

RESEARCH / INVESTIGACIÓN

Metodología para calcular la amplitud y orientación espacial del vector total de cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos

Methodology to calculate the amplitude and spatial orientation of the total vector of each electrocardiographic wave in quadrupeds

Alberto Pompa Núñez¹ y Dania Yusimí Pompa Rodríguez²

DOI. 10.21931/RB/2020.05.03.5

Resumen: El objetivo de este trabajo es exponer la metodología para calcular la ubicación espacial del Vector eléctrico Total (VT) que genera a cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos, a partir de la lectura de su correspondiente amplitud en 3 derivaciones monopares. Se utilizaron 100 bovinos de uno y de otro sexo de la raza Holstein, clínicamente sanos y de todas las categorías. Las derivaciones monopares empleadas en el plano xy fueron V_{1C} , V_{2E} , V_{2C} y en el eje z perpendicular a este plano, la V_{10} . A partir de los datos de amplitud leídos en el electrocardiograma (ECG) se realizó el análisis vectorial para ubicar, espacialmente, el vector total de cada onda P, T, Q y R. Fueron adoptados como referencia los ejes x, y, z, lo que constituye un Sistema Triaxial de Análisis Vectorial (STAV). Se concluye que con la metodología establecida se puede calcular la orientación espacial del vector total de cada una de las ondas electrocardiográficas en los cuadrúpedos, a partir de los valores de amplitud leídos en tres derivaciones monopares y determinar los cambios en la dirección y sentido de los impulsos eléctricos en el miocardio, lo cual es un factor importante para el diagnóstico de las alteraciones cardíacas. Las causas de la gran variabilidad en la polaridad y morfología de las ondas en una extensa zona de la superficie corporal y de una limitada región en las que todas son igualmente estables se debe al sentido discordante en que se dirigen sus respectivos vectores.

Palabras clave: Cálculo vector eléctrico, ondas electrocardiográficas, derivaciones monopares, cuadrúpedos.

Abstract: The objective of this work is to expose the methodology to calculate the spatial location of the Total Electric Vector (VT) that it generates to each electrocardiographic wave in quadrupeds, from the reading of its corresponding amplitude in 3 monopolar leads. One hundred bovine animals of both sexes of the Holstein breed, clinically healthy and of all categories, were used. The monopolar leads used in the XY plane were V_{1C} , V_{2E} , V_{2C} , and in the z-axis perpendicular to this plane, V_{10} . The vector analysis was performed from the amplitude data read on the electrocardiogram (ECG) to locate, spatially, the total vector of each wave P, T, Q, and R. The x, y, and z axes were adopted as reference. What constitutes a Triaxial Vector Analysis System (STAV). It is concluded that with the established methodology, the spatial orientation of the total vector of each of the electrocardiographic waves in the quadrupeds can be calculated, from the amplitude values read in three monopolar leads and determine the changes in the direction and direction of the electrical impulses in the myocardium, which is an essential factor in the diagnosis of cardiac disorders. The causes of the significant variability in the polarity and morphology of the waves in a large area of the body surface and in a limited region in which they are all equally stable are due to the discordant direction in which their respective vectors are directed.

Key words: Electrical vector calculation, electrocardiographic waves, monopolar leads, quadrupeds.

Introducción

La producción de los potenciales de acción en órganos y tejidos originan corrientes que difunden hasta la superficie corporal y causan diferencias de potenciales eléctricos a este nivel, que se conocen como potenciales de superficie. Durante la propagación de los impulsos eléctricos en el corazón las regiones de signos opuestos son concebidas como dipolos elementales que, originan vectores que al sumarse constituyen el vector total que viaja por el músculo cardíaco activado.

Un vector se caracteriza por tener tres parámetros: dirección, sentido y amplitud. Su representación se hace a través de un segmento de recta que viene a ser una «flecha»¹. Dicho vector tendrá una proyección sobre la dirección de cada una de las derivaciones, por lo que la amplitud, morfología y polaridad de la onda electrocardiográfica registrada estará en dependencia del punto en el que se coloque el electrodo de registro². El Vector eléctrico Total (VT), vector eléctrico integral (VEI) o también llamado, eje eléctrico es la resultante de todas las

fuerzas eléctricas generadas en el corazón y que se van modificando a medida que se realiza el proceso de despolarización en cada infinitésimo de tiempo de una célula a la siguiente^{1,3}.

Se ha comprobado que, a partir de los valores de amplitud obtenidos para cada onda del electrocardiograma en derivaciones monopares y bipolares perpendiculares entre sí, se puede determinar la dirección y sentido de la proyección del vector total en determinados planos⁴. Con el empleo de derivaciones monopares, adecuadamente dispuestas, se puede determinar no sólo la amplitud y el sentido de las proyecciones, sino también las dimensiones del vector eléctrico total en el espacio⁵. Por tales razones, el objetivo de este trabajo es exponer la metodología para calcular la ubicación espacial del Vector eléctrico Total (VT) que genera a cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos, a partir de la lectura de su correspondiente amplitud en 3 derivaciones monopares.

¹ Hospital San Vicente de Paul. Ibarra. Ecuador.

² Profesor de Biofísica y Fisiología: San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Materiales y métodos

En la investigación que sirvió de base al establecimiento de la metodología se emplearon 20 bovinos de uno y otro sexo de la raza Holstein y de todas las categorías, clínicamente sanos, procedentes del Distrito de Producción Pecuaria de la Finca Guayabal, perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH) y del Centro Nacional de Inseminación Artificial Rosafé Signé.

Atendiendo a las variables sexo, edad, y época del año se subdividieron en ocho categorías que comprendieron:

1. 20 terneras con edades de 7 a 60 días y con un peso promedio de 72 Kg.
2. 20 terneros con edades de 7 a 60 días y con un peso promedio de 75 Kg.
3. 40 novillas incorporadas al plan de reproducción con edad promedio de 20 meses, y un peso de 302 Kg.
4. 25 sementales jóvenes incorporados al plan de extracción de semen con edad promedio de 21 meses y un peso de 546 Kg.
5. 25 sementales adultos con edad promedio de 7,8 años y un peso promedio de 1007 Kg.
6. El grupo de sementales jóvenes de la categoría 4, pero muestreado en el mes de agosto.
7. El grupo de sementales adultos de la categoría 5 muestreado en el mes de agosto.
8. 20 vacas lactantes con una producción de leche promedio de 13 litros diarios y una edad de 4,8 años. Estas se encontraban en el transcurso de la tercera lactación.

