

DATA TRANSMISSION ECG IN REAL TIME USING TCP / IP
TRANSMISIÓN DE DATOS ECG EN TIEMPO REAL UTILIZANDO
PROTOCOLO TCP/IP

Ing. Ricardo Tuay Izquierdo, MSc. Luis Enrique Mendoza

Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura.
Ciudadela Universitaria, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: +(57) (7) 568 5303, Fax: +(57) (7) 568 5303, Ext. 144.
E-mail: {wilmar.tuay@unipamplona.edu.co, luemeula@gmail.com}

Abstract: This paper presents a communication system TCP/IP for the electromyography (ECG) data transmission. Working together in the future will focus on telemedicine applications such as tele-monitoring of ECG signals in real time. Transfer of Data, consist of two different sessions: a server configured and the other client supported by the communication protocol TCP / IP. The process is realized in the same network WLAN.

Keywords: Electrocardiogram, instrumentation, TCP / IP, tele-monitoring, WLAN.

Resumen: Este artículo presenta un sistema de comunicación TCP/IP, para la transmisión de datos electrocardiográficos (DECG). El trabajo en conjunto es enfocado en aplicaciones de telemedicina como por ejemplo: tele-monitoreo de señales ECG en tiempo real. La transferencia de datos consta de dos secciones: una configurada como servidor y la otra como cliente soportada por el protocolo de comunicación TCP/IP, todo el proceso se realiza dentro de una misma red WLAN.

Palabras clave: Electrocardiograma, instrumentación, protocolo TCP/IP, tele-monitoreo, WLAN.

1. INTRODUCCIÓN

El protocolo de comunicación de datos (TCP/IP), está diseñado con el propósito de realizar comunicación 'terminal de red' a 'terminal de red'. Este protocolo se puede definir como un protocolo confiable, si se habla de una comunicación entre PC por intercambio de información y en un sistema que conecte mas de un terminal (Postel, 1981). Este protocolo, ha sido muy relevante para el buen desarrollo de las comunicaciones en el contexto actual de las Telecomunicaciones, y por ende, ofrece la oportunidad de unir diferentes servicios al mismo tiempo, tales como: telemedicina y chats, entre otros. Por otro lado, la comunicación usando TCP/IP, permite tener un alto grado de compatibilidad, entre diferentes sistemas operativos.

Actualmente, una de las aplicaciones donde mas se está utilizando este protocolo es en aplicaciones de telemonitorio en tiempo real de señales biológicas (electromiográfica EMG, electrocardiografía ECG), y más específicamente en señales que muestren o permiten tener un control del sistema cardíaco como es el caso de la señal ECG. Es así, como las señales eléctricas del corazón o señales electrocardiográficas, están siendo exploradas con el propósito de procesar esta información y transmitir datos en tiempo real, con el objetivo de tener un control del paciente. La transmisión de las señales ECG o características de la misma, actualmente es muy importante, ya que se puede tener un control mas rápido del comportamiento del sistema cardíaco del paciente, para esto es muy importante contar con una buena plataforma

tecnológica que brinde seguridad, rapidez, pero sobre todo que dicha señal enviada contenga datos precisos y con muy bajo error y pérdida de información.

En este artículo, se muestran los resultados de la comunicación TCP/IP, para la transmisión de información de características del sistema cardíaco, además se muestra la implementación de la tarjeta de registro y adquisición de las señal ECG.

2. ANTECEDENTES

El protocolo TCP/IP es conocido también como protocolo control de transmisiones o Protocolo de Internet (TCP/IP). En el sistema OSI, este protocolo está ubicado en la capa de transporte, su uso se ha enfocado de manera fuerte en la intercomunicación de redes en el ámbito empresarial ya que permite aplicaciones mas fuertes que las WAN. Un ejemplo que se puede citar es que el estándar de imagenología médica DICOM utiliza TCP/IP como sistema de transmisión, ya que la pérdida de información es nula y la seguridad del mismo es redundante (Gómez y Chico, 2011). Por otro lado, diferentes estudios y trabajos utilizando la comunicación bajo TCP/IP en telemedicina se han presentado entre ellos están: (Kho, 2002; Reske 2002; Tejero, 2006) realizados en universidades de Hussein en Malasia, *Manitoba* en Canadá, Málaga y Texas, en los cuales la mayoría de estos se han realizado para monitoreo de señales biomédicas, con el fin de evitar movilizaciones innecesarias, dispositivos de gran tamaño y disminuir costos sanitarios.

