

**ANÁLISIS DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS (ECG) CON ISQUEMIA
CARDIACA USANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE
SEÑALES**

**MARCELA GONZÁLEZ VILLADA
XIMENA MARTINEZ OSORIO**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN SISTEMAS
MANIZALES
2009**

**ANÁLISIS DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS (ECG) CON ISQUEMIA
CARDIACA USANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE
SEÑALES**

**MARCELA GONZÁLEZ VILLADA
XIMENA MARTINEZ OSORIO**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Tecnólogo en Sistemas

Presidente
LUÍS CARLOS CORREA ORTIZ
Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN SISTEMAS
MANIZALES
2009**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Dios por darme la fortaleza en los momentos más difíciles, a mí madre por haber estado presente en cada paso dado, a toda mi familia por su apoyo incondicional.

A Seguros Bolívar por su colaboración e interés por nuestro trabajo, a todos los amigos, compañeros y personas que caminaron a mi lado porque sus huellas serán eternas.

A nuestro presidente de proyecto Luis Carlos Correa Ortiz por el tiempo y la paciencia dedicada durante todo este proceso, a los profesores, a la Universidad de Manizales por haber sido un hogar en este proceso tan importante de mi crecimiento profesional.

Y para todos aquellos que me brindaron su mano y depositaron toda su confianza.

Marcela

A Dios quien ha sido mi fortaleza, a mi familia quien siempre ha estado ahí y a mis amigos quienes me apoyaron incondicionalmente durante todo este proceso de crecimiento.

A mi novio quien me ha acompañado en etapas tan importantes con mis estudios universitarios, brindándome su apoyo y cariño constantemente.

A nuestro presidente de proyecto Luís Carlos Correa Ortiz, quien estuvo siempre presente orientándonos para la culminación del proyecto.

Por último a mis profesores y a la Universidad de Manizales por su orientación y por haber sido nuestra casa durante todos estos años y habernos dado la formación necesaria para enfrentarnos a la vida profesional.

Ximena

CRÉDITOS

Las personas que participaron en este proyecto fueron las siguientes:

NOMBRE COMPLETO	FUNCIÓN EN EL PROYECTO	DIRECCIÓN DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
Marcela González Villada	Investigador	Carrera 13ª # 12ª – 57	magovi16@yahoo.com
Ximena Martínez Osorio	Investigador	Calle 48D # 20 -19	ximemartinez_071@hotmail.com
Luís Carlos Correa Ortiz	Presidente	Carrera 9 No. 19-03	lcco@umanizales.edu.co

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

<NOMBRE COMPLETO>
JURADO

<NOMBRE COMPLETO>
JURADO

<NOMBRE COMPLETO>
JURADO

Manizales, <día> de <mes> de <año>

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1 ANATOMÍA DEL CORAZÓN	19
4.2 EL ELECTROCARDIOGRAMA	20
4.2.1 Resultados ECG	21
4.3 CARÁCTERÍSTICAS DEL RITMO CARDIACO CON ECG	21
4.3.1 Sistema de Conducción Cardíaca	22
4.4 ONDAS, INTERVALOS Y SEGMENTOS DEL ELECTROCARDIOGRAMA	23
4.5 CARACTERÍSTICAS DEL ELECTROCARDIOGRAMA NORMAL	24
4.6 EL INFARTO	25
4.6.1 Infarto de Miocardio	25
4.6. 2 Angina de Pecho	29
4.7 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS	31
4.7.1 Transformada Discreta de Fourier (DFT) y Rápida de Fourier (FFT)	31

4.7.2 Transformada Discreta del Coseno (DCT)	31
4.7.3 Transformada <i>Wavelet</i> (WT)	31
4.8 ANTECEDENTES	32
4.8.1 Obtención de Patrones Electrocardiográficos de una Ballena Jorobada Mediante Tratamiento de Imagen y Señal	32
4.8.2 Tratamiento de Señales Electrocardiográficas Mediante la Transformada <i>Wavelet</i> Discreta	32
4.8.3 Nuevas Técnicas de Procesado de Señales Electrocardiográficas: Aplicación a Registros de Larga Duración	33
4.8.4 Tratamiento Extrahospitalario del Infarto Agudo de Miocardio en Andalucía	33
4.8.5 Estudio Comparativo de Técnicas Para Extracción de Características en Señales de ECG	33
4.8.6 Diseño e Implementación de un Banco de Prueba de Filtros Análogos y Digitales en el Análisis de las Señales Electrocardiográficas ECG	34
4.8.7 Análisis y Tratamiento de la Señal Electrocardiográfica para la Detección de Parámetros de Normalidad Bajo la Plataforma Labview “ADPAN-ECG”	34
4.8.8 Análisis y Supervisión de la Señal Cardíaca con Transmisión Inalámbrica de Datos	34
5. METODOLOGÍA	36
5.1 TIPO DE TRABAJO	36
5.2 PROCEDIMIENTO	36
5.2.1 Fase 1. Estudio de las Técnicas de Procesamiento Digital de Señales a Usar.	36
5.2.2 Fase 2. Estudio y Caracterización del ECG.	36
5.2.3 Fase 3. Técnicas de Procesamiento Digital de Señales aplicadas al	37

ECG

6. RESULTADOS	38
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	38
6.1.1 Análisis usando la Transformada de Fourier	40
6.1.2. Análisis con la Transformada Discreta del Coseno	44
6.1.3. Análisis con la Transformada <i>Wavelet</i> Discreta	47
6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
7. CONCLUSIONES	52
8. RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Anatomía del Corazón	18
Figura 2. Electrocardiograma ECG	19
Figura 3. Electrocardiograma	20
Figura 4. Esquema de Conducción Intercardiaco	21
Figura 5. Sistema de Conducción Intrínseca del Corazón	22
Figura 6. Ondas Componentes del ECG	23
Figura 7. Derivaciones unipolares V3 y V4	24
Figura 8. Bloqueo del suministros de sangre	25
Figura 9. Bloqueo en la rama de la arteria coronaria izquierda	25
Figura 10. Trombo	27
Figura 11. Angina de pecho	28
Figura 12. ECG Normal	38
Figura 13. ECG Infarto (1)	39
Figura 14. ECG Infarto (2)	39
Figura 15. ECG Infarto (3)	40
Figura 16. Espectro de la señal ECG normal	41
Figura 17. Espectro de la señal ECG con infarto (1)	41
Figura 18. Espectro de la señal ECG con infarto (2)	42
Figura 19. Espectro de la señal con infarto (3)	43
Figura 20. DCT de la señal sin infarto	44

Figura 21. DCT de la señal con infarto (1)	45
Figura 22. DCT de la señal con infarto (2)	45
Figura 23. DCT de la señal con infarto (3)	46
Figura 24. Análisis <i>Wavelet</i> de ECG sin infarto	48
Figura 25. Análisis <i>Wavelet</i> de ECG con infarto (1)	48
Figura 26. Análisis <i>Wavelet</i> de ECG con infarto (2)	48
Figura 27. Análisis <i>Wavelet</i> de ECG con infarto (3)	49

GLOSARIO

ANEMIA: Disminución de los glóbulos rojos de la sangre o de su contenido de hemoglobina, la que resulta insuficiente para el normal transporte de oxígeno a los tejidos.

ANHÍDRIDO CARBÓNICO: Gas más pesado que el aire, inodoro, incoloro, incombustible y asfixiante, que se produce en las combustiones y en algunas fermentaciones por la combinación del carbono con el oxígeno

BRADICARDIA: Ritmo cardíaco lento.

CARDIOPATÍA ISQUÉMICA: Afección miocárdica originada por un desequilibrio entre el flujo sanguíneo coronario y las necesidades miocárdicas, causado por alteración de la circulación coronaria.

ECG: ElectroCardioGramma, registra la actividad eléctrica del corazón.

EEG: ElectroEncefaloGramma, registra la actividad eléctrica del cerebro.

EMG: ElectroMioGrafía, registra la actividad eléctrica de los músculos.

ENFERMEDAD CARDIOVASCULAR: Estas enfermedades comprenden las afecciones del corazón, las arterias y las venas, es decir que afectan el corazón (cardio) y los vasos sanguíneos (vascular).

HIPERTROFIA VENTRICULAR: Aumento del grosor del músculo cardíaco (miocardio) que conforma la pared ventricular, tanto derecha como izquierda.

INFARTO AL MIOCARDIO: El bajo flujo sanguíneo hace que el corazón sufra por la falta de oxígeno. El músculo cardíaco muere o resulta dañado en forma permanente.

MEMBRANAS ENDOCÁRDICA: Membrana serosa que tapiza las cavidades del corazón y está formada por dos capas: una exterior, de tejido conjuntivo, y otra interior, de endotelio.

MEMBRANA PERICÁRDICA: Bolsa de tejido conjuntivo que envuelve el corazón y está formada por dos membranas, una externa y fibrosa llamada epicardio y otra interna y serosa denominada miocardio.

NÓDULO SINOATRIAL O NÓDULO SINUSAL: Una de las estructuras que compone el sistema de conducción del corazón. Normalmente, es donde se

origina el impulso eléctrico que da origen a un latido cardíaco. Se encuentra ubicado en la aurícula derecha, bajo la desembocadura de la vena.

SEPTAL: Relativo al Septo. El septo es el Interventricular, es un tabique membrano - muscular que divide, en condiciones normales, al corazón en dos cámaras

TAQUICARDIA: Aceleración del ritmo cardíaco sobrepasando las 100 pulsaciones por minuto.

TAQUICARDIA PAROXÍSTICA: Frecuencia cardiaca rápida que se presenta ocasionalmente (paroxística) y que comienza con episodios que tienen lugar por encima de los ventrículos.

TIROTOXICOSIS: Exceso de hormona tiroidea aumenta la tasa metabólica, lo cual hace que se eleve la temperatura corporal.

RESUMEN

En todo el cuerpo humano se producen una gran variedad de señales eléctricas, provocadas por actividades que tienen su ubicación en los músculos y nervios que lo integran. El corazón por ejemplo es conductor de un patrón característico de las variaciones de voltaje. El registro y análisis de estos eventos bioeléctricos son importantes desde el punto de vista de la investigación.

Este trabajo en particular apunta a enriquecer esta labor investigativa ayudando al análisis de diferentes enfermedades, inicialmente cardiovasculares, mediante la bioseñal que el organismo genera y su representación (electrocardiografía – ECG). Inicialmente se pretende una caracterización de dicha señal y posteriormente la caracterización de los reflejos de la isquemia cardiaca en esta señal, usando como herramientas diversos algoritmos y técnicas de procesamiento digital de señales

PALABRAS CLAVES: ECG, Tratamiento de Señales, Análisis de Señales.

ABSTRACT

In all the human body produce a big variety of electrical signals, caused by activities that have his location in the muscles and nerves that integrate it. The heart for example is driver of a characteristic pattern of the variations of voltage. The register and analysis of these events bioeléctricos are important from the point of view of the investigation.

This work in particular aims to enriquecer this investigative work helping to the analysis of different illnesses, initially cardiovasculares, by means of the bioseñal that the organism generates and his representation (electrocardiografía – ECG-). Initially pretends a characterization of said signal and subsequently the characterization of the reflections of at least an illness in this signal, using like diverse tools algorithms and technical of digital signal processing.

KEY WORDS: EKG, Signal Processing, Signal Analysis.

INTRODUCCIÓN

Este documento describe el Análisis de Señales Electrocardiografías (ECG) mediante el empleo de técnicas de procesamiento digital de señales. El Electrocardiograma ECG, es el registro gráfico de las variaciones de potencial eléctrico de la actividad del corazón (fibras miocárdicas), en un tiempo determinado.

Estas variaciones se captan con los electrodos a nivel de la superficie de la piel, y a través de los conductores llega al electrocardiógrafo que mide los potenciales de acción del corazón y lo registra.

Este estudio nace de la necesidad de realizar una interpretación de los resultados mediante un sistema computacional que le sirva de apoyo a los respectivos especialistas, y que además, cualquier persona interesada en conocerlos pueda interpretarlos con mayor facilidad y claridad conociendo oportunamente sus condiciones físicas y de salud sin tener que esperar a que sean leídos e interpretados por el especialista para determinar los respectivos tratamientos.

Mediante técnicas de procesamiento como la Transformada Discreta de Fourier (DFT) y Rápida de Fourier (FFT), se busca, a partir de las muestras digitalizadas, analizar su comportamiento en el dominio de la frecuencia. Adicionalmente la aplicación de la Transformada Discreta del Coseno (DCT) y la Transformada *Wavelet* (WT), permiten la detección de ruidos y posibles descomposiciones que se requiera en las señales ECG.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Actualmente es innegable la penetración que han tenido la Tecnología Electrónica e Informática en todos los ámbitos del ser humano. La Medicina no es ajena a esto, siendo de hecho una de las ramas que mayores progresos han tenido debido a la inclusión en su práctica diaria de numerosos equipos y sistemas informáticos. Sin embargo, existen aplicaciones aún no desarrolladas en el país que podrían contribuir a un diagnóstico efectivo de numerosas enfermedades que minan la calidad de vida de miles de personas en todo el mundo.

