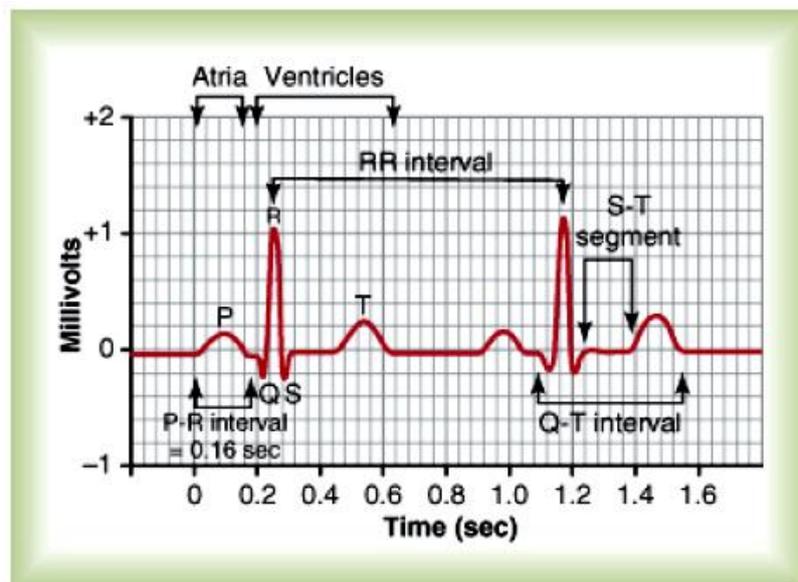


# Tema 21

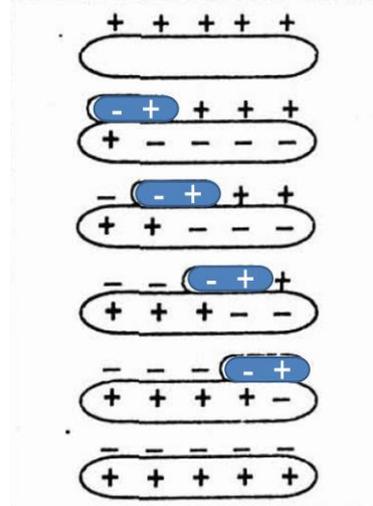
## Bases fisiológicas de la electrocardiografía



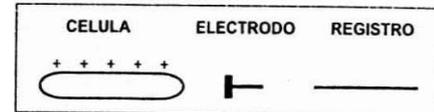
**Ernesto Tovar**

## 1. Introducción.

El electrocardiograma (ECG) es el registro gráfico, en función del tiempo, de las variaciones de potencial eléctrico generadas por el conjunto de células cardíacas y recogidas en la superficie corporal. Las variaciones de potencial eléctrico durante el ciclo cardíaco producen las ondas características del ECG. La formación del impulso y su conducción generan corrientes eléctricas débiles que se diseminan por todo el cuerpo. En otras palabras, registramos mediante electrodos situados en la piel, las modificaciones del potencial eléctrico generado por el conjunto de células cardíacas auriculares y ventriculares a lo largo de su ciclo. Para las imágenes: en los potenciales de acción, la propagación del dipolo a lo largo de la célula es susceptible de ser registrada mediante un electrodo. La corriente hacia una derivación produce una desviación ascendente (positiva). Si se aleja de la derivación produce una desviación descendente (negativa).

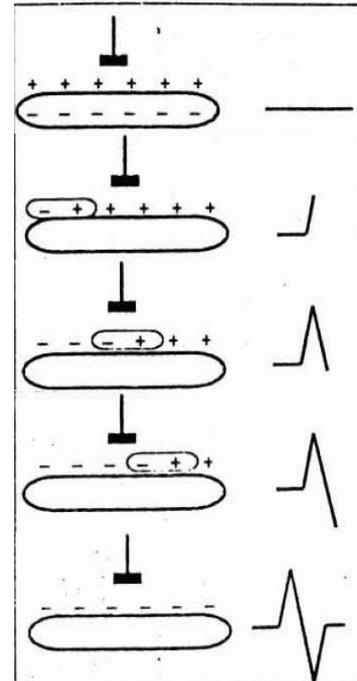


El aparato de ECG está formado por unos cables o electrodos y un aparato de registro. Los electrodos se colocan en la piel del paciente, en localizaciones predeterminadas de manera

