

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN DE SEÑALES FISIOLÓGICAS, QUE AYUDA AL DIAGNÓSTICO MÉDICO UTILIZANDO FPGA, CON COMUNICACIÓN INALÁMBRICA A TABLET, CON MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL.

Jorge A. Gavilema¹ y Edwin D. Mullo¹.

¹DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE – EXTENCION LATACUNGA, ECUADOR.

Resumen: Este trabajo presenta el diseño, desarrollo y pruebas de un dispositivo electrónico de adquisición y transmisión de señales de temperatura corporal, presión arterial, ritmo cardiaco y un electrocardiograma, utilizando tecnologías de transmisión inalámbrica (Bluetooth), con una interfaz de usuario en una central de monitoreo (Tablet), alineándose con el desarrollo permanente de nuevas tecnologías de soporte al diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Se analizó el desempeño de acuerdo a su disponibilidad, tiempo de conexión y precisión en las mediciones, que permite vislumbrar un futuro cercano donde la posibilidad de realizar mediciones continuas a nuestras señales fisiológicas deje de estar ligada a hospitales o centros de salud.

Palabras clave: Temperatura corporal, Presión arterial, Ritmo cardiaco, Electrocardiograma, Tecnologías inalámbricas, Central de monitoreo.

Abstract: This paper presents the design, development and testing of an electronic acquisition and signaling body temperature, blood pressure, heart rate and electrocardiogram, using wireless transmission technologies (Bluetooth), with a user interface in a central monitoring (Tablet), aligning with the continued development of new technologies to support the diagnosis and treatment of diseases. Performance was analyzed according to their availability, connection time and measurement accuracy, which allows envision a near future where the possibility of continuous measurements to our physiological signals no longer linked to hospitals or health centers.

I. INTRODUCCION.

Establecer la atención médica inmediata y rápida sin la presencia física del médico tratante, mantener un registro electrónico de los pacientes para un diagnóstico emergente y oportuno, tomar decisiones iniciales a través de un

sistema experto por parte de asistencias que permitan mejorar la calidad de atención sanitaria.

El objetivo es la propuesta y estudio de viabilidad de un sistema de uso portátil-domiciliario y de los procedimientos validados asociados,

para el análisis y caracterización de diversas señales biomédicas, de las que se extraen parámetros fundamentales para las más novedosas técnicas de diagnóstico. Se trata de reducir el número de sensores y señales relevantes a efectos de diagnóstico.

En particular, el estudio se centra en la validación de los resultados proporcionados por el empleo de sensores aplicados al cuerpo humano de un conjunto de pacientes hospitalizados en una Unidad Médica (UM) y a otro conjunto de pacientes ordinarios sin ningún síntoma de enfermedad.

El análisis sistemático comparativo de sensores multifunción, aplicados a trastornos cardíacos, de presión y temperatura, frente a las técnicas convencionales, es un aspecto poco abordado en la literatura. Por ello, en este estudio se propone, mediante técnicas de procesamiento digital de la señal, extraer las variables fisiológicas útiles para el diagnóstico de los diferentes tipos de fenómenos de temperatura, presión y

cardíacos anormales durante el la actividad cotidiana.

A partir de la segregación, partiendo de los datos de los sensores, se obtendrán los parámetros relativos al ritmo cardíaco y su variabilidad, la actividad de temperatura y presión, con las técnicas aplicadas en la medición de señales fisiológicas se demuestra experimentalmente, que es posible realizar una aproximación eficaz a la valoración de los parámetros con personas saludables, empleando para ello un sistema de bajo coste y uso sencillo.

Además se propone el empleo de técnicas adicionales para la identificación de eventos o para la discriminación de pacientes. Finalmente, se desarrollará un sistema prototipo, para el registro inalámbrico y el análisis de los datos proporcionados por los sensores, de fácil aplicación. Se persigue la reducción de costos y el aumento de la productividad, índices fundamentales de la futura sanidad electrónica.

