Transmisión de señal cardiaca mediante sistema GPRS.

Mero, C. [1]; Parrales, J. [1]; Salamea, M. [2]; Novillo, F. [2]
[1] Estudiantes de Tópico previa obtención al título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
[2] Director de Tópico, profesor e investigador
Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (GICOM)
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Prosperina, Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil - Ecuador
{cmero, jparral, msalamea, fnovillo}@fiec.espol.edu.ec

Resumen

Hoy en día las personas están muy familiarizadas con los distintos términos relacionados a problemas en el corazón (e. g. paro cardiaco, infarto, soplo, etc.). Debido en muchos casos a la poca prevención que posee el ser humano en cuidar su organismo gracias a la mala alimentación o al agitado ritmo de vida, factores que hacen necesario un chequeo periódico de nuestro corazón. Por otro lado, se está viviendo la era donde el teléfono celular se ha convertido en parte de nuestras vidas, las palabras GSM/GPRS son escuchadas casi a diario y el acceso a Internet es posible desde cualquier parte del mundo por cualquier individuo. El sistema que se presenta a continuación permite relacionar los términos: salud y tecnología para la ayuda del hombre, y se lo realiza mediante el envío de la señal cardiaca de un ser humano, a través de la red GSM/GPRS sobre una conexión TCP/IP, a la computadora personal de un especialista cardíaco que esté conectada al Internet.

Palabras Claves: *digitalización, GPRS, GSM, IP, señal cardiaca, TCP/IP, transceiver, salud, paciente, señal bioeléctrica.*

Abstract

At present days, the new generations are so familiarized with several terms pointing heart illness(i.e. heart disease, infarct, etc.). Because of the poor prevention of the human to care about his body thanks to the bad feeding and the speeding up life rhythm; factors to become necessary a periodic control of our heart. On the other hand, we are living in the age where the cell phone has became part of our lives, the words GSM/GPRS are listened daily and the Internet access is available anywhere over the world. The next system developed let us to match the terms: health and technology to help the mankind, transmitting the human cardiac signal through the GSM/GPRS network on a TCP/IP connection, to the server of a cardiac specialist connected to Internet.

Keywords: *digitalización, GPRS, GSM, IP, señal cardiaca, TCP/IP, transceiver, salud, paciente, señal bioeléctrica.*

10/11/2009

1. Introducción.

En la actualidad, las muertes causadas por enfermedades del corazón han alcanzado una cifra alarmante en la población mundial, debido a múltiples factores que van desde los malos hábitos como el tabaquismo, la mala alimentación, el stress y por supuesto los factores genéticos los cuales poco a poco van debilitando el corazón y provocando que su funcionamiento no sea el adecuado para gozar de una buena salud.

Hoy en día la humanidad posee diferentes métodos para diagnosticar si alguien tiene algún tipo de enfermedad cardiovascular, pero el más confiable es la lectura de la señal cardiaca por medio del electrocardiograma [1]. En este método se utiliza la propiedad del cuerpo humano de ser una fuente de potenciales bioeléctricos [2], los cuales pueden ser medidos en la superficie de la piel por medio de electrodos o directamente en el interior del cuerpo por medio de métodos invasivos, como lo son los catéteres. Gracias a estos potenciales bioeléctricos se puede obtener a través de un gráfico en una pantalla o en un papel el comportamiento de un corazón dentro de un periodo de tiempo definido.

Existe un gran inconveniente en relación al uso de un electrocardiograma por parte de un paciente y, radica básicamente en que la persona necesita encontrarse en frente del equipo, con los electrodos conectados a su cuerpo y con el especialista médico a su lado para poder obtener e interpretar la señal obtenida de su corazón, lo cual necesita que el paciente invierta algo de su tiempo, el cual debido a varias situaciones muchas veces no posee, para poder ir al centro médico a realizarse el análisis o simplemente porque el paciente reside en los sectores donde no existe cerca un electrocardiógrafo.

