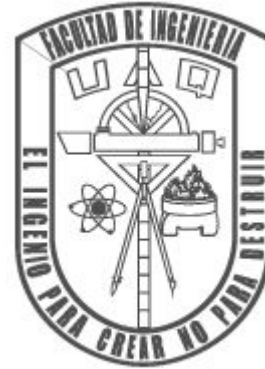
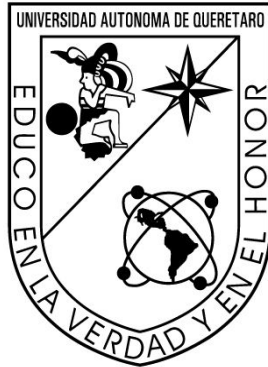


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniería Biomédica

Procesamiento de Bioseñales

Grupo 42

“Electrocardiograma”

Ing José de Jesús Santana Ramírez

Alumnas:

Karla Rubi Arriaga González

Andrea Cecilia Treviño Cervantes

Flor Esthela Montante Arenas

I. Introducción

Este documento presenta la simulación de un electrocardiograma en el programa Labview, un análisis anatómico y fisiológico del corazón, así como el funcionamiento y evolución del electrocardiograma convencional. Se abarca, también, el diseño y montaje de un sistema de instrumentación aplicado en un sistema biomédico; el ECG a partir de los conocimientos adquiridos a lo largo del semestre y en conjunto con las materias relacionadas.

El ECG es un dispositivo médico de gran importancia ya que nos permite conocer el estado del corazón, analizando la actividad eléctrica de este con fines diagnósticos o terapéuticos de la actividad vital del paciente. Un dispositivo confiable, rápido y mínimamente invasivo, combinación de amplificadores, transductores, resistencias y cables, componentes comunes que en conjunto nos permiten conocer el estado del corazón. En este documento se presenta la consideración acerca de un análisis de la respuesta fisiológica ante la corriente aplicada en el cuerpo humano.

A lo largo del semestre se trabajó en el desarrollo de un electrocardiograma, integrando los conocimientos de la materia de anatomía, fisiología, programación, circuitos, procesamiento de señales y procesamiento de bioseñales. Esto con el fin de plasmar el conocimiento en un documento para referencias futuras.

II. Antecedentes

A. Anatomía del corazón

El corazón está compuesto por dos mitades diferenciadas, por lo cual se describen un corazón derecho y corazón izquierdo. En cada una de estas mitades hay dos cavidades (Fig 1): una aurícula (atrio) y un ventrículo. Mientras que el corazón derecho y el corazón izquierdo están separados por un tabique, cada una de las aurículas comunica con el ventrículo correspondiente por un orificio provisto de válvulas que aseguran, en cada mitad del corazón, una circulación sanguínea en sentido único. A las aurículas llegan las venas, de los ventrículos partes las arterias.

- ★ **Arterias:** Distribuyen la sangre en todo el organismo.
- ★ **Venas:** Conducen al corazón la sangre proveniente de los diversos órganos.
- ★ **Capilares:** Están interpuestos entre las arterias y las venas. En ellos se producen los intercambios entre la sangre y los órganos; estos se establecen ya sea en el sentido sangre-tejido (nutrición) o en el sentido tejido sangre (eliminación). El resultado de estos intercambios es la transformación de la "sangre arterial", rica en oxígeno, en "sangre venosa", cargada de anhídrido carbónico. Se considera que la unión entre las arterias y los capilares, por una parte, entre los capilares y las venas, por otra, constituye una zona intermediaria que se denomina: uniones arteriolocapilar y capilarovenular.

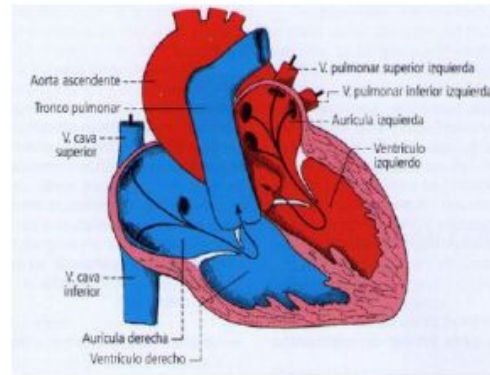


Figura 1. : Corte a través de las cavidades cardíacas

El corazón es un músculo hueco que circunscribe cavidades en las cuales circula la sangre. Cuando se relaja (diástole), atrae hacia sí la sangre que circula en las venas. Cuando se contrae (sístole) expulsa la sangre hacia las arterias: aorta o tronco pulmonar. Está formado por un músculo con propiedades particulares, el miocardio, tapizado interiormente por el endocardio y exteriormente por el epicardio. El corazón está rodeado por el pericardio, conjunto fibroso que lo separa de los órganos vecinos.

1. Situación General

El corazón está situado en el tórax, detrás de la pared esternocondrocostal, en la parte inferior del mediastino (Fig. 2).

El mediastino es una región que se encuentra situada profundamente en el tórax, entre las regiones pleuropulmonares derecha e izquierda.

Está limitado: por delante, por la cara posterior del esternón, de los cartílagos costales y de los espacios intercondrales; por detrás, por la cara anterior de la columna vertebral desde T1 hasta L1; a los lados, por las pleuras, porciones mediastínicas, derecha e izquierda; por abajo, por la porción mediana del diafragma; por arriba, por el orificio torácico superior, a través del cual se comunica con los diferentes planos del cuello.

Se lo divide, con fines de estudio topográfico, mediante un plano horizontal, que va desde el ángulo esternal hasta la cara inferior de la cuarta vértebra torácica, separando un mediastino superior de un mediastino inferior.

La presencia del corazón en el mediastino inferior permite diferenciar:

- Un mediastino anterior, entre el cuerpo del esternón y el pericardio.
- Un mediastino medio, que contiene el pericardio, el corazón y las estructuras ubicadas por delante del plano de la bifurcación traqueal y por detrás del mediastino anterior.
- Un mediastino posterior, ubicado entre la división traqueal y la columna vertebral.

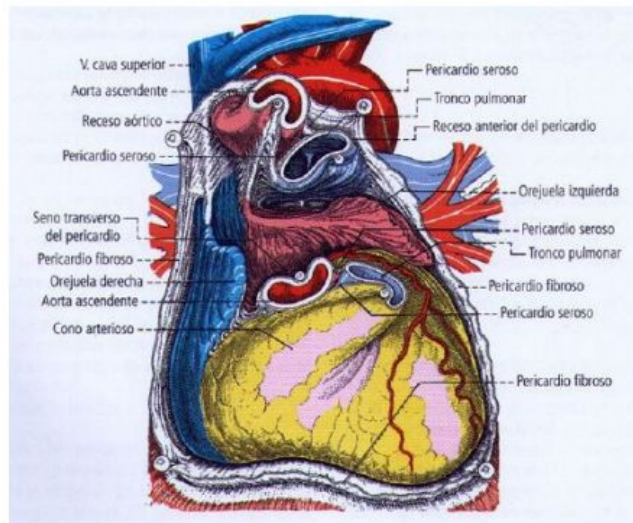


Figura 2: Vista anterior del corazón una vez abierta la cavidad pericárdica y seccionados la aorta y el tronco pulmonar. Se han separado los extremos de los cortes. En azul, la aurícula derecha. En rosa, la aurícula izquierda.

