

Sistema vestibular para la detección simultánea y no invasiva de dos señales cardíacas

Aarón Gutiérrez Chávez, Omar Alberto Méndez Lira, Dr. Rafael González Landaeta, Dr. Ernesto Sifuentes de la Hoya
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Licenciatura en Ingeniería Biomédica.



Resumen- En este proyecto se desarrolló un sistema de medida vestibular enfocado en la detección simultánea y no invasiva del electrocardiograma (ECG) y el flujo sanguíneo. El ECG se detectó a partir de dos electrodos secos para obtener la derivación I. Por otra parte, la detección del flujo sanguíneo se realizó mediante la técnica de la firma magnética de la sangre utilizando un sensor magnetorresistivo tipo túnel (TMR). La instrumentación desarrollada se diseñó a partir de una configuración tipo diferencial de bajo ruido y bajo consumo. El sistema en su totalidad tiene un consumo promedio de 10.5 mA. En el mejor caso, la relación señal a ruido (SNR) obtenida para el ECG y flujo sanguíneo fue de 54.9 dB y 74.8 dB respectivamente. En ninguna de las señales obtenidas hay presencia importante de interferencia de la línea eléctrica, esto gracias a que los sistemas desarrollados alcanzaron un CMRR superior a 87 dB a 60 Hz. Los electrodos, el sensor TMR y el imán se montaron en un brazalete tipo pulsera.

Introducción

Este proyecto pertenece a la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Instrumentación Electrónica y Biomédica del Cuerpo Académico de Estudios en Sistemas Digitales pertenecientes a la UACJ.

Actualmente, uno de los métodos más empleados en los sistemas vestibles para la detección de parámetros fisiológicos relacionados con la salud cardiovascular, es la fotopletoangiografía (FPG). En este método, se debe elegir bien el fotodetector, de tal forma que sea sensible a la longitud de onda del emisor; no obstante, aun así, la señal de FPG es susceptible a interferencias provenientes de la luz ambiental [1]. Además, factores como las propiedades y condiciones de la piel del sujeto [2], influyen en la calidad de la señal. Otro de los inconvenientes del uso de la FPG es que requiere de una fuente de luz artificial, comúnmente un diodo emisor de luz (LED). Dicho componente tiene un considerable consumo eléctrico, lo cual dificulta su implementación en sistemas portables.

El electrocardiograma (ECG) es la herramienta estándar para el diagnóstico de la salud cardíaca, por esta razón es de gran interés su implementación en sistemas vestibles. Así mismo, se busca que la medición del ECG se pueda realizar bajo condiciones ambulatorias utilizando la menor cantidad de electrodos posibles (normalmente se utilizan tres electrodos) y sin una preparación de la piel del sujeto, ya que comúnmente se le adhiere a la piel un gel electrolítico para mejorar las características conductivas de la piel. Sin embargo, el uso prolongado del gel conlleva a la pérdida de sus propiedades conductivas y a reacciones alérgicas en el sujeto.

Para detectar el ECG, se desarrolló un sistema de detección de bajo consumo mediante dos electrodos secos que no se vea afectado, de manera prominente, por interferencias electromagnéticas. Para detectar el flujo sanguíneo, se desarrolló un sistema basado en la técnica de la firma magnética de la sangre, la cual utiliza un sensor magnetorresistivo colocado sobre la arteria radial [3].

