

Tech note: Analogy between the ventricular volume and the charge and discharge of a condenser

Aleida Cantor-Rudas * 

Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Abstract.- To establish the analogy of a biological system and a physical system, such as the ventricular volume and the charge and discharge of a capacitor, we proceeded to select from the succession of waves in the ECG record, three processes of the cardiac cycle that establish similarity. Firstly, the cardiac output was identified as the time constant that indicates the volume of blood ejected from the heart per unit of time, this constant in the physical process is the parameter that provides information of its variables as voltage or current in the charge phase or download. Consequently, the analysis of this process provides information regarding the behavior of the ventricular volume and its control through similar systems, such as the loading and unloading of a capacitor. In conclusion, a physical system and a biological system present analogies in their behavior, which is described qualitatively and quantitatively through a mathematical equation that allows to relate the variables that intervene in the phenomenon under study.

Keywords: heart rate; cardiac output; ventricular volume; analysis by analogy.

Nota técnica: Analogía entre el volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador

Resumen.- Para establecer la analogía de un sistema biológico y un sistema físico, como el volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador se procedió a seleccionar de la sucesión de ondas en el registro del electrocardiograma (ECG), tres procesos del ciclo cardíaco que establecen semejanza. Primeramente, se identificó el gasto cardíaco como la constante de tiempo que indica el volumen de sangre expulsada del corazón por unidad de tiempo, esta constante en el proceso físico es el parámetro que proporciona información de sus variables como voltaje o corriente en la fase de carga o descarga. En consecuencia, el análisis de este proceso proporciona información respecto al comportamiento del volumen ventricular y su control a través de sistemas semejantes, como es el caso de la carga y descarga de un condensador. En conclusión, un sistema físico y un sistema biológico presentan analogías en su comportamiento, el cual es descrito cualitativamente y cuantitativamente a través de una ecuación matemática que permite relacionar las variables que intervienen en el fenómeno en estudio.

Palabras clave: frecuencia Cardíaca; volumen ventricular; análisis por analogía.

Recibido: 26 de mayo, 2020.

Aceptado: 23 de julio, 2020.

1. Introducción

La necesidad de contar con herramientas que permitan registrar y analizar las secuencias de imágenes provenientes de un equipo de videoangiografía, originó investigaciones que aportaron el diseño e implementación de un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes

angiográficas, que adicionalmente permite la evaluación de la función ventricular, mediante la estimación de parámetros asociados a la misma, Esta visualización invasiva se obtiene mediante imágenes de rayos X obtenidas luego de la inyección de un producto de contraste radio opaco en la estructura anatómica [1].

Es sorprendente visualizar los sistemas biológicos y físicos en sus comportamientos gráficos y encontrar analogías en las trayectorias en rangos específicos. Se entiende por sistema biológico al sistema de órganos y tejidos en el humano y sistema físico, como una conexión o interacción o modelo matemático de tipo causal. Lo primero

* Autor para correspondencia:

Correo-e: aleidacant@hotmail.com (A. Cantor-Rudas)

que se plantea por añadidura son las ecuaciones matemáticas del fenómeno físico y su gráfica para comparar el lugar geométrico del sistema biológico con sus respectivas variables.

1.1. Descripción del ciclo cardiaco

En esta oportunidad, se presenta la analogía entre el volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador. Para esto, se describe el proceso de diástole y sístole del corazón en su ciclo cardiaco con sus respectivas gráficas para posteriormente presentar una descripción de la gráfica seleccionada, como es la del volumen ventricular y la gráfica de la carga y descarga del condensador desde un análisis cualitativo y cuantitativo los cuales se indican en la Figura 1.

