

Sistema de Monitoreo remoto basado en IOT para el monitoreo de señales electrocardiográficas mediante un módulo sensor utilizando websockets

Ricardo Yauri Rodriguez

ryauri@inictel-uni.edu.pe

Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones INICTEL-UNI, Perú
Lima - Perú

Resumen: En este artículo, se presenta el diseño, desarrollo y construcción de un sistema de monitoreo remoto, basado en IOT, para la adquisición, procesamiento, envío y visualización de datos de señales electrocardiográficas (ECG). El sistema implementa un módulo sensor embebido con comunicación inalámbrica que es capaz de transmitir datos por medio de la tecnología WI-FI o GPRS. El control de la adquisición, procesamiento y envío de las lecturas obtenidas desde el nodo sensor se realiza con un microcontrolador PIC24 de bajo consumo sobre el cual se implementa un sistema de control para el ahorro de energía aumentando la autonomía y funcionamiento del módulo. Los datos adquiridos por el microcontrolador se procesan y se adaptan al medio de comunicación sobre el cual se desea transmitir. Los datos se envían a un servidor Web en Internet usando la tecnología GPRS o mediante una red WiFi. En el servidor, se desarrolló una aplicación Web que crea conexiones basadas en Websockets para recibir la información del módulo sensor embebido y luego mostrar las señales adquiridas a todos los usuarios conectados en tiempo real. Este sistema permite que la señal ECG de la persona que es monitoreada sea supervisada de manera continua para prevenir eventos que puedan poner en riesgo su salud.

Palabras clave: GPRS, IOT, ECG, Websocket, WiFi.

Abstract: In this paper presents the design, development and construction of a remote monitoring system, based on Internet of the Things (IOT), for the acquisition, processing, shipment and data visualization of electrocardiographic signals (ECG). The system implements a wireless node is capable of transmitting data through Wi-Fi or ZigBee technology. The control of the acquisition and transmission of readings obtained from the sensor node is performed with a low-power microcontroller which has a control system for saving energy by increasing the autonomy of the module. The data is sent to a Web server on the Internet using a Gateway GPRS or via a WiFi network. The Web application creates connections based on Websockets to show the acquired signals to all connected users

Keywords: GPRS, IOT, ECG, WebSocket, WiFi.

1 Introducción

En la actualidad, los sistemas de monitoreo remoto con nodos sensores utilizan tecnologías inalámbricas como Bluetooth, WI-FI y ZigBee, [4] las cuales aumentan sus aplicaciones en diversos campos aprovechando el desarrollo tecnológico de arquitecturas de software y hardware que hacen posible que los dispositivos electrónicos puedan enviar información a Internet, lo cual es llamado en la actualidad como el “Internet de las cosas” (IOT).

Actualmente, los sistemas de monitoreo de señales fisiológicas realizan el registro y observación de señales biológicas, pero no tiempo real y las que si lo hacen lo realizan de forma local usando una aplicación de móvil o un ordenador.

La solución tecnológica planteada en este artículo muestra las tecnologías usadas para monitorear y supervisar el estado de una persona observando las señales ECG mediante una aplicación Web. Esto puede utilizarse para detectar problemas antes de que aparezcan los síntomas, enviar alarmas de urgencia o simplemente tener registros de la actividad del corazón.

El sistema usa un nodo sensor con conectividad WI-FI y ZigBee para el envío de las señales ECG de forma automática. Los datos adquiridos a través de los electrodos son procesados por una etapa de filtraje y procesamiento analógico y digital.

El nodo sensor envía los datos a una aplicación web en Internet ya sea usando un módulo GPRS o WiFi (usando la red local con conexión a Internet). La aplicación Web se encarga de mostrar los datos a los usuarios conectados al servidor creando conexiones permanentes basadas en WebSockets [5].

El resto de este paper está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, se muestra cómo realizar la sección de Trabajos Previos. La Sección 3 describe el planteamiento del problema. La Sección 4 muestra el fundamento teórico. La Sección 5 describe el diseño de la solución. Las pruebas y resultados del sistema se encuentra en la Sección 6, y finalmente las conclusiones están en la Sección 7.

2 Teoría del dominio y trabajos previos

El trabajo de tesis de maestría desarrollado en [13] consiste en un estudio de las redes de sensores inalámbricos aplicados a la medicina para luego aplicarlo al cuidado de la salud.

El sistema desarrollado en [14] trata sobre el desarrollo de métodos eficientes que permitan conocer la información de la red y de los sensores de los nodos y lograr un ahorro de recursos de energía. Se revisan técnicas de envío de datos por solicitud analizando los cambios en los valores de las lecturas obtenidas por los sensores.

En el artículo descrito en [15], se muestra una propuesta para disminuir el consumo de energía al utilizar

algoritmos de compresión y disminuir la cantidad de datos de la señal ECG que se envía de nodo sensor a otro. Se evalúan algoritmos Huffman, LZW y MiniLZO los cuales influirán en el consumo de energía de los nodos sensores.

3 Planteamiento del problema

El monitoreo de las señales ECG se realiza generalmente en establecimientos médicos, lo cual implica que el paciente esté conectado permanentemente a un sistema de monitoreo (como el equipo Holter ECG). Este equipo se cuelga alrededor del cuello, mientras que los electrodos recogen señal eléctrica, además el paciente tiene que llevar el equipo durante 1 día completo, para que el personal médico descargue la información [6].

