

OBTENCIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN ARTERIAL, EL RITMO CARDIACO Y EL VOLTAJE CARDIACO USANDO LABVIEW Y EL FACTOR DE CORRELACIÓN

Luis Alberto Ruiz López

Instituto Tecnológico de Celaya

ruiz_alberto@live.com.mx

Juan José Martínez Nolasco

Instituto Tecnológico de Celaya

juan.martinez@itcelaya.edu.mx

Agustín Vidal Lesso

Instituto Tecnológico de Celaya

agustin.vidal@itcelaya.edu.mx

Alonso Alejandro Jiménez Garibay

Instituto Tecnológico de Celaya

alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx

Coral Martínez Nolasco

Instituto Tecnológico de Celaya

coral.martinez@itcelaya.edu.mx

Resumen

En este trabajo de investigación se realizó un estudio para obtener una correlación matemática ya sea entre el ritmo cardiaco y la presión arterial, o entre el máximo voltaje del electrocardiograma (ECG) y la presión arterial. La investigación se realizó en dos estudios estadísticos haciendo uso de la instrumentación virtual, los resultados mostraron que hay una débil correlación entre el ritmo cardiaco y la presión arterial y que no hay correlación entre la presión arterial y el voltaje cardiaco pico obtenido del ECG.

Palabras Claves: Electrocardiograma, presión arterial, ritmo cardiaco, instrumentación virtual.

1. Introducción

El corazón es un órgano hueco que tiene la capacidad de autoexcitarse eléctricamente, sobretodo en un grupo pequeño de fibras cardiacas localizadas en la pared posterior de la aurícula derecha, que se denominan en conjunto nódulo sinoauricular o nudo SA. Este conjunto de fibras produce la excitación a todo el corazón para su contracción rítmica. En la fig. 1 se muestra la disección de un corazón con las partes que lo componen en conjunto con la red nerviosa y la ubicación de cada una de sus partes [2].

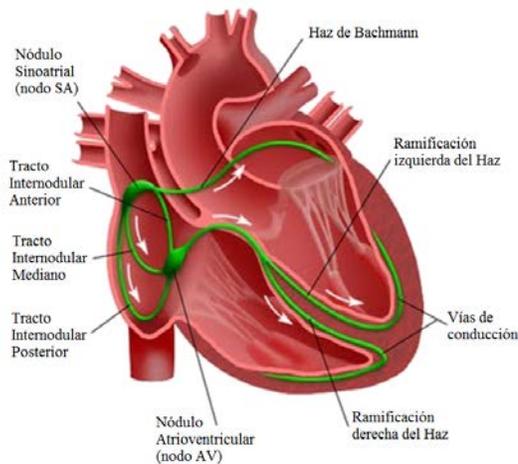


Fig. 1. Sistema eléctrico del corazón. (Texas Heart Institute).

Electrocardiograma

Cuando un impulso se difunde por el corazón, la corriente eléctrica generada por las cargas iónicas en la superficie del músculo cardiaco se difunde en los líquidos que rodean al corazón, y una parte pequeñísima llega hasta la superficie del cuerpo. Colocando electrodos en la piel sobre el corazón, o en cualquiera de sus lados y conectándolos con instrumentos adecuados de registro, puede obtenerse un trazado del impulso suscitado por cada latido cardiaco, este trazado es conocido como ECG (ElectroCardioGramma) [2].

La actividad eléctrica normal que se puede registrar con un ECG corresponde a la onda que se presenta en la fig. 2. En dicha onda, la elevación pequeña “P” depende de que la corriente eléctrica se difunda a la superficie del cuerpo cuando el impulso pasa por las dos aurículas. Las espigas señaladas con “Q”, “R” y “S”, son causadas por el paso

del impulso por los ventrículos, y la "T" depende del retorno de los iones hacia las fibras musculares ventriculares, a su nivel normal de reposo al terminar la contracción.

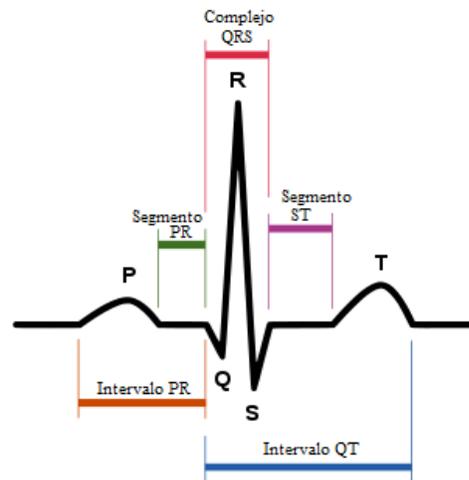


Fig. 2. Forma de onda eléctrica correspondiente a un latido registrado en un ECG.