Objetivos

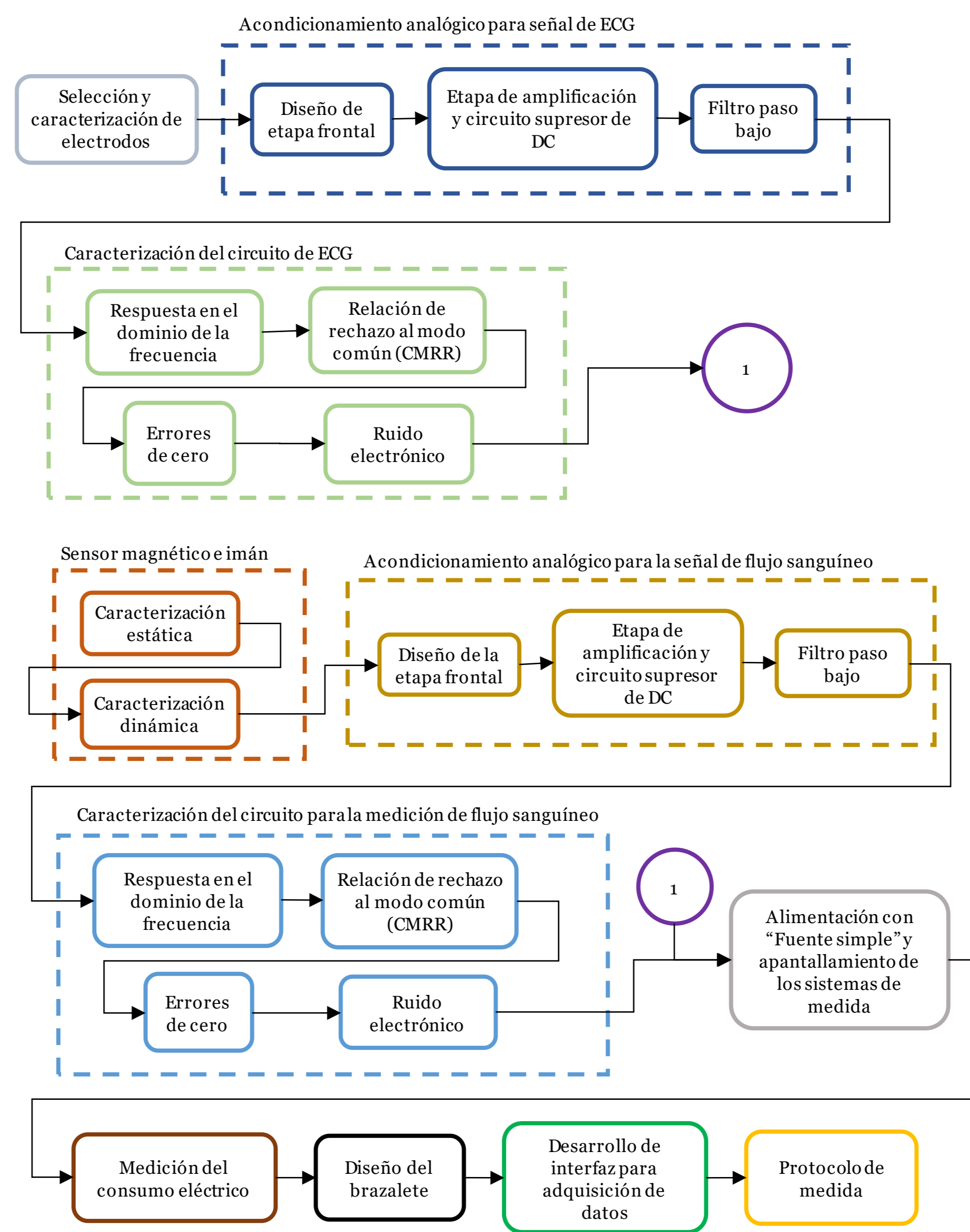
Objetivo general

Desarrollar un sistema vestibular para la detección simultánea y no invasiva del ECG y flujo sanguíneo.

Objetivos específicos

- Desarrollar la instrumentación para la detección del ECG mediante dos electrodos secos.
- Desarrollar la instrumentación para la detección del flujo sanguíneo midiendo la distorsión magnética de la sangre arterial.
- Instalar los electrodos, el sensor magnetorresistivo y un imán permanente en un brazalete tipo pulsera.
- Caracterizar los sistemas de medida desarrollados.
- Medir el consumo eléctrico de los sistemas desarrollados.
- Estimar la frecuencia cardíaca a partir de cada una de las señales detectadas.
- Validar el sistema propuesto con un método de medida de referencia.