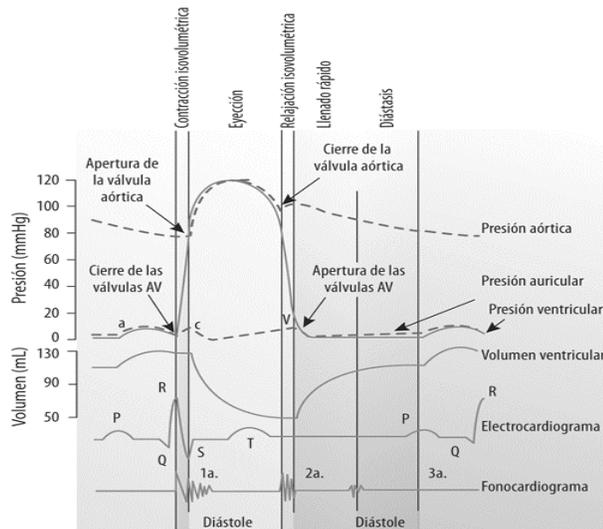


Figura 1: Gráficas de presión, volumen, electrocardiograma y fonocardiograma para el ciclo cardiaco [4]

1.1.1. Proceso de diástole y sístole

El sistema biológico de estudio presenta siete eventos: sístole auricular, contracción isovolumétrica, eyección rápida, eyección reducida, relajación isovolumétrica, llenado ventricular rápido y diástasis [2] de los cuales se seleccionaron tres por presentar semejanza con el sistema físico en la etapa de carga y descarga. Estos eventos son los siguientes: contracción isovolumétrica, eyección rápida, y relajación isovolumétrica. En el estudio de cada proceso de diástole y sístole en el corazón, se

señalan entonces las gráficas de presión, volumen y el electrocardiograma (ECG) [2].

1.1.2. Contracción isovolumétrica

En el comienzo de la sístole, las válvulas auriculoventriculares (AV) del corazón se cierran. Eléctricamente la sístole ventricular se define como el intervalo entre el complejo QRS y el final de la onda T (el intervalo Q-T). Mecánicamente, la fase isovolumétrica de la sístole ventricular se define como el intervalo entre el cierre de las válvulas AV y la apertura de las válvulas semilunares (válvulas aórtica y pulmonar).

En cuanto a las presiones y volumen, las válvulas AV se cierran cuando la presión en los ventrículos excede la presión en las aurículas. A medida que los ventrículos se contraen isovoluméticamente, su volumen no cambia. La presión interna aumenta, acercándose a la presión en la aorta y las arterias pulmonares. En el ECG, el impulso eléctrico se propaga desde el nodo AV a través del paquete de His y el sistema de Purkinje para permitir que los ventrículos se contraigan desde el vértice del corazón hacia la base. El complejo QRS se debe a la despolarización ventricular y marca el comienzo de la sístole ventricular.

1.1.3. Eyección rápida

En el corazón, las válvulas semilunares (aórtica y pulmonar) se abren al comienzo de esta fase de la sístole ventricular. Mientras los ventrículos continúan contrayéndose, la presión en los ventrículos excede la presión en la aorta y las arterias pulmonares; las válvulas semilunares se abren, la sangre sale de los ventrículos y el volumen en los ventrículos disminuye rápidamente. A medida que ingresa más sangre a las arterias, aumenta la presión hasta que el flujo de sangre alcanza su punto máximo. La onda “c” de presión auricular normalmente no es discernible en el pulso venoso yugular. La contracción del ventrículo derecho empuja la válvula tricúspide dentro de la aurícula y aumenta la presión auricular, creando una pequeña onda en la vena yugular. Normalmente es simultáneo con el pulso carotídeo.

1.1.4. Relajación isovolumétrica

El comienzo de la diástole en el corazón, las válvulas AV están cerradas. La aurícula en diástole se ha estado llenando de sangre en la parte superior de la válvula AV cerrada, causando que la presión auricular aumente gradualmente. La onda “v” se debe al flujo inverso de sangre después de que golpea la válvula AV cerrada. Es la segunda onda discernible del pulso venoso yugular. La presión en los ventrículos continúa bajando. El volumen ventricular es mínimo y está listo para llenarse nuevamente con sangre.

