

## PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

(Entregado 20/03/2015 – Revisado 24/04/2015)

### **Rolando Marcelo Álvarez Veintimilla**

Ingeniero en Sistemas e Informática por la Escuela Politécnica del Ejército hoy Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Diplomado Internacional en Competencias Docentes Tec. De Monterrey – Cambridge, Docente Titular Tiempo Parcial del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga.

### **María Soledad Jiménez Jiménez**

Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional 1988, obtuvo su título de Master of Science in Electrical Engineering en la Universidad de Texas & Arlington – USA en 1994. Profesora a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional desde 1988 hasta la presente fecha, Docente de la Maestría de Redes de Comunicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

### **Gustavo Xavier Chafía Altamirano**

Doctor en Telecomunicaciones – Coordinador del Programa de Maestría en Redes de Comunicaciones y Profesor Principal de la PUCE en la Facultad de Ingeniería. Actualmente vinculado a varios proyectos de Investigación Ligados al Desarrollo de las Telecomunicaciones y sus diferentes aplicaciones.

**Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Ecuador**

**Escuela Politécnica Nacional – Ecuador**

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

**rmalvarez@espe.edu.ec**

**maria.jimenez@epn.edu.ec**

**gxchafia@puce.edu.ec**

### **Resumen**

*En el sector de la salud, la tecnología ayuda al personal sanitario a desarrollar lo mejor posible su trabajo, aun mas en situaciones de emergencia, una gran parte de éstas, utiliza ambulancias, que atienden siniestros en los que el tiempo es un factor crítico en la toma de decisiones. El presente proyecto propone el monitoreo de señales fisiológicas aplicando la telemetría con el uso de sensores de temperatura, presión y ECG (electrocardiograma) con la utilización de un dispositivo FPGA para la captación de señales fisiológicas, luego los datos serán procesados en un ordenador Raspberry Pi utilizando software libre y enviados a un servidor remoto aplicando tecnología de comunicación móvil, para que se los pueda visualizar en un entorno web. De esta manera se acortan distancias y tiempos en el envío de signos vitales hacia los centros y/o subcentros de salud que cuenten con especialistas, y obtener un criterio médico experto, que en algunos casos puede constituir la diferencia entre la vida y la muerte de un paciente víctima de una emergencia médica.*

**Palabras Claves:** Telemetría, Telemedicina, Ambulancia, Tratamiento de señales fisiológicas, Comunicación móvil.

## Abstract

*In the health sector, technology helps healthcare staff to develop their best work, even more in emergencies, much of these, used ambulances attending incidents in which time is a critical factor in taking decisions. This draft proposes monitoring physiological signals using telemetry such as temperature sensors, pressure and ECG (electrocardiogram) using of an FPGA in order to capture physiological signals; after that the data will be processed in a computer Raspberry Pi, which uses a free software and sending these data to a remote server through a mobile communication technology, so that the can be displayed on a web environment. This distances and times are very important in sending vital signs to the centers and / or health sub-centers that have specialists, who can get an expert medical judgment, which in some cases can make the difference between life and death for some patients or victims of a medical emergency.*

**Keywords:** *Telemetry, Telemedicine, Ambulance, biomedical signals, Treatment of physiological signals, Mobile communication.*