Caso particular es el análisis de las diferentes señales eléctricas fruto de la actividad de diversos órganos, particularmente las debidas a la actividad cardiaca (ECG), cerebral (EEG) y muscular (EMG). A través del estudio de las representaciones gráficas de estas señales es posible diagnosticar y realizar seguimiento a la evolución de diversos padecimientos; estas señales se capturan mediante electrodos conectados a equipos especiales que permiten su registro e incluso su almacenamiento y visualización de forma electrónica. A la par de estos equipos, se han desarrollado aplicaciones informáticas que analizan las señales en busca de anomalías asociadas a desórdenes y enfermedades. Sin embargo la presencia de un profesional médico especialista es indispensable para el análisis e interpretación de dichas señales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Detectar la isquemia cardiaca mediante el análisis del ECG usando la Transformada Discreta del Coseno (DCT), la Transformada de Fourier (FFT) y la Transformada *Wavelet* (WT).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la señal ECG normal, así como la señal ECG típica de la isquemia cardiaca.
- Analizar la técnica Transformada *Wavelet* y determinar cual de sus variaciones es útil a este estudio.
- Analizar las señales DCT, FFT y WT obtenidas y caracterizar la isquemia en ellas.

3. JUSTIFICACIÓN

La razón principal por la cual se hace este estudio, es aportar al personal médico una herramienta de apoyo al diagnóstico de enfermedad cardiaca, basándose en el análisis del electrocardiograma.

En el Mundo y acorde a las nuevas TICs (Tecnologías en Informática y Comunicación aplicadas a la Salud) diseñadas para plantear soluciones a las diversas problemáticas de la salud, principalmente en los países en vías de desarrollo como el nuestro, o para optimizar los sistemas integrales de salud en países desarrollados, se busca trabajar en diversas estrategias que beneficien, específicamente el campo de la medicina, buscando sistemas adecuados, aplicables, sostenibles económicamente, de fácil aceptación-difusión y excelentes resultados, teniendo en cuenta, nuestras realidades sociales, económicas y capacidad tecnológica-científica.

Es por esto que se pretende dar desarrollo a este trabajo en vista de la situación actual del sistema de prestación de servicios de salud en Colombia; pues en muchos de los centros de atención médica, EPS, IPS, el usuario debe esperar un lapso considerable de tiempo el diagnóstico médico que, en muchas ocasiones necesita ser corroborado por otro tipo de medios diagnósticos, incrementado así el tiempo de diagnóstico.

Finalmente, en las instituciones que prestan servicios de salud, las unidades de cardiología, cuidados intensivos, urgencias, entre otros, requieren un gran manejo del tiempo y de eficacia en los procedimientos, ya que la salud de un ser humano no da espera y la vida es un bien no renovable.

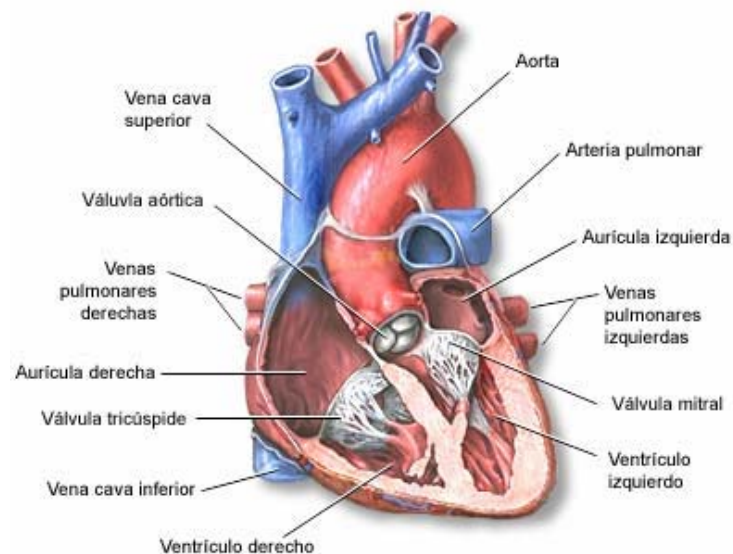
4. MARCO TEÓRICO

4.1 ANATOMÍA DEL CORAZÓN

El corazón es el órgano central del aparato circulatorio, constituye el motor central de la circulación y es, por tanto, de vital importancia en el mantenimiento de la vida y la salud. Se encuentra situado a la izquierda del tórax, entre los dos pulmones, reposando sobre el diafragma. La masa muscular cardíaca, contráctil, se llama miocardio y está protegida por las membranas pericárdica y endocárdica. Es un órgano muscular contráctil y hueco, dividido en cuatro cavidades por medio de tabiques internos, en su interior pueden distinguirse 2 cavidades superiores, las aurículas, y 2 inferiores, los ventrículos, según se muestra en la Figura 1.

La función esencial del corazón es recoger la sangre venosa tras su recorrido por los diversos tejidos del cuerpo y transportarla a los pulmones para que se convierta en sangre arterial (oxigenada). En los alvéolos pulmonares se intercambia el anhídrido carbónico contenido en la sangre por el oxígeno procedente de la respiración externa. La sangre arterial retorna de nuevo al corazón para ser enviada al resto del organismo.

Figura 1. Anatomía del Corazón¹

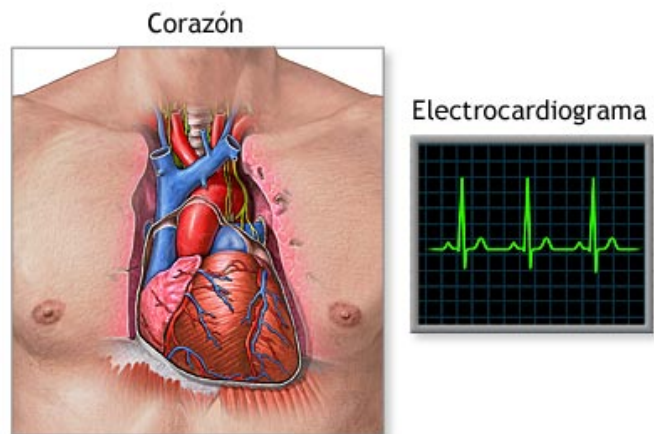


¹ ATLAS DE ANATOMIA ORDENADA Adermicina.com.ar [en línea]. [consulta: 21/10/2008]
Disponible en: <<http://ar.geocities.com/argenvista/corazon2.bmp>>

4.2 EL ELECTROCARDIOGRAMA

Un electrocardiograma (ECG - EKG) como lo muestra la Figura 2 es un examen que muestra el análisis de la actividad eléctrica del corazón. Se utiliza básicamente para diagnosticar las enfermedades cardiacas o de corazón, como infartos, medir el ritmo y la regularidad de los latidos, así como la posición y el tamaño de las cámaras cardíacas, así mismo permite regular cualquier daño al corazón y las consecuencias de medicamentos o instrumentos utilizados para regularlo (como un marcapasos). La señal ECG se obtiene a través de una serie de electrodos ubicados en diferentes partes del cuerpo; llamados *derivaciones*.

Figura 2. Electrocardiograma ECG²

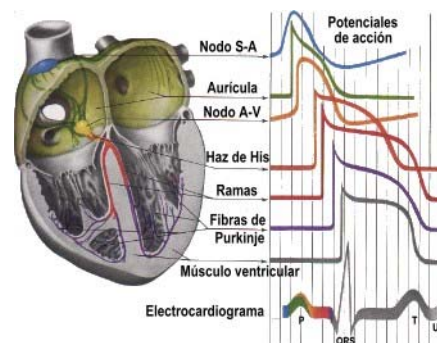


ADAM.

La razón principal por la cuál las personas o pacientes deben practicarse un electrocardiograma, es porque dicho examen es muy útil para concluir si una persona padece de dolencias cardiacas, dolor en el tórax, palpitaciones y si el corazón está latiendo normalmente. Mediante el ECG el cual destaca potenciales importantes como el mostrado en la Figura 3, se puede determinar las consecuencias o efectos que trae los cambios en la actividad o en los niveles al ingerir medicamentos.

² LOMA LINDA UNIVERSITY MEDICAL CENTER [en línea]. [consulta: 18/09/2008] Disponible en: < <http://lomalindahealth.org/health-library/graphics/images/es/8772.jpg> >

Figura 3. Electrocardiograma³



4.2.1 Resultados ECG. Los resultados anormales de ECG pueden indicar lo siguiente:

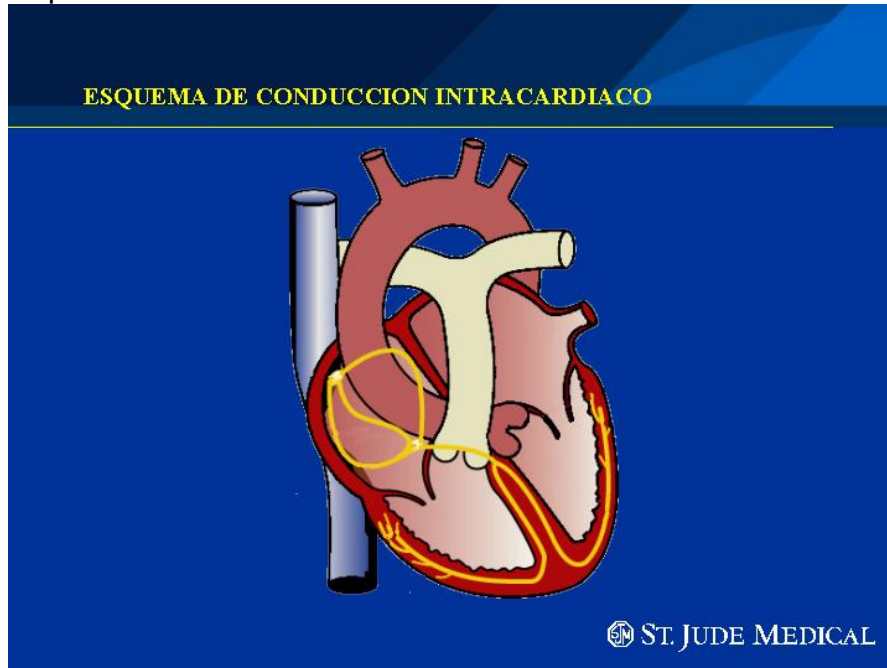
- Un defecto del miocardio (músculo cardíaco)
- Infarto
- Agrandamiento del corazón
- Bloqueo Cardíaco
- Defectos congénitos
- Enfermedad de válvula cardíaca
- Arritmias (ritmos anormales)
- Taquicardia o bradicardia (frecuencia cardíaca demasiado rápida o demasiado lenta)
- Latidos cardíacos ectópicos
- Enfermedad de la arteria coronaria
- Inflamación del corazón (miocarditis)
- Cambios en la cantidad de electrolitos (químicos en la sangre)
- Un ataque cardíaco anterior
- Un ataque cardíaco en evolución o inminente

4.3 CARÁCTERÍSTICAS DEL RITMO CARDIACO CON ECG

Generalmente, el corazón debe latir entre 60 a 100 veces por minuto (a los latidos por minuto se les denomina frecuencia cardíaca). Cada latido es impulsado por una señal eléctrica generada desde el nódulo sinoatrial (también llamado el nódulo sinusal) según se observa en la Figura 4, el cual se encuentra situado al lado derecho del corazón. Si existe alguna anomalía en la secuencia de señales eléctricas que llegan al corazón, se produce una arritmia.

³ Ferato.com El portal de la salud Enciclopedia Médica [en línea]. [consulta: 05/08/2008]
Disponible en: <http://www.ferato.com/wiki/images/e/e7/20080314_mgb_Electrocardiograma_.jpg>

Figura 4. Esquema de Conducción Intercardiaco⁴

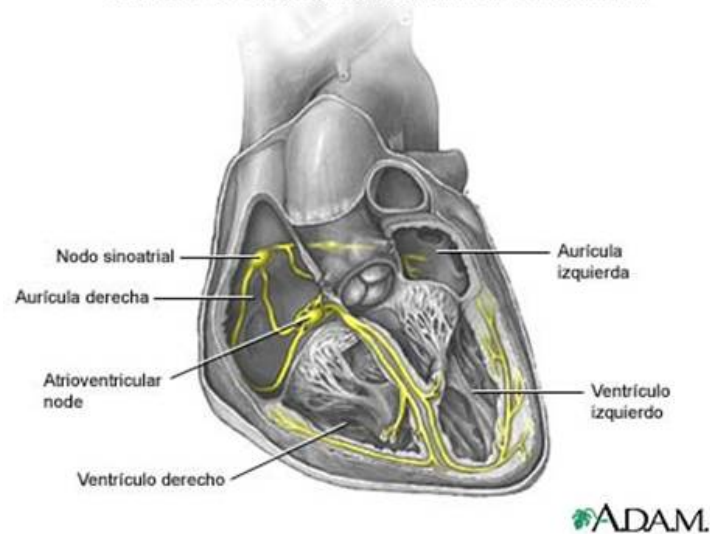


4.3.1 Sistema de Conducción Cardíaca. El sistema de conducción cardíaca define el principal el ritmo de los latidos cardíacos que produce el corazón al generar impulsos que estimulan la contracción del corazón, según se observa en la Figura 5.

