

## CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS NO LINEAL DE BASES DE DATOS DE ELECTROCARDIOGRAMAS DE FELINOS

Gómez Leonardo<sup>1</sup>, González Javier<sup>2</sup>, Gutiérrez Rafael<sup>3</sup>, Ortega Mauricio<sup>4</sup>

**Resumen.** El Electrocardiograma (ECG) es una señal de origen biológico que registra la actividad eléctrica del corazón, utilizada como herramienta en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades del sistema cardiovascular. En el caso de poblaciones de animales domésticos (caninos y felinos), se han detectado tendencias similares en el campo de la cardiología veterinaria. En Colombia no existen trabajos de investigación que construyan y analicen bases de datos de ECG con el objetivo de ofrecer al campo de la medicina veterinaria valores de referencia de felinos de los diferentes parámetros que permitan determinar normalidad y patologías en estos animales domésticos. A través del procesamiento digital de señales de origen biológico, se pueden desarrollar herramientas informáticas que permitan el almacenamiento en forma digital del ECG libre de interferencias. Estas series de tiempo se convierten en la materia prima para el ensayo de algoritmos, basados en técnicas de análisis no lineal, con la finalidad de extraer de forma automática parámetros que faciliten la caracterización de cada registro adquirido. En este trabajo se presentará el desarrollo de una herramienta informática para la generación y análisis no lineal de bases de datos, con la capacidad de extraer de forma automática los diferentes parámetros del ECG de felinos y proponer nuevas medidas que puedan aumentar la capacidad de diagnóstico reduciendo costos y riesgos.

**Palabras claves:** Electrocardiograma, felinos, Herramienta Informática, Análisis no lineal.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares son la primera causa de mortalidad natural humana en la mayoría de los países [1,2].

En el caso de pequeños animales existen indicios de tendencias similares [3,4,5,6]. En el diagnóstico de estas alteraciones cardíacas, el médico veterinario cuenta con el examen clínico, el electrocardiograma (ECG) y otros exámenes como la radiografía y ecocardiografía. El ECG es un registro no invasivo de la actividad eléctrica del corazón, adquirido en la superficie del cuerpo, que mide los cambios de potencial del campo eléctrico generado por la actividad eléctrica del corazón durante las diferentes fases del ciclo cardíaco. Con las técnicas actuales, el ECG es de gran utilidad en la evaluación de la actividad eléctrica del corazón, por lo que es 99% efectiva para detectar arritmias cardíacas, pero sólo tiene un 60 a 70% de efectividad para detectar cardiomegalias [5]. El ECG puede ser adquirido a través de instrumentos electrónicos para dar los niveles necesarios a la señal para ser digitalizada [7]. Durante la adquisición del ECG es necesario

tener en cuenta que pueden existir diferentes fuentes de interferencia como la alteración de la línea de base y la interferencia de 60 Hz, que dificultan el análisis de la información, por lo cual, la aplicación de la teoría de filtros digitales puede hacer confiable el análisis del registro adquirido [8, 9, 10, 11, 12, 13]. En el caso de los felinos las causas de interferencias provienen de movimientos del animal como el ronroneo y respiración [19, 20].

Se han realizado diferentes trabajos en los cuales se aplican técnicas convencionales para el análisis del ECG. Muchas de estas técnicas utilizan métodos lineales de análisis como la transformada rápida de Fourier (FFT), con los cuales se puede estudiar, en el dominio de la frecuencia, arritmias cardíacas y anomalías del sistema cardiovascular [14]. El reconocimiento y caracterización de cada una de las ondas del ECG, también ha sido el tema de diversas investigaciones [15].

