the efficiency of the medical staff, through these systems, can serve more patients at a time. This article discusses the importance of telemetry in biomedical signal monitoring and designing a prototype with a Bluetooth transmission module electrocardiographic signal (ECG). The design presented ranging from the digitization of the signal and its transmission via bluetooth to your reception and visualization software implemented in Android supervisor . In testing apparatus is employed for amplifying the ECG signal (which is in the order of millivolts) to a voltage range suitable for scanning. Emphasizes not cover the acquisition stage of the signal it is assumed that the signal is amplified.

**Key Words:** Bluetooth, Android, electrophysiological signal.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de adquisición de señales biomédicas han avanzado tecnológicamente a pasos agigantados en comparación con las décadas anteriores, encontrando en el mercado sistemas cableados vía USB o inalámbricos utilizando tecnología wireless, bluetooth, ZigBee, entre otros. Estos sistemas permiten a doctores y profesional de la salud en general adquirir las señales electrofisiológicas provenientes de los pacientes de forma eficiente y con el menor ruido, esto en equipo muy complejos que además de la adquisición, realizan operaciones de filtraje, cálculos estadísticos, mediciones de magnitudes físicas y análisis espectrales en línea [1]. Además debido al avance en nuevos sistemas operativos móviles, y a la masificación de los sistemas portables como Tablet, Smartphone, PC portátiles y demás; se hace necesario crear equipos biomédicos capaces de conectarse a dichos sistemas y realizar operaciones más complejas que ayuden al médico en el tratamiento, diagnóstico o monitoreo de sus pacientes. En Colombia, hay la necesidad imperativa de avanzar en el diseño e implementación sistemas biomédicos, en especial en el campo de la telemedicina, ya que esta al igual que la vigilancia móvil de la salud, entre otros parámetros relacionados, mejoran la calidad de la atención y la vida independiente asistida por el entorno [2]; Este es un campo de rápido crecimiento dentro de la biomédica, y las tecnologías de información y comunicación (TIC) que ofrecen nuevas oportunidades, a través de la introducción de formas innovadoras de bienestar de vigilancia y transmisión de información tanto a los profesionales médicos como a pacientes. El sistema operativo Android, el cual es una pila de software para dispositivos móviles que incluye las aplicaciones de un sistema operativo, middleware y aplicaciones claves, el cual es desarrollado por Open Handset Alliance, la cual, es liderada por Google [3]. Actualmente este sistema está tomando mucha fuerza entre los dispositivos móviles, es decir, teléfonos inteligentes y tabletas, y esto crea la necesidad de comenzar a crear aplicaciones biomédicas que permitan demostrar, analizar y evaluar, la eficiencia y eficacia del mismo.

## 2. PROYECTO SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES ECG A SISTEMA MÓVIL CON SISTEMA ANDROID VÍA BLUETOOTH.

Durante los últimos años el avance de la tecnología biomédica ha alcanzado niveles inimaginables para el ser humano, en especial en el campo de la telemedicina. La evolución más reciente de las nuevas tecnologías, y de las herramientas que proporciona la nueva Sociedad de la Información, permite aplicar este concepto de telemedicina o e-Salud a innumerables campos: aplicaciones asistenciales (teleconsulta, telediagnóstico, telemonitorización), administración y gestión de pacientes, o formación e información tanto de profesionales como usuarios [4]. Android ofrece un gran potencial para la implementación de nuevas funcionalidades y servicios, en cuanto a la adquisición de señales de forma inalámbrica de fácil manejo, portabilidad y economía. Al tratarse de un entorno libre, permite una rápida integración con otras plataformas, además de ofrecer una serie de herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones. Por otro lado, los terminales existentes que cuentan con este sistema operativo, poseen unas prestaciones de muy alto nivel: pantallas de gran tamaño y calidad visual, cámaras con alta definición, procesadores eficientes, etc. Todas estas características hacen de Android un entorno más que apropiado para la elaboración de este proyecto.