## 1. Introducción

El uso de la tecnología que permite al usuario recopilar información en lugares inaccesibles, para luego transmitirla a lugares donde pueda ser procesada, almacenada y/o presentada, se define como telemetría por (Bakshi K.A., 2008). En este contexto existe una gran cantidad de investigaciones que la utilizan para transmitir datos de los signos vitales, por ejemplo un sistema que monitorea el ritmo cardiaco basado en la utilización de teléfonos inteligentes (Oresko et al., 2010). La inversión tecnología, en el sector sanitario, se considera como una de las grandes oportunidades de reducción de costos y de mejora en cuanto a la prestación de servicios, sobre todo en los países en vías de desarrollo (García et al., 2012) (Dey, Hariharan, & Ho, 2007). A pesar de que la tasa de aceptación tecnológica de la información y comunicación en el sector sanitario se ha mantenido baja, incluso en naciones tradicionalmente desarrolladas, esta potencialidad aplicada a los procesos de toma de decisiones o en la operatividad de los servicios, puede constituirse en una situación ventajosa en el ámbito de la salud. (Murray et al., 2011) (dos Santos et al., 2013). En Ecuador, como en otros países en vías de desarrollo, se pretende mejorar los servicios de salud, así como otros servicios públicos, con el uso de la tecnología y comunicaciones (Ecuador, 2013) (García et al., 2012). Sin embargo no cuenta con un servicio de ambulancias que posea un sistema de comunicaciones para el envío de señales biomédicas a los centros de salud, donde se encuentra el médico especialista que pueda brindar su apoyo y/o despliegue logístico necesario en emergencias y a su vez mantener contacto directo con el resto de la red de salud. A esto se suma el hecho de que los primeros minutos en una emergencia siempre son los más críticos a la hora de salvar vidas (Blackwell, 2011).

El presente proyecto busca diseñar un sistema prototipo que utilice la telemetría, para el tratamiento de los signos vitales, de un paciente que se encuentre en una ambulancia, en una situación catalogada como emergencia médica, que mediante la utilización de sensores de presión, temperatura y ECG (Electrocardiograma) permita monitorear los signos vitales, y luego estos se procesa y envía a un servidor remoto, en el cual se cuenta con una aplicación para que un médico especialista visualice la información en un entorno web en el centro de salud, permitiendo obtener criterios expertos en la toma de decisiones del paramédico.

## 2. Requerimientos de software y de hardware

Al momento de trabajar con dispositivos médicos es importante mencionar que éstos deben cumplir con ciertas normas y estándares, las cuales permiten identificar compatibilidades de funcionamiento y crecimiento en lo que concierne al software y hardware, como los siguientes: interoperabilidad de dispositivos médicos (usuario / paciente) - ISO/IEEE11073, interoperabilidad de EHR (archivo electrónico de salud) intercambio (centros de salud) - EN13606, interoperabilidad de interfaces de conexión - RS232/IrDA/USB/Bluetooth/ZigBee, interoperabilidad de tecnologías end-to-end - XML/Web Services (SOAP) (Martínez Ruiz).

Dentro del diseño y luego de la investigación realizada se pudo establecer el requerimiento de algunos elementos, que intervendrán en el funcionamiento del sistema, es por esta razón que se inicia con la división del proyecto en tres grandes sistemas, los cuales podemos visualizar en la Figura 1, para luego realizar una descripción más detallada de dichos módulos, así como también del software y hardware que intervienen en cada uno de ellos.

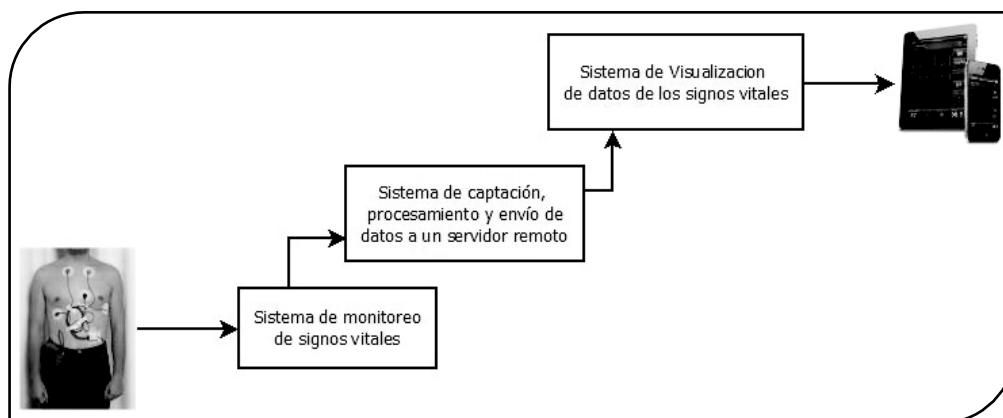


Figura 1. Diagrama esquemático general del prototipo de telemetría para asistencia remota en ambulancias.

