



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento  
de señales ECG de la base Physionet**

AUTOR:

Correa Parodi, Gino George

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

12 de Septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Correa Parodi, Gino George** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Correa Parodi, Gino George**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “**Diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base Physionet**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

CORREA PARODI GINO GEORGE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Correa Parodi, Gino George**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base Physionet”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

CORREA PARODI GINO GEORGE

# REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a document summary is provided: **Documento**: Correa Gino Final.docx (D21623457); **Presentado**: 2016-09-06 02:41 (-05:00); **Presentado por**: fernandopm23@hotmail.com; **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: Revisión TT Gino Cor rea [Mostrar el mensaje completo](#). A green box indicates that 0% of the document's text is composed of content from the listed sources. On the right, a table titled 'Lista de fuentes' lists the sources used for the document. The table has columns for 'Categoría', 'Bloques', and 'Enlace/nombre de archivo'. The sources listed include: 'TT-Verdezoto Christian-Caiza victor.docx', 'tesis - 2016v1.docx', 'TRABAJO DE TITULACION 1.docx', 'http://openresearchsoftware.metajnl.com/articl...', 'http://www.ijceronline.com/papers/Vol2\_issue2...', and 'http://netrus.upc.es/www/dib/tesis/1ramos/can'. At the bottom of the interface, there is a toolbar with icons for search, navigation, and actions like '1 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA

DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES TEMA:

Diseño

de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base Physionet AUTOR: Correa Parodi, Gino George

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador 12 de Septiembre del 2016

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE

## DEDICATORIA

EL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN ESTA DEDICADA A DIOS YA QUE GRACIAS A EL HE LOGRADO CONCLUIR MI CARRERA Y CONCEDERME UNA FAMILIA PRECIOSA.

A MI MADRE, PORQUE ELLA SIEMPRE ESTUVO A MI LADO BRINDÁNDOME SU APOYO Y SUS CONSEJOS PARA HACER DE MI UNA MEJOR PERSONA.

A MI ESPOSA POR SUS PALABRAS Y CONFIANZA, POR SU AMOR Y BRINDARME EL TIEMPO NECESARIO PARA REALIZARME PROFESIONALMENTE, A MIS AMIGOS, COMPAÑEROS Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA HAN CONTRIBUIDO PARA EL LOGRO DE MIS OBJETIVOS.

A MI HIJA, QUIEN CON SU SONRISA Y ALEGRÍA ME DEMUESTRA CADA DÍA QUE VALE LA PENA VIVIR Y ME RECUERDAN EL COMPROMISO QUE TENGO PARA CON ELLA DE AVANZAR PARA DARLE LO MEJOR.

EL AUTOR

CORREA PARODI GINO GEORGE

## **AGRADECIMIENTO**

PRIMERAMENTE, A DIOS POR PERMITIRME TAN BUENA EXPERIENCIA DENTRO DE MI UNIVERSIDAD Y POR SER EL GUÍA DE ESTE PROPÓSITO.

AGRADEZCO A LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, POR HABERME ACEPTADO A SER PARTE DE ELLA Y ABIERTO LAS PUERTAS PARA PODER ESTUDIAR MI CARRERA, ASÍ COMO TAMBIEN A LOS DIFERENTES DOCENTES QUE BRINDARON SUS CONOCIMIENTOS Y SU APOYO PARA SEGUIR ADELANTE DÍA A DÍA.

A MI FAMILIA, POR SER LOS PILARES FUNDAMENTALES PARA ALCANZAR TAN ANHELADA META, EL CUAL REPRESENTA EL FINAL DE UNA DE LAS ETAPAS MAS IMPORTANTES DE MI VIDA Y EL INICIO DE NUEVAS METAS.

EL AUTOR

CORREA PARODI GINO GEORGE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**PALACIOS MELÉNDEZ EDWIN FERNANDO**  
PROFESOR

f. \_\_\_\_\_

**HERAS SÁNCHEZ MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**NESTOR ARMANDO ZAMORA CEDEÑO**  
COORDINADOR DE AREA



## Índice General

Índice de Figuras .....	XI
Resumen .....	XIII
CAPÍTULO 1: Descripción del trabajo de titulación. ....	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Antecedentes. ....	15
1.3. Definición del Problema.....	16
1.4. Justificación.....	16
1.5. Objetivos. ....	17
1.5.1. Objetivo General.....	17
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	17
1.6. Idea a defender. ....	18
1.7. Metodología de investigación. ....	18
CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos del procesamiento digital de señales de ECG. .	20
2.1. Introducción al ECG .....	20
2.2. Historia del ECG.....	20
2.3. Sistema clásico para la adquisición del ECG. ....	23
2.4. Fuentes de ruido del ECG.....	25
2.4.1. Ruido generado por la red eléctrica. ....	26
2.4.2. Ruido generado por el mal contacto de los electrodos.....	26
2.4.3. Ruido generado por el movimiento del paciente. ....	27
2.4.4. Ruido generado por la contracción de los músculos. ....	27
2.4.5. Ruido generado por la deriva de línea base debida a la respiración. .	28
2.4.6. Ruido de instrumentación generado por el sistema de adquisición del ECG.....	29
2.4.7. Ruido generado por los electro-bisturís .....	30

2.5. Disminución de ruidos en el ECG utilizando técnicas de filtraje clásicas.....	31
CAPÍTULO 3: Implementación de GUI en Matlab para leer y procesar señales de la base Physionet.....	35
3.1. Software implementado.....	35
3.2. IDE Matlab e Interfaces gráficas. ....	36
3.3. Cargar señales de la base de datos Physionet. ....	40
3.4. Implementación del filtrado pasa bajos y pasa altos. ....	44
CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.....	49
4.1. Conclusiones.....	49
4.2. Recomendaciones.....	49
Referencias Bibliográficas .....	50

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1: Señal de ECG típico. ....	22
Figura 2. 2: Generación de la señal de ECG durante el ciclo cardiaco.....	23
Figura 2. 3: Sistema clásico para la adquisición del ECG.....	24
Figura 2. 4: Señal de ECG ruidoso, ruido generado por la red eléctrica y por los artefactos debidos al movimiento. ....	26
Figura 2. 5: Señal de ECG ruidoso, ruido generado por el mal contacto de los electrodos o la pérdida total del contacto con la piel.....	27
Figura 2. 6: Señal de ECG ruidoso, ruido generado por el EMG y las derivas de línea base debidas a la respiración.....	28
Figura 2. 7: Señal de ECG ruidoso, ruido generado la saturación de los amplificadores de instrumentación.....	30
Figura 2. 8: Electro-bisturi CEC modelo URO-400.....	31
Figura 2. 9: Eliminación de ruidos utilizando filtros FIR. ....	33
Figura 2. 10: Eliminación de ruidos utilizando filtros IIR.....	34

### Capítulo 3

Figura 3. 1: Software implementado. ....	35
Figura 3. 2: Software implementado mostrando las señales aumentadas...	36
Figura 3. 3: Entorno de trabajo de Matlab.....	37
Figura 3. 4: Acceso a la herramienta “guide” en Matlab. ....	39
Figura 3. 5: Interfaz gráfica del software MonitorECG. ....	40

Figura 3. 6: Gráficas generadas por la aplicación wfdbdemo de la herramienta WFDB. ....	43
Figura 3. 7: Gráfica demostrativa de filtro pasa bajas de Butterworth.....	45
Figura 3. 8: Señal de ECG (a) Original (b) filtrada con filtro pasa bajas. ....	47
Figura 3. 9: Señal de ECG (a) Original (b) filtrada con filtro pasa altas. ....	48

## Resumen

En este trabajo se implementa un software con interfaz gráfica desarrollada en Matlab que permite cargar señales de electrocardiograma de la base de datos Physionet las cuales se encuentran en formato wfdb. Estas señales son convertidas al formato .mat nativo de Matlab utilizando la herramienta wfdbtool disponible en el sitio web de Physionet. La herramienta desarrollada cuenta con la opción de eliminar los ruidos de altas y bajas frecuencias presentes en la señal de electrocardiograma a través de filtros tipo IIR de Butterworth de cuarto orden. El filtrado realizado sigue las normas internacionales establecidas por la agencia *American Heart Association*. Se aprendió el uso y funcionalidades del programa MatLab para el desarrollo de la interfaz gráfica. Durante el presente trabajo de titulación también fueron estudiadas las bases teóricas de la señal de electrocardiograma, los ruidos que presenta, las técnicas de filtrado utilizadas para el procesamiento digital de estas señales entre otros aspectos teóricos relativos al tema.

Palabras claves: ECG, MATLAB, PHYSIONET, FILTRO FIR, FILTRO IIR, INTERFAZ GRÁFICA.

## **CAPÍTULO 1: Descripción del trabajo de titulación.**

### **1.1. Introducción**

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en muchos países (World Health Organization, 2014), por lo que ha aumentado la demanda tanto de servicios médicos especializados como de herramientas de apoyo al diagnóstico necesarias para el estudio y tratamiento de pacientes con enfermedades cardiovasculares (Gómez, 2011).

El electrocardiograma (ECG por sus siglas en inglés) es una técnica no invasiva muy utilizada para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. La señal de ECG es la manifestación eléctrica del latido del corazón al decorrer del tiempo (Barrett, 2013).

Los registros de ECG pueden estar contaminados por dos fuentes principales de ruido:

1. Ruidos alta frecuencia como: ruido debido a la actividad muscular (eletromiograma), ruido de la fuente de alimentación y de la red eléctrica y otras fuentes de ruido electromagnético como electrobisturis, ruidos producidos por la interfaz electrodo-piel, entre otros (Fernandez & Pallas-Areny, 1992).

2. Derivas de línea base (DLB) debidas a la respiración, al movimiento del paciente, al movimiento de los cables que van desde los electrodos hasta el equipo de captura del ECG, preparación inadecuada de la piel donde se pondrán los electrodos entre otros (Sörnmo & Laguna, 2005).

