



Medición de la Frecuencia Cardíaca por Medio de la Reflexión de Luz Verde en el Rostro

E. Francisco¹, N. P. Castellanos¹, J. L. Hernández²,

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México

²Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México

Resumen— En este trabajo se propone un método de no contacto para la medición de la frecuencia cardíaca por medio de la reflexión de luz con longitud de onda de 532 nm. Utilizando una cámara digital, la frecuencia cardíaca (FC) fue medida a partir de la imagen de vídeo enfocada en la frente de un rostro humano. Después de la adquisición de vídeo, se obtuvo la señal característica de la variación de intensidad de la luz reflejada por 15 segundos a 30 fotogramas por segundo la cual fue filtrada con un pasa banda de 0.4 a 4 Hz y mediante la transformada rápida de Fourier se obtuvo la frecuencia dominante del espectro en frecuencias.

Palabras clave— Medición sin contacto, frecuencia cardíaca, reflexión de luz

I. INTRODUCCIÓN

La frecuencia cardíaca, definida como el número de latidos cardíacos por minuto, es un parámetro fisiológico empleado comúnmente para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. [1] Comúnmente la frecuencia cardíaca es medida de forma subjetiva por un médico o alguna persona con conocimiento sobre dicho parámetro, en base a una auscultación usando un estetoscopio. Esto no suele ser muy confiable, por ello se utilizan instrumentos más precisos en casos de que se requiera un constante monitoreo pero estos instrumentos tienen sus ventajas así como sus desventajas, como por ejemplo ser incómodos para el paciente cuando el uso es prolongado.

Entre estos instrumentos comúnmente usados está el electrocardiógrafo (ECG), el cual registra la actividad eléctrica del corazón de forma no invasiva, se compone de preamplificadores y de 4 a 12 electrodos, colocados en cierta configuración al tórax [2]. Otro instrumento empleado es el oxímetro de pulso que mide la saturación de oxígeno (SaO₂) de la sangre arterial y la frecuencia del pulso de forma no invasiva. Su funcionamiento se basa en la absorción de la luz emitida por un LED (cuya longitud de onda puede estar entre 660 nm (rojo) y 940nm (infrarrojo)) por la hemoglobina oxigenada. La luz detectada mediante un fotodiodo está constituida por una señal de CA, derivada de pulsaciones de volumen de sangre arterial. [3]

Los equipos mencionados anteriormente son no invasivos, pero se limitan a ser obstructivos y a estar en contacto físico constante con el paciente mediante los electrodos o transductores que estos utilizan. En el caso del ECG se tienen periodos prolongados del uso de los electrodos que pueden llegar a incomodar al sujeto, siendo el mismo caso

para el oxímetro de pulso. Las mediciones con los equipos mencionados anteriormente, tienen un problema en cuanto a la colocación y retiro de dichos sensores, pues pueden causar estrés, dolor y maltratar la piel con el uso prolongado. Actualmente la necesidad de obtener la frecuencia cardíaca, se limita a que hay pocos métodos con los cuales se pueda obtener de forma no directa o dicho de otra forma sin hacer contacto físico en los individuos, de una forma accesible y que evite los inconvenientes mencionados. Debido a la necesidad de obtener dicho parámetro fisiológico y resolver las limitaciones mencionadas anteriormente, en los últimos años empezaron a surgir nuevos métodos los cuales permiten la medición de la frecuencia cardíaca sin requerir contacto físico con el paciente. Entre estos nuevos métodos podemos encontrar los siguientes:

Frecuencia cardíaca a través de la voz. Los ritmos cardíacos humanos se relacionan de manera dinámica a las variaciones de los parámetros de las cuerdas vocales a través de la laringe, por lo tanto, es posible detectar la actividad del corazón mediante la extracción de características de la frecuencia de la voz. El problema principal surge de los pacientes con insuficiencia respiratoria, que no eran capaces de mantener el mismo tono de voz durante la adquisición. [4]

Vibrocardiografía óptica. Este método se hace mediante el uso de un láser vibrómetro Doppler de punto único (LDV), con una resolución de desplazamiento de alrededor de 8 nm, que ofrece la posibilidad de detectar desviaciones en el área del cuerpo humano causada por la actividad cardíaca, se utiliza gel reflejante para mejorar la obtención de la señal. [5]