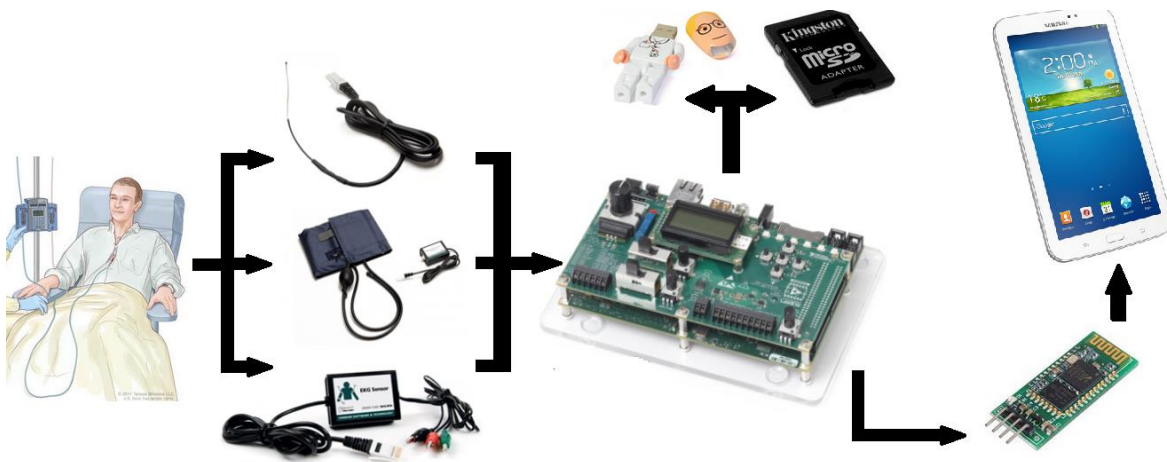


Fig. 1: Diagrama de bloques del sistema de telemetría.

II. MATERIALES Y METODOS.

El sistema de transmisión de las señales fisiológicas incluye un dispositivo de adquisición y transmisión de datos y una interfaz de usuario en la que se presentan en tiempo real las señales de los pacientes. En la Fig. 2 se presenta el

diagrama de bloques del sistema de telemetría propuesto que corresponde al hardware que incluye la adquisición y transmisión inalámbrica de los datos hacia la central de monitoreo (Tablet), la cual recibe y visualiza los datos del paciente.

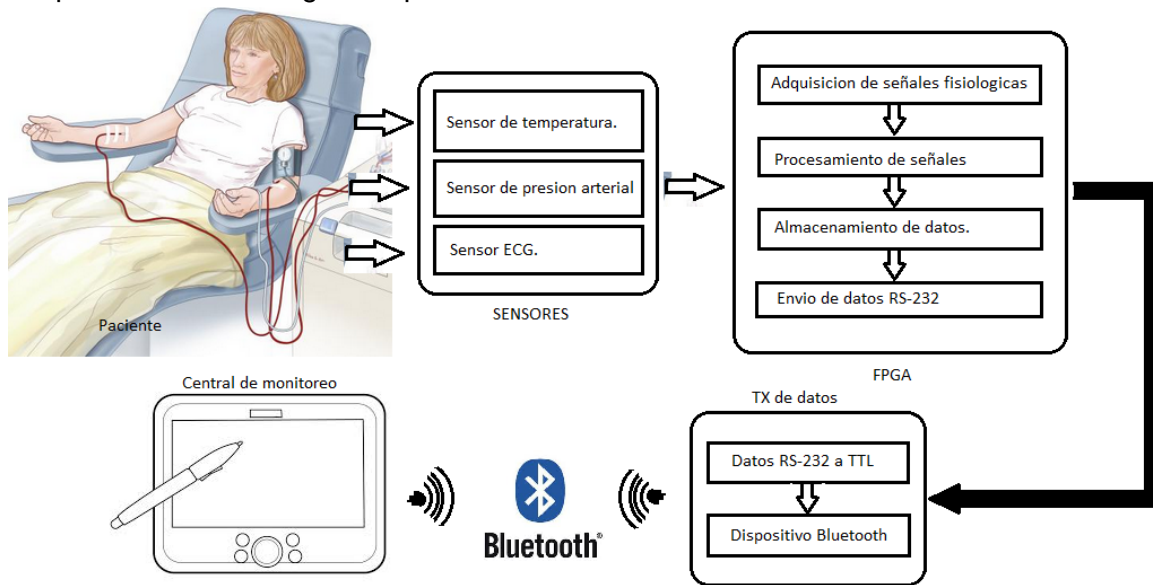


Fig. 2: Diagrama de bloques del sistema de telemetría.