Metodología



Resultados

En la Figura 1 se presenta el sistema desarrollado. Consiste en un brazalete el cual tiene incorporados dos electrodos secos; uno en contacto directo con la piel de la mano que lo lleva puesto y el otro electrodo está colocado de tal forma que la otra mano pueda hacer contacto, de esa forma se realiza la detección de la derivación I del ECG. El sistema también incluye un sensor magnetorresistivo tipo TMR y un imán. El sensor detecta continuamente el campo magnético que genera el imán permanente. El sensor y el imán deben estar posicionados encima de la arteria radial, de tal forma que en cada sístole se detecte la perturbación que causa el flujo sanguíneo sobre el campo magnético detectado por el sensor.



Figura 1. Sistema tipo brazalete que incorpora a dos electrodos secos, un sensor magnetorresistivo y un imán permanente.

La Figura 2 muestra el mejor y el peor caso de la derivación I del ECG detectado con los dos electrodos secos implementados en el brazalete. Las señales que se muestran en la Figura 2 pertenecen a distintos sujetos de prueba. En el mejor caso, se pueden apreciar las principales ondas del ECG; no obstante, en el peor caso, la onda P no se aprecia debido al ruido presente en la línea isoelectrónica, lo cual puede deberse a las condiciones de la piel de uno de los voluntarios. Las señales detectadas en 10 voluntarios presentaron una SNR superior a 41 dB sin necesidad de preparar la piel previo a la medida. Por tanto, el sistema es sencillo de utilizar y cómodo para el sujeto.