Pero cuando se necesita que el monitoreo se realice de forma remota y continua durante varios días, en lugares externos a un centro médico, los equipos Holter no disponen de esta característica, la cual es necesario si el médico o enfermera desean conocer en todo momento el estado del paciente.

Se plantea el problema central del presente trabajo como la necesidad de diseñar e implementar una solución tecnológica para el monitoreo remoto de la señal ECG utilizando un nodo sensor de bajo consumo con envío de datos a la nube y un sistema de monitoreo que permita ver la señal ECG mediante el uso de tecnologías IOT.

4 Fundamento teórico

4.1. Módulo sensor inalámbrico

Los módulos sensores se comunican de forma inalámbrica con un dispositivo central o pueden transmitir su información directamente a internet utilizando un módulo de comunicación como el GPRS [4].

Como características importantes podemos decir que su uso se centra en aplicaciones de bajo consumo de energía y poseen la cantidad mínima de recursos de hardware para su funcionamiento.

4.2. Componentes hardware de un nodo sensor

Los elementos del nodo sensor mostrados en la Figura 1 son importantes en el rendimiento y en el consumo de energía [2].



Figura 1: Arquitectura de hardware genérica de un nodo en una red de sensores.

a) Bloque de comunicación: Consiste en un radio transceptor y una antena, el cual permite la comunicación inalámbrica del módulo embebido, ya sea por WiFi, ZigBee, GPRS o bluetooth.

b) Bloque de cómputo: Conformado por un dispositivo inteligente, que tiene memorias, temporizadores, ADC

(Conversor Análogo Digital), puertos de entrada y salida, etc.

c) Bloque sensor: Tiene un conjunto de sensores que pueden entregar señales eléctricas digitales o analógicas.

4.3. Señal ECG

La señal Electrocardiográfica es una señal bioeléctrica que es representada como un registro de la actividad cardíaca. El corazón genera señales de naturaleza eléctrica las cuales se puede analizar detectando las diferencias de potencial eléctrico mediante el uso de electrodos y amplificadores electrónicos [6].

La forma de la señal ECG está representado por: la onda P, el complejo QRS y la onda T cuyas amplitudes podrían llegar hasta los 3mV. La forma de la señal ECG se muestra en la figura 2.

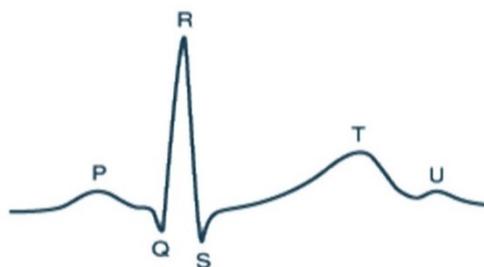


Figura 2: Forma de Onda de una señal ECG [10].

La mayor parte de la información de una señal ECG se encuentra por debajo de los 150Hz y en el caso de querer diseñar un monitor cardíaco utilizaremos frecuencias menores a los 30Hz. En el caso de las bajas frecuencias es difícil que la frecuencia cardíaca se encuentre por debajo de los 40 latidos por minutos (0.67 Hertz), por lo tanto se puede utilizar filtros de frecuencias bajas inferiores a este valor para eliminar la interferencia generada por la respiración.

4.4. Comunicación web con un módulo sensor

El módulo sensor embebido debido a sus características de bajo consumo de energía tiene la capacidad de almacenar y mostrar al usuario la información de forma local. Por lo tanto, se usan módulos de transmisión inalámbrica para enviar a Internet utilizando protocolos de comunicación web que se muestran en la figura 3. El módulo sensor tiene como una de sus funciones la de adquirir los datos y los transformarlos a un formato de comunicación estándar. La segunda función es crear un enlace de comunicación utilizando protocolos de envío de datos a aplicaciones en la nube (Por ejemplo MQTT, REST o SMS).

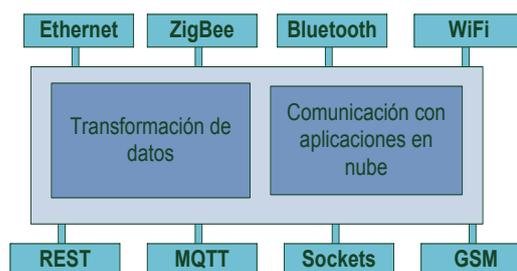


Figura 3: Protocolos de comunicación de un Gateway IOT.

4.5. Comunicación por Websockets

Actualmente, existen servicios en la nube (Ubidots, Dweet.io, Adafruit.io, Thinkspeak, etc.) que brindan un conjunto de funcionalidades para que dispositivos conectados a Internet envíen y reciban información.

Todas estas aplicaciones en la nube permiten actualizaciones dinámicas de datos a los clientes usando tecnologías de comunicación bidireccional como Websockets o MQTT, pero la desventaja es que tienen limitaciones en el envío de datos y velocidad de transmisión, además de estar restringidos solo a las plantillas que nos brindan para mostrar información.

