

Sistema Inalámbrico para el monitoreo de señales biológicas para el diagnóstico médico primario a distancia

Luis Miguel Romero Goytendía

lmromero@uigv.edu.pe

Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Perú

Resumen: En este paper, se presenta el proyecto titulado: "Sistema inalámbrico para el monitoreo de señales biológicas para el diagnóstico médico primario a distancia", que tiene como propósito desarrollar una solución tecnológica en la que se conjugan elementos tecnológicos, tales como: Redes de comunicaciones, telefonía celular, circuitería electrónica; con conocimientos de Medicina, los cuales servirán para ofrecer un producto de tecnología que sirva como apoyo al profesional médico, de modo que éste pueda hacer uso de herramientas tecnológicas para poder ampliar su capacidad de atención a pacientes, en especial, aquellos con dolencias crónicas, que no necesariamente necesiten de un cuidado directo.

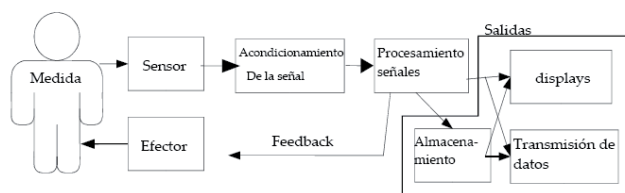
Abstract: In this paper we present the project titled "Wireless System for monitoring biological signals to the remote primary medical diagnosis" which aims to develop a technological solution, which combine elements of technology such as communications networks, cellular telephony, electronic circuitry, with knowledge of medicine, which will serve to provide a technology product that serves as a support provider, so that it can make use of technological tools to expand their capacity to care for patients, especially those with chronic conditions that do not necessarily need a direct care.

Palabras clave: Telemedicina, monitoreo a distancia, bioinstrumentación.

1. Introducción

El cambio de paradigmas, respecto al cuidado de pacientes crónicos con nuevos modelos de atención integral y compartida centrados en el paciente, donde las tecnologías de la información y las comunicaciones participan y ayudan al cuidado y a la gestión de la información, así como nuevos procedimientos de telemonitorización y tele-cuidado de personas con algún tipo de dolencia sin alta gravedad, pueden mejorar el seguimiento y cuidado a domicilio, así como la gestión de su tratamiento y la información necesaria para su atención sanitaria. Por tanto, la introducción y uso de nuevos procedimientos telemédicos que mejoran el seguimiento y cuidado de personas con dolencias estables y en estado crónico, el manejo de sus tratamientos, la coordinación de su equipo de cuidado y la gestión de su información, en definitiva, su atención sanitaria, permiten ensayar nuevos métodos, los cuales con la ayuda de la tecnología proporcionen al profesional médico de nuevas herramientas de atención, vigilancia y diagnóstico virtual, ensayándose para ello el diseño del sistema de cuidado y diagnóstico a distancia.

El sistema propuesto está adaptado para transmitir la señal cardíaca junto con otros signos vitales importantes, por ello un sistema de bioinstrumentación es aquel en que la fuente de señal es tejido vivo o que la energía es aplicada sobre tejido vivo. Esta particularidad exige parámetros de diseño específicos para la captura de señales. Un sistema de bioinstrumentación se muestra:



2. Trabajos Previos

Algunos proyectos específicos desarrollados en algunos casos, otros en pleno desarrollo, que sirvieron como plataforma para la propuesta del proyecto:

Sistema inalámbrico para la interconexión de sensores biomédicos basado en sistemas Bluetooth: Se presenta el diseño y realización de un sistema de interconexión de sensores biomédicos mediante la tecnología inalámbrica Bluetooth (BT). Con ello se pretende eliminar la conexión física entre paciente y equipo médico. Autores:

Luis Alberto Rodríguez García, José Alberto Rabadán Borges, Miguel Ángel Bacallado Marrero, Rafael Pérez Jiménez.