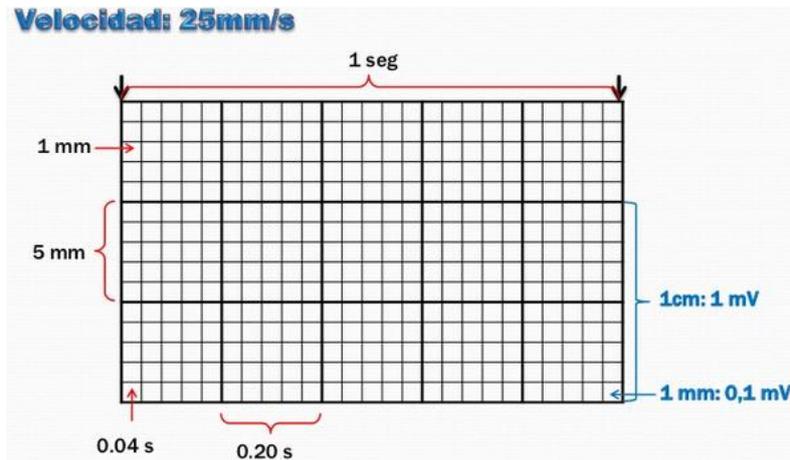


universal, de modo que nos permite obtener registros comparables entre sí. Con los cables correctamente colocados podemos obtener 12 derivaciones, de modo que cada derivación es como si fuese una ventana desde la que nos asomamos y obtenemos una vista parcial de un objeto, cada vista nos aporta algo diferente que no aportan las demás, pero a su vez, teniendo en cuenta todas las vistas, obtendremos una idea completa del objeto.

El registro electrocardiográfico se realiza sobre un papel cuyo sistema de referencia es la cuadrícula milimetrada, formado por cuadrados de 1 mm de lado, con línea de doble grosor cada 5 cuadrados (5 mm). Es posible calibrar el electrocardiógrafo tanto en lo que respecta al voltaje (o amplitud) como a la velocidad de registro.



Hay unos parámetros estándar que son los que debemos utilizar para poder comparar registros y que salen por defecto. El registro del ECG estándar se realiza en papel milimetrado a una velocidad de **25 mm/seg** (así **25 mm = 1 seg**; **5 mm = 0,2 seg**; y **1 mm = 0,04 seg**); y calibrado de forma que **10mm = 1 mV** (por cada 10 mm que asciende la onda, se considera que el potencial detectado varía en 1 mV)



Al colocar electrodos en diferentes sitios y conectarlos a un instrumento de registro como el electrocardiógrafo se obtiene el trazado característico. El ECG permite:

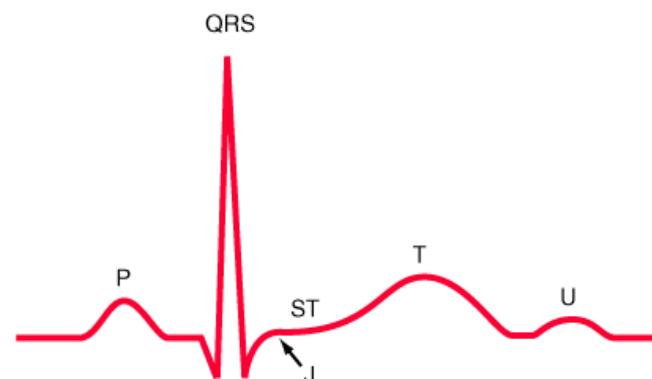
- Observar la función eléctrica del corazón y su orientación
- Confirmar el tamaño relativo de las cámaras cardíacas.
- **Ver trastornos del ritmo y la conducción.**
- Comprobar la existencia y evolución de isquemias (células isquémicas tienen procesos anormales de polarización y despolarización).
- Alteración electrolitos (producen trastornos cardíacos severos).

Y no permite nada más, aunque mediante su uso es posible confirmar otros diagnósticos.

## 2. Ondas e intervalos.

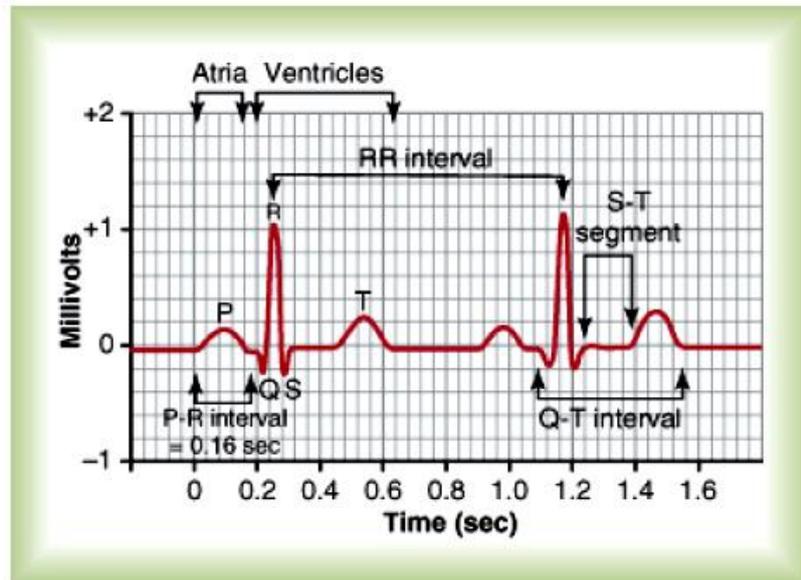
El electrocardiograma muestra en el papel una serie de ondas que se corresponden con cambios en el potencial de membrana de las células cardíacas. Estas ondas son:

- **Onda P:** Deflexión lenta producida por la despolarización auricular.
- **Onda Q:** La deflexión negativa inicial resultante de la despolarización ventricular, que precede una onda R.
- **Onda R:** La primera deflexión positiva durante la despolarización ventricular.
- **Onda S:** La segunda deflexión negativa durante la despolarización ventricular. El colocar una apóstrofe (´) indica que es la segunda deflexión en ese sentido.
- **Onda T:** Deflexión lenta producida por la repolarización ventricular. Cambios en esta onda pueden mostrar problemas en la repolarización del miocardio.
- **Onda U:** Deflexión (generalmente positiva) que sigue a la onda T y precede la onda P siguiente y representa la repolarización de los músculos papilares.



La repolarización auricular no se observa en el ECG porque ocurre al mismo tiempo que el complejo QRS. De estas ondas, se pueden extraer unos intervalos que analizan el ECG. Los intervalos son:

- **R-R:** Distancia entre dos ondas R sucesivas. Es un ciclo cardíaco completo.
- **P-P:** Distancia entre dos ondas P sucesivas; si el ritmo es regular debe, medir lo mismo que el intervalo R-R.
- **P-R:** Distancia entre el inicio de la onda P y el inicio del QRS. Mide la despolarización auricular y el retraso A-V. Valor normal: 120-200 mseg. Muestra los procesos auriculares. También muestra problemas en la conducción del nodo AV.
- **Complejo QRS:** Es el tiempo total de la despolarización ventricular, desde el inicio de la onda Q hasta el final de la onda S. Valor normal: 80-100 mseg. En él se aprecian problemas de bloqueo de conducción a nivel del Haz de Hiss.
- **Q-T:** Distancia desde el inicio de la onda Q hasta el final de la onda T. Mide la actividad eléctrica ventricular. El QT varía con la frecuencia cardíaca y por eso debe ser corregido. Su valor normal oscila entre: 350-440 mseg. Describe los procesos ventriculares.
- **Punto J:** Punto en el cual la onda S finaliza y empieza el segmento ST.

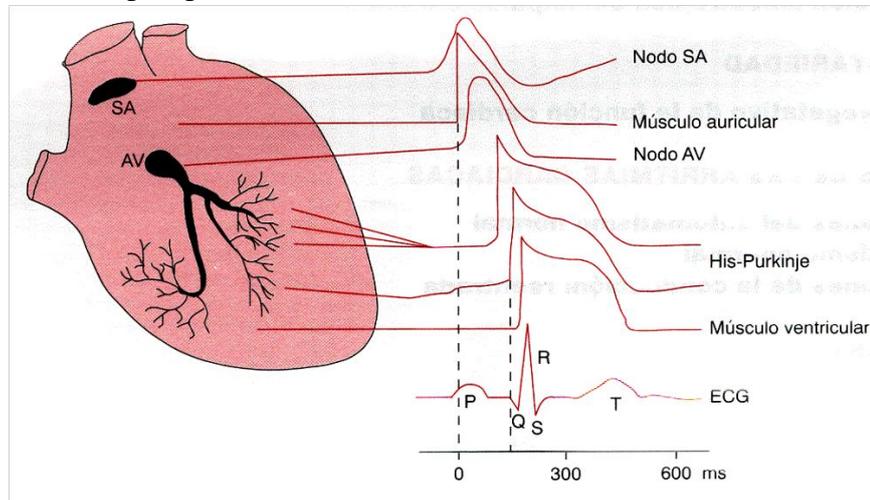


También se tienen en cuantos dos segmentos importantes:

- **PR:** Distancia entre el final de la onda P e inicio del QRS.
- **ST:** Distancia desde el punto J hasta el inicio de la onda T. En el se aprecian los problemas isquémicos.

Si interpretamos el ECG, se ve que :

- ✓ El potencial de acción en el nodo sinoauricular (musculo auricular) es menos potente y pero más largo (corresponde a la onda P, que es menos amplia y dura más) y el potencial de acción en el nodo auriculoventricular (musculo ventricular) es más potente pero dura menos (el complejo QRS es mas amplio pero menos duradero).
- ✓ **La fase 0** de despolarización del potencial de acción auricular corresponde a la onda P y la del musculo ventricular al complejo QRS.
- ✓ El intervalo PR corresponde a la velocidad de conducción a través del nodo AV.
- ✓ El complejo QRS corresponde a la velocidad de conducción intraventricular.
- ✓ El intervalo QT equivale a la duración del potencial de acción ventricular.