Es ahí donde surge la necesidad de usar Node.js como una solución para implementar nuestra propia plataforma de servicios en la nube para dispositivos IOT. Node.js es un programa de servidor de código abierto con ejecución de código JavaScript en el servidor.

Junto con node.js es necesario el uso de Websockets, como un protocolo de comunicación bidireccional entre cliente y servidor. Los Websockets son una herramienta muy importante para la comunicación en tiempo real a través de Internet debido a que proporciona la comunicación de 2 vías necesarias para la transmisión de mensajes a los dispositivos, esto significa que podemos hacer actualizaciones dinámicas en una página web donde los cambios ocurren en tiempo real para todos los clientes conectados. Un esquema de la comunicación por WebSockets está en la figura 4.

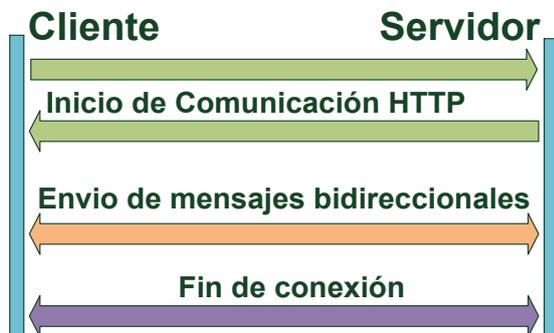


Figura 4: Esquema de comunicación con WebSockets.

4.6. Arquitectura usada en el sistema de monitoreo

Los avances realizados en el área de la IOT, han sido desarrollados de manera fragmentada, es por eso que existen varios tipos de arquitecturas conformadas por tecnologías, protocolos y diferentes estándares.

La tendencia ha estado inclinada a darles solución a dos problemas fundamentales: buscar una forma estándar de acceso al medio y a los dispositivos, e integrar los dispositivos a Internet. Básicamente, una solución basada en IOT está conformada por: Dispositivos sensores, el Gateway de comunicaciones y los servicios en Internet, como se muestra en la figura 5.

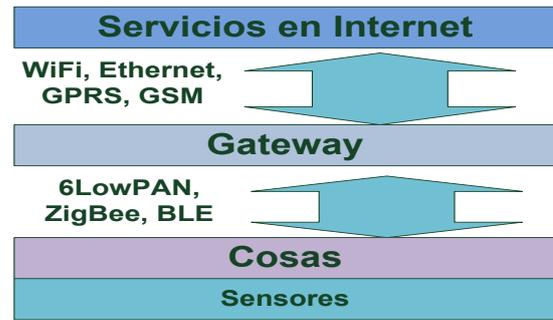


Figura 5: Esquema básico de una arquitectura IOT.

5 Diseño de la solución

5.1. Criterios de diseño

Se propone el sistema mostrado en la Fig. 6. para lo cual se tomó en cuenta los siguientes criterios:

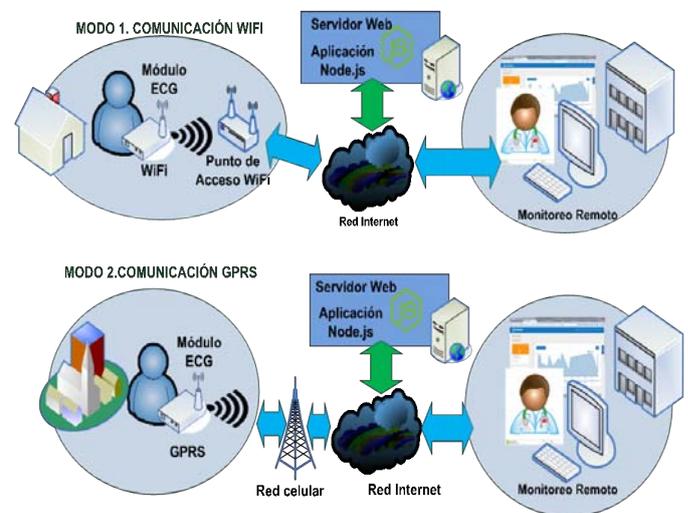


Figura 6: Etapas que conforman el Sistema de Monitoreo.

- 1) Criterio 1: Es necesario el envío de datos de forma móvil, lo que exige utilizar un nodo inalámbrico con tecnología WiFi.
- 2) Criterio 2: El nodo sensor debe adquirir las señales generadas por los electrodos conectados al cuerpo de la persona.
- 3) Criterio 3: La electrónica asociada al nodo sensor debe ser de muy bajo consumo de energía para que tenga una alta autonomía de funcionamiento.
- 4) Criterio 3: El nodo sensor debe tener la opción de enviar la información utilizando un punto de acceso a Internet con WiFi y con un módulo de comunicación GPRS.
- 5) Criterio 4: El sistema de monitoreo web debe mostrar dinámicamente, a los usuarios conectados, las señales enviadas por el nodo sensor.

5.2. Etapas del sistema

El sistema está conformado por un módulo con comunicación GPRS y/o WiFi y una aplicación de recepción y monitoreo de datos. Un diagrama que explica cómo interactúan los distintos componentes del sistema se muestra en la Figura 7.