2. Metodología

Descrito el proceso de diástole y sístole para el volumen ventricular del sistema biológico, se procedió a comparar con un sistema físico como el proceso de carga y descarga de un condensador. Se observa que la gráfica del volumen ventricular, presenta semejanza con las gráficas del sistema físico. Para comprobar esta observación, se formuló estadísticamente como una hipótesis, para luego aplicar una prueba de Chi Cuadrado con los datos de las señales del electrocardiograma en las gráficas del volumen ventricular teóricas y se relacionaron con las gráficas obtenidas con los datos de un electrocardiograma de un experimento con radiación de colores [3] con las que se obtuvo nuevamente el volumen ventricular con las ecuaciones del sistema físico.

2.1. Analogía cualitativa del volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador

Primeramente el condensador se comporta en dos condiciones, en el proceso de carga cuando se encuentra descargado es un corto circuito y en el proceso de descarga está totalmente cargado es un circuito abierto o una fuente de voltaje. Existen dos conexiones para un circuito RC, en serie o paralelo, como se muestra en la Figura 2 y la Figura 3 [4].

Estas conexiones se han presentado como modelos del sistema cardiovascular, donde se asume un flujo estacionario o permanente [5], a diferencia a esta investigación que se presenta el régimen transitorio de los procesos descritos de diástole y sístole en el caso del volumen ventricular.

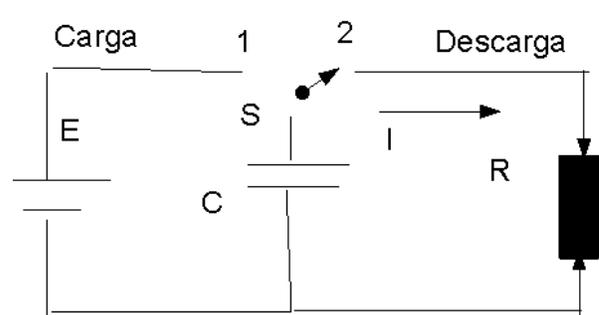


Figura 2: Conexión serie

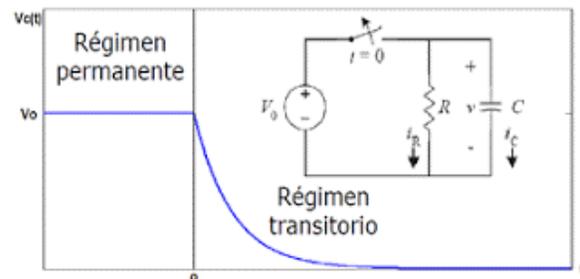


Figura 3: Conexión paralelo

En las Figuras 2, 3 y 4 se observan los procesos de carga y descarga del condensador en su régimen transitorio [4], se comparan con las tres fases del volumen ventricular [2] descritas anteriormente para obtener los siguientes hallazgos:

1. En la contracción isovolumétrica, la sangre sale por la aorta y arteria pulmonar, y el volumen permanece constante, como se visualiza en la Figura 1. La gráfica de volumen se asemeja a la carga del condensador y se observa que el volumen se ubica en la parte final del proceso de carga, donde el voltaje es constante, de acuerdo con la Figura 3 y la Figura 4. En esta fase ocurre que, la sangre sale del corazón y su volumen permanece constante, como se indicó anteriormente, por lo que se puede decir que se inicia el proceso de descarga. En la fase de eyección rápida, los ventrículos continúan en contracción y la sangre en su proceso de salida por la aorta y la arteria pulmonar, evidenciándose un descenso en el volumen como se observa en la Figura 1, lo cual tiene semejanza con el proceso de descarga del condensador.

2. En la fase de relajación isovolumétrica, los ventrículos están en contracción o cerrados, la sangre continúa saliendo por la aorta y la arteria pulmonar y entra por el atrium simultáneamente.

El volumen se encuentra en la fase de descarga del condensador, en la fase final de esta, como se observa en la Figura 4 [4].