Este proyecto proporciona un entorno donde se facilita el intercambio de información biomédica entre los diferentes dispositivos médicos que pueda necesitar el paciente, y en diversos casos de uso en el área de la telemedicina. De esta forma, se dispone de un transmisor bluetooth modem BlueSMiRF Gold capaz de enviar a teléfonos inteligentes o tabletas con plataforma Android 2.2 o superior, la información captada de la señal biomédica del paciente, este caso desde una tarjeta con un sistema microcontrolado como lo es el Arduino UNO. Con esto se pretende apropiarse de las nuevas tecnologías existentes en el mercado para la solución de problemas en el campo de la ingeniería biomédica y así, demostrar las capacidades y aptitudes de los ingenieros biomédicos formados en la escuela colombiana de carreras industriales

### 2.1. Antecedentes.

La tecnología móvil ha avanzado de una manera espectacular esta última década. Todo el mundo recuerda los primeros móviles de los 90, sus grandes dimensiones, con su antena exterior y el antiguo juego de la serpiente. Parecía imposible pensar que algún día la gente podría conectarse a Internet, escuchar música y mucho menos utilizar un móvil como cámara de fotos. Pues bien, hoy en día ya es algo común y al alcance de todo el mundo. Pasadas las novedades de tener un móvil que reprodujera mp3 o echara fotografías en VGA, ahora comprarse un terminal implica pensar en los Gigabytes que tiene o los megapíxeles de la cámara de fotos, asumiendo ya lo que antes parecía futurista [5]. Android [6] es un Sistema Operativo (SO) para dispositivos móviles basado en el núcleo Linux. Inicialmente fue desarrollado por Android Inc., compañía que fue comprada después por Google. En la actualidad lo desarrollan los miembros de la Open Handset Alliance [7], un consorcio de compañías de hardware, software y telecomunicaciones comprometidas con la promoción de estándares abiertos para dispositivos

móviles, liderada por Google. Su lanzamiento se produjo en Noviembre de 2007 con la versión 1.1, y ha evolucionado a una velocidad vertiginosa hasta llegar a la versión 2.1 (Flan), pasando antes por la 1.5 (Cupcake), 1.6 (Donut), y 2.0 (Eclair). Actualmente se encuentra en la versión 4.4.3. En el trabajo desarrollado por Feldmann et al. [8] se dispone de tres ordenadores portátiles que actúan como emisores de señal Bluetooth y un dispositivo móvil de tipo receptor de la señal Bluetooth. El dispositivo móvil es quien calcula la posición dónde se encuentra mediante triangulación de la señal que emiten los tres portátiles. El artículo de Cheung et al. del MIT [9] presenta una arquitectura en la que los emisores son de bajo coste y el receptor es un dispositivo móvil. El artículo quiere enfatizar en la ventaja de usar este tipo de arquitectura pasiva de bajo coste. La plataforma Alipe [10] mezcla diversas topologías para obtener la posición. En esta plataforma por un lado hay dispositivos Bluetooth que envían información sobre su ubicación al realizarle una petición por parte de otro dispositivo Bluetooth cliente. Si el dispositivo al que se le ha realizado la petición no está adaptado para comunicar su posición, el dispositivo cliente que ha realizado la petición registra la dirección Bluetooth remota y busca en una base de datos centralizada la ubicación asociada a esa dirección Bluetooth.

En el pabellón de Finlandia en la expo de Shangai 2010 se desarrolló una aplicación para móviles [11] en la que los usuarios podían obtener su posición dentro del pabellón mediante puntos de acceso Bluetooth que calculaban posiciones mediante distribuciones de probabilidad del indicador RSSI. En el campo biomédico hay muchas aplicaciones que se pueden encontrar, pero a partir del año 2010, debido a que hasta ahora se están comenzando a desarrollar e implementar dichos sistemas, algunos encontrados en la literatura como el proyecto de respuesta Vital DroidJacket que tiene como objetivo explorar las sinergias entre las tecnologías portátiles, redes de sensores dispersos, tecnología de edificios inteligentes y servicios de localización precisos para ofrecer acceso seguro, fiable y eficaz en respuesta primaria de los sistemas en situaciones de emergencia [12]. Uno de los componentes necesarios en este entorno tecnológico es la capacidad de supervisar bioseñales de respuestas primarias en el campo. Dicho sistema de monitoreo móvil llamado DroidJacket hace frente a las necesidades vitales de respuesta. DroidJacket utiliza un Smartphone basado en Android como una estación base de los signos vitales adquiridos con la chaqueta de Vital en las prendas de vestir, que permite la visualización y el procesamiento simple en tiempo real [12]. Otro sistema encontrado en la literatura es el BEAT: Bio-Environmental Android Tracking [13] el cual, proporciona métodos para la recolección, procesamiento y archivo de las estadísticas vitales de todos los días un espacio-temporales de uso de fuera de la plataforma de dispositivos inalámbricos y sensores biológicos y ambientales. Puede funcionar de forma autónoma en un dispositivo móvil y otra información vital en tiempo real. Utiliza las estadísticas como la variación de los latidos del corazón y los umbrales de rango para emitir alertas [13]. BEAT se basa en la plataforma abierta Android para apoyar una clase diversa de dispositivos móviles. El marco puede ser extendido a un sistema de monitoreo

