

## Tema práctico

# Fundamentos de electrocardiografía clínica

Boris Eduardo Vesga Angarita\*  
Angel María Chaves Neira \*\*  
Manuel Alexander Lindarte Camacho \*\*\*  
Claudia Liliana Sanabria Peña. \*\*\*  
Germán Melo Mckormic \*\*\*\*  
Fidias E. León-S\*\*\*\*\*

\*MD. Profesor. Departamento de Ciencias Básicas Médicas. Universidad Industrial de Santander.  
Coordinador del Grupo de Electrocardiografía UIS.  
\*\*MD. Fisiólogo. Cardiólogo clínico.  
Departamento de Ciencias Básicas Médicas. Universidad Industrial de Bucaramanga. Fundación Cardiovascular del Oriente Colombiano. Director del Grupo de Electrocardiografía UIS.  
\*\*\* Estudiantes de Medicina. Universidad Industrial de Santander. Miembros del grupo de Electrocardiografía.  
\*\*\*\*MD. Deportólogo. Profesor. Departamento de Ciencias Básicas Médicas. Universidad Industrial de Santander.  
\*\*\*\*\*MD. PhD Profesor. Departamento de Ciencias Básicas Médicas. Universidad Industrial de Santander.  
Correspondencia:  
Dr. B. E. Vesga, Dr. A.M.Chaves, Grupo de Electrocardiografía UIS, Departamento de Ciencias Básicas Médicas. Universidad Industrial de Santander. AA 678.  
Email: borvesga@col1.telecom.com.co boris@uis.edu.co

### Resumen

**E**l presente artículo es parte de una serie de publicaciones sobre el uso del electrocardiograma de superficie como medio diagnóstico. En esta primera parte estamos presentando las bases fundamentales para la interpretación del electrocardiograma normal (ECG), partiendo del conocimiento de la ubicación de los electrodos de las derivaciones, la estandarización en el uso del papel electrocardiográfico y un algoritmo para la interpretación inicial.

### Palabras Clave

Electrocardiografía.

### INTRODUCCIÓN

El corazón como órgano vital presenta un automatismo en la generación de sus latidos para lo cual, requiere de la existencia de un sistema eléctrico que permita esta constante activación y así, garantizar una adecuada perfusión a todos los sectores de la economía. Este sistema eléctrico, es llamado el sistema de conducción del corazón, el cual tiene su origen en el nodo sinusal (NSA), comunicándose a través de los fascículos internodales anterior, medio y posterior con una segunda estación, el nodo auriculoventricular (NAV) y de allí por las dos ramas del Haz de His hasta el sistema de Purkinje, el cual está

en íntimo contacto con el miocardio ventricular<sup>1,2,3</sup> (Fig. 1).

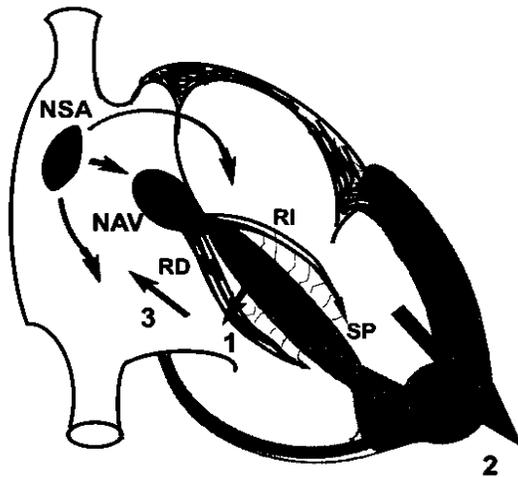


Figura 1: Sistema de Conducción Cardíaca y Vectores de Despolarización Ventricular. NSA: Nodo sinusal, NAV: Nodo auriculoventricular, SP: Sistema de Purkinje, 1: Vector septal, 2: Vector ventricular, 3: Vector posterobasal

