CONSTRUCTION OF A CARDIAC SIGNALS MONITORING PROTOTYPE APPLYING ZIGBEE WIRELESS TECHNOLOGY AND INTERNET

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE SEÑALES CARDÍACAS APLICANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA ZIGBEE E INTERNET

Est. Rebeca Viloria, MSc. Giovanni Bracho, Dra. Mary Luz Torres, Dra. Lilliana Torres.

Universidad Popular del Cesar
Grupo CISATEC-LINE, Grupo GINTICS.
Diagonal 21 No. 29-56 Sabanas del Valle. Valledupar, Cesar, Colombia.
Tel.: 57-5850317 Ext. 1121, 57- 5847328 Ext.1122,
E-mail: viloria1996@hotmail.com, giovannibracho@unicesar.edu.co, lpatriciatorres@unicesar.edu.co.

Abstract:
This paper presents the development of a system that allows the monitoring of cardiac activity to people who need continuous monitoring, these records are stored and sent through an internet connection implementing ZigBee wireless technology. Labview software was used to process the data from the electrocardiographic signal and a graphic interface was developed to visualize the acquired signals.

Keywords: Zigbee, Labview, Telemedicine, Internet.

Resumen: En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema que permite supervisar la actividad cardíaca a personas que necesitan monitoreo continuo, dichos registros son almacenados y enviados por medio de una conexión a internet implementando la tecnología inalámbrica Zigbee. Se hizo uso del software Labview para procesar los datos a partir de la señal electrocardiográfica y se desarrolló una interfaz gráfica para visualizar las señales adquiridas.

Palabras clave: Zigbee, Labview, Telemedicina, Internet.

1. INTRODUCCION

En Colombia las enfermedades Cardiovasculares representan la principal causa de muerte según lo reportado por el Observatorio Nacional de Salud (ONS 2015)[1], la población es cada vez más vulnerable a estas patologías y el monitoreo cardíaco surge como una herramienta de apoyo para la detección temprana y preventiva de estas condiciones, y como apoyo tecnológico durante el tratamiento de este tipo de padecimientos cardíacos.

La expansión de las tecnologías de información genera impactos que no son ajenos a la medicina y a la salud (Murga, 2015), es aquí donde la telemedicina se vuelve significativa estableciendo una conexión entre el personal médico-asistencial en un centro hospitalario y los pacientes en sus hogares, gracias al uso de sistemas de telecomunicaciones (Murillo et al., 2016). Este tipo de sistema tecnológico integrado para la prestación de servicios de salud, permite

[1] Quinto informe ONS. Disponible en: http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/ons/SiteAssets/Paginas/publicaciones/5to%20Informe%20ONS%20v-f1.pdf

la detección, monitoreo y seguimiento de sucesos o eventos en la condición médica del paciente de forma remota, conservando un nivel de equivalencia en sus características comparable al proceso de forma presencial, donde el médico especialista obtiene la mayor información posible del paciente basándose en los resultados arrojados por los equipos biomédicos (Herrera y Periche, 2017).

Una de las herramientas básicas en el diagnóstico de trastornos y enfermedades del corazón es el electrocardiograma, el cual es realizado comúnmente por su simplicidad, bajo costo y por tratarse de una técnica no invasiva (Carrión et al., 2009). Este procedimiento consiste en el registro gráfico de la actividad eléctrica que se genera en el corazón. Su análisis proporciona importante información que complementa el conjunto de datos que se registran en la historia clínica de un paciente con un objetivo diagnóstico y después de una exploración física detallada (Portillo, 2011).

Los equipos de monitoreo cardíaco disponibles en la actualidad realizan el proceso registro de información de forma limitada debido a que los datos son almacenados automáticamente por eventos determinados por cierto periodo de tiempo, el médico especialista en cardiología se encarga de analizar los datos una vez finaliza el periodo de monitoreo, pero no en tiempo real, impidiendo una reacción rápida ante una emergencia causada por una anomalía cardiaca.

2. METODOLOGIA

En este trabajo se ha desarrollado una metodología de forma ordenada y secuencial plasmada de la siguiente manera: Fase de investigación y documentación, Fase de diseño, Fase de implementación y Evaluación de resultados.

