Frecuencia cardiaca y respiratoria a partir de seismocardiografía (SCG)

Laura Camila Vargas Buitrago

Trabajo de énfasis

Tutora

Sandra Liliana Cancino, PhD

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Universidad del Rosario
Bogotá, Colombia
2021

Resumen

La señal de seismocardiografía (SCG) es un método novedoso para obtener información acerca del registro de las vibraciones corporales inducidas por la contracción cardíaca, la cual nos brinda datos acerca de los ruidos cardíacos y demás vibraciones de su funcionamiento; asimismo, contiene información de las vibraciones de la respiración. En este proyecto, se usa la señal de SCG para hallar la frecuencia cardíaca y respiratoria, las cuales son vitales para conocer acerca de condiciones médicas como dificultad respiratoria o arritmias que pueden ser indicio de enfermedades como insuficiencia cardíaca, accidente cerebrovascular, neumonía, tuberculosis o incluso paro cardiaco.

La señal de SCG, en comparación con el electrocardiograma (ECG) que es el método más usado clínicamente, proviene de un sistema de adquisición de menor coste y es más resistente a artefactos inducidos por el campo magnético, por lo cual su uso sería más apropiado en exámenes que involucren estudios adicionales de imagenología como los de resonancia magnética (MRI).

En este trabajo se estima la frecuencia cardíaca a través de la señal de SCG, y a su vez, la frecuencia respiratoria del sujeto. La base de datos usada es “Combined measurement of ECG, Breathing and Seismocardiograms (cebsdb)” proveniente de Physionet.org, la cual consta de 20 sujetos con sus respectivas señales de SCG y ECG, estas últimas se pueden utilizar para obtener una frecuencia cardiaca y frecuencia respiratoria de comparación. En el método propuesto se emplearon técnicas para el preprocesamiento de la señal de SCG como un submuestreo para reducir la frecuencia de muestreo y la transformada de Wavelet Discreta para eliminar los componentes de alta frecuencia, y así extraer los elementos principales de la señal y eliminar el ruido o la información no relevante. Para el procesamiento de la señal SCG, se llevan a cabo dos técnicas; la primera utiliza el espectrograma de la señal, y la segunda utiliza la transformada de Hilbert, extrayendo las características necesarias para la estimación de la frecuencia cardiaca y la frecuencia respiratoria. Por último, la evaluación o validación del método se hace a través de la extracción de los intervalos RR de la señal de ECG, obteniendo una frecuencia cardiaca y una frecuencia respiratoria de referencia, contra la cual se comparan los resultados obtenidos por el método propuesto.

Palabras clave: seismocardiografía; frecuencia cardíaca; frecuencia respiratoria.

Abstract

The seismocardiography (SCG) signal is a novel method to obtain information about the recording of body vibrations induced by cardiac contraction, which gives us data about heart beats and other vibrations of its functioning; it also contains information about the vibrations of respiration. In this project, the SCG signal is used to obtain the heart rate and respiratory rate, which are vital to know about medical conditions such as respiratory distress or arrhythmias that may indicate diseases such as heart failure, stroke, pneumonia, tuberculosis or even cardiac arrest.

The SCG signal, compared to the electrocardiogram (ECG) which is the most clinically used method, comes from a lower cost acquisition system and is more resistant to noise induced by the magnetic field, that is why, its use would be more appropriate in examinations involving additional imaging studies such as magnetic resonance imaging (MRI).

In this work, the subject's heart rate and respiratory rate are estimated using the SCG signal. The database used is "Combined measurement of ECG, Breathing and Seismocardiograms (cebsdb)" from Physionet.org, which consists of 20 subjects with their respective SCG and ECG signals, the latter can be used to obtain a ground truth heart rate and respiratory rate. In the proposed method, techniques for preprocessing the SCG signal such as undersampling to reduce the sampling frequency and Discrete

Wavelet transform to remove high frequency components were used to extract the main elements of the signal and remove noise or non-relevant information. For the processing of the SCG signal, two techniques are carried out; the first one uses the spectrogram of the signal, and the second one uses the Hilbert transform, extracting the necessary features for the estimation of the heart rate and respiratory rate. Finally, the evaluation or validation of the method is done through the extraction of the RR intervals of the ECG signal, obtaining a reference heart rate and respiratory rate, against which the results obtained by the proposed method are compared.