El corazón se encuentra entre ambos pulmones, rodeados por sus pleuras, por encima del diafragma, delante de la columna vertebral. Se proyecta en el segmento comprendido entre la 4ª y la 8ª apófisis espinosa de las vértebras torácicas (vértebras cardíacas). Situado en la línea mediana, se desarrolla sobre todo a la izquierda de esta línea y ligeramente hacia la derecha. Lo mantienen en su situación los grandes vasos que llegan a él o que de él parten. Abajo, las conexiones entre la vena cava inferior y el diafragma constituyen un elemento de fijación importante. Por intermedio el pericardio está unido a las diferentes estructuras de la pared torácica o del mediastino.

En el interior del pericardio, el corazón está libre, pero mantenido en su posición por su continuidad con los grandes vasos y además, por el pericardio fibroso y por las inserciones diafragmáticas de este. Los derrames de sangre o de otros líquidos (o aire) en el interior del tórax ocasionan el desplazamiento en masa del corazón y del pericardio, siguiendo los movimientos del mediastino.

2. Forma y Orientación

Se considera el corazón fijado y mantenido en su lugar (in situ) dentro del tórax por los grandes vasos. Tiene la forma de un cono o una pirámide. En él pueden reconocerse:

- Una base, dirigida hacia atrás, arriba y algo a la derecha.
- Un vértice o punta (ápex), situado delante y a la izquierda.

La línea que une el vértice del corazón al centro de su base está orientada de abajo hacia arriba y de adelante hacia atrás. El eje general del corazón se acerca más a la horizontal que a la vertical. En este caso se trata del tipo más frecuente: oblicuo. Según la forma del tórax, el corazón puede ser transversal, o menos transversal en los individuos longilíneos

3. Aspecto

El corazón vivo está animado por contracciones enérgicas. Su tejido muscular varía del rosado al rojo oscuro. En su superficie, importantes cúmulos de tejido adiposo se ubican en los surcos del órgano. Su consistencia es variable: en las aurículas, que son delgadas, el corazón aparece blando. Los ventrículos son más resistentes, más elásticos, sobre todo el izquierdo. El corazón es duro durante su período de contracción (sístole). Está más blando y distendido durante la relajación ventricular (diástole). Su consistencia corazón varía también con la edad, con la magnitud del volumen sanguíneo en su interior, así como con ciertas enfermedades que la aumentan o la disminuyen.

El volumen y el peso varían de acuerdo con el sexo y con la edad: el corazón del hombre es más voluminoso que el de la mujer. Al nacer, pesa aproximadamente 25 g; a los 10 años, entre 100 y 125 g y en el adulto entre 200 y 250 g. Este peso aumenta con la talla y con la capacidad torácica. El volumen depende del trabajo muscular y de los esfuerzos físicos a los que el individuo está sometido; de modo semejante a los músculos estriados de la vida de relación, el esfuerzo produce un aumento de su volumen debido a la hipertrofia del miocardio: el corazón grande de los deportistas no es un corazón distendido ni fatigado sino por el contrario un órgano más robusto y mejor adaptado al esfuerzo. El volumen del corazón aumenta durante el embarazo y disminuye después del parto.

Su capacidad interesa menos que el gasto de sangre a través de las cavidades cardíacas. El gasto cardíaco es el volumen de sangre que el corazón bombea por minuto. El gasto de las cavidades izquierdas debe ser igual al de las cavidades derechas. Si el gasto del corazón derecho es superior al gasto del corazón izquierdo se produce una estasis sanguínea (estancamiento) entre el corazón derecho y el corazón izquierdo, es decir, en los pulmones, lo que causa un edema pulmonar.

4. Sistema de conducción del corazón

El miocardio posee una capacidad de contracción automática. El corazón aislado de toda conexión nerviosa extrínseca continúa latiendo. Más aún, las aurículas y los ventrículos se contraen siguiendo un ritmo propio. En realidad, esas contracciones se producen en un orden bien definido. El origen de las contracciones y su transmisión armoniosa a todas partes del corazón corresponde al sistema de conducción del corazón (cardionector). Este sistema de despolarización y conducción está constituido por células miocárdicas especializadas, que se ubican subiendo radicalmente y se diferencian de las células miocárdicas generales "de trabajo".

El sistema de conducción del corazón comprende dos partes:

- El nodo sinoauricular, situado en la pared de la aurícula derecha. (Fig 3)
- El conjunto auriculoventricular, en el cual se distinguen el nodo auriculoventricular, el fascículo auriculoventricular y sus ramas derecha e izquierda, y los ramos subendocardicos.

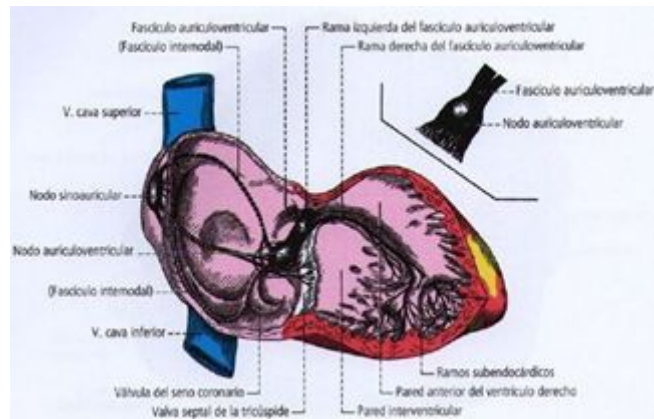


Figura 3: Sistema de conducción del corazón. Vista lateral derecha.

5. Vascularización

Cada uno de los elementos constitutivos del sistema de comando del corazón dispone de una vascularización propia. El nodo sinoauricular recibe ramas de las arterias auriculares, en general, de la arteria coronaria derecha, pero a veces también de la izquierda. El nodo auriculoventricular y el fascículo auriculoventricular son irrigados por las ramas interventriculares septales, provenientes de la rama interventricular posterior, rama de la coronaria derecha. (Fig 4)

Las ramas del fascículo auriculoventricular reciben ramas de las arterias interventriculares septales, provenientes de la rama interventricular anterior (coronaria izquierda).

La trombosis de las arteriolas destinadas al sistema de conducción altera gravemente el funcionamiento de este sistema y perturba la coordinación de las contracciones cardíacas (disociación auriculoventricular, bloqueo de rama, etc.).

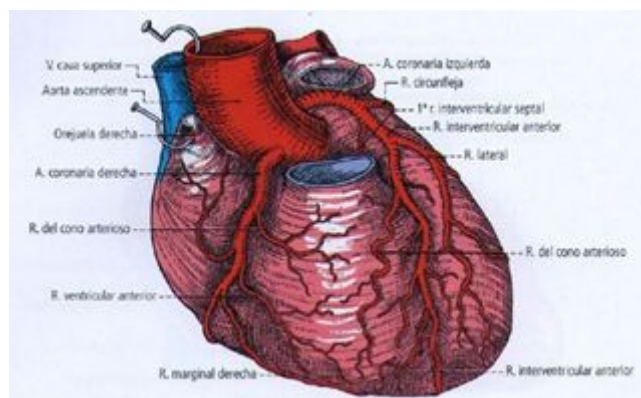


Figura 4: Arterias coronarias.

