

## Capítulo 1. Introducción.

Como sabemos, el cuerpo humano está constituido por células que forman tejidos, que a su vez forman órganos y que a su vez forman sistemas los cuales desempeñan un conjunto de funciones biológicas específicas esenciales para vivir. El corazón es uno de esos órganos y tiene asignada la función de “bombear” la sangre para que llegue a cada célula en nuestro cuerpo. Si existe alguna anomalía en el funcionamiento del corazón ésta debe detectarse, diagnosticarse y tratarse por personal médico. Para comprobar el estado de salud de un paciente la medicina moderna hace uso de herramientas tecnológicas; una de ellas es el *electrocardiógrafo*; el cual es un aparato que se utiliza para observar de manera gráfica las señales eléctricas que genera el corazón.

Existen diversos tipos de electrocardiógrafos que se pueden encontrar comúnmente en el mercado comercial, y su precio recae prácticamente en el número de *derivaciones*\* que sean capaces de graficar, y la manera en que las derivaciones sean mostradas (impresas en papel o desplegadas en alguna pantalla ya sea del propio aparato o de una computadora).

### Objetivo:

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un electrocardiógrafo de doce derivaciones que cuente con las siguientes características:

- Bajo costo (en comparación con electrocardiógrafos comerciales con funciones similares).
- Fácil uso para el personal médico y comodidad para el paciente.
- Selector de derivaciones por medio de un teclado, registrando la lectura de cada derivación ya sea por intervalos iguales de tiempo en tres modalidades (5, 10 y 20 segundos), o por intervalos individuales a voluntad del usuario no mayores a 1 minuto.
- Seguridad eléctrica para el paciente.
- Portabilidad.
- Conexión por medio de la tarjeta de sonido hacia una computadora portátil para el despliegue de trazos en la pantalla de la misma.
- Almacenado del estudio (electrocardiograma) en disco duro.

---

\* “Cada conjunto de localizaciones de electrodos a partir del cual se mide el electrocardiograma se denomina derivación”, (Cromwell, Leslie, et. al., 1980, *Instrumentación y medidas biomédicas*, p.88).

Durante el desarrollo de los capítulos se describe el diseño e implementación del electrocardiógrafo, el cual se hizo por bloques o etapas (**Figura 1.1**).