Keywords: seimocardiography SCG; heart rate HR; respiratory rate RR.

Índice

1. Introducción ……5

2. Metodología …….....5

2.1 Base de datos ……5

2.2 Pre-procesamiento señal SCG ……..5

2.3 Procesamiento ……...6

2.4 Procesamiento de la señal de SCG para frecuencia cardiaca…….6

2.5 Procesamiento señal ECG……..7

2.6 Procesamiento se la señal SCG para frecuencia respiratoria ……....8

2.7 Procesamiento para la señal de respiración ……..9

3. Resultados y discusión de resultados ……..10

3.1 Frecuencia cardiaca ……..….10

3.2 Frecuencia respiratoria ……..11

4. Conclusiones……....12

Referencias …….....12

1. Introducción

La frecuencia cardíaca (HR) y la frecuencia respiratoria (RR) son variables fisiológicas con las cuales se puede conocer el estado de una persona en un lapso de tiempo. Este estado es variable según la edad, condiciones físicas o patologías. La frecuencia cardíaca de una persona adulta sana oscila entre 60 a 100 latidos por minuto (lpm), mientras que la frecuencia respiratoria normal oscila entre 12 a 21 respiraciones por minuto (rpm o bpm) en estado de reposo. Este aumento se da en respuesta a que el organismo requiere suministrar más oxígeno a los órganos, por lo cual, debe bombear sangre oxigenada más veces en menor cantidad de tiempo. La información de la HR y RR en reposo es vital para conocer acerca de condiciones médicas tanto físicas como emocionales. Ya que, estos datos nos dan a conocer si el sujeto se encuentra en un estado como el estrés, o el sueño. Las medidas generalmente son tomadas con equipos biomédicos como el electrocardiógrafo, el cual necesita de la colocación de varios electrodos en distintas partes del cuerpo y esto dificulta el movimiento del sujeto mientras este realiza alguna actividad como la conducción de un vehículo.

La señal de seismocardiografía, es un método novedoso para obtener información del registro de las vibraciones corporales inducidas por la contracción cardíaca, y a su vez las vibraciones por la respiración. Es decir que por medio de un acelerómetro que sea capaz de cumplir con características de alta sensibilidad, múltiples ejes, gran rango dinámico y gran ancho de banda; situado en el pecho del sujeto, se pueden obtener estas medidas de una manera más fácil y cómoda. También, en el caso de pacientes que deban estar inducidos en un campo magnético fuerte, como en la adquisición de imágenes por resonancia magnética, para monitorear los signos vitales durante la toma, el SCG resulta ser mucho más resistente que otros métodos como el electrocardiógrafo, respecto a las variaciones inducidas por el campo electromagnético.

2. Metodología

2.1 Base de datos

Se utiliza una base de datos de Physionet.org, llamada “Combined measureent of ECG, breathing and Seismocardiograms (cedsdb)”, la cual cuenta con 4 señales, la primera derivación del electrocardiograma, la segunda derivación del electrocardiograma, la señal de respiración y por último la señal de seismocardiografía. Estas se toman a 20 voluntarios sanos estando recostados en una posición supina durante 5 minutos. Posteriormente se adquieren los datos usando los diferentes sensores en cada caso. Las dos derivaciones del ECG se tomaron aplicando un pasanbandas entre 0.05Hz y 150 Hz, la respiración fue tomada por una banda torácica piezoresistiva y filtrada por un filtro pasabandas entre 0.0.5Hz y 10 Hz, y por último, la señal de SCG tomada por unos electrodos de monitorización muestreada a 5kHz.