3. METODOLOGÍA

En la Fig. 1, se puede observar el diagrama en bloques del sistema a implementar, este sistema fue diseñado para la adquisición de una derivación de un ECG.

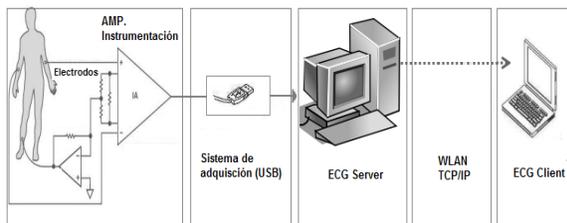


Fig. 1: Diagrama a bloques del sistema a desarrollar

A continuación se describen cada uno de los bloques.

3.1 Registro de la señal

Para obtener señales ECG se hace necesario analizar: la morfología de estas señales, el tipo de electrodos a usar y su ubicación en el cuerpo del paciente. Dependiendo del tipo de pruebas a realizar en reposo o en esfuerzo, se usa una ubicación especial. Para el análisis de la señal del corazón es indispensable comprender los dos tipos de derivaciones cardíacas (bipolares y unipolares) (Hernández, 2006; Silva y Pavasi, 2005).

En este trabajo, las señales ECG son registradas usando cuatro electrodos superficiales de espuma que poseen hidrogel adhesivo, estos se ubicarán en configuración bipolar de la siguiente forma: Dos electrodos bipolares en la región torácica ó pectoral y dos electrodos en la región abdominal. Los electrodos puestos en la región torácica, son electrodos activos y los electrodos puestos en la región abdominal son electrodos de referencia.

La distribución de la disposición de los electrodos se muestra en la Fig. 2. De esta forma, es como se registra las señales ECG. Por otro lado, se puede decir que las salidas de las derivaciones mide el potencial eléctrico de un electrodo comparado con el potencial eléctrico de otro electrodo. Estas derivaciones dejan ver datos importantes de la actividad eléctrica de la parte frontal del corazón.

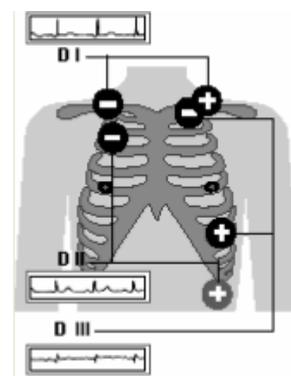


Fig. 2: Obtención de las Derivaciones Bipolares cardíacas [URL].

3.2 Amplificación de la señal

Las señales cardíacas por su morfología, presentan amplitudes bajas, lo cual hace necesario su amplificación, para poder realizar aplicaciones y que los sistemas electrónicos puedan realizar su trabajo de manera correcta.

Para las señales ECG es necesario implementar una etapa de amplificación que cumpla con los requisitos para adquirir biopotenciales, entre ellos están: tener un alto CMRR y un lazo de realimentación que permita disminuir ruidos que son provocados por el paciente. En este trabajo se utilizó un amplificador de instrumentación AD620 de la firma *Analog Device*, el diseño del amplificador se muestra en la Fig. 3.

Es importante mencionar que el AD620 por su configuración requiere de pocos elementos para funcionar, sin embargo, también es importante decir, que tiene una inestabilidad cuando se quieren procesar o amplificar datos ECG con amplificaciones mayores a 70 veces, es por eso que se tuvo que desarrollar otra etapa de amplificación con un amplificador operacional conocido como LM358. La configuración usada fue la de sumador y amplificador no inversor en cascada.

En la Fig. 4, se muestra el circuito amplificador desarrollado en este trabajo. En esta figura, se puede apreciar: como son las conexiones del paciente al sistema de registro (conexiones LL, AL, AR y LR), por otro lado se observan los componentes utilizados, la conexiones de cada componente, y los integrados utilizados. Se debe mencionar que los componentes son de bajo costo. Finalmente, se menciona que el AD620, fue seleccionado por sus características internas.

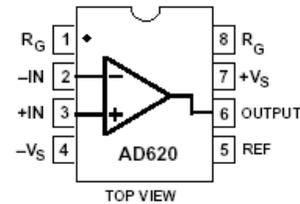


Fig. 3: Función de los pines del AD620.