## **1.2. Antecedentes.**

Los investigadores que trabajan en el área del procesamiento de las señales de ECG han creado varias bases de datos con diferentes patologías, equipos de adquisición, diferentes niveles de ruido entre otras características. Estas bases de encuentran públicas de manera que otros investigadores pueden acceder a ellas para probar sus algoritmos de apoyo al diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. Una de las bases más utilizadas es la *Physionet*, la cual contiene dentro muchas bases de datos diferenciadas por patologías, edades de los pacientes, tipos de ruidos, entre otras categorías (PhysioBank, 2000).

Para el desarrollo de la interfaz gráfica, se encontraron artículos publicados en revistas científicas y que tienen relevancia con las señales electrocardiográficas (ECG). Por ejemplo, el artículo “Estudio y análisis de señales ECG usando MATLAB y LabView como herramientas eficaces” publicado por los autores Islam, M. K., Haque, A. N. M. M., Tangim, G., Ahammad, T. & Khondokar, M. R. H. (2012). Este trabajo se ocupa del

estudio de las señales ECG y que incluye la generación y simulación del ECG, así como, el filtrado pasa altos y pasa bajos por medio de las herramientas de simulación MatLab y LabView con eficiencia.

Otro artículo “Simulación de dispositivo portátil de monitoreo ECG usando el toolkit de MATLAB y J2ME Wireless” publicado por Gabhane, M., & Aalam, Z. Este trabajo se ocupa de la simulación del dispositivo portátil, que se encarga de monitorear (visualización) continuamente señales ECG y si hay algún cambio en el ECG, envía un MMS de la señal ECG modificada hacia el teléfono móvil del paciente, cuyo dispositivo de hardware a través de una interfaz de Bluetooth.

### **1.3. Definición del Problema.**

En el repositorio digital de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones no se han encontrado trabajos relacionados al desarrollo de una interfaz gráfica GUI para cargar y procesar señales electrocardiográficas (ECG). Por tal motivo, surge la necesidad de la implementación de una interfaz gráfica usando MatLab para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base de datos mundial Physionet.

### **1.4. Justificación.**

El desarrollo de interfaces gráfica usando MatLab no es sencillo, para lo cual se realiza la búsqueda de información para diseñar interfaces GUI.



Añadiendo el conocimiento adquirido en la asignatura de procesamiento de señales digitales, ya que adicionalmente, se aplica el filtrado de pasa altos y pasa bajos.

La interfaz desarrollada se comporta como un Monitor ECG, y que su implementación permitirá el desarrollo de nuevos proyectos de titulación aplicando otro tipo de filtrado y mejorar la señal ECG.

### **1.5. Objetivos.**

Por la importancia que tiene el estudio de las señales de ECG en el apoyo del diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, el **objetivo general** y los **objetivos específicos** del presente trabajo son:

#### **1.5.1. Objetivo General.**

- Implementación en Matlab de una interfaz gráfica que permita leer y mostrar señales de la base de datos Physionet, así como utilizar técnicas de filtrado para minimizar el ruido de la señal.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

Los objetivos específicos son:

- ✓ Describir los fundamentos teóricos sobre las señales y procesamiento del ECG.

- ✓ Estudiar las técnicas de filtrado para la eliminación de ruidos en las señales de ECG.
- ✓ Diseñar en Matlab la interfaz gráfica para la lectura y análisis de las señales de ECG de la base de datos Physionet.

### **1.6. Idea a defender.**

MatLab es utilizado ampliamente en colegios y universidades para llevar a cabo esta integración de equipos y programas de estudio. En este trabajo de titulación, se propone un enfoque basado en MATLAB e implementado una interfaz gráfica para demostrar la carga y pre-procesamiento de señales ECG, que es uno de los temas más importantes en el procesamiento digital de señales, así como serviría de mucho para el resto de la rama de las telecomunicaciones.

### **1.7. Metodología de investigación.**

El diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG a través del GUI de MatLab se enmarca en el paradigma empírico analítico, cuyo enfoque es cuantitativo. Se utiliza el método de la simulación, a través de plataformas virtuales como lo es MatLab, LabWindows y LabView.

Es decir, que los laboratorios son parte integral de cualquier curso de ingeniería. Ellos proporcionan a los estudiantes con la exposición a

instrumentos y dispositivos reales de ingeniería. También pueden proporcionar oportunidades para que los estudiantes aprenden a trabajar juntos en grupos. Los laboratorios pueden construir sobre los conceptos tratados y aprendido en el aula.

## **CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos del procesamiento digital de señales de ECG.**

En este capítulo se analizan los fundamentos teóricos de la señal de ECG, su historia, que enfermedades se pueden detectar a través de esta técnica, así como la disminución de ruidos en la señal de ECG mediante técnicas de filtrado.

### **2.1. Introducción al ECG**

La electrocardiografía es una técnica ampliamente utilizada para estudiar la condición del corazón, ya que el ECG registra la actividad eléctrica generada durante el ciclo cardiaco por medio de electrodos situados en varios lugares del cuerpo. El ECG puede medir o detectar los siguientes parámetros:

- El ritmo cardiaco.
- Como se encuentra colocado el corazón en la cavidad torácica.
- Aumento de la espesura (hipertrofia) del musculo cardiaco.
- Un ataque cardiaco anterior.
- Los efectos de ciertas enfermedades pulmonares tales como enfisemas, embolia pulmonar (coágulos de sangre en el pulmón).

### **2.2. Historia del ECG**

La actividad bioeléctrica correspondiente al latido del corazón fue descubierta en 1856 por Kollinker Mueller. En 1872, Alexander Mairhead durante sus estudios de pos-graduación en el hospital San Bartolomé en Londres conectó alambres de cobre en las extremidades de un paciente con fiebre con la finalidad de obtener un registro de los latidos del corazón siendo visualizados con un electrómetro de Lippmann.

William Einthoven en Países Bajos durante el año 1911 inventó el galvanómetro de cuerda y lo uso para registrar el ECG obteniendo buenos resultados debido a la buena resolución del mismo. Einthoven atribuyó las letras P,Q,R,S y T a las diferentes ondas de la señal y describió las características electrocardiográficas de muchas enfermedades cardiacas (Murgatroyd, 2002)

En la figura 2.1 se muestra una señal de ECG típica con todas sus ondas y segmentos.

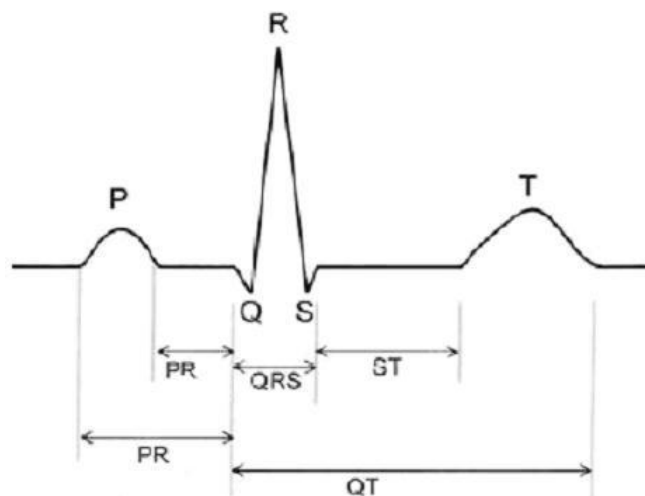


Figura 2. 1: Señal de ECG típico.

Fuente: (CUNHA, LOPES, CORADINE, SILVA, & MOREIRA., 2012)

En la figura 2.2 se muestra la generación de ondas del ECG siguiendo la actividad eléctrica del corazón, en azul se muestra la despolarización y en rosa se muestra la repolarización.

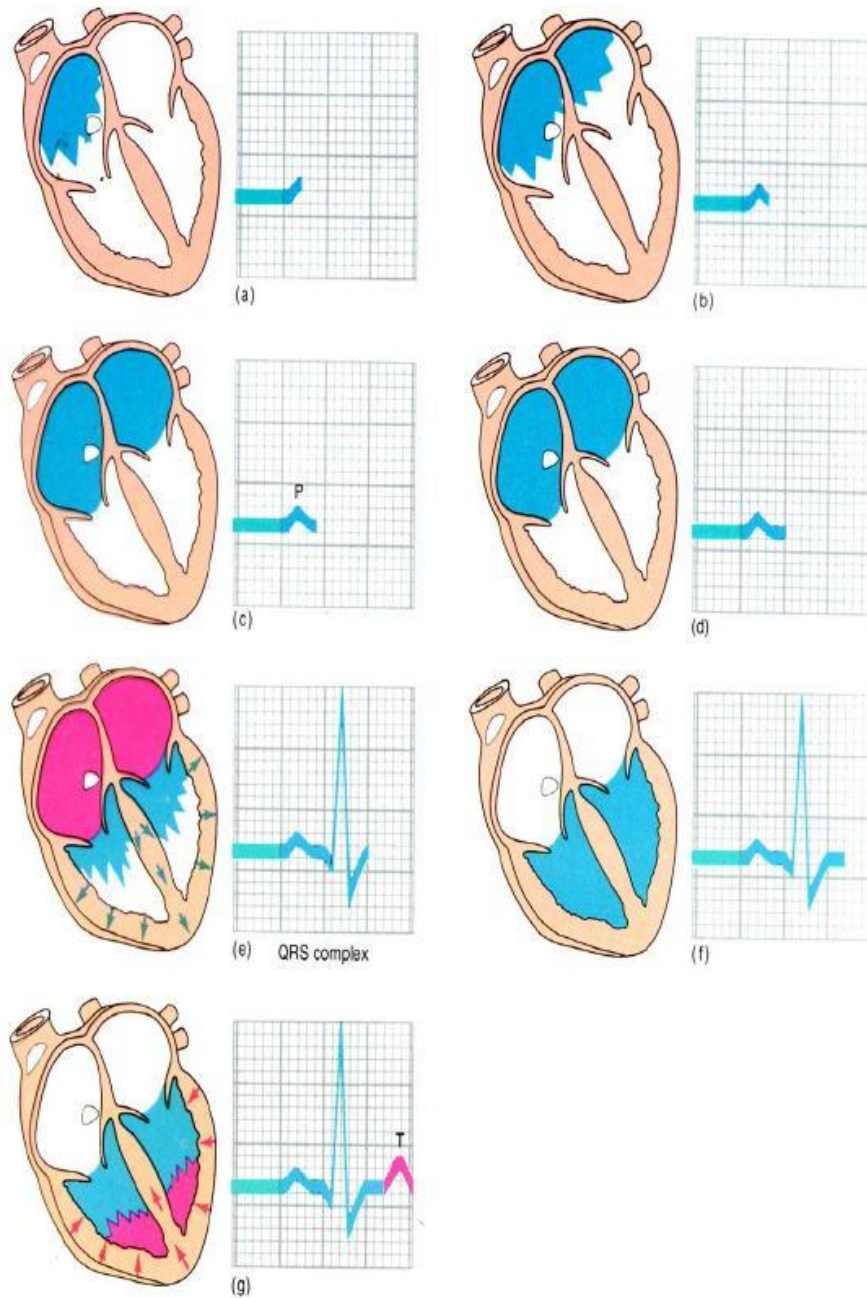


Figura 2. 2: Generación de la señal de ECG durante el ciclo cardiaco.