B. Fisiología del corazón

El corazón está formado por tres tipos principales de músculo; el músculo auricular, el músculo ventricular y las fibras musculares especializadas de excitación y de conducción. Los músculos auricular y ventricular se contraen de una manera similar al músculo esquelético, sin embargo, las fibras especializadas se contraen débilmente, ya que no poseen tantas fibrillas musculares, en cambio presentan descargas eléctricas rítmicas automáticas en forma de potenciales de acción o conducción de los potenciales de acción por todo el corazón formando un sistema excitador que controla el latido rítmico del corazón.

El corazón está formado por dos sincitios; el auricular que forma las paredes de las aurículas, y el sincitio ventricular, que forma las paredes de los dos ventrículos. Normalmente los potenciales no se conducen desde el sincitio auricular al ventricular a través del tejido fibroso, por el contrario, sólo son conducidos por medio de un sistema de conducción especializado denominado haz AV, que es un fascículo de fibras de conducción de varios milímetros.

Esta división de sincitios funcionales permite que las aurículas se contraigan un pequeño intervalo antes de la contracción ventricular, lo que es de suma importancia para el bombeo cardíaco.

1. Potenciales de acción del músculo cardíaco

El potencial de acción que se registra en una fibra muscular ventricular es en promedio de aproximadamente 105 mV, lo que significa que el potencial intracelular aumenta desde un valor muy negativo, de aproximadamente -85 mV, entre los latidos hasta un valor ligeramente positivo, de aproximadamente + 20 mV, durante cada latido.

Después de la espiga inicial la membrana permanece despolarizada durante aproximadamente 0.2 s mostrando una meseta como se muestra en la figura, seguida al final de la meseta de una repolarización súbita. La presencia de esta meseta del potencial de acción hace que la contracción ventricular dure hasta 15 veces más en el músculo cardíaco que en el músculo esquelético. (Fig 5)

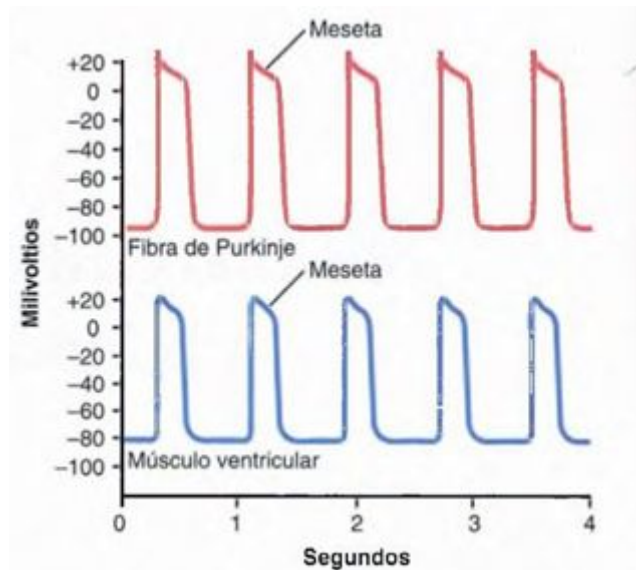


Figura 5: Comparación de los potenciales de acción rítmicos en MV de una fibra de Purkinje y de una fibra muscular ventricular, registrados por medio de electrodos.

En el músculo cardíaco, el potencial de acción está producido por la apertura de dos tipos de canales: 1) los mismos canales rápidos de sodio que en el músculo esquelético y 2) otra población totalmente distinta de canales lentos de calcio, que también se denominan canales de calcio-sodio.

2. El ciclo cardíaco

Los fenómenos cardíacos que se producen desde el comienzo de un latido cardíaco hasta el comienzo del siguiente se denomina ciclo cardíaco. Cada ciclo es iniciado por la generación espontánea de un potencial de acción en el nódulo sinodal. Este módulo está localizado en la pared superolateral de la aurícula derecha, cerca del orificio de la vena cava superior, y el potencial de acción viaja desde aquí rápidamente por ambas aurículas y después a través del haz AV hacia los ventrículos. Debido a esta disposición especial del sistema de conducción desde las aurículas hacia los ventrículos, hay un retraso de más de 0,1 s durante el paso del impulso cardíaco desde las aurículas a los ventrículos.

3. Relación del ciclo cardíaco y el electrocardiograma

El electrocardiograma de la figura 6 muestra las ondas P, Q, R, S y T, son los voltajes eléctricos que genera el corazón, y son registrados mediante el electrocardiógrafo desde la superficie del cuerpo. La onda P está producida por la propagación de la despolarización en las aurículas, y es seguida por la contracción auricular, que produce una ligera elevación de la curva de presión auricular inmediatamente después de la onda P electrocardiográfica.

Aproximadamente 0.16 s después del inicio de la onda P, las ondas QRS aparecen como consecuencia de la despolarización eléctrica de los ventrículos, que inicia la contracción de los ventrículos y hace que comience a elevarse la presión ventricular, como también se muestra en la figura (Fig 6)

Por tanto, el complejo QRS comienza un poco antes del inicio de la sístole ventricular. Finalmente, en el electrocardiograma se observa la onda T ventricular, que representa la fase de repolarización de los ventrículos, cuando las fibras del músculo ventricular comienzan a relajarse. Por tanto, la onda T se produce un poco antes del final de la contracción ventricular.

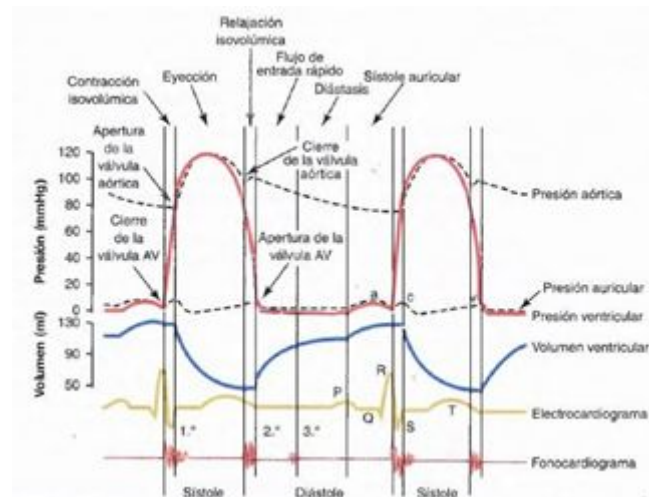


Figura 6: Acontecimientos del ciclo cardíaco para la función del ventrículo izquierdo, que muestran los cambios de la presión auricular izquierda, de la presión aórtica, el volumen ventricular y del electrocardiograma.

C. Electrocardiógrafo

El electrocardiógrafo es un instrumento médico electrónico que capta y amplía los impulsos eléctricos del corazón. Para ello se conectan electrodos en las extremidades superiores e inferiores y en seis posiciones precordiales. Como resultado se obtiene el electrocardiograma (ECG).

