

Sistema de transmisión de señales biomédicas a través del servicio general de paquetes vía radio GPRS

Transmission system for biomedical signals through the general packet radio service GPRS

Juan Manuel Caicedo*, Edgar Willington Gutierrez**, Karin Correa***

Fecha recepción: julio 18 de 2014 - fecha aceptación: octubre 21 de 2014

ABSTRACT

The access to health systems in Colombia for remote towns, is a difficulty that has motivated great efforts in finding solutions in telemedicine to shorten the distances through the use of communication systems between different cities. The apparent growth of cellular communications coverage in the country has prompted its use in various processes of telemedicine. This paper presents the results obtained in the process of design, implementation and validation of a platform for capturing, processing and transmission of biomedical signals, using the General Packet Radio Service GPRS, which can be accessed remotely through a graphical front end to manage information obtained from a cloud server. We evaluate the system by measuring the precision of the acquired biomedical signals (above 98,5%); the time of connection to the cellular network (2,45 seconds) and the transmission rate subject to the conditions for provision of GSM service on two different protocols (1,23 seconds 5Kb files UDP). Finally, the ECG signal was compressed for transmission using the ARX model.

Keywords: Biomedical Signals, GPRS, Telemedicine, Transmission.

RESUMEN

El acceso a los sistemas de salud en Colombia para las poblaciones rurales lejanas, es una dificultad que ha motivado grandes esfuerzos en la búsqueda de soluciones en telemedicina que permitan acortar las distancias a través del uso de los sistemas de comunicación entre diferentes poblaciones. El evidente crecimiento de la cobertura de las comunicaciones celulares en el país ha impulsado su empleo en diversos procesos de tele-salud. Este documento presenta los resultados obtenidos en el proceso de diseño, implementación

* Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca, Especialista en Gestión de Proyectos, Profesor de la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Biomédica. Email: juancai@uan.edu.co.

** Ingeniero de Sistemas de la Universidad Antonio Nariño, Especialista en Computación para la docencia, Profesor de la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Biomédica. Email: edgargu@uan.edu.co.

*** Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca, Mg(c) en Automática, Profesor de la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Biomédica. Email: karincoar@uan.edu.co.



y validación de una plataforma de captura, procesamiento y transmisión de señales biomédicas, empleando el Servicio General de Paquetes vía Radio GPRS, que puede ser accedida remotamente a través de una interfaz gráfica de usuario para gestionar la información obtenida de un servidor en la nube. Para el sistema fueron evaluados los parámetros de precisión en la medición de las variables biomédicas (superiores al 98,5%); el tiempo de conexión a la red celular (2,45 segundos) y la velocidad de transmisión sujeta a las condiciones de prestación del servicio GSM, en dos protocolos diferentes (1,23 segundos para archivos de 5Kb en UDP). Finalmente, la señal ECG fue comprimida para su transmisión empleando el modelo ARX.

Palabras clave: Señales biomédicas, GPRS, Telemedicina, Transmisión.

I. INTRODUCCIÓN

El amplio crecimiento en cobertura de las redes celulares 3G, inevitablemente ha generado un impacto en los sistemas de comunicación para plataformas robóticas asistenciales, tanto para la configuración y tele-operación de robots, como para la transmisión de señales biomédicas de los mismos [1]. La transmisión de datos utilizando redes móviles, surge como una alternativa a las comunicaciones inalámbricas convencionales [2], involucrando diversos protocolos y tecnologías como voz, mensajes de texto (SMS), mensajes multimedia (MMS), el Sistema General para Comunicaciones Móviles (GSM) y el Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS).

En el campo de la robótica asistencial, la telemedicina es un componente inherente que permite la interacción remota entre el paciente y su médico. Los robots asistenciales, suelen dotarse de plataformas simples de comunicación para la transmisión de señales biomédicas; algunas más complejas para el envío y recepción audio y video; e incluso sofisticados sistemas utilizados en delicados procedimientos quirúrgicos a distancia.

El crecimiento de la cobertura y la velocidad de las redes celulares en el mundo, ha convertido este sistema en una alternativa económica, de fácil integración y de gran alcance para muchas aplicaciones utilizadas en telemedicina que involucran el uso de los robots asistenciales. Diversos autores han creado arquitecturas hardware/software que emplean las redes celulares para enviar señales fisiológicas individuales (ECG,

EEG, EMG) [3] [4] [5], enfrentando una fuerte lucha para optimizar el volumen y flujo de la información, dadas las restricciones del sistema GSM/GPRS.