2.2 Pre-procesamiento señal de SCG

Debido a que la señal de SCG fue muestreada a una frecuencia de 5kHz, se decide realizar un submuestreo con el fin de tener una frecuencia de muestreo menor, esto debido a que al hacer la transformada de Fourier, se puede observar que la mayoría de componentes del espectro no sobrepasan los 50 Hz como se puede observar en la Figura 1. El submuestreo se realiza tomando una frecuencia 100 veces menor.

El segundo paso, es realizar un filtro pasabandas con el fin de filtrar el intervalo que tiene la frecuencia cardíaca fundamental, es decir, retirar todas las frecuencias innecesarias en el análisis, por lo cual se realiza entre 0.6Hz a 1.8 Hz, ya que es ente intervalo se encuentra generalmente la frecuencia fundamental en una persona sana. La aplicación de este filtro se puede observar en la Figura 2.

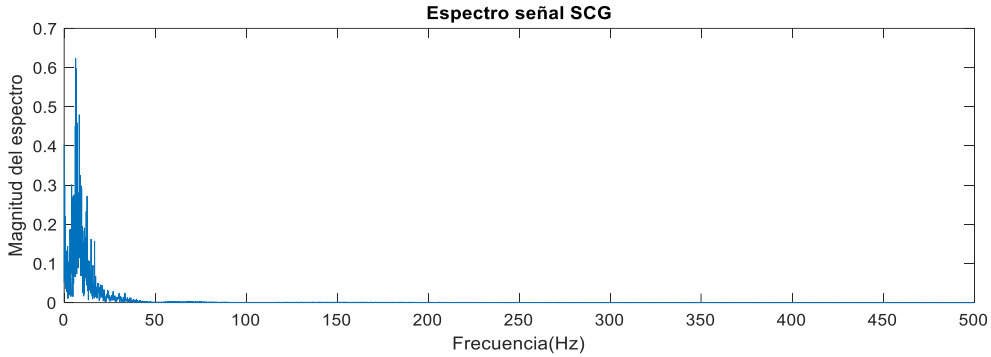


Figura 1. Espectro de la señal de SCG, recortada en 500 Hz.

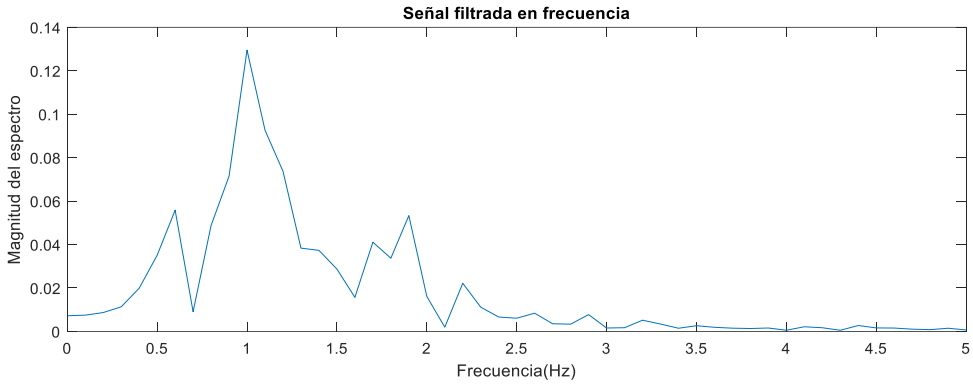


Figura 2. Espectro de la señal de SCG, con un filtro de 0.6 Hz a 1.8 Hz.

2.3 Procesamiento

Con el fin de realizar la validación del algoritmo, es necesario hacer un procesamiento para hallar la frecuencia cardiaca y respiratoria de las señales de ECG y respiración, por lo cual, a continuación se observarán los distintos métodos utilizados para cada una de las señales.