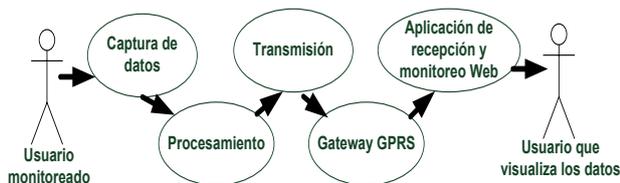


Figura 7: Relación de los elementos que forman el Sistema de Monitoreo

a) Módulo sensor

Según los criterios establecidos anteriormente se implementa un módulo sensor conformado por los siguientes bloques:

a.1) Bloque de captura de datos: En este bloque, se usa el circuito integrado AD8232 para la adaptación de la señal ECG. El circuito integrado AD8232 está diseñado para extraer, amplificar y filtrar señales ECG. Para la elección de este integrado se consideraron criterios del tipo de señal, la magnitud, frecuencia de adquisición de datos y consumo de energía.

Con el AD8232, se aplica un filtro pasa-alto de 0.5Hz para la eliminación de ruidos de muy baja frecuencia y un filtro pasa-bajo de 40Hz, eliminando el efecto Aliasing. Además, se configura el integrado para tener una ganancia de 1100. Como el nodo sensor se utiliza para fines de monitoreo de la señal ECG, no son necesarias frecuencias superiores a los 60Hz. El diagrama de bloques es mostrado en la figura 8.

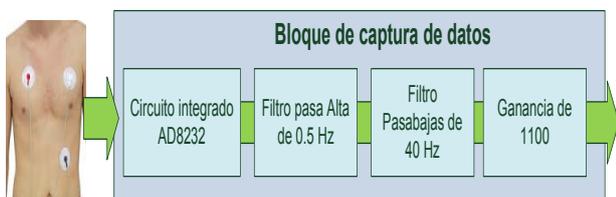


Figura 8: Diagrama del bloque de captura de datos.

El AD8232 tiene 3 salidas para realizar las conexiones de los electrodos (RA: brazo derecho, LA: brazo izquierdo y RL: pierna derecha) y una salida analógica de 3.3V para un ADC.

a.2) Bloque de procesamiento de datos: Este bloque tiene la tarea de adquirir las muestras de la señal amplificada por el bloque anterior, para lo cual se utiliza el microcontrolador de bajo consumo PIC2432KA302 de la marca Microchip.

Debido a que la señal del ECG ha pasado por un filtro analógico pasa-baja de 40Hz, utilizando el criterio de Nyquist, se realiza el muestreo a una frecuencia de 100Hz. Esta frecuencia es suficiente para realizar un monitor de la señal ECG y nos permite enviar una cantidad de muestras no muy elevado hacia la aplicación Web. Una gráfica con las frecuencias se observa en la figura 9.

Una vez adquirido el dato, pasará por una etapa de procesamiento implementado por un filtro digital, para eliminar los componentes mayores a 25 Hz utilizando el flujo de programación mostrado en la figura 10.

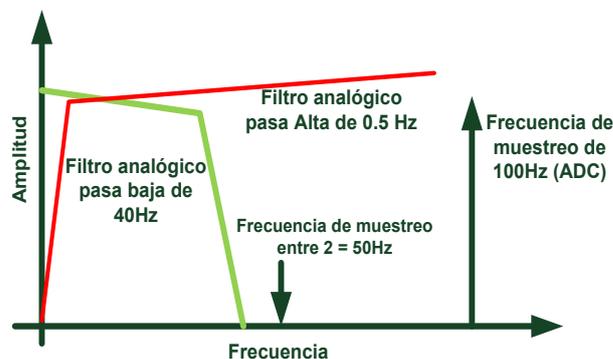


Figura 9: Frecuencia de muestreo y de los filtros digitales.

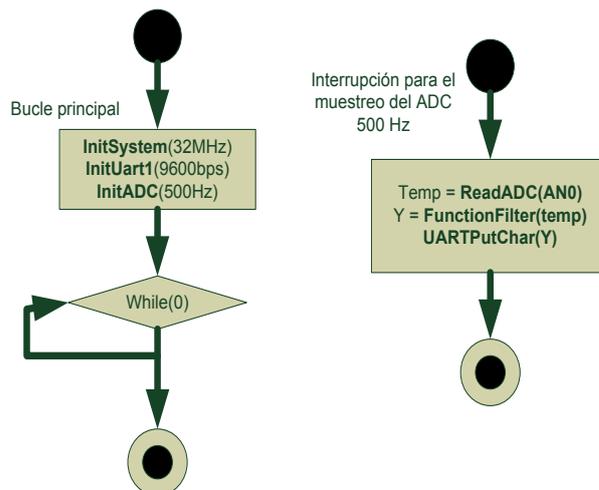


Figura 10: Frecuencia de muestreo de los filtros digitales.

Se diseña un filtro FIR de orden 20 con ventana kaiser, utilizando una frecuencia de muestreo de 100 Hz y una frecuencia de corte de 25Hz. Los coeficientes que se utilizan en el microcontrolador para el filtrado se obtienen de la rutina en MATLAB mostrada en la figura 11. La ventana kaiser tiene una banda pendiente en la banda de transición mucho más pronunciada en comparación con otras ventanas.