La actividad eléctrica del corazón está dentro del ciclo cardiaco, en el que también se involucran los movimientos de contracción y relajación de músculos cardiacos y apertura y cierre de válvulas. Este ciclo comienza al iniciarse el impulso rítmico en el nodo SA. Al transmitirse el impulso por el corazón, se contraen las fibras musculares. Por ello, la onda P del ECG, ocurre inmediatamente antes de la onda de presión causada por la contracción auricular. Aproximadamente 0.16 seg después de comenzar la onda P, el impulso eléctrico ha pasado por las aurículas, el nódulo AV y el haz AV. Luego comienza a extenderse rápidamente por los ventrículos, originando la onda QRS del ECG, y haciendo que el músculo ventricular se contraiga. La presión ventricular creciente cierra las válvulas mitral y tricúspide. Los ventrículos permanecen contraídos aproximadamente 0.3seg., y después se relajan. Durante la relajación, hay transferencia de iones por las membranas de las fibras, y se restablece la carga eléctrica negativa normal en su interior. Esto suscita la onda T del ECG. Después de la relajación ventricular, cesa la conducción hasta que se genera en el nodo SA un nuevo impulso eléctrico.

El periodo del ciclo cardiaco en que los ventrículos se contraen se llama sístole, y el de relajación se denomina diástole. Se pueden advertir los periodos de sístole y diástole

por el ECG, en la fig. 3 se tiene una representación gráfica de lo explicado anteriormente. La sístole comienza con la onda QRS y termina con la onda T. En cambio la diástole comienza con la onda T y termina con la QRS.

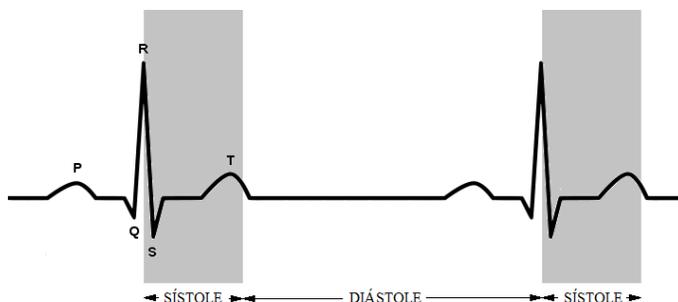


Fig. 3. Relación entre los periodos cardiacos sístole y diástole y el ECG.

Presión arterial

Cuando el ventrículo izquierdo del corazón se contrae, expulsa sangre hacia las arterias de la circulación general, y crea presión que la impulsa por todo el árbol arterial. La regulación de presión arterial es uno de los temas más importantes de la fisiología de la circulación, y la hipertensión, que significa presión sanguínea alta, uno de los trastornos más comunes del cuerpo.

En lugar de impulsar un torrente continuo de sangre, el corazón envía un pequeño volumen de sangre con cada latido. En consecuencia, la presión arterial se eleva durante la sístole, pero disminuye durante la diástole.

La presión sistólica normal de un adulto joven es aproximadamente de 120mmHg y la diastólica de 80mmHg. La manera acostumbrada de escribir estas presiones es de 120/80. La presión arterial se modifica algo con la edad. En un recién nacido es de 90mmHg la presión sistólica, y de 55mmHg la diastólica, y en la vejez se tiene un promedio de 150/90.

Estimación de la presión sistólica y diastólica

Para la medición de la presión arterial existen métodos de medición directa e indirecta, los métodos directos son invasivos, y utilizan un catéter que por lo general se conecta a sensores electrónicos que mediante un tratamiento de la señal generan una gráfica del aumento y disminución de la presión arterial durante el ciclo cardiaco. El método

indirecto de estimación de la presión es el de auscultación que es el que se usa con mayor frecuencia es no invasivo, y se puede estimar la presión sistólica y diastólica. El brazo se rodea con un mango de esfigmomanómetro, conectado mediante un tubo a un manómetro. Al elevar la presión en el mango hasta exceder la presión en la arterial humeral, la pared de la arteria se colapsa por que la presión externa es superior a la interna dependiente de la sangre. Al disminuir gradualmente la presión en el mango hasta que sea inferior a la presión sistólica, comienzan a pasar intermitentemente chorros de sangre por la arteria cada vez que la presión sanguínea alcanza la cifra sistólica, valor bastante alto como para oponerse a la presión externa y abrir intermitentemente el vaso a cada máximo de las ondas de presión sistólica. Sin embargo, durante la diástole no corre sangre por la arteria. Este flujo intermitente de sangre causa vibraciones en las arterias del antebrazo, que pueden escucharse con el estetoscopio. Por ello, para estimar la presión sistólica se infla el mango hasta alcanzar una presión alta, después se desinfla gradualmente, hasta que se comienzan a escuchar los sonidos intermitentes. En ese momento, la presión indicada es una medida bastante exacta de la presión sistólica.

La presión diastólica se obtiene al disminuir aún más la presión del mango, y cuando cae a un valor inferior al diastólico, la sangre fluye por la arteria constantemente. En consecuencia, desaparecen las vibraciones y ya no se aprecian sonidos en el estetoscopio. La medida de la presión que se observe en ese momento es una muy buena aproximación de la presión diastólica.