Departamento de Señales y Comunicaciones

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Análisis y supervisión de la señal cardíaca con transmisión inalámbrica de datos: En este trabajo se describe el diseño y la implementación de un prototipo de transmisión vía RF para el análisis y supervisión de la señal cardíaca. El prototipo consta de un electrocardiógrafo portátil con transmisión inalámbrica y una herramienta computacional para la visualización y análisis de la señal obtenida. Autores:

Wilmer h. Rojas V. Ingeniero Electrónico. wirove40@hotmail.com

Jhon f. Herrera D. Ingeniero Electrónico. jfh39@yahoo.com

Jadir G. Acuña O. Ingeniero Electrónico. gabo_0606@yahoo.com

Pablo A. Muñoz Ingeniero Electrónico, M.Sc. Profesor De Planta Universidad Del Quindío pabloandresm@yahoo.com

Francisco j. Ibargüen Ingeniero Electricista, M.Sc.
Profesor De Planta Universidad Del Quindío

Prototipo Funcional de un Sistema de Transmisión de Señales Electro cardiográficas (ECG) utilizando Tecnología Móvil: El objetivo de este proyecto se orienta a implementar un prototipo funcional para mandar señales electrocardiográficas a tiempo real, de forma que use la red de telefonía móvil y la tecnología GPRS para la transmisión entre una unidad móvil y el hospital de destino de modo que se consiga una asistencia integral, eficiente e inmediata para los pacientes. Autores:

Hugo Herley Malaver Guzmán, Carlos Andrés Lozano Garzón, Morfán Nair Calderón Díaz. *Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá, Colombia.*

Diagnóstico de Epilepsia a Distancia: Una Aplicación de la Telemedicina: Este informe describe las etapas de un proyecto de investigación en el área de tele- y biomedicina. El objetivo es que pacientes con desórdenes neurológicos (principalmente epilepsia), quienes viven en zonas alejadas de los centros de alta complejidad en Mendoza, Argentina, sean pre diagnosticados en forma remota por un neurólogo para decidir si necesitan o no un estudio más profundo, justificando así su traslado y evitando el congestionamiento de los centros. Autores:

José L. Gutiérrez, Gustavo F. Neer y Laura R. de Viñas

Grupo GÉNESIS, F.R. Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, jlg@gmx.at

Sistema Inalámbrico de Transmisión de Señales Biomédicas. Telemedicina Inalámbrica: En este estudio, se presenta un sistema de transmisión de datos inalámbrico que utiliza como medio de comunicación los terminales de "Manos Libres" de dos teléfonos celulares (uno como emisor y el otro como receptor de datos), con el fin de lograr transmitir una señal biomédica de un EKG de un solo canal y reconstruir y presentar dicha señal en un programa en PC en el lado del receptor. Autor:

Sergio Salas Arriarán a810187@upc.edu.pe

Asesor: Ing. José Oviden Martínez pceljoli@upc.edu.pe

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

EHAS-PERÚ (Enlace Hispano Americano en Salud) nace en 1999 para promover proyectos orientados a la utilización de las tecnologías de información y telecomunicaciones junto con las ciencias médicas y se crea en Lima dos estructuras esenciales:

- Por un lado, y contando con la Pontificia Universidad Católica del Perú como contraparte tecnológica, se crea un laboratorio sobre tecnologías de comunicación digital de bajo costo para el entorno rural de Perú.
- Por otro, contando en este caso con la Universidad Peruana Cayetano Heredia como socio médico, se crea un centro proveedor de servicios de comunicación para personal de salud aislado en zonas rurales.