En este artículo se describe el desarrollo de una plataforma de comunicaciones por Internet sobre la red celular, para el envío remoto desde un robot asistencial de las diferentes señales como: ECG, EMG, temperatura corporal, SPO₂, frecuencias cardíaca y respiratoria. El sistema se caracteriza por incorporar algoritmos de compresión ECG para la optimización del volumen de datos y se ha implementado sobre una arquitectura cliente – servidor en la nube a través de conexiones FTP, mejorando los actuales sistemas de telemedicina basados en comunicaciones móviles (relacionados en el estado del arte), tomando como parámetros de ponderación: la tecnología empleada para la transmisión (GSM, GPRS, EDGE, 3G/UMTS), los tiempos de adquisición, procesamiento, visualización y las velocidades de subida y descarga de los datos hacia y desde la nube.

II. ESTADO DEL ARTE

La adquisición, procesamiento y transmisión de señales biomédicas sobre redes celulares, ha sido analizada como punto de partida para el desarrollo del presente proyecto. El presente estado del arte se genera a partir de una investigación realizada sobre los resultados más significativos encontrados en los últimos doce (12) años.

En 2002, un importante trabajo de Quero y Tarriada [6], denominado CARDIOSMART, se convirtió en uno de los pioneros en el empleo de redes

celulares para la transmisión de señales ECG a una velocidad máxima de 1500 bps con envíos de paquetes cada 15 segundos (para un monitoreo programado de 24 horas sobre pacientes con anomalías cardíacas). En 2005 Qiang y Mingshi [7] emplearon una PDA con sistema operativo Windows CE, con conexión serial al módulo de adquisición de señales biomédicas y módem GPRS embebido, para el envío de ECG, con velocidad de transmisión máxima de 35 Kbps, sujeta a la congestión de la red a diferentes horas del día y sin el empleo de algoritmos de compresión. En 2007, Xue [8] desarrolló un sistema inalámbrico de monitoreo ECG con transmisión por radio GPRS, a través de un módem con interfaz RS232, limitado a 9600 bps y al envío exclusivo de mensajes de texto para generar alarmas de arritmia sin transmisión de las tramas ECG. El primer sistema de envío continuo de la trama ECG encontrado, data del 2008. Ge [9] desarrolló un sistema de transmisión continua de ECG en tiempo real, de bajo consumo a través de la red celular, sin algoritmo de compresión, con paquetes de tamaño máximo de 400 bytes sin error de entrega, obteniendo retardos de transmisión entre 21 y 37 segundos. En 2010, Ken y Xiaoying [10], desarrollaron un sistema de telemedicina para señales ECG, con base en un dispositivo con sistema operativo Linux de tiempo real embebido, mejorando drásticamente el tamaño máximo de los paquetes enviados con respecto a los trabajos anteriores al alcanzar velocidades de hasta 56 Kbps y despachar paquetes de 2 Kbytes. En 2011 Zhang y Song [11], incluyeron los primeros módems seriales con compatibilidad 3G, para desarrollar un sistema de monitorio remoto de ECG con envíos de tramas completas cada 20 segundos, sin la comodidad del análisis en tiempo real, pero con señales complejas muestreadas a 24 bits para una reconstrucción muy nítida en el destinatario. En 2012, un desarrollo hecho por Mitra [12], emplea como alternativa el envío de fotografías de señales ECG y plantea un software de procesamiento digital que la convierte en una señal

manipulable del lado del operario remoto. En 2014 Gamasu [13], incorpora la tecnología Bluetooth para gestionar con mayor fluidez los datos

entre la tarjeta de adquisición y el sistema de transmisión, derrumbando los cuellos de botella de los protocolos RS-232.

Un gran número de trabajos similares quedan por fuera de este análisis en el que solo se contemplan los desarrollos pertinentes y afines al presente proyecto.

Es fácil analizar, que los sistemas desarrollados no involucran algoritmos de compresión de señales biomédicas y por tal razón, envían paquetes de grandes tamaños con retardos de subida muy altos, o se limitan al envío exclusivo de alertas y no de las tramas de las señales ECG.