En este documento se presenta el proceso de investigación de la relación entre el ritmo cardiaco y la amplitud de la señal cardiaca de un ECG (electrocardiograma) con la presión sanguínea. Fueron realizados dos estudios, el primero de diez muestras y el segundo de quince, cada uno con un formato diferente.

Aun cuando se ha determinado que existe relación entre el ritmo cardiaco y la presión arterial, también se sabe que esta última depende de varios factores adicionales. Sin embargo, conociendo esa información se carece de una ecuación que describa una relación entre la presión arterial y el RC (Ritmo Cardiaco) o entre la presión arterial y el voltaje del ECG.

Se sabe necesaria la obtención de una relación entre la presión arterial y el ritmo cardiaco, o entre la presión arterial y el voltaje pico de la señal de voltaje cardiaco obtenido con el ECG, debido a que la medición de la presión arterial debe hacerse en reposo, porque el movimiento provoca alteraciones en la medición usando un esfigmomanómetro. El uso de métodos invasivos para la medición de la presión arterial es muy molesto y debe hacerse igualmente en reposo. Así, la obtención de un ECG no solo proveería de información acerca del estado del corazón sino también del estado de la presión arterial fácilmente.

2. Desarrollo

Se realizaron en total dos tipos de pruebas. El primer registro se hizo con una muestra de 10 personas de entre 20 y 30 años en reposo y comparando las señales que se tomaron durante 2 minutos con la presión arterial y RC medidos con el ECG que fue elaborado por medio de instrumentación virtual, cuyos resultados probaron ser fieles al voltaje generado por la autoexcitación cardiaca por las fibras del nódulo SA.

El esfigmomanómetro usado es uno del tipo digital y automático, de marca HOMEDICS que además de medir la presión arterial, también mide el RC. Cuenta con memoria para almacenar las últimas mediciones realizadas y posee indicadores de alta y baja presión, junto con indicadores que dan un criterio acerca de la medición del RC.

Estudio de diez muestras

Las diez personas iniciales fueron seleccionadas sin distinción de sexo, condición física ni masa corporal, y en base a los resultados obtenidos se determinó que el tamaño de muestra debió ser justamente de diez, para garantizar que se muestrearon suficientes personas con una precisión propuesta de $\pm 25\%$ de la media con el 95% de certeza en las variables medidas, con el fin de obtener un estudio no tan estricto como para disparar el tamaño de la muestra, pero lo suficientemente confiable para afirmar o rebatir la hipótesis. De acuerdo a la fórmula propuesta por Lockwood y Hayes el número de muestras para estudios biológicos se obtuvo mediante [4]:

$$n = t^2 * \frac{s^2}{L^2} \quad (1)$$

Para calcular el número de muestras (n), se necesita de un nivel de confianza de acuerdo a la tabla 1, la desviación estándar (s) y un error relativo que se obtiene de la siguiente manera:

$$L = \bar{x}p \quad (2)$$

Donde p= precisión y \bar{x} = media de las muestras obtenidas.

Tabla 1. Nivel de confianza para el cálculo del número de muestras.

	Nivel de confianza				
	70%	80%	90%	95%	99%
t	1.036	1.282	1.645	1.960	2.576

Así, el número de muestras para el primer estudio se obtuvo de las diferentes variables medidas con 1 (véanse ecuaciones de 3 a 8) como el voltaje pico promedio durante los 2 minutos, 2 como el voltaje pico máximo, 3 como el RC medido por el esfigmomanómetro, 4 como el RC cardiaco medido por el monitor desarrollado, 5 y 6 son la presión arterial sistólica y diastólica respectivamente:

$$n_1 = 1.96^2 * \frac{0.0617^2}{(0.1595 * 0.25)^2} = 9.198 \quad (3)$$

$$n_2 = 1.96^2 * \frac{0.0707^2}{(0.21246 * 0.25)^2} = 6.8122 \quad (4)$$

$$n_3 = 1.96^2 * \frac{14.40^2}{(67.3636 * 0.25)^2} = 2.81 \quad (5)$$

$$n_4 = 1.96^2 * \frac{13.6433^2}{(71.4735 * 0.25)^2} = 2.2397 \quad (6)$$

$$n_5 = 1.96^2 * \frac{6.9857^2}{(123 * 0.25)^2} = 0.1982 \quad (7)$$

$$n_6 = 1.96^2 * \frac{4.2297^2}{(80.091 * 0.25)^2} = 0.1714 \quad (8)$$

El número de muestras es el valor mayor obtenido, de donde se sabe entonces que es 10, así, la muestra inicial del primer estudio resulta suficiente y se proponen los datos obtenidos y sus resultados como los resultados generales del mismo.

Al no encontrar evidencia suficiente que relacionara ninguna de las variables estando el sujeto en reposo, se propuso otro estudio con condiciones diferentes en donde el sujeto de la prueba se esforzara gradualmente para relacionar un aumento de presión con un aumento del RC y/o de voltaje, nuevamente en el pico máximo del complejo QRS.