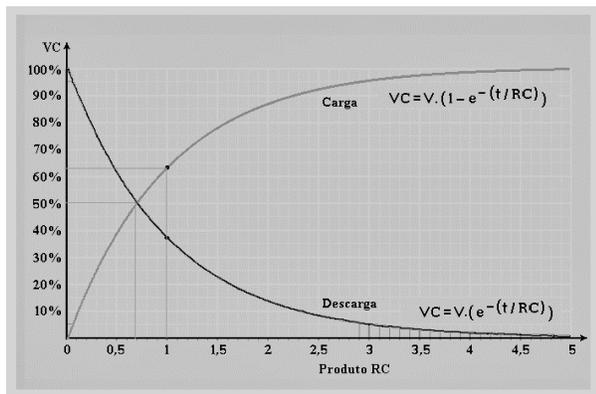


Figura 4: Carga y descarga de un condensador. Conexión serie [4].

2.2. Analogía cuantitativa del volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador. Ecuaciones matemáticas

En las ecuaciones de carga y descarga de un condensador se observa que cuando el parámetro τ alcanza una magnitud equivalente a RC , representa la constante de tiempo que tarda en cargarse y descargarse el condensador [4] (Figura 4). Estas gráficas representadas en papel milimetrado corresponden a el lugar geométrico de las funciones matemáticas denominadas exponenciales de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2). Así mismo este lugar geométrico también puede ser representado en papel semi logarítmico, obteniéndose una función lineal o recta cuya pendiente es la constante de tiempo τ [6].

$$v_c = v_0 \cdot e^{\frac{-\tau}{RC}} \tag{1}$$

$$v_c = v_0 \cdot \left(1 - e^{\frac{-\tau}{RC}} \right) \tag{2}$$

Para realizar una comparación entre el sistema físico y biológico, esta constante se relaciona con el gasto cardiaco, definido como el volumen de sangre expulsada por unidad de tiempo, lo que justamente ocurre en el proceso biológico descrito

anteriormente. El gasto cardiaco se define como el producto de la frecuencia cardiaca (latidos/min) y el volumen por latido (mL). Para una frecuencia cardiaca de 70 latidos/min y un volumen de 70 mL, el gasto cardiaco es igual a 5 L/min, este es el idóneo para un sistema biológico normal.

En el sistema físico, los valores de R y C se seleccionan para obtener gráficas con diferentes pendientes de rectas que indican la descarga del condensador [6]. Para este estudio, se tomaron los datos de pulso/min recolectados en otra investigación [3] y se calculó el gasto cardiaco para cada ítem, considerando el valor de volumen inicial de $V = 130$ mL de la Figura 1 y se aplicaron la ecuaciones (1) y (2), de carga y descarga de un condensador (VC), obteniéndose los resultados del volumen ventricular para los tres procesos estudiados: contracción isovolumétrica, eyección rápida y relajación isovolumétrica, los cuales se muestran en las Tablas 1, 2 y 3 respectivamente, y se visualizan gráficamente por medio de las Figuras 5, 6 y 7.

Tabla 1: Comportamiento del volumen ventricular en la etapa de Contracción isovolumétrica

Frecuencia cardiaca (pulso/min)	tiempo (s)	Volumen ventricular VV (L)
65	0	0
64	0,1	0,07
66	0,2	0,1
65	0,3	0,11
66	0,4	0,12
64	0,5	0,13
65	0,6	0,13
64	0,7	0,13
66	0,8	0,13

Gasto cardiaco (L/seg) = 0,14

Al comparar las Figuras 1, 4 y 5 se verifica que presentan semejanza en cuanto al lugar geométrico que controla a los dos sistemas. En la Figura 1 se visualiza la etapa final del proceso de carga del condensador, como se mencionó anteriormente.

En la Figura 1, 4 y 6 se observa el proceso de descarga del condensador, el cual se visualiza parte de su recorrido.