2.1 Fase de Investigación y documentación

Se realizó una investigación de los elementos, factores y variables requeridos para la ejecución de este trabajo, entre los cuales se destacan: *Fundamentación teórica del monitoreo cardíaco ambulatorio, Bases teóricas del sistema eléctrico del corazón y Conocimientos sobre la tecnología inalámbrica Zigbee.*

2.2 Fase de Diseño

Para esta fase se elaboró inicialmente un diagrama de bloques donde se proyectó el comportamiento del dispositivo ya terminado, en la figura 1 se puede observar el diagrama de bloques de funcionamiento del prototipo. Se concibió un prototipo de monitoreo cardíaco ambulatorio utilizando componentes de bajo consumo de potencia; el dispositivo diseñado captura las señales eléctricas del corazón y las envía a un servidor remoto por medio de la tecnología inalámbrica Zigbee garantizando un monitoreo constante haciendo uso del internet, la información capturada es enviada de forma continua, o en periodos de tiempos configurables definidos según criterio del médico especialista.

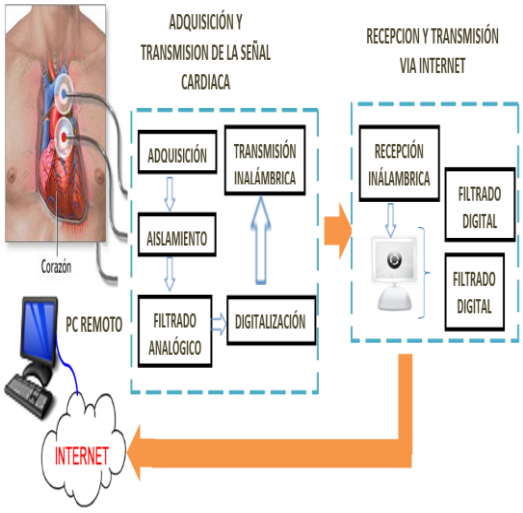


Fig. 1. Diagrama de bloques de funcionamiento del prototipo.

2.3 Fase de Implementación

Para la adquisición, procesamiento y visualización de la señal ECG, se utilizó el software Labview, ya que ofrece bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos y facilitar la creación de instrumentación virtual, aprovechando funciones específicas para ingeniería como son el análisis de frecuencia, ajuste de curvas, filtrado, entre otras; además de realizar análisis en línea en tiempo real en señales adquiridas. El dispositivo diseñado plasma como lineamientos la miniaturización en conjunto con la portabilidad, ya que la señal ECG no es almacenada, sino que es transmitida después que ha sido filtrada y digitalizada. En la figura 2 se puede apreciar un conjunto de los componentes más relevantes utilizados en la construcción del prototipo.

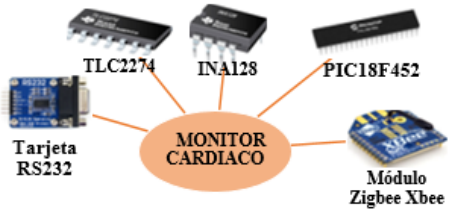


Fig. 2. Materiales más relevantes utilizados en el desarrollo del monitor cardíaco

2.4 Evaluación de resultados

Para finalizar con la fase de desarrollo del prototipo, se creó el manual de instrucciones para el correcto manejo del hardware y software que hacen parte del proyecto y se realizaron las pruebas necesarias para determinar la confiabilidad del sistema.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Adquisición aislamiento y tratamiento de la señal electrocardiográfica

La señal cardiaca es recolectada a través de los electrodos adheridos al cuerpo del paciente, esta debe ser amplificada debido a su bajo nivel de voltaje por un amplificador de instrumentación, luego, aislada eléctricamente para protección del paciente con un opto acoplador y posteriormente realizarse un proceso de cancelación de ruidos y de señales eléctricas no deseadas por medio de un filtrado pasa banda comprendido entre 0.05 Hz y 100 Hz, por ser éste el rango en que se definen las señales EKG.

3.2 Amplificador de instrumentación

Para poder obtener la señal EKG, deben ubicarse unos electrodos en puntos estratégicos del cuerpo según la derivación electrocardiográfica que se seleccione, los cuales captarán impulsos eléctricos, que deben ser amplificados por su baja intensidad. Para este fin se seleccionó el amplificador de instrumentación INA128 por su alto rechazo al modo común (CMR – 120dB), de propósito general y bajo consumo de energía que ofrece excelentes características. En la figura 3 se puede observar el esquema de adquisición de la señal EKG con el integrado INA128P. La ganancia con la que se ha configurado el amplificador de instrumentación para amplificar la señal proveniente del corazón a través de los electrodos, es de 1000 V/V.