Imagen térmica. La termografía es un ejemplo de ciencia de la imagen infrarroja. Es un método pasivo sin contacto el cual mide la radiación emitida en el rango infrarrojo del espectro electromagnético y produce una imagen de esa radiación en forma de un termógrafo. La medición del pulso cardíaco con imagen térmica se basa en el hecho de que la temperatura de la piel humana. [6]

Entre estos se encuentra la medición de la frecuencia cardíaca mediante reflexión de luz en el rostro con cierta iluminación, ya sea de un LED, un láser e incluso luz natural.[7]

En este estudio se realizó la medición de la frecuencia cardiaca sin contacto físico con el individuo, mediante la captura en video de alta resolución, iluminando con un diodo laser verde, y usando una lente para aumentar el área del haz de luz e iluminando así la región de interés en donde se registró el cambio de volumen sanguíneo del rostro, y ya que en este caso se utilizó directamente luz verde la mayor cantidad de luz reflejada y por tanto mayor información se observaría en el canal verde, lo cual también permitió aumentar la distancia de la cámara al sujeto y tolerando un poco más el movimiento.

II. METODOLOGÍA

Una vez hecha la captura del video con la iluminación adecuada, y utilizando un software especializado en análisis de imágenes y señales, fueron resaltados los cambios de reflectividad debido al cambio del volumen sanguíneo en la región de interés (ROI).

A continuación se muestran los pasos detallados que se realizaron en este trabajo.

A. Adquisición de datos.

El procedimiento para la adquisición de registros se llevó a cabo mediante la configuración simultánea de una cámara de video y el procesamiento de este mismo.

El registro de video se hizo en la zona del rostro (frente, siendo ésta la ROI), en donde esta zona permite, a través del procesado de imagen la obtención de señales conformadas por el promedio de intensidad de cada fotograma del video, para cada video se generaron 3 señales las cuales eran de cada canal de acuerdo a los componentes RGB (Red, Green, Blue) presentes en el video, en donde de acuerdo a estudios recientes que indican que el canal verde es el que aporta más información sobre la reflexión de luz en el rostro, se trabajó con la señal de ese canal [7,8], para obtener la frecuencia cardiaca (FC). Para todas la mediciones se tomó como referencia el valor de la FC dado por el oxímetro de pulso .

En un principio la señal generada para obtener la FC se obtenía usando solo luz natural como iluminación, las pruebas que se realizaron tenían una duración de 15 segundos, a una distancia máxima de 20 cm, en los cuales la cámara y el sujeto tenían que estar lo más cerca posible, al igual que evitar cualquier movimiento brusco ya que de no hacerlo la señal generaba demasiado ruido, y por consecuencia un valor muy alejado al real de la FC del sujeto, el número de fotogramas por minuto en estas pruebas fue de 30 fps, con alrededor de 90 segundos de procesamiento para obtener un resultado. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de una medición con luz natural.

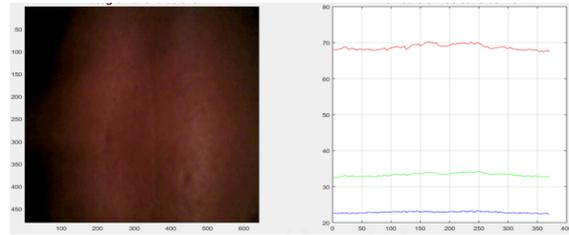


Figura 1. Medición de FC con luz natural, con estas mediciones se tenían algunos inconvenientes en la distancia y con el movimiento que generaba el sujeto, en parte izquierda se muestra la ROI mientras que en la derecha la señal generada de cada componente en RGB.

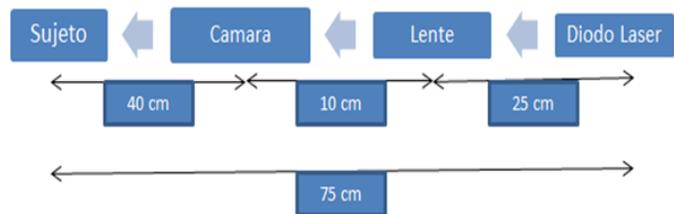


Figura 2. El diodo laser se hacia pasar la lente para ser después dirigido hacia la frente del sujeto, la cámara solo enfocaba la ROI con la iluminación, para después el video ser procesado por el algoritmo desarrollado.