personal de salud mediante la incorporación de nuevos datos de los biosensores como la presión arterial, la glucosa y el peso.

## 2.2. Descripción del hardware implementado.

El módulo tendrá las siguientes partes: etapa de digitalización de la señal ECG, etapa de transmisión con bluetooth, etapa de recepción en el dispositivo móvil y etapa de visualización en un software implementado para el sistema operativo android. Se asume para el diseño que la señal ya ha sido acondicionada y filtrada y está lista para ser digitalizada y transmitida. Para la etapa de digitalización se debe tener conocimiento de programación en microcontroladores, en este caso se emplea el sistema de desarrollo Arduino por su conversor análogo digital (ADC) de 10 bits de resolución, el cual es recomendado para señales ECG [14]. Además, la USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter, USART) permite llevar la señal digitalizada a formato serial, para que el módulo Bluetooth realice la modulación y la transmisión por radiofrecuencia. El módulo bluetooth BlueSMiRF Gold soporta alimentación de 3 VDC a 6 VDC [14], de ahí que el microcontrolador deba funcionar con ese voltaje de alimentación. Si bien el Arduino no está recomendado para aplicaciones médicas, se necesita la digitalización para demostrar la transmisión vía bluetooth y al tener las características antes mencionadas nos permite demostrarla.

Para un producto comercial, al final del documento (Recomendaciones) se mencionan microcontroladores aprobados para este uso. En la etapa de transmisión bluetooth, se emplean el modem BlueSMiRF Gold. Se emplea la modulación digital ASK OOK (amplitude shift keying On-Off keying). La modulación ASK consiste en cambiar la amplitud de la senoide (señal modulante) entre dos valores posibles y si uno de los valores es cero se le llama OOK (On-Off keying). La ventaja de estos módulos frente a los demás integrados es la precisión y eficiencia en la transmisión. Luego de ser demodulada la señal en la etapa de recepción, ésta es llevada a un dispositivo móvil Smartphone Samsung Ace y se visualiza en un App la señal captada. El sistema tendrá un rango de alcance por lo menos de 50 metros.

Para el desarrollo del sistema de adquisición de la señal de electrocardiografía, se utilizaron un circuito de acondicionamiento de la señal de electrocardiografía, el cual está formado de un amplificador de instrumentación, AD620 de la empresa National Semiconductor, con un amplificador TL072 de la empresa Texas instrument para el filtro pasabanda de 0.05 Hz a 100 Hz, de cuarto orden y un LF353 de national para la etapa de acondicionamiento de la tierra del circuito.

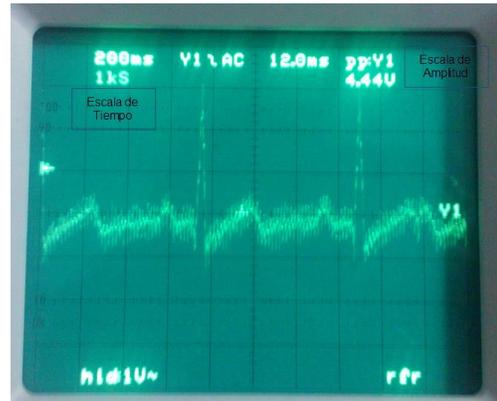


Figura n°1. Señal de ECG antes del filtro pasa banda de segundo orden.