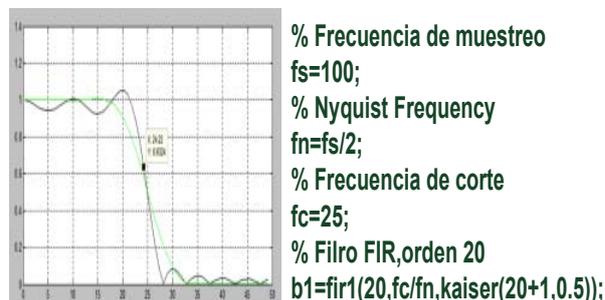


Figura: 11. Diagrama de frecuencias de los filtros FIR (Kaiser, negro y Hanning verde).

Como el nodo sensor se utiliza para fines de monitoreo de la señal ECG no son necesarias frecuencias superiores a los 60Hz. Luego de este procesamiento, se envían los datos al siguiente bloque utilizando el puerto serie.

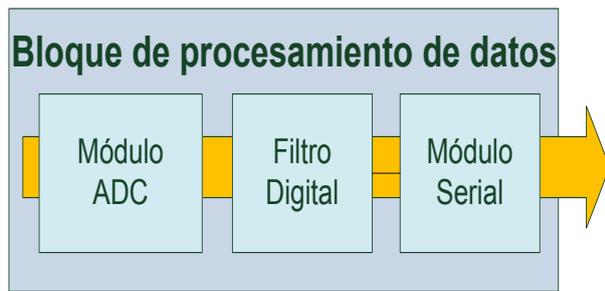


Figura 12: Diagrama del bloque de captura de datos.

a.3) Bloque de transmisión inalámbrica: Este bloque tiene como característica la comunicación utilizando dos tipos de tecnologías. La primera de ellas mediante el módulo de comunicación ESP8266 con conectividad WiFi y de bajo consumo de energía. El uso de la conectividad WiFi se puede usar en ambientes interiores donde exista un Access Point WiFi con conexión a Internet y también en ambientes exteriores donde se use el módulo GPRS Sim808 de la empresa Itead.

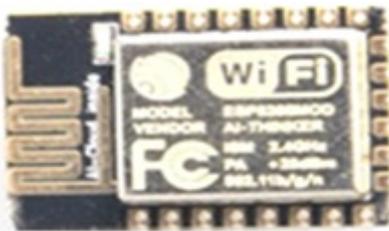


Figura 13: WI-FI ESP12E.

a.4) Módulo de comunicación GPRS: El módulo GPRS se encarga de crear el canal de comunicación con las aplicaciones Web. Las señales capturadas por el módulo sensor son procesados para adaptarse al protocolo de comunicación requerido para establecer comunicación con el servidor en Internet. Un diagrama de bloques con las etapas de comunicación GPRS se muestra en la figura 14.

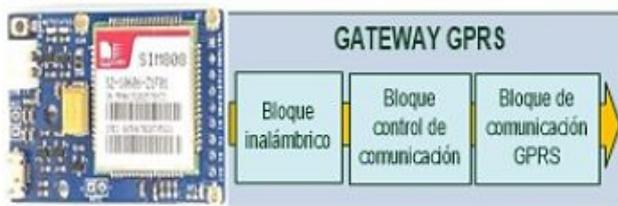


Figura 14: Bloques del Gateway GPRS.

Se usa el módulo GPRS/GSM/GPS SIM808, el cual soporta banda cuádruple y cuenta con un modo de bajo consumo de energía activado con un pin externo DTR.

b) Aplicación de recepción y monitoreo remoto de la información.

Para la aplicación web, usamos la tecnología Node.js, implementando un servidor TCP/IP ya sea usando el protocolo HTTP (POST) o Websockets. Estos datos son procesados en buffer de almacenamiento temporal para enviar los datos a los clientes conectados mediante Websockets.

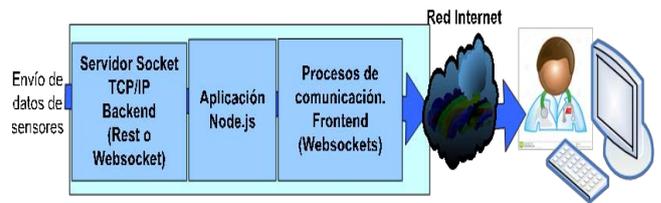


Figura 15: Etapa de recepción y monitoreo de la información.

6 Pruebas del sistema

6.1. Implementación del nodo sensor

Siguiendo los criterios para el desarrollo del nodo sensor, se realizó el diseño y construcción de 3 tarjetas de circuito impreso: Tarjeta de adquisición de señales ECG, de procesamiento y envío de información, y tarjeta de comunicación WI-FI. El diseño electrónico de las tarjetas se muestra en la figura 16, 17 y 18.

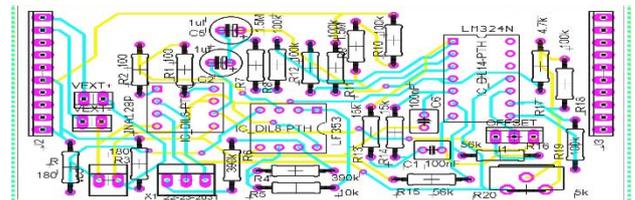


Figura 16: Esquema electrónico de la tarjeta de adquisición de señales ECG.