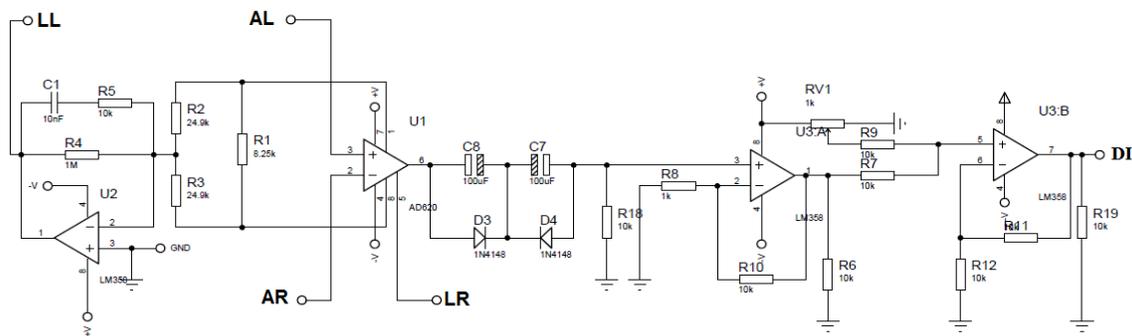


Fig. 4: Circuito de Amplificación para medir una derivación bipolar

3.3 Digitalización y adquisición de la señal

Para la digitalización y adquisición de la señal se usó el PIC 18F2550 debido a que entre sus ventajas incluye convertor A/D y una interface al puerto USB. En la Fig. 5 muestra el esquema diseñado para la digitalización y adquisición de la señal.

3.3.1 Digitalización

Para la digitalización de los datos que provienen del sistema de registro, se utilizó una etapa de hardware (convertor A/D interno del PIC 18F2550) y una etapa de software. El lenguaje de programación para la etapa de software, está escrita en lenguaje C, utilizando el software PIC C Compiler.

3.3.2 Adquisición

Una vez digitalizada o discretizada los datos, se realizó la adquisición a la PC. Esta etapa se realizó

usando la tarjeta de adquisición de datos que está conformada por un PIC 18F2550. Dicha tarjeta tiene características importantes y necesarias, por que el sistema requiere de un canal de entrada analógico (pin 2 AN0) y un modulo de comunicación con la PC a través del puerto USB (*Bulk Transfer*). En otras palabras, el microcontrolador para este trabajo, no usa sino el reloj de 20 MHz y capacitores de desacople, para su funcionamiento de manera adecuada. Una vez adquirida la señal fue filtrada digitalmente por un filtro paso bajo FIR, de orden 8, con frecuencia de corte de 1Khz.

Con el objetivo de eliminar componente de alta frecuencia que introducen ruido a la hora de transmitir la información. Se eligió el filtros de orden 8, ya que comportamiento en frecuencia fue adecuado para eliminar componentes de frecuencia por encima de 1Khz (Proakis y Manolakis, 1998).

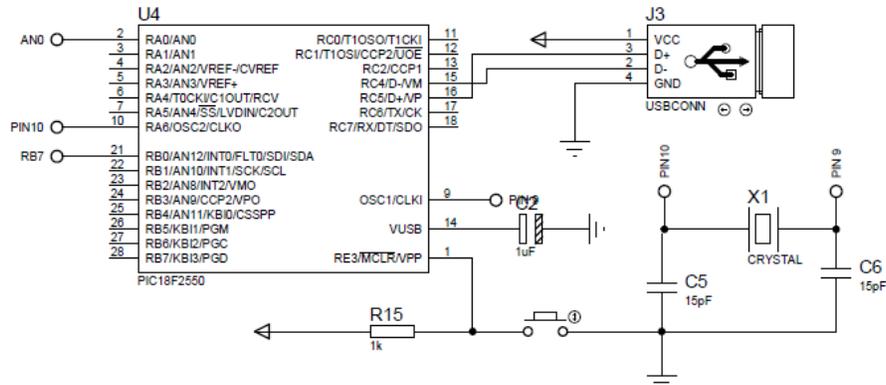


Fig. 5: Circuito de Digitalización y adquisición

3.3.3 Tarjeta de adquisición y registro

La estructura de la tarjeta de registro y adquisición de señales ECG que se muestra en la Fig. 6. Esta tarjeta es la encargada de realizar la adquisición de la señal, incluyendo su amplificación y filtrado.