**Sistema de monitoreo de signos vitales.-** Se encarga de obtener los signos vitales de los pacientes en emergencia que se encuentran en una ambulancia mediante la utilización de un sensor de temperatura Vernier, el cual permite un rango de temperatura de  $-40$  a  $135$  °C y un tiempo de respuesta de 10 segundos en el agua, con agitación, 400 segundos en aire y 90 segundos en el aire en movimiento (V. Instruments, 2014). Además un sensor de presión arterial, el cual mide la presión sistólica, diastólica y media de la presión arterial mediante la técnica de oscilometría, a más de ser no invasivo tiene un transductor de presión BPS-BTA, el cual tiene una membrana que se flexiona con los cambios de presión; entre otras características su tiempo de respuesta es de  $100 \mu\text{s}$  (Vernier, 2014a). Por otra parte se tiene el sensor ECG que permite medir las señales eléctricas que se producen mediante las contracciones musculares, y que se lo puede usar para realizar trazos de ECG de 3 derivaciones estándar (Vernier, 2014b).

El dispositivo FPGA que permite la interconexión de recursos configurables que mediante la codificación de programas puede interactuar directamente con el hardware, con la posibilidad de adaptarse a cualquier arquitectura (N. Instruments, 2013).

**Sistema de captación, procesamiento y envío de datos a un servidor remoto.-** Los datos captados

## PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

en el sistema de monitoreo de signos vitales, se envían a través del puerto Ethernet, a una Raspberry Pi que es un ordenador de placa reducida a un bajo costo, donde se destacan características del procesador central ARM1176JZF-S a 700 MHz, 512 MiB de memoria SDRAM y una tarjeta SD para el almacenamiento permanente, además de conectividad de red Ethernet y puertos USB 2.0, características que permite darle un tratamiento de computador personal (Toledo, 2014).

En la que se encuentra una aplicación realizada en Java, que es un lenguaje de propósito general compilado e interpretado y posee características importantes, tales como: orientación a objetos e independencia de la plataforma (Belmonte Fernández, 2005), donde se toma datos y se los envía a un servidor remoto mediante un modem de comunicación móvil ZTE MF100 que permite una conexión a Internet de manera inalámbrica y rápida, navegando libremente desde una Laptop o PC mediante la red 3G, entre otras las funcionalidades más importantes que se toma en cuenta para el presente proyecto son: transferencia HSDPA 3.6 Mbps soporte de carga, banda ancha HSDPA / UMTS / WCDMA: 2100MHz, compatibilidad con EDGE / GPRS / GSM 1900/1800/900/850 MHz, antena interna y USB 2.0 HS, Micro SD ranura de la tarjeta y servicio de SMS, tamaño: 66 x 25 x 10,9 mm, Suportado en Windows 2000/XP/Vista, Win7, Linux, Mac (Modem) para enviarlos a MySQL, que es una bases de datos relacional, multihilo y multiusuario además es muy utilizado en aplicaciones web con distintas plataformas como: Linux, Windows tiene compatibilidad con Apache, PHP, Perl, Python; otra de las grandes ventajas es una baja concurrencia con respecto a la modificación de datos, es ofrecido bajo la GNU GPL para cualquier uso compatible con esta licencia, pero para un uso empresarial donde se pretenda incorporar productos privativos se debe comprar una licencia específica (Gilmore, 2010).

***Sistema de visualización de los datos de los signos vitales.***- A partir de la información almacenada en la base de datos se podrá visualizar esta información en una aplicación utilizando un servidor web Apache, cuyas principales características son la de ser multiplataforma, de código fuente abierto que permite crear páginas web protegidas según (Mifsuf Talón, 2012) además la utilización de lenguaje PHP ya que permite desarrollar páginas dinámicas por ser embebido en HTML además de la posibilidad de ejecutarse en muchas plataformas y ser de código abierto sin dejar de mencionar su difusión desde el 2002 llegando a tener cerca de los cien millones de sitios activos (Eslava Muñoz, 2013).

