

ANÁLISIS DE SEÑALES CARDIOVASCULARES UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

Ricardo Siza¹, Dennis Cazar^{1,2}, Marcelo Cortez^{1,2}

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias,
²Grupo Ecuatoriano para el Estudio Experimental y Teórico de Nanosistemas GETNano
 Autor para correspondencia: bioricardo@gmail.com
 Fecha de recepción: 1 de abril de 2013 - Fecha de aprobación: 25 de julio de 2013

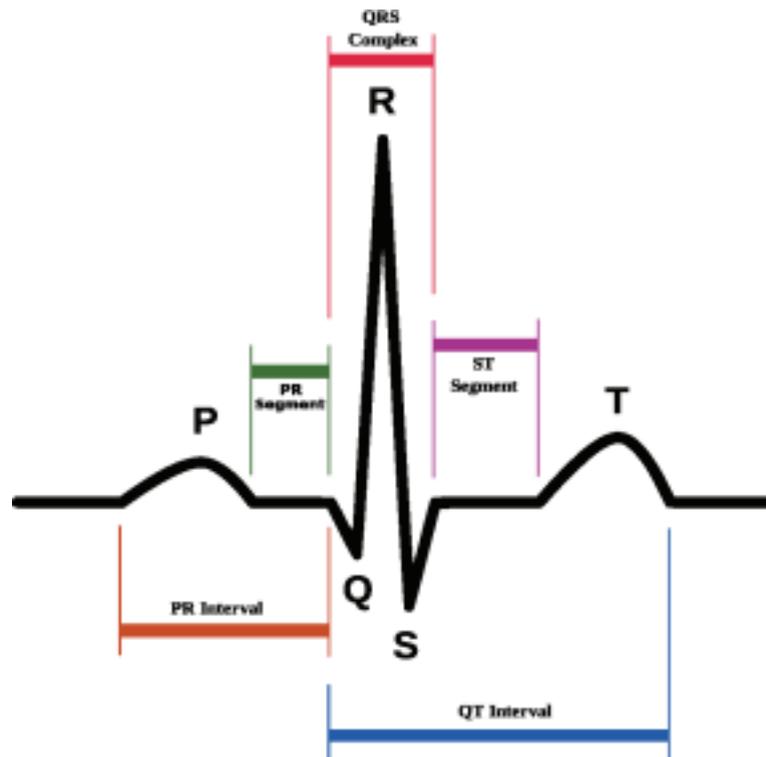


Imagen ilustrativa: SinusRhythmLabels (Anthony Atkieski) Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

Resumen

El presente trabajo analiza los algoritmos asociados para la visualización de una señal de electrocardiograma (ECG), la detección de ondas y complejos que lo conforman, empleando el Análisis de Fourier se generan las ondas sinusoidales P, T, U, como el complejo QRS que componen una señal ECG típica. Utilizando Scilab [6] se ha construido la señal ideal y se han individuado los parámetros que la caracterizan para poder así realizar una comparación con señales ECG de pacientes y reconocer posibles patologías cardíacas.

Palabras llaves: Algoritmos, Electrocardiograma, Análisis de Fourier, Análisis de señales

Abstract

The aim of this work is to study algorithms used for visualization and analysis of ECG signals, in particular we have found and characterize the waves and complex which form the ECG signal. Using Fourier Analysis sinusoidal waves P, T, U as well as QRS complex has been generated in order to create a typical ECG signal. With the aid of Scilab [6] an ideal signal has been assembled and all the principal parameters has been modeled to compare our ideal ECG signal with real ones took from patients to help in the detection of cardiac diseases.