Figura 5. Sistema de Conducción Intrínseca del Corazón⁵

⁴ FERNANDEZ BURGOS, Enrique. Curso Marcapasos [en línea]. [consulta: 22/07/2008] Disponible en: <<http://www.secex.org/marca/08/Diapositiva1.JPG>>

Sistema de conducción intrínseca del corazón



4.4 ONDAS, INTERVALOS Y SEGMENTOS DEL ELECTROCARDIOGRAMA

Se denomina P a la primera onda de la imagen que muestra un electrocardiograma, y Q, R, S, T y U a las sucesivas, como lo muestra la Figura 6. Entre ondas, se presentan intervalos, segmentos, y puntos de referencia de un gran interés diagnóstico. Estos son; el intervalo PR, el punto J, el segmento ST, y el intervalo QT principalmente.

INTERVALO PR (PQ)

Se denomina así al intervalo desde el inicio de la onda P al comienzo del complejo QRS.

PUNTO J

Corresponde a la unión entre el fin de la onda S y el inicio del segmento ST.

SEGMENTO ST

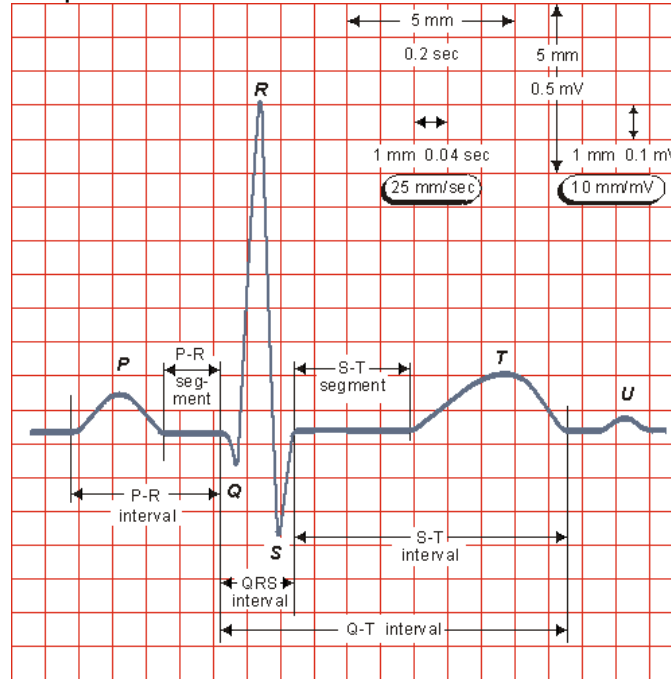
Comprende desde el fin del complejo QRS (punto J) hasta el inicio de la onda T.

INTERVALO QT

El intervalo QT se mide desde el comienzo del complejo QRS hasta el final de la onda T.

⁵ Grupo de Señales e imágenes medicas Kiron [en línea]. [consulta: 23/09/2008] Disponible en: <<http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2005II/marcapasos/imagenes/imag.jpg>>

Figura 6. Ondas Componentes del ECG⁶



4.5 CARACTERÍSTICAS DEL ELECTROCARDIOGRAMA NORMAL

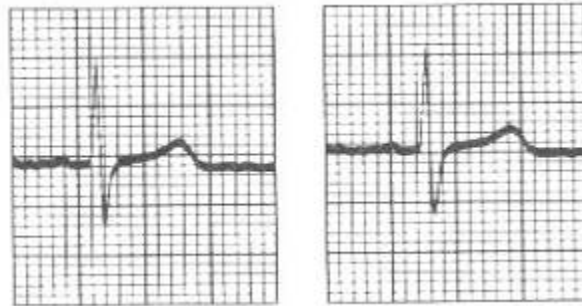
La importancia del ECG como examen diagnóstico del corazón, radica en que a través de observación directa es posible identificar posibles patologías cardiacas. De igual forma es posible entonces resaltar las características el electrocardiograma normal. A continuación, debido a que las derivaciones de las señales analizadas son V3 y V4, se describirán sus características, las cuales pueden observarse en la Figura 7.

La primera de ellas está sobre el paraseptum inferior derecho, y la segunda, sobre el paraseptum inferior izquierdo. En las dos adquiere importancia el vector II septal derecho, por cuanto por ser tan pequeño, (duración 5 milisegundos), se magnifica cuando se acerca el electrodo a él, como ocurre en estas derivaciones. Primero se obtendrá una onda P positiva, por cuanto el vector resultante de la despolarización auricular se les acercará. El intervalo PR será isoeléctrico. La onda R aumentará de intensidad, por cuanto al vector I septal, se le sumará, el II septal derecho. El Vector II izquierdo, se aleja, tanto como el III basal, originándose entonces una onda

⁶ ELECTROCARDIOGRAFIA.ES [en línea]. [consulta: 29/10/2008] Disponible en: <http://www.electrocardiografia.es/images/ondas_ecg.gif >

negativa S, igual a la positiva R. el vector de repolarización se acercará y demarcará la onda T positiva y asimétrica⁷

Figura 7. Derivaciones unipolares V3 y V4.⁸



4.6 EL INFARTO

Se denomina infarto a la infiltración de sangre venosa, es decir sangre tóxica, en la estructura íntima de un órgano a consecuencia de la oclusión por émbolo o un trombo de la arteria terminal que lo irriga.

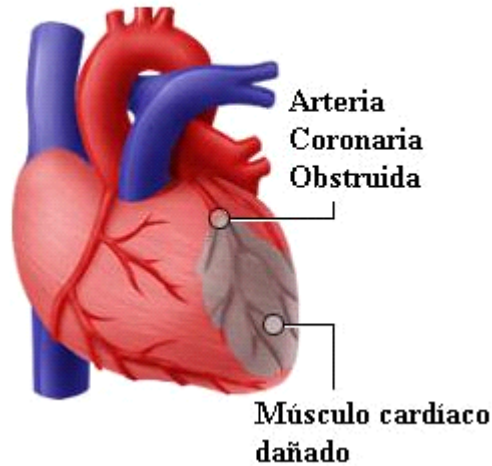
4.6.1 Infarto de Miocardio. El infarto de miocardio (músculo del corazón) es una necrosis (muerte de algunos tejidos, en este caso del corazón) isquémica aguda de la musculatura cardíaca, la cual se caracteriza por una disminución o supresión del flujo sanguíneo en una parte del músculo, causada muy a menudo por la oclusión de la arteria coronaria como se observa en la Figura 8; se considera como la cardiopatía de mayor relieve por su gravedad y la frecuencia con que se produce.

⁷ CLAVIJO, Diana et al. Sistema Inteligente de reconocimiento de Enfermedad Coronaria (Isquemia). Manizales, 2006. Trabajo de Grado. (Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones). Pág. 10

⁸ Ibid. Pag. 10.

Figura 8. Bloqueo del suministro de sangre⁹

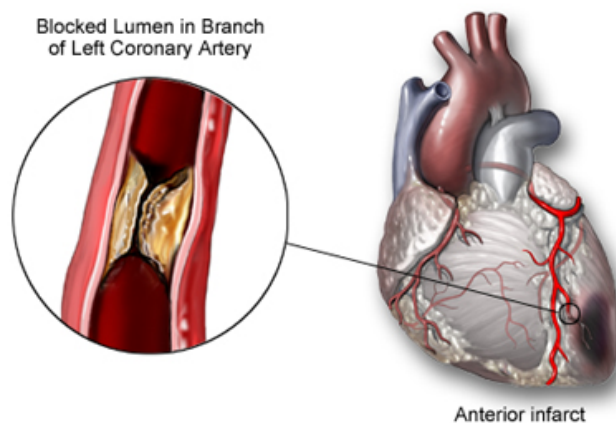
Bloqueo del suministro de sangre



El área del infarto puede apreciarse directamente por su palidez, su forma piramidal y su color grisáceo que contrasta con el rojo oscuro del miocardio sano. En la periferia del infarto anémico se observa una franja amarillenta debido a la metamorfosis adiposa de los tejidos circundantes.

En general, el infarto se localiza en la mitad izquierda del corazón como se observa en la Figura 9, correspondiente a la zona irrigada por la coronaria izquierda. Así mismo, puede asentarse en la zona de distribución de la coronaria derecha, y con menos frecuencia en la zona marginal del ventrículo izquierdo por la oclusión de la rama circunfleja de la coronaria izquierda.

Figura 9. Bloqueo en la rama de la arteria coronaria izquierda



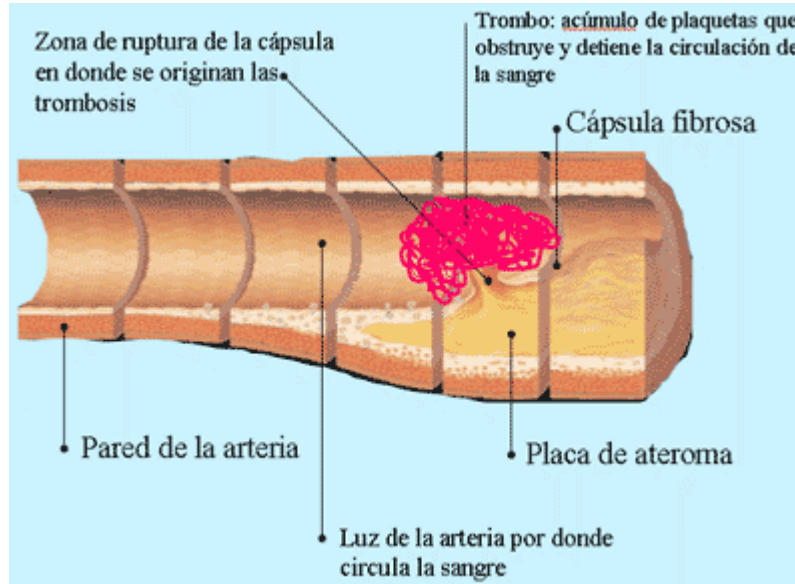
⁹Universidad Central de Venezuela [en línea]. [consulta: 01/10/2008] Disponible en: <<http://www.ucv.ve/cebio/stent%20Imagen%208.png>>

Es una enfermedad que tiene una incidencia más acentuada en el hombre que en la mujer. Suele aparecer a partir de los cuarenta años, aunque también puede atacar a personas jóvenes. Como ya se ha indicado la causa principal es la oclusión de una de las arterias coronarias, pero para que esto suceda son necesarios una serie de factores coadyuvantes, factores predisponentes y factores desencadenantes.

- A. Factores coadyuvantes son todas aquellas enfermedades que favorecen la aparición de una arteriosclerosis (endurecimiento de las arterias, con la consiguiente pérdida de elasticidad en las mismas) como, por ejemplo, la diabetes, la hipertensión arterial, el exceso de colesterol en la sangre, entre otras. Es posible que la úlcera gastroduodenal y las afecciones de las vías biliares desempeñen también un papel coadyuvante del infarto de miocardio.
- B. Factores predisponentes son todos aquellos determinados por actividades o profesiones que obligan al individuo a una vida sedentaria y que exigen una gran tensión nerviosa a la que acompaña el abuso del tabaco y una herencia congénita de debilidad constitucional.
- C. Factores desencadenantes son los esfuerzos físicos inhabituales, las emociones fuertes e intensas, los traumatismos torácicos, el estado de shock o una hemorragia importante.

Una de las causas más frecuentes del infarto es la trombosis coronaria (formación de un pequeño grumo o coágulo llamado “trombo” como se observa en la Figura 9, que provoca un trastorno más o menos grave de la circulación sanguínea).