Con excepción de las categorías seis y siete que fueron muestreadas en el mes de agosto (época de lluvia), el resto de los animales fueron muestreados en el período comprendido entre octubre y febrero (época de seca).

Los electrocardiogramas se registraron en 20 derivaciones, nueve bipolares y 11 monopares, pero después de un amplio proceso de cálculos y valoraciones se seleccionaron 3 monopares. Durante el muestreo los animales se mantuvie-

ron en un estado de correcto aplomo sobre sus extremidades y separados del piso por medio de una manta aislante de goma. Las áreas destinadas a la colocación de los electrodos, fueron previamente depiladas, frotadas con alcohol y se les aplicó pasta conductora de electricidad. Los registros se efectuaron con un electrocardiógrafo portátil de fabricación japonesa, marca HITACHI, calibrado con una señal de 1 mV/cm y una velocidad de corrida del papel de 25 mm/s.

Resultados y discusión

Fundamentos de la metodología

En el análisis vectorial para determinar la ubicación espacial del VT asociado a cada una de las ondas del ECG en cuadrúpedos se utilizaron, inicialmente, las derivaciones monopares V_{1C} , V_{2E} , V_{2C} , y V_{10} ⁶. Los puntos correspondientes a cada una de ellas se indican en la figura 1A. En la figura 1B se muestra el sistema de coordenadas x, y, z y la ubicación que ocupan en él las direcciones en que se registran las derivaciones monopares empleadas.

Las derivaciones V_{1C} y V_{2C} se colocaron de modo que sus respectivas direcciones fueran perpendiculares entre sí y se intersecaran a nivel del centro eléctrico del corazón, el cual se consideró como el origen del sistema triaxial de coordenadas x, y, z. De esta forma, V_{1C} presenta un ángulo de desviación respecto al semieje positivo x de $\Phi_{x(xy)} = 45^\circ$ y V_{2C} de $\Phi_{x(xy)} = 135^\circ$. Como V_{1C} y V_{2C} se registran en puntos equidistantes de V_{2E} y sus direcciones forman entre sí un ángulo de 90° , entonces esta última derivación forma un ángulo de 45° con cada una de ellas y coincide con la dirección del eje y. La polaridad de las ondas electrocardiográficas obtenida en derivaciones monopares en bovinos y en equinos es similar, pero se manifiestan notables diferencias en la morfología que caracterizan a cada especie, al igual que en las derivaciones bipolares empleadas⁷⁻¹⁰.

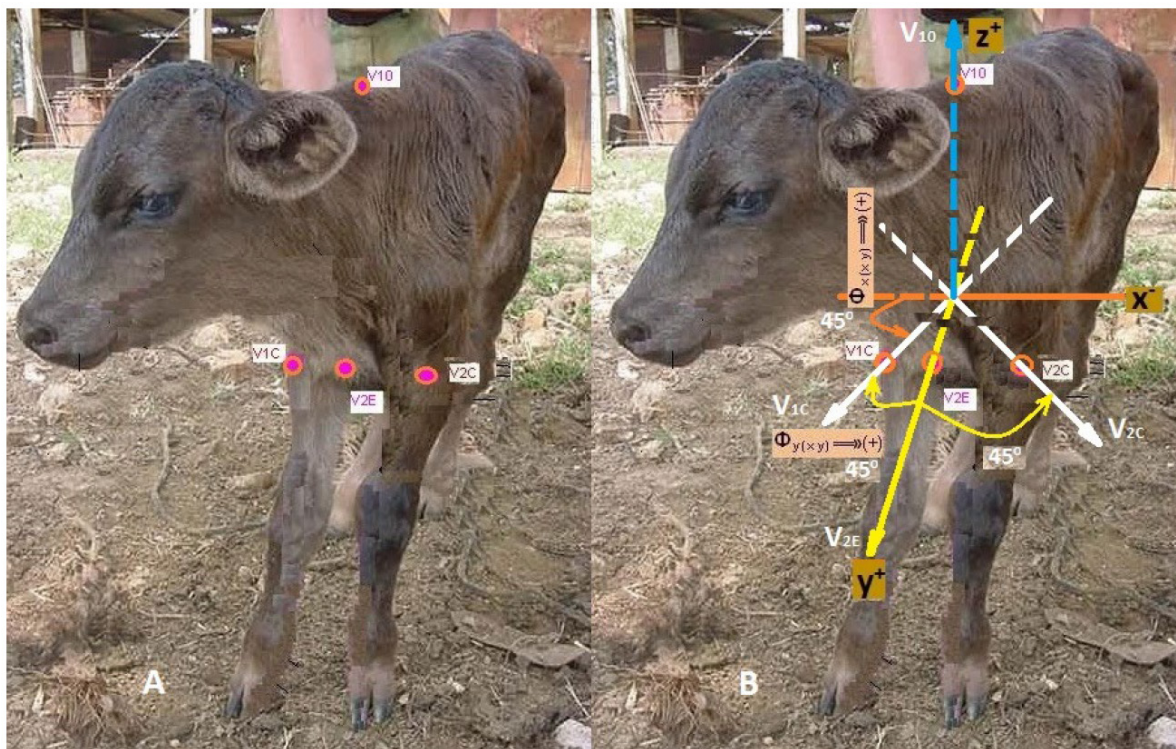


Figura 1. Derivaciones monopares empleadas para el análisis Vectorial.

Se señala que Robert P. Grant (1915-1966) fue el pionero de la vectocardiografía en el hombre, pues en 1950 describió un método para representar la dirección frontal y horizontal de un vector en un mismo diagrama, lo que se considera de suma utilidad en el análisis del electrocardiograma normal^{11,14} y para calcular el eje eléctrico e interpretar diversas alteraciones electrocardiográficas^{3,15,16}.

Varios investigadores han seguido esta metodología pero hacen referencia a la proyección del vector total sobre los cuadrantes del sistema rectangular cartesiano y no a su ubicación espacial en alguno de los 8 sectores espaciales (octantes) en el que puede quedar dividido el cuerpo del hombre o el del animal^{1,4}. Los cálculos no ubican el vector total que genera a cada onda en su disposición espacial^{17,18}, como se hace en este trabajo y en las investigaciones previas que fundamentan la metodología que aquí se detalla^{6,19}.