2.3.1 Procesamiento de la señal de SCG para frecuencia cardiaca

Para el procesamiento de la señal de SCG se llevan a cabo dos procesos, el primero utiliza el espectrograma de la señal, y el segundo utiliza la transformada de Hilbert. Primero, se realiza un espectrograma tomando la transformada rápida de Fourier de la señal, en este se puede observar el pico de frecuencia fundamental en el intervalo anteriormente filtrado, como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Espectrograma de la señal de SCG filtrada entre 0.6Hz a 1.8 Hz.

El siguiente proceso se basa en hallar la frecuencia cardiaca instantánea tomando en cuenta la transformada de Hilbert de la señal, y la señal, como se muestra en las ecuaciones 1 y 2.

$$FI = \frac{d\phi(\mathrm{t})}{dt} \tag{1}$$

$$\phi(\mathrm{t}) = \arctan\left(\frac{-H[s(t)]}{s(t)}\right) \tag{2}$$

Siendo $-H[s(t)]$ la transformada de Hilbert de la señal, y FI la frecuencia instantánea.

Teniendo la señal filtrada en el intervalo que contiene la frecuencia fundamental, se procede a hacer la transformada de Hilbert, en la cual se toma el ángulo de la fase para hallar la derivada y finalmente, aplicar la ecuación 1 en donde la frecuencia instantánea corresponde a el cálculo de la derivada del arcotangente de la transformada de Hilbert sobre la señal s(t).

2.3.2 Procesamiento de la señal de ECG

Para hallar la frecuencia cardiaca de la segunda derivación de la señal de ECG, se procede a localizar la distancia de los picos R con el fin de medir el tiempo entre un latido o intervalo QRS y otro.

Para encontrar los segmentos RR de la señal, se utiliza la transformada de Wavelet Discreta, ya que esta es capaz de eliminar los componentes de alta frecuencia, y así extraer los elementos principales de la señal, en este caso los picos R, como se puede observar en la Figura 4.

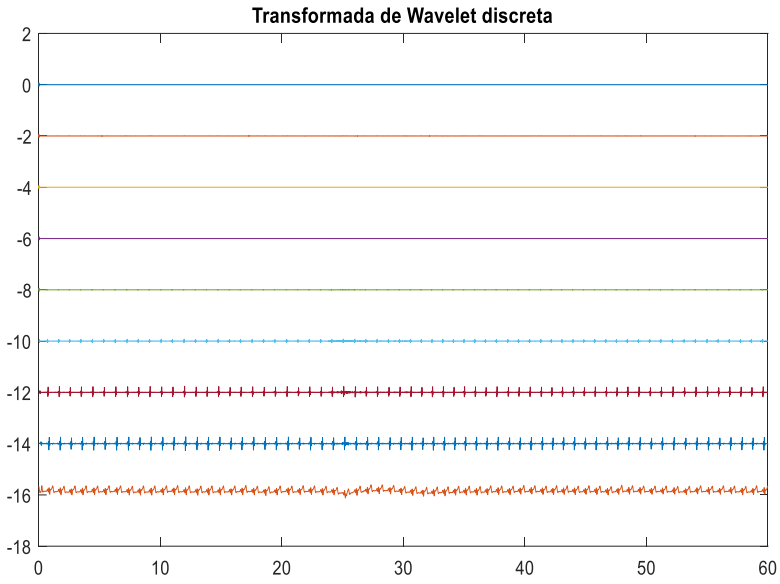


Figura 4. Descomposición de la señal ECG en frecuencia con la Transformada de Wavelet discreta.

Gracias a la descomposición en niveles de frecuencia, finalmente se obtiene la señal con únicamente los picos R, por lo cual se pueden identificar y medir fácilmente. Posteriormente se halla la media de estas distancias obtenidas hallando la frecuencia promedio de la señal, y para encontrar los latidos por minuto, se multiplica por 60 segundos.