En la imagen se ve el proceso de conducción del impulso nervioso, las regiones que recorre, la onda a la que se asocian las regiones y el tiempo en el que se dan.

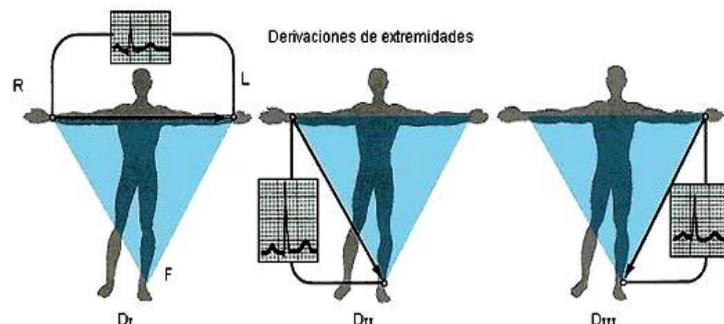
### 3. Derivaciones.

Una derivación es la diferencia de potencial que se detecta entre dos electrodos. En el ECG hay derivaciones del plano frontal y del plano horizontal. En el plano horizontal se detectan las derivaciones **precordiales, uni/monopolares torácicas o de Wilson** (V1-V6) y en el plano frontal las derivaciones **bipolares de las extremidades o de Einthoven** (DI-DIII) y las derivaciones **uni/monopolares amplificadas de las extremidades o de Goldberger** (aVR, aVL y aVF). Como se ve, hay un conjunto de doce derivaciones. Con cada conjunto de derivaciones se forman ejes eléctricos, y habrá dos ejes, un eje frontal y un eje horizontal.

#### 3.1 Plano frontal/coronal.

Las derivaciones del plano frontal son las de Einthoven y las de Goldberger. Si comenzamos por las derivaciones de Einthoven, se puede decir que son bipolares (detectan variaciones entre dos electrodos, que son los polos de la derivación) y que son tres. Los electrodos se sitúan en el brazo derecho, en el brazo izquierdo y en la pierna izquierda. Se añade un electrodo a la pierna derecha que actúa como toma de tierra para evitar interferencias. Las derivaciones que se pueden obtener son estas:

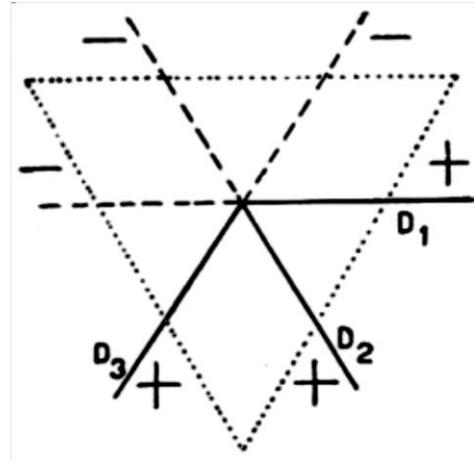
- **DI** = Brazo derecho (-) brazo izquierdo (+)
- **DII** = Brazo derecho (-) pierna izquierda (+)
- **DIII** = Brazo izquierdo(-) pierna izquierda (+)



Estas tres derivaciones arrojan un triángulo que se conoce con el nombre de **triángulo de Einthoven**. Se puede formar con él un sistema triaxial en el que se cumple una regla, **la ley de Einthoven o Kirchoff**, que dice que “en cualquier momento específico, la suma de los potenciales eléctricos registrados en las derivaciones DI y DIII equivale al potencial eléctrico registrado en la derivación DII”. Las conexiones se colocan de forma que cuando el potencial VLA (voltaje brazo izquierdo) supera al de VRA (brazo derecho), el trazado se desplaza hacia arriba respecto de la línea isoelectrónica. Esta disposición de las conexiones para la derivación 1 se marca como positivo en LA (brazo izquierdo) y negativo en RA (brazo derecho). La derivación 2 recoge la diferencia de potencial entre RA y LL (pierna izquierda), y el trazado se desplaza hacia arriba cuando el valor VLL supera a VRA. Por último la derivación 3 registra la diferencia de potencial entre LA y LL y el trazado se desplaza hacia arriba cuando VLL supera a VLA. Estas conexiones se eligieron de forma arbitraria, de forma que los complejos QRS sean ascendentes en las tres derivaciones de miembro convencionales en la mayoría de los individuos normales. Esta explicación coñazo sirve para entender la foto de abajo en la que se ve como las derivaciones sirven para ver en qué punto del corazón se encuentra la señal cardiaca en cada momento y la onda que se produce en el ECG en función del eje eléctrico.