El estudio eléctrico del corazón tiene su origen en los finales del siglo XIX, cuando Augustus D. Waller desarrolló un aparato para registrar los potenciales eléctricos del corazón, pero desafortunadamente la utilidad de esta nueva máquina fue subestimada. Solo hasta 1901 se inicia la real utilización de esta técnica cuando un médico holandés llamado Willem Einthoven utilizando el galvanómetro de cuerda realizó los primeros registros de eventos patológicos como las hipertrofias ventriculares y los bloqueos auriculoventriculares, entre otros. Einthoven diseñó las tres derivaciones bipolares, las cuales forman un triángulo imaginario al ser unidos y recibe el nombre de su creador; este hecho lo hizo merecedor del Premio Nobel de Medicina en 1924. Posteriormente, en 1930 Frank Wilson diseñó las derivaciones unipolares de las extremidades (VR, VL y VF) y las derivaciones precordiales (V1 a V6), pero en 1942 Goldberg modifica las unipolares ampliando su voltaje por lo cual se comenzaron a denominar como *aVR*, *aVL* y *aVF*.<sup>4,5</sup>

En este artículo nuestro objetivo es ir desarrollando de manera inductiva el fundamento de la interpretación básica del electrocardiograma de superficie normal (ECG).

## DERIVACIONES ELECTROCARDIOGRÁFICAS

Las derivaciones son los diferentes registros de la actividad eléctrica del corazón, la cual es captada mediante un galvanómetro y es procesada a través de un amplificador conectado al paciente por medio de unos electrodos que se colocan según normas preestablecidas.<sup>6,7</sup>

Las derivaciones pueden ser unipolares o bipolares: las unipolares registran diferencias de potencial (voltaje) entre un punto del cuerpo y un punto llamado el "centro eléctrico del corazón"; las bipolares las registran entre dos puntos diferentes del cuerpo<sup>1</sup>.

Según el tipo de derivación utilizada se puede visualizar dos diferentes cortes del corazón, uno en el plano frontal y otro en el plano horizontal.

## DERIVACIONES DEL PLANO FRONTAL

El plano frontal es el que atraviesa el corazón en paralelo con el plano sobre el cual se apoya el dorso del paciente al encontrarse en posición de decúbito. En este plano se ubican las derivaciones estándar de Einthoven de las extremidades (bipolares), más conocidas como *DI - DII - DIII*; estas dibujan un triángulo equilátero cuyo centro es el corazón. Además, se encuentra el sistema de derivaciones unipolares de las extremidades: *aVR - aVL - aVF* (Fig. 2).<sup>1,6,8,9,10</sup>

### Derivaciones bipolares:

La derivación DI mide la corriente en el eje entre  $0^\circ - 180^\circ$ , va a tener su electrodo negativo en el MMSS derecho y el positivo en el MMSS izquierdo.

La derivación DII mide la corriente en el eje que va de  $60^\circ$  a  $-120^\circ$ . Su electrodo negativo va a estar en el MMSS derecho y el negativo en el miembro inferior (MMII) izquierdo.

La derivación DIII mide la corriente que va por el eje entre  $120^\circ$  y  $-60^\circ$ . Tiene el electrodo negativo en el MMSS izquierdo y el positivo en el MMII izquierdo.

### Derivaciones unipolares :

Estas derivaciones se crearon con el fin de medir la fuerza eléctrica absoluta de un electrodo positivo único en el cuerpo. Para lo cual, es necesario la presencia de un electrodo de potencial cero, el cual se consigue mediante un mecanismo que une los cables conectados a las otras extremidades de manera que se anulen sus fuerzas respectivas (mecanismo de Wilson).

*aVR*: El electrodo positivo está colocado sobre el MMSS derecho. El eje está entre  $30^\circ$  y  $-150^\circ$ .

*aVL*: El electrodo positivo se encuentra en el MMSS izquierdo. El eje está entre  $-30^\circ$  y  $150^\circ$ .

*aVF*: El electrodo positivo se encuentra en el MMII izquierdo. El eje está entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ .

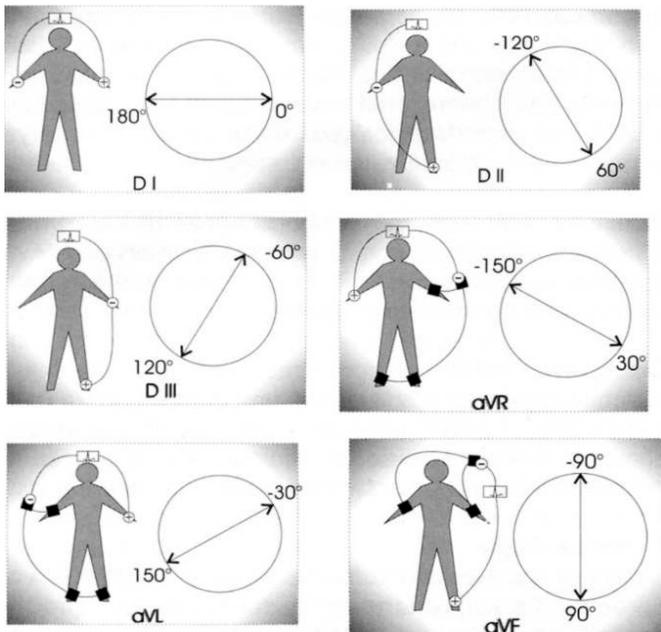


Figura 2: Derivaciones electrocardiográficas del plano frontal.

**Regiones exploradas:**

Si en un plano cartesiano transportamos cada una de las derivaciones bipolares y las unipolares, tendremos un sistema hexaxial (Fig 3). Si ubicamos el corazón en su centro, notaremos la correspondencia entre la ubicación de cada derivación y la parte del corazón que observa.

D I y aVL exploran la pared lateral del ventrículo izquierda (VI).

D II, D III y aVF exploran la cara diafragmática.

aVR explora el interior del corazón derecho.

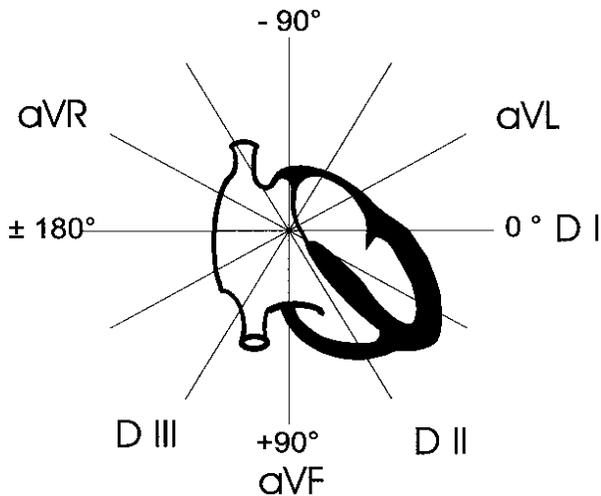


Figura 3: Sistema hexaxial.

**DERIVACIONES DEL PLANO HORIZONTAL**

Este grupo de derivaciones corresponde a las derivaciones ubicadas sobre el precordio<sup>4</sup>, la ubicación de los electrodos es la siguiente (Fig 4):

- V1: Cuarto espacio intercostal (EI) con línea paraesternal derecha.
- V2: Cuarto EI con línea paraesternal izquierda.
- V3: En el punto medio de la línea que une V2 y V4.
- V4: Quinto EI con línea medio clavicular izquierda.
- V5: Sobre una línea horizontal al nivel de V4 con línea axilar anterior izquierda.
- V6: Al mismo nivel sobre la horizontal de V4 con línea axilar media izquierda.