Keywords: Algorithms, Electrocardiogram, Fourier analysis, Analysis of signals

1. INTRODUCCIÓN

El Electrocardiograma (ECG) fue descrito por primera vez por Einthoven en 1903. La observación fundamental fue que la actividad eléctrica del corazón podía ser registrada mediante electrodos colocados en la superficie del cuerpo, y que dicha actividad poseía un ritmo que coincidía con el pulso cardíaco. Los componentes individuales de la señal eléctrica que se registra coinciden con eventos que se producen en las diferentes regiones del corazón. De esta forma, los intervalos entre los componentes específicos de la señal de ECG representan el retardo de tiempo entre la activación de las diferentes regiones del corazón. Por ejemplo, el llamado intervalo PR representa el intervalo de tiempo que hay entre la activación de la aurícula y la de los ventrículos, por lo que refleja el retardo de conducción que se produce en el nódulo AV. Las anomalías del ECG representan por lo tanto anomalías en iniciación y propagación de la actividad eléctrica del corazón. Esto ha permitido que el ECG se transforme en una herramienta diagnóstica primaria de enfermedades cardíacas, tales como la hipertrofia o el infarto de miocardio, o de enfermedades de otro tipo que indirectamente afectan al corazón. Ya que la propagación eléctrica en el corazón es unidireccional, puede representarse mediante un vector. La configuración del ECG depende de la localización de los electrodos de registro, los que pueden ubicarse sobre la piel del paciente, en los miembros y/o en el tórax, (ECG de superficie), a través de la cavidad nasofaríngea (ECG intracavitario) o directamente sobre el corazón cuando se está realizando una intervención mediante toracotomía. Cada ubicación específica permite una visualización diferente de las componentes del vector cardíaco. Como se mencionó anteriormente la despolarización espontánea de las células marcapaso inicia el ciclo cardíaco. La propagación célula a célula está sincronizada y produce una activación ordenada de todas las regiones del corazón. La activación comprende fases de despolarización y repolarización, cada una de las cuales produce una señal detectable en el ECG. La señal de ECG está compuesta por diferentes fases, las cuales se identifican mediante las letras P, Q, R, S y T como puede observarse. También puede observarse el correlato temporal de la señal de ECG con los potenciales de acción de las diferentes estructuras cardíacas (ver figura 1).

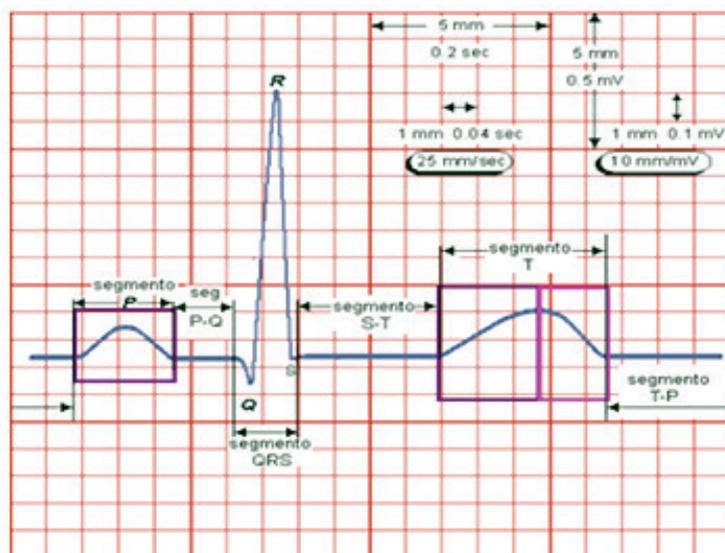


Figura 1. Representación gráfica en función del tiempo y amplitud de ECG donde pueden apreciarse las ondas P, el complejo QRS y la onda T en casos especiales la onda U.

Para analizar la señal ECG y poder individualizar anomalías en la misma se utiliza el Holter, este aparato monitorea constantemente (al menos por 24 horas) la actividad cardíaca y tiene integrado un software que analiza la señal para luego presentar al cardiólogo los eventos anómalos facilitando así el diagnóstico del paciente.

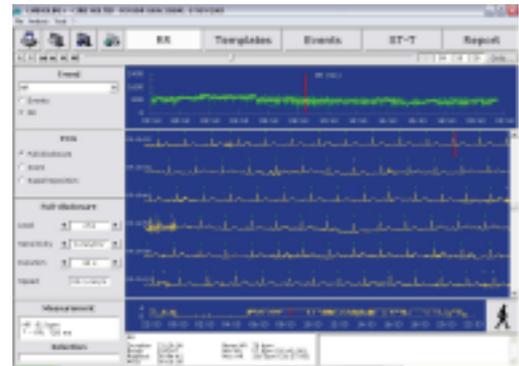


Figura 2. Ejemplo del software de análisis de señales ECG usado en los aparatos Holter comerciales.

En el presente trabajo se ha simulado una señal de ECG ideal con la ayuda de Scilab y se han estudiado los parámetros que se deben seleccionar para poder reconocer anomalías y defectos tanto en el ritmo cardíaco como en la duración y la conformación de las componentes del ECG.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La señal ECG fue modelada usando el software Scilab, se optó por este software debido a su versatilidad, facilidad de uso y porque se trata de una herramienta de Software Libre que a diferencia del software comercial (e.g. Matlab) pone a disposición todas las librerías y componentes necesarios para su uso sin costo alguno.