Un sistema microcontrolado para la conversión analógica a digital, con 10 bits de conversión y luego la implementación del módulo USART para la comunicación serial con el módulo de transmisión bluetooth. Este sistema microprocesado fue implementado en una tarjeta Arduino, con un microcontrolador ATmega328P, el cual tiene una memoria flash de 32Kb, 1Kb de memoria EEPROM, 14 pines de entrada salida digitales, 6 módulos PWM y 6 pines de entrada analógicos.

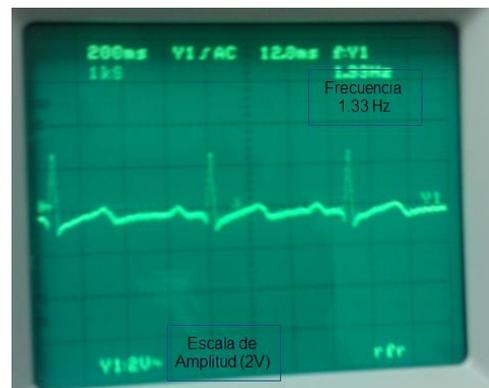


Figura n°2. Señal de ECG después del filtro pasa banda de segundo orden.

Un módulo de transmisión bluetooth denominado BlueSMiRF Gold, el cual trabaja como una línea de comunicación serial (TX/RX). Cualquier flujo de datos seriales entre 9600 y 115200 bps puede ser enviada fácilmente desde tú computador hacia el dispositivo objetivo. Estas unidades han sido probadas al aire libre a 106 metros de alcance. Puede ser alimentada desde 3.3V hasta 6V. Todos los pines de conexión soportan voltajes entre 3V a 6V. No se debe conectar el dispositivo directamente al puerto serial. Se necesita un conversor de RS232 a TTL, si se desea conectarlo a un computador. Las características que el fabricante proporciona son:

- Alcance de 106m.
- Bluetooth radio modem aprobado por la FCC clase 1
- Enlace de conexión muy robusto tanto en integridad como también distancia de transmisión (100m).
- Bajo consumo de corriente 25mA en promedio.

- Opera en ambientes con otras señales de RF como WiFi, 802.11g y Zigbee.
- Frecuencia de conexión encriptada 2.4~2.524 GHz.
- Voltaje de operación: 3.3V-6V.
- Comunicación serial: 2400-115200bps.
- Temperatura de operación: -40 ~ +70C.
- Antena incorporada.
- Tamaño: 51.5 x 15.8 x 5.6mm.

Por último, el desarrollo de una aplicación para la visualización de la señal captada y transmitida a un teléfono inteligente o una tableta con sistema operativo Android, el cual es un sistema operativo móvil basado en Linux, que fue desarrollado inicialmente por Android Inc., una firma comprada por Google en 2005. Es el principal producto de la Open Handset Alliance, un conglomerado de fabricantes y desarrolladores de hardware, software y operadores de servicio. La aplicación utilizó la librería amarino diseñada para conectar dispositivos móviles con plataforma Android, es gratis, evitando problemas de licenciamiento del sistema. El código fue implementado y desarrollado en el entorno eclipse Galileo para aplicaciones android.

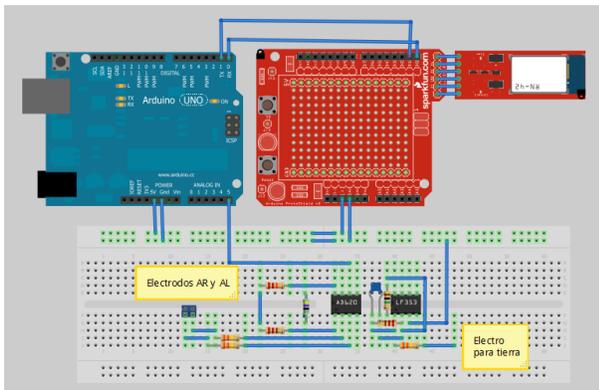


Figura n°3. Circuito esquemático del proyecto implementado en fritzing.

### 2.3. Diseño del App para Android.

La aplicación implementada en eclipse para el proyecto se llama ECGAndroid, se utilizaron las librerías de amarino necesarias para la creación de aplicativos con bluetooth, la imagen del aplicativo diseñado aparece a continuación.