La amplitud del vector total es proporcional a la masa te tejido que es activada durante la despolarización y la repolarización del corazón, por eso se modifica en hipertrofias²⁰⁻²² y en dilataciones del miocardio²³. Su dirección y sentido pueden ser afectados por áreas de isquemia, necrosis y otros factores^{24,25}.

El ECG ha sido registrado en varias especies de animales cuadrúpedos, tales como bovino^{26,27}, equino^{9,28}, camello²⁹, cerdo^{30,31}, perro³² y búfalo³³, entre otros. El análisis vectorial en bovinos y en otros cuadrúpedos, utilizando las mismas derivaciones que en el hombre, han revelado una extraordinaria variabilidad de los resultados, por lo que no es posible tenerlos en cuenta desde el punto de vista diagnóstico³⁴⁻³⁷. Sin embargo, el electrocardiograma ha resultado muy útil para la detección de arritmias que son alteraciones muy frecuentes en el hombre y en los animales³⁸⁻⁴² ya que éstas se ponen de manifiesto en el análisis de los registros en el plano horizontal.

tal xy, los obtenidos en las derivaciones V_{1C} , V_{2E} , V_{2C} y en dirección del eje z en la derivación V_{10} , que es perpendicular al referido plano (Figuras 1 B y 2). Se adoptan como referencia los ejes x, y, z y por eso se denomina Sistema Triaxial de Análisis Vectorial (STAV)⁶.

En la figura 3, se puede observar la disposición espacial del VT y su proyección VT' sobre el plano xy, el ángulo de inclinación $\theta_{i(x,y)}$ y la desviación angular $\Phi_{x(xy)}$ y $\Phi_{y(xy)}$ de esta proyección con respecto a los semiejes positivos x y y.

El vector total presenta dos ángulos de inclinación más, no representados en la figura, uno con respecto a la proyección sobre el plano yz que se identifica como $\theta_{i(y,z)}$ y otro sobre la proyección en el plano xz, que recibe la denominación de $\theta_{i(x,z)}$.

Las amplitudes de las ondas electrocardiográficas en las derivaciones V_{1C} y V_{2C} , permiten calcular la proyección VT' del VT (Figura. 4), pues por su disposición mutuamente perpendiculares, se cumple que:

$$(VT')^2 = (V_{1C})^2 + (V_{2C})^2.$$

$$VT' = [(V_{1C})^2 + (V_{2C})^2]^{1/2}.$$

Para el cálculo del VT sería necesario obtener su proyección sobre el eje z, la cual se señala en la figura 3, como Cz y constituye el valor de amplitud leído en el ECG en la derivación V_{10} .

$$(VT)^2 = (VT')^2 + (V_{10})^2.$$

$$VT = [(VT')^2 + (V_{10})^2]^{1/2}.$$

No es imprescindible emplear los valores de amplitud obtenidos en V_{2E} en el algoritmo de los cálculos, pero constituyó una información muy útil porque permitió comprobar que la suposición de que las direcciones de V_{1C} y V_{2C} son perpendiculares es correcta, ya que se calculó V_{2E} como la proyección

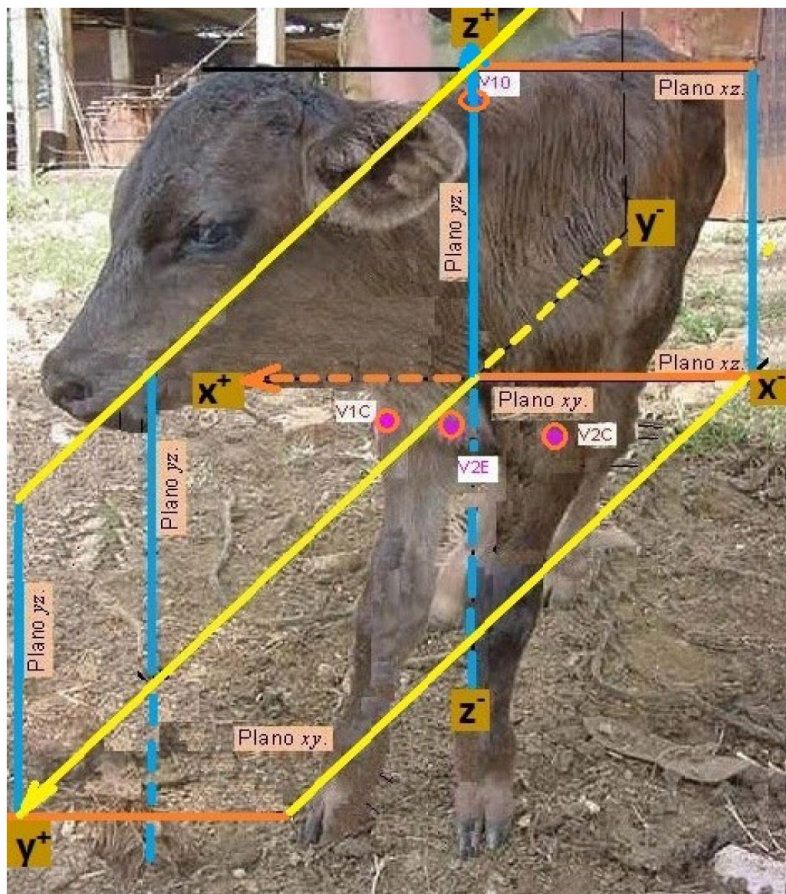


Figura 2. Planos de referencia en los que se proyecta el vector total (VT).