Por otra parte, los sistemas no involucran el envío de múltiples y diversas señales biomédicas lo que los aleja de convertirse en monitores de signos vitales remotos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El Sistema de Transmisión de Señales Biomédicas a través del Servicio General de Paquetes Vía Radio GPRS, está conformado, como puede apreciarse en la Figura 1, por un módulo de adquisición de señales, un módulo de transmisión celular, un servidor en la nube y una interfaz gráfica de usuario remota.



Figura 1. diagrama de bloques del sistema

A. Hardware

El Sistema de Transmisión de Señales Biomédicas (Figura 2), está conformado por un dispositivo de captura y pre-procesamiento *e-health sensor* de la empresa *Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.*; un sistema de desarrollo *Arduino Ethernet*; y un módem GSM/GPRS ADH8066. Los datos son enviados a un servidor en la nube en formato texto y pueden ser accedidos a través de una interfaz gráfica de usuario, desarrollada en el ambiente de instrumentación virtual *Lab-View* de la empresa *National Instruments*, desde cualquier computador en el mundo dotado de conexión a internet y sistema operativo *Windows*.

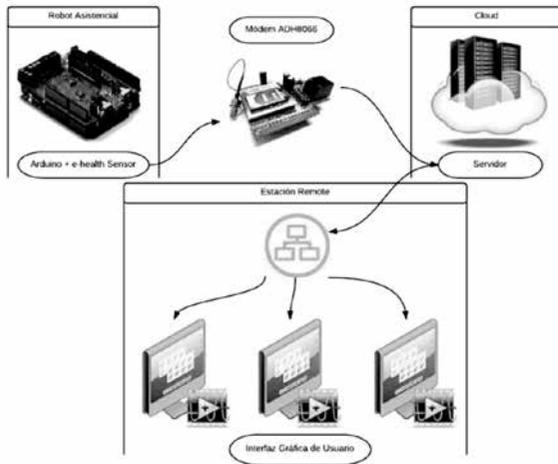


Figura 2. diagrama general del hardware

Módulo de Captura con E-health Sensor y Arduino: La adquisición y el procesamiento de las señales biomédicas se realiza a través de una tarjeta Arduino Ethernet. Como se aprecia en la Figura 3, Arduino Ethernet es un sistema de desarrollo de software/hardware abierto basado en el microcontrolador ATmega328 de Atmel Corporation, elegido frente a opciones como Arduino UNO o Arduino Mega, por incluir en su arquitectura una interfaz para memoria MicroSD, necesaria para preparar un archivo de texto con los datos de las señales biomédicas. Arduino es uno de los dispositivos de prototipado rápido más populares del mercado, debido a su facilidad, rapidez y economía, además de un extenso conjunto de versiones con diversos periféricos y microcontroladores de 8, 16 y 32 bits.

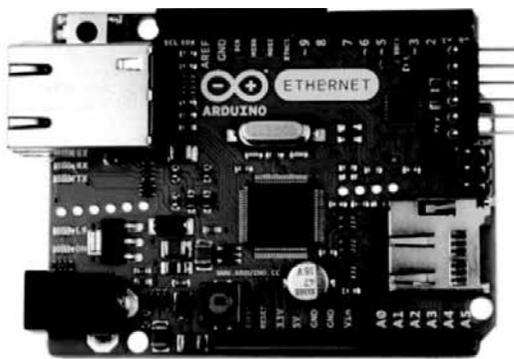


Figura 3. Arduino ethernet [14]

El acondicionamiento de las señales biomédicas (ECG, EMG, temperatura corporal, SPO2, frecuencia respiratoria y cardíaca) se realiza a través de la tarjeta *e-health sensor*, diseñada para recibir y pre-procesar diversas señales fisiológicas como se aprecia en la Figura 4, y entregarlas a la tarjeta Arduino por las entradas analógicas y digitales:

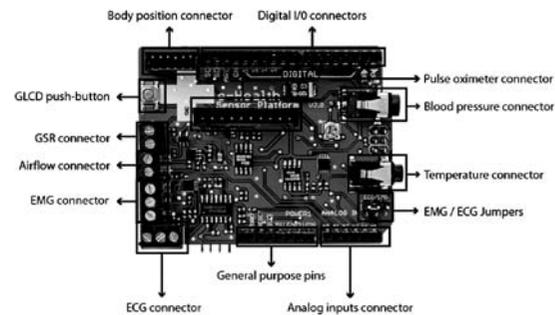


Figura 4. E-health sensor [15]

La tarjeta e-health, permite conectar directamente a sus borneras, los latiguillos de los sensores de ECG y EMG y el sensor de flujo de aire nasal; a través de un conector tipo Jack se conecta la sonda de temperatura; y posee un conector tipo SIL (*single inline package*) para el pulsioxímetro como se puede apreciar en la Figura 5.