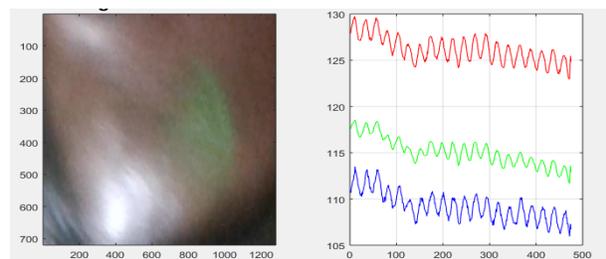


Figura 3. Señales obtenidas de los planos RGB, con iluminación verde en la ROI.

Realizando pruebas con distintos tipos de iluminación se llegó a la conclusión de usar la iluminación con un diodo laser verde directamente en la región de interés, ya que se comprobó que la señal daba un buen resultado al procesar el video, y aumentaba la distancia hasta un máximo de 50 cm desde el sujeto a la cámara con una buena relación señal ruido, al igual que evitaba que los movimientos de cabeza del sujeto no causaran inconvenientes de ruido en la señal. Y de esta forma se obtuviera un buen resultado. En la Fig. 2, se observa un diagrama de flujo para la adquisición de imágenes en este trabajo.

En la Fig. 3, se muestra un registro usando iluminación verde en el cual se presenta ruido debido a movimientos del sujeto y diferentes factores de iluminación como lo son tipos de iluminación presentes en el lugar de adquisición del video, pero a pesar de dichos factores medioambientales se pudo obtener el resultado deseado.

B. Procesamiento de los datos

El desarrollo del algoritmo para el análisis y evaluación de los registros de video adquiridos previamente fue llevado a cabo mediante el software Matlab. La información del video procesado con el que se trabajó fue del canal verde, este se escogió tras hacer varias pruebas en las cuales se determinó que el canal con mayor información era el verde, éste se acercaba más al valor deseado en comparación con el dispositivo de referencia que se usó, debido a que la FC que se obtenía en este canal era más exacto comparando con el de referencia.

En cada fotograma se realizó un promediado del número de filas y columnas para la obtención de un valor medio en intensidad de cada canal que compone RGB. Con todos los promedios se generó la señal del canal verde con el cual se trabajó en el procesamiento y con el cual se encontró la señal de ritmo cardíaco. Fue necesario un filtrado para la eliminación de componentes de baja y alta frecuencia. Para ello se precisa la aplicación de un filtro pasa banda con frecuencias de corte entre 0.4 y 4 Hz para la obtención de información correspondiente al ritmo cardíaco. Y con ayuda de las funciones del software utilizado, se aplicó a la señal una transformada rápida de Fourier (FFT) con la cual se obtuvo el espectro de potencia para encontrar la frecuencia característica de la señal que en este caso el valor del pico más alto en el espectro de potencia se multiplicaba por 60 para relacionarla con la FC.

III. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados correspondientes a cada tipo de adquisición de video. Adquisición con luz natural en Fig.4. En cuestión del tiempo de procesamiento, se buscó una manera de disminuir y obtener el mismo resultado, se hicieron tomas con una duración de 10 segundos de video en los cuales el resultado no variaba mucho con el de referencia, con un error $\pm 5\%$, de esta forma se logró obtener casi el mismo resultado con un video de 15 segundos de duración. Con un tiempo total de procesamiento de 55 a 60 segundos. Adquisición con iluminación de luz verde en la Fig.5.

El registro de las muestras se generó con la participación de 20 sujetos (10 hombres y 10 mujeres) de entre 18 a 30 años, en donde el tono de la piel y la edad no afectaban el resultado esperado, en cada sujeto se tomaban 5 muestras. Los resultados calculados en cada uno de los voluntarios por el método propuesto muestran una gran similitud con los resultados adquiridos mediante el sistema de referencia generando en cada comparación un error de entre $\pm 3\%$ de diferencia. En la tabla 1, se observan los resultados obtenidos.