El presente proyecto pretende eliminar muchas de estas desventajas a través de la tele medición de señales cardíacas de un paciente en cualquier momento y en cualquier zona geográfica (siempre y cuando haya cobertura de alguna operadora celular) y, poder enviarlo a un especialista para efectuar un diagnóstico.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: En la sección 2 se explicará el modelo del sistema y los elementos que lo conforman. En la sección 3 se menciona el proceso de adquisición de la señal cardiaca. En la sección 4 se expone el módulo de digitalización y control. En la sección 5 se propone la manera de transmitir la señal cardiaca obtenida anteriormente a través de la red de telefonía celular. En la sección 6 se expresará el modo en que los datos llegan al servidor y como éstos son interpretados por el receptor. En la sección 7 se analizarán los resultados obtenidos de la implementación y funcionamiento del proyecto. Finalmente exponemos las recomendaciones y conclusiones a las que se ha llegado una vez finalizado el proyecto.

2. Modelo del sistema.

El modelo del sistema nos permite la obtención de una señal cardiaca pura, su transmisión por la red celular y posterior recepción en el servidor.

2.1 Tipo de hardware.

Los dispositivos y herramientas que se han utilizado para el diseño de este sistema permiten implementar el proyecto de forma que, su adquisición sea económicamente factible para la mayoría de usuarios y, que la implementación sea lo más sencillo posible al utilizar equipos y medios de transmisión ya existentes en el medio, como lo son los equipos celulares, transceiver GSM/GPRS GR48 de Sony Ericsson [3], las redes GSM/GPRS [4] y el Internet [5].

2.2 Arquitectura.

Hemos dividido la arquitectura del sistema en 4 módulos principales: 1) Adquisición de la señal, 2) control y digitalización, 3) transmisión y 4) servidor receptor. En la Figura 2.1 se muestra la arquitectura del sistema desarrollado y se da una idea de la forma en que la señal cardiaca logra llegar desde el paciente hasta el equipo remoto del especialista.

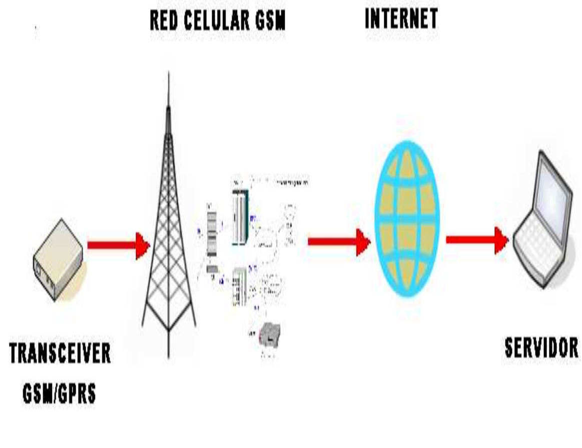
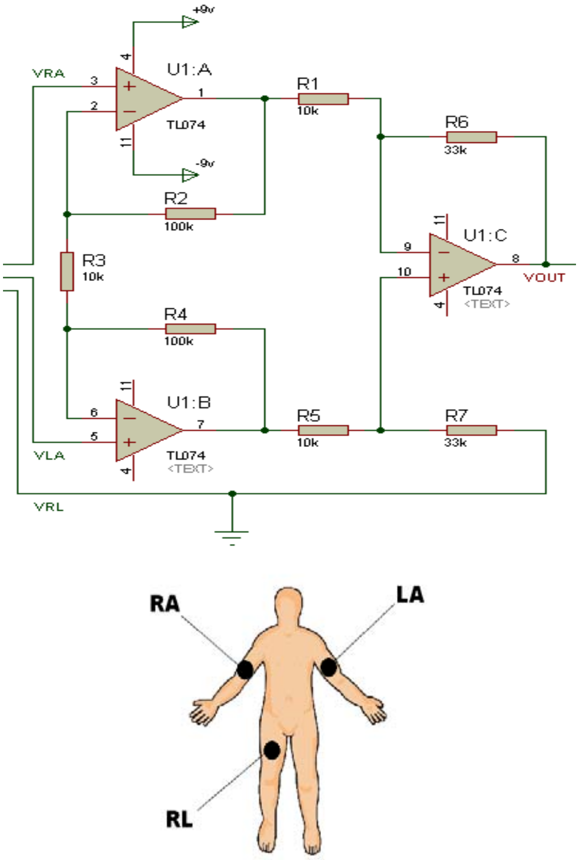