Figura 10. Trombo¹⁰



Esta enfermedad puede ser de intensidad muy variable, desde un cuadro casi completamente indoloro a un estado intermedio de diversa gravedad o hasta ofrecer un cuadro grave y dramático muy impresionante. El inicio del infarto puede ser brusco e imprevisto en condiciones de absoluto bienestar; pero, en la gran mayoría de los casos, el paciente advierte una serie de signos premonitorios, tales como dolores precordiales vagos, sensación de angustia, crisis dolorosas de angina de pecho cada vez más frecuentes. Después, la enfermedad se desarrolla con su sintomatología característica, manifestándose mediante los siguientes signos:

- A. Dolor brusco que suele ser bastante violento y que irradia desde el centro del tórax hacia otra zona o hacia la parte más elevada del abdomen, el brazo izquierdo, el cuello y la mandíbula inferior. Este dolor puede persistir durante horas intercalándose los periodos de mayor a menor intensidad.
- B. Sensación de ansiedad y angustia que se origina en el ánimo del paciente al presentarse un dolor tan vivo que le hace pensar en la posibilidad de una muerte inminente.
- C. Estado de shock que se manifiesta a través de los siguiente síntomas: disminución brusca y alarmante de la presión sanguínea arterial; debilidad, aceleración e irregularidad del ritmo de los latidos cardíacos y, por tanto, del pulso; dificultad en la respiración; color grisáceo con fondo azulado del

¹⁰ FIPEC Fundación para la investigación y prevención de las enfermedades cardiacas [en línea]. [consulta: 25/11/2008] Disponible en: < <http://www.fipec.net/>>

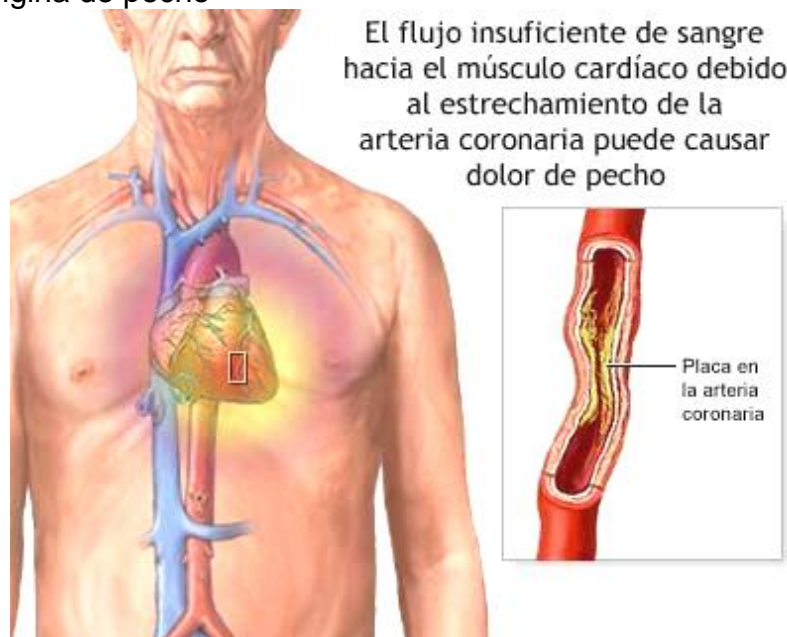
rostro; sudoración fría, copiosa y viscosa por todo el cuerpo, especialmente en la cara.

- D. Trastorno de la función renal, que consiste en una disminución de la cantidad de orina, con presencia de albúmina.

4.6.2 Angina de Pecho. Es un ataque de dolor violento y súbito, caracterizado por un estrechamiento del pecho como se observa en la Figura 11. Es una expresión de disminución momentánea (absoluta o relativa) de la oxigenación del miocardio; en algunas ocasiones irradia hacia el brazo izquierdo, muchas veces suele manifestarse después de haber realizado un gran esfuerzo.

La causa de una angina de pecho es la isquemia, la cuál a su vez se define como un desbalance entre el suministro de sangre y la demanda de energía por parte del corazón ó detención circulatoria momentánea en el músculo cardíaco.

Figura 11. Angina de pecho¹¹



Aparece primordialmente en el hombre después de los cuarenta años. Es relativamente excepcional en la mujer, a no ser que ésta padezca una hipertensión, una cardiopatía conocida o una diabetes.

¹¹ Ferato.com El portal de la salud Enciclopedia Médica [en línea]. [consulta: 16/12/2008] Disponible en: < http://www.ferato.com/wiki/images/7/7d/20080811_mgb_Angina_.jpg >

El grado de oxigenación del miocardio se halla disminuido cuando el paciente sufre cualquiera de las siguientes afecciones:

- A. Esclerosis de las coronarias (rigidez y pérdida de elasticidad en los vasos coronarios); suele ser la causa más frecuente de angina de pecho, también la diabetes y el exceso de colesterol en la sangre son factores coadyuvantes que favorecen esta enfermedad.
- B. Defectos aórticos. En la aortitis(inflamación de la aorta) y en la insuficiencia aórtica sifilítica también puede producirse la angina
- C. En las personas que sufren de una estrechez de las coronarias, ciertas enfermedades pueden originar el padecimiento de una angina. Estas enfermedades son la anemia, la taquicardia paroxística, y la tirotoxicosis, debido al aumento de la necesidad del oxígeno del miocardio.
- D. Otra causa puede ser la herencia genética debido a que los padres padezcan deficiencias de las coronarias.

Los factores que actúan como coadyuvantes de que aparezca la crisis pueden ser los esfuerzos, las emociones, la alimentación abundante, el frío, la hipertensión arterial, al acto sexual entre otras. Por otra parte, las afecciones de las vías biliares y las úlceras gastroduodenales favorecen la aparición de una angina de pecho.

La crisis suele venir desencadenada, generalmente, por un esfuerzo físico, ya sea violento o reposado, dado que, a veces, el simple hecho de subir una escalera puede originar la aparición del primer síntoma como es el dolor, el cual se manifiesta muy intenso y se percibe como una sensación de estrechamiento o un ardor; posteriormente, suele irradiar hacia el hombro y el brazo izquierdo, hasta llegar, en ocasiones, hasta el dorso de la mano. Casi nunca irradia a los pulgares; sin embargo también puede dirigirse hacia el cuello o la mandíbula. Estos dolores cesan entre los 5 y 10 minutos.

El individuo afecto de un ataque de angina tiene un aspecto pálido, con sudor frío y los ojos aterrorizados y desencajados, a la vez que da la sensación de estar preso de una viva angustia y sufrimiento. Afortunadamente, el ataque sólo dura unos minutos, pero puede repetirse en cortos intervalos de tiempo en los que el enfermo tiene un estado psíquico ansioso y de terror.

Existen formas excepcionales de angina que se manifiestan con síntomas de disnea o dificultad en la respiración y ocasionalmente de síncope, es decir, un desfallecimiento o desmayo.

Una vez superada la crisis, el paciente queda en un estado de abatimiento psíquico y físico, y con un extraño deseo de eructar y orinar. Puede incluso sobrevenir la muerte durante el ataque.

4.7 TECNICAS DE ANALISIS DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS

4.7.1 Transformada Discreta de Fourier (DFT) y Rápida de Fourier (FFT). Es un método que asigna una descripción a cerca de la distribución de energía de la señal respecto a su contenido de frecuencia. Su expresión matemática se define en (1) y (2).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W^{nk} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$X(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot W^{-nk} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

La Transformada Rápida de Fourier básicamente se define como un algoritmo matemático, el cual captura muestras digitalizadas en el dominio del tiempo y a su vez calcula su representación en el dominio de la frecuencia.

4.7.2 Transformada Discreta del Coseno (DCT). Esta transformada cuenta con una buena propiedad de compactación de energía, la cual produce coeficientes incorrelacionados, con la diferencia de que los vectores base de la DCT dependen sólo del orden de la transformada seleccionado, y no de las propiedades estadísticas de los datos de entrada. Su expresión matemática de se define en (3).

$$g(u, v) = a_u \cdot a_v \cdot \frac{2}{N} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1) \cdot u \cdot \pi}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2y+1) \cdot v \cdot \pi}{2N}\right) \quad (3)$$

4.7.3 Transformada Wavelet Discreta (DWT). Conocida por la implementación de las señales para detectar sus ruidos y posibles descomposiciones de cada una de las señales ECG, usada para diseñar un detector QRS. Su expresión matemática de se define en (4).

$$s(2^i, 2^i \cdot n) = \frac{1}{\sqrt{2^i}} \cdot \sum_k \Psi^* \left(\frac{k}{2^i} - n \right) \cdot s(k) \quad (4)$$

4.8 ANTECEDENTES. El electrocardiograma (ECG) es un registro gráfico de los potenciales eléctricos producidos por el tejido cardiaco. El corazón es singular entre los músculos del cuerpo en vista de que posee la propiedad de la formación de un impulso automático y una contracción rítmica. El impulso eléctrico se produce en el sistema de conducción del corazón; la excitación de las fibras musculares de todo el miocardio resulta en la contracción cardiaca. La producción y conducción de estos impulsos eléctricos originan pequeñas corrientes eléctricas que se propagan a todo el cuerpo. El ECG se obtiene colocando electrodos en varios sitios de la superficie del cuerpo, que se conectan al aparato de registro. Las conexiones del aparato son de tal manera que una deflexión hacia arriba indica un potencial positivo y una deflexión dirigida hacia abajo indica un potencial negativo. En el medio de la medicina el diagnóstico de cardiopatías congénitas, arritmias y otras enfermedades se hace en base de varios estudios basados en el ecocardiograma, electrocardiograma y el electrofonograma.

Las siguientes son algunas de las investigaciones realizadas o que se encuentran en proceso, relacionadas con este proyecto:

4.8.1 Obtención de Patrones Electrocardiográficos de una Ballena Jorobada Mediante Tratamiento de Imagen y Señal. Autores. Ricardo Ayala, Andrea del Pilar Rosas, Arturo Plata, Ángel María Chávez, Jorge Reynolds. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bogota. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Fundación Cardiovascular de Colombia, Bucaramanga, Colombia. Grupo Seguimiento Corazón Vía Satélite.

Resumen. El objetivo de este trabajo es realizar el procesamiento, caracterización y análisis de los diferentes registros electrocardiográficos de la ballena jorobada, en un entorno comparativo con el corazón humano para la obtención de un patrón electrocardiográfico mediante tratamiento de imagen y señal, usando como principal herramienta la transformada *wavelet*.

4.8.2 Tratamiento de Señales Electrocardiográficas Mediante la Transformada *Wavelet* Discreta. Autores. Ricardo Martínez, Rosa David, César O. Torres Moreno. Universidad del Cesar.

Resumen. Se presenta un sistema de adquisición de datos para el procesamiento de señales electrocardio-gráficas (ECG), con tres electrodos de superficie (transductores), que convierten la señal en potenciales bioeléctricos, mediante un amplificador de instrumentación y arreglos de la señal. La señal obtenida fue llevada a un computador para su procesamiento utilizando *data adquisición toolbox* de Matlab 6.5. Con el presente trabajo se pretende aportar herramientas matemáticas basadas en la transformada *Wavelet* Discreta para procesar digitalmente señales biomédicas, en especial la señal U de un ECG.

4.8.3 Nuevas Técnicas de Procesado de Señales Electrocardiográficas: Aplicación a Registros de Larga Duración. Autores. Pablo Laguna Lasasa. Universidad De Zaragoza. Departamento: Ingeniería Eléctrica e Informática Programa de Doctorado

Resumen. El tema abordado en esta tesis doctoral, es el procesamiento de la señal ECG. Dentro del procesamiento de esta señal se han abordado los siguientes aspectos:

A) Diseño de filtros derivadores paso bajo para señales biológicas. Se ha propuesto una técnica de diseño basada en una estimación previa del espectro de la señal.

B) Definición de puntos significativos del ECG. Se ha desarrollado un detector de complejos QRS orientado para la posterior determinación de intervalos temporales en cada latido. Se ha propuesto un método de medida del intervalo QT y se ha desarrollado un detector de QRS de uso general.

C) Se ha realizado un estudio preliminar de la significación del intervalo QT como marcador de procesos de muerte súbita.

D) Detección de instantes de ocurrencia en el ECG. Se ha estudiado analíticamente el comportamiento en presencia de ruido (desviación, tipo del error) de un estimador de tiempo de retardo entre señales de la misma forma, y se ha propuesto un método de medida de intervalos usando este estimador.

E) Procesamiento adaptativo de la señal ECG. Se ha propuesto un esquema adaptativo de procesado de señales recurrentes usando la estructura lineal adaptativa y unas entradas de referencia que son elementos de una base de un espacio vectorial. Se ha aplicado este esquema al modelado dinámico del complejo QRS y al filtrado adaptativo de las ondas unidas temporalmente a un impulso, de modo que se atenúa el ruido no correlacionado con dicho impulso.

4.8.4 Tratamiento Extrahospitalario del Infarto Agudo de Miocardio en Andalucía. Autores. Francisco J. Mellado Vergela, Fernando Rosell Ortiza y Manuel Ruiz Bailénb, en nombre del grupo PEFEX*. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Consejería de Salud de la Junta de Andalucía. España. Unidad de Cuidados Intensivos. Hospital General Ciudad de Jaén. Jaén. España.