2.3.3 Procesamiento de la señal SCG para frecuencia respiratoria

Para hallar la frecuencia de la señal de respiración, primero se realiza un filtro con frecuencias de corte igual a 0.15 Hz y 0.35 Hz que corresponden respectivamente a 9 y 21 respiraciones por minuto. Posteriormente, se hace una descomposición en frecuencias Wavelet de la señal para encontrar la señal análoga de SCG a la señal de frecuencia respiratoria, como se puede observar en la Figura 5.

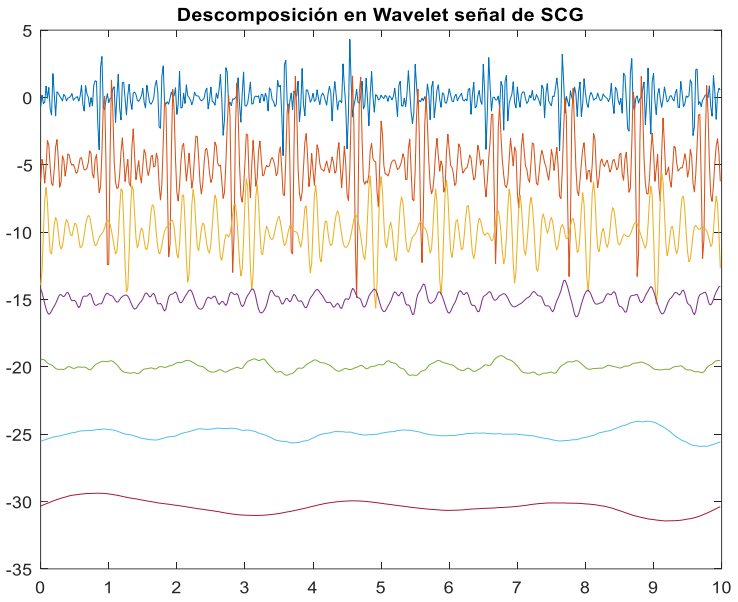
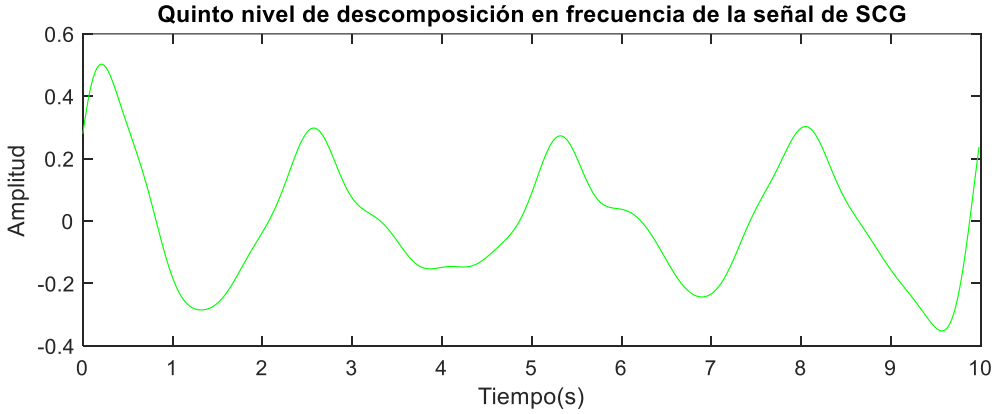


Figura 5. Descomposición en niveles de frecuencias utilizando la transformada discreta de Wavelet.

Al observar los niveles de descomposición obtenidos, se encuentra que el nivel 5 de la señal de seismocardiografía corresponde a la señal de respiración. Por lo cual se hace una comparación de señales con la señal de respiración original, como se muestra en la Figura 6.



