

Introducción

La señal Electrocardiográfica (ECG) es un registro de la actividad eléctrica cardíaca, un periodo de esta señal tiene tres componentes principales que son la onda P, el complejo QRS y la onda T; las cuales son cruciales para diagnosticar alguna enfermedad, trastorno, complicación cardíaca o monitorear el ritmo cardíaco a partir de la frecuencia de esta señal [1].

En aras de obtener un generador de señales ECG adecuado, es necesario realizar una buena aproximación de estas y en esta práctica se utilizará la función gaussiana, que es la función de densidad de una variable aleatoria con distribución normal. A partir de una combinación lineal de funciones gaussianas es posible representar la señal ECG al poder controlar la posición (θ_i), altura (a_i) y grosor (b_i) de cada una de las ondas que conforman la señal, tal como se describe en la función:

$$z(\theta) = \sum_{i \in \{P, Q, R, S, T\}} a_i \exp\left(-\frac{(\theta - \theta_i)^2}{2b_i^2}\right), \quad -\pi < \theta \leq \pi \quad (1)$$

Estos parámetros clave se pueden consignar en una matriz para simplificar el proceso matemático y por último, realizar la comparación con una señal real para evidenciar la efectividad de la aproximación.

$$A = \begin{pmatrix} a_i & b_i & \theta_i \\ 1.04 & 0.15 & -1.8409 \\ -3.1 & 0.048 & -1.0178 \\ 9.04 & 0.1106 & -0.8419 \\ -3.2 & 0.05 & -0.666 \\ 0.6 & 0.3 & 0.2953 \\ 1.56 & 0.2 & 0.71 \\ -0.3 & 0.2 & 1.0555 \end{pmatrix} \begin{matrix} P \\ Q \\ R \\ S \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{matrix}$$