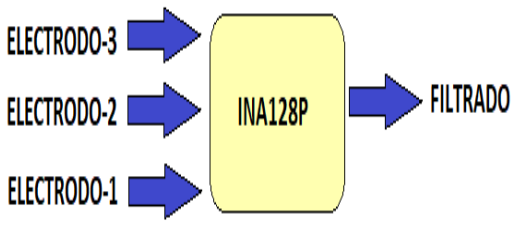


Fig. 3. Esquema adquisición señal EKG con el integrado INA128P

3.3 Filtrado

Después de adquirida y amplificada la señal en la etapa anterior, es necesario minimizar el ruido y las señales eléctricas indeseadas. Teniendo en cuenta que solo son requeridas las componentes de señal en un rango de frecuencias comprendido entre 0.05 Hz hasta 100 Hz, se implementó un filtrado pasa banda constituido por un filtro pasa altos y un filtro pasa bajos diseñados para el rango de frecuencias anteriormente mencionado. El amplificador operacional seleccionado para el filtrado es el cuádruple OPAM TLC2274 de Texas Instruments, cuya principal característica es ser un amplificador de bajo ruido, y *rail to rail*, es decir que el voltaje de salida del operacional nunca alcanzara a **V_{DD} (**Voltaje de alimentación positiva**)**, sino que será ligeramente inferior. Adicionalmente, proporciona un ancho de banda de 2 MHz y una corriente de polarización de entrada típica de 1 pA. En la figura 4 se aprecia un diagrama de bloques del filtro pasa banda.

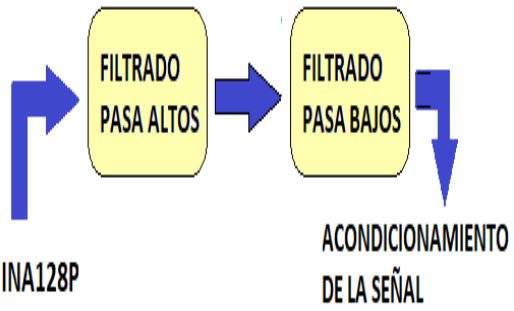


Fig. 4. Esquema Filtro pasa banda con el OPAM TLC2274

3.4 Acondicionamiento

La señal electrocardiográfica luego de ser filtrada, debe ser digitalizada para ser transmitida posteriormente de forma inalámbrica. Previo a la transmisión, para que el microcontrolador pueda realizar adecuadamente el muestreo de la señal EKG esta debe acondicionarse a niveles de voltaje comprendidos entre 0 y 5 V.
El OPAM LM358 de la empresa Texas Instruments, fue seleccionado para acondicionar la señal proveniente del filtrado pasa banda y por tanto garantizar que los niveles de voltaje no superen los 5 V, ni bajen de los 0 V. En la figura 5 se observa el Esquema acondicionamiento de la señal EKG con el LM358.

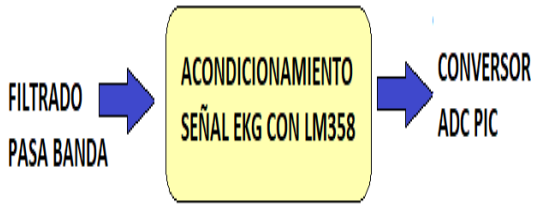


Fig. 5. Esquema acondicionamiento de la señal EKG con el LM358

3.5 *Selección del microcontrolador*

La selección del PIC 18F452, se debe a su conversor de datos de 10 bits, este PIC cuenta con una memoria de 32k que permite adquirir y transmitir los datos al módulo ZigBee y monitorear otros procesos del prototipo con el fin de garantizar la continuidad de la transmisión de la señal.

3.6 *Transmisión y recepción inalámbrica*

Posterior al muestreo realizado por parte del conversor ADC de 10 bits del PIC18F452, la señal EKG es transmitida inalámbricamente por medio de un módulo Zigbee configurado como END DEVICE AT, y recibida por un módulo Zigbee configurado como COORDINADOR AT, el cual está conectado por medio de una tarjeta RS232 – USB a un computador.

3.7 *Fuente de voltaje*

Para la alimentación del dispositivo transmisor del prototipo de monitoreo cardíaco, se seleccionó una batería recargable de Ion de Litio de 9V / 350 mAh, ideal para un sistema portátil de bajo consumo.
La fuente primaria de voltaje es la batería de 9V, que luego por medio del circuito integrado ICL7660, es convertido a un valor negativo, el regulador LM7905, se encarga de estabilizarlo y permite entregar de forma constante -5V los cuales son requeridos por los circuitos integrados de alimentación dual, junto a los 5V regulados por un LM78LS05, traduciéndose este sistema en una fuente dual óptima.