Estudio de quince muestras

La prueba se compuso de tres intervalos de tiempos diferentes, el primer intervalo de un minuto y los dos siguientes intervalos de dos minutos, con un tiempo entre cada intervalo de alrededor de un minuto. Durante cada uno de los tres intervalos de tiempo la persona pedaleó una bicicleta estacionaria a una velocidad lo más cercana posible a 133 RPM con una resistencia al pedaleo constante para todas las pruebas, ajustada en base a la sensibilidad. Al inicio de la prueba y entre intervalos de pedaleo, se tomó una medida de la presión arterial y del RC. Un esquema de la segunda prueba se muestra en la fig. 4.

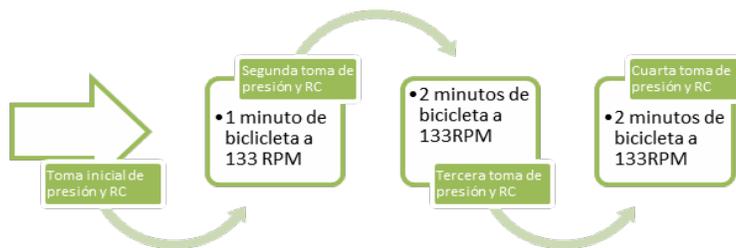


Fig. 4. Esquema del formato de la prueba para el segundo estudio.

La prueba fue propuesta de esta manera, con el objetivo de medir la relación entre las magnitudes en puntos diferentes del esfuerzo, en donde se esperó que fueran ascendentes tanto el ritmo cardíaco, la presión arterial, y el voltaje del pico del complejo QRS del ECG, conforme la prueba avanzaba. El resultado fue diferente de lo esperado y se describe en la siguiente sección.

3. Resultados

Resultados del primer estudio

Los resultados obtenidos de acuerdo a la tabla 2, indican valores en el ritmo cardíaco con la etiqueta de RC asignada. La etiqueta de MaxVP corresponde al promedio de los

valores máximos de los complejos QRS de cada pulso registrados durante los 2 minutos, la columna MaxV corresponde al valor máximo del voltaje del pico del complejo QRS en todo el intervalo de 2 minutos.

Tabla 2. Resultados del primer estudio.

	MaxVP	MaxV	RC	P. Sistólica	P. Diastólica
REG0	0.231	0.293	62	116	80
REG1	0.216	0.292	68	125	81
REG2	0.131	0.17	45	127	82
REG3	0.259	0.324	61	128	79
REG4	0.126	0.176	63	126	78
REG5	0.144	0.193	67	113	77
REG6	0.197	0.255	57	113	73
REG7	0.086	0.112	93	128	85
REG8	0.083	0.141	67	135	89
REG9	0.094	0.15	64	119	78
REG10	0.187	0.23	94	123	79
PROM	0.159	0.212	67.4	123	80.1
DESV	0.062	0.071	14.4	6.99	4.23

Para obtener una relación primero se consideró que fuese lineal, sin embargo, ni las gráficas de dispersión, ni el coeficiente de correlación indican linealidad en los datos obtenidos. De hecho, no parece existir relación en ninguna tendencia de los datos. Las gráficas más representativas son las de la figura 5, figura 6 y figura 7, En la figura 5 se aprecia una dispersión que se repite en la mayoría de las gráficas pero que se puede observar más fácilmente en esta.

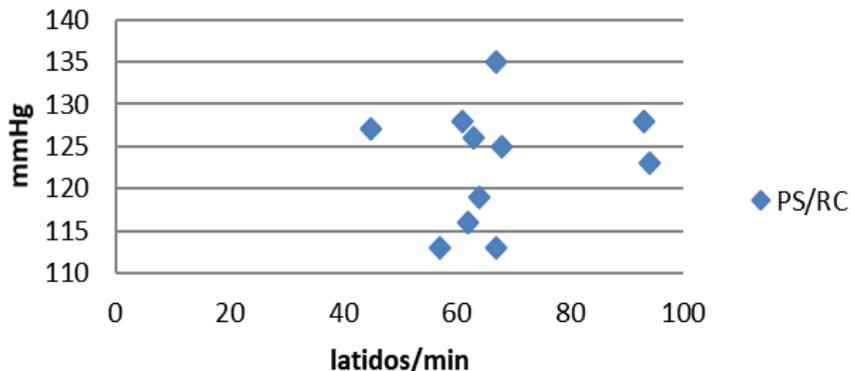


Fig. 5. Dispersión de la presión diastólica, contra el ritmo cardiaco.

El comportamiento de la presión respecto del ritmo cardiaco, se aprecia aparentemente independiente y con valores alrededor de la presión diastólica normal (120mmHg) para personas en reposo sin problemas de presión. Por su parte el ritmo cardiaco también ofrece un comportamiento aparentemente independiente de la presión, y tiene valores alrededor de la frecuencia cardiaca normal para personas sin problemas de salud (60 latidos/min).