La tarjeta e-health cuenta con los amplificadores de instrumentación para las señales ECG y EMG, así como los filtros pasa bajo, pasa alto y Notch (todos tres de cuarto orden).

De igual manera, la tarjeta e-health cuenta con los elementos capacitivos y resistivos para el acondicionamiento de las demás señales analógicas (frecuencia respiratoria y temperatura corporal), implementados como puentes de Wheastone y filtros básicos RC y RL.

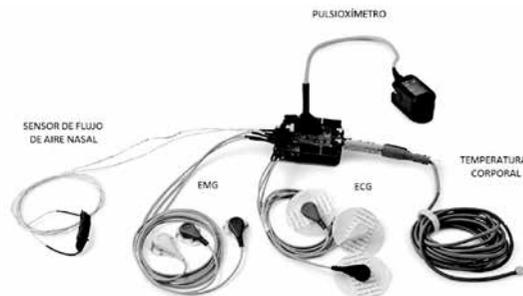


Figura 5. E-health sensor y sus interfaces

El módem ADH8066: El envío de los datos al servidor en la nube, lo realiza un módem ADH8066, que se conecta a la tarjeta Arduino a través de una interfaz serial RS232 y soporta comandos AT. Este módem fue escogido entre varias opciones, porque permite el envío de paquetes a través de UDP (User Datagram Protocol) y de TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). El módem necesita una tarjeta de acople para su interfaz con la tarjeta Arduino, y para este fin, se empleó la ADH8066 BREAKOUT de la empresa SPARKFUN ELECTRONICS. En la Figura 6 puede observarse el montaje completo del módulo de comunicaciones que incluye el módem montado sobre la tarjeta adaptadora y algunos elementos adicionales como la antena, la SIM CARD, LED's indicadores y un botón de encendido/apagado.

El sistema envía los datos en un archivo de texto a través del protocolo UDP sobre la red celular en el sistema GPRS. GPRS es la abreviatura de *General Packet Radio Service*, y es un tipo de tecnología de transferencia de datos basado en el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). El GPRS es especialmente adecuado para el envío de pocos datos emergentes discontinuos, o el envío de una gran cantidad de datos en tiempos considerablemente grandes.

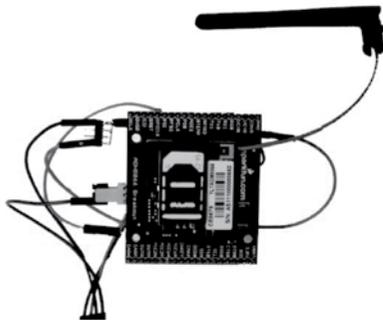


Figura 6. Módem ADH8066 en su implementación final

B. Firmware y Software

Firmware de la tarjeta Arduino: En la tarjeta Arduino Ethernet, se embebió el algoritmo encargado de capturar las señales de ECG, EMG, Temperatura Corporal y Frecuencia Respiratoria a través de cuatro de las entradas analógicas. Para la saturación parcial de oxígeno (SpO₂),

fue necesario emplear varias entradas digitales, conectadas de forma invasiva a los pines de cada uno de los siete segmentos de los despliegues digitales del sensor de pulsioximetría con el fin de decodificar el valor desplegado en los mismos.

El algoritmo inicializa la tarjeta MicroSD y luego arranca el módem ADH8066 a través de comandos AT enviados por la interfaz RS232. Una vez digitalizados todos los datos, son organizados en posiciones específicas dentro de un archivo de texto, separadas por marcadores preestablecidos para facilitar su decodificación y, finalmente, el archivo es enviado a un servidor, donde se reemplaza el actual en cada operación.

La Figura 7 muestra el diagrama de flujo del firmware embebido en la tarjeta Arduino. Puede apreciarse que el envío de la información está condicionado al vencimiento de un temporizador, programado para realizar la función de envío del archivo de texto cada 3 segundos.