1. Historia del electrocardiograma

La electricidad con el cuerpo humano se lleva investigando desde el siglo XVII utilizando animales y humanos, pero no fue hasta el año 1901 que Willem Einthoven inventó el electrocardiógrafo, específicamente un galvanómetro de cuerda. Este aparato pesaba más de 250 Kg y sus dimensiones eran muy grandes, y Einthoven necesitaba la ayuda de cuatro personas para poder trasladarlo de un sitio a otro.

Por esa razón, se ingenio un sistema para conectarlo desde el laboratorio donde estaba, en la ciudad de Leyden, hasta el hospital de la ciudad mediante cables subterráneos, aprovechando la red telefónica que había instalada. La distancia total era de un kilómetro y medio. Los pacientes eran examinados en el hospital y el registro se podía ver en el laboratorio.

Gracias a esto, Einthoven pudo obtener los primeros electrocardiogramas y realizar experimentos, que posteriormente escribió en un artículo “Le telecardiogramme” en el año 1906. Fueron las bases de la electrocardiografía e introdujo la nomenclatura de P, QRS, S y T.

En el año 1911, la compañía londinense Cambridge Scientific Instruments fabricó el galvanómetro de Einthoven por primera vez.

Gracias a todos estos logros, Einthoven recibió un premio nobel en el año 1924 por su gran invento, el electrocardiógrafo.

El primer electrocardiógrafo portátil fue creado en 1928 por la compañía Frank Sanborn. Su peso era de unos 25 Kg y utilizaba una batería de 6 V.

Con los años, el diseño se ha ido perfeccionando hasta obtener los pequeños y ligeros aparatos que tenemos hoy en día.

2. Funcionamiento

El funcionamiento de un electrocardiógrafo es posible gracias unos electrodos que se colocan sobre el cuerpo del paciente.

La mayoría de instrumentos médicos son dispositivos electrónicos en los cuales se requiere adecuar una señal eléctrica en la entrada de estos. En estos casos donde un biopotencial es adquirido, distintos tipos de electrodos son usados entre el paciente y el instrumento.

3. Interpretación del electrocardiograma

El registro de la actividad eléctrica del corazón es reflejado en un papel mediante un trazo con ondas positivas y negativas que va dibujando el electrocardiógrafo a medida que recibe información de los electrodos.

El electrocardiograma sirve para conocer los siguientes detalles:

- Si el corazón tiene algún tipo de daño.
- La velocidad de palpitación y si existe alguna anomalía en ella.
- Los efectos que están teniendo los fármacos y dispositivos destinados a controlar el corazón.
- La posición y el tamaño de las cámaras del corazón.

→ La transformada de Wavelet

La transformada de Wavelet, vista como un proceso matemático, es una operación lineal que descompone una señal compleja en bloques elementales que aparecen en diferentes escalas o resoluciones.

Existen importantes diferencias entre el análisis de Fourier y el de Wavelet. La primera diferencia consiste en que la transformada de Fourier produce cambios en todo el dominio del tiempo; por otro lado, las Wavelets son locales en dos dimensiones: Frecuencia/escala (vía dilataciones) y en el Tiempo (vía traslaciones); esta forma de operar es una ventaja para algunos problemas, como en el análisis de señales fisiológicas cuyo comportamiento es pseudo periódico.

La segunda diferencia, es que muchas clases de funciones pueden ser representadas por Wavelets en una forma más compacta; por ejemplo, funciones con discontinuidades y funciones con picos muy pronunciados, comportamiento que sigue la señal del ECG en la Fig. 9.

La selección de la Wavelet está fuertemente relacionada con las características de la señal de estudio; por lo tanto, el punto clave es encontrar la función base que mejor se adecue a la señal y que se identificará como Wavelet madre; es importante mencionar que solo aquellas funciones que satisfagan las dos condiciones siguientes pueden ser consideradas como tal: 1. Ser oscilatorio (área total igual a cero); 2. Decaer a cero rápidamente.

Para este trabajo se eligió la familia de Wavelets de Daubechies, en específico la número 6 (db6), la cual se ajusta de mejor forma a la señal generada por el ECG como se observa en las Fig. 7a, 9b, 9c, 9d.

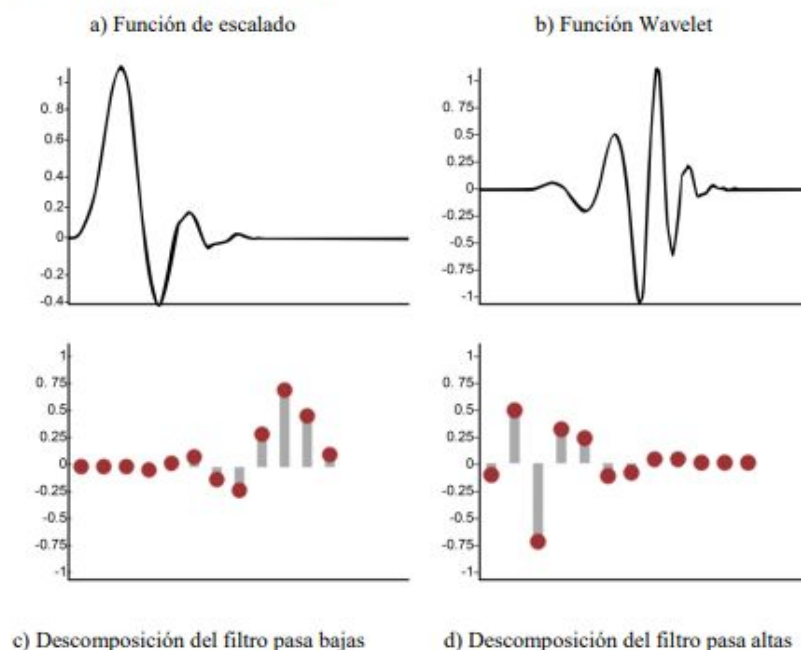


Figura 7. Familia db6 de Wavelets Daubechies

4. Partes de un electrocardiógrafo

Las partes de instrumento para realizar electrocardiogramas son:

- **Circuito de protección, señal de calibración, preamplificador, circuito de aislamiento y amplificador manejador:** estas cinco partes corresponden a un amplificador de biopotenciales.
- **Circuito de pierna derecha:** crea una tierra activa aislada de la tierra eléctrica del circuito en la pierna derecha del paciente con el objetivo de reducir los voltajes que recibe, y en consiguiente aumentar su seguridad. Esto se consigue reduciendo la impedancia del electrodo de tierra.
- **Selector de derivaciones:** se trata de un módulo que se coloca de manera fácil a un sistema de amplificación de biopotenciales. El módulo pondera la contribución de cada electrodo a través de resistencias, logrando la derivación de interés.
- **Sistema de memoria:** se trata de una memoria donde se almacena la señal antes de imprimirse junto con los datos que se introducen manualmente a través de un teclado digital. Se utiliza un convertidor analógico digital encargado de convertir la señal.
- **Microcontrolador:** este componente controla cada uno de los procedimientos que realiza el electrocardiógrafo. El profesional tiene varios modos de operación con procedimientos predeterminados. Un ejemplo sería poder registrar doce derivaciones con cuatro latidos en cada una o por segmentos de tiempo fijados.
- **Registrador:** es el encargado de imprimir la señal que captan los electrodos, es decir, el resultado del electrocardiograma. Para ello utiliza plumillas y papel térmico continuo o inyección de tinta.