Figura 2.1. Arquitectura del sistema

3. Adquisición de la señal cardiaca.

Para tomar las muestras de una señal cardiaca se utiliza un amplificador de instrumentación [6] que está construido con dos separadores de voltaje y un amplificador diferencial [7]. Este amplificador toma como entradas los potenciales bioeléctricos de los brazos derecho e izquierdo, y utiliza el potencial eléctrico de la pierna derecha como referencia, utilizando electrodos los cuales son colocados en el cuerpo como es mostrado en la Figura 3.1. Para más detalles del circuito y conexiones [8].



RA: Brazo derecho
LA: Brazo izquierdo
RL: Pierna derecha

Figura 3.1. Circuito y esquema de conexiones

Debido a que la señal cardiaca es de una amplitud muy pequeña (alrededor de 1mV), es muy susceptible a ser interferida por otras señales apareciendo consecuentemente inmersa otras señales que son de una amplitud mayor y frecuencias diferentes, siendo necesario separarlas del resto de estas señales para poder registrarlas correctamente. Para ello las normas médicas especifican que las señales fuera de la banda especificada entre 0.05 Hz. y 100 Hz. no se consideran señales cardiacas [9], por lo que la señal obtenida se ingresa a un filtro pasa banda que permita eliminar toda señal fuera de esta banda de frecuencias y amplificarla. Figura 3.1.

Normalmente es posible que la señal sea alterada por el ruido inducido por algún equipo conectado a la red eléctrica o por la misma red, por lo que la señal necesita un filtro Notch configurado de forma tal que rechace las señales de 60 Hz [10], que es la frecuencia con que actúa la red de alumbrado en nuestro país.

Una vez que la señal es totalmente filtrada, entonces es amplificada por última vez y manipulada para que alcance una amplitud comprendida entre 0V y +5V; necesario para que pueda ser digitalizada en el Módulo de Control y Digitalización.

4. Módulo de control y digitalización de la señal.

Para que el sistema procese la señal cardiaca del paciente y la envíe al especialista, es necesario un módulo que permita controlar el sistema en su conjunto. El módulo de Control está formado principalmente por un microcontrolador PIC16F876A (en adelante llamado PIC) [11] encargado de iniciar las operaciones de adquisición de la señal cardiaca y la posterior digitalización para el envío desde módulo de transmisión al equipo remoto del especialista.

El Módulo de Digitalización permite convertir la señal analógica que se recibe del paciente a una señal digital, que pueda ser transmitida a través del transceiver GSM/GPRS. Este módulo controla la digitalización de la señal de cardiaca a través del ADC (convertidor analógico-digital o analog-to-digital converter) y almacena los datos muestreados en una memoria temporal.

El proceso comienza cuando el paciente necesita que su corazón sea analizado en un momento determinado, para lo cual presiona un botón, generando de esta forma una interrupción en el módulo de control, delegando el proceso de conversión de la señal al ADC. Aquí se inicia el muestreo de la señal cardiaca, tomando pequeñas muestras desde el módulo de Adquisición.

Considerando lo expuesto en el módulo de adquisición; el máximo valor para las señales cardiacas es de 100 Hz, por tanto es necesario tomar muestras a una frecuencia superior. Para esto utilizamos un muestreo de 500 Hz, y una resolución de 8 bits por muestra, realizándolo durante un tiempo de 5 segundos (tiempo considerado suficiente como para que un médico pueda dar un diagnostico confiable).

Dada la gran cantidad de información que se genera durante el proceso de muestreo, es necesario el almacenamiento de los datos digitalizados en una memoria Serial EEPROM [12]. De esta forma el módulo de control utiliza el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) para comunicarse y registrar los datos en la Serial EEPROM durante el tiempo de muestreo. La muestra total aquí obtenida es de 2500 bytes.

El PIC digitaliza la señal y, cada muestra obtendrá un valor del rango entre 0 y 255, siendo 0 para 0V y 255 para 5V, y será convertido al sistema hexadecimal, por lo que los valores estarán en el rango desde 00 hasta FF.