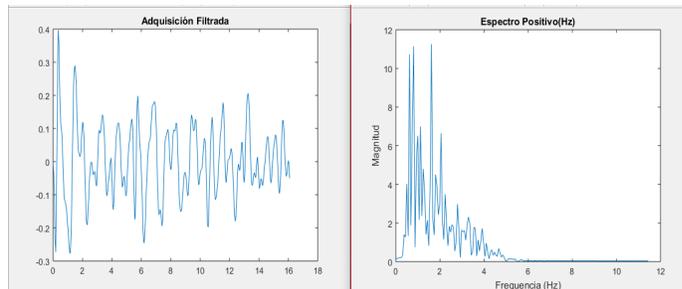


Figura 4. Se observa la señal filtrada de una adquisición con luz natural al igual que su espectro de potencia, en esta imagen se observa a la izquierda la señal filtrada del canal verde y el espectro de potencia con picos que se presentaban debido al ruido presente en la iluminación.

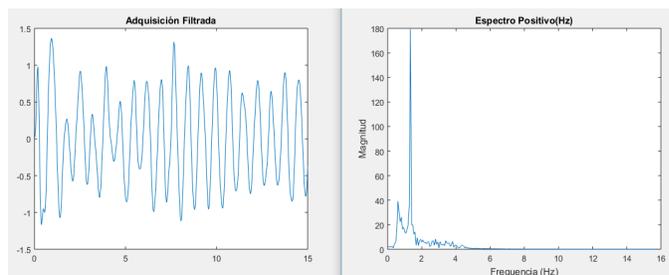


Figura 5. En esta imagen se observa la señal filtrada de una adquisición con luz verde al igual que su espectro de potencia, ordenados de la misma forma que la imagen 3, con la diferencia de que en este caso la iluminación ayudó a disminuir el ruido y obtener un mejor resultado.

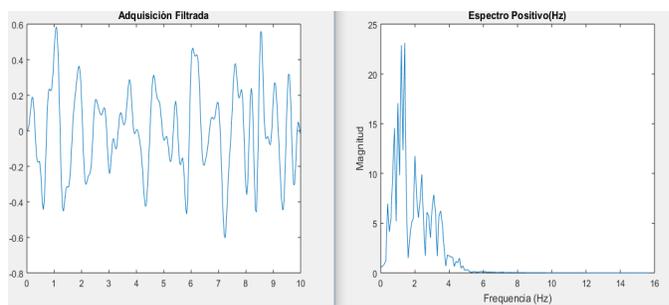


Figura 6. Resultado de una muestra con duración de 10 segundos, del mismo sujeto de los resultados en la figura 4.

En la Fig.7, se muestra el análisis gráfico de los resultados que se obtuvieron al momento de hacer las pruebas en distintos sujetos contra el dispositivo de referencia que se usó, también se puede ver la forma en cómo se comportaban los resultados en cada muestra. Es posible observar, que no importó el color de piel, la edad ni el sexo, ya que en cada medición no existían grandes diferencias con el valor de referencia, dado por el dispositivo que se usó.

IV. DISCUSIÓN

Con este método de adquisición de la FC, y con un análisis estadístico en donde a cada individuo se le calculó el error promedio en sus muestras, se observó que el error entre el valor deseado y el medido era aceptable.

TABLA I

Valores promedio de las 5 muestras en comparación con los valores obtenidos con el dispositivo de referencia.

Promedio de las muestras	Oxímetro	Error Absoluto	Error Porcentual (%)
69.6	72	2.4	3.3
91.4	89	2.4	2.7
74.4	75	0.6	0.8
76.6	76	0.6	0.8
85.6	87	1.4	1.6
82.6	85	2.4	2.8
87.2	87	0.2	0.2
91.4	93	1.6	1.7
72	75	3	4.0
65.2	67	1.8	2.7
76.8	78	1.2	1.5
65.2	66	0.8	1.2
90.4	92	1.6	1.7
80.4	78	2.4	3.1
81.2	80	1.2	1.5
65.2	67	1.8	2.7
68	66	2	3.0
64.8	67	2.2	3.3
71	69	2	2.9
66.2	68	1.8	2.6