### 3. Diseño del prototipo

Una vez establecido los requerimiento de software y hardware se inicia con el diseño del sistema, en el cual se conecta los sensores de temperatura, presión y ECG a la sbRIO-9636 con la FPGA donde se debe realizar un acondicionamiento de la señal ya que éstas son de naturaleza analógica (Hernández, Chailloux, Busoch, & Regueiro, 2001). Las señales de los signos vitales son captadas por la tarjeta sbRIO9636-FPGA donde se debe seleccionar las entradas analógicas para lo cual se define los espacios de memoria, tanto para los datos enteros como para los decimales de cada uno de los sensores, luego se define un bucle repetitivo infinito en el cual se realiza la adquisición de datos (Gavilema Casa & Mullo Guilcamaigua, 2014), seguidamente estos datos se envían a través del protocolo TCP/IP con el uso de controles Data Communication en una aplicación desarrollada en LabView, ver Figura 2. Dichos datos se reciben en la Raspberry PI mediante un programa desarrollado en Java que efectúa la adquisición de datos mediante la utilización de sockets.

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

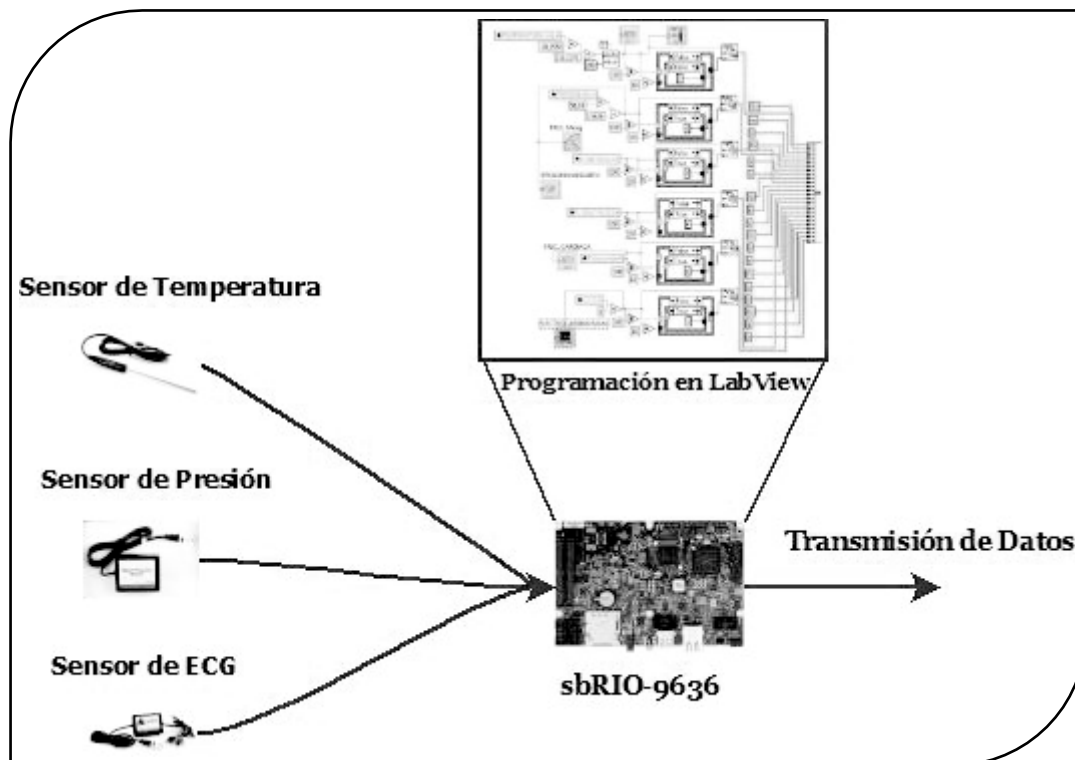


Figura 2. Diagrama del módulo de monitoreo de signos vitales

La conexión al servidor remoto se realiza utilizando la tecnología de comunicación móvil de tercera generación, ya que en nuestro país la cobertura poblacional y territorial puede alcanzar hasta un 94% según (Ministerio de Telecomunicación y de la Sociedad de la Información, 2014), por otra parte se