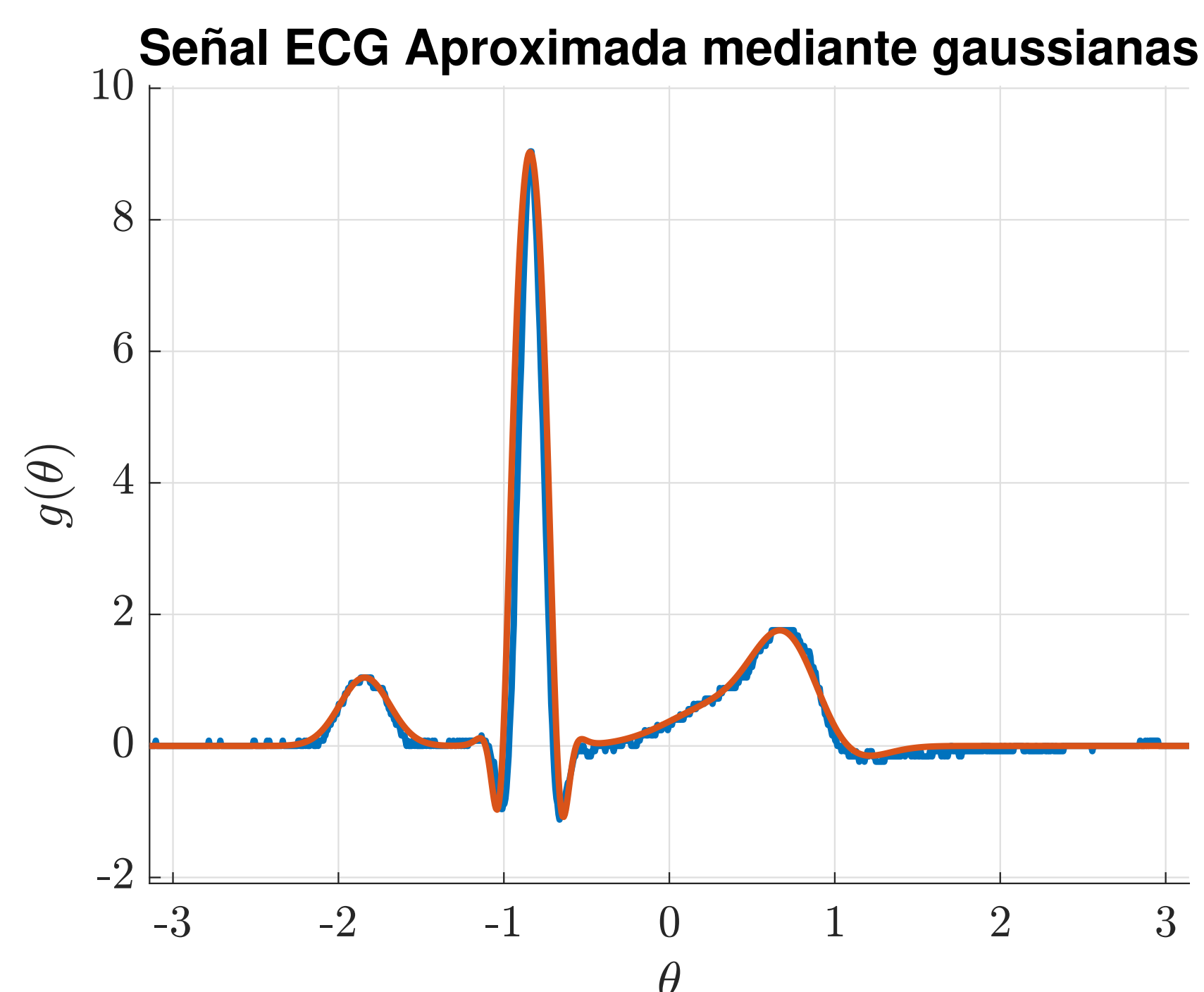


Fig. 1: Señal ECG muestreada vs Señal ECG aproximada

Implementación

La anterior aproximación presentada con señales gaussianas es aprovechada por el modelo dinámico de Mc Sharry, el cual genera una trayectoria en un espacio de estado tridimensional, en el que un periodo de la señal es representado por el ciclo de una trayectoria circular [2].

Los complejos P, Q, R, S y T se describen por eventos que responden a atractores / repelentes negativos y positivos en la dirección. Estos eventos se colocan en ángulos fijos a lo largo del círculo unitario dado por θ_P , θ_Q , θ_R , θ_S , y θ_T y son los encargados de permitir la variación en amplitud de cada complejo, que su vez corresponden con los θ_i de la matriz A. Todo lo anterior es implementado mediante las ecuaciones diferenciales de primer orden que se muestran a continuación.

$$\theta[n] = \theta[n-1] + \frac{\omega}{f_s}$$

$$z[n] = z[n-1] - \frac{1}{f_s} \sum_{i \in \{P, Q, R, S, T\}} \frac{a_i(\theta[n-1] - \theta_i)\omega}{b_i^2} e^{\left(-\frac{(\theta[n-1] - \theta_i)^2}{2b_i^2}\right)}$$

La implementación se realizó utilizando Arduino, conectado a un PC mediante puerto serial para transmitir los datos y graficar la señal generada mediante serialplot. La amplitud de los picos P, Q, R, S y T, así como la frecuencia fue modificada utilizando los puertos con ADC, de esta manera, el valor leído de estos corresponde a un factor que multiplicó a los coeficientes respectivos.