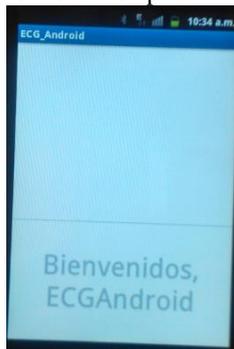


Figura 4. Aplicativo en android para dispositivos móviles.

Fue instalado en un teléfono celular Samsung Galaxy ace referencia S5830, cuyo sistema operativo android es la versión 2.1. El diagrama de flujo del sistema implementado se muestra en la figura 5, donde se describe los procesos necesarios para lograr la conexión entre los dispositivos usando el protocolo bluetooth (teléfono celular y sistema android). Las subrutinas empleadas en los dos sistemas, tienen tareas como la conexión de los módulos bluetooth, conversión analógica a digital, transmisión asíncrona usando la USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) del microcontrolador y visualización de la señal receptionada en el aplicativo en android.

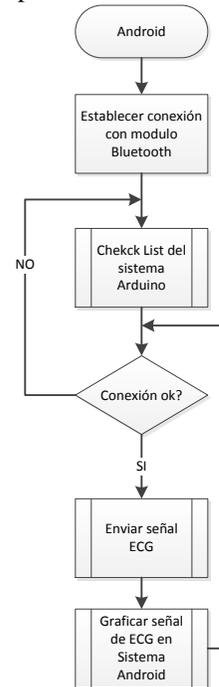


Figura n°5. Diagrama de flujo del sistema implementado.

El algoritmo implementado en el sistema Arduino se ilustra en la figura 6. Se describen los procesos de conversión analógica a digital de la señal de ECG, y su respectiva transmisión al aplicativo android del teléfono celular utilizando el protocolo bluetooth.

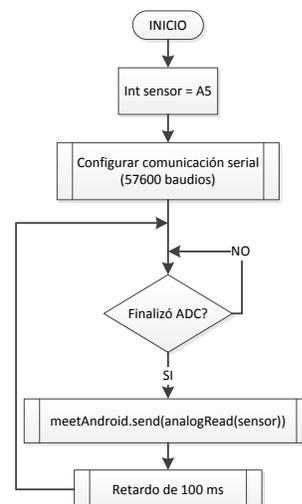


Figura n°6. Diagrama de flujo del código implementado en el sistema Arduino.

### 3. RESULTADOS Y ALCANCES.

En la figura 7 se ilustra el sistema celular visualizando la señal de ECG, la frecuencia de transmisión fue de 115.200 bps y la distancia con el módulo BlueSMiRF Gold fue de 13 metros atravesando paredes y 84 metros en campo abierto.



Figura n°7. Proyecto ECG\_Android.

Con un prototipo completado con éxito, se pueden plantear mejoras y refinamientos para el sistema implementado. Una de las principales prioridades para el trabajo futuro debe ser llevar el diseño del sensor de acuerdo con las especificaciones estándares. Las dos normas principales para el diseño de ECG son la norma AAMI en el electrocardiograma, y las normas UL544 de IHS (IHS, Industry Standards & Regulations) y la IEC60601.

Algunos avances se ven el dispositivo capaz de ser desplegado en situaciones críticas. Una mayor resolución ADC proporcionaría resultados más precisos. Sin embargo un microprocesador diferente sería necesario para lograr el rendimiento más alto requerido. La incorporación de las capacidades de comunicación USB mejoraría la conectividad del dispositivo. En la actualidad la transferencia de datos se limita a la tasa de 57 Kbps de comunicación con el módulo Bluetooth. Si se incorporan USB, la velocidad de transferencia de datos sólo estaría limitada por la velocidad de comunicación de Bluetooth. Esto permitiría disponer de más información para ser enviada como por ejemplo los datos de varias derivaciones, no sólo la derivación II. Los médicos podrían diagnosticar a los pacientes con más herramientas tecnológicas. En la actualidad los datos se limita a un PC o la capacidad máxima distancia de la tecnología Bluetooth. Un límite que se impone a la base de datos de almacenamiento. Actualmente ejecutar TCP/IP a través de Bluetooth es muy difícil, ya que la resolución del DNS es muy alta, Si TCP y UDP podría aplicarse sería permitir que los datos de viajar aún más lejos, y cada vez más prolífico.