Fuente: (Tanriverdi, 2006).

### 2.3. Sistema clásico para la adquisición del ECG.

El diagrama de bloques de un sistema clásico para la adquisición de señales de ECG se muestra en la figura 2.3.

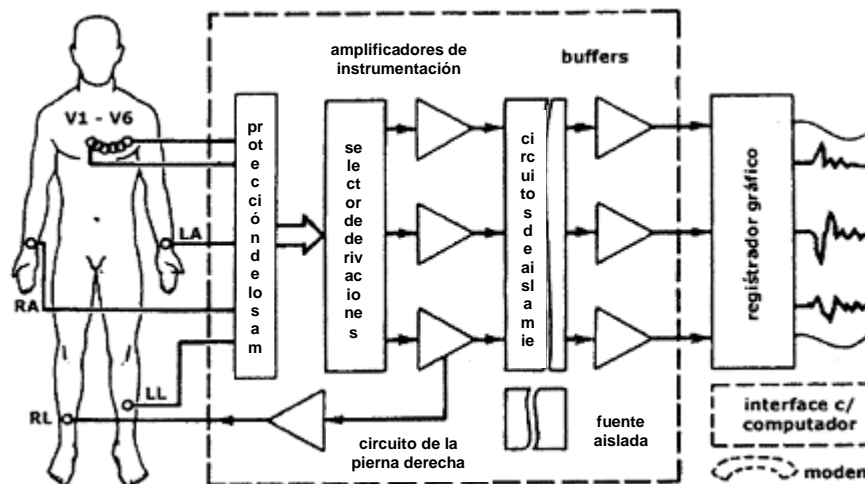


Figura 2. 3: Sistema clásico para la adquisición del ECG.

Fuente: (CUNHA et al., 2012).

En este sistema son utilizados los electrodos en cada una de las extremidades (piernas y brazos) y 6 electrodos en las posiciones precordiales; los electrodos pueden ser de oro, plata, estaño, los más utilizados debido al buen compromiso calidad precio son los de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl).

El circuito de la pierna derecha (RL) es usado como referencia para reducir la interferencia eléctrica generada por la red de energía y por el electromiograma. Los electrodos LL, LA, RA son conectados a una red de resistores conocida como central de Wilson, a partir de la cual se obtienen las derivaciones de miembros I, II, III y las derivaciones aumentadas aVL, aVR y aVF.

El equipo normalmente tiene un selector de derivaciones acoplado a amplificadores de instrumentación caracterizados por tener bajo ruido y un



alto rechazo a modo común o CMRR (del inglés *Common Mode Rejection Ratio*) y una altísima impedancia de entrada.

El aislamiento eléctrico debe proveer al paciente contra riesgos de descarga eléctrica. La fuente del sistema debe tener un buen aislamiento para garantizar que los ruidos generados en ella o en la red eléctrica no sean registrados en la salida del sistema.

La salida del sistema puede ser guardada en una memoria SD/MMC, una memoria USB, impresa por una impresora de ECG o capturada en un computador para ser procesada (CUNHA et al., 2012).

#### **2.4. Fuentes de ruido del ECG.**

Las principales fuentes de ruido en el ECG pueden ser divididas en ruidos de alta frecuencia (AF), su espectro está por encima del espectro de la señal de ECG y ruidos de baja frecuencia (BF), tienen espectro por debajo del espectro de la señal de ECG (Webster, 1978).

Los ruidos son (Friesen et al., 1990):

- Ruido generado por la red eléctrica, AF.
- Ruido generado por el mal contacto de los electrodos, BF.
- Ruido generado por el movimiento del paciente, BF.
- Ruido generado por la contracción de los músculos, AF.

- Ruido generado por la deriva de línea base debida a la respiración.
- Ruido de instrumentación generado por el sistema de adquisición del ECG, ruido blanco.
- Ruido generado por los electro-bisturís, AF.

#### 2.4.1. Ruido generado por la red eléctrica.

Este ruido tiene una componente espectral fundamental de 60 Hz en América o 50 Hz en Europa y armónicos. Puede ser modelado como una senoide o combinación de sinusoides. La amplitud puede llegar a ser hasta un 50% del valor de la amplitud pico a pico del ECG (Friesen et al., 1990).

En la figura 2.4 se muestran los efectos de este ruido sobre la señal de ECG.

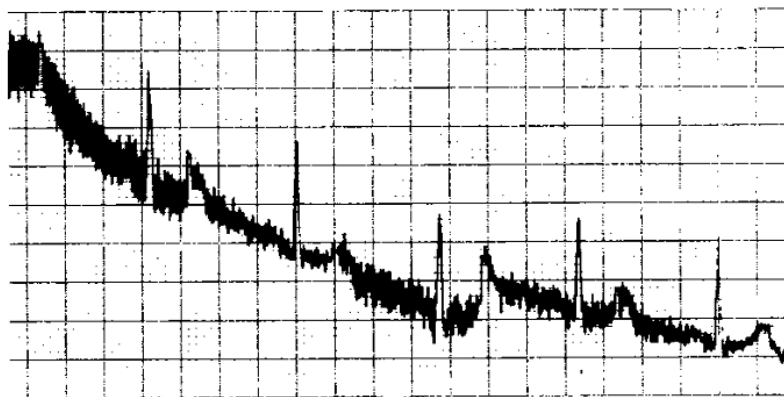


Figura 2. 4: Señal de ECG ruidoso, ruido generado por la red eléctrica y por los artefactos debidos al movimiento.

Fuente: (Friesen et al., 1990).

#### 2.4.2. Ruido generado por el mal contacto de los electrodos.

Durante la adquisición de un registro de ECG este ruido se presenta en caso de que el electrodo este separado de la piel o en caso que la comunicación entre el electrodo y el sistema de adquisición sea interrumpida (Friesen et al., 1990). En la figura 2.5 se muestran los efectos de este ruido.

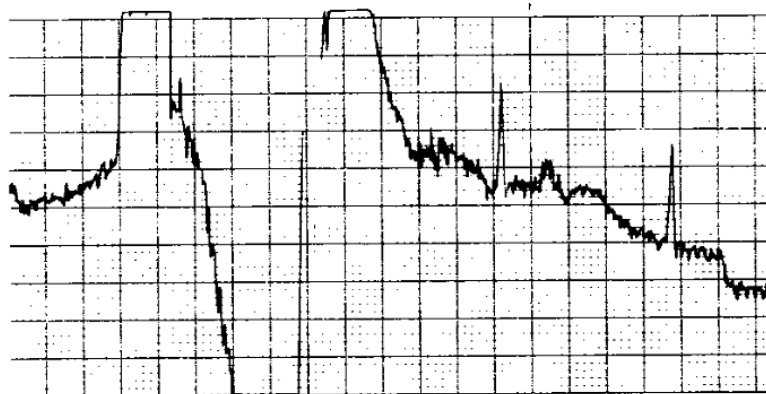


Figura 2. 5: Señal de ECG ruidoso, ruido generado por el mal contacto de los electrodos o la pérdida total del contacto con la piel.

Fuente: (Friesen et al., 1990).

#### **2.4.3. Ruido generado por el movimiento del paciente.**

Se presenta como transiciones o derivas en la línea base de la señal generadas por cambios en la impedancia electrodo-piel, debidos a los movimientos del paciente. La amplitud de este ruido puede ser hasta 500 % del valor de la amplitud pico a pico del ECG y su duración típica se encuentra entre 100 y 500 ms (Friesen et al., 1990).

En la figura 2.4 se muestran los efectos de este ruido sobre la señal de ECG en conjunto con el ruido generado por la red eléctrica.

#### **2.4.4. Ruido generado por la contracción de los músculos.**

El origen de estos ruidos son los potenciales de acción asociados a la actividad de los músculos esqueléticos (EMG). Las contracciones musculares provocan ruidos en el orden de los microvolts que son incrementados por los amplificadores de instrumentación del sistema de adquisición. El ruido resultante puede ser considerado como ruido gaussiano de media cero (Friesen et al., 1990). Este ruido tiene una amplitud de hasta un 10% de la amplitud pico a pico de la señal de ECG y frecuencias desde 0 hasta 1000 Hz (Neto, 2012).

En la Figura 1.6 se muestran los efectos de este tipo de ruido (conjunto con la deriva por respiración) sobre la señal de ECG.

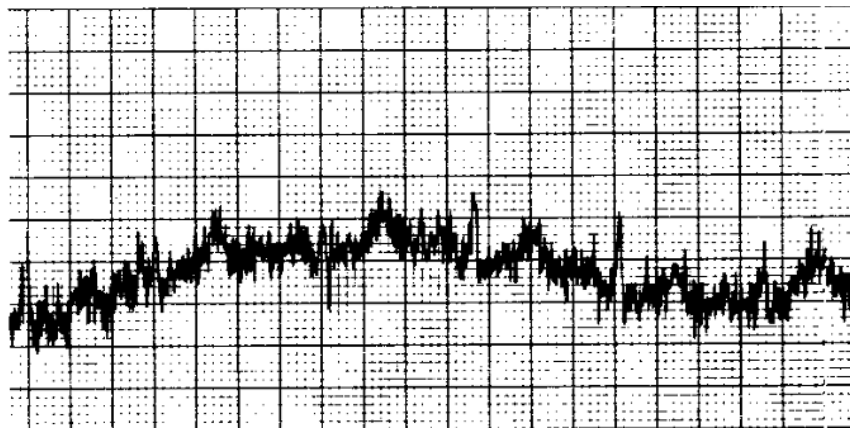


Figura 2. 6: Señal de ECG ruidosa, ruido generado por el EMG y las derivas de línea base debidas a la respiración.