Al finalizar el tiempo total de muestreo, el módulo de Control comienza a extraer bloques de bytes (tramas) almacenados durante el muestreo y las envía al módulo de transmisión GPRS a través del puerto USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) presente en el PIC. En nuestro caso utilizamos comunicación asíncrona entre estos dos módulos [13].

Cuando el Módulo de Control se encuentra listo para transmitir las tramas a la siguiente etapa, envía una señal al transceiver GSM/GPRS, para que reciba las cadenas datos a ser enviadas.

5. Módulo de transmisión.

Este módulo se encuentra formado principalmente por el transceiver GR48, y programado a través del IDE (Integrated Development Enviroment) [14] software M2mpower.

Existen ciertas consideraciones para que este módulo pueda desempeñar correctamente sus funciones:

- Una SIM Card [15] provista por la operadora GSM/GPRS local.
- El sistema requiere encontrarse dentro de la cobertura de la señal de la compañía que provee el servicio.

Una vez procesada la señal cardiaca a través del Módulo de Control y Digitalización, es necesario tomar las muestras del paciente para enviarlas al especialista. Es por ello que dedicamos esta sección al proceso de transferencia de los datos desde un punto geográficamente alejado a un equipo remoto que permita graficar las señales trasmitidas.

El proceso de envío de los datos se inicia cuando el módulo de digitalización ha terminado el muestreo de la señal y el Módulo de Control envía la orden. Mediante esta operación el Módulo de Control envía los datos por medio del puerto UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) al Módulo de Transmisión.

Este módulo establece un enlace de comunicación con la red GSM/GPRS de la operadora local para que las tramas puedan ser enviadas sobre una conexión TCP/IP al equipo remoto del especialista.

Los Módulos de Control y Transmisión a pesar de tener en común el protocolo de comunicaciones, sus niveles de voltaje son diferentes por lo que, entre ambos existen dos circuitos acopladores de voltaje que transforman de +5V-0V a +2.7-0V y viceversa.

El Módulo de Transmisión no recibe todas las muestras, sino que el Módulo de Control se las entrega por partes, en nueve tramas. A lo que recibe cada trama, el transceiver le agrega un carácter de identificación al principio y al final de la cadena, el cual no pertenece al sistema hexadecimal (el rango G - O), para que no pueda ser confundido con los datos. A continuación la Figura 5.1 presenta un ejemplo de una de estas cadenas de la señal digitalizada:

G*6B5E595A5D5E61666B6D6F6F717272747373747474737374*
7474747374747474757475787 97B7B7C7F808386888B8C8E909192
92929292929393939495959595969495949292919191919190908D8B
8B8A8A8A898A8784828281817F7C797877757374737372737373737
373727372737374737373747373727273737273727373737374737
3737274737373747373727373737474737373737474737272727 37
474747373757779797A7B7D7E7F808182838385868685858384 82
8180808080807E7C7A797876757473727272737374737473727 37
372716E6D7A8EA1AFBECBD4DEE6ECE8E2DBD4C7AE978676
665A575A5C696C6D6E707172737272727273727473727272737473
73727373747677797A7C7E7F818486898D8E8F90909192939293
*92919393949594959595959594***G**

Figura 5.1. Cadena de datos de la señal cardiaca digitalizada

La trama anterior está formada por 602 caracteres en total, 2 de identificación (**G**) al inicio y al final, y 600 de datos. Los de identificación revelan que ésta es la primera cadena con los datos de la señal cardiaca.

Los datos en la trama se encuentran en sistema hexadecimal, cada uno formado por dos caracteres con valores entre 00 y FF (0 y 255 en decimal) y sin algún tipo de separación entre ellos, por lo que el primer dato en este caso sería *6B* (107 en decimal), el segundo *5E* (94 en decimal) y así sucesivamente hasta el final de la trama con la muestra *94* (148 en decimal).

Cada uno de los datos representa una de las muestras obtenidas y ordenadas según las condiciones de muestreo mencionadas anteriormente en el módulo de digitalización y control de la señal, por lo que la separación de tiempo entre cada uno de ellos que se encuentren contiguos en la trama sería de 2 ms.