A. Adquisición de datos.

Para la adquisición de las señales fisiológicas y el procesamiento de las mismas utilizamos la tarjeta SBRIO-9636, el cual es un dispositivo embebido de control y adquisición que integra un procesador en tiempo real, una FPGA reconfigurable por el usuario y E/S en una sola tarjeta de circuito impreso (PCB). Tiene un procesador industrial de 400 MHz, un FPGA Xilinx Spartan-6 LX45, 16 canales de una sola terminal / 8 canales diferenciales de entrada

analógica de 16 bits y cuatro canales de salida analógica de 16 bits y 28 líneas de E/S digital (DIO) [1].

Para obtener las señales fisiológicas se utilizan tres sensores (temperatura, presión arterial, y un sensor ECG), los cuales tienen salidas de voltaje dependiendo del cambio que sufren estos.

Las entradas de los dispositivos es digitalizada y los datos son almacenados en buffers internos de la aplicación en la tarjeta SBRIO-9636.

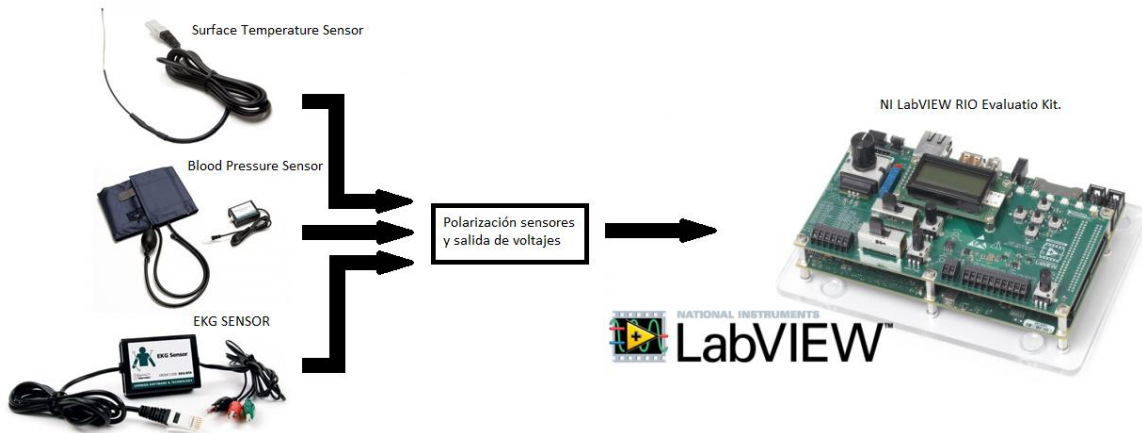


Fig. 3: Diagrama de bloques de la adquisición de datos.

B. Procesamiento de señales.

La alternativa de adquisición que se utiliza consiste en realizar conversiones de voltaje dependiendo de las respectivas salidas de los sensores y a los parámetros que necesitamos obtener, lo cuales aparte de ser enviados por RS-232 también se los almacena en dispositivos de almacenamiento masivo (USB, Tarjetas SD), en periodos de adquisición mientras dure el análisis al paciente.

SBRIO-9636 tiene protocolos de comunicación RS-232 y RS-485 para controlar dispositivos periféricos, los cual se utilizaran para la transmisión de datos adquiridos hacia el dispositivo bluetooth.

En la tarjeta SBRIO-9636 se utiliza el puerto RS-232 (COM 1), utilizando del mismo 3 pines:

- Pin: 2 Recepción (RXD).
- Pin: 3 Transmisión (TXD).
- Pin: 5 Tierra (GND).