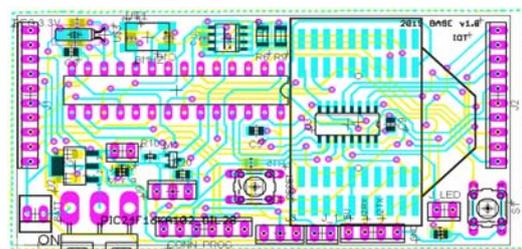


Figura 17. Esquema electrónico de la tarjeta base de procesamiento ECG.

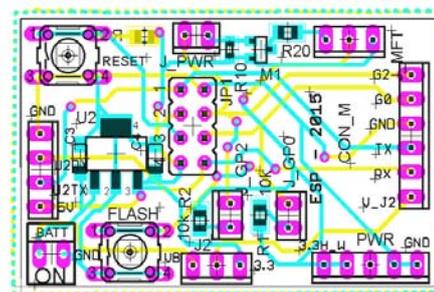


Figura 18. Esquema electrónico de la tarjeta de comunicación WI-FI.

Las tres tarjetas fueron ensambladas y conectadas, lo cual es la base para el desarrollo de las pruebas de adquisición, procesamiento y envío de datos. Éstas son mostradas en la figura 19.

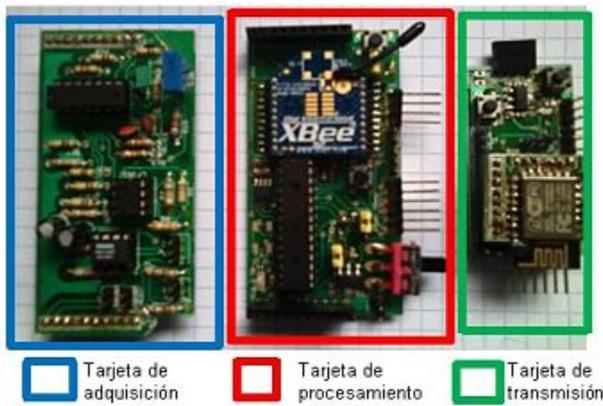


Figura 19. Las 3 tarjetas de circuito impreso implementadas.

6.2. Pruebas del filtro digital en el microcontrolador del nodo sensor

Para realizar el diseño y pruebas del filtro digital de la señal ECG se decidió usar un filtro pasabajos con una frecuencia de corte de 25Hz. Este filtro y las pruebas sobre éste se realizaron en MATLAB.

Como señal de entrada, se usaron muestras de una señal ECG de prueba que se cargó como un archivo de texto en MATLAB. En la figura 20, se observa la señal ECG sin pasar por el filtro FIR.

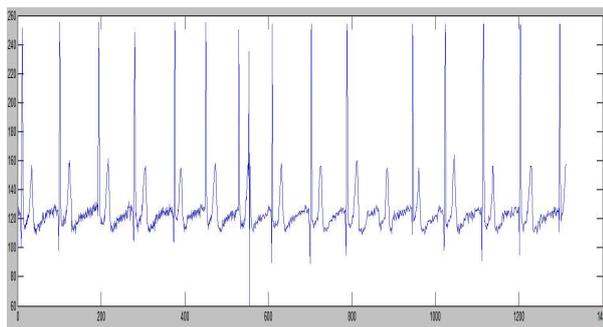


Figura: 20. Señal ECG sin pasar por el filtro.

El espectro de esta señal sin filtrar de la Fig. 21. tiene muchas frecuencias que agregan ruido a la señal arriba de los 100Hz.

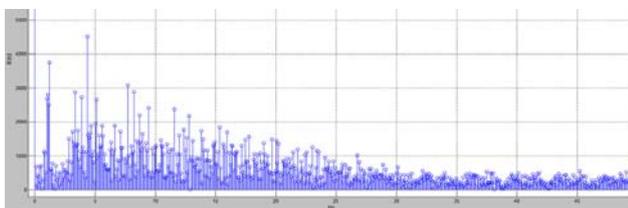


Figura 21: Espectro de la señal ECG.

Luego de aplicar el filtro sobre la señal se observa en la figura 22 la eliminación de las componentes ruidosas y un suavizado de la señal ECG.

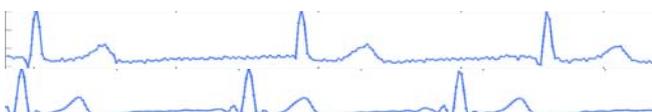


Figura 22: Señal ECG ruidosa (arriba) y señal filtrada (abajo).

Usando el entorno de desarrollo del MPLABX implementamos la parte del procesamiento digital de la señal ECG creando un arreglo de datos con los coeficientes del filtro FIR. En una matriz "bh" de tamaño 21, como se muestra en la figura 23.