Resumen. El objetivo principal es analizar el manejo del infarto agudo de miocardio por equipos de emergencias extrahospitalarios, así como evaluar los factores asociados a la aplicación de fibrinólisis extrahospitalaria

4.8.5 Estudio Comparativo de Técnicas Para Extracción de Características en Señales de ECG. Autores. Franklin Alexander Sepúlveda Sepúlveda, Universidad Autónoma de Manizales. VIII Simposio de Tratamiento Digital de Señales.

Resumen. Diseñar, construir y poner en funcionamiento un equipo de captura de señales electrofisiológicas cardíacas de 12 derivaciones, que permita transmitir las inalámbricamente a un servidor WEB, para la consulta, vía telefonía móvil, tanto del registro gráfico del electrocardiograma, como de los resultados del diagnóstico.

4.7.6 Diseño e Implementación de un Banco de Prueba de Filtros Análogos y Digitales en el Análisis de las Señales Electrocardiográficas ECG. Autores. Leonardo Castilla, Javier Ortega, Alejandro Romero Universidad Autónoma del Caribe

Resumen. Uno de los factores primordiales en la adquisición confiable y precisa de señales biomédicas son las técnicas de filtrado utilizadas. La propuesta planteada está encaminada a desarrollar una herramienta didáctica que permita selectivamente aplicar un conjunto de filtros de diversas clases y órdenes al biopotencial de interés, y de esta forma evaluar la respuesta de la etapa de filtrado y su incidencia en la calidad de la señal biomédica adquirida, constituyéndose en un medio tecnológico práctico para ser potencializado en un laboratorio de Bioinstrumentación. Como señal piloto se escogió a la segunda derivación bipolar de Einthoven, para lo cual se diseñó el canal de amplificación adecuado. El banco de filtros está compuesto por filtros análogos tipo Butterworth, Bessel y Chebyshev de segundo, cuarto, octavo y décimo orden, así como un filtro digital FIR con coeficientes reprogramables e implementado en una Red de Compuertas Lógicas Programables FPGA.

4.7.7 Análisis y Tratamiento de la Señal Electrocardiográfica para la Detección de Parámetros de Normalidad Bajo la Plataforma Labview “ADPAN-ECG”. Autores. Sandra Marcela Andrade Mora, Miguel Gonzalo Navarrete Mejía. Universidad Pontificia Bolivariana Escuela de Ingeniería y Administración Facultad de Ingeniería Electrónica Bucaramanga

Resumen. En este trabajo se propone una técnica de análisis del ECG haciendo uso de la DWT y su inversa (*IDWT*) mediante *Wavelets* madre comúnmente conocidas, implementadas bajo la plataforma LabVIEW utilizando las herramientas que dispone la *toolset* de procesamiento avanzado de señales (*SPT*). La evaluación de esta técnica de análisis se realiza mediante la implementación de la misma en los 14 registros ECG de la base de datos *MIT-BIH normal sinus rhythm* y en señales generadas en el simulador de señales electrocardiográficas marca FLUYE MP5450, todas ellas de ritmo sinusal.

4.7.8 Análisis y Supervisión de la Señal Cardíaca con Transmisión Inalámbrica de Datos. Autores. Wilmer Rojas, Jhon Herrera, Jadir Acuña, Pablo Muñoz, Francisco Ibargüen. Universidad Tecnológica de Pereira

Resumen. Describe el diseño y la implementación de un prototipo de transmisión vía RF para el análisis y supervisión de la señal cardíaca. El prototipo consta de un electrocardiógrafo portátil con transmisión inalámbrica y una herramienta computacional para la visualización y análisis de la señal obtenida

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

El presente trabajo se enmarca en la categoría de investigación aplicada, en el área de Inteligencia Computacional, dentro del campo e conocimiento de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Estudio de las Técnicas de Procesamiento Digital de Señales a Usar.

- **Actividad 1.** Estudio preliminar de las características de cada una de las técnicas de procesamiento digital de señales, su sustento matemático y sus principales aplicaciones, lo que incluye la revisión de antecedentes.

Como se observa en los antecedentes mencionados en la página 33, se han venido realizando estudios acerca del procesamiento, caracterización y análisis de los diferentes registros electrocardiográficos, mediante variadas técnicas, sin embargo las técnicas de procesamiento aplicadas para este análisis son FFT, DCT y DWT. Para entender el funcionamiento de cada una de estas herramientas se revisaron diferentes textos que contienen los fundamentos matemáticos y sus principales aplicaciones.

Posteriormente, y teniendo claro de antemano que se usaría MATLAB® para realizar el análisis de estas señales, se procedió a revisar la documentación disponible sobre cómo trabajar con estas herramientas bajo esta plataforma.

5.2.2 Fase 2. Estudio y Caracterización del ECG.

- **Actividad 1.** Estudio preliminar de la señal ECG y sus características.

El marco teórico contiene la descripción detallada del examen ECG, que muestra la actividad eléctrica del corazón, permitiendo caracterizar diagnósticos de enfermedades y midiendo el ritmo y la regularidad de los latidos. Esta actividad se completó con la asesoría del Dr. Alejandro Vera González.

- **Actividad 2.** Estudio de la isquemia cardiaca y su manifestación a través del ECG.

Mediante las ondas, intervalos y segmentos del electrocardiograma (ECG), se analizaron las ondas del componente ECG que permiten determinar la enfermedad que la persona padece, en este caso la isquemia o infarto.

- **Actividad 3.** Fijar los parámetros que caracterizan un ECG que no presenta síntomas de isquemia y un ECG de un paciente con isquemia cardiaca.

De la misma forma que en las actividades previas en el marco teórico se especifica cuáles son las evidencias visuales presentes en la señal que permiten caracterizar un ECG sin y con indicios de isquemia cardiaca.

5.2.3 Fase 3. Técnicas de Procesamiento Digital de Señales aplicadas al ECG

- **Actividad 1.** Usando MATLAB®, determinar cuál de las diferentes alternativas que ofrece la Transformada *Wavelet* es útil al presente proyecto.

Inicialmente se tomaron las señales descargadas del sitio web www.physionet.org, el cuál contiene un banco con una gran variedad de señales, las cuales han sido usadas como insumo para este proyecto.

Un valor fundamental para el análisis es el conocimiento de la frecuencia de muestreo usada para la adquisición de las señales, información suministrada en el sitio web y que para el caso de las señales particulares analizadas es de 250 HZ. Adicionalmente al diagnóstico sugerido en el banco de datos de dicha página, se contó con la colaboración del Dr. Alejandro Vera González, quien visualmente identificó señales básicas para ser usadas en el presente análisis. El apartado de resultados muestra los análisis con cuatro señales relevantes: Una señal normal, y tres señales con diferentes estadios de infarto, suficientes para explicar los resultados del análisis.

Dado que no se ha hecho una aproximación anterior al tema de *wavelet*, se escogió inicialmente la *wavelet haar*, la más antigua y simple de las familias *wavelet* y su implementación a través de la Transformada Wavelet Discreta. A partir de los resultados obtenidos aquí, podrá ampliarse el estudio a otras familias.

- **Actividad 2.** Validar la utilidad de las técnicas para la identificación de la isquemia utilizando MATLAB®.

Una completa descripción del análisis de la aplicación de las técnicas escogidas puede observarse en el apartado Resultados del presente documento.

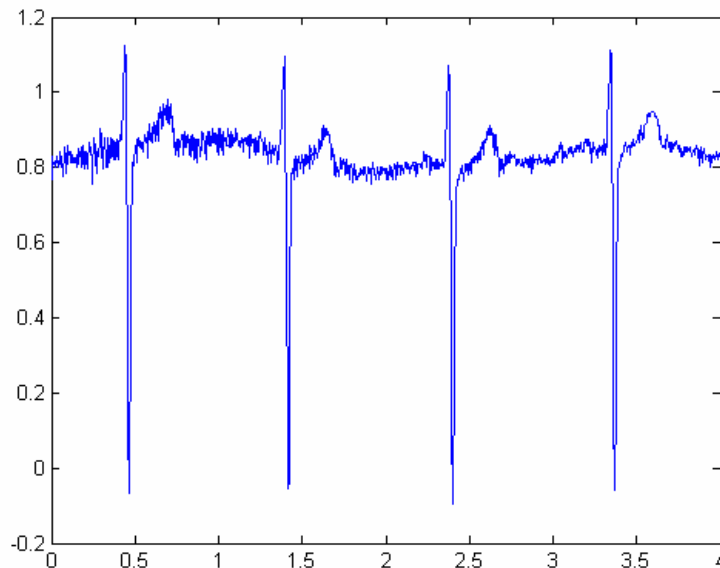
6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Tal como describe en la metodología, se trabajó con una base de datos de señales ECG, de las cuales se extractaron una serie de señales catalogadas como normales, así como otra muestra significativa que presenta diferentes estadios de isquemia. A continuación se presenta el análisis realizado a cuatro señales, como un ejemplo de lo realizado con la totalidad de la muestra.

Inicialmente, y con el fin de permitir la identificación visual de la señal ECG Normal, se muestra la Figura 12, en la cual puede destacarse la onda P positiva, la onda R de gran tamaño, la onda S negativa y el segmento ST positivo, todo referente a la línea base de la señal.

Figura 12. ECG Normal



Con el fin de ilustrar las marcadas diferencias, a continuación se expondrán en las figuras subsiguientes, diferentes niveles de infarto, donde las características anteriormente descritas no permanecen, en particular lo relacionado con la onda S y el segmento ST.

Figura 13. ECG Infarto (1)

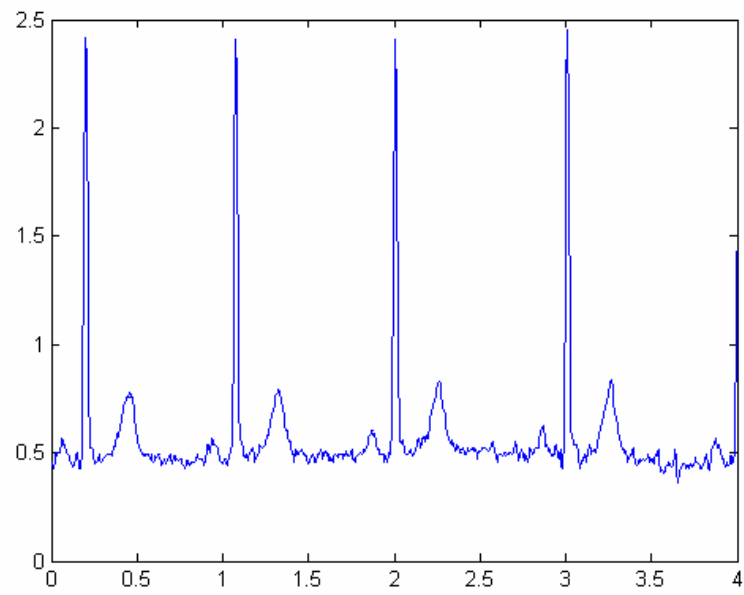


Figura 14. ECG Infarto (2)

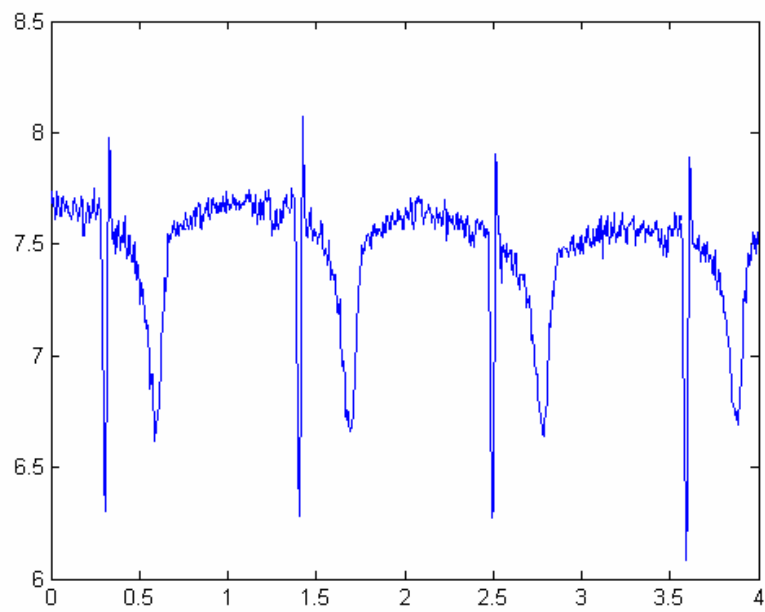
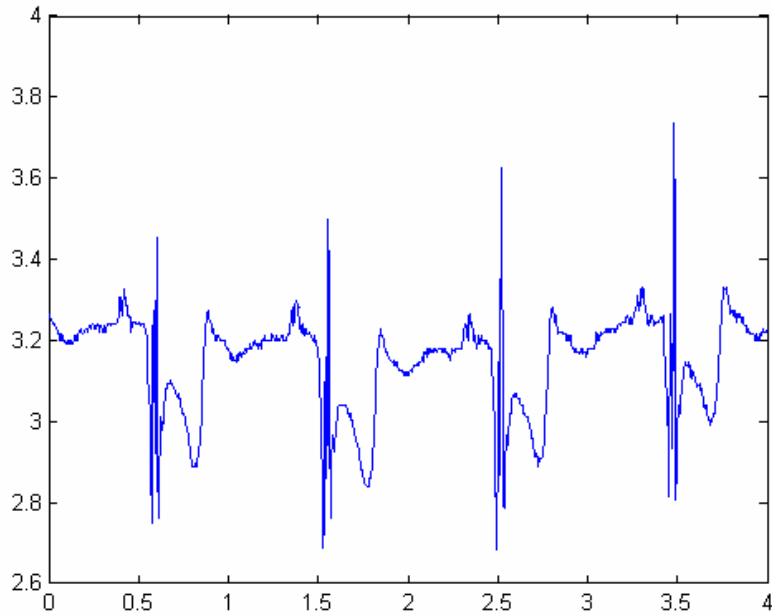


Figura 15.ECG Infarto (3)



6.1.1 Análisis usando la Transformada de Fourier: Inicialmente, se analizan las señales relevantes previamente descritas usando como herramienta la Transformada Discreta de Fourier. Como se observa en la figura 16, el espectro de la señal sin infarto presenta múltiples componentes en frecuencia hasta los 70 Hz. Para estimar si esta técnica es útil en la detección del infarto, es necesario comparar este espectro con los de las señales que presentan la patología.