Para modelar la señal de ECG se usa el Teorema de Fourier que permite representar ondas complejas como una serie infinita de senos y cosenos, la elección oportuna de los coeficientes permite modelar la señal así obtenida para adaptarla a una señal ECG ideal.

2.1 Simulación de la señal ECG

Adaptando las fórmulas de la serie de Fourier para generar las señales ECG se obtiene:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{l} x\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi}{l} x\right) \quad (1)$$

Sea $f(x)$ función base para generar ondas de ECG mediante el cálculo de sus coeficientes.

2.2 Generación de la función (complejo QRS)

Para poder generar esta forma de onda, hay que encontrar el sumatorio de señales sinusoidales que genera esta forma de onda. Se trata de construir una función de pulso triangular.

$$f(x) = a + \sum \frac{4a}{b(n\pi)^2} \cos\left(\frac{n\pi bx}{L}\right) \quad (1)$$

Esta función se utiliza para simular el complejo QRS de la señal. La modificación de la Tabla 1 permite modelar tanto su amplitud como su duración. El último parámetro a modificar, el desplazamiento respecto el pico R, es simplemente una traslación en el eje del tiempo.

Para la generación de señales ECG, hay que tener presente el concepto de frecuencia de muestreo, esto se establece mediante la tasa de muestreo necesaria que permite la reconstrucción de la señal original, hay que basarse en el Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon [2]

$$F_{\max} ECG = 150 \text{ Hz}$$

$$F_{\text{simple}} = 2^n \geq F_{\max} ECG$$

$$F_{\text{simple}} = 2^9 = 512 \text{ Hz}$$

Para cada onda se definen tres valores básicos que servirán para generar cada una de la señal de ECG hasta completarla.

Tabla 1. Datos de ondas, intervalos y segmentos del ECG [3]

PARAMETROS GENERALES ELECTROCARDIOGRAMA							
GENERACION	Onda P	Onda Q	Complejo QRS	Onda S	Onda T	Onda U	Unidades
AMPLITUD	0,25	0,025	1,6	0,25	0,35	0,035	Milivoltos(mV)
DURACION	0,09	0,066	0,11	0,066	0,142	0,0476	Segundos(s)
TIEMPO	0,16	0,166	0,09	0,2	0,433		Segundos(s)

2.3 Generación de ondas sinusoidales P, T y U

Las ondas P, T y U de una señal de ECG se pueden representar como ondas sinusoidales. Para poder generar esta forma encontramos el sumatorio de señales sinusoidales.

$$f(x) = a \left[\frac{1}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi} \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2b}(b-2n)\right)}{b-2n} + \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2b}(b+2n)\right)}{b+2n} \right) \right] \cos\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \quad (2)$$

Esta función se utiliza para generar las ondas sinusoidales de un ECG, como lo son las ondas P, T y U. La variación de los parámetros a y d permite modelar tanto su amplitud como su duración.

2.4 Implementación en Scilab [4]

Para poder generar las características que modela un ECG, se procesa una estructura de datos (Tabla 1) que describen la morfología completa de la señal. Esto quiere decir que detalla la forma de cada onda del ECG (P, Q, R, S, T y U).

ONDA SINUSOIDAL P

Para generar la onda P ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
a=0.25
x=x+(1/1.8);
b=3;
n=100;
p1=1/l
p2=0
for i = 1:n
    harm1=(((sin((%pi/(2*b))*(b-(2*i))))/(b-(2*i)))+(sin((%pi/(2*b))*(-b+(2*i))))/(b+(2*i)))*(2/%pi))*cos((i*%pi*x)/l);
    p2=p2+harm1;
end
onda1p=p1+p2;
ondap=a*onda1p;
plot(x, ondap)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL P")
```

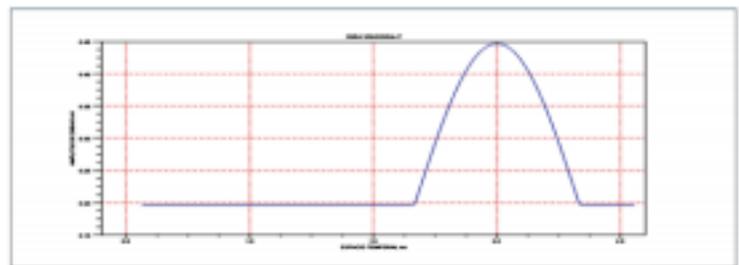


Figura 3. Representación de onda sinusoidal P

ONDA SINUSOIDAL Q

Para generar la onda Q ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
x=x+1/6
a=0.025;
b=15;
n=100;
q1=(a/(2*b))*(2-b);
q2=0
for i = 1:n
    harm5=(((2*b*a)/(i*%pi*%pi))*(1-cos((i*%pi)/b)))*-cos((i*%pi*x)/l);
    q2=q2+harm5;
end
ondaq=-1*(q1+q2);
plot(x, ondaq)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL Q")
```