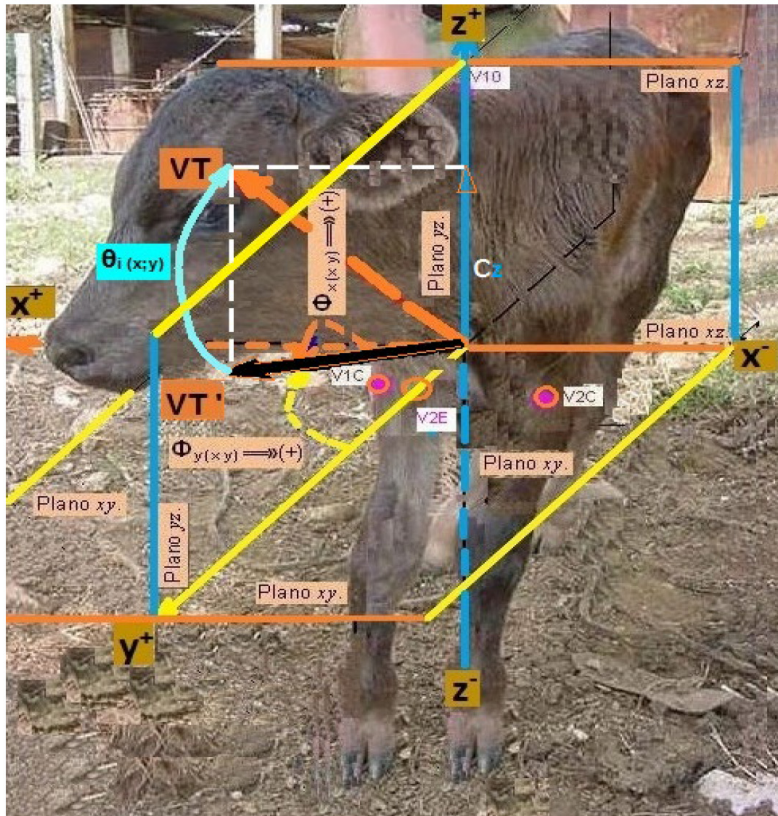


Figura 3. Proyección VT' del VT sobre el plano xy y ángulos que forma con los semiejes positivos x y y.

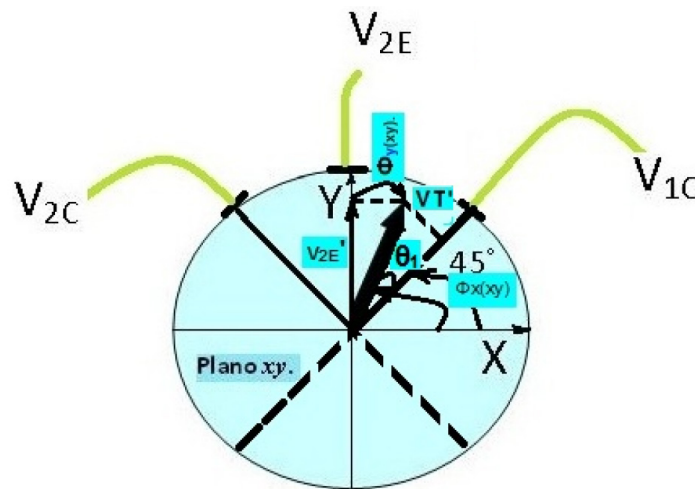


Figura 4. Proyección del vector VT' sobre la dirección de V_{2E} , en una vista posterior y dorsal.

del vector VT' sobre el eje y, lo que se indica en la figura 4, que representa una vista posterior y dorsal del plano horizontal xy:

$$V_{2E}' = VT' \cos \Phi_{y(xy)}$$

Cada valor calculado para V_{2E}' se comparó con el correspondiente valor de amplitud leído en el ECG en la derivación V_{2E} y finalmente se compararon las medias y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Para referir los ángulos de VT' a los semiejes positivos de las coordenadas x y se tiene en consideración la desviación inicial del sistema formado por las derivaciones V_{10} y V_{20} y la dimensión del ángulo θ_1 , desviación del vector VT' respecto a V_{10} .

Hay que tener presente que la dirección de V_{10} coincide con el eje z que es perpendicular al plano xy en el origen de coordenadas. En la figura 4 sale del plano del papel en dirección al lector.

Después de realizar las lecturas de la amplitud de las ondas en cada una de las 3 derivaciones monopoles V_{10} , V_{20} y

V_{10} , se procedió al establecimiento de las referencias y a los cálculos que se describen a continuación y que conforman la metodología.

La ubicación espacial del vector eléctrico integral o vector total que describe al complejo QRS y los correspondientes a las ondas P y T se realiza de acuerdo a los valores de α_x , α_y y α_z que representan los ángulos que cada vector forma con los semiejes positivos x, y y z, respectivamente. El objetivo final es calcular estos 3 ángulos. Para su determinación se transita por el siguiente algoritmo:

I. Adopción de las referencias.

1. Planos en que se proyecta el Vector Total (Figura. 2).

a.- El plano xy o plano horizontal en los cuadrúpedos, sobre el que están ubicadas las derivaciones V_{10} , V_{20} y V_{20} , separa al cuerpo del animal en parte ventral y parte dorsal. El eje

z, que es perpendicular a este plano, se asume como positivo hacia la parte dorsal y negativo hacia la ventral. El plano xy corresponde al plano frontal en los primates.

b.- El plano yz o plano longitudinal medio en los cuadrúpedos, separa al cuerpo del animal en una parte izquierda y una derecha aproximadamente iguales. Como quiera que todos los planos que son paralelos a él se denominan sagitales⁴³ y un plano es paralelo a sí mismo, lo denominaremos en lo adelante plano sagital medio. El eje x, que es perpendicular a este plano, en una vista posterior y dorsal, se asume como positivo hacia la derecha del animal y negativo hacia la izquierda. Este plano yz se corresponde con el sagital medio o longitudinal medio en los primates.

c.- El plano xz o plano transversal divide al cuerpo de los cuadrúpedos en una parte anterior y una posterior. En este caso, el eje y que es perpendicular a dicho plano, se asume como positivo hacia la parte anterior del animal y negativo hacia la posterior. El plano xz o plano transversal, se corresponde con el plano del mismo nombre en los primates, pero en estos últimos divide al cuerpo en porción superior e inferior.

Si la posición de observación es en la parte posterior del animal y se le realiza un corte transversal el semieje x es positivo hacia la derecha, el semieje z positivo hacia arriba y el semieje y positivo hacia delante.

2. Signos de los ángulos Φ descritos por la proyección VT' sobre el plano xy.

Situado en la parte posterior del animal (Figura 4), $\Phi_{x(y)}$ se asume como positivo cuando la proyección del vector VT' se mueve en sentido antihorario, hacia el semieje positivo y. Es negativo si se desplaza en sentido horario, o sea hacia el semieje negativo y. Se adopta $\Phi_{y(x)}$ positivo cuando la desviación de la proyección del vector VT' se desplaza hacia la derecha del eje y, hacia el semieje positivo x (en sentido horario) y negativo cuando gira a la izquierda, hacia el semieje negativo x (en sentido antihorario). Con esta convención, $\Phi_{x(y)}$ y $\Phi_{y(x)}$ tendrán signos opuestos en todos los octantes porque el VT se desplazará sólo en un sentido determinado.