Figura 16. Espectro de la señal ECG normal.

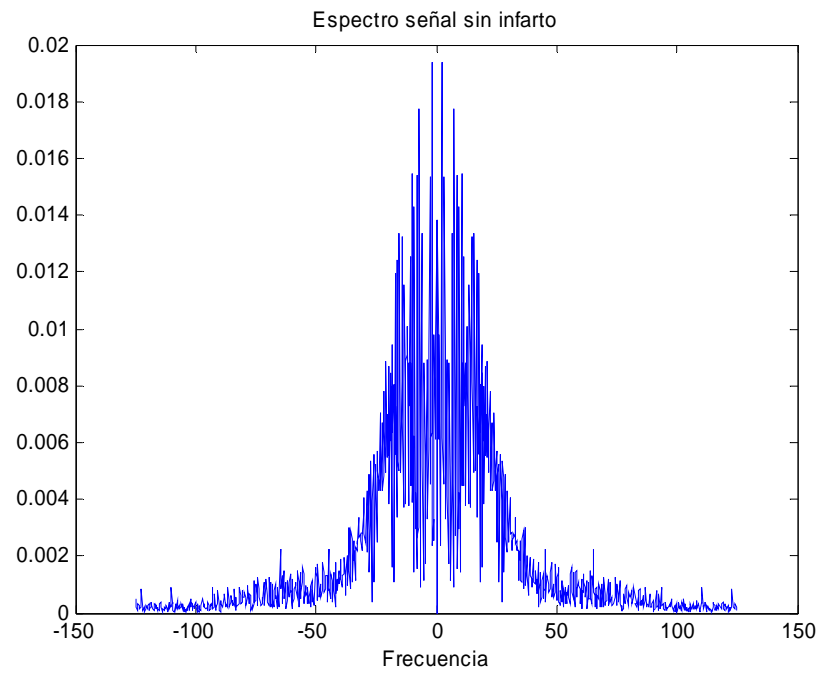
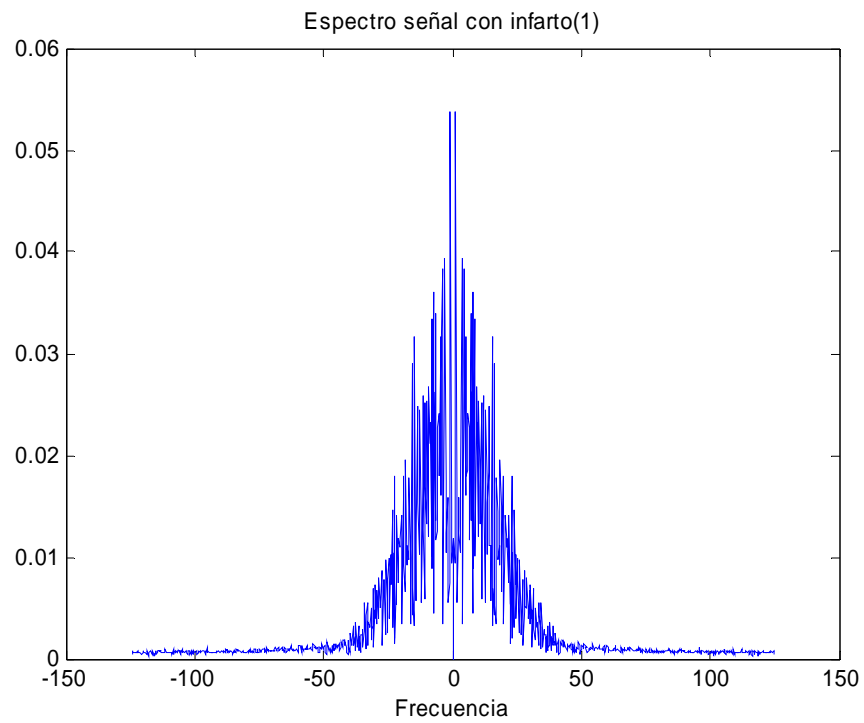
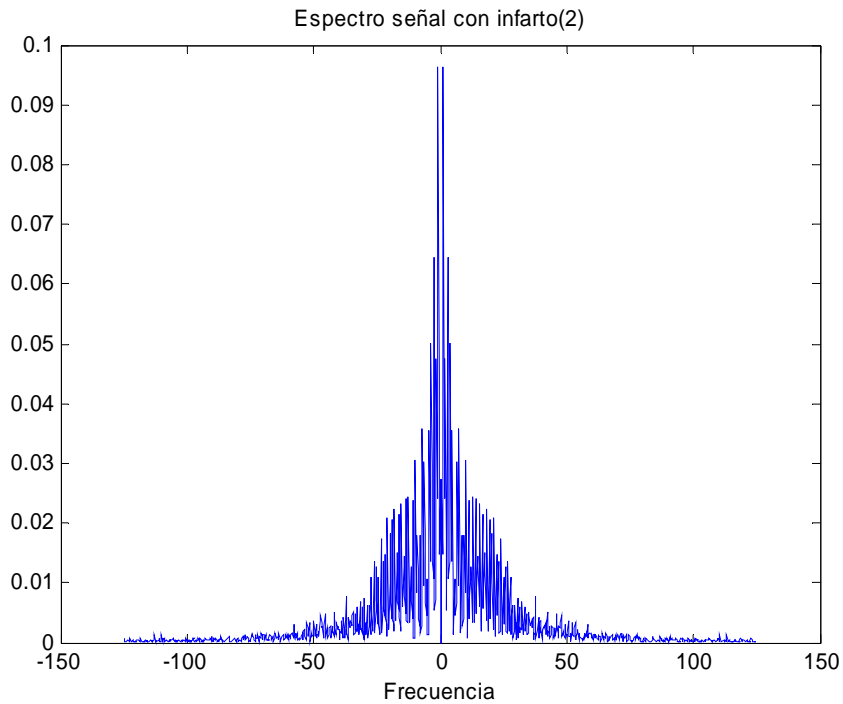


Figura 17. Espectro de la señal ECG con infarto (1).



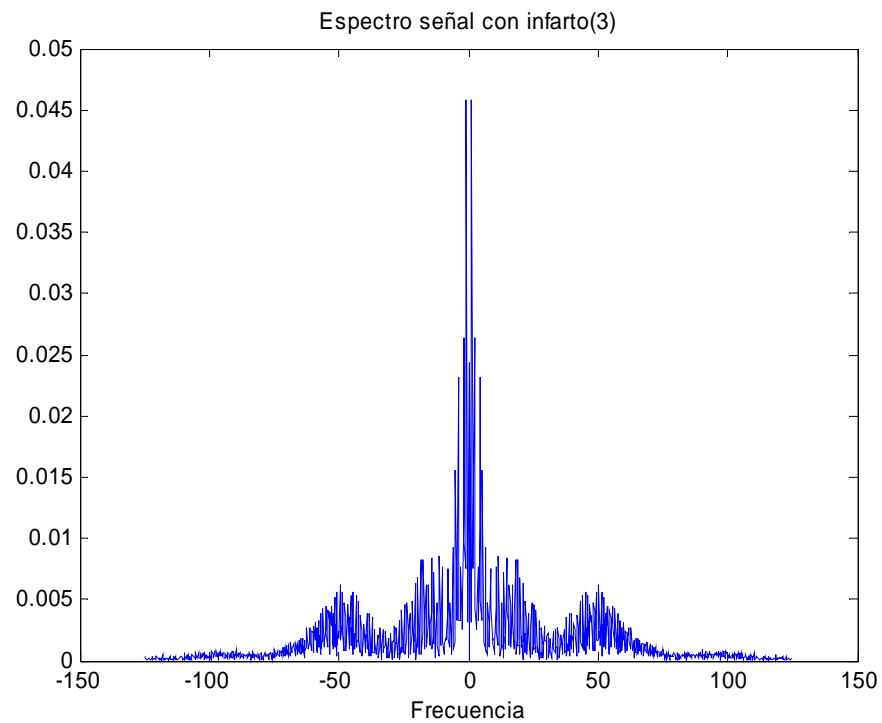
Un análisis visual del espectro obtenido demarca principalmente una reducción en el rango de frecuencias del espectro. Sin embargo esto puede deberse a la presencia de ruido en la señal sin infarto. Por lo demás los espectros presentan las mismas características.

Figura 18. Espectro de la señal ECG con infarto (2).



Un análisis similar puede llevarse a cabo en este caso – Figura 18-. En cambio, la figura 19 ilustra el caso más evidente de infarto, donde se observa un cambio en la forma del espectro en su rango de frecuencias, lo que se podría tomar con un signo para la detección de la isquemia.

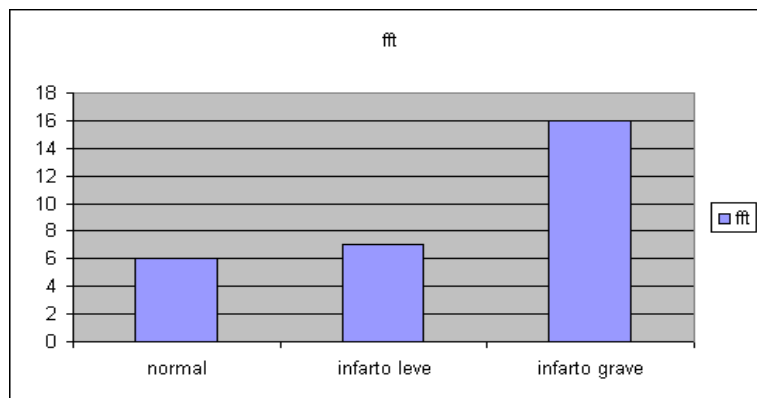
Figura 19. Espectro de la señal con infarto (3).



RESULTADO ESTADISTICO USANDO FFT

Numero de señales Analizadas	29
------------------------------	----

TECNICA	normal	infarto leve	infarto grave	total de señales
fft	6	7	16	29



6.1.2. Análisis con la Transformada Discreta del Coseno. Esta transformada puede verse como la versión en el dominio real de la transformada de Fourier. Fundamental en la compresión de imágenes, ahora se examinarán los resultados que arroja para la detección de patrones de la isquemia mediante el análisis de ECG.

Inicialmente se corre la DCT sobre la señal que no presenta síntomas de infarto, tal como se muestra en la figura 20. De nuevo, para evaluar la efectividad de la técnica, es necesario comparar dicho resultado con lo obtenido al aplicar la DCT a señales que si muestran las características de infarto.