3. Diseño del sistema de adquisición de alto rendimiento y de comunicación

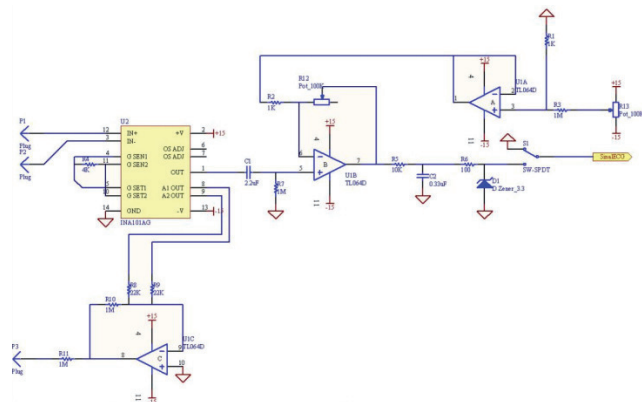
Primero, se abordará el diseño para la señal electrocardiográfico, y luego para otros signos vitales. Para ello se siguen los siguientes pasos:

i) **Selección de amplificadores de instrumentación:** La característica necesaria de los amplificadores es que deben producir poco ruido y una alta impedancia. El circuito empleado es el amplificador de instrumentación de la familia INA114.

ii) **Diseño de la etapa de amplificación:** Después de detectar y transducir una señal biológica, normalmente se necesita de un tratamiento electrónico para poder ser visualizada en algún dispositivo de registro o presentación de datos, tales como voltímetros, registros gráficos, etc. El tipo de procesamiento depende del origen de la señal y de la forma cómo quiere presentarse, independiente de la complejidad del equipo final. Los parámetros que hay que considerar para cualquier amplificador utilizado para el procesamiento de biopotenciales son:

- Impedancia de entrada.
- Impedancia de salida.
- Ancho de banda.
- Ganancia.
- Relación de rechazo de modo común (CMRR).

El diagrama para el circuito amplificador del ECG se muestra a continuación.



iii) **Diseño de la etapa de supresión de ruido e interferencia:** Uno de los mayores problemas en el registro de biopotenciales es la presencia de ruidos indeseables, principalmente ruido de 50, 60 Hz, cuya principal fuente es la línea de alimentación de corriente alterna, la cual está siempre presente debido a que es necesario iluminar los ambientes y alimentar los equipos. Esta interferencia puede ser clasificada en dos categorías: magnética y eléctrica. Existen muchas formas de eliminar estos efectos, una de las cuales es utilizando filtros. Las principales fuentes de perturbación son:

- Interferencia de línea de potencia.
- Ruido por contacto de electrodos.

- Artefactos de movimiento.
- Contracción muscular.
- Desplazamiento de línea base y modulación en amplitud del ECG con respiración.
- Ruido electroquirúrgico.

iv) **Diseño de la etapa de filtrado:** Estudios realizados demuestran que señales arriba de 150Hz no son cardiológicas y además, filtrando frecuencias menores de 0.05Hz, eliminamos una diferencia de potencial entre los electrodos y la superficie de la piel que alcanzan niveles de hasta 300mV y que pueden llegar a saturar los circuitos del amplificador. Eliminando estas frecuencias aseguramos una alta ganancia de la señal ECG. Además, es necesario eliminar la frecuencia de la red de 60 Hz.

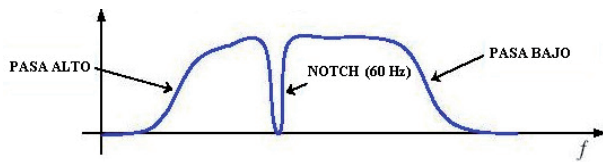
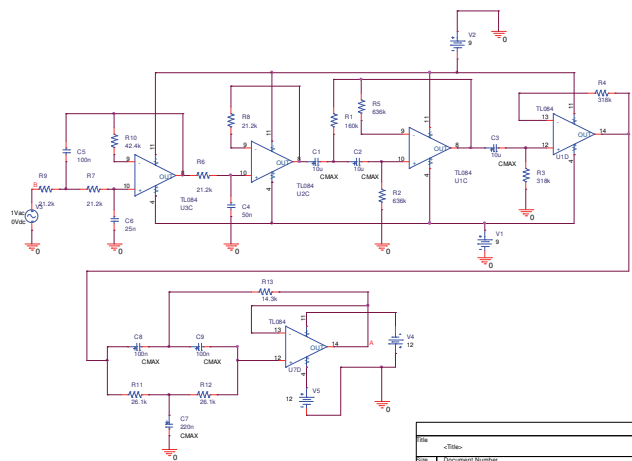