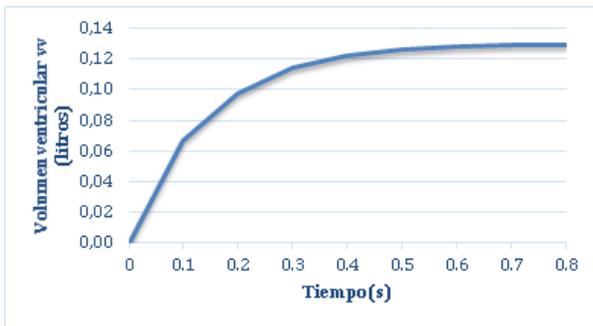


Figura 5: Gráfica de Volumen (proceso de Carga)-contracción isovolumétrica

Tabla 2: Comportamiento del volumen ventricular en la etapa de Eyección rápida

Frecuencia cardiaca (pulso/min)	tiempo (s)	Volumen ventricular VV(L)
66	0	0,13
64	0,1	0,06
65	0,2	0,03
65	0,3	0,02
65	0,4	0,01
63	0,5	0
66	0,6	0
64	0,7	0
65	0,8	0

Gasto cardiaco (L/seg) = 0,14

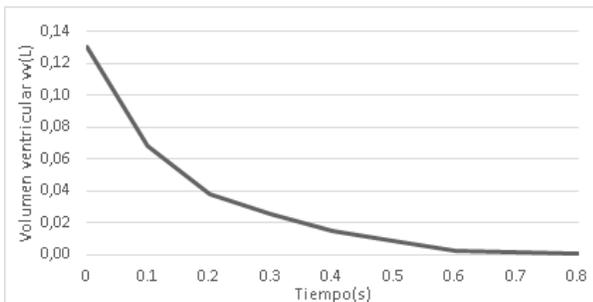


Figura 6: Gráfica de Volumen (proceso de descarga). Eyección rápida

En la Figura 1, 4 y 7 se observa la etapa final del proceso de descarga, y se evidencia que se dará inicio al proceso de carga.

2.3. Analogía de la señal del electrocardiograma (ECG)

Para validar la analogía del comportamiento de las gráficas del volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador, se utilizó la ecuación

Tabla 3: Comportamiento del volumen ventricular en la etapa Relajación isovolumétrica

Frecuencia cardiaca (pulso/min)	tiempo (s)	Gasto cardiaco (L/seg)	Volumen ventricular VV(L)
68	0	0,15	0,13
71	0,1	0,15	0,07
74	0,2	0,16	0,04
85	0,3	0,18	0,03
84	0,4	0,18	0,01
86	0,5	0,19	0,01
68	0,6	0,15	0
71	0,7	0,15	0
74	0,8	0,16	0

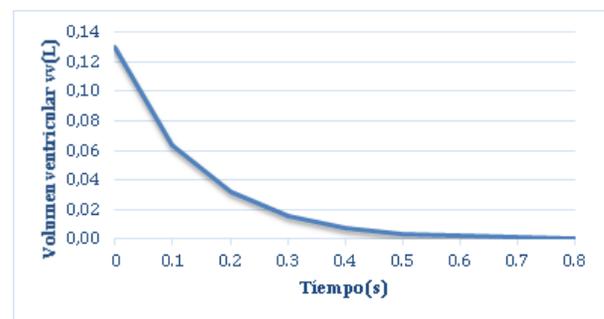


Figura 7: Gráfica de Volumen (proceso de descarga). Relajación isovolumétrica

del voltaje del condensador en función del tiempo en la fase de carga y de descarga para generar las gráficas ya establecidas o conocidas (Figura 4). De la misma manera, se procedió a interpretar las señales registradas en el electrocardiograma en la Figura 1 en los eventos seleccionados del proceso de diástole y sístole y las fases de carga y descarga del condensador.

Se tomaron los datos de frecuencia cardíaca (pulso/min) de la Tabla 1 [3] en función del tiempo de duración del ciclo cardíaco de las gráficas de volumen ventricular. Verificando que la imagen del ECG del lapso RS de la contracción isovolumétrica y el ciclo de carga del condensador con el volumen ventricular se asemejan como se evidencia en las Figuras 1, 4 y 8. paralelamente, en las Figuras 1, 4 y 9 se observa el lapso ST del ECG y el comienzo del ciclo de descarga del condensador en la gráfica del volumen ventricular.