Siguiendo estas condiciones podemos realizar la representación gráfica de la anterior trama, como se muestra en la Figura 5.2.

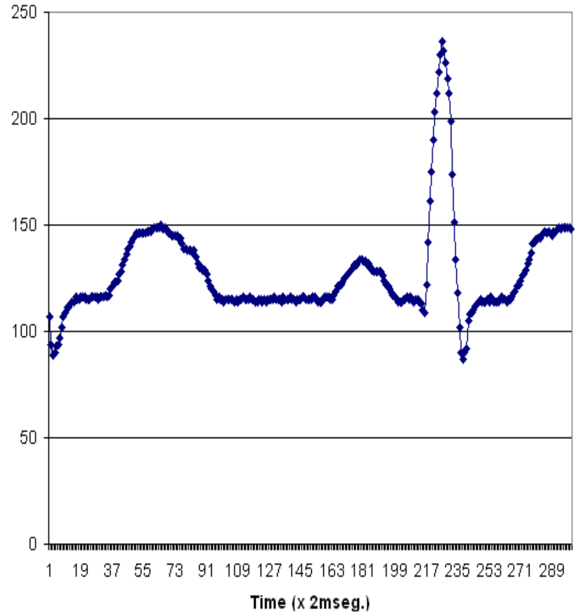


Figura 5.2. Gráfica de la reconstrucción de la cadena de datos

A la primera cadena se le asigna como carácter de identificación la letra "G", como es mostrada en la Figura 5.1; para la segunda cadena le será asignada la "H" y así sucesivamente hasta llegar a la última cadena que tendrá la "O" como identificación.

Cada vez que una cadena es recibida, se inicia el proceso de conexión con la red GPRS para el inmediato envío de ésta al servidor receptor.

En la Figura 5.3, se detalla el proceso con un diagrama de flujo.

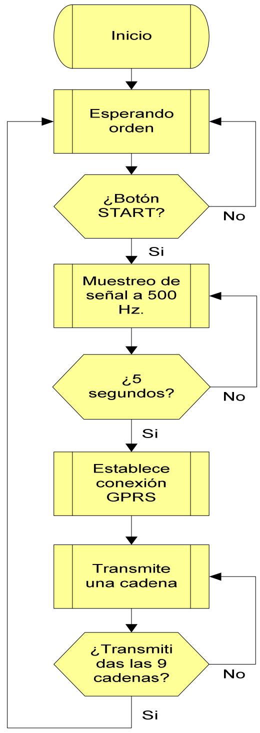


Figura 5.3. Flujo de los procesos de digitalización y transmisión GPRS.

6. Servidor receptor.

Una vez que la señal es enviada desde el equipo que porta el paciente, todo su ritmo cardíaco puede ser analizado por un especialista en cualquier parte del mundo a través de una conexión a la red de Internet. La Internet, extendida de forma universal, es el medio que sirve de enlace entre la red GPRS y el Servidor Receptor.

Este módulo es una aplicación de software que reside en un servidor, que se encuentra permanentemente en espera de las tramas enviadas por el transceiver, para procesarla y almacenarla en una base de datos para su posterior presentación en pantalla.

Una de las primeras tareas de este módulo comprende la autenticación del usuario – paciente. Cuando una trama de datos es recibida, el módulo de Publicación Remota reconoce la señal según el formato establecido en la trama y luego, almacena cada muestra de la señal. Una vez que todas las nueve tramas hayan llegado entonces es reconstruida con los datos del muestreo.

El resultado es mostrado como una etiqueta en la pantalla, como en la Figura 6.1, que presenta la información del usuario y la hora de ingreso de la señal al servidor. Se puede tener acceso a la gráfica solamente una vez que todas las 2500 muestras han llegado al servidor.