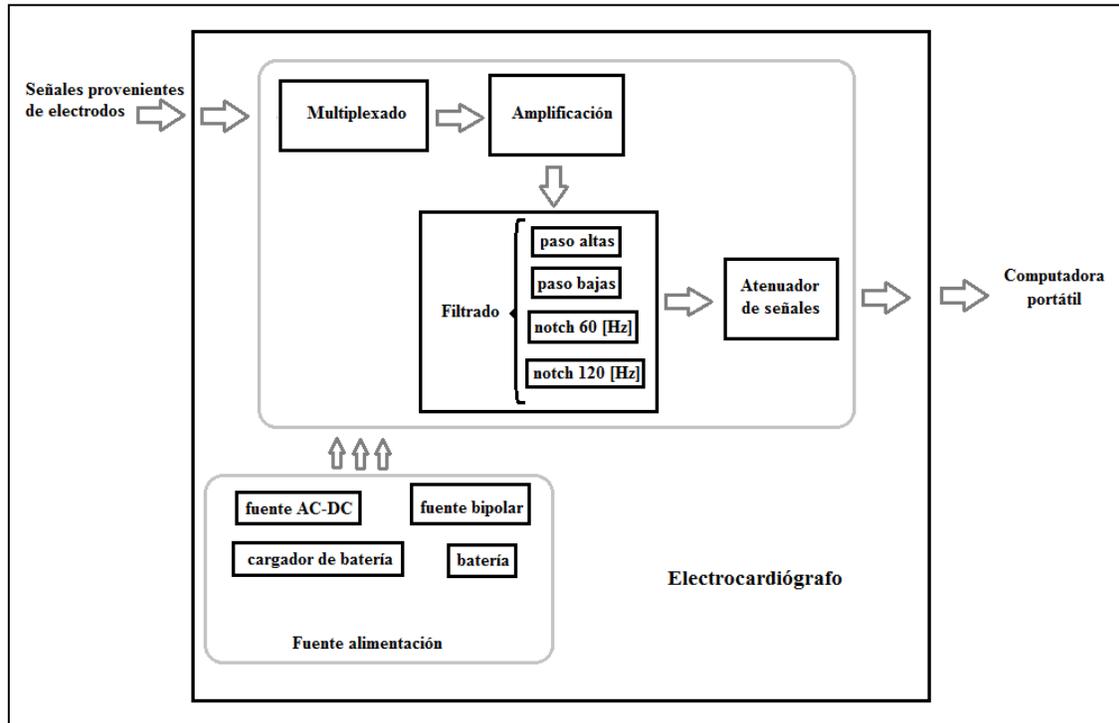


Figura 1.1 Diagrama a bloques del electrocardiógrafo implementado.

Dependiendo la etapa que se trate se incluyen los diagramas eléctricos y los circuitos impresos de cada una de las tarjetas electrónicas construidas, y/o el código fuente de los programas realizados.

En los capítulos finales se muestran los resultados obtenidos presentando el electrocardiógrafo implementado y un electrocardiograma de doce derivaciones registrado por dicho instrumento. Asimismo se asientan las conclusiones del trabajo realizado y se incluye la bibliografía consultada.

Se tiene además una sección llamada *Anexos* donde se encuentra una tabla del costo total aproximado del electrocardiógrafo, un breve manual de uso del instrumento, el diagrama eléctrico total de las tarjetas electrónicas que lo conforman, y los “patigramas” de los chips utilizados en el proyecto.

Una nota aclaratoria que quiero exponer antes de continuar es que en ciertas ocasiones se hará un uso indistinto entre las palabras *resistor* y *resistencia*, así como de *capacitor* y *capacitancia* (el motivo de esto y esperando no causar conflicto alguno fue emplear el “lenguaje de la vida cotidiana” que se usa en ingeniería electrónica), pero se debe estar consciente que una magnitud física y el dispositivo relacionado a ella no son lo mismo.

## 1.1 Funcionamiento del corazón.

Como hemos escuchado alguna vez, nuestro corazón es una especie de bomba que impulsa la sangre a través del cuerpo. Cuenta con cuatro cámaras formadas por tejido muscular cardíaco; dos aurículas (izquierda y derecha) y dos ventrículos (izquierdo y derecho), los cuales se muestran en la siguiente figura:

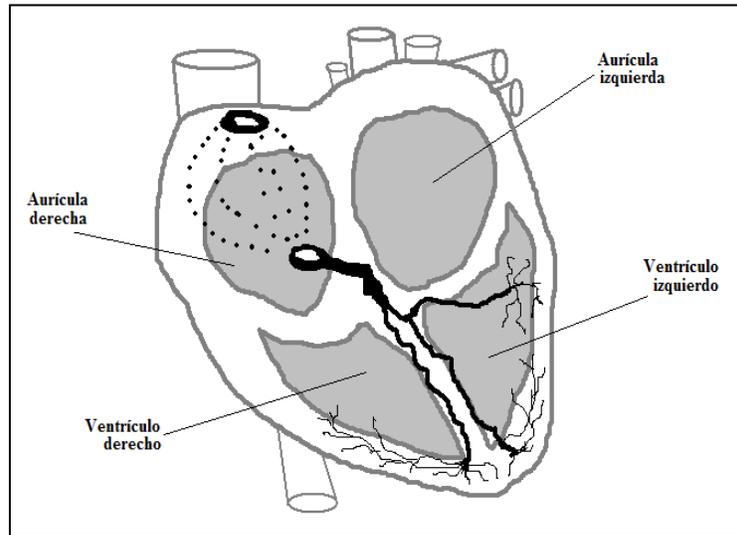


Figura 1.2 Aurículas y ventrículos del corazón humano.