5. Características del electrocardiograma normal

Cuando el impulso cardíaco atraviesa el corazón, la corriente eléctrica también se propaga desde el corazón hacia los tejidos adyacentes que lo rodean. Una pequeña parte de esta corriente se propaga hacia la superficie de la piel, si se colocan electrodos, es posible registrar los potenciales eléctricos generados por esta.

El electrocardiograma normal está formado por una onda P, un complejo QRS (que con frecuencia está formado por tres ondas independientes la Q, R y la S) y una onda T.

La onda P está producida por los potenciales eléctricos generados por la despolarización en las aurículas ante el comienzo de la contracción auricular. El complejo QRS está formado por los potenciales que se generan cuando se despolarizan los ventrículos antes de su contracción.

Por lo tanto, la onda P y el complejo QRS representan las ondas de despolarización. La onda T está producida por los potenciales que se generan cuando los ventrículos se recuperan del estado de despolarización.

Este proceso normalmente aparece en el músculo ventricular entre 0.25 y 0.35 s después de la despolarización y la onda T se conoce como onda de repolarización. Así, el electrocardiograma está formado por ondas tanto de despolarización como de repolarización. (Fig 8).

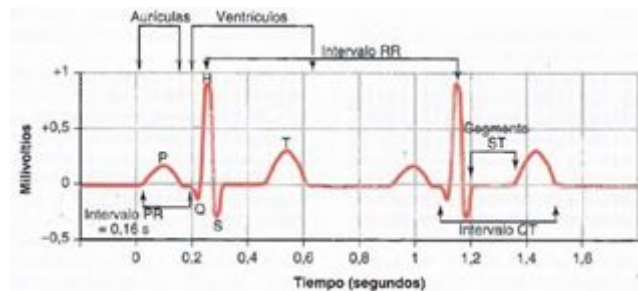


Figura 8: Electrocardiograma normal.

6. Voltajes normales en el electrocardiograma

Los voltajes de las ondas que se registran en el electrocardiograma normal dependen de la manera en la que se aplican los electrodos a la superficie del cuerpo y de la proximidad de los electrodos al corazón. Cuando un electrodo está colocado directamente sobre los ventrículos y un segundo electrodo está localizado en otra localización del cuerpo alejada del corazón, el voltaje del complejo QRS puede ser de hasta 3 a 4 mV. Incluso este voltaje es pequeño en comparación con el potencial de acción monofásico de 110 mV que se registra directamente en la membrana del músculo cardíaco. Cuando los electrocardiogramas se registran con electrodos en los dos brazos o en un brazo y una pierna, el voltaje en el complejo QRS habitualmente es de 1,0 a 1,5 mV desde el punto más elevado de la onda R hasta el punto más profundo de la onda S; el voltaje de la onda P está entre 0.1 y 0.3 mV, y el de la onda T está entre 0.2 y 0.3 mV.

Intervalo P-Q o P-R. El tiempo que transcurre entre el comienzo de la onda P y el comienzo del complejo QRS es el intervalo que hay entre el inicio de la excitación eléctrica de las aurículas y el inicio de la excitación de los ventrículos. Este período se denomina intervalo P-Q. El intervalo P-Q normal es de aproximadamente 0.16 s. (Con frecuencia este intervalo se denomina intervalo P-R porque es probable que no haya onda Q.) **Intervalo Q-T.** La contracción del ventrículo dura casi desde el comienzo de la onda Q (onda R si no hay onda Q) hasta el final de la onda T. Este intervalo se denomina intervalo Q-T y habitualmente es de aproximadamente 0.35 s.

7. Determinación de la frecuencia del latido cardíaco a partir del electrocardiograma

La frecuencia del latido cardíaco se puede determinar fácilmente a partir del electrocardiograma porque la frecuencia cardíaca es el recíproco del intervalo de tiempo entre dos latidos cardíacos sucesivos. Si el intervalo entre dos latidos, que se determina a partir de las líneas de calibración del tiempo, es de 1 s, la frecuencia cardíaca es de 60 latidos por minuto. El intervalo normal entre dos complejos QRS sucesivos en una persona adulta es de aproximadamente 0.83 s. Esto corresponde a una frecuencia cardíaca de $60/0.83$ veces por minuto, o 72 latidos por minuto.

8. Electrodo desechable para ECG

El electrodo desechable es un electrodo redondo autoadherible para monitoreo cardíaco con broche. Está cubierto por espuma de polietileno, libre de látex, con un sensor de Ag/AgCl (gel sólido conductor) y es para uso general en adultos. (Fig 9)

Las instrucciones de uso son las siguientes:

1. Limpiar y rasurar el área de tratamiento.
2. Asegurarse de que el aparato para electrocardiograma esté apagado.
3. Conectar los electrodos al aparato sin quitarles la cubierta transparente.
4. Remover la cubierta transparente de los electrodos.
5. Aplicar los electrodos a la piel limpia y sana.
6. Comenzar el procedimiento.
7. Al terminar, despegar los parches de la piel cuidadosamente.
8. Si se presenta irritación en la piel u ocurre algún tipo de falla, el tratamiento deberá ser suspendido.



Figura 9: Electrodo desechable.

D. Enfermedades comunes del corazón

Como ya se mencionó anteriormente el ECG sirve para conocer el estado del corazón y detectar enfermedades que pueden afectar a este órgano vital. Las enfermedades cardíacas causan la defunción de millones de personas, afectando mayormente al género masculino.

Entre las enfermedades más comunes a nivel mundial se encuentran:

- Angina: Esta provoca dolor en el pecho porque el corazón no recibe la sangre ni el oxígeno suficientes debido a la obstrucción en las arterias coronarias por la acumulación de grasa o colesterol.
- Infarto al miocardio: Es una enfermedad provocada por el deterioro y la obstrucción de las arterias del corazón, tiene como consecuencia la muerte de las células cardíacas. Los síntomas son fuerte dolor y presión en el pecho bruscamente, molestias en la mandíbula, cuello y espalda, además de mareos y sudoración intensos.
- Hipertensión: Es la presión alta dentro de los vasos sanguíneos. Al no ser tratada ocasiona muchas afecciones médicas, como accidente cerebrovascular o insuficiencia renal.
- Insuficiencia cardíaca: Esta enfermedad impide que el corazón tenga suficiente capacidad para bombear la sangre en consecuencia la falta de oxígeno y nutrientes en el organismo.
- Arritmia: Se refiere al latido irregular del corazón; esto ocurre cuando los impulsos electrónicos que regulan los ritmos cardíacos no funcionan adecuadamente. Si los latidos son menos de 60 por minuto, se le denomina bradicardia, en cambio, si son mayores a los 100 latidos por minuto, se le denomina como taquicardia.
- Fibrilación auricular: Es un tipo de arritmia donde el corazón fibrila o tiembla, provocando la formación de coágulos de sangre en su interior, debido a que el vaciado de las aurículas no se realiza adecuadamente.
- Cardiopatía congénita: Es una anomalía congénita que presenta problemas en la estructura y funcionamiento del corazón producidas durante el periodo embrionario.