Comparando la Figura 1 y Figura 4 con la

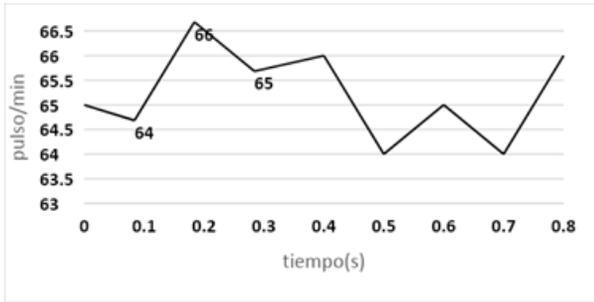


Figura 8: Ritmo cardíaco RS

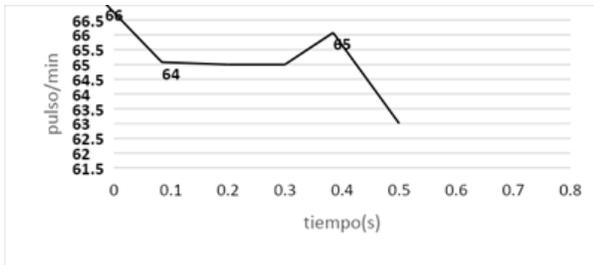


Figura 9: Ritmo cardíaco ST

Figura 10 se observa el lapso U del ECG y la finalización del ciclo de descarga y el inicio del ciclo de carga del condensador en la gráfica del volumen ventricular.

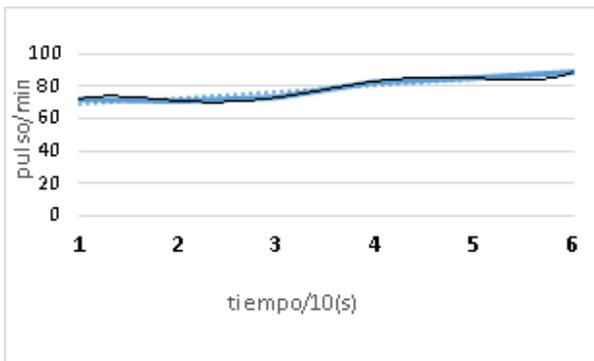


Figura 10: Ritmo cardíaco U

3. Discusión de resultados

Se emplearon tres métodos para verificar el comportamiento del volumen ventricular y la carga y descarga del condensador para así establecer la analogía cualitativa, cuantitativa y la señal del ECG generada para cada proceso del sistema biológico en estudio. Los datos de frecuencia cardíaca utilizados [3] cumplieron con las disposiciones del

Código de Ética para la Vida [7] y la teoría de muestreo [8]. Con estos datos se obtuvieron las gráficas de volumen en función del tiempo, que se muestran en las Figuras 5, 6 y 7 que se asemejan con las gráficas de voltaje en función del tiempo, para la carga y descarga del condensador de la Figura 4 y como constante de tiempo el Gasto cardíaco para el sistema biológico y RC para el sistema físico. Con todo esto, se logró la simulación de un proceso que permitió el control de las variables que intervienen, lo que establece la elaboración de estrategias que beneficien su desempeño. Es significativo emular un sistema biológico a través de un sistema físico, cuyas variables poseen la facilidad de control, lo que es impredecible en un sistema biológico, el cual tiene un comportamiento general pero que es adaptado a cada individuo en particular de acuerdo a características específicas intrínsecas además de no ser invasivo.