En el proceso de la identificación de componentes del ECG, se destaca la detección de la onda R, orientada al cálculo automatizado de los valores de frecuencia cardíaca instantánea [16]. Con los datos tomados de los tiempos entre cada una de las ondas R del complejo cardíaco, se genera una serie denominada señal de ritmo cardíaco y a través del cálculo de índices estadísticos (análisis en el dominio del tiempo) y por medio de la estimación de la densidad espectral de potencia (análisis en el dominio de la frecuencia) se puede realizar análisis de la variabilidad del ritmo cardíaco [17,18]. Para el caso de pequeños animales (caninos y felinos) se han realizado trabajos con el fin de establecer los valores normales de cada una de las ondas del ECG como se puede observar en la tabla I [19,20].

<sup>1</sup> Gómez Leonardo, Médico Veterinario. Especialista en Cardiología Veterinaria. Docente Facultad de Veterinaria. Universidad Antonio Nariño, Bogotá DC (e\_mail: leonardogomez@uan.edu.co).

<sup>2</sup> González Barajas Javier, Ingeniero Electrónico. Magister en Ingeniería. Docente Facultad de Ing. Electrónica y Biomédica. Universidad Antonio Nariño, Bogotá DC (e\_mail: javiere\_gonzalez@yahoo.com.mx).

<sup>3</sup> Gutiérrez Salamanca Rafael, Físico PhD. Director Grupo Sistemas Complejos. DNI. Universidad Antonio Nariño, Bogotá DC (e\_mail: rafael.gutierrez@uan.edu.co).

<sup>4</sup> Ortega Tamayo Mauricio, Médico Veterinario. Especialista en Cardiología Veterinaria. Docente Facultad de Veterinaria. Universidad Antonio Nariño, Bogotá DC (e\_mail: mauricioortega@uan.edu.co).

TABLA I

Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos

**Valores normales del ECG en felinos y caninos**

Valores normales de duración y amplitud para cada una de las ondas que componen el complejo cardiaco en felinos y caninos tomados en cuenta para el desarrollo de los algoritmos planteados en la sección 2.

Especie	Duración Onda P (seg.)	Duración Seg. PR (seg.)	Duración Seg. QT (seg.)	Duración Seg. QRS (seg.)	Frec. Cardiaca (BPM)
Felinos	0,05	0,005 - 0,003	0,12 - 0,18	0,04	160 - 240
Caninos	0,04	0,06 - 0,13	0,15 - 0,25	0,06	70 - 160

Especie	Amplitud Onda P (mV) en DII	Amplitud Onda R (mV) en DII
Felinos	0,2	0,9
Caninos	0,4	0,3

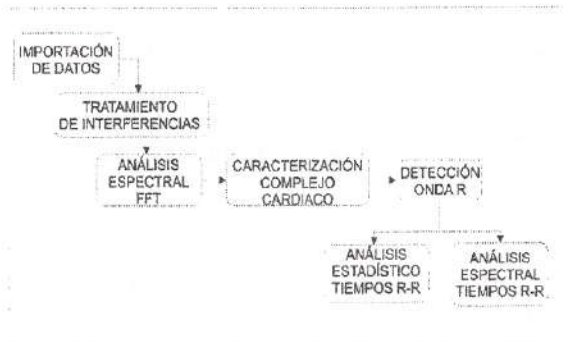
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la herramienta informática, para la construcción y análisis de los registros electrocardiográficos de felinos, se realizó con ayuda del asistente matemático Matlab y haciendo uso principalmente de las aplicaciones especializadas en procesamiento digital de señales (Digital Signal Processing Tool Box) y algoritmos de diseño original del grupo de investigación Sistemas Complejos de la Universidad Antonio Nariño (UAN). La herramienta informática está compuesta por diversos módulos ilustrados en la figura 1.

FIGURA 1

Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos

Diagrama de bloques de la herramienta informática de análisis de ECG con los 6 módulos correspondientes a las etapas de procesamiento, detección y análisis



Los registros de ECG felinos fueron adquiridos por medio del sistema de adquisición de señales biológicas del fabricante BIOPAC de referencia ECG100A. El dispositivo de adquisición utilizó una frecuencia de muestreo de 1KHz y un ancho de banda entre 0,07Hz y 40 Hz. Los registros fueron visualizados por medio del programa AcqKnowledge versión 3.2.3.