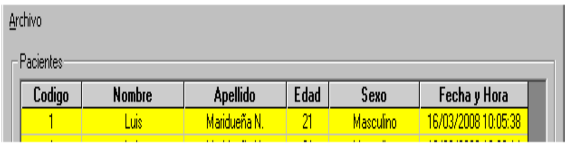


Figura 6.1. Llegada de la cadena al receptor

7. Resultados y análisis.

7.1 Lectura de datos.

A medida que llegan las tramas, 9 en total al servidor, las muestras de la señal se van almacenando en una base de datos la misma en donde se registra la hora de llegada, la fecha y el usuario al que pertenece, todos estos datos tomados de la información que posee el servidor.

Puesto que cualquier alteración en el orden en que llegan las muestras puede mostrar en forma errática la señal en pantalla, entonces el transceiver GPRS se encarga de enviarlas en estricto orden y así mismo el servidor analiza la trama que recibe y las almacena en el orden adecuado.

Aquí una herramienta se encarga de analizar las tramas que le ingresan por Internet una por una, almacenando las muestras que en ellas se encuentran. Una vez que han llegado todas las tramas y que por lo tanto las muestras están completas, entonces el programa conociendo de antemano las características con las cuales la señal fue muestreada, puede reconstruir y mostrar la señal cardiaca en pantalla, como en la Figura 7.1, con la cual el médico se encuentra en la capacidad de poder analizar la señal con total seguridad.

Figura 7.1. Presentación de la señal en pantalla del especialista

7.2 Estimación de latencia.

Estos resultados son medidos desde el momento en que el paciente confirma la transmisión de los datos, sin tomar en cuenta el proceso de adquisición y digitalización de la señal debido a que este tiempo es siempre constante de 5 segundos.

Cada trama enviada posee 897 bytes, y en estos resultados se toma en cuenta el tiempo total que el sistema necesitó para la adquisición de datos, configuración y conexión a GPRS, establecimiento de la conexión TCP/IP y recepción en pantalla para cada cadena enviada. En cada caso el tiempo promedio que tarda solo en realizar la conexión GPRS y la transmisión es aproximadamente de 11 segundos.

Los tiempos de retardo debido a cada proceso pueden variar en cada transmisión por lo que se sacó un promedio del tiempo que tarda en recibir cada trama el servidor.

Proceso	**Tiempo de retardo promedio (segundos)**
Digitalización	5.0
Envío trama 1	31.3
Envío trama 2	26.1
Envío trama 3	27.9
Envío trama 4	28.8
Envío trama 5	26.7
Envío trama 6	24.9
Envío trama 7	25.6
Envío trama 8	26.0
Envío trama 9	23.5
TOTAL	245.8 ≈ 4 min.

Tabla 7.1. Tiempo promedio necesario para transmitir y recibir la señal cardiaca

Tomando en cuenta estos resultados, mostrados en la Tabla 7.1, nos fijamos que el tiempo total que se tarda el sistema desde que se da la orden de transmitir hasta que el médico pueda ver la señal en su pantalla es de aproximadamente 4 minutos.

7.3 Costo por transmisión.

Aquí se muestra el costo por cada transmisión realizado por nuestro sistema, para el cual hicimos varios envíos y para aquello constatamos nuestro saldo antes y después del envío en nuestra SIM card, para verificar el valor cobrado por la operadora celular.

Prueba no.	# de tramas enviadas	# de bytes por cada trama	Costo total US$
1	9	897	0.05
2	9	897	0.06
3	9	897	0.05
4	9	897	0.07
5	9	897	0.05

Tabla 7.2. Estimación de los costos de la transmisión

Como se podrá observar, en la Tabla 7.2, según los resultados obtenidos en las pruebas nos damos cuenta que la operadora cobra diferentes valores a pesar de que la cantidad de tramas enviadas en cada prueba son iguales, pero también caemos en cuenta de que se asemejan mucho a un valor promedio que es de US$0,05.

8. Conclusiones y recomendaciones.

- A través de una aplicación médica similar se puede no solo enviar señales cardiacas, sino también provenientes de otras partes del cuerpo, como del cerebro, la presión sanguínea, incluso de los músculos, además del amplio campo en otras ramas, donde se puede implementar controles telemétricos.