ha probado la fiabilidad de las redes inalámbricas de infraestructura GSM/3G (Global System for Mobile communications/Tecnología Tercera Generación) en situaciones simuladas de emergencia médica (Martí, Robles, Martín-Campillo, & Cucurull, 2009), así como la reducción del tiempo de respuesta utilizando aplicaciones móviles desarrolladas para el efecto, que involucran la colaboración del público en general (Monares et al., 2011). Por tanto es necesario configurar el módem de esta tecnología (Vázquez, 2013) en la Raspberry Pi, Figura 3, y de esta manera establecer enlace con la base de datos remota.

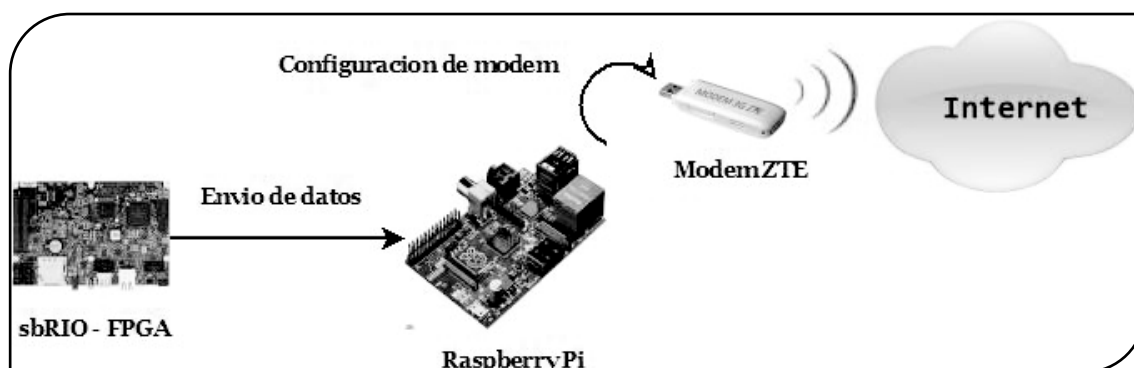


Figura 3. Diagrama del módulo de captación, procesamiento y envío de datos a un servidor remoto.

Establecido el enlace, los datos son enviados a un servidor remoto que tiene configurado el servidor web Apache Tomcat, el motor de base de datos MySql y la compatibilidad con lenguaje PHP, lo podemos encontrar en (Hostinger, 2015).

#### PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

Mediante un programa creado en Java se realiza la conexión al servidor donde se establece la dirección IP pública del mismo y el puerto, que como ya se mencionó al ser el servidor de base de datos MySQL, se define como puerto de conexión 3306 (Adnan & Hashim, 2009); el programa inserta los datos en la base utilizando el lenguaje SQL embebido en la programación del lenguaje Java para lo cual también hay que configurar la Raspberry Pi para ejecutar este tipo de aplicaciones (Pérez Esteso, 2013).