Los registros adquiridos forman parte de un proyecto de investigación liderado por la Facultad de Veterinaria de la UAN con el objetivo de construir una base de datos a partir de registros ECG de una muestra de 100 felinos. Dentro del proyecto se tienen en cuenta los parámetros de ECG ilustrados en la Tabla II.

TABLA II

Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos

**Medidas tomadas del ECG felino**

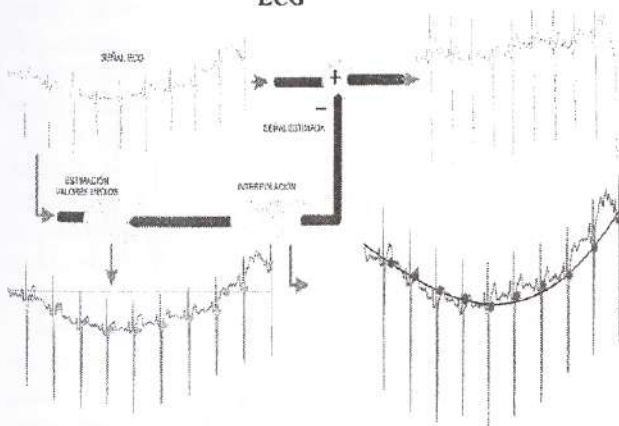
Medidas tradicionales que caracterizan la morfología del ECG. Estos parámetros son tomados de los complejos cardiacos de los registros adquiridos para la construcción de la base de datos de ECG felino.

Notación	Medida	Unidades
AP	Amplitud Onda R	mV
DP	Duración Onda P	seg
PR	Duración Seg. PR	seg
DQ	Duración Onda Q	seg
AQ	Amplitud Onda Q	mV
DR	Duración Onda R	seg
AR PRIMA	Amplitud Onda R	mV
DR PRIMA	Duración Onda S	seg
AR	Amplitud Onda R	mV
DS	Duración Onda S	seg
AS	Amplitud Onda S	mV
QRS	Duración Comp. QRS	seg
AT	Amplitud Onda T	mV
DT	Duración Onda T	seg

Tomando la estructura modular ilustrada en la figura 1, la herramienta posee el módulo Importación de Datos, el cual se encarga de tomar las series de tiempo almacenadas en archivos en formato texto de la herramienta BIOPAC. En caso de contar con registros electrocardiográficos adquiridos en papel, se ha desarrollado una estrategia basada en procesamiento digital de imágenes para digitalizar el ECG y convertirlo en una serie de tiempo, en la cual se digitaliza el registro con ayuda de un escáner y luego por medio de técnicas de erosión y binarización se extraen los píxeles que contienen la señal [21].

Posteriormente con el fin de poder remover pequeñas interferencias, como la producida por las líneas de potencia y el desplazamiento de la línea de base producida por la respiración y ronroneo del felino [19,20], se ha desarrollado el módulo Tratamiento de Interferencias con la finalidad de minimizar estas causas de distorsiones del ECG, utilizando técnicas de filtrado adaptativo, implementando un sistema de cancelación de interferencias desarrollado en Matlab, ilustrado en la figura 2 [22].