3. Octantes en que se divide el cuerpo del animal y en los que se puede ubicar el vector total (Figura. 5).

Los análisis se pueden realizar a partir de una vista horizontal, transversal o sagital, sobre los planos xy, xz y yz, respectivamente, a partir de los ocho sectores en que queda dividido el espacio (octantes) que se ordenaron de manera tal que, visto el animal con la cabeza hacia delante en relación al observador, se tienen cuatro octantes ubicados en el dorso (α_z

< 90°) que son:

- Primero. - A la derecha y hacia delante ($\alpha_x < 90^\circ; \alpha_y < 90^\circ$).
- Segundo. - A la izquierda y hacia delante ($\alpha_x > 90^\circ; \alpha_y < 90^\circ$).
- Tercero. - A la izquierda y posterior ($\alpha_x > 90^\circ; \alpha_y > 90^\circ$).
- Cuarto. - A la derecha y posterior ($\alpha_x < 90^\circ; \alpha_y > 90^\circ$).

Los restantes octantes se ubican ventralmente ($\alpha_z > 90^\circ$) y se relacionan a continuación:

- Quinto. - Por debajo del primero ($\alpha_x < 90^\circ; \alpha_y < 90^\circ$).
- Sexto. - Por debajo del segundo ($\alpha_x > 90^\circ; \alpha_y < 90^\circ$).
- Séptimo. - Por debajo del tercero ($\alpha_x > 90^\circ; \alpha_y > 90^\circ$).
- Octavo. - Por debajo del cuarto ($\alpha_x < 90^\circ; \alpha_y > 90^\circ$).

Los rangos de valores de los pares de octantes adyacentes (1 y 5; 2 y 6; 3 y 7; 4 y 8, sólo se diferencian por el valor de α_z , lo que hay que tener presente para la ubicación espacial del vector Total. La numeración se realiza en sentido antihorario y por orden creciente en la mitad superior y luego por la inferior. Debe interpretarse que la porción que ilustra los octantes 1, 4, 5 y 8, gira 180° para exponer los restantes: 2, 3, 6 y 7.

La diferencia de posición de dos vectores que parten del origen y sean simétricos a la porción de plano que separa a dos octantes adyacentes y sus ángulos de inclinación sobre los otros dos planos sean iguales, es equivalente a la diferencia entre los ángulos α , que separan a cada uno de ellos del semieje positivo de la coordenada que es perpendicular al plano de separación de los dos octantes considerados. En la figura 5, los octantes adyacentes 1 y 4 quedan separados por la porción de plano xz, la coordenada perpendicular a este plano es y, por lo que las posiciones de dos vectores que sean simétricos, situados en dichos octantes, difieren sólo en el valor de del ángulo α_y , de modo que $\alpha_{y1} < 90^\circ$ y $\alpha_{y4} > 90^\circ$.

II. Desarrollo de los cálculos.

Primer paso

Cálculo de la proyección VT' del VT sobre el plano xy (Figura.6)

$$VT' = [(V_{10})^2 + (V_{20})^2]^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

a = Valor de la amplitud de la onda electrocardiográfica leída en V_{10} .

b = Valor de la amplitud de la onda electrocardiográfica leída en V_{20} .

En todas las ecuaciones las variables V_{10} , V_{20} y V_{10} se sustituyen por los correspondientes valores de amplitud que son leídos en el ECG.

$$VT' = [(a)^2 + (b)^2]^{1/2}$$

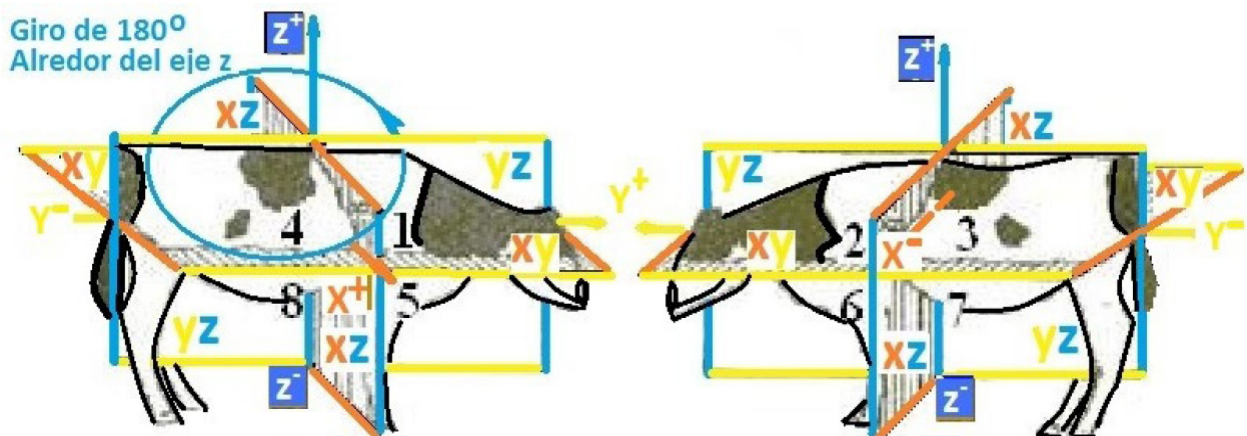


Figura 5. Sectores espaciales (octantes) en los que se divide el cuerpo de los cuadrúpedos para el análisis vectorial.

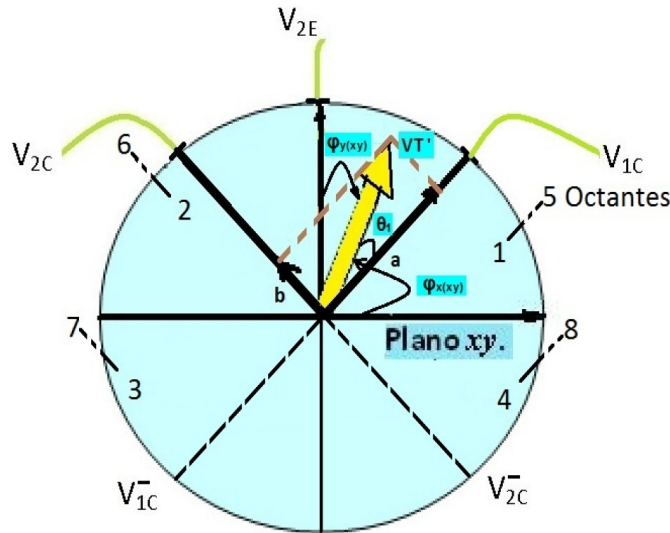


Figura 6. Posición relativa de V_{1C} , V_{2C} , V_{2E} y VT' sobre el plano xy , en una vista posterior y dorsal del animal.