Escala de amplitudes	Rango de frecuencias
1-10	40 Hz - 150 Hz
1-10	40 Hz - 150 Hz

Table 1: Rangos de variación de la señal

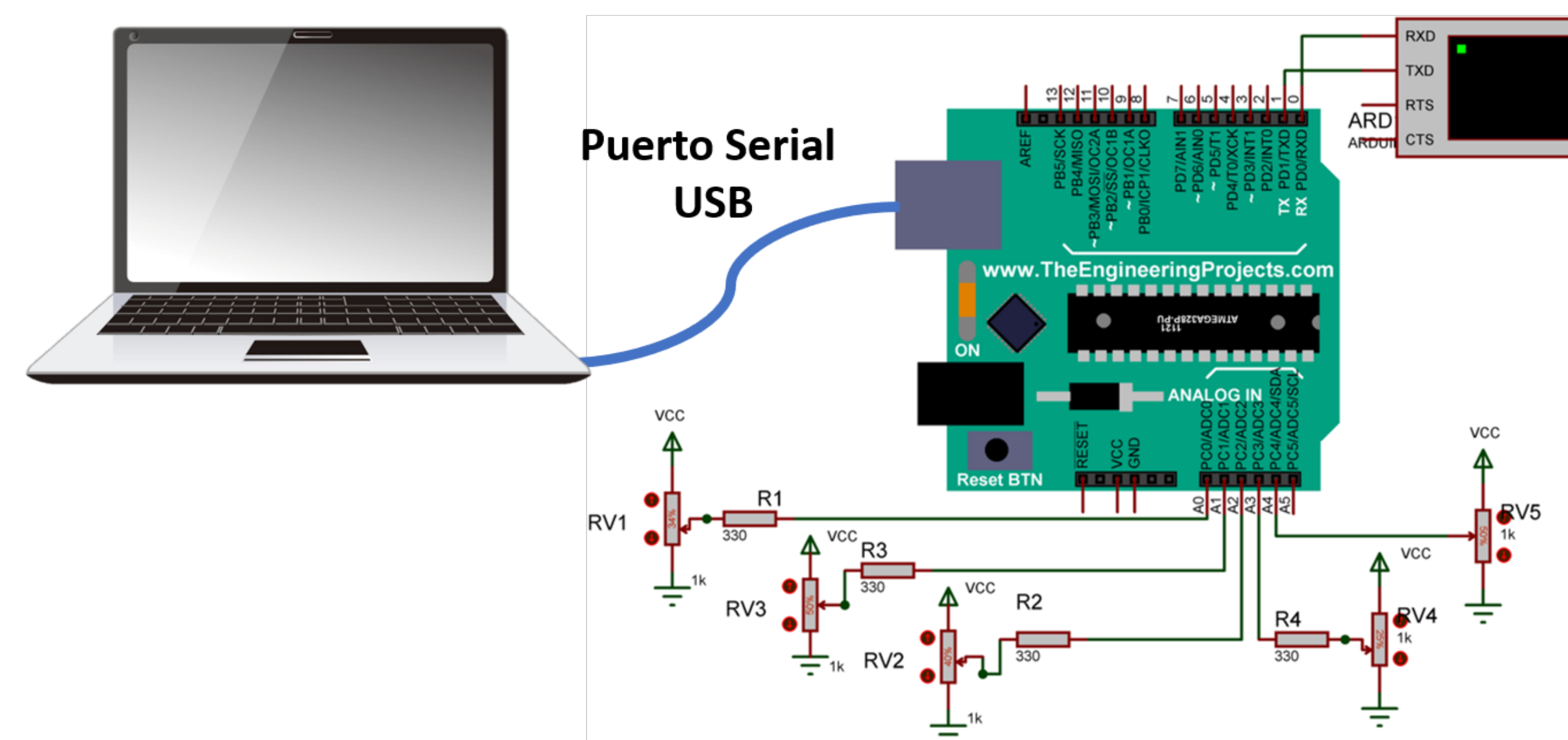


Fig. 2: Esquema del circuito implementado

Resultados

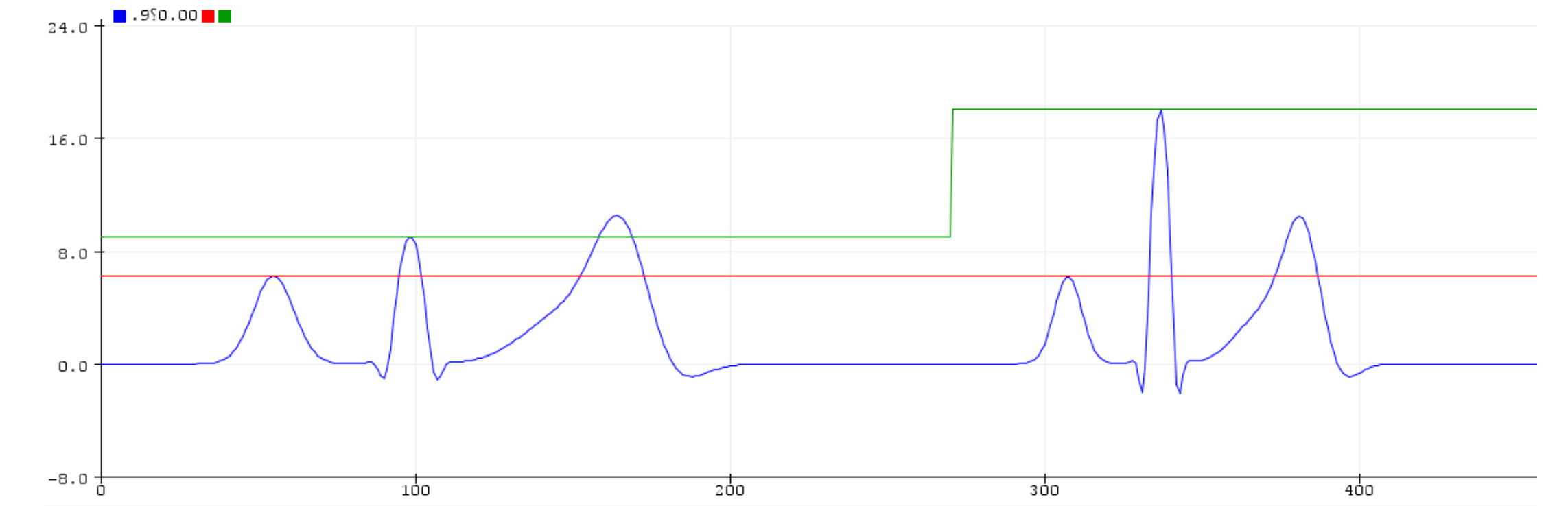


Fig. 3: Señal ECG

Análisis de los resultados

En la figura 3 se aprecia la variación de amplitud del complejo QRS, dada por las líneas roja y verde que reflejan el valor establecido por los potenciómetros de las entradas ADC. Así mismo, la variación en frecuencia se evidencia en el ancho de los complejos.

El rango de variación en amplitud de los complejos está en una escala de 10 veces el valor original en magnitud de la señal. Por parte de la escala de variación de frecuencia fue de entre 0,6 y 2.5 veces el valor original de la señal, como se observa en la tabla 1.

Conclusiones

Es de destacar que el algoritmo de McSharry es una herramienta muy poderosa para generar señales periódicas, lo cual es de mucha utilidad en el campo de la bioingeniería para la generación de señales biopotenciales. El modelo se utilizó para generar señales totalmente limpias, pero podría también incluirse un modelo de ruido, lo cual permitiría aproximarla más a una señal real. Adicionalmente, permitió la implementación de un generador de una señal ECG en un sistema embebido de memoria limitada, ya que no fue necesario el almacenamiento de toda la información de la señal, solo bastó con la implementación del algoritmo y el almacenamiento de la matriz A.

Referencias

- [1] G. Garza. "El electrocardiograma y su tecnología". In: *Revista de Divulgación Médica Científica AVANCES*, 8(24), 27-31 (2011).
- [2] P. E. McSharry et al. "A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals". In: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 50.3 (2003), pp. 289–294.