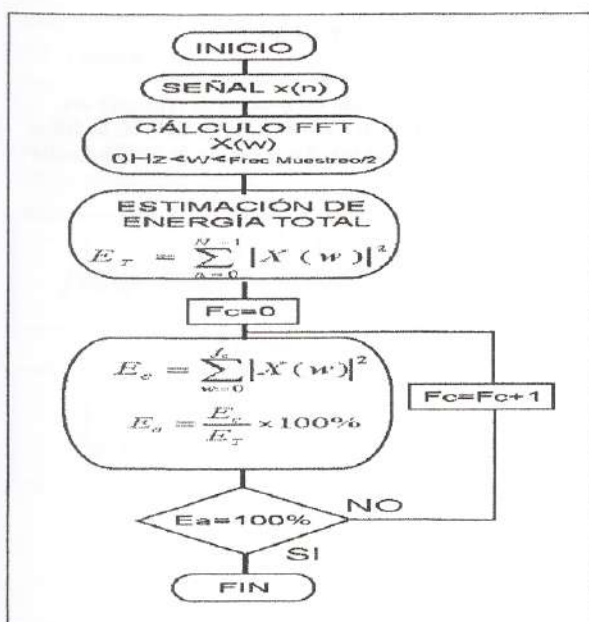
**FIGURA 2**  
 Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos  
 Sistema de filtrado adaptativo por cancelación para eliminación del desplazamiento de la línea de base del ECG



El módulo Análisis Espectral se ha diseñado con el propósito de establecer, a través de la FFT, el rango en valores de frecuencia que cuenta con el mayor porcentaje de energía del registro almacenado. El análisis en el dominio de la frecuencia del ECG felino permitirá caracterizar cada componente de frecuencia relacionada con cada una de las ondas que componen el complejo electrocardiográfico, permitiendo adaptar las teorías de caracterización del espectro del ECG humano y generar como resultado comparaciones con el electrocardiograma de felinos [15].

El módulo Análisis Espectral estima la energía total  $E_T$  (Ver ecuación 1) del registro bajo estudio  $x[n]$  que posee la cantidad de  $N$  muestras.

**FIGURA 3**  
 Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos  
 Algoritmo que estima la energía acumulada de una señal  $x(n)$  correspondiente a un ECG felino y el rango de frecuencias ( $0 < w < ff$ ) que posee el mayor porcentaje



Con base al valor  $E_T$  se estima el porcentaje acumulado de energía  $E_a$  según la ecuación 2. El cálculo de energía acumulada  $E_c$  en (2) requiere la implementación del algoritmo detallado en la figura 3, el cual estima la energía a través de la integral numérica de los valores de energía desde la componente de 0 Hz hasta un valor de frecuencia  $F_c$  que representa la componente más alta de frecuencia para que el valor  $E_a$  alcance el 100% de la energía total.

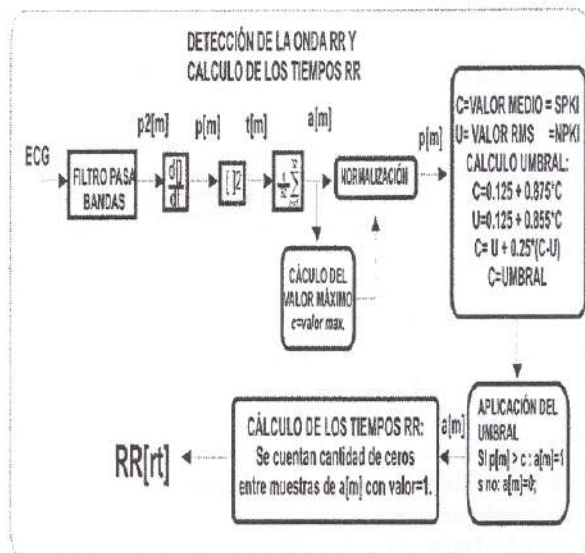
$$E_T = \sum_{n=0}^{N-1} |X(w)|^2 \quad (1)$$

$$E_a = \frac{E_c}{E_T} \times 100 \quad (2)$$

El módulo Caracterización del Complejo Cardíaco toma la señal ECG y la divide en diferentes bandas de frecuencia, con la finalidad de poder discriminar los valores de los componentes de frecuencia que corresponden a cada onda del complejo cardíaco del ECG felino.