La sangre entra hacia las aurículas y después pasa a los ventrículos, éstos últimos la expulsan hacia el cuerpo, lo anterior ocurre gracias a estímulos eléctricos producidos por un sistema llamado *sistema específico de conducción*, las partes que lo conforman se observan a continuación:

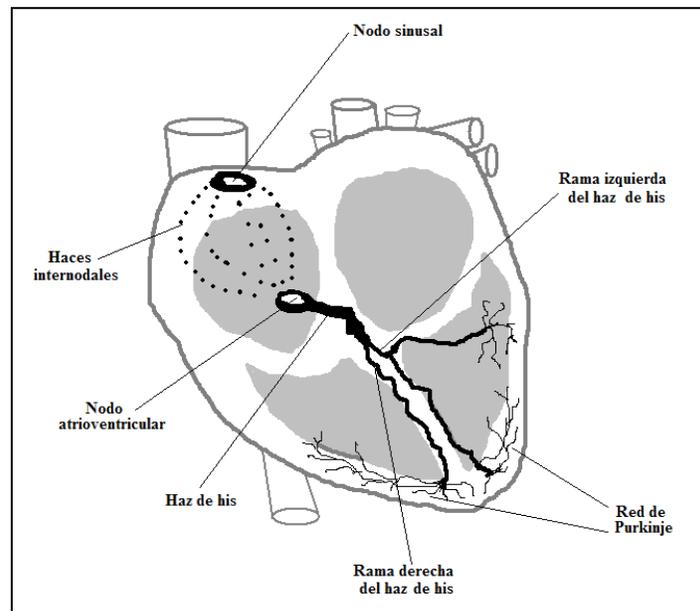


Figura 1.3 Sistema específico de conducción del corazón humano.

Cada estímulo eléctrico contrae el tejido muscular más próximo, tal estímulo se genera en el *nodo sinusal* (también llamado *nodo de Keith y Flack*), recorre los *haces internodales* para llegar al *nodo atrioventricular* que está conectado al *haz de his* y continúa transmitiéndose hacia sus dos ramas, finalmente termina en unas fibras llamadas *red de purkinje*. Lo anterior se repite una y otra vez a una razón promedio de sesenta a cien veces en cada minuto y hace que el corazón esté en constante funcionamiento bombeando sangre en el cuerpo humano.

## 1.2 Fundamentos de electrocardiografía.

Etimológicamente la palabra electrocardiografía sugiere tres términos griegos *Elektron* que significa “ámbar” (los primeros fenómenos eléctricos observados en la antigüedad estaban relacionados con el frotamiento de un trozo de ámbar y diversos materiales, por ejemplo piel de animales), *Kardia* que significa “corazón”, y *Grafos* que significa “dibujo, trazo”; es decir, la electrocardiografía se refiere al trazado de la actividad eléctrica del corazón.

### 1.2.1 Historia de la electrocardiografía.

El nacimiento y desarrollo de la electrocardiografía como es de esperarse fue resultado de la conjugación de cuestionamientos, experimentos, investigaciones, descubrimientos, inventos, etc., de muchas personas a lo largo de la historia. De manera representativa las aportaciones hechas a lo que hoy se conoce como electrocardiografía (y en general a disciplinas relacionadas con medición de señales bioeléctricas) se puede decir que inician en el siglo XVII con los trabajos realizados en animales (principalmente ranas) por el médico Luigi Galvani, quien descubre lo que él mismo llamó “electricidad animal”. La forma de demostrar esta electricidad presente en los animales fue poner el contacto el nervio ciático de una pata de rana con la diferencia de potencial eléctrico creada por tejido muscular dañado e intacto del mismo animal; el tejido dañado presenta carga predominantemente negativa y el tejido intacto carga eléctrica predominantemente positiva, el resultado fue la presencia de contracciones en la pata del animal. (Mompín Poblet, José, 1988).

Posteriormente los fisiólogos Rudolph Kölliker y Heinrich Müller presentan en 1856 un experimento similar al de Galvani donde también se apreciaban contracciones musculares en la pata de una rana pero esta vez el nervio ciático estaba en contacto con el corazón latiente de otra rana y se podía registrar este movimiento porque la pata estaba acoplada mecánicamente a una plumilla que marcaba un cilindro rotatorio. En este experimento se demostraba que la pata presentaba una contracción justo después de una *sístole* cardiaca.

En 1882 el físico Gabriel Lippman inventa el electrómetro capilar que servía para visualizar mediante un aparato físico (en vez de la pata de una rana) que efectivamente existían estímulos eléctricos producidos en los tejidos vivos. El aparato consistía en un muy delgado tubo de vidrio conteniendo mercurio y que estaba sumergido en otro tubo con ácido sulfúrico, al aplicar una diferencia de potencial entre

los fluidos (como la producida por el corazón de un animal), se generaba un apenas apreciable movimiento en el menisco entre el mercurio y el ácido sulfúrico.