Segundo paso

Cálculo de la desviación θ_1 del vector VT' respecto a V_{1C} . (Figura.6)

$$\theta_1 = \cos^{-1} V_{1C} / VT' \quad (2)$$

Tercer paso

Cálculo de la desviación $\Phi_{x(xy)}$ y $\Phi_{y(xy)}$ de VT' (Figura.6).

Las fórmulas a utilizar dependen de la ubicación del vector total en el espacio y de su correspondiente proyección VT' .

La primera condición plantea

a) Si $V_{1C} \geq 0$ y $V_{2C} \geq 0$ o $V_{1C} \leq 0$ y $V_{2C} \leq 0$ entonces;

$$\Phi_{x(xy)} = 45^\circ + \theta_1 \quad (\text{Referido al semieje positivo } x). \quad (3)$$

$$\Phi_{y(xy)} = 90^\circ - \Phi_{x(xy)} \quad (\text{Referido al semieje positivo } y). \quad (4)$$

Las ecuaciones 3 y 4 se cumplen en la segunda mitad del primero y del quinto octantes, en el segundo y el sexto y en la primera mitad del tercero y el séptimo. Se considera el giro θ_1 en sentido antihorario y se emplean las ecuaciones 3 y 4.

La segunda condición establece

b) Si $V_{1C} \geq 0$ y $V_{2C} \leq 0$ o $V_{1C} \leq 0$ y $V_{2C} \geq 0$ entonces.

$$\Phi_{x(xy)} = 45^\circ - \theta_1 \quad (\text{Referido al semieje positivo } x). \quad (5)$$

$$\Phi_{y(xy)} = 90^\circ - \Phi_{x(xy)} \quad (\text{Referido al semieje positivo } y). \quad (6)$$

Las ecuaciones 5 y 6 se cumplen en la segunda mitad del tercero y del séptimo octantes en el cuarto y en el octavo y en la primera mitad del primero y del quinto octantes. Se considera el giro θ_1 en sentido horario. Debe tenerse en cuenta que el valor mínimo de $\theta_1=0$; es decir no se consideran valores negativos.

Cuarto paso

Cálculo del vector total VT

$$VT = [(V_{10})^2 + (VT')^2]^{1/2} \quad (7)$$

Quinto paso

Cálculo del ángulo de inclinación del vector total con respecto al plano xy (Figura 7).

$$\theta_{i(xy)} = \cos^{-1} VT' / VT \quad (8)$$

Sexto paso

Determinación de la ubicación espacial del vector VT . Para ello se calculan los ángulos α_x , α_y y α_z que representan la desviación angular con respecto a los semiejes positivos x , y y z , respectivamente.

a) Para calcular α_x , que nos da la desviación angular del vector total respecto al semieje positivo x , tendremos:

$$\alpha_x = \cos^{-1} [\cos \Phi_{x(xy)} \cdot \cos \theta_{i(xy)}] \quad (9)$$

b) Para calcular α_y , que constituye el ángulo que forma el vector total con el semieje positivo y , tendremos;

$$\alpha_y = \cos^{-1} [\cos \Phi_{y(xy)} \cdot \cos \theta_{i(xy)}] \quad (10)$$

Donde $\Phi_{x(xy)}$ y $\Phi_{y(xy)}$ son los ángulos que separan la proyección del vector total (VT') del semieje positivo x y del semieje positivo y .

c) Para calcular α_z puede utilizarse el mismo método, procediendo de la siguiente manera:

I.- Cálculo de la proyección del vector VT' sobre el eje x (Figura 7).

$$X' = VT' \cdot \cos \Phi_{x(xy)} \quad (11)$$

II.- Cálculo de la proyección (VT'_z) del vector total sobre el plano xz .

$$VT'_z = [(V_{10})^2 + (X')^2]^{1/2} \quad (12)$$

III.- Cálculo del ángulo de desviación, $\Phi_{z(xz)}$, del vector VT'_z respecto al eje z .

$$\Phi_{z(xz)} = \cos^{-1} V_{10} / VT'_z \quad (13)$$

IV.- Cálculo del ángulo de inclinación del vector total respecto al plano xz .

$$\theta_{i(xz)} = \cos^{-1} VT'_z / VT \quad (14)$$

V.- Finalmente se calcula α_z , que nos informa sobre la desviación angular del vector total respecto al semieje positivo z .

$$\alpha_z = \cos^{-1} [\cos \Phi_{z(xz)} \cdot \cos \theta_{i(xz)}] \quad (15)$$

Con este sistema de ecuaciones se determinó que la ubicación espacial del vector total de la onda P, en una muestra de 40 novillas, fue en el séptimo octante, con las coordenadas angulares $\alpha_x = 99^\circ$; $\alpha_y = 128^\circ$ y $\alpha_z = 138^\circ$, el de la onda Q en el octavo con $\alpha_x = 86^\circ$; $\alpha_y = 123^\circ$ y $\alpha_z = 126^\circ$, el de la onda R en