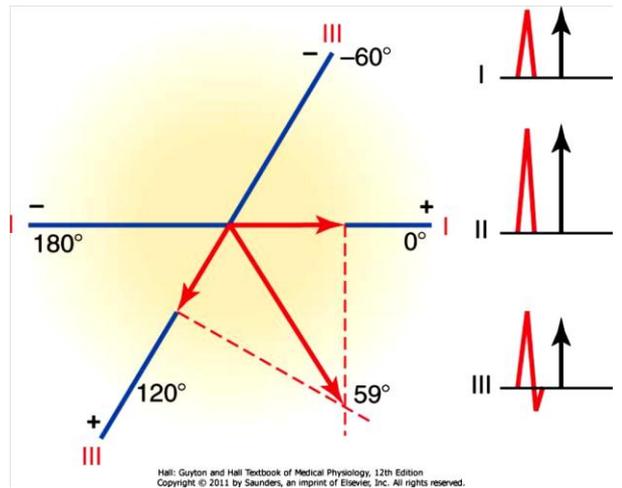
$$D1 + D2 + D3 = 0$$

$$D2 = D1 + D3$$

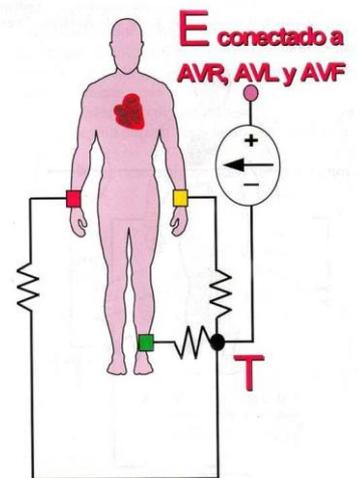
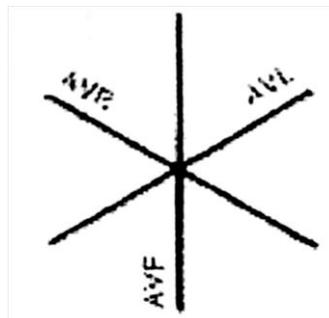


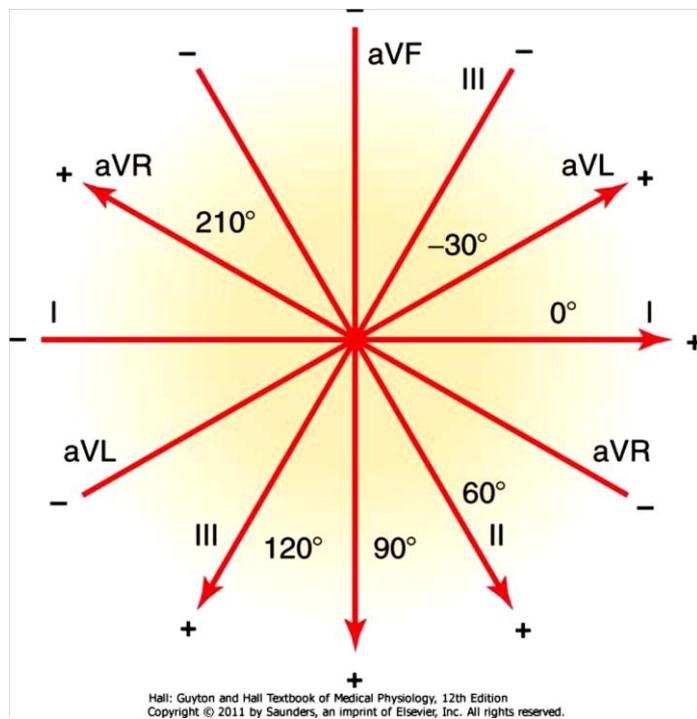
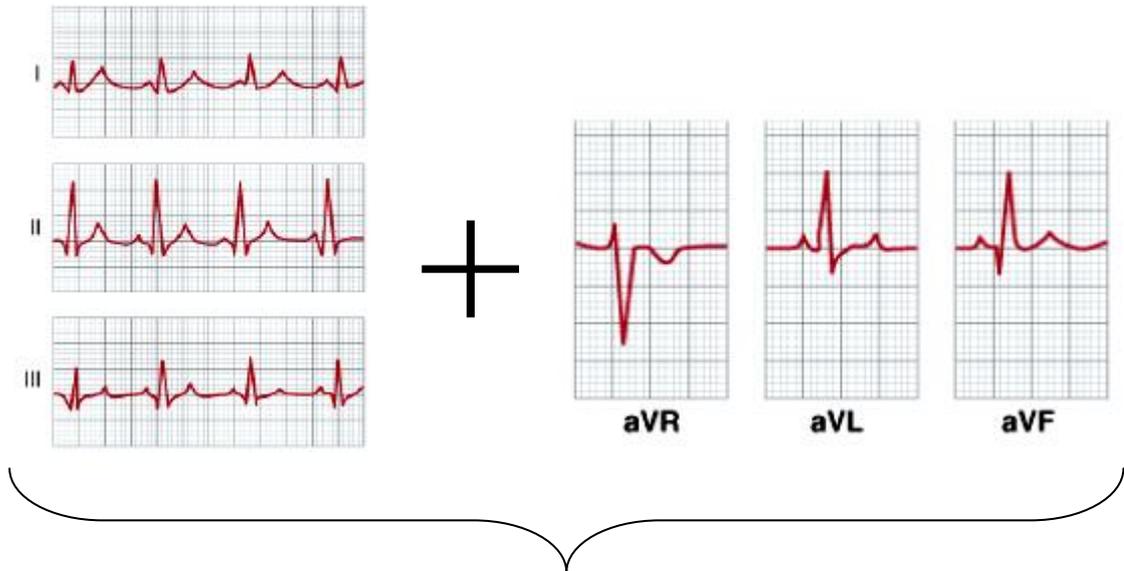
Las derivaciones monopolares de Golderberg detectan variaciones en el potencial en un único punto del cuerpo, en el corazón (el corazón actúa como polo negativo y los electrodos siempre como polo positivo). También se incluye un electrodo en la pierna derecha a modo de toma de tierra. Las derivaciones de Golderberg son tres:

- **aVR**: Detecta la variación desde el brazo derecho.
  - **aVL**: Detecta la variación desde el brazo izquierdo.
  - **aVF**: Detectan la variación desde la pierna izquierda.
- La a minúscula significa ampliado



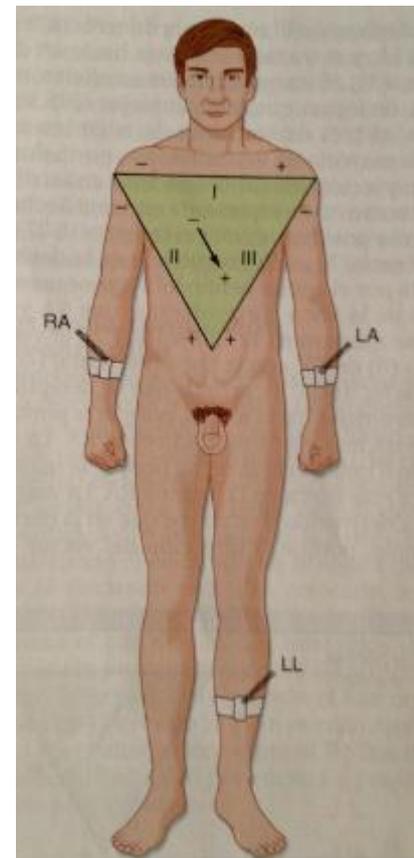
Estas tres derivaciones también arrojan un sistema triaxial. Este sistema y el sistema triaxial de las derivaciones de Einthoven se combinan para formar el eje eléctrico frontal, que presenta una derivación cada 30°.





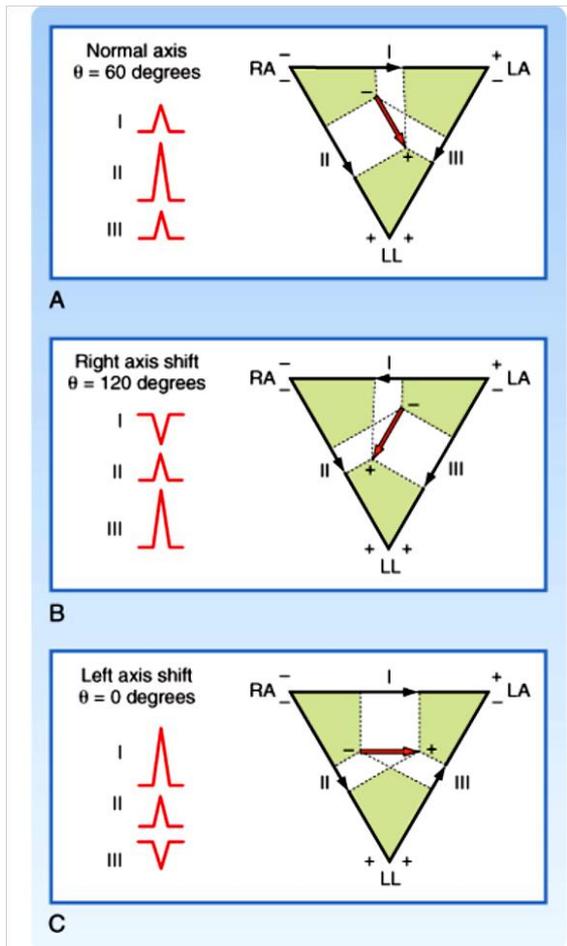
Este eje hemiaxial conforma las seis derivaciones del plano frontal. El eje eléctrico normal del corazón se encuentra entre  $105^\circ$  y  $-30^\circ$ . Un muestreo de voltajes que se encuentren en otros grados mostrará algún malfuncionamiento cardíaco, como una hipertrofia.