Fuente:(Friesen et al., 1990).

#### **2.4.5. Ruido generado por la deriva de línea base debida a la respiración.**

Las derivas de línea base debidas a la respiración son variaciones del potencial de contacto de los electrodos generadas por el movimiento del cuerpo en especial el área del tórax por la continua respiración del individuo. La amplitud puede llegar hasta un 150% de la amplitud pico a pico de la señal de ECG y tiene un rango frecuencial desde 0.15 hasta 0.30 Hz si el paciente se encuentra en reposo (Friesen et al., 1990).

En la figura 2.6 se muestran los efectos de este tipo de ruido en la señal de ECG (también se puede observar el ruido del EMC).

#### **2.4.6. Ruido de instrumentación generado por el sistema de adquisición del ECG.**

Este ruido es generado por el propio sistema de adquisición de la señal de ECG sobre todo en los circuitos de amplificadores de biopotenciales. Los valores de la densidad espectral del ruido dependerán de los parámetros de ruido de los componentes usados (resistencias, capacitores, amplificadores, etc.), de los valores de los resistores, de los márgenes de frecuencias considerados, del rango de temperatura de operación del equipo, entre otros factores (Neto, 2012; Pallás-Areny & Webster, 1999).

En la figura 2.7 se observa los efectos de la saturación de los amplificadores de instrumentación.

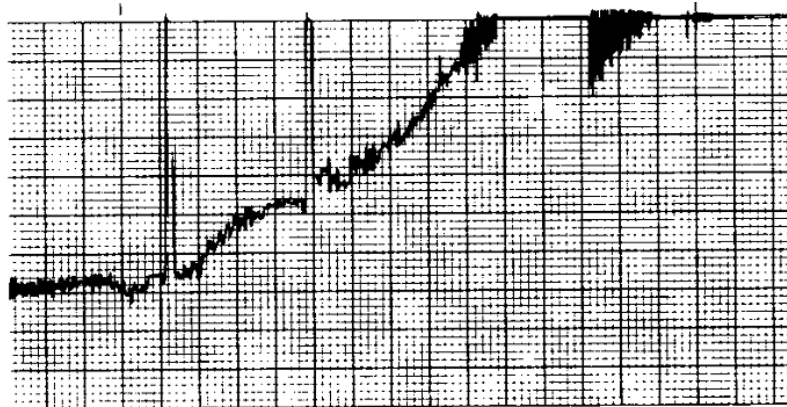


Figura 2. 7: Señal de ECG ruidoso, ruido generado la saturación de los amplificadores de instrumentación.

Fuente:(Friesen et al., 1990).

#### **2.4.7. Ruido generado por los electro-bisturís**

Este ruido es generado por bisturís electrónicos, es muy fuerte y destruye por completo la señal de ECG. Su amplitud es del 200% de la amplitud pico a pico de la señal de ECG y se encuentra en un rango de frecuencias que va desde los 100kHz hasta 1MHz con una duración de 1 a 10 segundos (Friesen et al., 1990).

En la figura 2.8 se muestra un electro-bisturí utilizado en cirugías de la empresa argentina CEC, modelo URO-400.



Figura 2. 8: Electro-bisturi CEC modelo URO-400.  
Elaborado por: Autor.

## **2.5. Disminución de ruidos en el ECG utilizando técnicas de filtraje clásicas.**

Actualmente entre los métodos más utilizados para la disminución de ruidos en el ECG por los investigadores y los fabricantes de equipos se encuentra las técnicas de filtraje clásicas que pueden ser implementadas de forma analógica o digital, siendo esta última la más empleada en los últimos años debido a la popularización de los microcontroladores que tienen un buen compromiso costo/eficiencia unido al desarrollo de técnicas avanzadas del procesamiento de señales digitales.

Las técnicas de filtraje clásico más empleadas son los filtros FIR (del inglés *Finite Impulse Response*) y los filtros IIR (del inglés *Infinite Impulse Response*). Para el filtraje son utilizados un filtro pasa altas con frecuencia de corte de 0.67 Hz para la eliminación de derivas de línea base, artefactos debidos al movimiento y otros ruidos de baja frecuencia y un filtro pasa bajas

con frecuencia de corte de 45 Hz para garantizar la eliminación de ruidos debidos a la red eléctrica sin importar si se está en Europa (50 Hz) o en América (60 Hz), ruidos debido al electromiograma, ruidos de electro-bisturís y otros ruidos de alta frecuencia.

Los valores de las frecuencias de corte de los filtros están estipulados por normas internacionales que se encargan de estandarizar estos valores, de modo que la señal quede lo más libre de ruidos posible preservando la integridad de la misma, de manera que no se pierdan características importantes para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. De todas las normas las más usadas son las recomendadas por la *American Heart Association* cuya versión más reciente es del 2007 (Kligfield et al., 2007), los valores de frecuencia de corte anteriormente mencionados y que serán utilizados en la implementación en Matlab de este trabajo son los utilizados por esta norma.

En la utilización de filtros FIR la salida del filtro tiene un atraso de grupo, Van Alsté y colaboradores en (Van Alsté & Schilder, 1985) considerados pioneros en la utilización de filtros digitales en señales de ECG, calculan e implementan un filtro pasa altas tipo FIR usando una ventana de Kaiser de tamaño 28 con 51 coeficientes para la eliminación de los ruidos de baja frecuencia y un filtro pasa bajas de iguales características usado para eliminar los ruidos de altas frecuencias, en la figura 2.9 se



muestra el uso del filtro FIR implementado por Van Alsté y colaboradores para disminuir los ruidos en la señal de ECG.

Para obtener un mejor desempeño en el filtraje usando los filtros FIR se necesita aumentar el orden del filtro, también aumentando el costo computacional, motivo por el cual es deseado un buen compromiso desempeño – complejidad ya que con un orden muy pequeño el desempeño del filtro es pésimo (Gradwohl, Pottala, Horton, & Bailey, 1988).

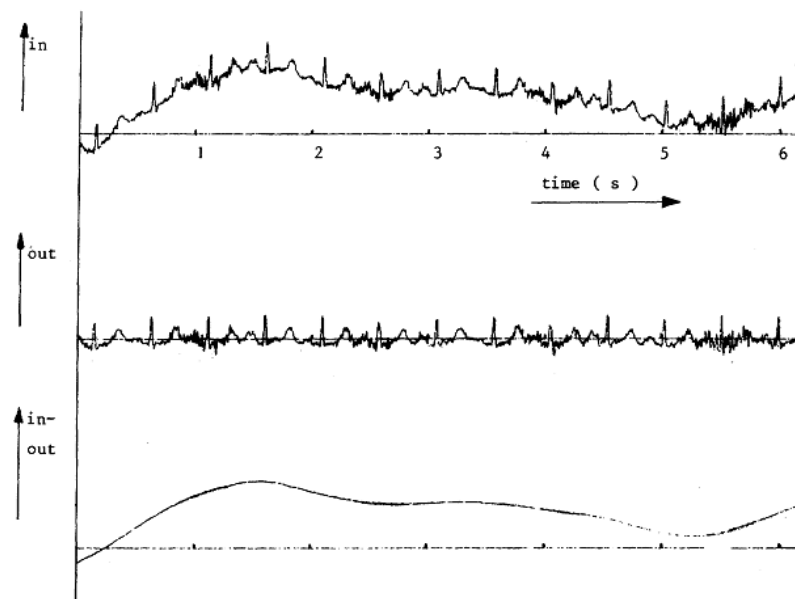


Figura 2. 9: Eliminación de ruidos utilizando filtros FIR.

Fuente: (Van Alsté & Schilder, 1985).

Los filtros IIR, comparados con los FIR pueden alcanzar una región de transición más acentuada con un menor número de coeficientes, mejorando de esta forma el alto costo computacional de los filtros FIR. Sin embargo, los

filtros IIR presentan una respuesta de fase no lineal que distorsiona componentes significativas de la señal de ECG.

Para evitar la distorsión de fase en los filtros IIR la *American Heart Association* recomienda utilizar filtros IIR bidireccionales introducidos por Longini y colaboradores en (Longini, Giolma, Wall, & Quick, 1975). Este tipo de filtrado tiene como desventaja que no puede ser utilizado en tiempo real aunque se pueden lograr buenos resultados utilizando ventanas de tiempo de aproximadamente 1 s.

En la figura 2.10 se muestra la mitigación de ruidos en la señal de ECG utilizando la técnica del filtraje tipo IIR. Este tipo de filtraje es el que será utilizado por la aplicación que desarrollaremos en Matlab.

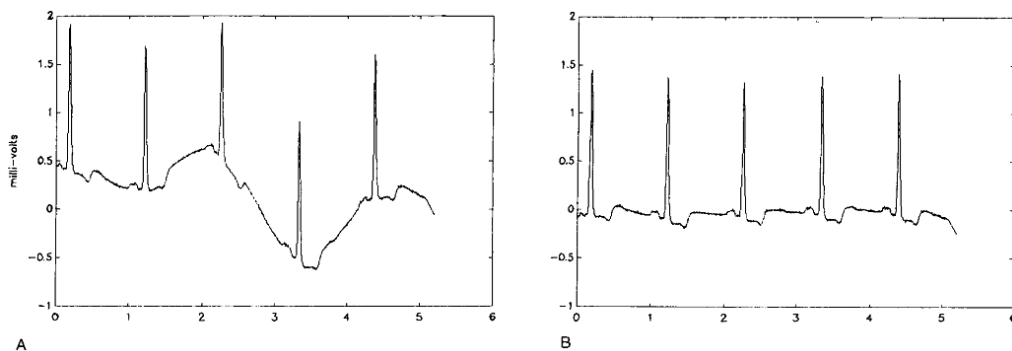


Figura 2. 10: Eliminación de ruidos utilizando filtros IIR.

Fuente: (Pottala, Bailey, Horton, & Gradwohl, 1990).