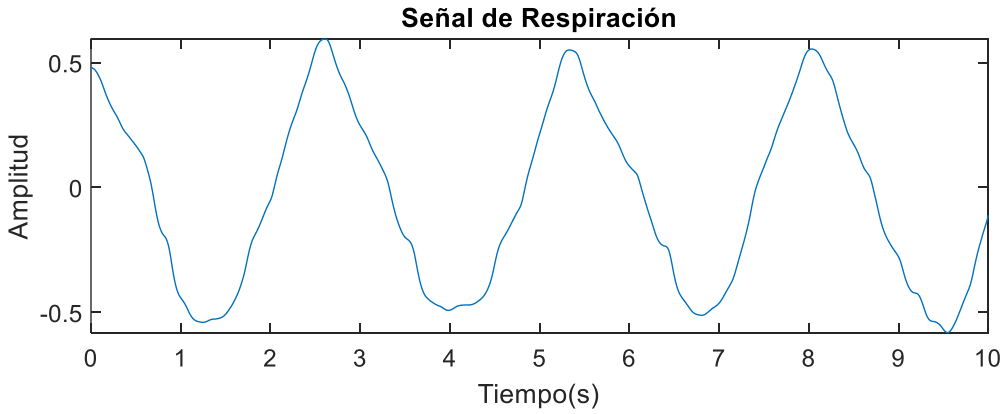


Figura 6. Arriba: Señal descompuesta seleccionando el quinto nivel de descomposición Wavelet del SCG. Abajo: Señal de respiración original.

2.3.4 Procesamiento de la señal de respiración

Con el fin de hallar la frecuencia respiratoria medida en bmp (breaths per minute) se hallan todos los picos tanto de la señal de SCG como respiratoria, en 60 segundos. Y por último se comparan los resultados.

3. Resultados y discusión de resultados

3.1 Frecuencia cardiaca

La comparación de frecuencias cardiacas obtenidas en los 20 sujetos sanos con la señal de ECG y SCG se puede observar en la Figura 7.

Sujeto	ECG (lpm)	SCG (lpm)
1	55.170	50.222
2	58.296	60.621
3	50.427	54.484
4	57.007	53.458
5	50.334	50.148
6	57.200	60.161
7	68.100	60.314
8	42.411	46.307
9	57.072	54.664
10	57.200	60.207
11	52.488	54.850
12	52.992	53.426
13	47.738	49.639
14	49.505	49.842

15	55.680	54.766
16	52.992	53.426
17	49.396	55.272
18	45.420	46.059
19	56.906	60.211
20	50.247	54.631

Figura 7. Resultados frecuencia cardiaca de 20 sujetos sanos tomada con SCG y ECG.

Con los resultados obtenidos anteriormente, se procede a realizar una prueba de error en donde en la Figura 6 se pueden notar los resultados obtenidos.

Sujeto	Error (%)	Sujeto	Error (%)
1	8.96	**11**	4.05
2	3.98	**12**	0.81
3	8.04	**13**	3.98
4	6.22	**14**	0.67
5	0.36	**15**	1.64
6	5.17	**16**	0.81
7	11.43	**17**	11.89
8	9.18	**18**	1.40
9	4.21	**19**	5.80
10	5.25	**20**	8.72

Figura 8. Errores obtenidos de la frecuencia cardiaca en la señal de SCG.

Con los errores obtenidos por cada sujeto, se halla una media ponderada para estimar el error promedio total del algoritmo, el cual tuvo un valor de 5.1574%.

3.1 Frecuencia respiratoria

La comparación de frecuencias respiratorias obtenidas en los 20 sujetos sanos con la señal de SCG y respiratoria se puede observar en la Figura 9.

Sujeto	SCG (bpm)	Respiratoria (bpm)
1	14.7110	21.6123
2	16.2572	16.3875
3	16.4354	16.4892
4	12.2779	12.8114
5	16.8421	16.5868
6	10.3755	8.5925
7	17.1245	17.3710
8	22.0665	18.7957
9	14.1202	15.7658
10	8.4776	14.7783
11	12.0542	16.5918
12	19.2951	24.2958
13	17.4039	21.3447
14	12.2449	14.0008

15	11.7779	16.7660
16	12.2900	13.2879
17	18.0148	17.7700
18	10.4348	17.5812
19	22.1208	21.9742
20	17.0092	11.4548

Figura 9. Frecuencias respiratorias halladas de la señal de SCG y la señal respiratoria.