El módulo Detección Onda R es implementado con el propósito de detectar la onda R del ECG felino y cuantificar los valores de frecuencia cardíaca instantánea a través del algoritmo ilustrado en la figura 4, compuesto por un sistema de filtros en cascada (pasa bajo, pasa altas y filtro derivador) seguido por la elevación al cuadrado y un filtro integrador [15].

**FIGURA 4**  
 Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos  
 Sistema para la detección de la onda R y cálculo de los tiempos RR



El módulo Detección Onda R también posee dos sub-módulos: Análisis estadístico y Análisis Espectral de los tiempos RR, que se encargan de realizar los análisis en el dominio del tiempo y de

la frecuencia de los tiempos R-R respectivamente. Para el análisis en el dominio del tiempo de los intervalos RR, se calcularon los valores estadísticos descritos en la tabla III. Con respecto al análisis en el dominio de la frecuencia, se tuvieron los valores ilustrados en la tabla IV.

**TABLA III**  
*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*  
**Medidas en el dominio del tiempo**  
 Medidas tomadas Estadísticas de los tiempos RR del ECG felino

VARIABLE	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	FORMULA
SDNN	ms	Desviación estandar de los intervalos RR.	$\sigma_{RR} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR(i) - \overline{RR})^2}$
RMSSD	ms	Raíz cuadrada del promedio se la suma de las diferencias entre intervalos RR adyacentes.	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i(RR(i)))^2}$
NN50	n	Número de pares de intervalos RR adyacentes cuya diferencias es de más de 50 ms.	$( RR(i) - RR(i+1)  > 50 \text{ ms})$
pNN50	%	Porcentaje del conteo de NN50 de todos los intervalos RR: (conteo de NN50/conteo total de los intervalos RR)x100.	$\% ( RR(i) - RR(i+1)  > 50 \text{ ms})$

**TABLA IV**  
*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*  
**Medidas en el dominio de la frecuencia**  
 Medidas tomadas del análisis espectral de los tiempos RR del ECG felino

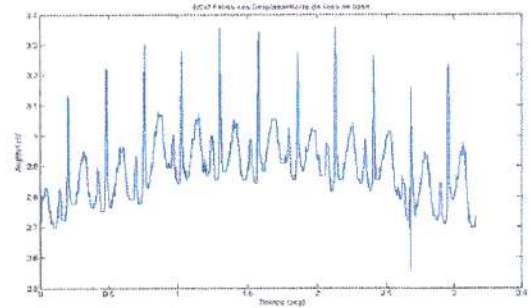
Potencia VLF	ms <sup>2</sup>	<0.04Hz	Potencia de las componentes de muy baja frecuencia
Potencia LF	ms <sup>2</sup>	0.04 - 0.15 Hz	Potencia de las componentes de baja frecuencia
LFnu	n.u.		Potencia LF en unidades normalizadas. Potencia LF/(Potencia total - potencia VLF) x100.
Potencia HF	ms <sup>2</sup>	0.15 - 0.4 Hz	Potencia de las componentes de alta frecuencia.
HFnu	n.u.		Potencia HF en unidades normalizadas. Potencia HF/(Potencia total - potencia VLF) x100.
LF/HF			Relación de LF a HF. Potencia LF/Potencia HF.

**3. RESULTADOS**

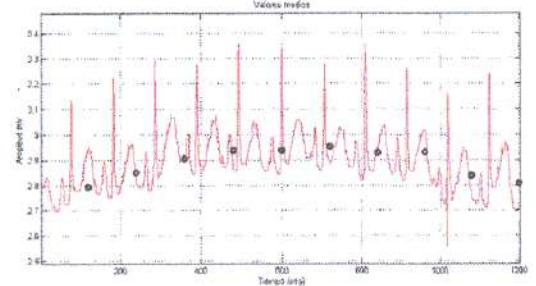
Como resultado de este proyecto se obtuvo una herramienta informática compuesta por los módulos descritos anteriormente.