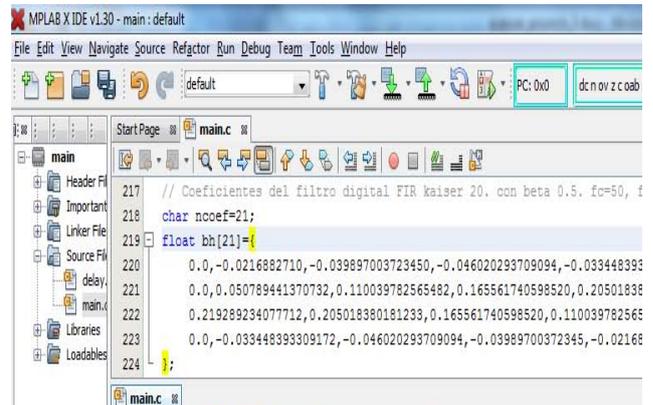


Figura 23: Implementación del filtro FIR en el microcontrolador.

Una vez que se implementó el programa en el microcontrolador, se conectaron las tarjetas de adquisición y de procesamiento y luego se colocaron los electrodos en una persona

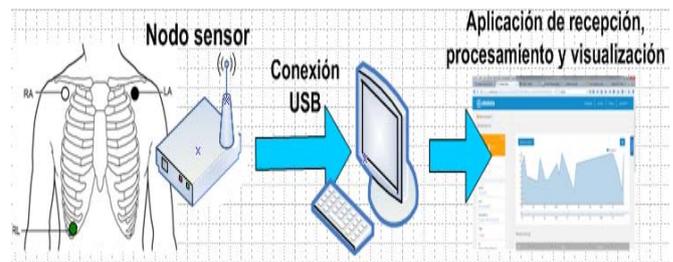


Figura 24: Esquema de conexión de pruebas iniciales.

Utilizamos un software de prueba para la visualización de señales instalado en un ordenador y la conectamos al módulo sensor usando un convertidor USB-Serial, para realizar las pruebas de adquisición que tienen como resultado la gráfica que se observa en la figura 25. Al inicio de la gráfica se observa la señal ruidosa y luego cuando enviamos la orden de activar el filtro en el módulo sensor, se elimina el ruido y se observa un suavizado en la señal.



Figura 25: Señal ECG sin filtrar (izquierda) y filtrada (derecha) con el microcontrolador.

6.3. Pruebas de envío de datos y visualización de información

En esta etapa, se realizó las pruebas de comunicación WiFi y GPRS hacia una aplicación Web usando Websockets y envío de datos por protocolo POST.

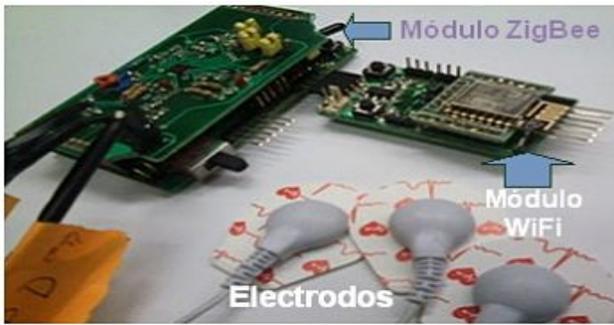


Figura 26: Nodo sensor de señales ECG con transmisión WiFi y ZigBee.

Cuando se utiliza el modo de transmisión WiFi por medio de una infraestructura de red inalámbrica en interiores, la comunicación con la aplicación Web se realiza por medio de la librería “Websockets.h” programado en el módulo WiFi ESP12E, usando el IDE Arduino. De esta manera, el envío de información de la señal ECG se realiza de manera continua a una frecuencia de 30Hz, la cual es suficiente para realizar un monitor cardiaco en tiempo real a través de la Web.

Cuando se usa el módulo de comunicación GPRS se realiza el envío de daos usando el protocolo POST para enviar toda la información a la aplicación Web. En la figura 27, se observa el módulo sensor con el sistema de comunicación GPRS.

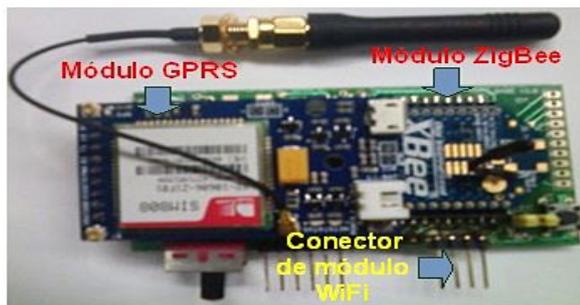


Figura 27: Módulo Gateway GPRS. Recepción de datos del nodo sensor por transmisión ZigBee o WiFi

La aplicación web se implementó usando el lenguaje Node.js basado en JavaScript. En la figura 28, se muestra la cabecera del código escrito para el servidor y publicado en el servidor de aplicaciones gratuito “Heroku”.



Figura 28: Cabecera del programa Node.js publicado en Heroku

Para la recepción de datos, se usan buffers temporales para almacenar una cantidad de muestras enviadas por el nodo sensor, y luego ir graficando los puntos de forma

dinámica en la página web del usuario usando Websockets.