En 1887 el fisiólogo Augustus Desiré Waller utiliza el electrómetro capilar de Lippman con ciertas modificaciones para realizar trazos en papel fotográfico de la actividad eléctrica presente en el tórax y extremidades de un ser humano (se realiza el primer electrocardiograma humano).

El registro cardíaco hecho por Waller no tenía una respuesta adecuada debido a la inercia mecánica de los componentes del instrumento por lo que en 1903 el fisiólogo-médico Wilhem Einthoven mejora esa rapidez de respuesta adaptando un aparato de la época conocido como galvanómetro de cuerda usado en telégrafos. El galvanómetro de Einthoven se considera el primer electrocardiógrafo (por lo cual gana un premio nobel en 1924) y consistía en una tira de hilo delgado de cuarzo recubierto de plata u oro que se hacía pasar por un intenso campo magnético, cuando los extremos de la tira se conectaban a las extremidades de una persona mediante baldes con fluidos salinos se registraba un movimiento en la cuerda (porque en ella se generaba un campo magnético variable y dependiente de la diferencia de potencial obtenida de la persona conectada).

Aproximadamente a partir de la década de 1930, los electrocardiógrafos empleaban tubos de vacío para amplificar electrónicamente las señales captadas y tenían una plumilla térmica para la impresión del registro en papel. Posteriormente, el desarrollo de dispositivos semiconductores en el campo de la electrónica permitió su uso en los electrocardiógrafos para llevar a cabo la amplificación de señales cardíacas y los trazos se comenzaron a hacer con plumillas de inyección de tinta (sin descontinuarse las plumillas térmicas); este tipo de electrocardiógrafos siguen vigentes hasta nuestros días.

Actualmente las principales variaciones que podemos encontrar en los electrocardiógrafos son la manera de presentar los trazos: en papel, en una pantalla LCD gráfica incluida en el propio aparato, o en la pantalla de una computadora; y el número de derivaciones que son capaces de manejar.

### 1.2.2 El electrocardiograma.

El electrocardiograma (ECG) como hasta ahora bien se puede imaginar el lector, es un registro de la actividad eléctrica del corazón. El ECG estándar más completo cuenta con doce gráficas que se obtienen dependiendo de la posición de los electrodos en la piel del paciente; es decir, dependiendo de la configuración de las derivaciones. Entonces debido a la estrecha relación entre ellas, la mayoría de las veces se llama indistintamente “derivaciones” a las gráficas realizadas.

Las doce derivaciones desplegadas en un electrocardiograma estándar son: DI, DII, DIII, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5 V6. Las primeras tres son denominadas “derivaciones bipolares” y fueron propuestas por Wilhem Einthoven; se obtienen a partir de registrar la diferencia de potencial en tres extremidades: pierna izquierda, brazo derecho y brazo izquierdo, tomando lectura solamente en dos electrodos a la vez (**Figura 1.4**).

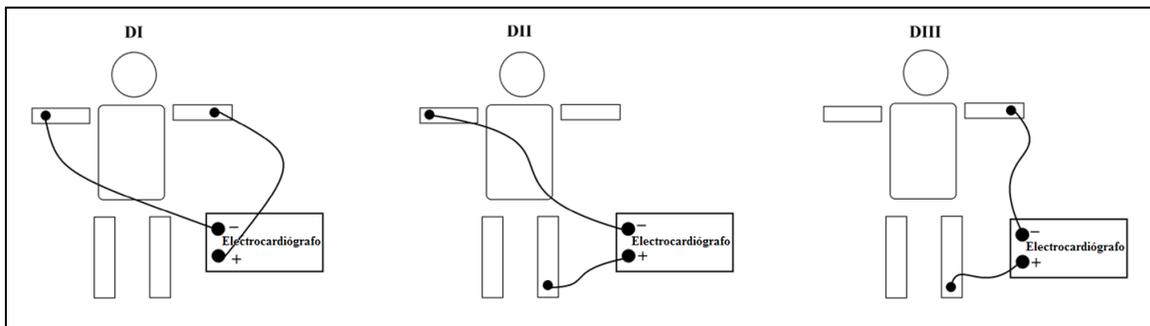


Figura 1.4 Derivaciones DI, DII y DIII.