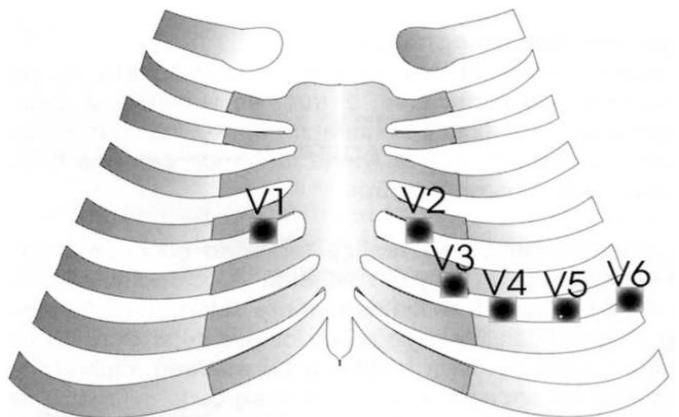


Figura 4: Ubicación de las derivaciones del plano horizontal.

**Regiones exploradas:**

- V1 - V2: Exploran el ventrículo derecho y el tabique inter-ventricular (TIV) en su parte alta y media.
- V3: Explora el TIV en su parte anterior.
- V4: Explora el resto del TIV y la punta del VI.
- V5 - V6: Exploran la parte anterior y baja de la pared libre del VI (Fig. 5).

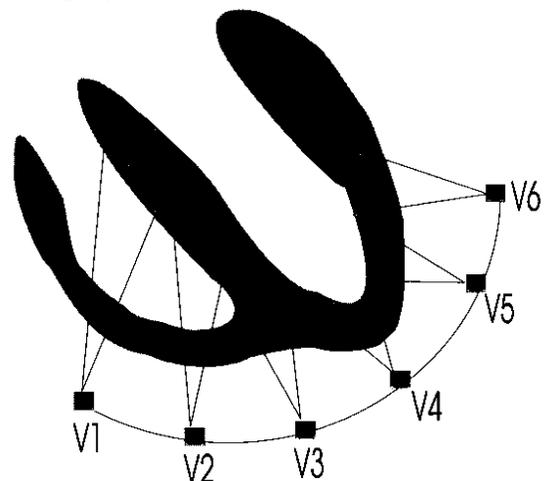


Figura 5: Regiones exploradas por las derivaciones precordiales.

## TECNICA PARA LA TOMA DE UN ECG.

Se deben limpiar las superficies cutáneas donde se van a ubicar los electrodos, debido a las secreciones cutáneas, las cuales son un factor de interferencia para la recepción de las señales eléctricas.

### Ubicación de los electrodos

En la actualidad los equipos traen los electrodos para los miembros con una nomenclatura de colores, que es similar a los colores de un semáforo.<sup>2,11</sup>

- Color Rojo para el MMSS derecho.
- Color Amarillo para el MMSS izquierdo.
- Color Negro para el MMII derecho.
- Color Verde para el MMII izquierdo.

### Papel electrocardiográfico

El papel utilizado por el electrocardiógrafo es de características especiales, el cual es sensible al calor. Además su superficie se encuentra impresa a manera de papel milimetrado, el cual viene resaltado con una línea gruesa cada cinco milímetros<sup>1,2,12</sup>.

La estandarización se realiza teniendo en cuenta dos variables, la velocidad y el voltaje: la velocidad es medida en el eje horizontal, se fija de manera estándar en 25 mm/seg, pero existen casos como en los pacientes pediátricos en los cuales se debe ajustar a 50 mm/seg. Cuando la velocidad se encuentra en 25 mm/seg cada milímetro de trazado corresponderá en tiempo a un período de 0.04 segundos (seg) y cada línea gruesa (cinco milímetros) a 0.2 seg. El voltaje es medido en el eje vertical y se calibra para que un milivoltio (mv) mueva la aguja registradora diez milímetros; de acuerdo con lo anterior un milímetro corresponde a 0.1mv (Fig 6).

## NOMENCLATURA Y TENDENCIAS

Las diferentes ondas obtenidas van a recibir una denominación iniciando por la letra P. A continuación analizaremos la significación y normalidad de cada una de ellas (Fig 6)<sup>3,4,8,12,13</sup>.