Figura 20. DCT de la señal sin infarto

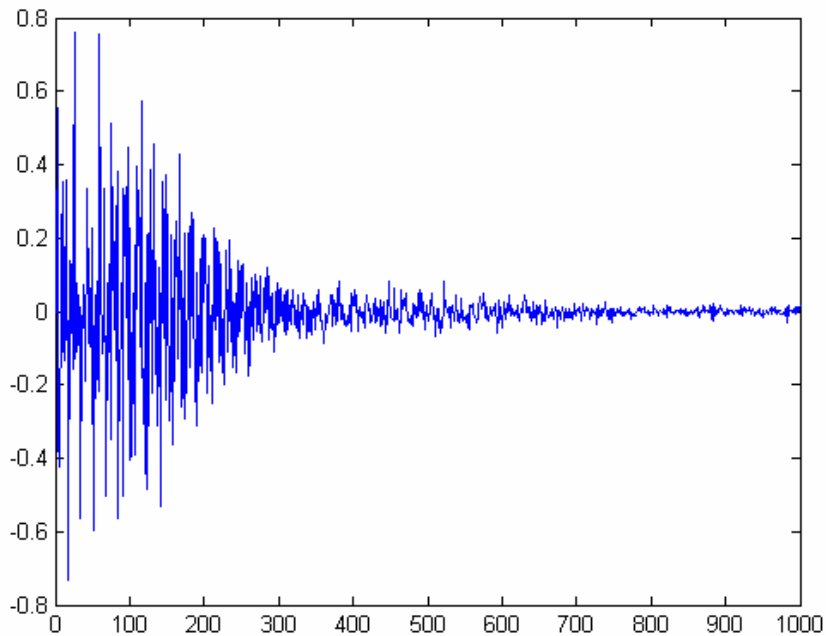


Figura 21. DCT de la señal con infarto (1).

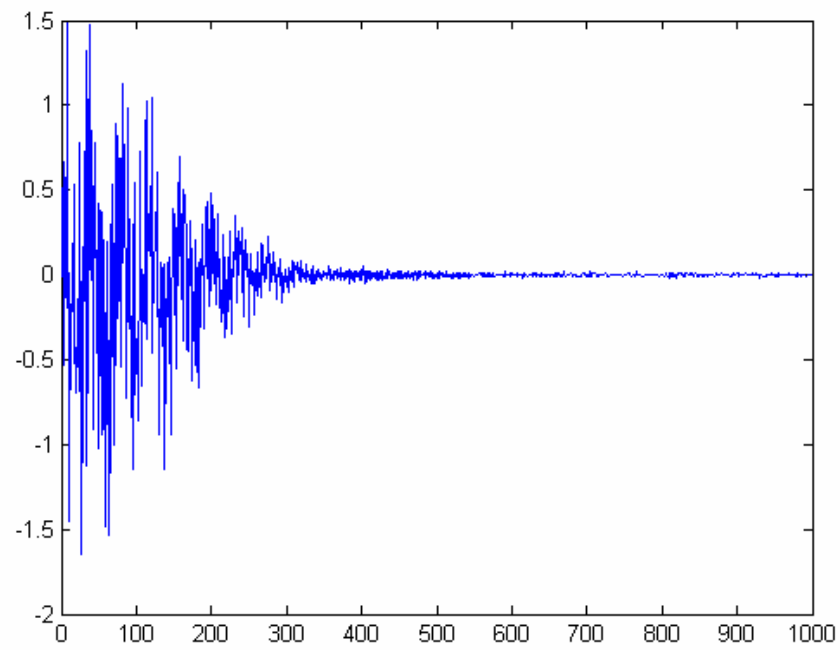


Figura 22. DCT de la señal con infarto (2).

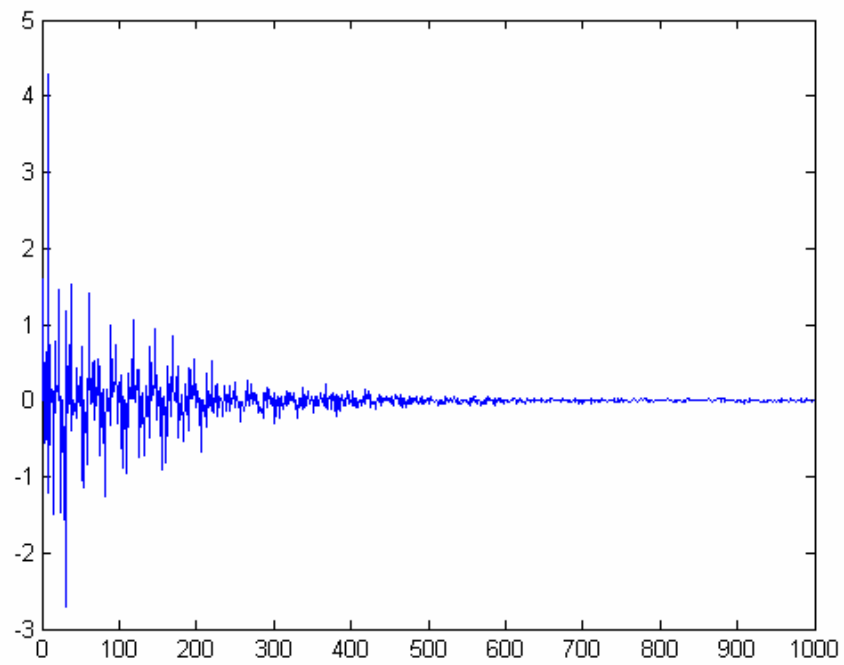
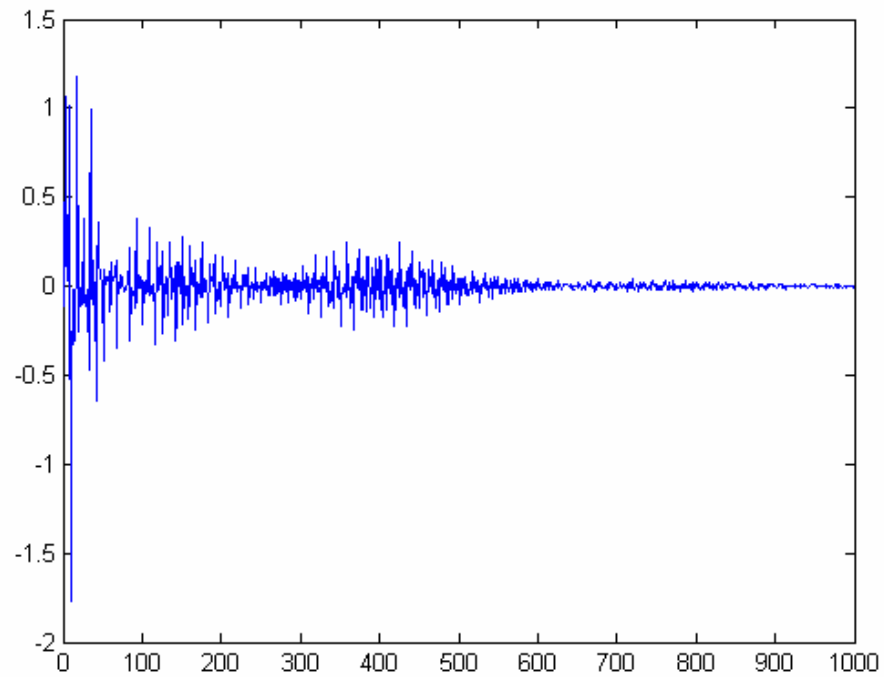


Figura 23. DCT de la señal con infarto (3).

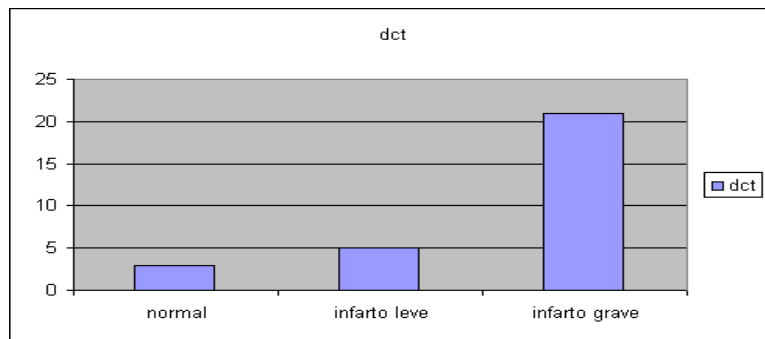


De manera similar a lo que sucedió en el caso de la Transformada de Fourier, como era de esperarse, los resultados obtenidos no difieren mucho en su forma, excepto en la figura 23, donde el cambio es pronunciado y puede tomarse con un indicio para la detección de la isquemia.

RESULTADO ESTADISTICO USANDO DCT

Numero de señales Analizadas	29
------------------------------	----

TECNICA	normal	infarto leve	infarto grave	total de señales
dct	3	5	21	29



6.1.3. Análisis con la Transformada *Wavelet* Discreta. Esta técnica, a diferencia de las anteriores, no limita su análisis a los componentes en frecuencia, sino que además permite concluir sobre el comportamiento de la señal en el dominio del tiempo. Como se explicó en la Metodología, se trabajo con la wavelet *haar*. Los resultados del análisis, es decir, los coeficientes obtenidos, se grafican usando una escala de color, que permite resaltar las zonas susceptibles de análisis.

Tal como se ha hecho anteriormente, la primera señal a analizar es el ECG Normal, el cual se muestra en la figura 24. Posteriormente se muestra en la figura 25, lo obtenido con la señal ECG con leves indicios de infarto.

Figura 24. Análisis *Wavelet* de ECG sin infarto.

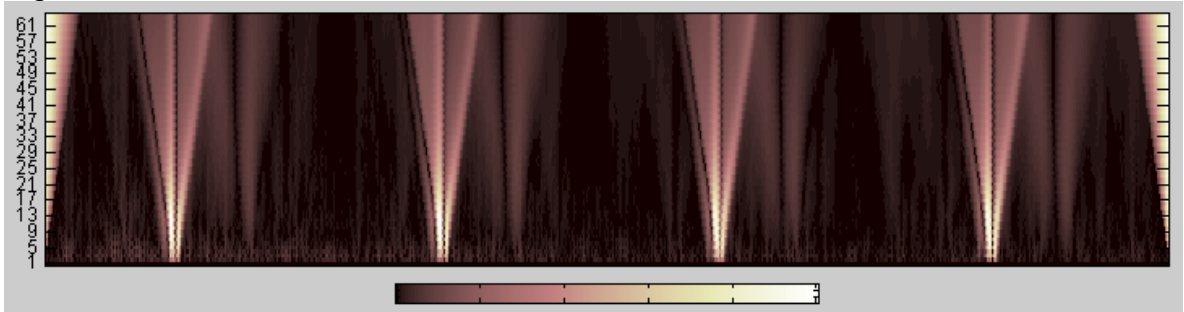
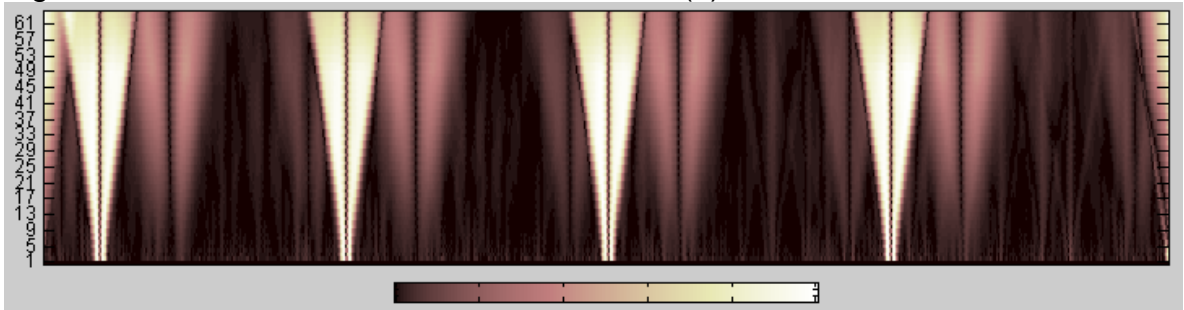


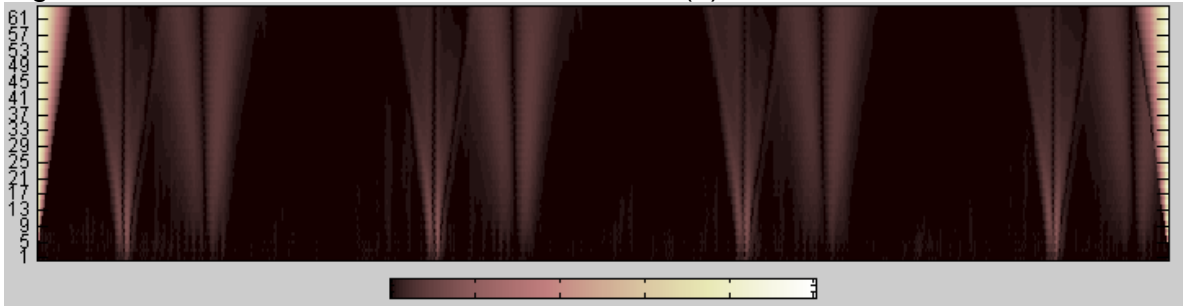
Figura 25. Análisis *Wavelet* de ECG con infarto (1).