- Con la aplicación se ha obtenido un tiempo promedio de 4 minutos, desde el momento en que el usuario presiona el botón para iniciar el proceso, hasta que el médico especialista puede observar la señal en el servidor-receptor. Éste es un tiempo que puede ser alterado, pudiendo ser mucho menor en caso de que se desarrolle la aplicación para una emergencia y no solo para monitoreo y control como es la finalidad de este proyecto; pero para conseguir esto, la digitalización de la señal debe ser reducida a una frecuencia de muestreo más pequeña, lo que sacrificaría la resolución de la señal final vista por el doctor a cambio de menor latencia en el proyecto. Basados en el teorema del muestreo de Nyquist, esto podría reducirse hasta 200Hz.

- Otro factor es la velocidad de la red que es mejorada en las redes de 3.5G con tasas de datos mayores a los 3Mbps donde, a diferencia de los 114 Kbps que ofrece GPRS, sería posible el envío de mayor cantidad de información y por lo tanto mejorar las prestaciones del sistema.

- El sistema presenta gran utilidad en el caso de zonas rurales donde los electrocardiogramas son casi inexistentes; también en momentos en que el usuario sufra algún tipo de emergencia y no haya nadie cerca para ayudarlo.

- El tiempo que la señal es muestreada y la frecuencia de muestreo, son suficientes para que el médico pueda obtener un diagnóstico confiable.

- Se ha logrado gracias a la unión de dos tecnologías, la red celular GSM/GPRS e Internet, poder entregar un proyecto que tiene la finalidad de ayudar al ser humano en mejorar su calidad de vida y, así mismo facilitar el trabajo que desempeña el médico. La única condición es que el paciente se encuentre con el equipo dentro de la cobertura de la operadora celular que le provee el servicio.

Bibliografía

[1] C. Castellano Reyes, M.A. Pérez de Juan, Electrocardiografía Clínica, publicado por Harcourt Brace ISBN: 84-8174-133-7, 1996.

[2] M.T. García González María Teresa, "Potenciales bioeléctricos: origen y registro". Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 1998, ISBN: 970-654-137-3.

[3] GR47/GR48 GSM/GPRS Radio Device, Sony Ericsson web page, www.SonyEricsson.com/m2m (Último acceso: Marzo 10 2008).

[4] Hernando Rabanos José María. "Sistemas GSM y GPRS", Segunda Edición, Junio 2004.

[5] María Carmen España Boquera, "Servicios avanzados de telecomunicación", Acceso a Internet p. 214. Ediciones Díaz de Santos, 2003. ISBN8479786078, 9788479786076

[6] Antonio Rubio, "Diseño de circuitos y sistemas integrados". Edicions UPC, 2003. ISBN8483015641, 9788483015643.

[7] Antonio Rubio, "Diseño de circuitos y sistemas integrados". Edicions UPC, 2003. ISBN8483015641, 9788483015643.

[8] Christian Mero, José Parrales, "Transmisión de señal cardiaca mediante sistema GPRS", Tópico de graduación ESPOL (Julio 2009).

[9] M. Sc. Miguel Yapur, "Monitor de electrocardiografía a través de una computadora personal", Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18, N. 1, 53-59, (Octubre 2005), ISSN: 0257-1749

[10] Kington, T., and Plonsey R, "Engineering Contributions to Biophysical Electrocardiography", New York: IEEE Press, Inc.,

[11] PIC 16F876A datasheet, PIC 16F876A datasheet, Microchip Technology Inc, http://www.microchip.com (Ultimo acceso: Marzo 10, 2008)

[12] Serial EEPROM datasheet, Serial EEPROM datasheet, Microchip Technology Inc, http://www.microchip.com (Ultimo acceso: Marzo 10, 2008).

[13] Tammy Noergaard, “Embedded systems architecture: a comprehensive guide for engineers and Programmers”, Newnes 2005. ISBN0750677929, 9780750677929

[14] Oliver Bailey, ”Embedded systems: desktop integration”, Wordware Publishing, Inc., 2005. ISBN1556229941, 9781556229947.

[15] Scott B. Guthery, Mary J. Cronin, “Mobile application development with SMS and the SIM toolkit”, McGraw-Hill Professional, 2001. ISBN0071375406, 9780071375405.