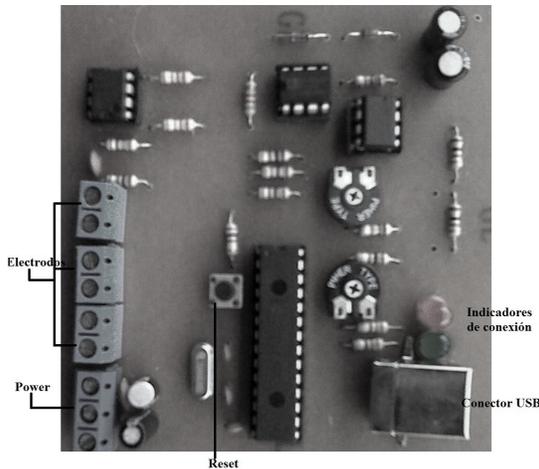


FIG. 6. tarjeta de adquisición y registro

3.4 Transmisión de datos mediante TCP/IP

La arquitectura en redes implementada para la transmisión ECG es una configuración cliente-servidor, esta configuración tiene de tres etapas o fases: 1) Transmisión, 2) interfaz de acceso y 3) Recepción. La Fig. 7 muestra a manera de diagrama pictórico la arquitectura utilizada. A continuación se describen cada una de estas fases.



Fig. 7: Arquitectura de transmisión TCP/IP

3.4.1 Transmisor (servidor ECG)

En este nodo es donde se realiza el censado o registro de la señal de ECG y se preparan los paquetes (datos ECG) a transmitir. El programa base que permite estas operaciones y maneja de manera adecuada el nodo es el código desarrollado, este código, utiliza como núcleo la caja de control de instrumentos, que le permite a matlab conectar instrumentos periféricos como osciloscopios, generadores de funciones, analizadores de señales, fuentes de alimentación y los instrumentos analíticos.

Además la Caja de herramientas de Control de Instrumentos soporta protocolos de comunicación como **TCP/IP** para secciones Matlab que se encuentren en la misma red. La interfaz grafica del servidor se diseñó en matlab, como se aprecia en la Fig. 8. Las pruebas realizadas se han simulado con un algoritmo generador de señales ECG, para que así cuando se haga el respectivo acople del sistema visto en el subapartado 3.3.3 no se tengan imprevistos en el momento de la transmisión.

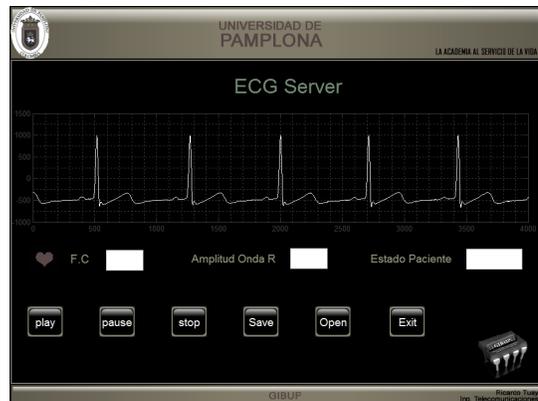


Fig. 8. Interfaz gráfica servidor

3.4.2 Interfaz de acceso (WLAN)

La comunicación se implementó en una Red de Área Local (LAN), a través de un punto de acceso con el propósito de darle una mayor cobertura a la misma.

En este trabajo para la plataforma de comunicación base, fueron las redes WI-FI, por que estas tienen características tales como: movilidad, flexibilidad, escalabilidad y velocidades hasta 150 Mbps, que son muy importantes cuando se requieren implementar aplicaciones en los sistemas de salud para evitar pérdida de información.

3.4.3 Recepción (Cliente ECG)

El nodo o etapa cliente, es la encargada de permitir la recepción adecuada de los datos enviados desde el servidor ECG. El código especializado en hacer la recepción, fue desarrollado en C y de esta forma poder visualizar los datos del ECG implementado. Una réplica de la interfaz gráfica del lado del cliente es tenida en cuenta, tal y como se mostró en la Fig. 8 del subapartado 3.4.1. Esta interfaz, permite leer conjunto de datos desde un puerto de conexión.

Una vez teniendo los paquetes, en el cliente, se hace el despliegue del ECG y adicionalmente las características de la señal ECG como: a) frecuencia cardíaca, b) amplitud de la onda R y c) el estado de conexión del paciente.

4. RESULTADOS EN TIEMPO REAL

Los algoritmos de transmisión, fueron implementados utilizando el protocolo TCP/IP en tiempo real diseñado con el software MatLab. Las pruebas se realizaron teniendo en cuenta las características de un señal mostradas en la Tabla I y la Fig. 9.