Tomando como señal de entrada un registro de ECG de felino ilustrado en la figura 5, el cual posee un desplazamiento de la línea de base. Por medio del módulo Tratamiento de Interferencias, se estiman los valores medios del registro afectado por la interferencia (ver figura 6) que son utilizados para estimar una función matemática que simule la interferencia que genera el desplazamiento de la línea de base.

**FIGURA 5**  
*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*  
**Electrocardiograma digitalizado de un felino y visualizado en Matlab. El registro posee desplazamiento de la línea de base**

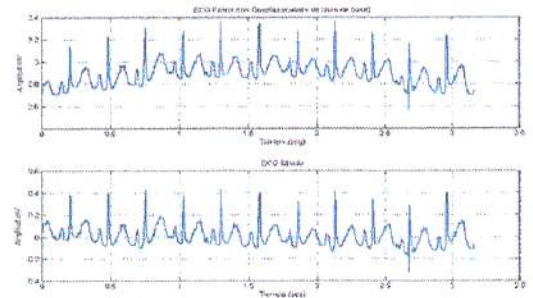


**FIGURA 6**  
*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*  
**El módulo Tratamiento de Interferencias, estima los valores medios del registro con desplazamiento de la línea de base**



La función matemática se genera por medio de la técnica de regresión polinomial utilizando los valores medios extraídos por el módulo. En la figura 7 se puede observar la señal ECG de felino libre de desplazamiento de la línea de base, como resultado generado por el módulo de Tratamiento de Interferencias que utiliza un sistema de filtrado adaptativo por cancelación.

**FIGURA 7**  
*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*  
**Resultado obtenido del proceso de remoción del desplazamiento de la línea de base de un ECG de felino realizado por el módulo Tratamiento de Interferencias**



El registro ECG libre de interferencias pasa a ser analizado por el módulo Análisis Espectral. Como resultado el módulo estima la densidad espectral de potencia a través de la transformada rápida de Fourier. La densidad espectral de potencia del registro ECG es utilizado para estimar el rango de frecuencias que contiene el mayor porcentaje de energía de la señal.

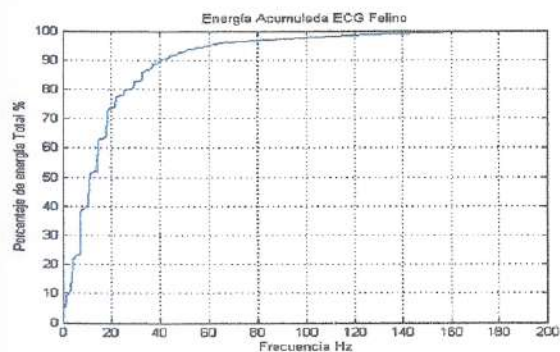
En la figura 8 se puede detallar la gráfica de energía acumulada vs frecuencia obtenida por el módulo Análisis Espectral. La figura 8 posee un eje horizontal que indica los valores de frecuencia en unidades de Hertz y el eje vertical contiene valores de porcentaje de energía.

Por medio de esta información se establece el ancho de banda de un registro ECG de felinos. Se puede apreciar que el espectro del ECG felino acumula el 100% de energía entre las componentes de 0 y 160 Hz.