Diagrama para el circuito de filtrado y eliminación de ruido:



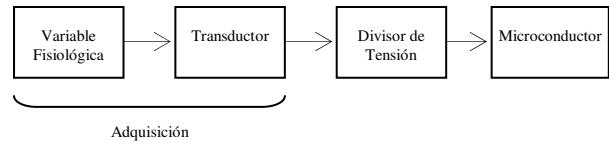
v) **Diseño del sistema de adquisición de otros signos vitales:** En primer lugar se considera la Temperatura, que cuando se mide en sistemas vivos generalmente proporciona información importante sobre su sistema fisiológico. El fenómeno más simple para la transducción de temperatura es la dilatación térmica que sirve de base para los termómetros de mercurio.

El tratamiento de la señal de temperatura, se inicia por la adquisición por medio de un termistor, que a la salida entrega un voltaje en función de la temperatura corporal, para ello se puede utilizar un sensor NTC. En el preprocesamiento, el termistor es adecuado por medio de un divisor de voltaje con la resistencia del termistor y una resistencia de 10 KΩ, con una alimentación de 5V. La ecuación muestra la relación entre el voltaje y la temperatura.

$$2 \quad V = -0,26 \ln(T) + 2,701 \rightarrow$$

$$T(^{\circ}C) = e^{\frac{10,388 - 3,846V}{0,26}}$$

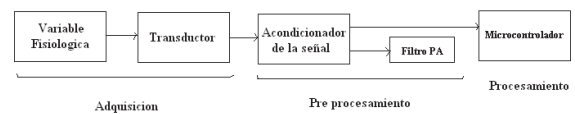
El tratamiento de la temperatura se realiza:



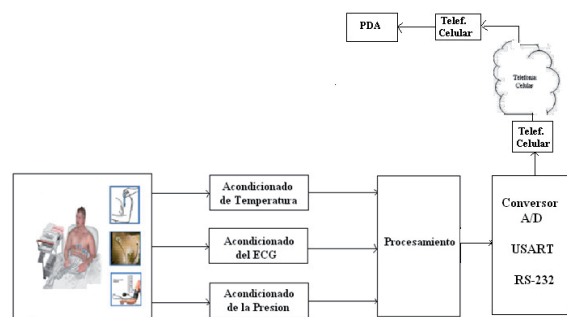
En segundo lugar, consideramos la medición de la presión arterial, donde los métodos para la medida de presión se pueden dividir en dos categorías: indirectos o no invasivos, y directos o invasivos. La forma más común para la medida indirecta de presión sanguínea es la que utiliza un esfigmomanómetro.

Para nuestro caso utilizaremos un transductor de presión externo, teniendo disponibles las más variadas configuraciones y geometrías, tales como: extensómetros, transformadores diferenciales linealmente variables (LVDT), dispositivos electroópticos, materiales piezoeléctricos, capacitores variables, dispositivos semiconductores, etc. En este caso un diafragma de acero inoxidable, transforma una presión en una deformación, y un transductor secundario, es este caso, extensómetros colocados en el diafragma, producen una variación de resistencia eléctrica proporcional a la deformación.

El tratamiento de la presión se realiza:



vi) **Diseño del sistema de comunicación:** Luego de la adquisición y acondicionamiento de las señales biológicas, el siguiente paso requiere transmitir las a distancia por la red de telefonía celular, utilizando por ejemplo el servicio de Radio Transmisión de Paquetes Generales, a un sitio web remoto, luego de lo cual este podrá ser accedido, previa identificación, por especialistas para poder emitir el diagnóstico remoto, tanto de la actividad cardiaca, como de otros signos vitales. El diagrama en bloques general del sistema propuesto se muestra en la figura.