## **CAPÍTULO 3: Implementación de GUI en Matlab para leer y procesar señales de la base Physionet.**

En este capítulo se implementa un software con interfaz gráfica que permite leer y realizar un procesamiento a señales de ECG de la base de datos Physionet (PhysioBank, 2000), el cual hemos nombrado Monitor ECG. Durante el desarrollo del capítulo se realizará una explicación detallada de las librerías y funciones utilizadas así como de la implementación de interfaces gráficas de usuario en Matlab.

### **3.1. Software implementado.**

En la figura 3.1 se muestra el software implementado en Matlab con el cual se puede cargar una señal de la base Physionet.

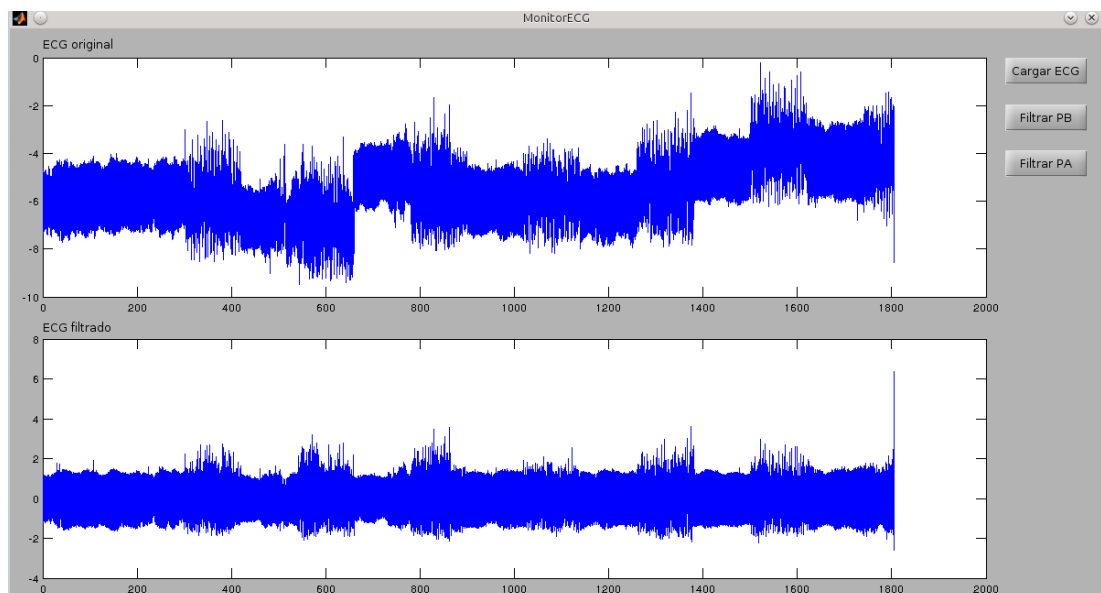


Figura 3. 1: Software implementado.

Elaborado por: Autor

Como puede ser observado en la imagen, el software consta de 3 áreas: a la derecha un área que contiene 3 botones (Cargar ECG, Filtro PB y Filtro PA) y 2 áreas para graficar las señales, la superior que muestra la señal original y la gráfica inferior muestra la señal después de aplicarle el filtrado.

El software tiene la capacidad de aumentar tramos de la señal y de volver al tamaño original. En la figura 3.2 se muestra un *zoom* de las señales mostradas en la figura 3.1

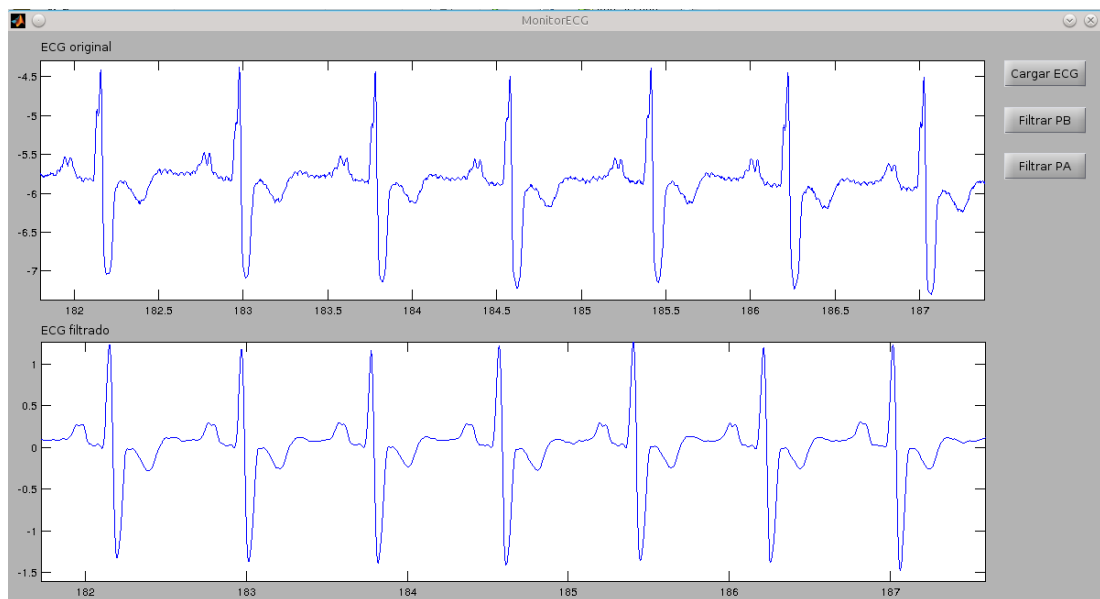


Figura 3. 2: Software implementado mostrando las señales aumentadas.

Elaborado por: Autor.

### 3.2. IDE Matlab e Interfaces gráficas.

Matlab (abreviación del inglés *MAtrix LABoratory*) es un entorno de desarrollo integrado enfocado a aplicaciones de álgebra y matemática,

integra análisis numérico, cálculos matriciales, procesamiento de señales y construcción de gráficos en un ambiente fácil de usar donde los problemas y soluciones son expresados matemáticamente al contrario de la programación tradicional.

Matlab proporciona un ambiente interactivo donde el elemento básico es una matriz. Este sistema permite la dar solución a muchos problemas numéricos en mucho menos tiempo del que se gastaría para escribir un programa semejante en otros lenguajes de programación como son Fortran, Basic o C, por citar algunos. Además, las soluciones son expresadas de una forma similar a como son escritas matemáticamente.

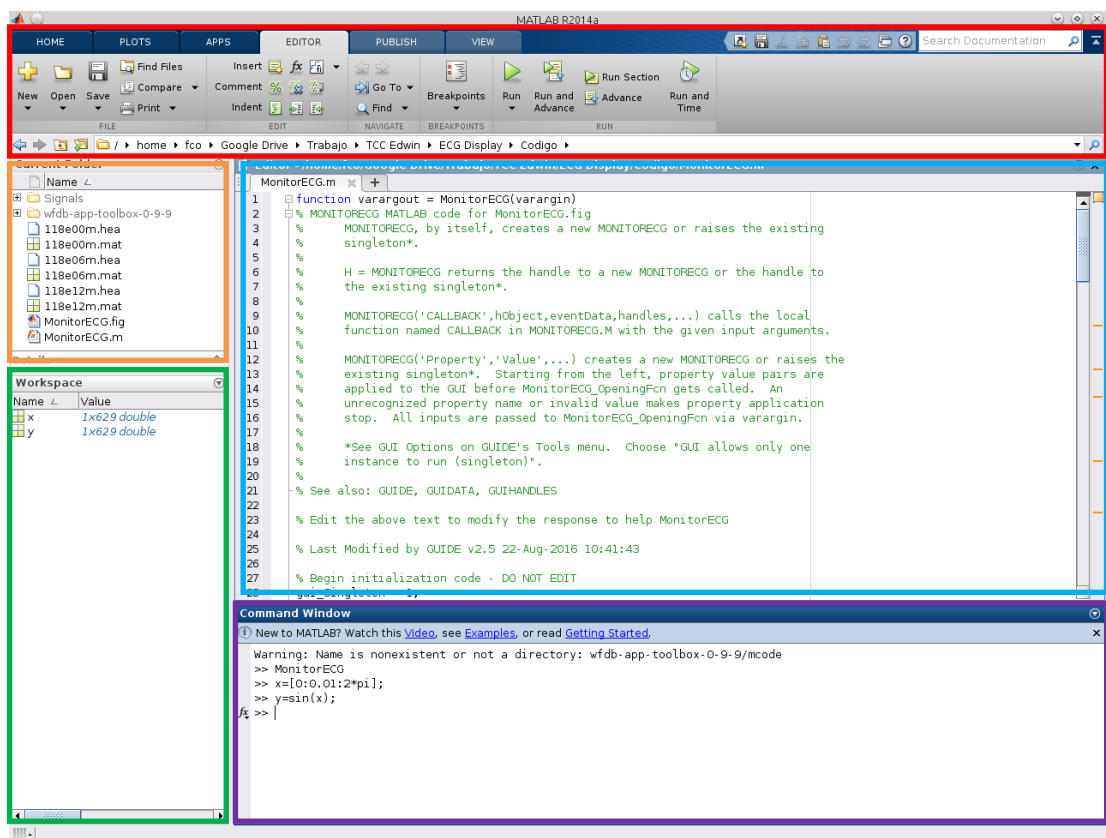


Figura 3. 3: Entorno de trabajo de Matlab.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.3 se muestra el entorno de trabajo de Matlab 2014a el cual está conformado por diferentes áreas que serán explicadas a continuación.

- El recuadro rojo enmarca la Barra de Menús donde se puede tener acceso rápidamente a las principales funciones del Matlab.
- El recuadro naranja enmarca el directorio actual en el que se encuentra posicionado el Matlab así como los archivos contenidos en él.
- El recuadro verde enmarca el *Workspace* o espacio de trabajo, en esta área se muestran las variables que vamos creando mientras trabajamos.
- El recuadro azul enmarca el área para los *scripts* que son los programas que escribimos y quedan guardados en formato de texto .m. Si no se está escribiendo ningún *script* esta área desaparece dando paso al área de comandos.
- El recuadro violeta enmarca el área de comando en la cual se llaman las funciones del Matlab y se puede utilizar para realizar pruebas rápidas. A diferencia de lo escrito en el área para *scripts* lo escrito en esta área no se almacena en formato .m aunque es posible acceder a un histórico de los comandos ejecutados.