**Onda P:** Representa a la despolarización auricular, es la onda antecesora a todos los complejos QRS en un trazado normal. Su ascenso corresponde a la despolarización de la aurícula derecha y su descenso a la despolarización de la aurícula izquierda. Su morfología es simétrica. Su eje se encuentra normalmente entre 30° y 60° por cual es positiva en DI, DII, AVF, V3, V4, V5 y V6; negativa en AVR y variable en DIII y AVL. Su duración oscila entre 0.08-0.1 seg y su altura no debe exceder los 0.25 mv.

**Onda T auricular (Ta):** Corresponde al fenómeno de repolarización auricular, que en un ECG normal no debe dibujarse, puesto que está superpuesta la despolarización ventricular expresada como el complejo QRS.

**Segmento PR:** Un segmento corresponde a una línea isobifásica que une a dos ondas. El segmento PR está comprendido entre el final de la onda P y el inicio del complejo QRS, representa el paso por el NAV, donde se produce un retardo fisiológico en la conducción, cuya duración normalmente es de 0.1 seg.

**Intervalo PR:** Un intervalo comprende una línea isobifásica y las ondas que lo delimitan. El intervalo PR va desde el inicio de la onda P hasta el inicio del complejo QRS. Oscila normalmente entre 0.12 y 0.21 seg.

**Complejo QRS:** Representa el proceso de despolarización ventricular, tiene una duración entre 0.06 y 0.11 seg. La formación de cada una de sus ondas depende directamente de los vectores resultantes de la despolarización de la masa ventricular<sup>7,11,14</sup>, así (Fig. 1):

### a - Vector Septal:

Se dirige hacia adelante, hacia abajo y de izquierda a derecha. Es la primera parte del ventrículo que se despolariza; está representado por la primera onda del complejo QRS.

### b - Vector de las paredes ventriculares:

En realidad es la sumatoria de los vectores resultantes de la despolarización de los dos ventrículos y es la principal onda del complejo QRS. Está dirigido hacia adelante, abajo y de derecha a izquierda. Forma la segunda onda del complejo.

### c- Vector de la pared posterior:

Corresponde a la despolarización del músculo ventricular restante, que forma un vector hacia atrás, hacia arriba y de izquierda a derecha. Forma la tercera onda del complejo QRS.

La nomenclatura de las ondas del complejo QRS se ha establecido en forma independiente del vector que represente, por ejemplo, el vector septal puede ser positivo o negativo dependiendo de la ubicación del electrodo registrante y de acuerdo con esto se denominará de una u otra forma, rigiéndose por las siguientes características:

**Onda Q:** Es la primera deflexión negativa del complejo, que precede a la onda R. Normalmente dura menos de 0.04 seg y su voltaje no es mayor de 0.2 mv y corresponde a menos del 25% del tamaño de la onda R.

**Onda R:** Se denomina así a toda deflexión positiva del complejo. Cuando hay más de una onda R, la subsiguiente se denominará como R prima (R'). Su duración es menor de 0.07 seg y su voltaje varía entre 0.4 y 2.2 mV. En las derivaciones precordiales lo importante es observar la progresión en tamaño de V1 a V6. El tamaño promedio en las derivaciones frontales es de 0.5 mv, mientras que para las precordiales es de 1 mv, cuando

no es así se consideran que los complejos son de bajo voltaje.

**Onda S:** En toda derivación es cualquier deflexión negativa posterior a una onda R. Si hay más de una onda de este tipo, ésta se denominara S prima (S').

**Punto J:** Es el punto donde termina la última onda del complejo QRS e inicia el segmento ST. Su valor en la interpretación electrocardiográfica consiste en determinar su descenso (infradesnivel) o ascenso (supradesnivel) con respecto a la línea de base. Teniendo en cuenta que es normal una oscilación hasta de 1 mm.