C. Comunicación inalámbrica.

Para la comunicación inalámbrica se escogió el dispositivo bluetooth, el cual tiene interfaz RS-232 desde 1200 bps hasta 230 kbps y es clase 1, lo que nos permite comunicaciones hasta distancias de 100m [3].

D. Registro continuo.

Las tarjetas de adquisición SBRIO-9636 trabajan en Real Time (tiempo real), el tiempo real a menudo tiene la connotación de ser rápido, pero esto depende del dominio de las aplicaciones.

Un error común en el estudio de sistemas de tiempo real es buscar sólo en el tiempo máximo de cambio de contexto; es decir, el tiempo que toma para que la hora del sistema operativo para cambiar de una tarea a otra. Sin embargo, el tiempo que toma para la aplicación real para actuar sobre una interrupción es tan importante.

Tiempo real estricto, tal como la proporcionada por el módulo de tiempo real de LabVIEW, proporciona un entorno

donde existe un "duro" límite superior para el tiempo de respuesta.

Para la velocidad más alta, se recomiendan las implementaciones de hardware en tiempo real (por debajo de 1 ms de tiempo de respuesta). También tienen la capacidad de una gran fiabilidad.

E. Centro de monitoreo.

Para la visualización de las señales fisiológicas como central de monitoreo abarcamos equipos como teléfonos celulares con sistemas Android y Tablet Pc los cuales presentan beneficios como la portabilidad y autonomía, pero también posee recursos limitados como [2]:

- Menor velocidad de procesador, menor capacidad de memoria y de disco.
- Expuestos a daños o extravíos, problemas de portabilidad lo que la réplica de información contenida adquiere mayor relevancia.
- Poseen fuente de alimentación finita, generando potenciales cortes en la conexión a la red y en aplicación de funcionamiento continuo.

Las desventajas vistas anteriormente deben ser consideradas al momento de

realizar nuestra aplicación de adquisición de señales biomédicas.

F. Interfaz de usuario.

Se realizó un programa jerarquizado en el software Eclipse-Android que es una plataforma de desarrollo de código abierto basada en Java la cual es un marco de trabajo y un conjunto de servicios para la construcción del entorno de desarrollo de los componentes de entrada, con opciones de fácil entendimiento.

En el primer nivel el programa indica un menú de selección el que consiste de 3 ventanas:

- NIVEL UNO: Visualizador de datos y señales fisiológicas.
- NIVEL DOS: Información técnica de uso.
- NIVEL TRES: Información de autores del dispositivo.

La visualización de temperatura, presión arterial, frecuencia cardiaca y el ECG corresponden al nivel uno. Las señales y datos mostrados en la interfaz tienen las unidades convencionales que se manejan en dispositivos que monitorean signos vitales.



Fig. 4: Diagrama de niveles del centro de monitoreo.

III. ANALISIS Y RESULTADOS.

Temperatura Corporal

Tabla 1: Comparación de las mediciones entre el prototipo y equipo de referencia para temperatura.

PATRÓN (°C)	IBP (°C)	ERROR (%)
25,3	25,401	0,39
29,9	30,234	1,12
35,4	35,109	0,82
40	39,894	0,27
45,1	45,018	0,19
50,2	50,313	0,23
55,1	55,26	0,29
60,1	60,252	0,25
65	65,52	0,8
Error promedio		± 0,48

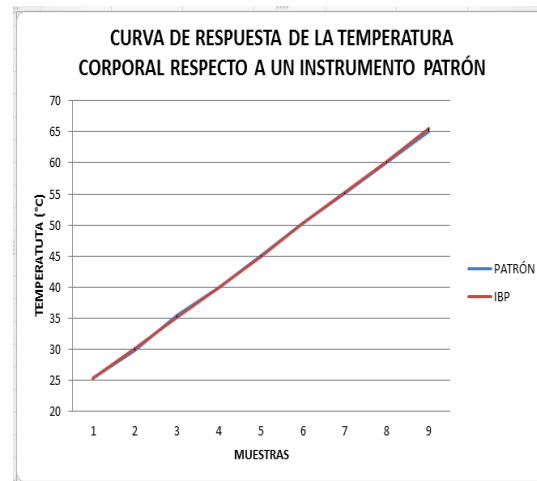


Figura 1: Curva de respuesta de la Temperatura del prototipo, respecto a un instrumento patrón.