**FIGURA 8**

*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*

**Cálculo del porcentaje de energía acumulada para un registro ECG de felino realizado por el módulo Análisis**

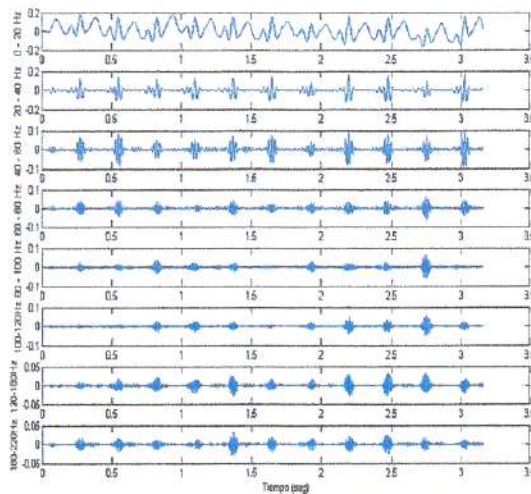


El módulo Análisis Espectral también realiza una descomposición de la señal por medio de un filtrado pasa banda con un ancho de 20 Hz. La descomposición en diferentes bandas de frecuencia del ECG Felino permite determinar el ancho de banda que está fuertemente relacionado con la onda R del complejo cardíaco. La figura 9 ilustra para ocho bandas de frecuencia diferentes la descomposición del ECG de felino con 20 Hz de ancho.

**FIGURA 9**

*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*

**Descomposición del ECG felino por medio de filtros pasa banda con un ancho de 20 Hz. Para la banda de 20 – 40 Hz se resalta la onda R del complejo cardíaco**



El módulo Detección Onda R toma la señal ECG y genera el proceso para la detección de la onda R del complejo cardíaco.

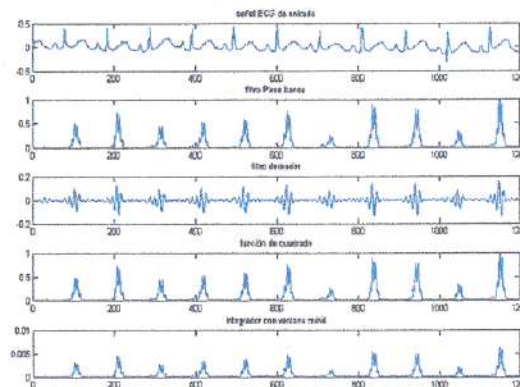
Con base a la información aportada por el módulo Análisis espectral, se determina las frecuencias de corte para el filtro pasa banda (20 a 40 Hz) que se encarga de eliminar las componentes que no pertenecen al complejo QRS.

La figura 10 ilustra el resultado obtenido del proceso realizado por el módulo Detección Onda R.

**FIGURA 10**

*Construcción y análisis no lineal de bases de datos de electrocardiogramas de felinos*

**Proceso de detección de la onda R del complejo cardíaco de un registro ECG felino**



#### 4. CONCLUSIONES

La herramienta ofrece el módulo de importación de datos que permite tomar registros ECG en formato texto para su posterior análisis, lo cual ofrece la ventaja de poder manejar archivos de diferentes sistemas de adquisición de señales de origen biológico.

Los algoritmos implementados para el tratamiento del desplazamiento de la línea de base del ECG en el módulo Tratamiento de Interferencias, son utilizados tradicionalmente en el procesamiento de registros electrocardiográficos de humanos. En este artículo se muestran resultados positivos de la aplicación de estos algoritmos para el caso del ECG de felinos. Aquí cabe notar la dificultad adicional que significa analizar ECG de felinos por su mayor frecuencia cardíaca y menor amplitud relativa, dos características que hacen más difícil la separación de la señal de interés de las diferentes fuentes de energía

El módulo Análisis Espectral permitió obtener una medida que indica las componentes en frecuencia que contiene el mayor porcentaje de información del ECG felino, las cuales están entre 0 >fc> 160 Hz.