Finalmente, la señal es mostrada en la aplicación Web como se observa en la figura 29. La señal va cambiando durante el tiempo mostrando una señal continua en el tiempo y entregando información de aproximadamente 5 segundos de datos

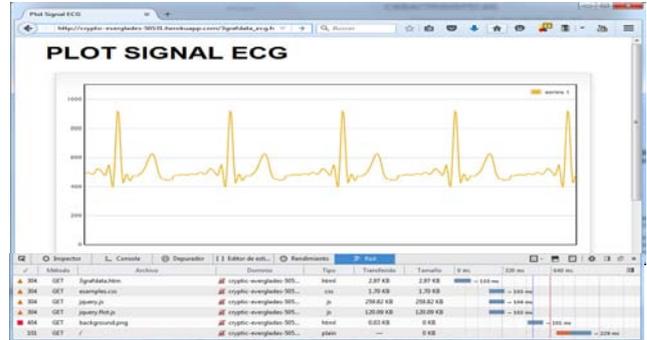


Figura 29: Señal visualizada en la aplicación Web.

7 Conclusiones y trabajos futuros

En el presente trabajo, se ha comprobado el funcionamiento del sistema de monitoreo conformado por el nodo sensor con comunicación GPRS y WiFi, y la aplicación de monitoreo, los cuales nos permitieron observar desde Internet la señal ECG. El protocolo POST fue usado en la transmisión por GPRS debido a que no fue posible implementar una comunicación por Websockets a diferencia de la comunicación por WiFi.

En el módulo sensor, se integraron componentes de bajo consumo, etapas de adquisición, circuito cargador, sistemas de comunicación inalámbrica, USB, serial y algoritmos de procesamiento de señales ECG.

Se observó que al aislar el nodo sensor de la red eléctrica, usando baterías, se obtuvo una mejoría en la señal ECG, lo cual agregado al filtrado analógico y digital dio como resultado una señal mucho más limpia.

La utilización de buffers para recepción y trasmisión de datos fue adecuada debido a que resultaba más rápido y práctico transmitir paquetes de 100 bytes de datos en lugar de transmitir y graficar cada dato individualmente. Estas técnicas de transmisión, junto con el uso de Websockets, tuvo como resultado la visualización dinámica de la señal.

Este trabajo sirve como una base para el desarrollo de futuros trabajos relacionados a sistemas de monitoreo y telemetría de señales biomédicas con sistemas embebidos de bajo consumo.

Referencias bibliográficas

- [1]. Fred Eady; Hands-On ZigBee: Implementing 802.15.4 with Microcontrollers, Newnes 2007.
- [2]. M. Kuorilehto, M. Kohvakka & J. Suhonen; Ultra-low energy wireless sensor networks in practice; John Wiley and Sons; 2007.
- [3]. ZigBee TM Networks; XBee TM Series 2 OEM RF Modules. <http://www.compel.ru/images/catalog/868/product->

- manual_XBee_Series2_OEM_RF-Modules_ZigBee.pdf - Acceso 17 de mayo de 2010.
- [4]. Agustín Caldevilla; Sistema de Monitoreo de Sensores Inalámbricos; Facultad de Ingeniería; Universidad de la República, Montevideo; Uruguay, abril 2009. Acceso: http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2009/CPSS09/C_PSS09.pdf
- [5]. P. Morreale, R. Suleski; System Design and Analysis of a Web-Based Application for Sensor Network Data Integration and Real-time Presentation; 3rd Annual IEEE International Systems Conference; 2009.
- [6]. Ronald N. Meza, Ling A. Vilca, Percy Monroy Vilcahuaman. ECG con diagnostic por sistema experto y comunicación GPRS, Universidad Nacional de san Agustín, Perú, 2013.
- [7]. Ernesto Espinoza; Remote monitoring of biomedical signals thorough a LAN network; Universidad Ricardo Palma, Perú.
- [8]. Janakiram MSV; Tutorial: Prototyping a Sensor Node and IoT Gateway with Arduino and Raspberry Pi; The New Stack; 2015. Acceso: <http://thenewstack.io/tutorial-prototyping-a-sensor-node-and-iot-gateway-with-arduino-and-raspberry-pi-part-1>
- [9]. Mike Cantelon, Marc Harter; Node.js in action; Manning Publications; 2014.
- [10]. Zhao Zhidong, Luo Yi and Lu Qing, Adaptive Noise Removal of ECG Signal Based On Ensemble Empirical Mode Decomposition, Adaptive Filtering Applications, InTech, 2011, Acceso: <http://www.intechopen.com/books/adaptive-filtering-applications/adaptive-noise-removal-of-ecg-signal-based-on-ensemble-empirical-mode-decomposition>
- [11]. ITEAD Intelligent Systems; SIM808 GSM/GPRS/GPS Module; China 2015; Acceso: http://wiki.iteadstudio.com/SIM808_GSM/GPRS/GPS_Module.
- [12]. SeeedStudio, ESP-12E Brief Spec, 2012. Acceso: http://www.seeedstudio.com/wiki/images/7/7d/ESP-12E_brief_spec.pdf
- [13]. Esther Elena Flores Carbajal; Redes de sensores inalámbricas aplicado a la medicina; Universidad de cantabria; España; octubre 2012.
- [14]. Martha Ma. Montes de Oca Cáliz; Métodos eficientes para la recolección de datos en Redes Inalámbricas de sensores; Universidad Nacional Autónoma de México; México; Marzo 2014.
- [15]. Garza Saldaña, Díaz Pérez, Medina Puente; Ahorro de energía para redes de nodos sensores corporales a través de compresión de datos fisiológicos; Revista Congreso Nacional de Ingeniería y tecnologías para el desarrollo sustentable; México; 2015.