Tabla 2: Comparación de las mediciones realizadas en personal a prueba de la Temperatura corporal.

PERSONAL A PRUEBA	PATRÓN (°C)	IBP (°C)	ERROR (%)
1	35,5	36,523	2,88
2	36,3	36,322	0,06
3	36,7	36,677	0,06

4	35,7	35,73	0,08
5	36,5	35,558	2,58
Error Promedio		$\pm 1,132$	

Presión Arterial

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3:
Comparación de las mediciones realizadas para la Presión.

Personal a Prueba	Patrón		IBP	
	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)
Andrés Tobar	114	77	112,56	78,647
Jorge Gavilema	112	75	110,48	72,475
Alex Paredes	102	65	109,6	65,992
Javier Mamarandi	101	65	106,31	78,05
Edwin Mullo	109	75	109,38	72,934
Edison Velasco	123	60	122,11	64,036

Electrocardiograma

Para esta prueba se realizó la colocación de los electrodos del sensor en base a las tres derivaciones principales ya indicadas en capítulos anteriores. Luego por medio de los dos equipos se registraron los datos de las evaluaciones en dos personas voluntarias. Estos resultados se muestran en las figuras (Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8, Figura 4.9), donde se muestra la amplitud del segmento que corresponde a la frecuencia cardíaca de una persona sometida a prueba.

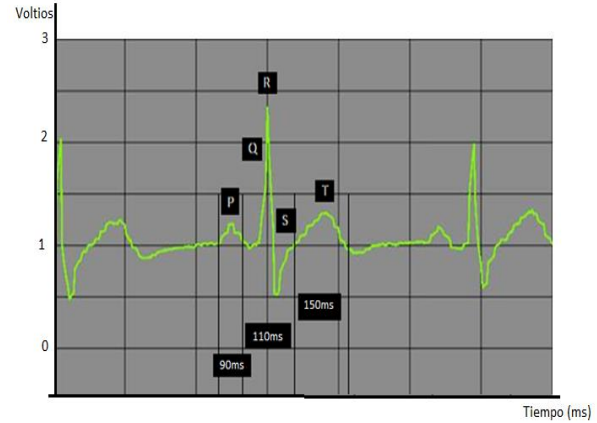


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2: Respuesta del ECG del prototipo paciente 1.

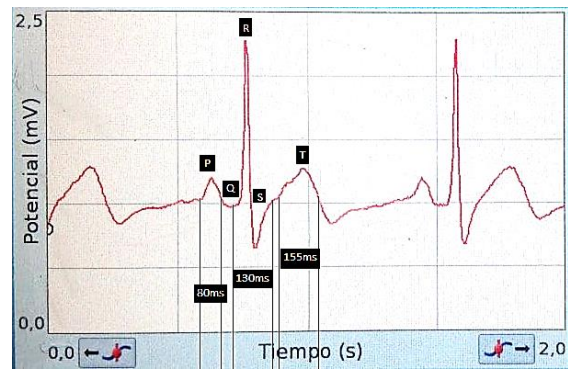


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3: Respuesta del ECG del instrumento patrón paciente 1.

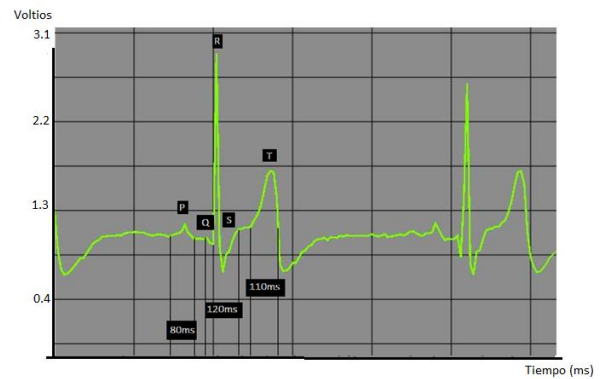


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**4**: Respuesta del ECG del prototipo paciente 2.