Para realizar interfaces gráficas en Matlab se utiliza la herramienta Guide (Guide, 1998), para acceder a esta herramienta se puede hacer clic en *New -> Graphical User Interface* como muestra la figura 3.4 o simplemente escribiendo “guide” en el *prompt* del Matlab.

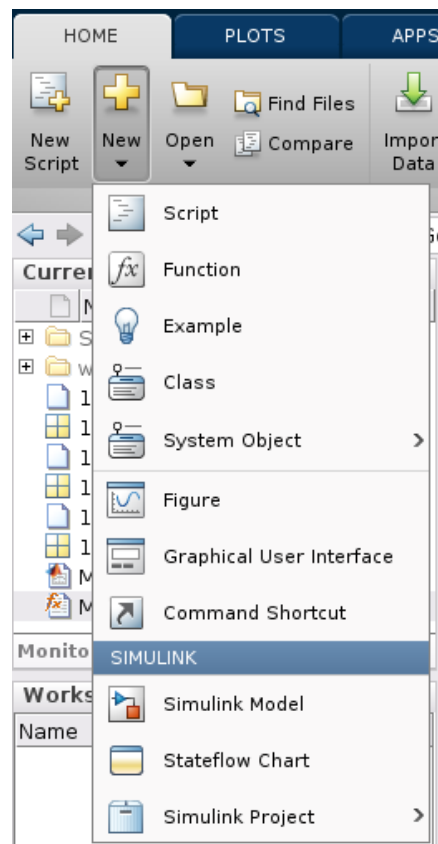


Figura 3. 4: Acceso a la herramienta “guide” en Matlab.

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.5 se muestra la creación de la interfaz gráfica creada para el software desarrollado donde se puede apreciar el área de trabajo y a la izquierda los elementos gráficos que pueden ser usados.

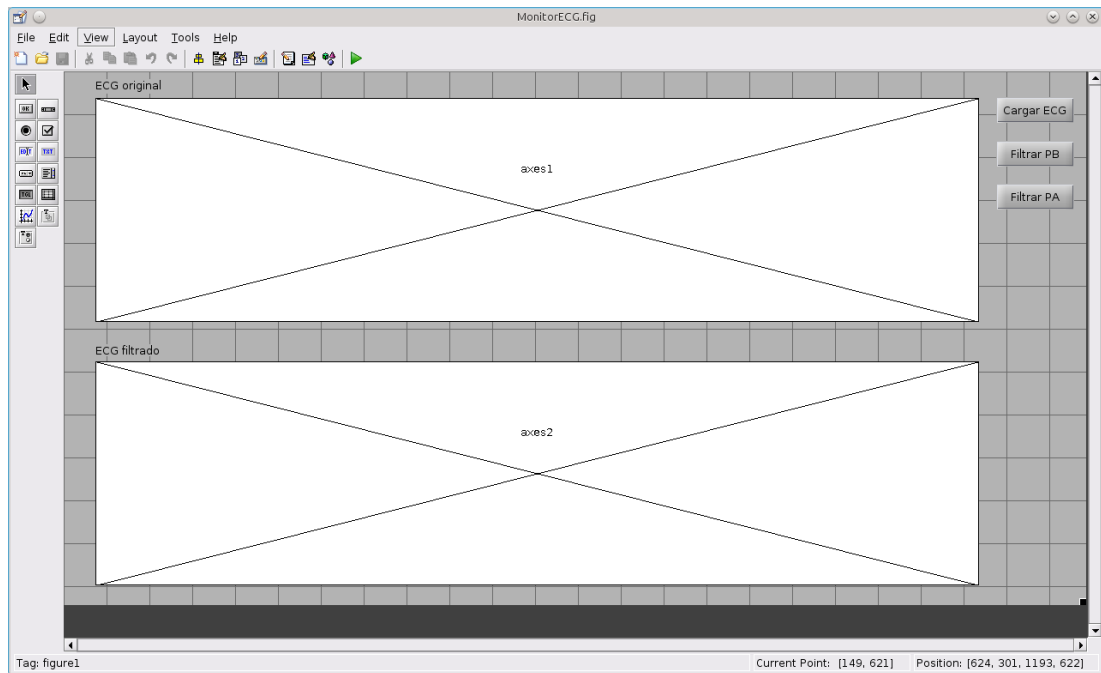


Figura 3. 5: Interfaz gráfica del software MonitorECG.

Elaborado por: Autor.

Asociado a la interfaz gráfica se genera un archivo de *script* de Matlab (archivo con extensión .m) en el cual se pueden programar mediante llamadas a funciones los eventos asociados a los botones como son el hacer clic, el mantener el botón presionado y cosas por el estilo.

### 3.3. Cargar señales de la base de datos Physionet.

Las señales de la base de datos Physionet tienen un formato de almacenamiento de las señales llamado WFDB (por sus siglas en inglés *WaveForm DataBase*) para poder acceder a este formato desde Matlab está disponible en el sitio de la Physionet la herramienta llamada *WFDB Toolbox for MATLAB and Octave* (Silva & Moody, 2014).



WFDB *Toolbox for MATLAB and Octave*, según la descripción de sus creadores, es una colección de funciones para leer, grabar y procesar señales fisiológicas y series de tiempo en los formatos usados por la base de datos Physionet. La herramienta WFDB es compatible con Matlab de 64 bits y su equivalente en software libre GNU *Octave* en las plataformas GNU/Linux, Mac OS X y MS Windows.

Para usar esta herramienta se requiere tener instalado la máquina virtual de Java versión 1.7 o superior.

Para instalar la herramienta en el *prompt* de Matlab, utilizar los comandos:

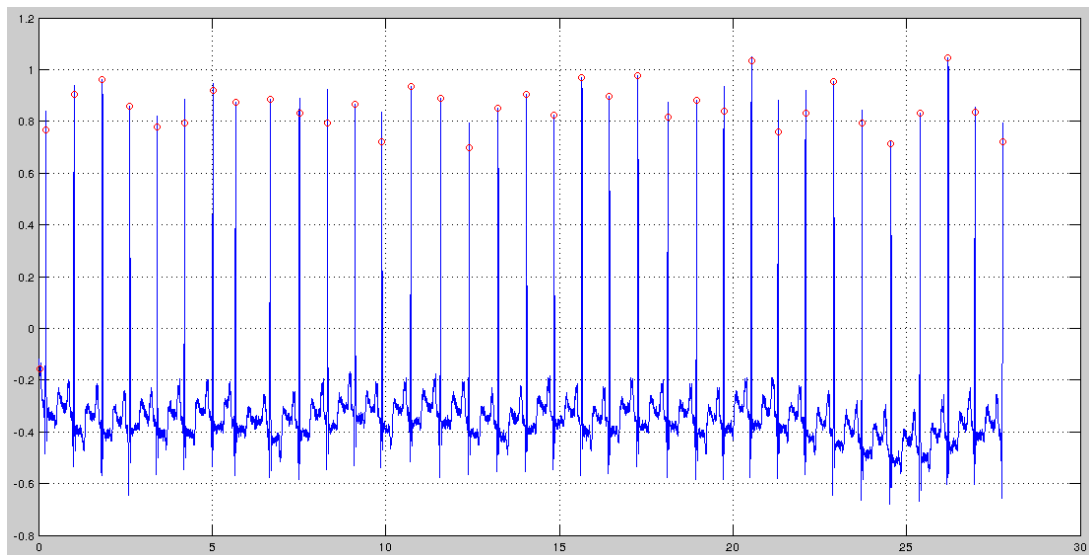
```
addpath ("directorio_donde_se_encuentra_la_herramienta/mcode")  
savepath
```

El primero permite posicionarse en el directorio donde se encuentra la herramienta y agregarla al conjunto de directorios donde el Matlab busca las funciones que necesita. El segundo permite salvar el directorio actual dentro de la memoria del Matlab, de manera que cada vez que sea una función de esta herramienta el Matlab sepa dónde buscarla.

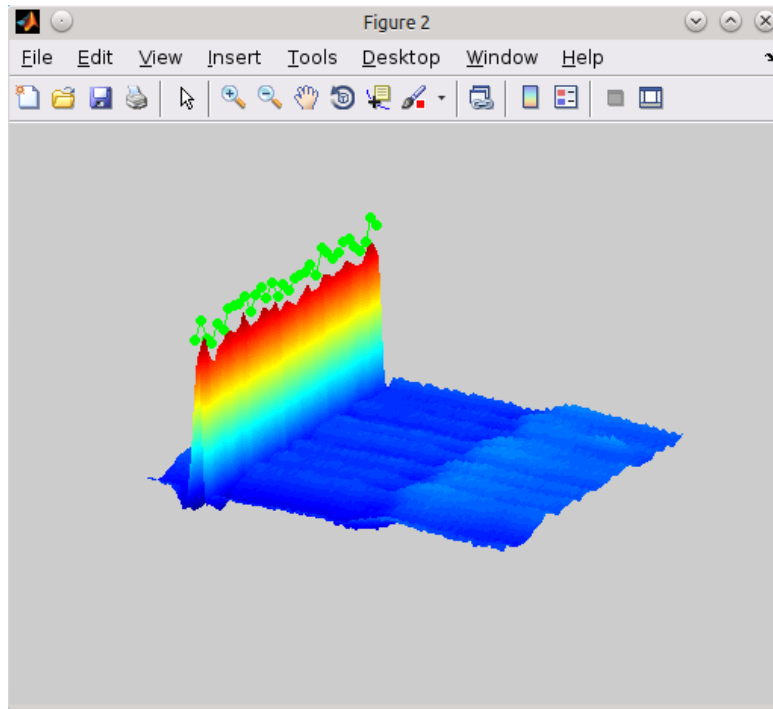
Una forma de comprobar si la herramienta se instaló correctamente es ejecutar en el *prompt* del Matlab el comando:

## wfdbdemo

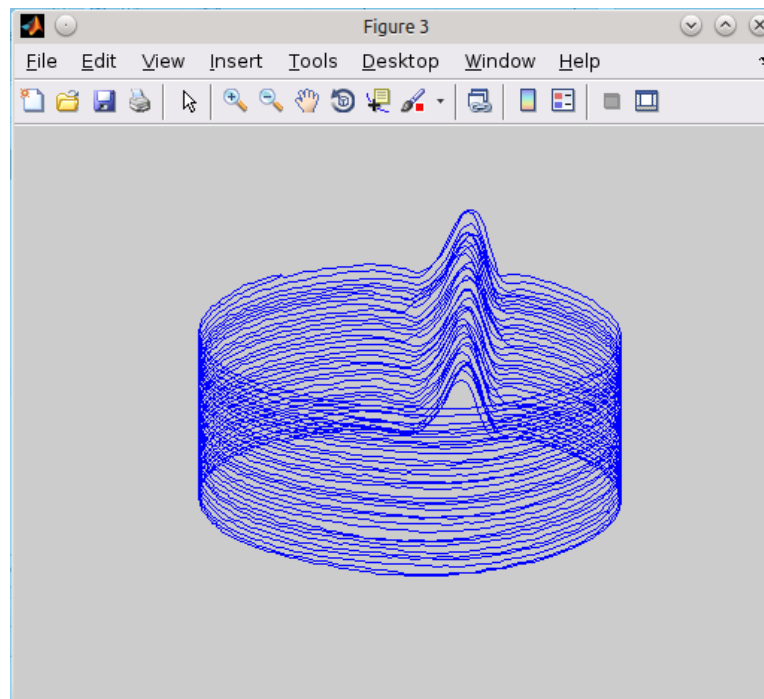
El comando anterior ejecuta una demostración de algunas de los procesamientos que se pueden realizar en Matlab con señales de la Physionet (en este caso se usaron señales de la MIT-BIH Arrhythmia Database) usando la herramienta WFDB y funciones de procesamiento de señales del propio Matlab. En la figura 3.6 se muestran los gráficos generados por la aplicación de demostración, en (a) se muestra un segmento de señal con los puntos R anotados por especialistas, en (b) se muestran los ciclos cardiacos de la señal en forma de una superficie como si de un mapa en 3D se tratara y en (c) se muestran los ciclos cardiacos en una especie de espiral filtrados usando un filtro de Kalman.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. 6: Gráficas generadas por la aplicación wfdbdemo de la herramienta WFDB.

Elaborado por: Autor.

Para cargar las señales con formato wfdb a Matlab se utilizan los comandos:

```
wfdb2mat(archivo_con_formato_wfdb);  
[tm,signal,Fs,labels]=rdmat(archivo_.mat_generado);
```

La primera línea convierte la señal contenida en el formato wfdb al formato mat utilizado por Matlab. La segunda línea de código lee el formato Matlab generado por la línea anterior y devuelve 4 variables: ***tm*** que es la variable que representa el eje tiempo, ***signal*** la cual es la variable que contiene la información del ECG en muestras, ***Fs*** que es la frecuencia de muestreo y ***labels*** que son las anotaciones realizadas por los médicos.

### **3.4. Implementación del filtrado pasa bajos y pasa altos.**

Para eliminar los ruidos de altas frecuencias de la señal de ECG de acuerdo con las normas de la *American Heart Association* se debe implementar un filtro pasa bajas con una frecuencia de corte de 45 Hz (Kligfield et al., 2007).

El filtro lo implementaremos a través de un filtro tipo IIR de Butterworth, el cual está diseñado para tener una respuesta plana en la banda de paso y en la banda de atenuación disminuye  $20 * n$  dB por década donde  $n$  es el orden del filtro (o el número de polos) (A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, 1989).

En la figura 3.7 se muestra una gráfica con un filtro de Butterworth pasa bajas, en diferentes colores varios filtros con una misma frecuencia de corte pero con diferentes órdenes, como se puede observar mientras mayor es el orden del filtro más acentuada es la caída lo cual es mejor pues el filtro responde mejor, pero esto conlleva un mayor costo de procesamiento, el cual es un parámetro a tener en cuenta cuando se desarrollan aplicaciones para equipos con recursos limitados.

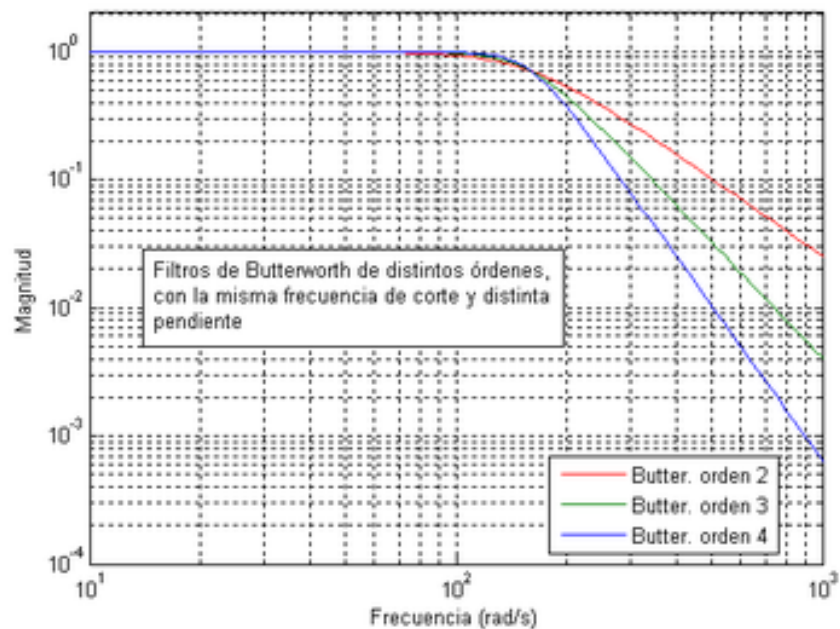


Figura 3. 7: Gráfica demostrativa de filtro pasa bajas de Butterworth.

Fuente: (A. V. Oppenheim, R. W. Schafer, 1989).

La Ecuación 2.1 muestra la fórmula de un filtro de Butterworth.

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\omega/\omega_c)^{2N}}$$

(2.1)

Donde:

$\omega_c$  : es la frecuencia de corte del filtro.

$\omega = j\omega$  (frecuencia angular compleja)

N: el orden del filtro

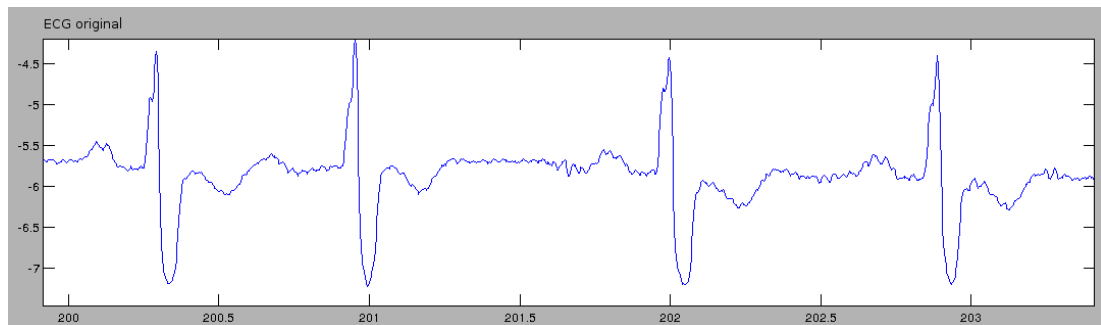
Para implementar un filtro IIR pasa bajas de cuarto orden de Butterworth se utilizan los comandos:

```
[b,a] = butter(4,45/t.Fs,'low');
```

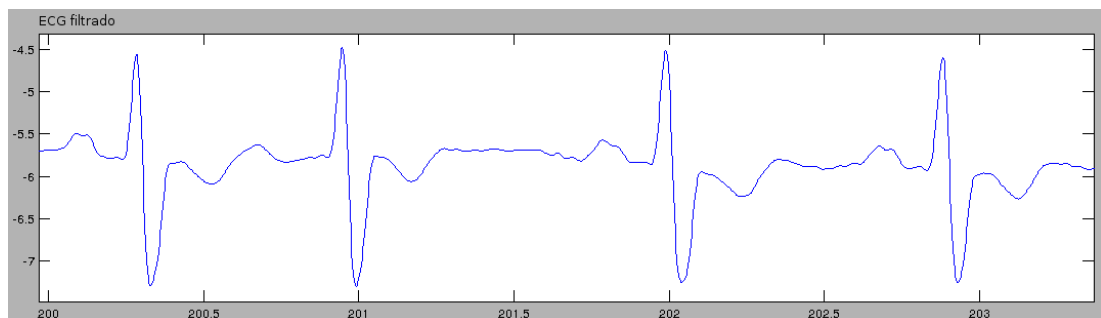
```
ecgy_filt = filtfilt (b,a,t.signal);
```

Con la primera línea se crean los coeficientes de un filtro pasa bajas de Butterworth de cuarto orden con una frecuencia de corte de 45 Hz, en la segunda línea se le aplica el filtro a la señal a través del comando *filtfilt* que realiza un filtrado bidireccional para minimizar la distorsión de fase conforme lo explicado por Longini y colaboradores en (Longini et al., 1975).

En la figura 3.8 se muestra el efecto del filtrado pasa bajas y se puede apreciar como la señal ya filtrada (b) no presenta las rápidas fluctuaciones de pequeña amplitud presentadas en (a), que son componentes de alta frecuencia.



(a)



(b)

Figura 3. 8: Señal de ECG (a) Original (b) filtrada con filtro pasa bajas.

Elaborado por: Autor.