III. Justificación

Las enfermedades cardíacas representan la primera causa de muerte en nuestro país y a nivel mundial. En 2015 la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que el 31 % de todas las muertes a nivel mundial fueron debido a estas enfermedades.

En México representan el 20 % del total de muertes en los adultos. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2016 se reportaron 136,342 fallecimientos a causa de enfermedades del corazón, un aumento de 7,611 muertes respecto al 2015.

Poniendo a prueba los diferentes conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y especialmente en la materia de procesamiento de bioseñales se pretende realizar la base del desarrollo de un ECG, en modo de simulación que acerque a los desarrolladores a un ámbito real del desarrollo de un dispositivo biomédico.

IV. Objetivo General

Desarrollar un dispositivo biomédico completo, capaz de recopilar, analizar y mostrar las señales eléctricas producidas por el corazón.

V. Objetivo Específicos

1. Ejemplificar los conocimientos del comportamiento del corazón.
2. Aplicar los conocimientos de aprendidos de LabView.
3. Recopilación adecuada de la señal cardiaca.

VI. Metodología

Se comenzó con la creación de dos componentes Express (Simulate ECG y Filter), junto con dos pantallas de despliegue de la señal ECG, una sin ser tratada y la otra ya tratada; todos los componentes fueron creados dentro de un Ciclo While.

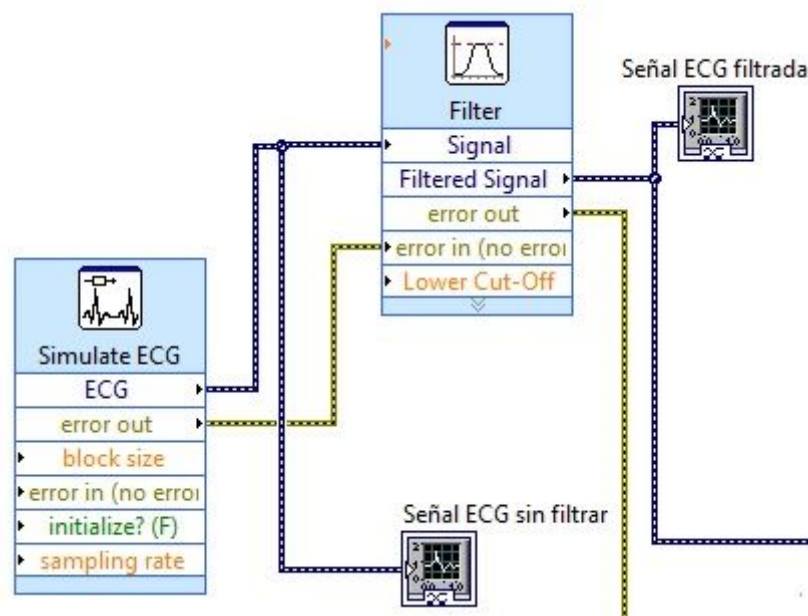


Figura 10. Simulación de la señal ECG y Diseño de Filtro Pasa Bandas.

Esto permite limpiar la señal generada mediante el NI Biomedical Toolkit, la cual tiene un ruido blanco de 0.06 mV y un ruido de 60 Hz. Se utilizó un filtro pasa banda de tipología elíptica de 4to. orden. Dicho filtro tiene una frecuencia de corte inferior de 0.01 Hz y frecuencia de corte superior de 50 Hz, se seleccionaron estos parámetros al considerarse las características de una señal ECG normal.

Una vez que la señal es manipulada por el filtro pasa banda, el ruido de la señal original es eliminado y se pueden distinguir con mayor precisión los componentes básicos de una señal ECG normal.

Para obtener una buena señal de ECG sin ruido y poder analizarla, se implementaron componentes de LabView como WA Detrend, el cual elimina la tendencia a partir de señales 1D, para ello se ajustan los coeficientes de aproximación a ceros.

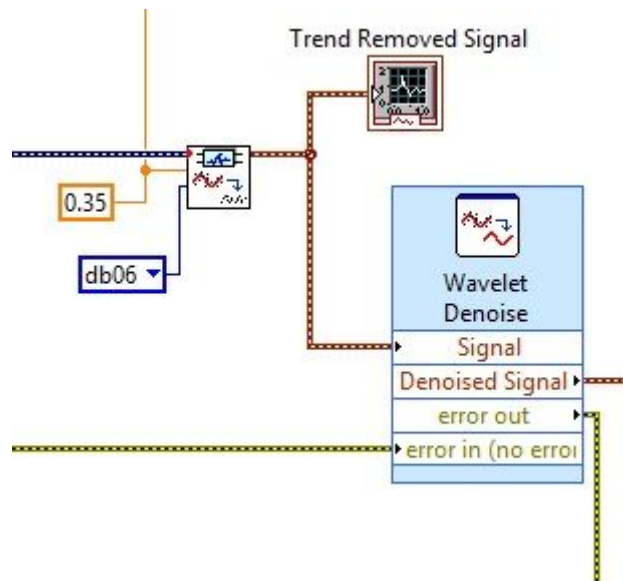


Figura 11. Wavelet Detrend y su configuración

El módulo WA Detrend tiene la opción para seleccionar el tipo de Wavelet utilizado para el análisis; cuyos datos tienen una duración de 10 segundos y 5000 puntos en el muestreo total; por lo que, de acuerdo a la siguiente fórmula donde T=tiempo y N= número de muestras, se obtiene que el nivel de tendencia es de 0.35.

$$Trend\ level = \frac{\log_2 2T}{\log_2 N}$$

Ya que se trata de una señal de ECG Wavelet discreta, se toma el mismo dato de tendencia. Así mismo se implementa el módulo Waveform Peak Detection, el cual encuentra los picos y valles de la señal, a éste se le agrega un Threshold para filtrar los picos que se desean observar.

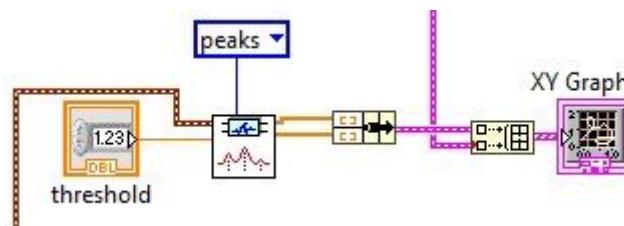


Figura 12. Waveform Peak Detection

El módulo Waveform Peak Detection se conecta a un Bundle (estructura que une dos o más lecturas en un solo paquete), seguido a un Build Array (construye un arreglo con las lecturas procesadas) hasta el despliegue de la información en una Waveform Graph, la cual nos mostrará gráficamente los picos de la señal.