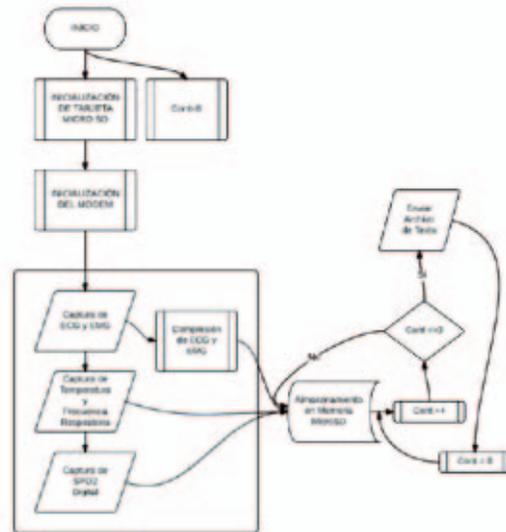


Figura 7. Diagrama de flujo del firmware

El envío del archivo de texto requiere la implementación de una subrutina de compresión de los datos de ECG en su interior. A pesar de la existencias de diversos métodos de compresión de señales ECG [16], se empleó el “Modelo Autoregresivo con Entrada Externa” (ARX) [17], conocido como “Modelo de Ecuación de Error”. Este método de compresión, al igual que muchos otros, se basa en la técnica de predicción de la

señal ECG, es lineal e invariante en el tiempo. El principio de operación de las técnicas predictivas es emplear muestras previamente codificadas para generar una predicción de la muestra actual. Este proceso es seguido por la codificación de la diferencia entre el valor actual y el valor predicho para la muestra más reciente. Durante un periodo de movimiento lento, muchas de las muestras consecutivas serán similares y la diferencia será mayor a medida que el movimiento aumente. Se asume que la codificación de la entropía de la predicción de una señal ECG, mejorará el error en el radio de compresión frente a la codificación directa de la entropía de una señal ECG. El esquema de compresión se muestra en la Figura 8, donde $b(n)$ representa la señal ECG codificada de salida.

Si se tiene una señal ECG $y(n)$ que ha sido codificada hasta el dato $n-1$, siendo $y(n-1)$, $y(n-2)$, ... los valores de la señal ECG hasta el momento, entonces una señal ECG estimada, es predicha a partir de las muestras previas:

$$\hat{y}(n) = \varphi(y(n-1), y(n-2), \dots, u(n-1), u(n-2), \dots) \quad (1)$$

Donde φ se considera la “regla de predicción”. Conociendo la predicción de la seña ECG, es posible codificar el error de predicción $\varepsilon(n) = y(n) + \hat{y}(n)$.

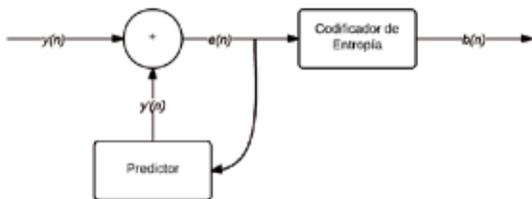


Figura 8. Esquema de compresión de una señal ECG

Interfaz Gráfica en LabView: Empleando el entorno de desarrollo LabView de National Instruments, se desarrolló una interfaz gráfica para el usuario remoto a modo de instrumento virtual como puede apreciarse en la Figura 9. El software se conecta vía FTP al servidor para descargar y abrir el archivo de texto generado en la tarjeta Arduino. A partir de la decodificación del archivo, la interfaz genera los reportes visuales cualitativos y cuantitativos de las señales biomédicas medidas en el paciente.

La interfaz gráfica posee el algoritmo inverso para la descompresión de la señal ECG del archivo de texto, es decir, la implementación recíproca del modelo de compresión ARX.

En la pantalla de la interfaz gráfica, la información se actualiza cada 3,2 segundos.