Finalmente como perspectiva, esta herramienta permitirá analizar una base de datos de ECG felino para construir una tabla de valores de referencia como se ilustró en la tabla II, que caracterice la morfología de ECG felino y ofreciendo a la medicina veterinaria una referencia útil en el diagnóstico de patologías y normalidad cardíaca en felinos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- [1]. ALPERT, J.S. (1999). Coronary Herat disease: where have we been and where are we going?, *The lancet* V 353, p.1540.
- [2]. COATS, A.J.S. (1998). Is preventive medicine responsible for the increasing prevalence of heart failure, *Lancet* V 352 (suppl) p.39.
- [3]. DIC A., LANGENFORD R. (1984). Interpretación de arritmias complejas. *Intermédica*.
- [4]. KIRA, R. (1994). *Terapéutica veterinaria de pequeños animales*, Interamericana 11ªed, Madrid, p.1409.
- [5]. BELERENIAN, G. (2001). *Afecciones cardiovasculares en pequeños animales*, Intermédica, Buenos Aires, p.38.
- [6]. LUÍS FUENTES V., SWIFT S.T. (2000). *Manual de medicina y cirugía cardiorrespiratoria*, Hartcourt, p. 345.
- [7]. TOMPKINS, WILLIS. (1993). *Biomédical Digital Signal Procesing*. Prentice Hall. New Jersey. 367:p24-54.
- [8]. SHEN P., LINDQUIST C. (2000). Adaptive Filtering of EKG Signal with Little A priori Information. Department Of Electrical Engineering. Santa Clara University. IEEE, 0-783-6514-3/00: 338-342.
- [9]. LINDQUIST, C.S. (1989). *Adaptive and Digital Signal Processing*. Steward ans Sons. CA.
- [10]. SHEN P, LINDQUIST C. (2000). Adaptive Filtering of EKG Signals With Little Apriori Information.
- [11]. BELLANGER, M. (1994). *Digital Signal Procesing of Signals. Theory and Practice*. John Wiley and Sons. P20.
- [12]. JANÉ R, LAGUNA P, CAMINAL P, RIX HERVÉ. (1991). Adaptive Filtering of High Resolution ECG Signal. IEEE. USA. P347 – P50.
- [13]. LAGUNA P, JANÉ R, CAMINAL P. (1992). Adaptive Filtering of ECG Baseline Wnader.
- [14]. PFISTER, C.J., HAMILTON J.W. (1998). Use of Espectral Analysis in Detecction of Frecuency Differences in Electrogastrogram, *IEEE Trans. Biomed Eng.* 935-41.
- [15]. THAKOR, N.V. WEBSTER JG AND TOMPKINS, WJ. Estimal of QRS complex Power Spectra for Desing of a QRS Filter. 1984. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-31:702-05.
- [16]. THAKOR, N.V. WEBSTER JG AND TOMPKINS, WJ. Optimal QRS Detector. Medical and Biological Engineering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-31: 1984. 343-50.
- [17]. ROBERT, E. KLEIGER MD, FACC, PHYLLIS K. STEIN, PHD. Time Domain Measurements of Heart Rate Variability. *Ambulatory Electrocardiography. Cardiology Clinics*. Washington University Medical Center. St. Lius. Missouri. USA. 10:p487-p489.
- [18]. ZSOLT, ORI, MD. (1992). Heart Rate Variability. Frecuency Domain Analysis. *Ambulatory Electrocardiography. Northwestern University Medical School, Chicago. USA.* 10: p499 – p501.
- [19]. TILLEY L, BURTNICK N. (2000). *Electrocardiografía Práctica en Pequeños Animales. Manual de Consulta Rápida*. Multimédica ed. España. 97: p16-p17.
- [20]. TILLEY L., OWENS J. (1987). *Manual de Cardiología de los Pequeños Animales*. Salvat Editores. España. 427: p57.
- [21]. ROSAS A., PLATA A., CHÁVEZ A.M. (2005). Obtención de patrones electrocardiográficos de una ballena jorobada mediante tratamiento de imagen y señal. *Rev. Col. Cardiol.* v.12 n.4 Bogota.
- [22]. GONZÁLEZ B.J., BARRERO J.G. Implementación de Filtros Adaptativos en DSP aplicados al Tratamiento de Interferencia de 60 Hz y Desplazamiento de la línea de Base. *Energía y Computación. Volumen XIII Número 2 Edición 24.* Pág. 16-19.