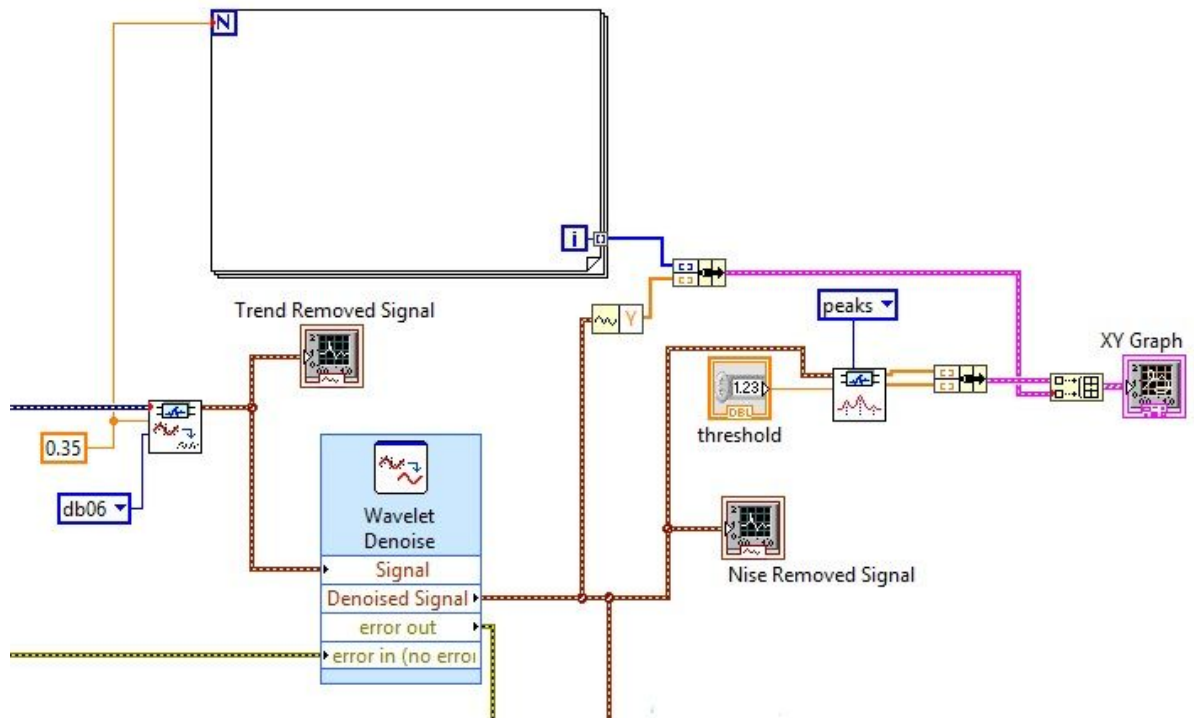


Figura 13. Integración de la Wavelet Detrend y la Waveform Peak Detection

Por último se implementó el módulo Amplitude and Level Measurements, el cual realiza las mediciones de tensiones de una señal y se conjunto todo lo anterior en un solo VI.