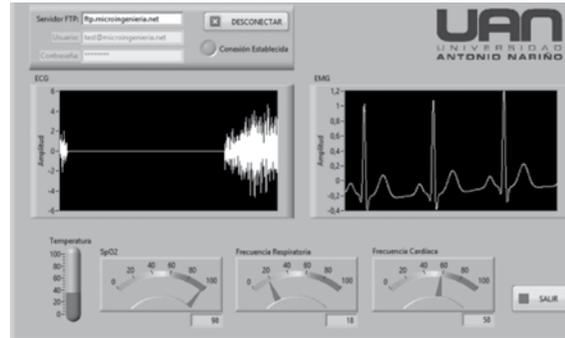


Figura 9. Interfaz gráfica de usuario remoto

IV. RESULTADOS

Con el fin de validar la funcionalidad del sistema y cuantificar su precisión y eficiencia, se han llevado a cabo dos clases de pruebas: una que involucra el empleo de instrumentos biomédicos comerciales para la medición en paralelo de las variables fisiológicas; y otra que conlleva la determinación de los tiempos de conexión y envío del archivo de texto para dos protocolos diferentes: el UDP y el TCP/IP.

En la Tabla 1 se presentan los tiempos de subida para el archivo de señales biomédicas generado en tramos. El archivo base (el más pequeño que posee una trama de datos representativa para el ECG) oscila entre 840 y 960 bytes, y el máximo tamaño empleado para las pruebas fue de 5 veces el archivo base (tamaños cercanos a los 5 Kb). La subida de datos fue probada al enviar archivos de tamaños de 1, 2, 3, 4 y 5 Kb, a través de los protocolos TCP y UDP sobre la infraestructura GPRS de un operador celular local. Es importante aclarar que solo los tiempos de subida están condicionados por la velocidad del sistema y su transmisión GPRS, ya que la descarga y visualización están sujetos a las condiciones de conectividad a Internet que se tengan en el computador del operario remoto. Se espera que esta conexión sea a través de un router y un servicio ADSL al

menos, con lo que este parámetro no sea significativo en la decodificación y visualización de los datos en tiempo real.

La *SIM CARD* empleada, pertenece a la tecnología 3G y el operador celular que la comercializa, promociona como velocidad teórica de subida sin reuso 346 Kbps.

La frecuencia de actualización de la pantalla en la estación remota es de 3,2 s, para garantizar el sincronismo del sistema y el tiempo de retención adecuado para la visualización de cada pantalla, de tal forma que las gráficas de ECG y EMG no se desplazan permanentemente sino que cambian completamente sin descartar datos ni repetirlos.

Las Tablas 2, 3 y 4 presentan la determinación de la incertidumbre para la medición de la temperatura corporal, la saturación parcial de oxígeno

Tabla I. Tiempos de subida para los archivos biomédicos a través de UDP y TCP sobre GPRS

Protocolo	Tamaño del Archivo (Kb)	Tasa de Pérdida (%)	Retardo de Subida (s)
TCP	1	18	3,23
	2	16	5,25
	3	22	6,43
	4	33	7,11
	5	32	7,93
UDP	1	5	2,33
	2	1	1,21
	3	0	1,28
	4	2	1,17
	5	1	1,23

Los envíos fueron realizados a intervalos de 5 s y en todos los casos la tasa de error en la entrega fue de 0%.

Tabla II. Estimación de la incertidumbre para la temperatura corporal

Patrón	Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (U)
20	20,10	0,10	0,323
25	25,16	0,16	0,409

Como patrón de referencia para la medición, fue empleado un termohigrómetro HANNA HI 9564 con certificado de calibración vigente.

Tabla III. Estimación de la incertidumbre para SPO2

Patrón	Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (U)
90	90,10	0,10	1,52
96	95.80	-0,20	1,79

Como patrón de referencia para la medición, fue empleado un Analizador de Pulsioxímetros SpO2 METRON DAEG con certificado de calibración vigente.

Tabla IV. Estimación de la incertidumbre para frecuencia respiratoria

Patrón	Promedio	Error	Incertidumbre Expandida (con K=2)
15	15	0	0,08
30	30	0	0,08

Como patrón de referencia para la medición, fue empleado un simulador de paciente FLUKE PS115 con certificado de calibración vigente.

(SpO2) y la frecuencia respiratoria, para la cual fueron empleados patrones certificados como instrumentos de referencia.

V. DISCUSIÓN

El principal aporte del proyecto presentado en este escrito consiste en la integración de diversos estudios y tecnologías en una solución puntual para la captura, medición, compresión y transmisión de señales biomédicas a través de internet, sobre una red de telefonía celular.