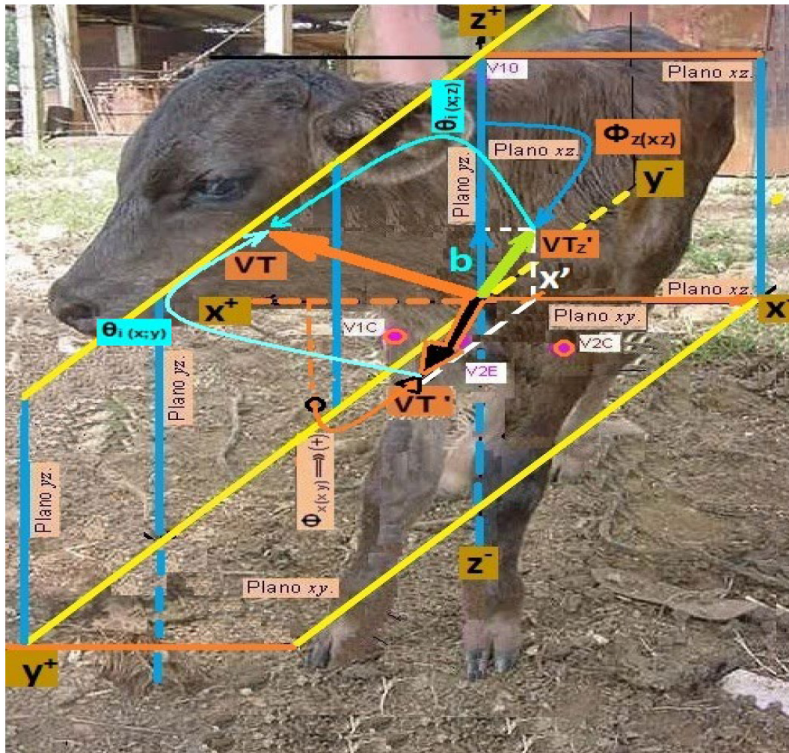


Figura 7. Ángulos de inclinación de VT y de sus proyecciones sobre los Planos xy y xz.

el segundo con $\alpha_x = 95^\circ$; $\alpha_y = 68^\circ$ y $\alpha_z = 24^\circ$ y el de la onda T en el octavo para el cual $\alpha_x = 87^\circ$; $\alpha_y = 132^\circ$ y $\alpha_z = 135^\circ$ (6).

La validez de la Metodología con el empleo de este Sistema Triaxial de Análisis Vectorial (STAV), fue corroborada empíricamente al medir la amplitud y localizar los puntos extremos de los dipolos de cada una de las ondas electrocardiográficas a nivel de la superficie corporal en el plano xz, con el empleo de 8 derivaciones pericardiales^{6,19}. Con ello, se obtuvo que, efectivamente, el sentido de los vectores que describen las ondas P, Q y T es hacia la parte ventral de los animales (séptimo y octavo octantes) y el correspondiente a la onda R es discordante, o sea hacia el dorso, con una ubicación en el segundo octante. Los resultados obtenidos por uno y otro método se compararon entre sí y no se encontraron diferencias significativas. A partir de los resultados que se calculan, según se indica en la metodología, se ubica gráficamente el vector de cada onda. Por otra parte, si se tiene en cuenta la diferente disposición del corazón en los primates no humanos y del hombre, la metodología puede ser totalmente extrapolada a estas especies.

Conclusiones

Se comprueba que con la metodología establecida es posible calcular la ubicación espacial del vector total de cada una de las ondas electrocardiográficas en los cuadrúpedos, a partir de los valores de amplitud leídos en tres derivaciones monopolares situadas en dos planos mutuamente perpendiculares. Los resultados a que se arriban permiten diagnosticar las modificaciones en la dirección y sentido de los impulsos eléctricos en el miocardio, lo cual es un factor importante para evaluar las alteraciones cardíacas. Las causas de la gran variabilidad en la polaridad y morfología de las ondas en una extensa zona de la superficie corporal y de una limitada región en las que todas son igualmente estables se debe al sentido discordante en que se dirigen sus respectivos vectores.

Referencias bibliográficas

1. Lanza TG. Métodos para determinar el eje eléctrico en un electrocardiograma. *Rev Mex Cardiol*. 2016;27(s1):s35-s40.
2. Roy T, Peralta GR, Gamarra CLC, Núñez Vera LM, Santacruz SMC. Intervalo QTc prolongado en pacientes de Clínica Médica: estudio multicéntrico. *Rev. virtual Soc. Parag. Med. Int.* marzo 2020; 7 (1):10-19.
3. Pozas G, Valdés R, Ibarra C. Método de Grant, eje eléctrico de P, eje eléctrico de QRS, eje eléctrico de T, eje eléctrico espacial. *Rev Ciencias Clínicas*. 2012;9(27):18-22.
4. Lanza TG. Algoritmo y pseudocódigo: nueva perspectiva para calcular el eje eléctrico de un electrocardiograma. *Avances Cardiol*. 2014;34(4):280-285.
5. Denis PDA, Martínez GS, Figueredo GAR, Rodríguez VEC. Valor diagnóstico de la R de aVL en la hipertrofia ventricular izquierda. *Univ Med Pinareña*. 2020;16(1):e382.
6. Pompa N.A., Determinación de la orientación espacial del vector Eléctrico integral de cada onda electrocardiográfica en Cuadrúpedos, tomando como referencia al bovino. *Rev. Salud Anim*. 2003;25(3):186-191.
7. Lank RB, Kingrey BW. Electrocardiograms of normal lactating dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* 1959; 20: 273-277.
8. Matsui K, Sugano S. Species differences in the changes in heart and T- wave amplitude after autonomic blockade in thorough bred horses, ponies, cows, pigs, goats and chickens. *Japan Vet. Sci* 1987;49 (4):637-644.
9. Dörner C, Godoy A. Electrocardiografía en equinos fina sangre de carrera. *Avances en Ciencias Veterinarias*. 2009;24(2):18-25.
10. Honda N, Dörner C, Godoy A. Efectos del entrenamiento sobre variables electrocardiográficas en equinos Fina Sangre de Carrera. *Avances en Ciencias Veterinarias*. 2013;28 (1):2-7.
11. Vindas ZJ, Moya AA, Muñoz HP, Rojas MR. Interpretación práctica del electrocardiograma en el Servicio de Emergencias. *Rev Salud*. 2016;1(1):9-22.
12. Zavala VJ. Descripción del electrocardiograma normal y lectura del electrocardiograma. Taller: Electrocardiografía básica para anestesiólogos. 2017;40(1):210-213.
13. Morán M. Relevancia de la interpretación del electrocardiograma de reposo en la evaluación pre- participativa de deportistas. *Rev Actual Clin Meds*. 2018;2(1):8-12.