Tabla 4: Cálculo de errores e incertidumbres

	Tiempo (s)	Etapa (pulsos/s)		
		A	B	C
\bar{x}	0,4	1,0796	1,2611	1,0833
σ	0,273	0,016	0,122	0,014
EI	0,1	1	1	1
EE	0,273	0,016	0,122	0,014
Δx	0,186	1,016	1,122	1,014
UA	0,091	0,005	0,040	0,004
UB	0,1	1	1	1
UV	0,13	1	1	1
ΔVol (%)	—	2,90	3,70	2,92
Uvol (%)	—	2,03	2,35	2,03
$\bar{x}vol$ (L)	—	0,028	0,03	0,101

A: Rápida eyección (sístole/vaciado) (VSF)
 B: Relajación isovolumétrica (sístole/vaciado) (VSF)
 C: isovolumétrico (diástole/llenado) (VDF)
 EI: Error instrumental, EE: Error estadístico
 Δx : Error absoluto
 UA: Incertidumbre Tipo A, UB: Incertidumbre Tipo B
 UV: Incertidumbre variable directa
 ΔVol : Error absoluto del volumen
 Uvol: Incertidumbre del volumen

En cuanto a la validación de las gráficas obtenidas, se procedió al cálculo de los errores e incertidumbre de las variables directas, tiempo y pulso/min y la variable indirecta, volumen ventricular los cuales se indican en la Tabla 4. Cabe mencionar que, el rango de valores del volumen ventricular está comprendido desde 0,05 hasta

Tabla 5: Comparación de resultados obtenidos

Etapa	Volumen (mL)	Error (%)	Procesamiento digital		
			Médico (mL)	Sistema (mL)	Error (%)
A	28,31	2,90	20,00	19,61	1,95
B	32,13	3,70	33,67	32,12	4,60
C	101,57	2,92	104,64	109,42	4,57

A: Rápida eyección(sístole/vaciado)(VSF)
 B: Relajación isovolumetrica(sístole/vaciado) (VSF)
 C: isovolumétrico(diástole/lleñado) (VDF)

0,13 L; con un error aproximadamente del 3 %, lo que indica que el 97 % restante es acertado.

Estos resultados se comparan con los obtenidos al evaluar la función ventricular por el método Área_Longitud para el procesamiento digital de imágenes ventriculográficas y la manual por parte de personal médico. Además, de la analogía de las gráficas, otro elemento a considerar es el valor calculado del volumen ventricular, el cual se encuentra en el rango conocido o valor nominal, según la investigación mencionada [1]. Esto se muestra en la Tabla 5.

Además, se constató estadísticamente, si las variaciones observadas o calculadas (O) pueden atribuirse a las medidas tomadas o esperadas teóricamente (E) del volumen ventricular para cada tiempo, o a simples cuestiones del azar. Aplicando la prueba de hipótesis, por el método de chi cuadrado se obtiene para 8 grados de libertad y el 5 % de nivel de significación en la tabla basada en biometrika tables for statisticians, el valor de chi cuadrada o nivel crítico de 15,507 [9].

Para cada etapa del volumen ventricular los valores calculados de chi cuadrado indicados en las Tablas 6, 7 y 8 no sobrepasa este valor crítico y por lo tanto caen dentro del área de aceptación, esto quiere decir que la variación observada no tiene significancia por lo que es aceptada la hipótesis nula, la cual indica el propósito de la investigación en cuanto a la analogía entre las gráficas de volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador.

Tabla 6: Resultados obtenidos Chi cuadrado. Etapa A: Rápida eyección(sístole/vaciado)

Tiempo (s)	E	O	$(E - O)^2/E$
0	0,13	0,13	0
0,1	0,11	0,06	0,02273
0,2	0,04	0,03	0,0025
0,3	0,05	0,02	0,018
0,4	0,02	0,01	0,005
0,5	0,02	0	0,02
0,6	0,01	0	0,01
0,7	0,01	0	0,01
0,8	0,01	0	0,01

χ^2 cal = 0,09823

E: esperadas teóricamente.
 O: observadas o calculadas.

Tabla 7: Resultados obtenidos Chi cuadrado. Etapa B: relajación isovolumétrica(sístole/vaciado)

Tiempo (s)	E	O	$(E - O)^2/E$
0	0,13	0,13	0
0,1	0,11	0,07	0,01455
0,2	0,04	0,04	0
0,3	0,05	0,03	0,008
0,4	0,05	0,01	0,032
0,5	0,05	0,01	0,032
0,6	0,05	0	0,05
0,7	0,05	0	0,05
0,8	0,05	0	0,05

χ^2 cal = 0,23655

E: esperadas teóricamente.
 O: observadas o calculadas.