3.8 Elaboración software aplicativo

El funcionamiento del software comienza con el proceso de adquisición de datos en el VI (Instrumento virtual) VISA (del inglés Virtual Instrument Software Architecture) serial de Labview, el cual permite configurar los parámetros como baudios de transmisión, bits de datos, paridad, control de flujo, que harán que el proceso de adquisición de datos sea correcto. Luego de realizada la adquisición de datos se hace la representación gráfica de las señales cardíacas para someterlas a un proceso de filtrado que favorecerá la visualización optima de la señal, en la figura 6 se observa el código del programa.

Para que el aplicativo cliente y el médico especialista puedan observar la señal adquirida y procesada digitalmente se ha diseñado una interfaz para cliente y una interfaz para el servidor, en la figura 7 se puede apreciar el código del programa de la interfaz del cliente y en la figura 8 se observa el código del programa de la interfaz del servidor.

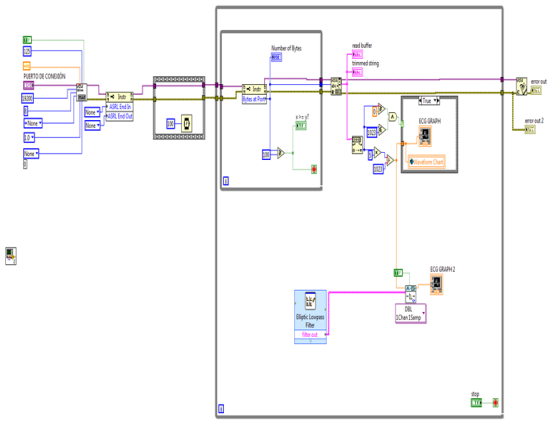


Fig.6. Código del programa de adquisición de datos

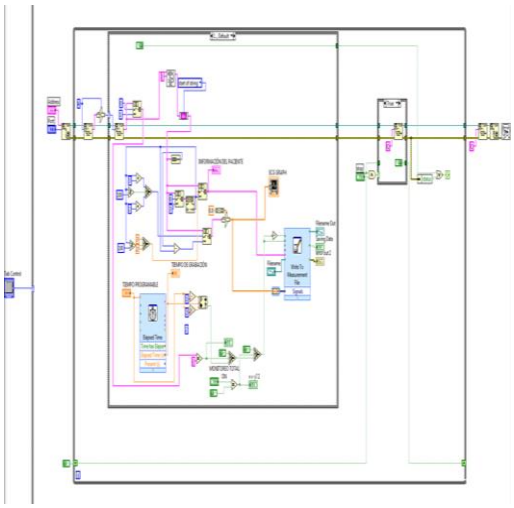


Fig.7. Código del programa para la aplicación del cliente

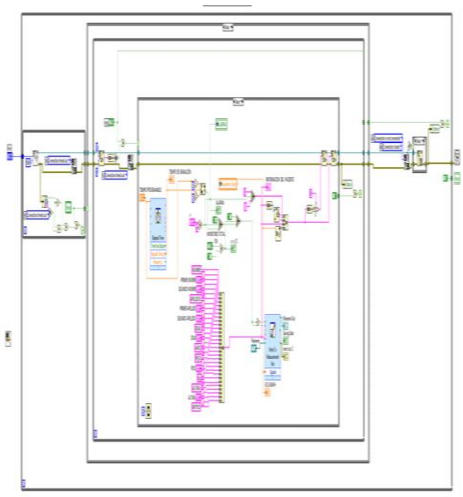


Fig.8. Código del programa para la aplicación del servidor

4. RESULTADOS

4.1 Visualización de la señal

La señal adquirida es procesada digitalmente, para poder visualizarla se utiliza la interfaz de adquisición de datos, está señal a su vez está siendo almacenada y transmitida a través de internet mediante la aplicación Cliente-Servidor que deben ser configurados para que exista comunicación y el proceso de transmisión sea satisfactorio. En la figura 9 y la figura 10 se puede apreciar la interfaz de la aplicación del servidor y la interfaz de la aplicación del cliente respectivamente.

Para la correcta configuración de la aplicación se creó el manual de instrucciones para el manejo del software, de igual manera se diseñó un manual para el adecuado uso del hardware que hace parte del proyecto, se realizaron las pruebas necesarias en compañía del médico especialista para determinar la confiabilidad del sistema.