Una investigación aplicada al desarrollo de una plataforma de comunicaciones para un robot asistencial, ha dado como fruto un sistema de captura y transmisión de señales de ECG, EMG, temperatura corporal y frecuencias cardíaca y respiratoria, capaz de pre-procesar y comprimir los datos en un archivo de texto que es enviado a un servidor en la nube, a través de Internet empleando GPRS.

Los algoritmos de compresión, se aplican puntualmente a las señales de ECG, que se reconstruyen en una terminal remota, a través de una interfaz gráfica de usuario amigable, robusta y sencilla, desarrollada a modo de instrumento virtual.

El monitor remoto, se conecta al servidor en la nube en periodos de tiempo iguales o inferiores a 2,45 s. Esta conexión se realiza solo una vez, al inicio, y el sistema de escucha permanece abierto hasta que el instrumento virtual sea detenido. Sin embargo, el sistema es capaz de detectar errores por fallos en la conexión durante los procesos de transmisión y reiniciarla. Cada vez que el monitor remoto detecta que el archivo de texto de señales biomédicas en el servidor ha cambiado de versión, lo descarga y decodifica, en periodos de tiempo inferiores a 0,63 s.

El proceso que requiere mayor tiempo, es el que toma la subida del archivo desde la tarjeta Arduino a través del módem celular por medio de GPRS. En esta etapa, el proceso de investigación cobijó dos protocolos diferentes: el TCP y el UDP, y como puede apreciarse en la Tabla I, es indispensable emplear el UDP cuya velocidad para archivos de texto de 5Kb fue hasta 6,45 veces mayor que las del TCP.

En relación a los trabajos anteriores, citados en el estado del arte del presente proyecto, existe una evidente mejora en varios aspectos significativos: El tamaño máximo del paquete enviado se elevó hasta los 5 Kb, 2,5 veces mayor que el de Ken y Xiaoying [10] que emplea un sistema operativo Linux en tiempo real (el más alto encontrado en la investigación previa). El retardo de subida de los paquetes se posicionó por debajo de los 3 segundos (hasta de 1,23s), muy distante a los trabajos citados, que en condiciones promedio no descienden de los 15 segundos. Finalmente, la incorporación multiparamétrica (ECG, EMG, Temperatura Corporal, SPo2 y frecuencias respiratoria y cardíaca) hacen sistemas de telemedicina basados en comunicaciones móviles.

VI. CONCLUSIONES

Es fácil evidenciar, frente a las mediciones realizadas y a los datos obtenidos en la interfaz gráfica remota, que los tiempos de subida y bajada de los archivos de texto de señales biomédicas, no obstaculizan el despliegue adecuado de los gráficos de ECG y EMG. En este punto es fundamental el análisis de dos factores: el primero es que el tiempo que permanece una señal en pantalla, dentro del monitor remoto, es mayor

que el tiempo empleado por el sistema para la captura y transmisión de los datos para un nuevo pantallazo; el segundo consiste en que la velocidad de transmisión no se ve afectada por los algoritmos de compresión y decodificación de las señales ECG, puesto que estos procesos son desarrollados por el microprocesador de la tarjeta Arduino (cuya velocidad de respuesta es de 1 MIPS) y el procesador del pc empleado como estación remota.

Al emplear las redes celulares como medio de transmisión, la plataforma desarrollada puede ser empleada en cualquier lugar del mundo donde haya cobertura de la red celular 3G y del sistema GPRS, convirtiéndolo en una alternativa de bajo costo para el apoyo a la telemedicina diagnóstica.

Los resultados del proceso de verificación de las variables medidas, se hicieron frente a instrumentos calibrados, empleados como patrones certificados y como puede analizarse en las Tablas II, III y IV, el funcionamiento del sistema de captura y acondicionamiento de las señales es completamente válido, al encontrarse errores máximos para la temperatura corporal de 0.16°C; 1.79% para la saturación parcial de oxígeno y 0 rpm para la frecuencia respiratoria. La frecuencia cardíaca no fue sometida a metrología y validación, ya que fue derivada a partir de la lectura del ECG.

El trabajo actual puede encaminarse a la incorporación modular de diversas señales biomédicas como presión arterial y glucometría, entre otras, de forma que se pueda generalizar como un sistema remoto de captura y transmisión de parámetros diagnósticos en diversas patologías.

Un posible desarrollo adicional de alto impacto, sería un módulo capaz de adquirir, comprimir y transmitir imágenes médicas de diversas fuentes, como rayos x, microscopios, endoscopios, entre otros, sobre el sistema actual.