4. Conclusiones

El parámetro que se debe considerar para comparar las gráficas de dos sistemas, como es en este caso, el volumen ventricular y la carga y descarga de un condensador es la constante

Tabla 8: Resultados obtenidos Chi cuadrado. Etapa C: isovolumetrico(diástole/llenado)

Tiempo (s)	E	O	$(E - O)^2/E$
0	0,13	0	0,13
0,1	0,11	0,07	0,014545
0,2	0,06	0,1	0,026667
0,3	0,05	0,11	0,072
0,4	0,05	0,12	0,098
0,5	0,05	0,13	0,128
0,6	0,04	0,13	0,2025
0,7	0,11	0,13	0,003636
0,8	0,13	0,13	0
			$\chi^2_{cal} = 0,675348$
			$\nu = 8$ $\chi^2_{0,05} = 15,507$

E: esperadas teóricamente.

O: observadas o calculadas.

de tiempo. Este dependerá de los factores que se consideren en el proceso ejecutado. En este sentido, se debe establecer el tipo de variables a comparar en relación a la incertidumbre intrínseca a ellas. Puede suceder que las variables sean aleatorias o determinísticas. En este caso, las variables del proceso de carga y descarga del condensador se escribieron en función de una expresión matemática explícita y obedecen a un modelo determinista.

Con respecto al volumen ventricular, esta trayectoria se puede considerar como perteneciente a un conjunto que puede estar perfectamente bien definida pero en casos futuros quizás no sean tan definidas y predecibles. Estas consideraciones son indispensables debido a la confiabilidad de sus resultados. Para los datos de frecuencia cardíaca considerados en la investigación, se ajustaron a lo esperado en el modelo matemático con sus respectivas variables.

5. Referencias

- [1] V. Barrios, M. Montilla, and M. Cerrolaza, *Avances Recientes en Bioingeniería: Investigación y Tecnología Aplicada*. Caracas, Venezuela: Sociedad Venezolana de Métodos Numéricos en Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 1997.
- [2] J. A. F. Tresguerres, C. Ariznavarreta, C. Ariznavarreta Ruiz, J. Tamargo Menéndez, J. A. H. Tresguerres, M. Romano Pardo, V. Cachofeiro, F. Mora Teruel, D. Cardinali, V. Lahera Juliá, P. Gil-Loyzaga, and

E. Escrich Escriche, *Fisiología Humana*, 4th ed. McGraw-Hill Interamericana, 2010.

- [3] A. Cantor Rudas, “Nota técnica: Frecuencia cardiaca después de la exposición a longitudes de onda del espectro visible en áreas del cuerpo humano,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 23, no. 2, pp. 216–222, 2016.
- [4] F. J. Bueche, F. M. Nicolau, and A. P. Contreras, *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*, 4th ed. McGraw-Hill Interamericana, 1991, vol. 1.
- [5] K. Gómez Pérez and A. D’Alessandro Martínez, “Modelos de sistemas fisiológicos: Sistema cardiovascular,” *Revista Facultad de Ingeniería UCV*, vol. 21, no. 3, pp. 145–161, 2006.
- [6] L. Miliani de Souza and Z. González de Clamens, “Propuesta para la enseñanza del Laboratorio I de Física,” Trabajo de ascenso, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 1997.
- [7] Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias, *Tecnología e Industrias Intermedias. Código de ética para la vida*, Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, República Bolivariana de Venezuela, 2016.
- [8] R. Hernández Sampieri, M. d. P. Baptista Lucio, and C. Fernández Collado, *Metodología de la investigación*, 6th ed. McGraw-Hill, 2006.
- [9] I. Miller and J. Freund, *Probabilidades y Estadística para Ingenieros*. México: Editorial Reverté, S.A., 2002.