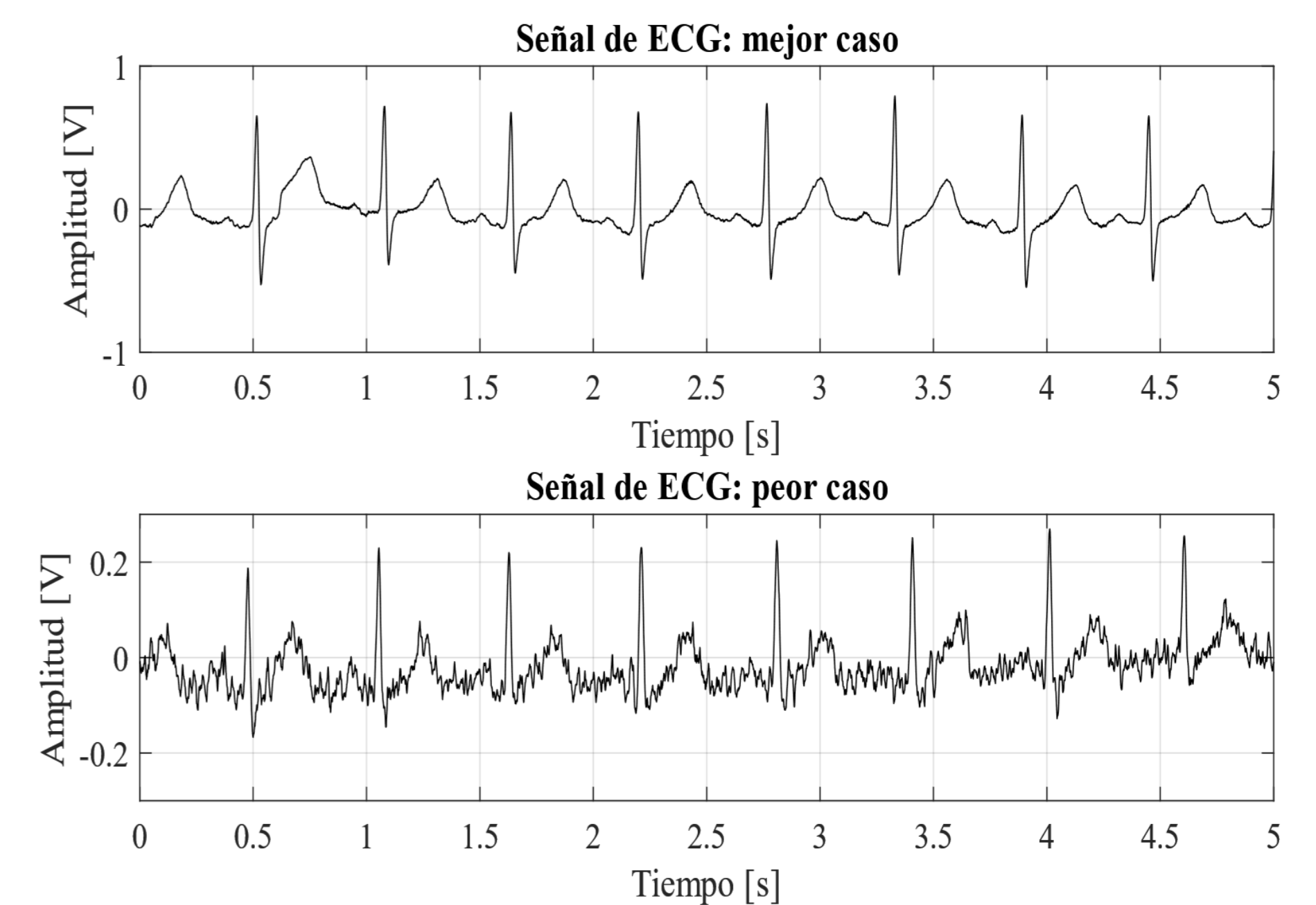


Figura 2. Derivación I del ECG detectada con dos electrodos secos colocados en un brazalete. Mejor caso (registro superior) y peor caso (registro inferior) registrados en 10 voluntarios. Ambas señales pertenecen a sujetos distintos.

La Figura 3 muestra el mejor y el peor caso de la señal de flujo sanguíneo obtenida mediante un sensor magnetorresistivo tipo TMR. La calidad de la señal depende de la posición relativa entre el sensor y la arteria radial. En el mejor caso se puede apreciar claramente todas las componentes de la señal de flujo: la onda sistólica, onda de reflexión dicrótica y onda diastólica. En ambos casos la calidad de la señal es lo suficientemente buena como para estimar la frecuencia cardíaca latido a latido mediante un algoritmo sencillo.