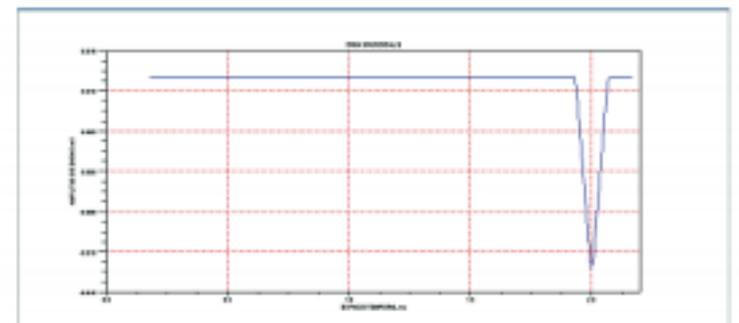


Figura 4. Representación de onda sinusoidal Q

COMPLEJO QRS

Para generar el complejo QRS ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
a=1;
b=5;
n=100;
qrs1=(a/(2*b))*(2-b);
qrs2=0
for i = 1:n
    harm=((2*b*a)/(i*i*pi*pi))*(1-cos((i*pi)/b))*cos((i*pi*x)/l);
    qrs2=qrs2+harm;
end
ondaqrs=qrs1+qrs2;
plot(x, ondaqrs)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL QRS")
```

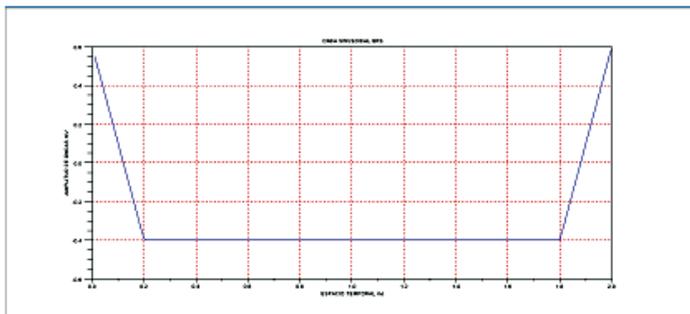


Figura 5. Representación de complejo QRS

ONDA SINUSOIDAL S

Para generar la onda S ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
x=x-1/6
a=0.25;
b=15;
n=100;
s1=(a/(2*b))*(2-b);
s2=0
for i = 1:n
    harm3=((2*b*a)/(i*i*pi*pi))*(1-cos((i*pi)/b))*
    cos((i*pi*x)/l);
    s2=s2+harm3;
end
ondas=-1*(s1+s2);
plot(x, ondas)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL S")
```