Sujeto	Error (%)
2	0.7948
3	0.3264
5	1.5392
8	17.4022
9	10.4376
13	18.4627
14	12.5417
16	7.5095
17	1.3776
19	0.6671

Figura 10. Errores obtenidos de la frecuencia respiratoria en la señal de SCG.

4. Conclusiones

La seismocardiografía resulta ser una técnica efectiva a la hora de hallar signos vitales como la frecuencia cardiaca y la frecuencia respiratoria en ambientes no tan controlados en comparación con otros métodos como la electrocardiografía. Aunque a su vez, puede contar con un error a la hora de tomar las mediciones gracias a diversos factores como el movimiento del sujeto o el sensor, en el caso de la frecuencia cardiaca se presentó en los sujetos 7 y 17, debido a que los errores encontrados al realizar la comparación con la señal de SCG, fueron los mayores (11.4% y 11.87%), y en el caso de la frecuencia respiratoria también se observó en algunos sujetos (sujeto 1 y 10), estos pueden alterar la media del error general del funcionamiento del sistema. También se observó que la amplitud de la frecuencia respiratoria varía dependiendo del sujeto; por lo cual la media ponderada del error absoluto tiende a ser mayor debido a la magnitud de los errores de los sujetos mencionados.

Referencias

1. Lin Y. and Jhou Y.(2020). Estimation of heart rate and respiratory rate from the seismocardiogram under resting state, Vol. 57, No. 101779.

2. A. K. Barros and N. Ohnishi. (2001). Heart instantaneous frequency (HIF): an alternative approach to extract heart rate variability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 48, No. 8, pp. 850-855.

3. Becker, M., Roehl, A. and Siekmann. (2014). Simplified detection of myocardial ischemia by seismocardiography, No. 39, pp 586–592.

4. García-González M.A., Argelagós A., Fernández-Chimeno M. and Ramos-Castro J. (2014) Differences in QRS Locations due to ECG Lead: Relationship with Breathing. Roa Romero L. XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, Vol 41, pp 962-964.

5. Inan O. T. *(2015).* Ballistocardiography and Seismocardiography: A Review of Recent Advances. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol. 19, No. 4, pp. 1414-1427.

6. P. Migeotte *et al*. (2011). Three dimensional ballistocardiography: Methodology and results from microgravity and dry immersion. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 4271-4274.

7. O. Postolache, P. S. Girao, G. Postolache and M. Pereira, (*2007).* Vital Signs Monitoring System Based on EMFi Sensors and Wavelet Analysis. *IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC*, pp. 1-4.

8. Arcos J. and Frank R. (2018). Implementación de un sistema de obtención de frecuencia cardíaca a partir del seismocardiograma. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

9. Jafari Tadi M., Koivisto T., Pänkäälä M. and Paasio A. (2014). Accelerometer-Based Method for Extracting Respiratory and Cardiac Gating Information for Dual Gating during Nuclear Medicine Imaging. Int J Biomed Imaging.

10. Tavakolian and Kouhyar. (2010). Characterization and analysis of seismocardiogram for estimation of hemodynamic parameters. Simon Fraser University.

11. Rivero Pouymiró L., Valdés Córdova, E. and Valdes Perez, F.E. (2017). Nuevo método para obtener la frecuencia cardíaca instantánea mediante el análisis espectro temporal del seismocardiograma.*Journal cuba cienc informat*. Vol.11, No.1, pp.122-135.

12. Sundar A and Pahwa V. (2017). Evaluating the Performance of State of the Art Algorithms for Enhancement of Seismocardiogram Signals. Springer Singapore. Vol 1.