Como puede observarse en las figuras, claramente se evidencia la naturaleza periódica de las señales, además de los cambios de amplitud en la misma, dando información tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia. Los segmentos más claros en ambas imágenes denotan la onda R. Inmediatamente después viene el segmento ST, que para el caso de infarto es más claro, debido a que no comienza negativo (es decir la onda S no es negativa).

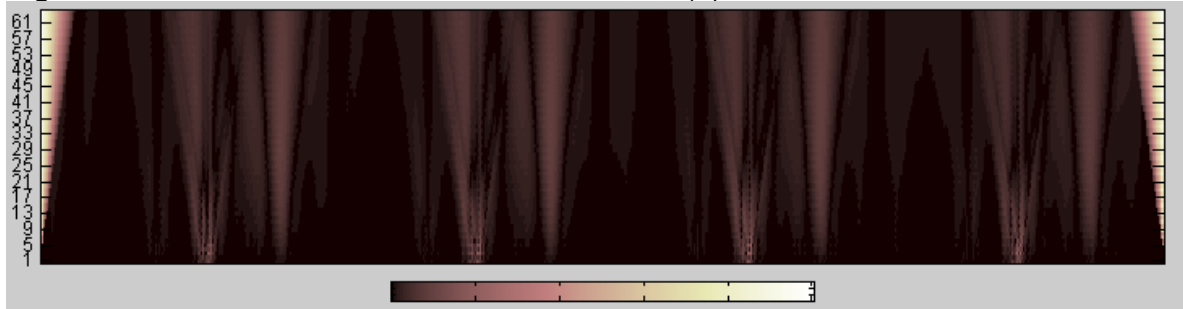
La figura 26 muestra el siguiente caso que se ha analizado. Aquí puede verse como la señal está casi en su totalidad por debajo de la línea base (es decir, a excepción de la onda R, el resto de la señal es negativa). La baja tonalidad demuestra además la inversión de polaridad de la onda T.

Figura 26. Análisis *Wavelet* de ECG con infarto (2).



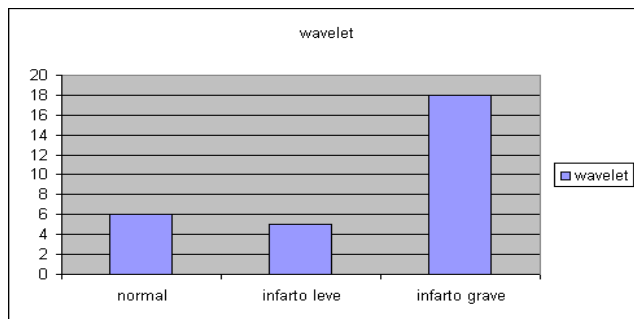
Finalizando, la figura 27 muestra un infarto agudo. La diferencia en los coeficientes muestra como la onda en el dominio del tiempo esta deformada y la baja tonalidad refuerza la característica de inversión de polaridad del segmento ST y la onda T.

Figura 27. Análisis *Wavelet* de ECG con infarto (3).



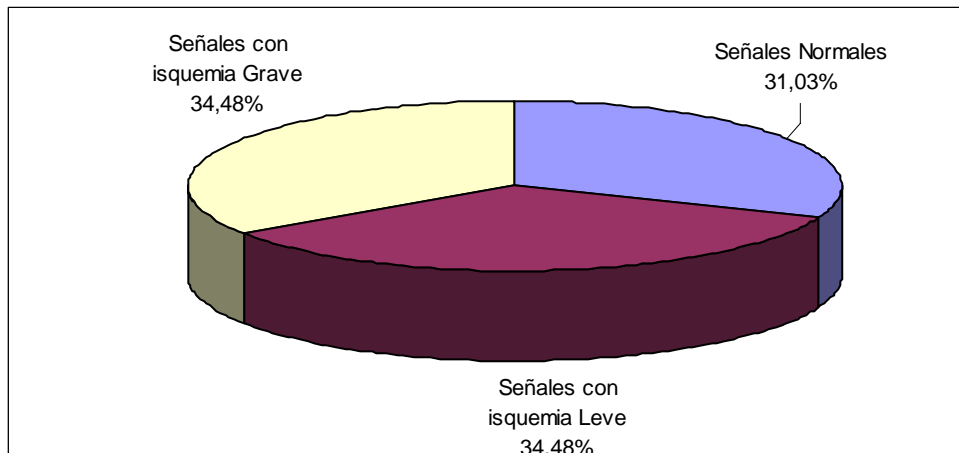
RESULTADO ESTADISTICO USANDO WAVELET

TECNICA	normal	infarto leve	infarto grave	total de señales
wavelet	6	5	18	29



Numero de señales Analizadas	29
------------------------------	----

DESCRIPCION DE RESULTADOS	CANTIDAD
Señales Normales	9
Señales con isquemia Leve	10
Señales con isquemia Grave	10



6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es importante recordar aquí, que la intención de este trabajo es estudiar diversos algoritmos de procesamiento de señales con el fin de evaluar su viabilidad en la detección del infarto o isquemia cardiaca. A continuación se discutirá a la luz de lo descrito en el apartado anterior, si estas técnicas permiten o no la detección de esta patología.

De acuerdo con lo consultado al momento de efectuar el recorrido teórico, la Transformada de Fourier y la Transformada Discreta del Coseno, realizan análisis en frecuencia. Por otro lado, la isquemia cardiaca se evidencia por cambios en la amplitud y la forma de la señal, razón por la cual podría predecirse la poca eficacia de dichas técnicas.

Una vez realizado el estudio, esta predicción se confirma, ya que no se observan variaciones significativas en los espectros de las señales analizadas. Merece análisis independiente el caso de infarto agudo, donde tanto con DFT como con DCT los resultados son evidentemente diferentes. Sin embargo esta conclusión se desecha debido a que la gravedad del infarto es tal, que la forma de onda es radicalmente diferente a la de infartos leves y tratables.

En cambio, lo obtenido con DWT muestra que la técnica es sumamente útil para detectar la isquemia, debido a que los cambios en la amplitud de la señal se reflejan claramente en los coeficientes que arroja. Adicionalmente tiene la virtud de evidenciar la información en el dominio de la frecuencia, razón por la cual la convierte en la herramienta a recomendar para la detección de la isquemia.

Estos resultados concuerdan con lo consultado en los antecedentes, que muestran una clara tendencia a usar *wavelet* como herramienta de análisis.

7. CONCLUSIONES

- Es posible detectar la isquemia cardiaca usando técnicas de procesamiento digital de señales, particularmente la Transformada *Wavelet* Discreta (DWT), ya que arroja información tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia. Particularmente los cambios de amplitud se ven reflejados directamente en los valores de los coeficientes que DWT arroja.
- La Transformada Discreta de Fourier (DFT) no arroja diferencias significativas que permitan identificar patrones asociados a la isquemia cardiaca, razón por la cual esta herramienta debe ser descartada para la detección del infarto.
- De igual forma, la Transformada Discreta del Coseno (DCT) tampoco da evidencia de la presencia de la patología en la señal ECG, resultado predecible ya que la DCT está íntimamente ligada a la DFT.
- Los resultados de este trabajo son acordes con los antecedentes consultados donde DWT es la herramienta más usada para analizar bioseñales como el ECG y detectar en ellas patrones característicos.

8. RECOMENDACIONES

- Tanto la Transformada Rápida de Fourier (FFT), como la Transformada Discreta del Coseno (DCT), son métodos aplicados a la distribución y compactación de energía de la señal respecto a su contenido de frecuencia, sin embargo no detectan ruidos u posibles descomposiciones de cada señal ECG, por lo que no se recomienda su uso en la detección de isquemia.
- Aunque FFT y DCT fueron descartadas para este estudio, podrían ser utilizadas en el análisis de otro tipo de cardiopatías relacionadas con el ritmo cardiaco, como las arritmias, ya que seguramente se evidenciarán cambios en los resultados por la relación evidente ritmo cardiaco - frecuencia.
- Los resultados satisfactorios obtenidos con DWT aplicando específicamente *wavelet haar*, siendo la más simple de las familias *wavelet*, invitan a continuar en esta vía futuros análisis de bioseñales.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, S., NAVARRETE, M. Análisis y Tratamiento de la Señal Electrocardiográfica para la Detección de Parámetros de Normalidad Bajo la Plataforma LabVIEW. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. 2006.

AYALA, R. et al. Obtención de patrones electrocardiográficos de una ballena jorobada mediante tratamiento de imagen y señal. En: Revista Colombiana de Cardiología 167 Vol. 12 No. 4. Bogotá. ISSN 0120-5633 Noviembre/Diciembre 2005.

CLAVIJO, D y BERNAL, M. Detección de Isquemia Cardíaca Usando Redes Neuronales. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones, Manizales: Universidad de Manizales, 2006

MISITI, M. et al. Wavelet Toolbox 4 User's Guide. [En Línea] The MathWorks. 2008. 1202 p. Disponible en: www.themathworks.com/support.

OPPENHEIM, A. et al. SEÑALES Y SISTEMAS. Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1998. 956 p.

PROAKIS, J., MANOLAKIS, D. Tratamiento Digital de Señales, Principios, Algoritmos y Aplicaciones. Pearson Education. Tercera Edición. Madrid. 1998. 1048 p.

ROJAS, W., et al. Análisis y Supervisión de la Señal Cardíaca con Transmisión Inalámbrica de Datos. En: Scientia et Technica Año XIII, No 35 Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Agosto de 2007.

THEMATHWORKS. Matlab User's Guide. [En Línea]. Consultado en 01.07.08. Disponible en: www.themathworks.com/support.

ANEXO A RESUMEN ANALÍTICO

Título del proyecto	Análisis de Señales Electrocardiográficas (ECG) Usando Técnicas de Procesamiento Digital de Señales.
Presidente	Correa Ortiz, Luís Carlos lcco@umanizales.edu.co Ingeniero Electrónico, Docente, Universidad de Manizales
Tipo de documento	Trabajo de grado
Referencia documento	GOZÁLEZ V, M., MARTÍNEZ O., X Análisis de Señales Electrocardiográficas (ECG) Usando Técnicas de Procesamiento Digital de Señales. Manizales, 2009, 51 págs. Trabajo de grado (Tecnólogo en Sistemas). Universidad de Manizales. Facultad de Ingeniería
Institución	Programa de Tecnología en Sistemas. Universidad de Manizales. Facultad de Ingeniería.
Palabras claves	ECG, Tratamiento de Señales, Análisis de Señales
Descripción	Este trabajo en particular apunta al diagnóstico de diferentes enfermedades, inicialmente cardiovasculares, mediante la bioseñal que el organismo genera y su representación (electrocardiografía – ECG-). Inicialmente se pretende una caracterización de dicha señal y posteriormente la caracterización de los reflejos de la isquemia cardiaca, usando como herramientas diversos algoritmos y técnicas de procesamiento digital de señales.
Fuentes	CLAVIJO, D y BERNAL, M. Detección de Isquemia Cardiaca Usando Redes Neuronales. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones, Manizales: Universidad de Manizales, 2006 MISITI, M. et al. Wavelet Toolbox 4 User's Guide. [En Línea] The MathWorks. 2008. 1202 p. Disponible en: www.themathworks.com/support . PROAKIS, J., MANOLAKIS, D. Tratamiento Digital de Señales, Principios, Algoritmos y Aplicaciones. Pearson Education. Tercera Edición. Madrid. 1998. 1048 p. THEMATHWORKS. Matlab User's Guide. [En Línea]. Consultado en 01.07.08. Disponible en: www.themathworks.com/support .
Contenido	Introducción

	Área problemática
	Objetivos
	Justificación
	Marco Teórico
	Metodología
	Resultados
	Conclusiones
	Recomendaciones
	Bibliografía
	Anexos
Metodología	El presente trabajo se enmarca en la categoría de investigación aplicada, en el área de Inteligencia Computacional, dentro del campo e conocimiento de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática
Conclusiones	<ul style="list-style-type: none">• Es posible detectar la isquemia cardiaca usando técnicas de procesamiento digital de señales, particularmente la Transformada <i>Wavelet</i> Discreta (DWT), ya que arroja información tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia. Particularmente los cambios de amplitud se ven reflejados directamente en los valores de los coeficientes que DWT arroja.• La Transformada Discreta de Fourier (DFT) no arroja diferencias significativas que permitan identificar patrones asociados a la isquemia cardiaca, razón por la cual esta herramienta debe ser descartada para la detección del infarto.• De igual forma, la Transformada Discreta del Coseno (DCT) tampoco da evidencia de la presencia de la patología en la señal ECG, resultado predecible ya que la DCT está íntimamente ligada a la DFT.• Los resultados de este trabajo son acordes con los antecedentes consultados donde DWT es la herramienta más usada para analizar bioseñales como el ECG y detectar en ellas patrones característicos.
Anexos	Anexo A. Resumen Analítico.