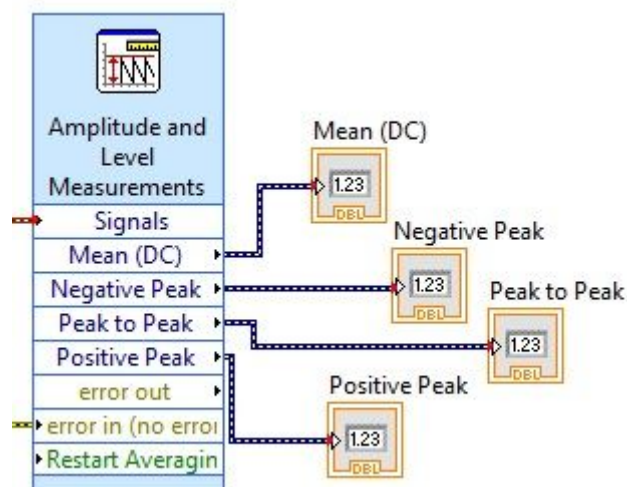


Figura 14. Módulo Amplitude and Level Measurements

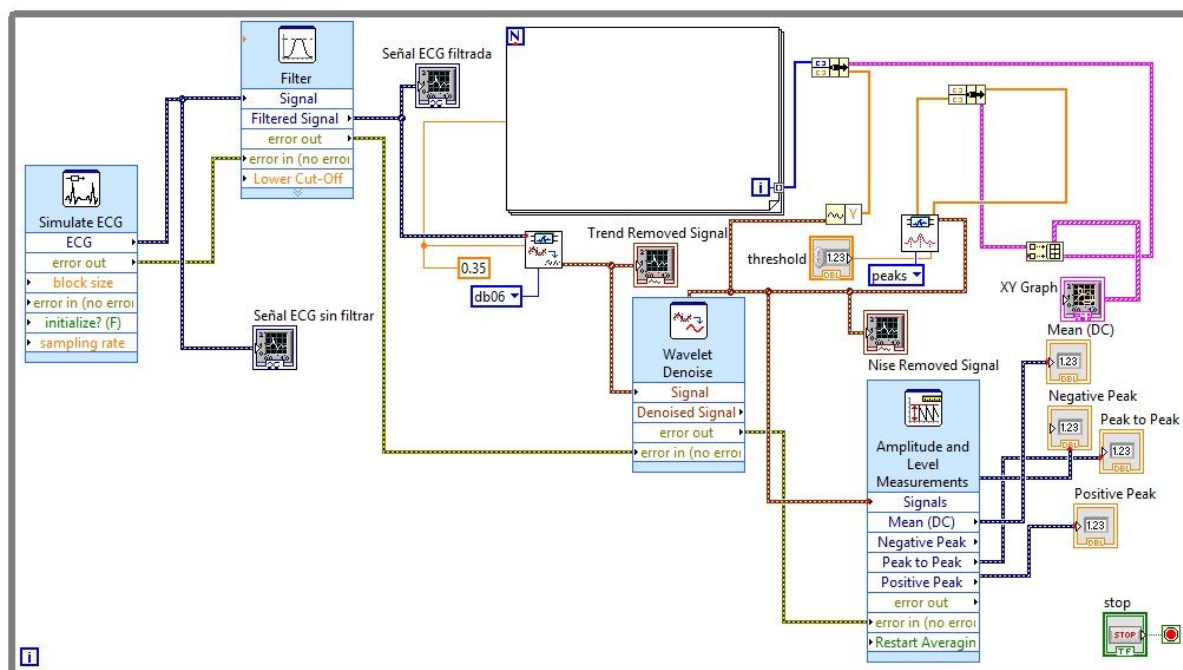


Figura 15. Implementación final del ECG virtual

VII. Resultados

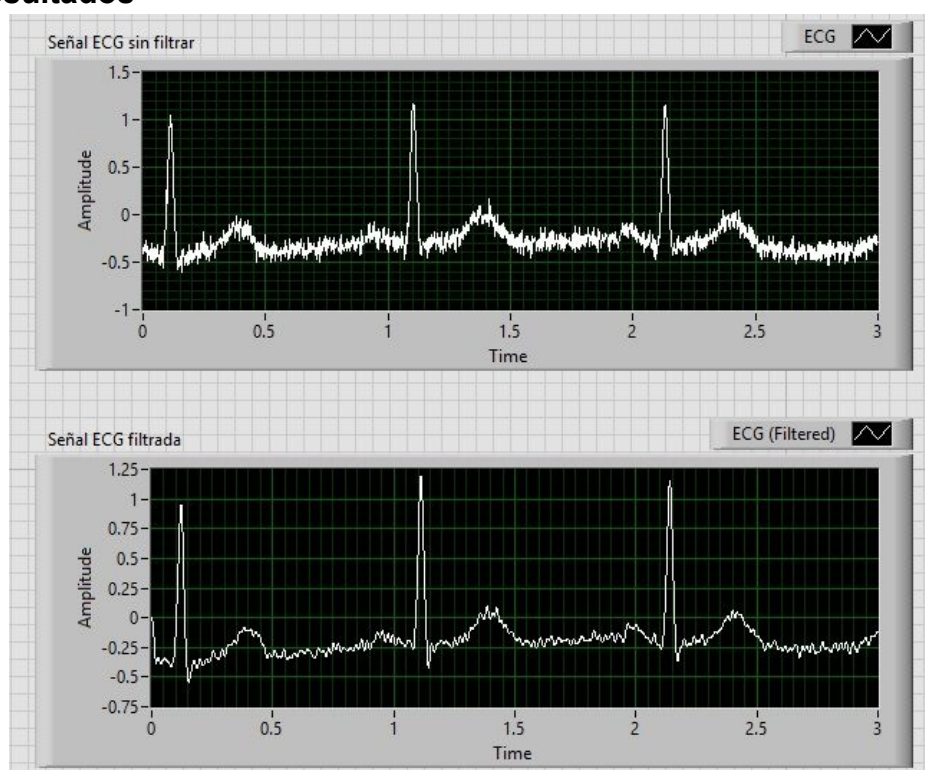


Figura 16. Señal ECG sin filtrar y señal ECG filtrada

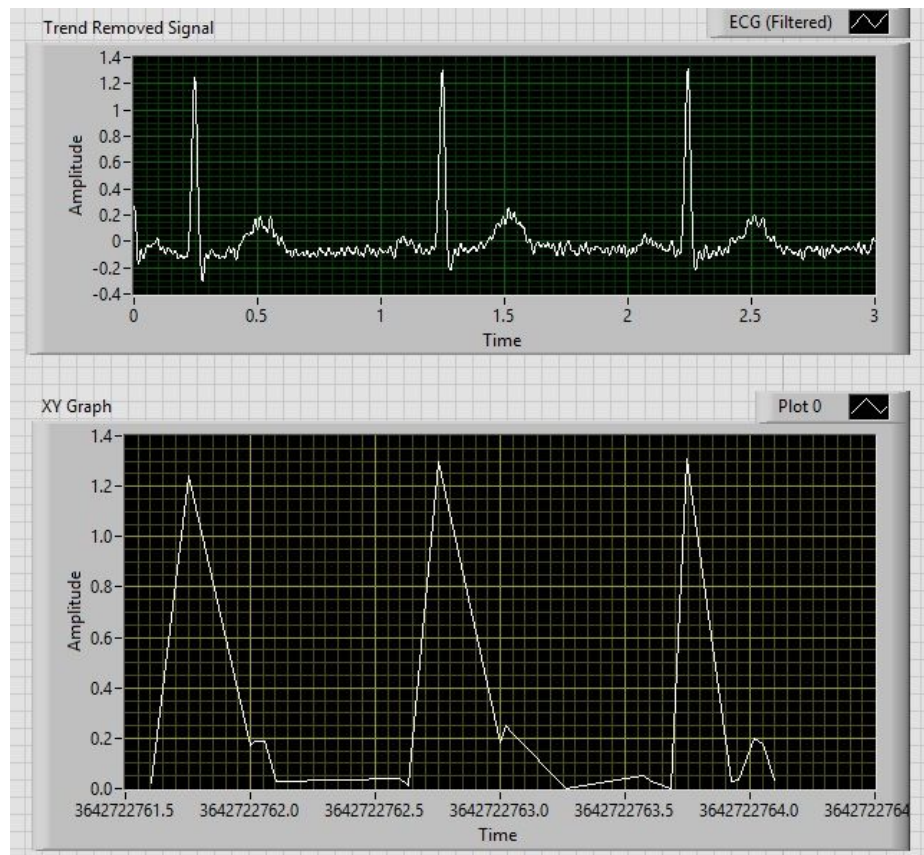


Figura 17. Señal de Tendencia Eliminada y Picos de la señal

VIII. Conclusiones

Con este proyecto final se pusieron a prueba todos los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera, combinando además con las habilidades de cada uno de los integrantes, gracias a esto se logró el desarrollo de un proyecto multidisciplinario. Pudimos reforzar nuestra capacidad de trabajar en equipo y bajo presión, entregando un proyecto funcional para futuros proyectos.

Durante el curso aprendimos una nueva manera de ver la programación y la instrumentación; al servicio de la salud y la obtención de señales del cuerpo humano, lo que es de vital importancia para la carrera de ingeniería biomédica.

En este proyecto se observó una notable mejora con la implementación de los filtros pasa alta y pasa baja, ello permitió reducir el ruido y un análisis más exacto de la señal. Al configurar el módulo WA Detrend con los parámetros correspondientes, se eliminó la tendencia a partir de señales 1D, ajustando los coeficientes de aproximación a ceros.

Utilizando el Wavelet Denoise se redujo el ruido en la señal, en tanto que, con el módulo Express Waveform Peak Detection se mostraron los picos característicos de una señal ECG, lo que permitió realizar un análisis detallado de la señal.

En la implementación de Express Amplitude and Level Measurements, se obtuvo una señal con picos positivos y negativos, además de la distancia de pico a pico; todo ello permite ofrecer al profesional médico mayor precisión de las lecturas obtenidas para brindar diagnósticos certeros.

Hemos llegado a la conclusión de que este proyecto nos demostró a cada uno de los miembros del equipo que somos capaces de desarrollar e interpretar una señal de cualquier un dispositivo médico funcional, siempre y cuando los parámetros sean adecuados para la señal que queremos obtener y que el procesamiento de bioseñales es de vital importancia para el ingeniero biomédico.

IX. Referencias

1. Programa de Acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial: pp. 15–20, http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/enf_cardiovasculares.pdf
2. Centeno, F.: Interpretación ECG Pediátrico. Unidad de Cardiología Pediátrica, Hospital Universitario Río Hortega, <http://www.aepap.org/apapcy/ECG.pdf>
3. Wells L.K: LabView Instructor's Guide. Englewood Cliffs (1995) .
4. Portillo, M.: Electrocardiografía: Técnica de interpretación básica. Cardiología Infantil, Hospital Del S.E.S de Mérida (2009) .
5. Park, M.: Electrocardiografía y Cardiología Pediátrica. Barcelona (2008).
6. Dubin, D.: Electrocardiografía Práctica. Madrid, Editorial Mc Graw-Hill Interamericana; 3º Edición (1986) .
7. Ward Ed., Walsh P. Capítulo 12, Electrocardiografía e introducción a las técnicas electrofisiológicas. 1ª Edición, Madrid, Editorial Mosby (1993).