Este trabajo puede ser continuado por otro estudiantes de ingeniería biomédica y de esta manera corregir todos los errores encontrados mejorarlos y hacerlo con más señales electrofisiológicas.

### 4. CONCLUSIONES.

El prototipo consta de cables reducidos y configuración reducida. El sensor autónomo se comunica con un

ordenador. El prototipo de ECG propuesto se puede habilitar para el hogar, como herramienta de visualización de la señal de electrocardiografía al ser de bajo costo comparado con electrocardiógrafos encontrados en el mercado Colombiano. El diseño final dio un pequeño sensor que sería más conveniente de llevar para un paciente. El prototipo de ECG propuesto es de uso personal, debido a las características del protocolo Bluetooth, que impide la conexión en red de varios sensores ECG a dispositivos móviles celulares.

Como para el caso del hospital, el paciente beneficiado de una reducción de la configuración dada por la incorporación de Bluetooth. Se ha podido aprender a desarrollar aplicaciones para Android en un periodo corto de tiempo gracias a la gran cantidad de información que hay disponible, como es lógico Google ha facilitado tutoriales y ha publicado una API para acelerar la creación de programas por parte de los usuarios. El ingeniero biomédico de la ECCI está en la capacidad de adquirir nuevo conocimiento e implementar nuevas tecnologías de punto en la solución de problemas en las diferentes áreas de la Biomédica.

### 5. REFERENCIAS.

- [1] A. Suarez, L. De Armas, T. Azneille y M. Gonzalez. "Desarrollo de aplicaciones para el registro de señales biomédicas en tres capas". VI congreso de la sociedad de Bioingeniería. Habana Cuba, 2005, pp. 1-5.
- [2] Steg, H., Strese, H., Loroff, C., Hull, J., and Schimdt, S. "Europe is facing a demographic challenge ambient assisted living offers solutions". Technical report, VDI/VDE-IT. 2006.
- [3] Amit Kumar Saha. "A developer's first look at Android". Technical Writer. Enero 2008.
- [4] A. J. Korhonen, M. Parkka, "Health Monitoring in the Home of the Future: Wear it well", IEEE Eng Med Biol Mag, 2003, pp. 66-73.
- [5] J. Balaguero Peña. "Estudio de la plataforma Android". Tesis de grado, Julio. 2008, pp. 7-9.
- [6] Open Movil Forum (OMF) <http://open.movilforum.com> (Última visita a la página web: Enero de 2013)
- [7] Open Handset Alliance <http://www.openhandsetalliance.com/> (Última visita a la página web: Mayo de 2013)
- [8] S. Feldmann, K. Kyamakya, A. Zapater, Z. Lue. "An Indoor Bluetooth-Based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation", in: International Conference on Wireless Networks, 2003.
- [9] Cheung K., Intille S., and Larson K., 2006. "An Inexpensive Bluetooth-Based Indoor Positioning Hack". Proceedings of UbiComp, 2006
- [10] J. Hallberg, M. Nilsson, K. Synnes, "Bluetooth Positioning", The Third Annual Symposium on Computer Science and Electrical Engineering (CSEE 2002), Luleå, Sweden, 27-28 May 2002.
- [11] Pei, Ling; Chen, Ruizhi; Liu, Jingbin; Tenhunen, Tomi; Kuusniemi, Heidi; Chen, Yuwei; , "An Inquiry-based Bluetooth indoor positioning approach for the Finnish pavilion at Shanghai World Expo 2010," Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION , vol., no., pp.1002-1009, 4-6 May 2010.

- [12] Colunas, M.F.M.; Fernandes, J.M.A.; Oliveira, I.C.; Cunha, J.P.S.; ; , "DroidJacket: An Android-based application for first responders monitoring", Information Systems and Technologies (CISTI), 2011 6th Iberian Conference on, pp.1-4, 15-18 June 2011.
- [13] S. Soliman. "Señales y Sistemas continuos y discretos". Prentice Hall Iberia, Madrid 1999.
- [14] Sánchez Céspedes, j. M. Y Bernal Ruiz, G. Revista Umbral Científico. Compresión de la señal electrocardiográficas ECG. [en línea]. Bogotá, Colombia [publicado 06/2004].