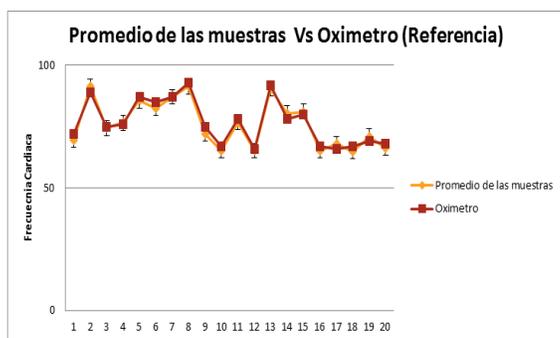


Figura 7, Se muestra la relación entre el valor dado por el instrumento de referencia y el valor promedio de las mediciones de las adquisiciones.

Los factores que influyen en la aparición de artefactos en las señales son los generados por las condiciones ambientales de iluminación, así como aquellos producidos por el movimiento, lo que afecta a la confiabilidad de las medidas. Por ello una solución a esta problemática para futuras investigaciones son el mejorar la iluminación que deje observar los cambios y no sature la señal que se requiere, y evitar los movimientos bruscos, ya que solo se permite movimientos como sonreír, abrir y cerrar los ojos al igual que los movimientos que se realizan al hablar. En lo que se refiere a la solución de este problema es importante contar con tecnología que ayude a disminuir el ruido, que como se

observó en este trabajo el uso de un dispositivo de iluminación y cámara de buena resolución, ayudó a disminuir el ruido presente que afectaba la medición del mismo parámetro fisiológico, medido con luz natural.

V. CONCLUSIÓN

Este trabajo demuestra que el uso de nuevas técnicas basadas en medición de parámetros fisiológicos de forma remota, usando técnicas de iluminación y captura de imagen, así como el procesamiento de las mismas, es un método fiable para la obtención del ritmo cardíaco; y, en especial de la medición sin contacto de este parámetro fisiológico. El procesamiento de estas señales fisiológicas mediante la clase de algoritmos facilita el desarrollo de dispositivos portables, no invasivos, de fácil uso y bajo costo, como lo fue en este caso el lente y laser utilizado, que permiten llevar a cabo la misma medición solo con observar los cambios en la reflexión de luz en el rostro.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. "Heart Rate Variability – Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use." *European Heart Journal*, vol. 17, pp. 354-381, 1996.
- [2] Non-contact ECG employing signal compensation Guochen Peng; Mark F. Bocko 2013 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2013.
- [3] Design and development of pulse oximeter R. C. Gupta; S. S. Ahluwalia; S. S. Randhawa Engineering in Medicine and Biology Society, 1995 and 14th Conference of the Biomedical Engineering Society of India. An International Meeting, Proceedings of the First Regional Conference., IEEE, 1995.
- [4] A. Mesleh, D. Skopin, S. Baglikov, A. Quteisah, Heart rate extraction from vowel speech signals, *J. Comput. Sci. Technol.* 27 (6) (2012) 1243–1251.
- [5] U. Morbiducci, L. Scalise, M.D. Melis, M. Grigioni, Optical vibrocardiography: a novel tool for the optical monitoring of cardiac activity, *Ann. Biomed. Eng.*
- [6] S.Y. Chekmenev, A.A. Farag, W.M. Miller, E.A. Essock, A. Bhatnagar, Multiresolution approach for noncontact measurements of arterial pulse using thermal imaging, augmented vision perception in infrared, in: *Advances in Pattern Recognition*, Springer-Verlag, London, 2009.
- [7] Análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca mediante Fotopletomografía por imagen Melchor Rodríguez, J. Ramos Castro Grupo de Instrumentación y Bioingeniería, Campus Nord C4, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- [8] Noncontact measurement of heart rate using facial video illuminated under natural light and signal weighted analysis. Yonggang Yana, Xiang Maa, Lifeng Yao and Jianfei Ouyanga a State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tianjin University, 92 Weijin Road, Nankai District, Tianjin, P.R. China bPrecision Engineering Institute, Henan Polytechnic University, 2001 Shiji Road, Shanyang District, Jiaozuo, P.R. China.