14. Olvera CHE, Nieto MAJF, Rocha MYF, Morales LS, Ortiz SAG, Díaz CFA. Mejora de habilidades en la interpretación del electrocardiograma mediante un taller con simulación clínica. *EDUMECENTRO* 2020;12(1):30-45
15. Arias AM, Lucas LO, Espinosa E, Lezzi S, Rossi E, San Román E, Pizarro R, Belziti CA, Cagide AM, Doval HC. Características clínicas y evolutivas del síndrome de Takotsubo en un hospital universitario. *Rev Argent Cardiol.* 2018; 86:90-95.
16. Luna LR, Datino T. Electro-Reto. ECG de enero de 2020. *Rev Esp Cardiol.* 2020;73(1):87.
17. Rubio SJC. Actuación de enfermería ante una alteración electrocardiográfica. Eje, onda P y complejo QRS. *Enferm Cardiol.* 2016;23(67):58-65.
18. Asenjo R, Morris R, Sanhueza E, Ortiz M, Cereceda M. Diagnóstico diferencial de las taquicardias de complejo ancho: un desafío permanente. *Revista Chilena de Cardiología.* 2020;39(1):55-65.
19. Pompa N.A. Predicción de la orientación espacial del vector eléctrico integral de cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos, a partir de la determinación de los puntos dipolos de las ondas en el plano transversal xz. *Rev. Salud Anim.* 2003; 25(2):91-97.
20. Suárez AM, Lemus Y, Dulce M, Otero M. Valor del electrocardiograma en el diagnóstico de hipertrofia ventricular izquierda de pacientes en hemodiálisis. *CorSalud.* 2018;10(1):21-31.
21. Schosler LF, Shiguero IUL, de Almeida LA. Miocardiopatía hipertrófica. Reporte de caso. *Rev Urug Cardiol.* 2019;34:301-306.
22. Ramognino F, Ferraro F, Salmon BE, Caruso N, Sánchez C, Bortman G. Hallazgos electrocardiográficos anormales en deportistas amateur: comparación de los criterios de Seattle 2013 y 2017. *Rev Argent Cardiol.* 2019;87:146-151.
23. Costabel JP, Mandó F, Avegliano G. Miocardiopatía dilatada: ¿cuándo y cómo proceder a la investigación etiológica? *Rev Urug Cardiol* 2018;33:343-349.
24. Baquero L M, Quesada ACI. Infarto agudo al miocardio de cara inferior con posterior revascularización. *Revista Clínica de la Escuela de Medicina UCR-HSJD.* 2018;2:1-4.
25. Borrayo SG, Rosas PM, Pérez RG, Ramírez AE, Almeida GE, Arriaga DJJ. Infarto agudo del miocardio con elevación del segmento ST: Código I. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2018;56(1):26-37.
26. Lightowler-Sahlgberg CH. El electrocardiograma bovino. 1ra Parte. Sus componentes normales. *Rev Med Vet Buenos Aires.* 1970;51(3):197-210
27. Begazo CCh, Portocarrero PH, Dávila FR. Parámetros Electrocardiográficos en Terneros Holstein Criados en la Altura y a Nivel del Mar. *Rev Inv Vet Perú.* 2017;28(2):227-235.
28. Hernández JM, Posada AS, Castillo FCA, Restrepo AS. Parámetros electrocardiográficos en caballos de raza Criollo Colombiano, pacientes de un establecimiento veterinario de Antioquia, Colombia. *Rev. Med. Vet.* 2016;32:39-41.
29. Rezakhani A. and Szabuniewicz M. The electrocardiogram of the camel. *Zentb. Vet. Med.* 1977;24(4):277-286
30. Hospital Italiano de Buenos Aires. "Trasplante experimental de hígado en cerdos. Aplicación de Protocolos quirúrgicos". Programa de Trasplante Hepático *Pren.méd.argen.*1996 (83):622-626.
31. Morales A, Carrasco V, Martínez E. Toxicidad cardiaca por anestésicos locales, protocolo de estudio en un modelo experimental porcino. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias.* 2017; 11(especial):120-125.
32. Vargas PP, Galindo ZV, Pedraza Adriana. Efecto del entrenamiento en Agility en gran altitud en perros Border Collie en algunas variables electrocardiográficas: análisis preliminar. *Rev Inv Vet Perú.* 2018;29(1):41-54.
33. Upadhyay RC, Sud SC. Electrocardiogram of buffaloes. *Ind. J. Dairy Sci.* 1982;35(1):8-12.
34. Brooijmans A.W.M. Electrocardiography in horses and cattle. Theoretical and clinical aspects. *Laboratory of Veterinary Physiology, State University, Utrecht, Netherlands.* 1957. p. 102 - 153
35. Upadhyay RC, Sud SC, Joshi HC, Bagha HS. Electrocardiographic studies in Jersey cattle. *Ind. Vet. J.* 1976;53:953-96.
36. D' Roth L. Electrocardiographic parameters in the normal lactating Holstein cow. *The Can. Vet. J.* 1980;21(10):271- 277.
37. Szabuniewicz M., Ortega F.V., Sosa F.A.J., Gómez Maritza y GIL C.B. La electrocardiografía en clínica veterinaria. III parte: Análisis vectorial. *Rev. Fac. Cienc. Vet. U. C. Ven.* 1980;28(1-8):107-112.
38. Gándara RJA, Santander BD, Mora PG, Amaris PO. Taquicardias supraventriculares. Estado del arte. *Rev. Fac. Med.* 2016;64(1): 111-21.
39. Rivera S, Gastón A, Tomas L, Ricapito MP, Mondragón I, Caro, M, Reinoso M, Belardi D, Giniger A, Scuzzuso F. Arritmias originadas en los músculos papilares del ventrículo izquierdo: Características clínicas, multiimágenes y ablación por catéter. *Rev Argent Cardiol.* 2017;85:444-452.
40. Rubio SJC. Papel de enfermería en el tratamiento de las principales alteraciones electrocardiográficas: bradiarritmias, taquiarritmias y fibrilación auricular. *Enferm Cardiol.* 2018;25(73):76-84.
41. Paredes A, Bittner A, Vergara I. Compromiso de conciencia y bradicardia. *Rev Chil Cardiol.* 2018;37:55-57.
42. Cruz M, Castro, HJ, Caraballos L, Martínez LF. Taquicardias ventriculares idiopáticas de las cúspides aórticas: Revisión del tema a propósito de un caso. *CorSalud.* 2018;10(1):80-88.
43. Sisson S. Anatomía de los animales domésticos. 4 ed. Edición Revolucionaria. Editorial Pueblo y Educación. C. de la Habana. p. 696, 1974.

Received: 28 marzo 2020

Accepted: 10 junio 2020