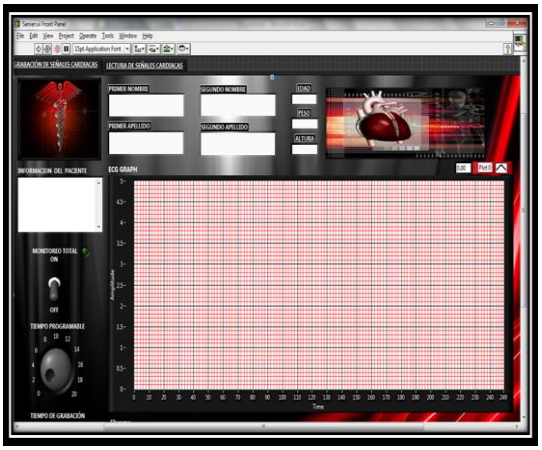


Fig. 9. Interfaz de la aplicación del servidor

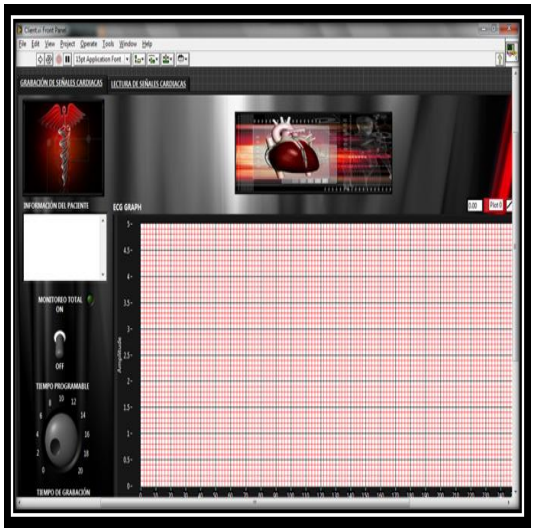


Fig. 10. Interfaz de la aplicación del cliente

4.2 Evolución del proyecto

Este proyecto consta de una segunda fase la cual se encuentra actualmente en desarrollo, donde se pretende actualizar y mejorar características del mismo, la tecnología de transmisión inalámbrica Zigbee será reemplazada por Bluetooth BLE el cual posee características avanzadas como reducido tamaño, bajo costo, ahorro de energía y son compatibles con la mayoría de dispositivos inteligentes (Collotta y Pau, 2015), otro avance será la creación de una aplicación móvil para dispositivos Android que reemplazará la aplicación del cliente creada en Labview . El prototipo tendrá mejoras como menor consumo de energía, reducido tamaño, mayor portabilidad, mejor ergonomía, etc.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación y desarrollo propone una forma de monitoreo cardíaco ambulatorio implementando la tecnología inalámbrica Zigbee e internet, enviando la información recolectada de forma continua, o por periodos de tiempos configurables hacia centros médicos de acuerdo a los criterios de los médicos especialistas en esta área.

El dispositivo realizado garantiza la seguridad del paciente ya que cuenta con los parámetros de protección requeridos tales como circuitos de protección y de aislamiento, que lo califican como un dispositivo confiable y seguro, cuenta con un sistema de transmisión inalámbrico que permite el desplazamiento del paciente dentro de un perímetro especifico sin incomodar a la persona portadora de este equipo de monitoreo, con las mejoras propuestas como la incorporación de Bluetooth BLE permitirá un

rango más amplio de desplazamiento siempre y cuando se mantenga el dispositivo móvil dentro del perímetro establecido.

REFERENCIAS

Carrión, P., Ródenas, J., Rieta, J. y Meléndez, C. (2009). *Telemedicina.: Ingeniería biomédica* (Vol. 56). Universidad de Castilla La Mancha.

Collotta, M., & Pau, G. (2015). A solution based on bluetooth low energy for smart home energy management. *Energies*, *8*(10), 11916-11938.

Herrera, F. P., & Periche, F. F. (2017). Sistema de Telemedicina UdC: Un nuevo paradigma en la atención médica colombiana para el sur de Bolívar. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, *1*(1).

Murga, L. R. (2015). *Estudio del sistema mysoul y de la telemedicina orientada a la atención de las afectaciones cardíacas, para el diseño de la aplicación móvil de visualización y análisis de las señales ECG para médicos* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.).

Murillo, M. A., Cardoza, L., López, R. M., & Cruz, C. (2016). Cifrado caótico simétrico de ECG y EEG para aplicaciones en telemedicina. In *XVII CLCA Latin American Conference of Automatic Control* (pp. 612-617).

SITIOS WEB

Portillo, M. (2011). Electrocardiografía: Técnica de interpretación básica. *Mérida, España: Hospital del SES.* http://www.spapex.es/pdf/taller_ekg.pdf. (26 de junio 2018)