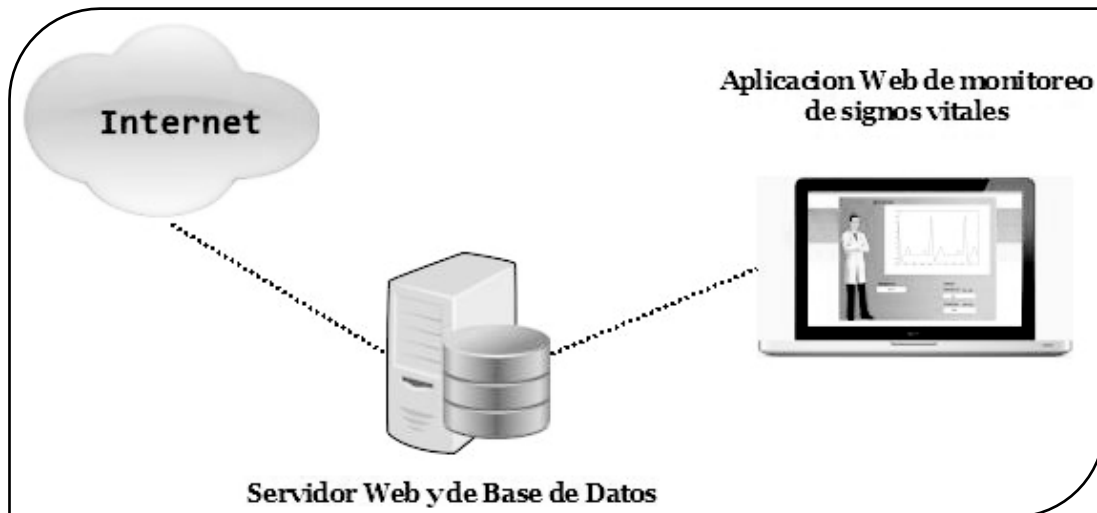


Figura 4. Diagrama del módulo, de visualización de los datos de signos vitales.

Luego de alimentar la base de datos, se realiza una aplicación web donde se extrae la información utilizando sentencia SQL junto con instrucciones en lenguaje PHP y HTML (Spona, 2010) para poder ser visualizado por el médico especialista, Figura 4, en los centros de salud correspondiente.

#### 4. Conclusiones

- Se estableció las normas y estándares que se deben utilizar en el ámbito tecnológico para el sector de la salud, donde se expuso también ciertas normas utilizadas a nivel internacional.
- El prototipo de telemetría para ambulancias se diseñó para que pueda ser instalado en una ambulancia, donde sea posible obtener los signos vitales de un paciente objeto de una emergencia médica, utilizando elementos electrónicos de última generación.
- Se logró establecer los requerimientos en software y hardware apropiados, tomando en cuenta sus características y funcionalidades, enfocado en la utilización de software libre y la fiabilidad de los elementos físicos y electrónicos aptos para trabajar en el monitoreo de signos vitales.
- En el diseño de un prototipo se utilizó el dispositivo Raspberry Pi, encargado del tratamiento, y procesamiento de los datos, para luego ser enviados a un servidor remoto de base de datos, y así tener la información a disposición de especialistas que se encuentren en un hospital, lejos de un accidente, pero donde su criterio puede salvar vidas de pacientes graves.
- En caso de que exista inconvenientes al ejecutar aplicaciones Java en las Raspberry Pi, es recomendable que se verifique las versiones del JDK, ya que es posible que la

## PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

versión instalada en el sistema operativo Raspbian no sea compatible con el desarrolló la aplicación.

- Se debe tomar en cuenta que la aplicación para el manejo del modem 3G no cumple con normas de usabilidad, por lo que se recomienda si es posible realizar una aplicación que gestione de mejor manera este dispositivo de comunicación.
- Al momento de hacer el procesamiento de datos en la Raspberry Pi es recomendable tomar en consideración la velocidad del procesador, ya que podría en algún caso ser insuficiente para el correcto funcionamiento de la aplicación.
- Luego de realizar el diseño del prototipo es recomendable, en medida de lo posible, su implementación en futuros proyectos de investigación, además se realizó tomando en cuenta desarrollo de software libre y dispositivos de arquitectura abierta para futuras investigaciones.
- Si bien es cierto que el monitoreo de signos vitales, es muy importante para un diagnóstico ajustado a la realidad, también es recomendable sumar nuevos elementos, como la utilización del envío de video o fotografía de las condiciones del paciente, para realizar un foto-diagnóstico, esto dependerá también del desarrollo de las comunicaciones para envío de mayor cantidad de datos por medio de dispositivos móviles.