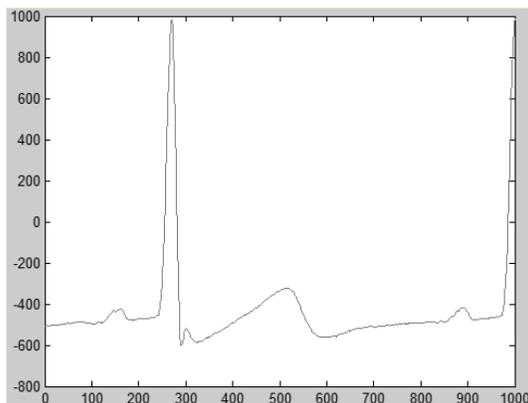


Fig. 9: Señal transmitida

Tabla 1: Resultados de transmisión de una señal ECG de 1000 puntos

Servidor		Cliente	
Datos a Tx	Señal ECG	Datos RX	Señal ECG
Longitud	1000 posiciones	Longitud	1000 posiciones
Tamaño (Btys)	8000	Tamaño (Btys)	8000
Tiempo de ejecución	0.847752 segundos.	Tiempo de retardo	9.87 milisegundos

La tabla 1 muestra las características de una señal ECG, y así mismo el tiempo de ejecución y transmisión (en longitud) de los datos desde el servidor (tamaño de salida) al cliente (tamaño de llegada). Se puede decir que el sistema demora aproximadamente 0.849 segundos en enviar 8000 datos y visualizarlos, lo cual es un tiempo muy corto, y que se puede decir que en un segundo de puede transmitir hasta 9422.85 datos.

5. CONCLUSIONES

El protocolo TCP/IP, es un protocolo muy útil para aplicaciones que requieren transmisión de datos en tiempo real, por debajo de 9.4Khz, adicionalmente se puede decir que es fundamental para aplicaciones de telemedicina y puede servir para llevar a cabo aplicaciones de tele-monitoreo con parámetros de señales fisiológicas.

Se demostró que el protocolo transmite datos ECG, de manera adecuada. La unificación de: 1) el sistema de instrumentación, 2) el sistema de digitalización y 3) la transmisión de información, fue exitosa, ya que permitió tener un sistema prototipo de tele-monitoreo de señales ECG y características como frecuencia cardíaca además este trabajo permitirá a futuro realizar parametrizaciones de las señales ECG mas profundas y tener de esta forma un sistema de tele-monitoreo de parámetro como: ritmo cardíaco y amplitud onda R entre otras.

El sistema presentado en este artículo es novedoso en cuanto a su aplicación de tele-monitoreo en tiempo real de señales ECG, ya que en la actualidad, se hace necesaria su implementación en muchos centros de salud y por su bajo costo, puede ser accesible y así permitir tener una herramienta que permita controlar los pacientes en ambientes normales y poder tomar decisiones rápidas, que ayudarán a disminuir la muertes por problemas del sistema cardíaco.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Pamplona, por su apoyo para la realización de este tipo de trabajos. También quieren agradecer a la Facultad de Ingenierías y la Dirección de Investigaciones.

REFERENCIAS

- Jon P. (1981). *Information Sciences Institute, Transmission Control Protocol Darpa Internet Program, Protocol Specification*. University of Southern California. Information Sciences Institute.
- Gómez G, Chico A. (2011). *Tecnología en salud, Telemedicina*, Secretaría de Salud Subsecretaría de Innovación y Calidad Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. Volumen 3.
- Kho, Y.Y. (2002). *Remote monitoring of vital physiological signs*, Fac. of Eng., Kolej Universiti Teknologi Tun Hussein Onn, Johor, Malaysia.
- Reske, D. (2002). *Design of a web-based remote heart- monitoring system*, Dept. of Electr. Eng., Manitoba Univ., Winnipeg, Man., Canada, Oct.
- Tejero C. (2006). *IEEE 802.11 ECG monitoring system*, Dept. of Electron. Malaga Univ, Jan.
- Hernández A. (2006). *Electrocardiógrafo para pruebas en esfuerzo basado en instrumentación virtual*, Universidad tecnológica de la mixteca,
- Silva C, Pavesi L. (2005). *Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas*, Fac. Ing. Univ. Tarapacá.
- Proakis, J. y Manolakis, D. (1998). *Tratamiento digital de señales*. Prentice Hall, tercera edición, España.