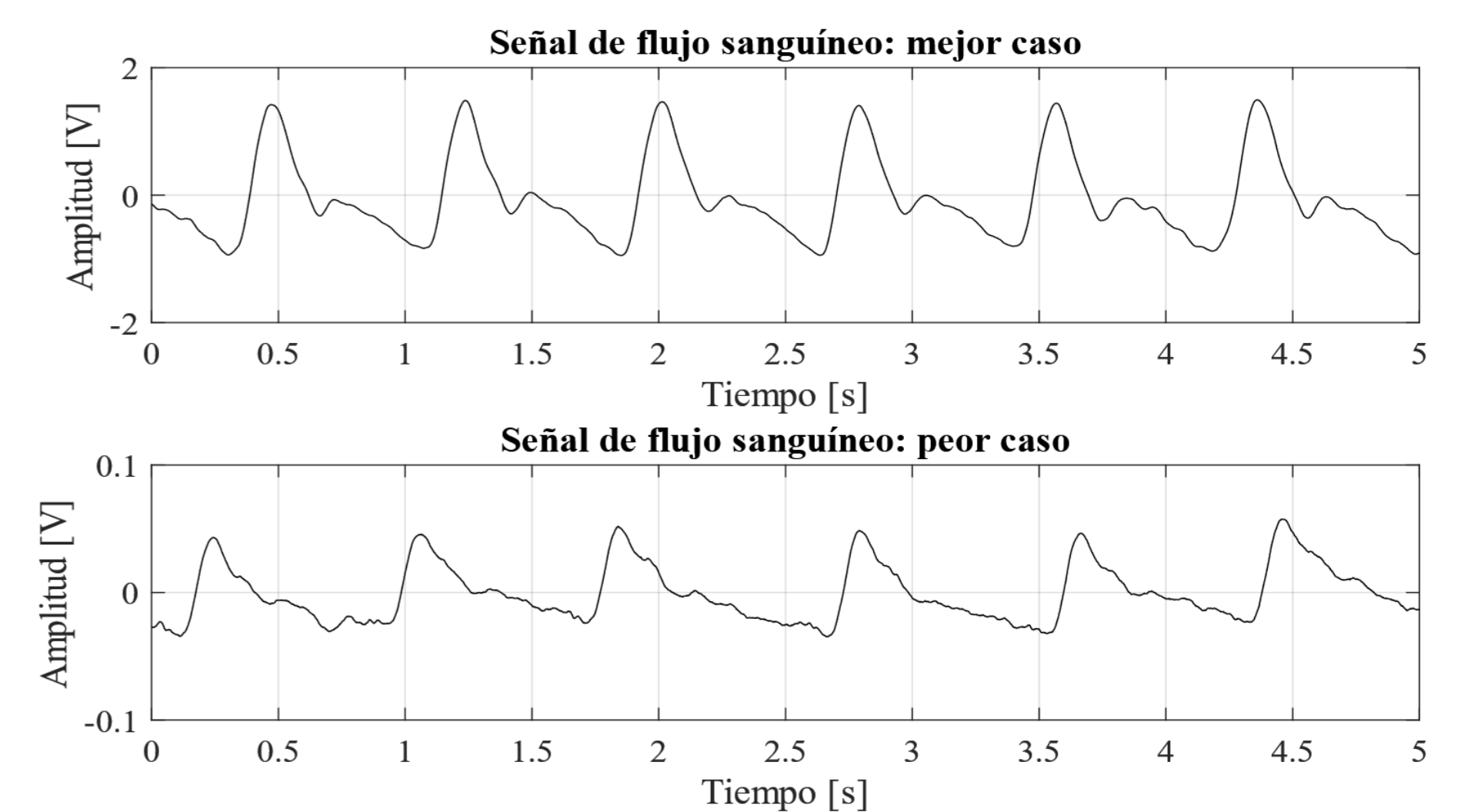


Figura 3. Señal de flujo sanguíneo detectada con un sensor magnetorresistivo TMR colocado sobre la arteria radial. Mejor caso (registro superior) y peor caso (registro inferior) registrados en 10 voluntarios. Ambas señales pertenecen a sujetos distintos.

Conclusiones

- Se desarrolló un brazalete capaz de detectar de forma no invasiva el ECG y el flujo sanguíneo simultáneamente.
- El sistema es simple de usar y no requiere preparar la piel antes de realizar la medida.
- El ECG se obtuvo mediante dos electrodos secos con una SNR superior a 41 dB. No obstante, la calidad de la señal depende de las condiciones de la piel del usuario.
- Se detectó el flujo sanguíneo mediante un sensor magnetorresistivo con una SNR superior a 46 dB.
- La calidad de la señal de flujo sanguíneo depende de la posición del sensor respecto a la arteria radial.
- El sistema se alimentó a pilas y presentó un consumo promedio de 10.44 mA.
- De ambas señales se pudo estimar la frecuencia cardíaca latido a latido.
- Se obtuvo una diferencia de tiempo inferior a los 304 μ s al comparar los intervalos RR de cada señal cardíaca con un método de referencia.
- El sistema desarrollado representa una valiosa herramienta para valorar la condición cardiovascular de un sujeto.

Referencias

- V. Mouradian, A. Poghosyan, and L. Hovhannisyán, "Continuous wearable health monitoring using novel PPG optical sensor and device," *Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun.*, pp. 120-123, 2014.
- S. P. Preejith, A. Alex, J. Joseph, and M. Sivaprakasam, "Design, development and clinical validation of a wrist-based optical heart rate monitor," in *2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 2016, pp. 1-6.
- C. T. Phua, G. Lissorgues, and B. Mercier, "Non-invasive Acquisition of Blood Pulse Using Magnetic Disturbance Technique," *IFMBE Proc.*, vol. 23, pp. 786-789, 2009.[3]