**Segmento ST:** Es el momento de despolarización de la musculatura ventricular. Se mide desde el final del complejo QRS hasta el inicio de la onda T. Se manifiesta como una línea isoeleétrica de base. Teniendo como referencia el punto J se puede determinar su infra o supradesnivel y en ocasiones su morfología contribuye como elemento de diagnóstico en algunas patologías como la isquemia miocárdica.

**Onda T:** Corresponde a la repolarización del músculo ventricular. Su morfología es asimétrica, siendo su parte ascendente más suave y de mayor duración que la parte descendente que es brusca. Su voltaje no debe exceder a las dos terceras partes de la onda R.

**Onda U:** Su presentación es ocasional, pero cuando aparece es de menor tamaño y siempre tiene la misma dirección de la onda T acompañante.

**Intervalo QT:** Es el tiempo que transcurre entre el inicio del complejo QRS y el final de la onda T. Representa el fenómeno de despolarización y repolarización ventricular. Su duración normal varía de acuerdo con:

**a. Sexo:** El QT corregido (QTc) en el hombre va desde 0.36 a 0.40 seg y en las mujeres va desde 0.41 a 0.44 seg.

**b. Frecuencia:** Se corrige el QT de acuerdo a la frecuencia cardíaca con la siguiente fórmula:

$$QTc = \frac{QT \text{ medido}}{\sqrt{RR}}$$

*QT medido:* Es el intervalo QT que medimos sobre el papel electrocardiográfico en segundos.

$\sqrt{RR}$ : Es la distancia en segundos entre dos ondas R consecutivas en una misma derivación.

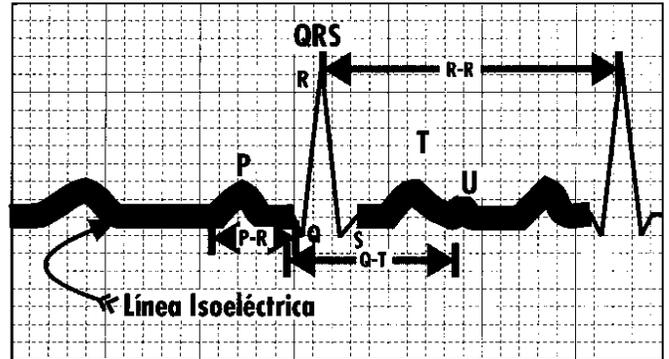


Figura 6: Papel electrocardiográfico con la nomenclatura de las ondas.

## ALGORITMO PARA LA LECTURA ELECTROCARDIOGRÁFICA

Para la lectura de un trazado electrocardiográfico se necesita de un ordenamiento lógico, que nos permita fácilmente entender el fenómeno y emitir un diagnóstico.

El orden que proponemos para la parte inicial de lectura es el siguiente: <sup>11</sup>

**Ritmo:** Es importante determinar si el ritmo es regular o no: <sup>2,12,13</sup>

- Regular: La distancia entre las ondas va a ser idéntica, puede ser sinusal, nodal o ventricular.

Cuando el ritmo es sinusal (Frecuencias entre 60 y 100 por minuto), se encuentran los siguientes criterios:

- \*- La onda P antecede todos los complejos QRS en todas las derivaciones.
- \*- La onda P es positiva en DII.
- \*- El intervalo PR está dentro de los límites normales (0.12 – 0.21 seg.).

- Irregular: Se asocia con arritmias cardíacas, problemas de bloqueos de la conducción, etc.

**Frecuencia cardíaca:** Existen varios métodos para determinar la frecuencia cardíaca de un registro electrocardiográfico:

**a. Método de los 1500:**

Teniendo en cuenta que el papel corre a veinticinco milímetros (mm) en un segundo; en 60 segundos habrá recorrido 1500 mm. Dado que la frecuencia se da en latidos

por minuto y cada latido queda representado en el papel como un complejo QRS el número de complejos en 1500 mm será igual al número de latidos por minuto o sea a la frecuencia cardíaca. Cuando estamos en un ritmo sinusal, la distancia entre dos ondas R consecutivas de la misma derivación es constante, lo cual facilita el procedimiento de contar el número de complejos QRS aun sin tener registrada una derivación durante los 1500 mm y mediante una simple regla de tres, descrita en la siguiente fórmula se calculara la frecuencia cardíaca: <sup>2,11,13</sup>

$$FC = \frac{1500}{RR}$$

*FC: Frecuencia cardíaca*

*RR: Distancia en mm entre dos complejos QRS consecutivos en la misma derivación.*