### 5. Referencias bibliográficas:

- Adnan, S. F. S., & Hashim, H. (2009). Medical mobile to web services application. Paper presented at the Signal Processing & Its Applications, 2009. CSPA 2009. 5th International Colloquium on.
- Belmonte Fernández, O. (2005). Introducción al lenguaje de programación Java.
- Blackwell, T. H. (2011). EMS Response Time Standards Thomas H. Blackwell, MD, FACEP Case History. Evidence-Based System Design White Paper for EMSA, 18.
- Dey, P. K., Hariharan, S., & Ho, W. (2007). Managing healthcare technology in quality management framework. *International Journal of Technology Management*, 40(1), 45-68.
- dos Santos, A. d. F., Fernández, A., Alves, H. J., de Souza, C., de Melo, M. d. C. B., & Messina, L. A. (2013). Desarrollo de la telesalud en América Latina.
- Ecuador, R. d. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. In C. N. d. Planificación (Ed.), (pp. 1 - 588).
- Eslava Muñoz, V. J. (2013). El nuevo PHP paso a paso.
- García, R., Zambrano, A., Huerta, M., Clotet, R., Gilbert, L., & De Andrade, M. (2012). Diseño de una red inalámbrica para aplicaciones de telemedicina. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 14(55).
- Gavilema Casa, J. A., & Mullo Guilcamaigua, E. D. (2014). Diseño y construcción de un sistema electrónico de medición de señales fisiológicas, que ayuda al diagnóstico médico utilizando FPGA, con comunicación inalámbrica a tablet, con monitoreo remoto en tiempo real. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación.
- Gilmore, W. J. (2010). *Beginning PHP and MySQL: from novice to professional*: Apress.
- Hernández, Y., Chailloux, J., Busoch, C., & Regueiro, A. (2001). Nuevo sistema de bajo costo para adquisición y acondicionamiento de señales electrocardiográficas. Paper presented at the Cuarto congreso de la Sociedad Cubana de bioingeniería. La

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AMBULANCIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

Habana: Editorial UH.

- Hostinger. (2015). Ordenar Nuevo Servidor
- Instruments, N. (2013). Field Programmable Gate Array. from <http://www.ni.com/fpga/esa/>
- Instruments, V. (2014). Sonda de temperatura de Acero inoxidable.
- Martí, R., Robles, S., Martín-Campillo, A., & Cucurull, J. (2009). Providing early resource allocation during emergencies: The mobile triage tag. *Journal of Network and Computer Applications*, 32(6), 1167-1182.
- Martínez Ruiz, I. Familia de normas ISO/IEEE11073 (X73) Interoperabilidad de dispositivos médicos. Charla10 TIC Salud.
- Mifsuf Talón, E. (2012). Apache - Aula mentor.
- Ministerio de Telecomunicación y de la Sociedad de la Información, S. N. d. T. (2014). Boletín Estadístico del sector de las Telecomunicaciones.
- Modem, S. ZTE MF100.
- Monares, Á., Ochoa, S. F., Pino, J. A., Herskovic, V., Rodríguez-Covili, J., & Neyem, A. (2011). Mobile computing in urban emergency situations: Improving the support to firefighters in the field. *Expert systems with applications*, 38(2), 1255-1267.
- Murray, E., Burns, J., May, C., Finch, T., O'Donnell, C., Wallace, P., & Mair, F. (2011). Why is it difficult to implement e-health initiatives? A qualitative study. *Implement Sci*, 6(6).
- Pérez Esteso, M. (2013). Tutorial Raspberry Pi – Cómo compilar y ejecutar código java desde la terminal. from <http://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-como-compilar-y-ejecutar-codigo-java-desde-la-terminal/>
- Spona, H. (2010). Programación de bases de datos con MySQL y PHP: Marcombo.
- Toledo, S. M. (2014). Sistema de vigilancia de la calidad ambiental para entornos de trabajo.
- Vernier. (2014a). Blood Pressure Sensor.
- Vernier. (2014b). EKG Sensor.
- Vázquez, S. (2013). Raspberry Pi con Banda Ancha con modem ZTE MF180.