Finalmente, la aparición de la plataforma 4G y su despliegue en Colombia por parte de los operadores de telefonía celular, rompe una gran variedad de barreras de velocidad y ancho de banda. Actualizar el actual sistema al 4G en cuanto su cobertura cubra las regiones rurales del país, sería un éxito rotundo en las intenciones de acercar

la medicina sobre redes celulares, al diagnóstico de pacientes remotos en tiempo real.

REFERENCIAS

- [1] C. E. Lin, C. C. Li, C. C. Wu, H. S. Liu y M. Y. Tseng, «A real time GPRS surveillance system using the embedded system» de The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Changhua, 2003.
- [2] C. S. Pattichis, E. Kyriacou, S. Voskaride, M. S. Pattichis y R. Istepanian, «Wireless telemedicine systems: an overview», *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 44, pp. 143-153, 2002.
- [3] S. Garawi, R. S. H. Istepanian y M. A. Aburghaff, «3G wireless communications for mobile robotic teleultrasonography systems», *Communications Magazine, IEEE*, vol. 44, pp. 91-96, 2006.
- [4] P. Sankhe, S. Kuriakose y U. Lahiri, «A step towards a robotic system with smartphone working as its brain: An assistive technology», de *Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)*, International Conference on, Jabalpur, 2013.
- [5] E. Wang, S. Zhang y Z. Zhang, «Research and Implement of PPP and TCP/IP Protocol Based on GPRS», de *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 7th International Conference on, Wuhan, 2011.
- [6] J. Quero, C. Tarrida, J. Santana y V. Ermolov, «Health Care Applications Based on Mobile Phone Centric Smart Sensor Network», de *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, Lyon, 2007.
- [7] Z. Qiang y W. Mingshi, «A Wireless PDA-based Electrocardiogram Transmission System for Telemedicine», de *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2005. IEEEEMBS 2005. 27th Annual International Conference of the, Shanghai, 2006.
- [8] Y. Xue, W. Shuicai y B. Yanping, «An ECG wireless Monitoring Instrument Based on GPRS», de *Complex Medical Engineering*, 2007. CME 2007. IEEE/ICME International Conference on, Beijing, 2007.
- [9] X. Ge, D. Lai, Z. Fang y X. Wu, «A Real-Time Continuous ECG Transmitting Method through GPRS with Low Power Consumption», de *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2008. ICBBE 2008. The 2nd International Conference on, Shanghai, 2008.
- [10] C. Ken y L. Xiaoying, «Development of Remote Monitoring Cardiac Patients System Based on GPRS», de *Biomedical Engineering and Computer Science (ICBECS)*, 2010 International Conference on, Wuhan, 2010.
- [11] K. Zhang, L. Song y D. Lu, «Design of remote ECG monitoring system based on GPRS», de *Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, 2011 International Conference on, Harbin, 2011.
- [12] R. N. Mitra, S. Mitra, S. Pramanik y B. B. Chaudhuri, «A robust technique for delineation and features extraction of ECG signal from mobile-phone photography», de *Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS)*, 2012 International Conference on, Kolkata, 2012.
- [13] R. Gamasu, «ECG Based Integrated Mobile Tele medicine System for Emergency Health Tribulations», *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, vol. 6, n° 1, pp. 83-94, 2014.
- [14] «Arduino», [En línea]. Available: www.arduino.cc. [Último acceso: 21 03 2014].
- [15] Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., «Cooking Hacks», [En línea]. Available: <http://www.cookinghacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensorplatform-arduino-raspberry-pi-medical>. [Último acceso: 03 02 2014].
- [16] A. Boskovic y M. Despotovic, «An Efficient Approach to ECG Signal Transmission via GPRS», de *Computer as a Tool*, 2005. EUROCON 2005. The International Conference on, Belgrade, 2005.
- [17] S. M. Jaleddine, C. G. Hutchens, R. D. Strattan y W. A. Coberly, «ECG data compression techniques-a unified approach», *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 37, pp. 329-343, 1990.
- [18] M. Elenea, J. Quero, S. Toral, C. Tarrida, J. Segovia y L. Franquelo, «CARDIOSMART: intelligent cardiology monitoring system using GPS/GPRS networks», de *IECON 02* [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the], Sevilla, 2002.