De esta manera se concluye que al menos considerando el ritmo cardiaco como una variable independiente a cada persona no está relacionada con la presión arterial. Por otro lado, las gráficas que relacionan la presión sanguínea con el voltaje tienen otro comportamiento muy diferente, véase fig. 6 y fig. 7.

La figura 6 tiene un comportamiento peculiar, muestra la misma tendencia para dos grupos de puntos que pertenecen al mismo grupo de pruebas (fueron realizadas de la misma manera). Por lo que se concluye que considerando el voltaje cardiaco independiente a cualquier persona podría existir una relación cuadrática, dependiendo del tipo de individuo, sin embargo, no hay evidencia suficiente para decir que la conclusión es verdadera.

La fig. 7 muestra igualmente la relación entre voltaje y presión, solo que en este caso se trata de la presión asociada a la diástole, mientras que el voltaje es el mismo. La relación no parece tan evidente como en el caso de la presión sistólica, pero aun así, podría haber un poco más de relación entre la presión y el voltaje pico máximo promedio que con el ritmo cardiaco. Sin embargo otra vez, no hay evidencia suficiente para concluir que haya alguna relación entre la presión y el voltaje.

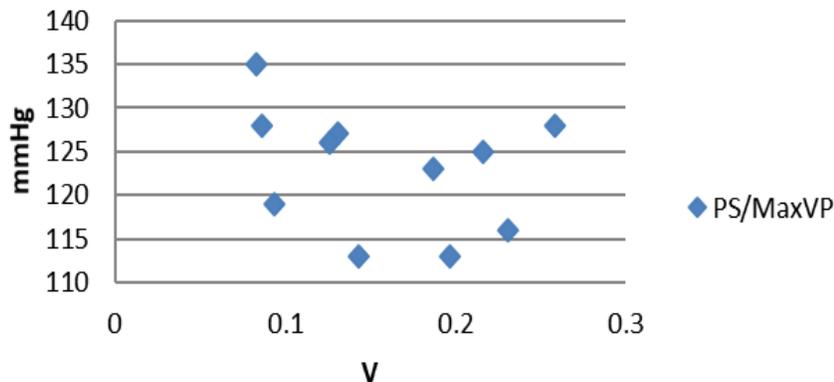


Fig. 6. Gráfica de dispersión de la presión sistólica en relación con el voltaje.

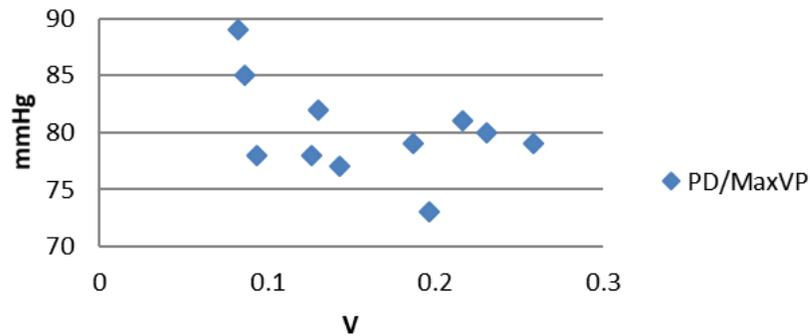


Fig. 7. Gráfica de dispersión de la presión diastólica en relación con el voltaje.

Resultados del segundo estudio

Se realizó un segundo estudio propuesto con un formato diferente al primero, que pudiera rescatar alguna relación de las variables para el mismo individuo, con el fin de conocer si para cada persona la presión si se relaciona y de qué manera. Se realizaron trece pruebas con 4 muestras cada una. Una al inicio y las otras tres después de transcurrido un tiempo, según la metodología.

Los resultados de la prueba 1 son los de la tabla 3, y en ella se registraron los valores de las 4 mediciones de presión arterial. El tiempo que tarda el esfigmomanómetro digital en tomar lectura es de 40 a 60 segundos y tiene que ser tomada sin movimiento, de tal manera que el pedaleo a la bicicleta tuvo que detenerse al finalizar cada intervalo de tiempo y por lo general hubo un tiempo muerto de un minuto entre cada intervalo. Esto fue un inconveniente porque al relajarse la persona se corría el riesgo de repetición del mismo punto del esfuerzo que ya se hubiera registrado. Se tuvo que cuidar que el tiempo del intervalo en el que se midió la presión no fuera demasiado grande y que el individuo se sometiera en el siguiente bloque de pedaleo, al mismo ritmo de ejercicio del bloque anterior para no incurrir en la duplicación de puntos en la gráfica.

Tabla 3. Resultados de la primera prueba (sujeto 1) en el segundo caso de estudio.