Las siguientes tres derivaciones mencionadas se llaman “derivaciones unipolares aumentadas” aportadas inicialmente por Frank Wilson quien sugirió realizar el registro entre un nodo común (conocido como “Terminal central de Wilson” ó “TCW”, resultado de conectar las tres extremidades mediante resistencias en configuración de estrella) y alguna de las extremidades. Posteriormente Emanuele Goldberger propuso desconectar el electrodo que se repitiera (de manera global) en la terminal central de Wilson, obteniendo así un trazo aumentado de las derivaciones unipolares (**Figura 1.5**).

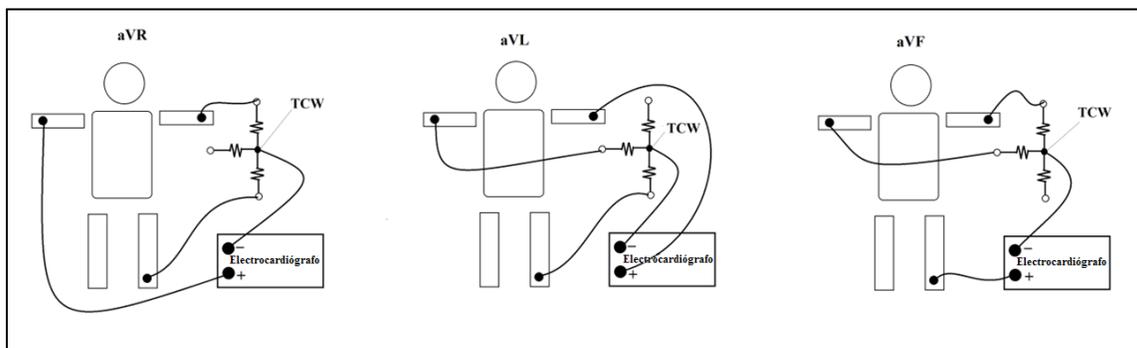


Figura 1.5 Derivaciones aVR, aVL y aVF.

Finalmente las últimas seis derivaciones llamadas “derivaciones precordiales” se obtienen midiendo la diferencia de potencial entre la *terminal central de Wilson* (con las tres extremidades conectadas) y distintos puntos secuenciados en la zona del pecho (**Figura 1.6**).

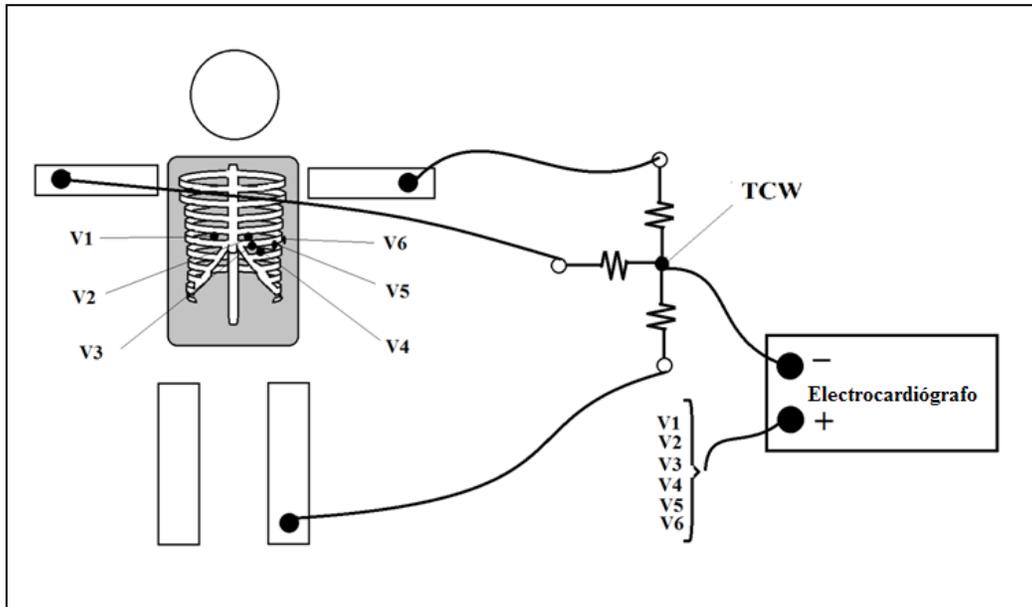


Figura 1.6 Derivaciones V1, V2, V3, V4, V5, y V6.