4. Experimentos y Resultados

El programa de transmisión de señales se encarga de establecer la comunicación con el equipo remoto mediante el envío de comandos AT al MODEM local y verifica constantemente la ocurrencia de falla. Cuando ambos teléfonos responden que se ha establecido satisfactoriamente la comunicación, el programa toma uno a uno los datos del archivo binario y comienza a

transmitirlos en tiempo real hasta que el usuario decida interrumpir la transmisión.

El programa de recepción y presentación de señales no incorpora toda la inteligencia de la aplicación anterior, ya que sólo se limita a esperar la llamada del equipo transmisor, recibir y graficar los datos y detener la ejecución como consecuencia de la terminación de la llamada.

Cuando el programa receptor detecta que hay una llamada entrante en el celular, ordena al MODEM que conteste y espere la secuencia de sincronización con el equipo remoto. Una vez establecida la comunicación, comienza a recibir los datos, reconstruye la señal y presenta la información en tiempo real al usuario, en la forma de señales gráficas de ECG separadas en 3 canales.

5. Discusión de los Experimentos

El sistema desarrollado consta de 3 etapas: lectura de las señales de ECG, transmisión de los datos y presentación de la información recibida. Este sistema asume la existencia del dispositivo encargado de la adquisición y registro de señales que libera la información en un buffer del cual se toman las lecturas.

Con la finalidad de simular la adquisición, se utilizó un archivo binario de 30 Megabytes que contiene 24 hs. de señales ECG de 3 canales.

Para la transmisión y recepción de datos, se utilizaron 2 teléfonos celulares Samsung SCH-3500 CDMA que cuentan con MODEM incorporado, accesible a través de una interface RS-232.

Se desarrollaron dos aplicaciones para gestionar el envío, recepción y presentación de la información. El lenguaje elegido para desarrollar ambas aplicaciones fue Microsoft Visual Basic 6.0 por su fácil manejo del puerto serial.

El programa de transmisión de señales se encarga de establecer la comunicación con el equipo remoto mediante el envío de comandos AT al MODEM local y verifica constantemente la ocurrencia de falla. Cuando ambos teléfonos responden que se ha establecido satisfactoriamente la comunicación, el programa toma uno a uno los datos del archivo binario y comienza a transmitirlos en tiempo real hasta que el usuario decida interrumpir la transmisión.

Para la transmisión de datos, se escogió que la central de procesamiento de datos sea un PIC, que posee un módulo de comunicación serial USART/SCI. El PIC se comunicará con el celular, que será el dispositivo que envíe los datos adquiridos al médico encargado. El PIC captará la señal analógica del ECG y la convertirá a una señal digital por medio del módulo A/D que éste posee, almacenando los valores picos de la señal ECG en un *array* durante 2 segundos cada 3.5m. Debido a que la componente de frecuencia máxima de una señal ECG es de 150Hz, y por el teorema de muestreo, la frecuencia de muestreo debe ser 300Hz mínimo, y $1/300$ es 3.5m aproximadamente.

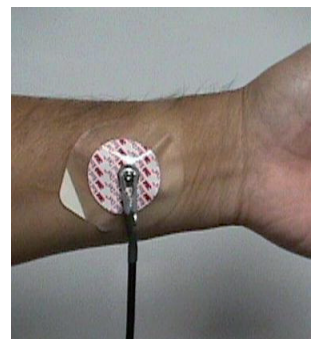
El celular, dentro de la cadena de transmisión, únicamente tendrá la labor de enviar un mensaje de texto al médico

encargado avisándole que le ha llegado un correo con el archivo que contiene los valores pico de la señal ECG para que él los pueda ver en un ordenador. El protocolo de comunicación usado entre el celular y el PIC, es el protocolo de comandos AT. Se estará trabajando con la norma ETSI GSM 07.07, versión 5.4.0.