Muestra	Intervalo (s)	PS (mmHg)	PD (mmHg)	RC (lat/min)	VP (Volt)	MaxV (Volt)
0	0	112	70	63	1.3714	1.547
1	60-110	127	75	93	1.4782	1.559
2	230-290	125	74	84	1.295	1.408
3	410	128	75	94	1.3714	1.494

La dispersión del sujeto al que se le realizó esta prueba, describe una relación entre presión y ritmo cardiaco que fue registrada parecida también en otros dos sujetos, la gráfica de la dispersión con una línea de tendencia cuadrática puede apreciarse en la figura 8 y la figura 9, en ellas se ve como hay una tendencia lineal al incremento de la presión a medida que incrementa el ritmo cardiaco.

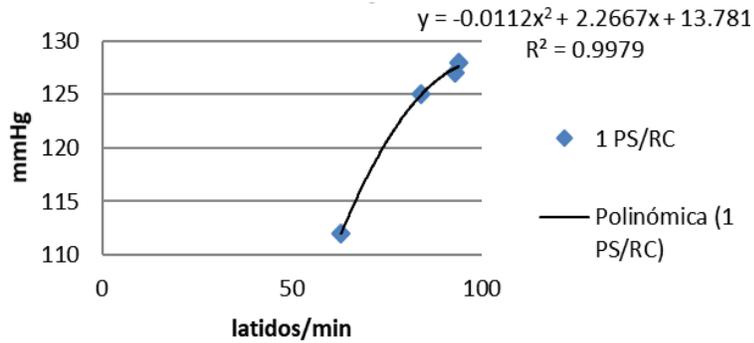


Fig. 8. Gráfica de dispersión de los puntos del sujeto de la prueba 1 (presión sistólica).

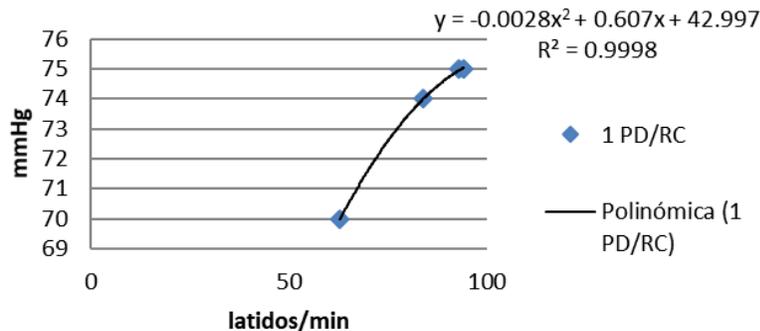


Fig. 9. Gráfica de la dispersión presión diastólica-ritmo cardiaco para el sujeto 1.

El caso anterior representa cuatro de los casos que se presentaron con una tendencia muy parecida con alta tendencia polinómica de segundo grado (cuadrática).

La mayoría de los casos que se presentaron corresponden a una tendencia precisamente cuadrática que hace notar que mientras en una primera parte el ritmo cardiaco crece junto con la presión arterial, se llega al punto en el que la presión arterial disminuye mientras el corazón incrementa su ritmo. La mayor parte de los sujetos que presentaron este comportamiento fueron los que más fatigados terminaron las pruebas. El comportamiento descrito puede verse en la fig. 10 y la fig. 11, la tabla de resultados del sujeto 7 que es a quien le corresponden estas gráficas es la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la séptima prueba (sujeto 7) en el segundo caso de estudio.

Muestra	Intervalo (s)	PS (mmHg)	PD (mmHg)	RC (lat/min)	VP (Volt)	MaxV (Volt)
0	0	119	74	68	1.0496	0.226
1	60-120	123	79	86	1.1118	0.3052
2	240-310	138	81	122	1.1024	0.2722
3	430	128	80	146	1.078	0.2214

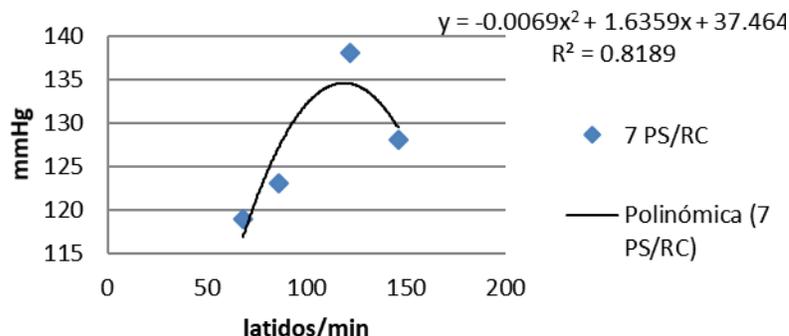


Fig. 10. Dispersión de los datos del sujeto 7 de la presión sistólica–ritmo cardiaco.