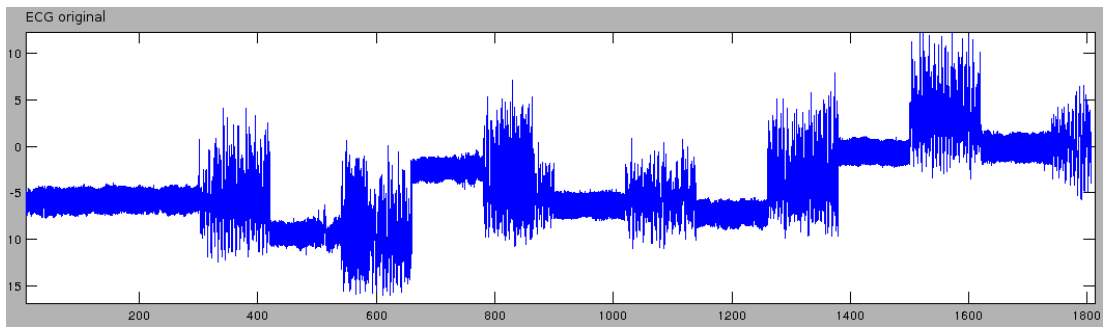
Para implementar un filtro IIR pasa altas de cuarto orden de Butterworth se utilizan los comandos:

```
[b,a] = butter(4,0.67/t.Fs,'high');
```

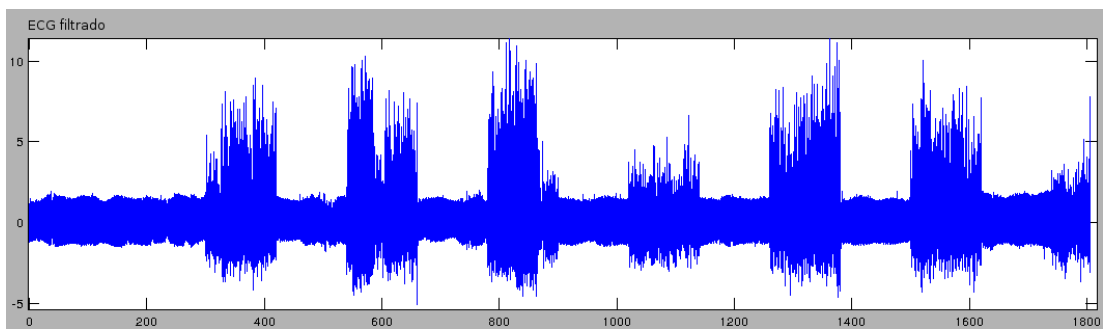
```
ecgy_filt = filtfilt (b,a,t.signal);
```

Con la primera línea se crean los coeficientes de un filtro pasa altas de Butterworth de cuarto orden con una frecuencia de corte de 0.67 Hz, en la segunda línea se le aplica el filtro a la señal a través del comando *filtfilt* que realiza un filtrado bidireccional para minimizar la distorsión de fase como ya fue explicado con anterioridad.

En la figura 3.9 se muestra el efecto del filtrado pasa altas donde se puede apreciar como en la señal ya filtrada (b) no presenta las variaciones de baja frecuencia y alta amplitud que se observan en (a).



(a)



(b)

Figura 3. 9: Señal de ECG (a) Original (b) filtrada con filtro pasa altas.

Elaborado por: Autor.



## **CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.**

### **4.1. Conclusiones**

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre los aspectos teóricos de la señal de ECG, los ruidos por los cuales esta es afectada y la eliminación de los ruidos utilizando filtros digitales tipo FIR e IIR. También fue implementado un software en Matlab con interfaz gráfica que permite cargar señales de la base de datos Physionet y realizarles un procesamiento para la eliminación de ruidos a través de filtrado, para lo cual se utilizaron filtros digitales tipo IIR de Butterworth de cuarto orden.

### **4.2. Recomendaciones**

Ya que en el presente trabajo se estudiaron las señales ECG y se disminuyó el ruido con un filtro específico, se recomienda utilizar diferentes tipos de filtraje al ya implementado para poder visualizar con que filtro pasa altas o pasa bajas podemos disminuir el ruido de la señal ECG a un menor o mayor pico de la señal con el máximo de frecuencias.

## Referencias Bibliográficas

- A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, J. R. B. (1989). *Discrete-Time Signal Processing*. New Jersey, *Printice Hall Inc.*
- Barrett, K. (2013). *Ganong fisiología médica*. Retrieved from [https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=11586919927323905669&hl=es&as\\_sdt=0,5#0](https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=11586919927323905669&hl=es&as_sdt=0,5#0)
- CUNHA, P. C. N., LOPES, R. V. V., CORADINE, L. C., SILVA, L. D., & MOREIRA., C. S. (2012). Eletrocardiógrafo digital portátil para o monitoramento de sinais ecg p. In *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, CBA* (pp. 2721–2726).
- Fernandez, M., & Pallas-Areny, R. (1992). Electrode contact noise in surface biopotential measurements. In *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (Vol. 1, pp. 123–124). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IEMBS.1992.5760887>
- Friesen, G. M., Jannett, T. C., Jadallah, M. A., Yates, S. L., Quint, S. R., & Nagle, H. T. (1990). A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 37(1), 85–98. <http://doi.org/10.1109/10.43620>
- Gómez, L. A. (2011). Las enfermedades cardiovasculares: un problema de salud pública y un reto global. *Biomédica*. Retrieved from <http://pruebas.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/626>

Gradwohl, J. R., Pottala, E. W., Horton, M. R., & Bailey, J. J. (1988). Comparison of two methods for removing baseline wander in the ECG. In *Proceedings. Computers in Cardiology 1988* (pp. 493–496). IEEE Comput. Soc. Press. <http://doi.org/10.1109/CIC.1988.72668>

Guide, M. U. (1998). The mathworks. *Inc., Natick, MA*, 5, 333.

Kligfield, P., Gettes, L. S., Bailey, J. J., Childers, R., Deal, B. J., Hancock, E. W., ... Mirvis, D. M. (2007). Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: the electrocardiogram and its technology a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clin. *Journal of the American College of Cardiology*, 49(10), 1109–1127.

Longini, R. L., Giolma, J. P., Wall, C., & Quick, R. F. (1975). Filtering without Phase Shift. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-22(5), 432–433. <http://doi.org/10.1109/TBME.1975.324517>

Murgatroyd, F. D. (2002). *Handbook of Cardiac Electrophysiology: A Practical Guide to Invasive EP Studies and Catheter Ablation*. REMEDICA. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=bVbU4gZJBk0C>

Neto, J. E. (2012). *Desenvolvimento de métodos de processamento e inteligência computacional no ECG ambulatorial*. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Pallás-Areny, R., & Webster, J. (1999). Analog signal processing. Retrieved

from [https://books.google.com.br/books?hl=es&lr=&id=JpVk-x-UGroC&oi=fnd&pg=PA122&dq=PALL%C3%80S%E2%80%93ARENY,+R.+Analog+Signal+Processing.+Nova+York:+John+Wiley+%26+Sons,+1999.&ots=Vi7zHPFfVz&sig=IU72sFLhn\\_BPui9eKQYLQPmFbIY](https://books.google.com.br/books?hl=es&lr=&id=JpVk-x-UGroC&oi=fnd&pg=PA122&dq=PALL%C3%80S%E2%80%93ARENY,+R.+Analog+Signal+Processing.+Nova+York:+John+Wiley+%26+Sons,+1999.&ots=Vi7zHPFfVz&sig=IU72sFLhn_BPui9eKQYLQPmFbIY)

PhysioBank, P. (2000). PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*. v101 i23. e215-e220.

Pottala, E. W., Bailey, J. J., Horton, M. R., & Gradwohl, J. R. (1990). Suppression of baseline wander in the ECG Using a bilinearly transformed, null-phase filter. *Journal of Electrocardiology*, 22, 243–247. [http://doi.org/10.1016/S0022-0736\(07\)80134-8](http://doi.org/10.1016/S0022-0736(07)80134-8)

Silva, I., & Moody, G. (2014). An open-source toolbox for analysing and processing physionet databases in matlab and octave. *Journal of Open Research Software*. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4627662/>

Sörnmo, L., & Laguna, P. (2005). Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=RQv7tFFXYlC&pgis=1>

Tanriverdi, V. (2006). *Removal of Baseline Wandering from the Electrocardiogram*.

Van Alsté, J. A., & Schilder, T. S. (1985). Removal of base-line wander and power-line interference from the ECG by an efficient FIR filter with a reduced number of taps. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 32(12), 1052–60. <http://doi.org/10.1109/TBME.1985.325514>

Webster, J. (1978). Medical Instrumentation-Application and Design. *Journal of Clinical Engineering*. Retrieved from [http://journals.lww.com/jcejournal/Citation/1978/07000/Medical\\_Instrumentation\\_Application\\_and\\_Design.17.aspx](http://journals.lww.com/jcejournal/Citation/1978/07000/Medical_Instrumentation_Application_and_Design.17.aspx)

World Health Organization. (2014). Global status report on noncommunicable diseases 2014, 176. <http://doi.org/ISBN 9789241564854>



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CORREA PARODI, GINO GEORGE** con C.C: # 0923030894 autor del Trabajo de Titulación: **Diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base Physionet** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de Septiembre de 2016

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: CORREA PARODI, GINO GEORGE  
C.C: 0923030894

## **REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño de una interfaz gráfica para la carga y pre-procesamiento de señales ECG de la base Physionet		
<b>AUTOR(ES)</b>	CORREA PARODI, GINO GEORGE		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	12 de Septiembre de 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	52
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Señales y Sistemas, Procesamiento de Señales Digitales, Programación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	ECG, Matlab, Physionet, filtros digitales		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>En este trabajo se implementa un software con interfaz gráfica desarrollada en Matlab que permite cargar señales de electrocardiograma de la base de datos Physionet las cuales se encuentran en formato wfdb. Estas señales son convertidas al formato .mat nativo de Matlab utilizando la herramienta wfdftool disponible en el sitio web de Physionet. La herramienta desarrollada cuenta con la opción de eliminar los ruidos de altas y bajas frecuencias presentes en la señal de electrocardiograma a través de filtros tipo IIR de Butterworth de cuarto orden. El filtrado realizado sigue las normas internacionales establecidas por la agencia American Heart Association. Se aprendió el uso y funcionalidades del programa MatLab para el desarrollo de la interfaz gráfica. Durante el presente trabajo de titulación también fueron estudiadas las bases teóricas de la señal de electrocardiograma, los ruidos que presenta, las técnicas de filtrado utilizadas para el procesamiento digital de estas señales entre otros aspectos teóricos relativos al tema.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0988254800	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:ginito-69@hotmail.com">ginito-69@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>No. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>No. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			