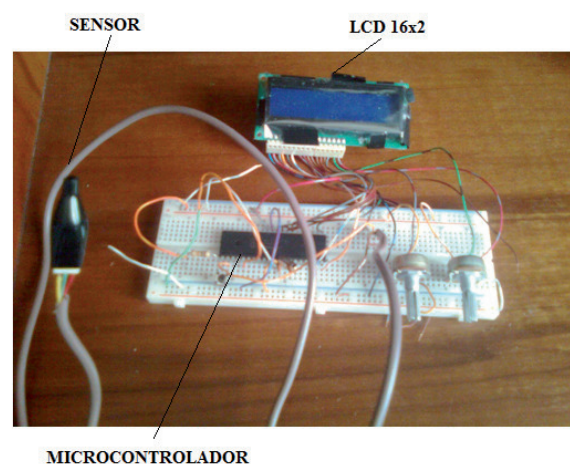
Para un correcto desempeño del microcontrolador, deben estar conectados los electrodos al paciente.

Las ventajas del sistema propuesto radican en la amplia cobertura de las redes de telefonía móvil, el bajo costo de los equipos disponibles en el mercado y la diversidad de tecnologías utilizables para adquirir, transmitir y presentar la información.

Electrodo para la toma del ECG:



Las pruebas de medición de temperatura:



6. Proyecciones futuras

Las aplicaciones que pueden relacionarse con el presente proyecto, solo están limitadas por la disponibilidad de medios tecnológicos y económicos, puesto que en un futuro incluso, se contarán con nuevas y mejores herramientas tecnológicas, las que no solo brindarán confort y servicio, sino que probablemente busquen mejorar la calidad de vida y la salud de las personas.

7. Conclusiones

- El campo de la Telemedicina es sumamente amplio, lo cual se constata en las numerosas aplicaciones que podrían enmarcarse en ella, a diferentes dolencias o patologías de salud, las que con ayuda de las tecnologías de la información y comunicaciones

brindarán otras formas de atención y diagnóstico médico.

- b) Hay toda una diversidad de tecnologías que se pueden utilizar para implantar diversos prototipos, que pueden adecuarse para un sinnúmero de aplicaciones, en nuestro caso a la medicina.
- c) El sistema propuesto puede ampliar su espectro de aplicación hacia la captura de otras señales biológicas, y con ello ampliar las posibilidades del profesional médico en el tratamiento, seguimiento y diagnóstico de otras enfermedades.
- d) Queda claro que el campo de aplicaciones está abierto hacia cualquier disciplina, no solo la medicina, por tanto, solo hay que observar las necesidades que haya en algún campo, para que a partir de ello se conecten los elementos tecnológicos necesarios que permitan solucionar el problema.
- e) En el presente trabajo, se han conjugado dos disciplinas bien definidas, la Medicina y las Telecomunicaciones, obteniendo como producto una solución tecnológica a problemas del campo de la medicina. Con ello, lo que se pretende es probar que en la actualidad los equipos de investigación deben ser multidisciplinarios, puesto que los problemas, por

lo general, contemplan influencias tan variadas, que es necesario abordarlos desde diversos campos de especialización.

Referencias bibliográficas

- [Oppenheim, 1997] Oppenheim, (1997). Señales y Sistemas. Prentice Hall.
- [Cuesta, 2001] Cuesta, D. (2001). Estudio de métodos para procesamiento y agrupación de señales electrocardiográficas. Departamento de Informática de Sistemas y Computadoras (DISCA), Universidad Politécnica de Valencia.
- [Bronzino, 1995] Bronzino, J. (1995). The Biomedical Engineering Handbook. CRC Press.
- [Proakis, Manolakis, 1996] Proakis, Manolakis, (1996). Digital Signal Processing. Prentice Hall.
- [Magnus, B.] Magnus, B. Wireless communication in telemedicine using Bluetooth and IEEE 802.11b. OpenECG - Standard communications protocol for computer assisted Electrocardiography. http://www.openecg.net/index_ws2.html
- [Klejn, Paliwal, 1998] Klejn, Paliwal, (1998). Spech Coding and Synthesis. Elsevier.