El trazado de cada gráfica depende entonces de la conexión de los electrodos y por supuesto de los estímulos eléctricos que genera el corazón. En ausencia de un estímulo el tejido cardíaco se encuentra relajado y sus células tienen carga negativa, se dice entonces que está polarizado. Ahora bien, en presencia de un estímulo el tejido se contrae y sus células adquieren carga positiva produciendo lo que se llama despolarización. En una gráfica de electrocardiograma si el trazo que se registra es hacia arriba de la línea isoelectrica entonces corresponde a una despolarización y si es hacia abajo corresponde a una polarización (**Figura 1.7**).

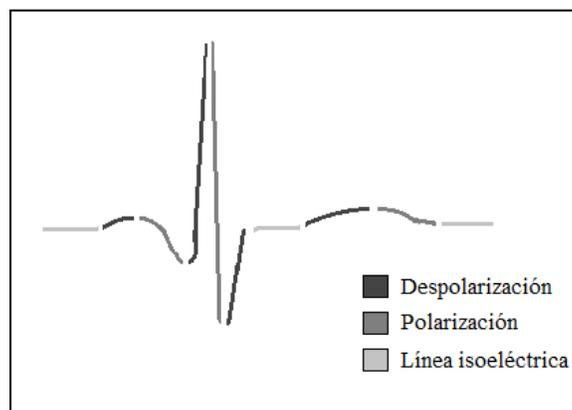


Figura 1.7 Despolarización y polarización del tejido cardíaco en el trazo de un ECG.

Las ondas que conforman el trazo se llaman *P*, *Q*, *R*, *S* y *T*, y se esquematizan en la siguiente figura:

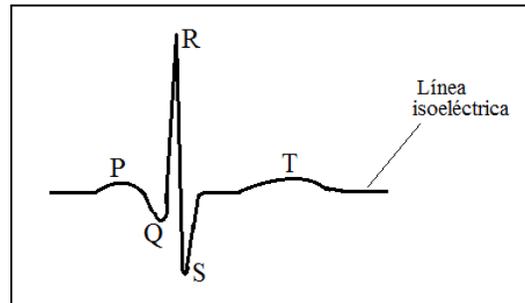


Figura 1.8 Nombres de las ondas en una gráfica de ECG.

Por último es importante saber que para analizar un ECG los médicos se basan en parámetros tales como la frecuencia, amplitud y forma de las ondas trazadas para emitir un diagnóstico; para esto se dispone de un cuadrículado en cada gráfica (comúnmente papel milimétrico para los electrocardiógrafos que usan plumilla y tinta). La convención para el trazado de las señales más usada es que cada centímetro vertical corresponda a 1 [mV] de amplitud registrada y cada 2.5 [cm] horizontales correspondan a 1 [s].

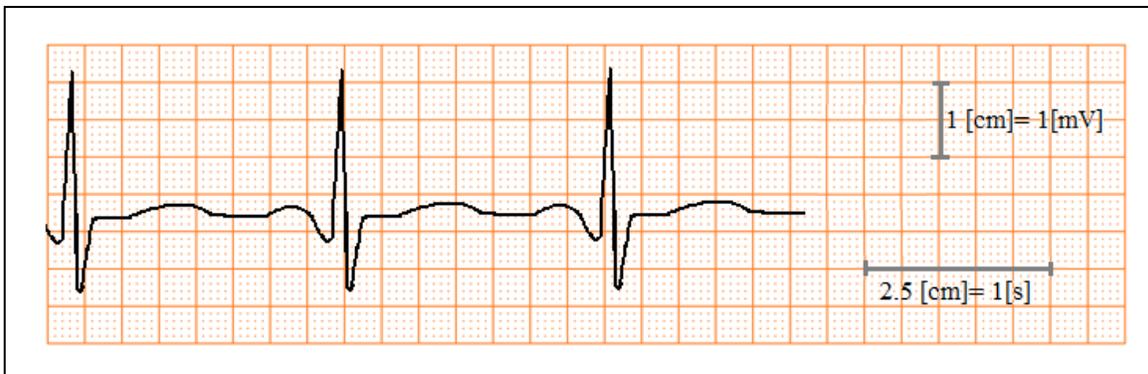


Figura 1.9 Equivalencias en centímetros de amplitud y tiempo en un ECG.