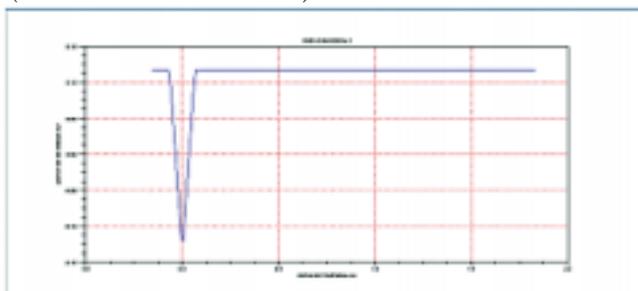


Figura 6. Representación de onda sinusoidal S

ONDA SINUSOIDAL T

Para generar la onda S ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
a=0.35
x=x-(1/1.8);
b=7;
n=20;
t1=1/l
t2=0
for i = 1:n
    harm2=((sin((pi)/(2*b))*(b-(2*i))))/
    (b-(2*i)) + (sin((pi)/(2*b))*(b+(2*i))))/
    (b+(2*i))*cos((i*pi*x)/l);
    t2=t2+harm2;
end
ondat1=t1+t2;
ondat=a*ondat1;
plot(x, ondat)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL T")
```

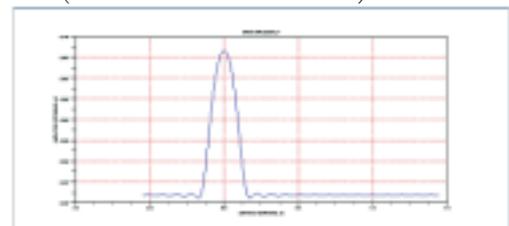


Figura 7. Representación de onda sinusoidal T

ONDA SINUSOIDAL U

Para generar la onda S ingresamos el código:

```
x=0.01:0.01:2;
l=1;
a=0.03;
x=x-(1/1.1);
b=21;
n=100;
u1=1/l;
u2=0;
for i = 1:n
    harm4=((sin((pi)/(2*b))*(b-(2*i))))/
    (b-(2*i)) + (sin((pi)/(2*b))*(b+(2*i))))/
    (b+(2*i))*cos((i*pi*x)/l);
    u2=u2+harm4;
end
ondau1=u1+u2;
ondau=a*ondau1;
plot(x, ondau)
xgrid(21)
xtitle("ONDA SINUSOIDAL U")
```

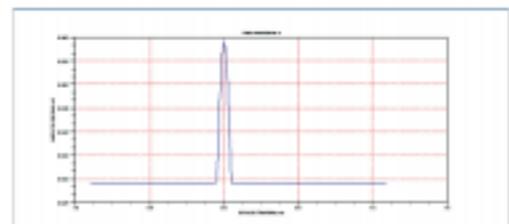


Figura 8. Representación de onda sinusoidal U

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 8 muestra el resultado total o suma de las señales desarrolladas en el párrafo anterior

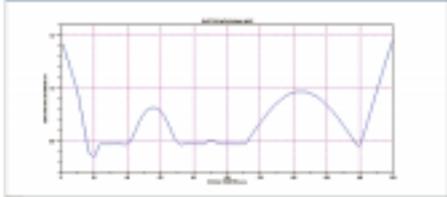


Figura 9. Trazado típico que representa el periodo del ECG perteneciente a un individuo sano, es decir consiste en una onda P, el complejo QRS, la onda T y la onda U.

Esta onda ideal permitirá comparar señales ECG de pacientes para poder reconocer las diferentes patologías cardiovasculares que se pueden presentar [5].

Esta señal es la base para el diseño e implementación de un algoritmo de detección de anomalías que podría servir como una alternativa a los aparatos Holter, que por ser de índole comercial son escasos en las instalaciones médicas nacionales.

El desarrollo de un software de análisis combinado con la construcción de un sistema electrónico para la adquisición de señales ECG podría ser un proyecto de investigación válido no solo desde el punto de vista científico sino también desde el punto de vista de aplicaciones médicas en centros de salud y hospitales de nuestra región, ya que generaría un gran porte a aquellos especialistas (cardiólogos) en el momento de emitir un diagnóstico ya que gracias a la clara visualización y a las herramientas que pueda ofrecer el sistema (como clasificación de señales, frecuencias y tiempos) se puede emitir algún tipo de recomendación al paciente.

Referencias

- [1] Navarro, v. M. (2009). Desarrollo y evaluación de diferentes métodos de. *Proyecto fi de carrera*, 15-16.
- [2] Valentí Montoya Aguilar, L. R. (2007). Simulación de electrocardiogramas. *Método de Musicalización de ECG*, 42-45.
- [3] Duque, M. C. (2011). Algoritmo de señal usando Transformada Wavelet. *Análisis de señal del impulso cardíaco para el mejoramiento del diagnóstico de patologías del corazón*, 8-13.
- [4] Escobar, H. M. (2002). *Introducción a Scilab*. Departamento de Matemáticas, 22-44.
- [5] Rojas V. W. Et al (2007) Sistema para visualización de señales cardíacas *Revista de Investigaciones Revista-de Investigaciones No. 17 - pp. 175- 187 del Quindío*
No. 17 Universidad del Quindío Universidad Armenia, Año 2007 ISSN 1794-631 X
- [6] www.scilab.org