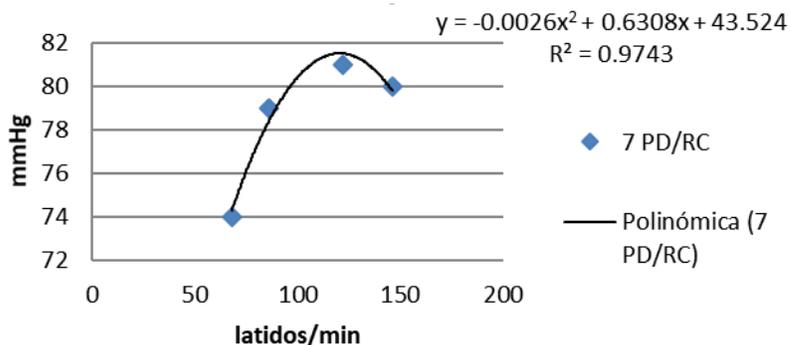


Fig. 11. Dispersión de los datos del sujeto 7 de la presión diastólica–ritmo cardiaco.

Aún cuando la mayoría de los sujetos entraron en una de dos clasificaciones luego de realizado el segundo estudio, hubo un caso que en el último punto no tuvo un comportamiento que entrara en ninguna de las dos tendencias que se identificaron, sin embargo su gráfica de dispersión y tendencia mostró ciertas similitudes con las del segundo caso. El problema identificado radica en la diferencia que existe entre el valor esperado del ritmo cardiaco y el valor leído en el esfigmomanómetro. El caso se revisó y se tomó el valor del RC medido por el monitor, que pudo registrar el valor esperado y

fue comprobado al revisar la gráfica del ECG generado. Así, finalmente el caso del sujeto 10 entró en la segunda clasificación de los sujetos que presentaron un comportamiento polinómico de segundo grado en la relación de la presión arterial y el ritmo cardiaco.

La gráfica original de la presión sistólica se observa en la gráfica de la fig. 12 y la gráfica corregida se muestra en la fig. 13, la corrección se hizo en el punto 4 que originalmente registro valores de (133 mmHg,122 latidos/min), y fue sustituido por (133 mmHg,156 latidos/min).

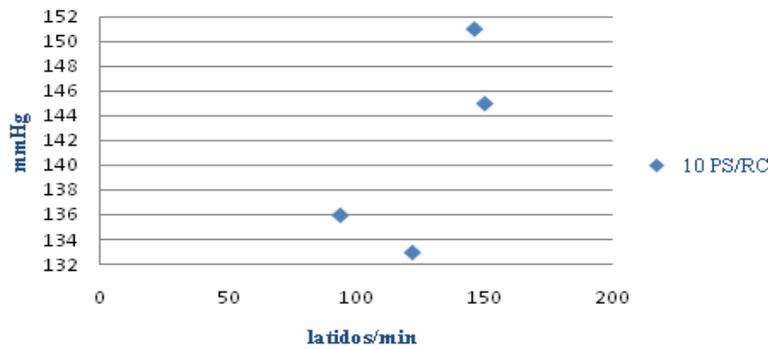


Fig. 12. Dispersión original del sujeto 10 de la presión sistólica - RC.

En la fig. 12 no se propone una tendencia por que la dispersión de los puntos obtendría una baja relación entre los puntos con la tendencia.

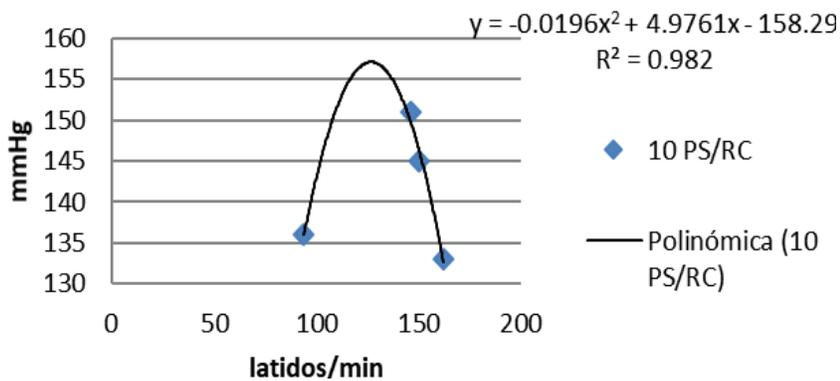


Fig. 13. Dispersión corregida de los datos del sujeto 10.

Como fue detectado este problema se tuvieron que revisar todos los casos para comprobar que el ritmo cardiaco leído fuera el correcto, y se advirtió que el valor medido

es muy cercano al que se registró en el ECG y en el monitor, así que se conservaron los casos como fueron adquiridos originalmente.

La relación entre la presión y el voltaje registrado del pico del complejo QRS resulta no ser significativa (con valores de R desde $R=0.001$ hasta máximo $R=0.445$), la mayoría de los casos presenta una tendencia a subir y luego a bajar tal como la tendencia la dispersión de los datos del sujeto 6 mostrada en la fig. 14, sin embargo, la variación en el voltaje no es lo suficientemente grande para afirmar que existe relación, e incluso a veces la variación parece ser aleatoria tal como lo presenta la fig. 15.