Si la proyección frontal del vector cardíaco resultante en algún momento se representa con una flecha (cola negativa, punta positiva), como en la figura, la diferencia de potencial VLA-VRA registrada en la derivación I se representa por el componente del vector que se proyecta a lo largo de la línea horizontal que une RA y LA y que también se muestra en la figura.

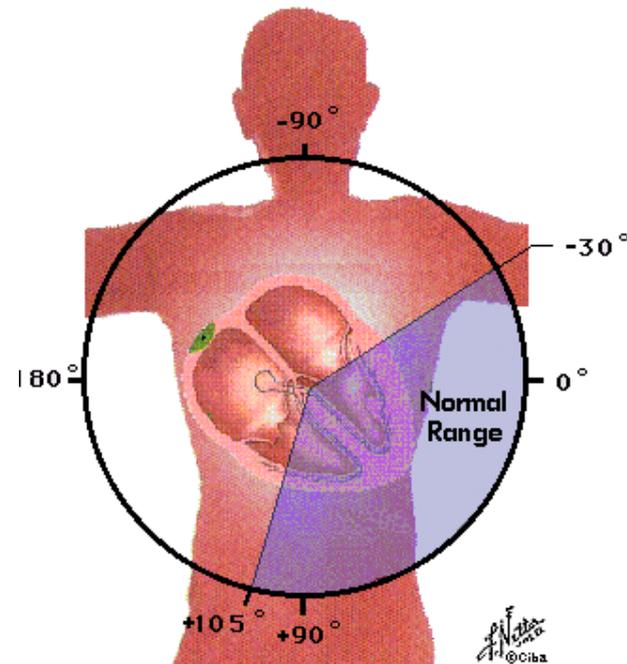


Si el vector forma un ángulo de  $60^\circ$  con la línea horizontal (fig. A), la onda que se detecta en la derivación 1 se dirigirá hacia arriba porque la punta de flecha positiva está más cerca de LL que de RA. La onda de la derivación 2 también será recta porque la punta de flecha se localiza más cerca de LL que de RA. La magnitud de la onda de la derivación 2 es mayor que en la derivación 1 porque la dirección del vector es paralela a la derivación 2, por tanto, la magnitud de la proyección sobre la derivación 2 es mayor que sobre la de 1.

De modo parecido, la onda derivación 3 es positiva y su magnitud equivale a la derivación 1. Si el vector de la figura es el resultado de acontecimientos eléctricos que tienen lugar durante el pico del complejo QRS, se dirá que la orientación de este vector representa el eje eléctrico medio del corazón en el plano frontal. La dirección de rotación positiva de este eje se asume en dirección horaria desde el plano horizontal. En las personas sanas el eje eléctrico medio normal mide unos  $60^\circ$ , por tanto, los complejos QRS son positivos en las tres derivaciones y más grandes en la 2. Si el eje eléctrico medio se desplaza de forma considerable hacia la derecha ( $120^\circ$ ), se produce un cambio notable de la proyección de los complejos QRS sobre las derivaciones convencionales. En este caso, la máxima onda positiva se localiza en la derivación 3; la onda de derivación 1 se invierte porque la punta de la flecha está más cerca de RA que de LA. Este desplazamiento se denomina desviación del eje a la derecha y se asocia con la hipertrofia del ventrículo derecho. Cuando el eje se desplace a la izquierda ( $0^\circ$ ), se asocia con hipertrofia del ventrículo izquierdo y la mayor onda positiva se encuentra en la derivación 1 y el complejo QRS de la derivación 3 estará invertido. Esta otra explicación coñazo sirve para entender esta imagen (derecha arriba).



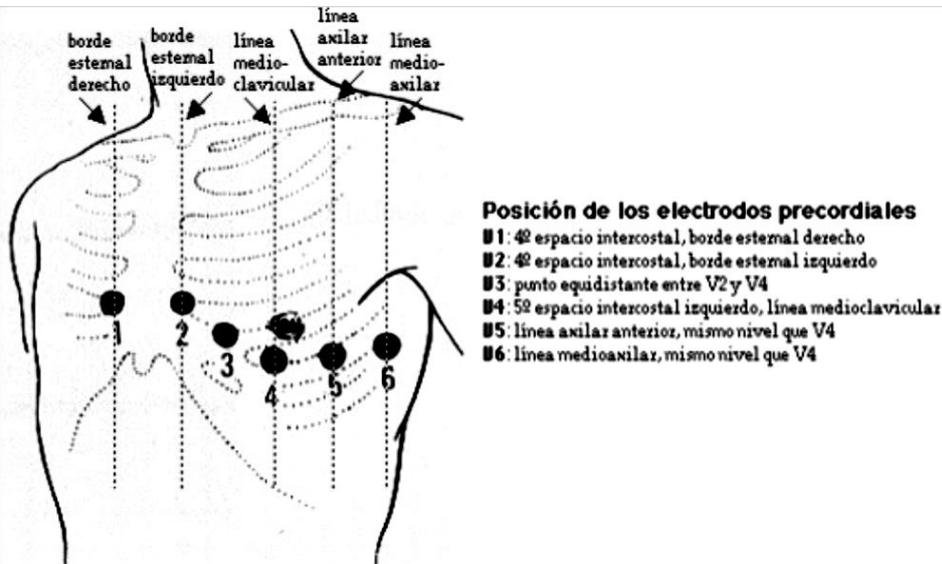
Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition. Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved



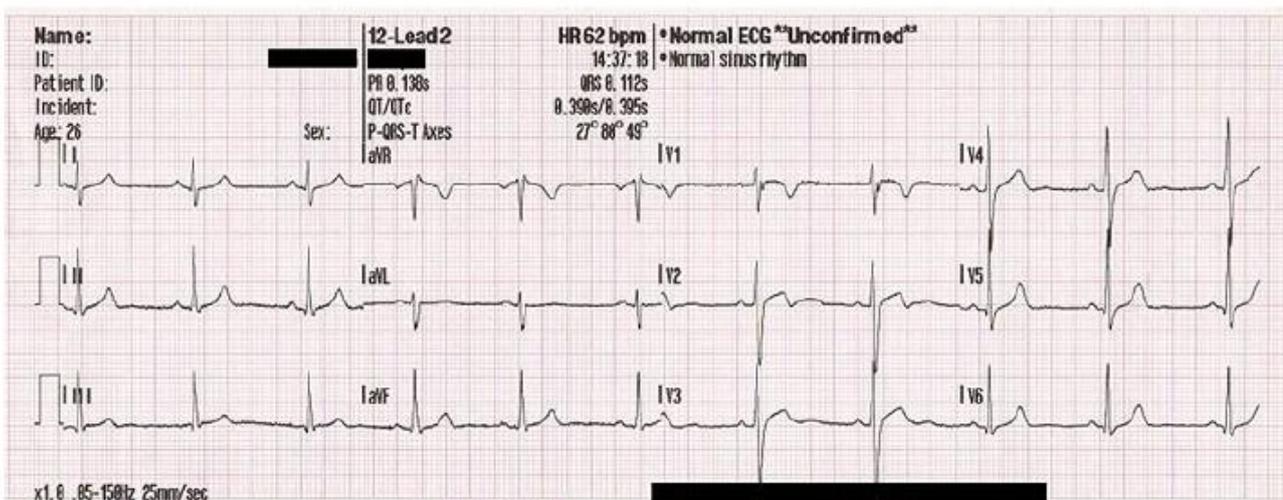
### 3.2 Plano horizontal/trasversal.

Las derivaciones del plano sagital ilustran todo este plano. Estas derivaciones se conocen como **derivaciones uni/monopolares torácicas/precordiales o de Wilson**. Se trata de 6 derivaciones que se toman mediante 6 electrodos situados alrededor del corazón, sobre el peto esternocostal. Se utiliza junto a las derivaciones de Einthoven y de Golderberg para hacer un esquema eléctrico tridimensional. Las derivaciones son:

- **V1:** Línea paraesternal (a la derecha del esternón) 4º espacio intercostal.
- **V2:** Línea paraesternal (a la izquierda del esternón) 4º espacio intercostal.
- **V3:** Entre V2 y V4 (5º espacio intercostal a la izquierda del esternón).
- **V4:** Línea medioclavicular izquierda: 5º espacio intercostal.
- **V5:** 5º espacio intercostal izquierdo línea media axilar anterior.
- **V6:** 5º espacio intercostal izquierdo línea media axilar.

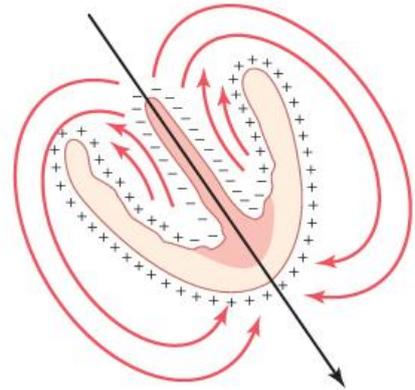


Este es el ECG con las 12 derivaciones.



#### **4. Vectores.**

Los vectores ayudan a mostrar la dirección general de la transmisión del impulso nervioso. Este es el vector del impulso cardíaco. Se dirige siempre en sentido positivo. El impulso cardíaco recorre la pared septal y se extiende por toda la pared ventricular.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - [www.studentconsult.com](http://www.studentconsult.com)  
Mean vector through the partially depolarized ventricles.