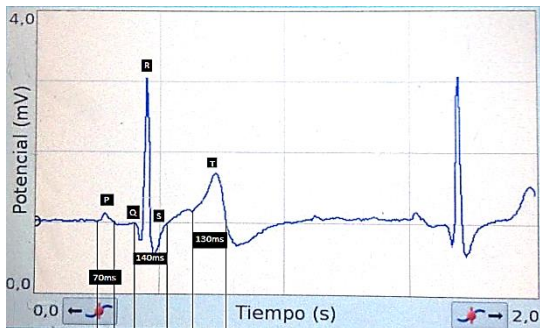


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**5**: Respuesta del ECG del instrumento patrón paciente 2.

Frecuencia Cardíaca

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**4**: Respuesta de la frecuencia cardiaca del prototipo a varios pacientes.

Pacientes	IBP
Andrés Tobar	64
Jorge Gavilema	74
Alex Paredes	72
Javier Mamarandi	71
David Mullo	65
Edison Velasco	89

IV. CONCLUSIONES.

En este trabajo se presentó el desarrollo de un sistema de telemetría de adquisición de señales biomédicas utilizando como centro de monitoreo a Tablet estándar. De acuerdo a los resultados experimentales se puede afirmar que es posible implementar rutinas de adquisición, procesamiento, y transmisión de señales con tasas de muestreo suficiente para algunas variables biomédicas como la temperatura corporal, presión arterial, frecuencia cardíaca y realizar un electrocardiograma. Solo se detectaron problemas de estabilidad de la aplicación debido a llenado de la memoria en periodos de ejecución prolongados.

Es dispositivo de telemetría tiene uso intuitivo y flexible, su portabilidad y su conexión permanente, además son

dispositivos de bajo costo, por lo que es posible masificar el uso de este tipo de aplicaciones.

Se desarrolló una aplicación móvil sencilla, que satisface las necesidades del sistema de telemetría, que permite una fácil conexión entre el dispositivo de adquisición de datos y el dispositivo móvil con sistema Android, a través del protocolo de comunicación inalámbrica bluetooth.

Los valores medidos difieren en un porcentaje de 0.02% de los valores reales, debido principalmente a las tolerancias de los elementos pasivos utilizados.

El desarrollo de la aplicación Android se la realizo en la plataforma de programación JAVA, con la ayuda del software de programación Eclipse, por la

gran factibilidad, resolución, y fácil aplicabilidad del entorno.

La comunicación entre el módulo de adquisición de datos y el dispositivo móvil con el sistema Android fue satisfactoria en un rango de 10m, luego del cual presentaba interrupciones en la comunicación.

V. TRABAJOS FUTUROS.

En este sistema telemétrico se priorizo en el impacto de modelos asistenciales, aspectos como los procesos de diagnóstico mínimamente invasivos y el

aseguramiento de la comunidad asistencial que favorecen al proceso de ambulatorización.

Incorporar tecnologías inalámbricas más robustas de área local para facilitar enlaces con otros dispositivos, para el paso la transmisión de datos a través de una red y la implementación de algoritmos de encriptación para la seguridad en la transmisión para lo cual podría utilizarse protocolos seguros (HTTPS) para la recepción de datos y visualización de la información en un servidor Web.

Referencias.

- [1] NATIONAL INSTRUMENT. Soporte y servicios: <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/8D9C5B9240145A2986257A4800518B2A>
- [2] M. Satyanarayanan, "Mobile Information Acces", *IEEE Personal communications*, vol. 3, No.1, Feb.1996.
- [3] MULLER, N. (2002). Tecnología Bluetooth. Madrid: McGraw-Hill.
- [4] MANUEL BÁEZ, Á. B. (s.f.). INTRODUCCIÓN A ANDROID. Obtenido de G-TeC: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/tecnomovil/documentos/android.pdf>
- [5] MINERVA, M. (31 de ENERO de 2013). SISTEMAS OPERATIVOS ANDROID. Obtenido de <http://androidsistemasoperativos.blogspot.com/>