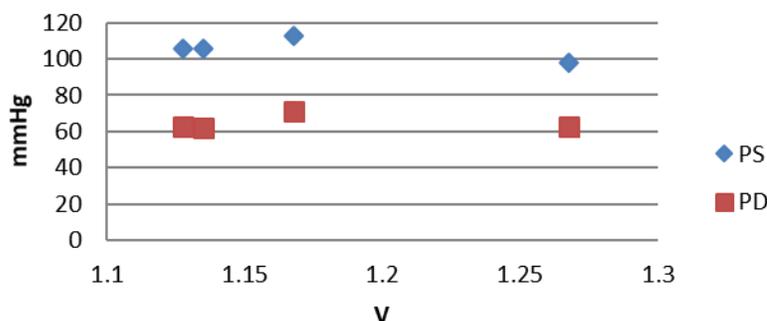


Fig. 14. Gráfica de dispersión del sujeto 6 de la presión arterial–MaxVP.

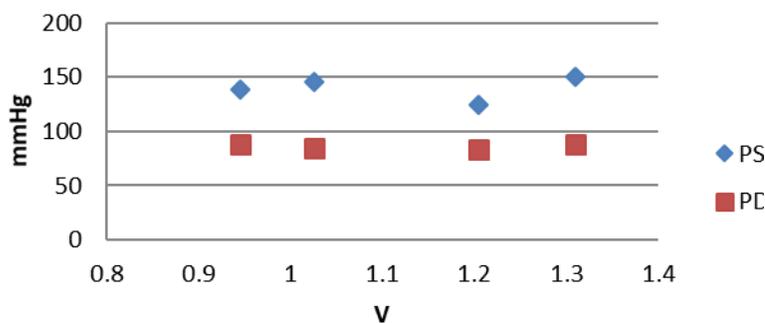


Fig. 15. Gráfica de dispersión del sujeto 2 con Presión arterial–axVP.

La fig. 15 parece tener un comportamiento similar que la mayor parte de los casos, sin embargo, la presión diastólica se comporta muy diferente de cómo lo hace la presión sistólica, además, el último punto (punto 4) sube en la presión en lugar de bajar como se esperaba. También parece ordenada la sucesión de los puntos, pero la realidad es que el primer punto no fue el primero registrado en el tiempo, y tampoco el segundo, y puede corroborarse con la tabla 5, que corresponde al caso del sujeto 2 en la fig. 15.

Tabla 5. Resultados del sujeto dos del segundo caso de estudio.

Muestra	Intervalo (s)	PS (mmHg)	PD (mmHg)	RC (lat/min)	VP (Volt)	MaxV (Volt)
0	23	125	83	61	1.2052	1.239
1	103-160	139	88	101	0.9456	1.235
2	230-280	146	85	94	1.0258	1.283
3	400	150	88	116	1.3092	1.391

De este comportamiento se advierte que el voltaje de pico máximo efectivamente parece tener un comportamiento aleatorio, o por lo menos independiente de la variación de presión arterial en la persona.

5. Conclusiones

Establecer una relación entre estas dos variables, o entre la presión sanguínea y el ritmo cardiaco, parecía una acción lógica que según la información que existe actualmente, es posible con el ritmo cardiaco. Sin embargo no se encontró información que describa alguna relación con el voltaje. Tal y como ya se sabe en el campo de la medicina, el ritmo cardiaco se relaciona con la presión arterial, pero no de una forma tan directa como se esperó al realizar estos estudios para desarrollar el monitor. Porque si bien se advirtió una relación cuadrática o polinómica de segundo grado para cada caso en particular, no se llegó a una ecuación general que pudiera describir la tendencia para todos los casos, debido a que por lo menos se involucran otras variables, tal como lo indica la literatura: el 'gasto cardiaco' y el 'flujo sanguíneo', que en cada persona provocan una variación de la ecuación, sin considerar, que puede haber otros factores que alteren la relación.

En la primera prueba no se llegó a alguna conclusión satisfactoria por la naturaleza de la prueba, pero se hace tentador suponer que el voltaje del pico máximo del complejo QRS tiene cierta relación con la variación de la presión arterial en reposo de persona a persona, sin embargo se observaron dos grupos que caían en dos zonas diferentes de la gráfica, no se puede afirmar correlación entre el voltaje del pico máximo del complejo QRS y la presión arterial.

6. Referencias

- [1] Dr. Guyton, A. C. (1985). *Fisiología Humana* (Quinta ed.). México D.F.: Nueva editorial Interamericana.
- [2] "Lesson 1: The Standard 12 Lead ECG". Yanowitz, Frank G., Library.med.utah.edu.
http://library.med.utah.edu/kw/ecg/ecg_outline/Lesson1/index.html#orientation, consultado el 30 de marzo de 2012.
- [3] "Virtual instrumentation", <http://www.ni.com/white-paper/4752/en>, consultado el 27 de marzo de 2012.
- [4] Lockwood, R. N., & Hayes, D. B. (2000). Sample Size for Biological Studies. Chapter 6, *Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates*, Fisheries Special Report. Michigan Department of Natural Resources. Michigan: Schneider, James C.