#### b. Método estándar.

Se toma un complejo QRS, el cual coincide la espiga de la onda R con la línea que remarca los cuadros de 5 mm, y se cuenta el número de casillas de 5 mm hasta encontrar el siguiente QRS de la misma derivación. Luego dividimos 300 entre el número de cuadros de 5 mm contados: (Tabla 1) <sup>11,12</sup>

**Tabla 1. Método Estándar para el cálculo de la frecuencia cardíaca.**

No. de Espacios		FC	
300	entre	1	300
300	entre	2	150
300	entre	3	100
300	entre	4	75
300	entre	5	60
300	entre	6	50
300	entre	7	43
300	entre	8	37
300	entre	9	33
300	entre	10	30

#### c. Método del Muestreo:

Se utiliza principalmente en ausencia de ritmo sinusal. Consiste en contar el número de complejos que aparecen en 75 mm o sea 3 seg, de una misma derivación y se multiplica por 20:

$$FC = (\text{Número de complejos QRS en 3 seg}) \times 20$$

#### Eje eléctrico del corazón:

Si bien es cierto que los tres vectores tienen dimensiones espaciales, por facilidad para su estudio se ha tomado un sistema de dos planos, con la característica que los dos cuadrantes superiores por convención se designan como negativos y los dos inferiores como positivos, ambos marcados de 0° a 180° (Fig 3). <sup>1,11,13</sup>

Como se tiene en cuenta la rotación del eje en el plano frontal solamente se consideraran las derivaciones de dicho plano dando lugar al sistema hexoaxial, en el que las seis derivaciones frontales se ubican cada una a 30° entre sí.

Se considera el eje es normal cuando se encuentra entre -30° y +110°. Se considera que el eje esta desviado a la izquierda cuando está entre -30° y -90°. Esta desviado a la derecha cuando está entre +110° y +180° grados. Finalmente se considera la "zona de nadie", cuando está entre -90° y -180°, debido a que se desconoce si la desviación es en extremo derecho o en extremo izquierdo.

Para obtener el eje eléctrico del corazón basta con sumar los vectores resultantes de cada derivación.

Para hallar el vector resultante de cada derivación es necesario hacer lo siguiente:

- Magnitud: Reste a la magnitud en milímetros de las ondas positivas, la magnitud en milímetros de las ondas negativas del complejo QRS de la derivación.

- Dirección: El eje que en el sistema hexoaxial le corresponde a la derivación.

- Sentido: Si la sumatoria de las ondas es positiva se colocará en la región positiva de la derivación y viceversa.

Para obtener el eje eléctrico basta con sumar los vectores resultantes de las tres derivaciones bipolares.

Una forma más sencilla de encontrar el eje eléctrico consiste en tomar la derivación más isobifásica (sumatoria de las ondas igual a cero) de las seis derivaciones frontales y en el sistema hexoaxial (Fig. 3) encontrar cual es el eje que cruza perpendicularmente esta derivación. Posteriormente se busca en el trazado cual sentido tiene el vector que allí se dibuja y éste será el eje eléctrico del corazón.

#### AUTOINSTRUCCIÓN

En la Figura 7 identifique las diferentes partes del trazado, compárelas con los valores normales. Determine su ritmo, eje y frecuencia cardíaca.

Trate de responder las siguientes preguntas:

¿Cómo pueden ser las manifestaciones electrocardiográficas de un ritmo diferente al sinusal?

¿Qué sucedería si accidentalmente invierto los cables durante la toma de un electrocardiograma, cómo se verían afectados los trazados?

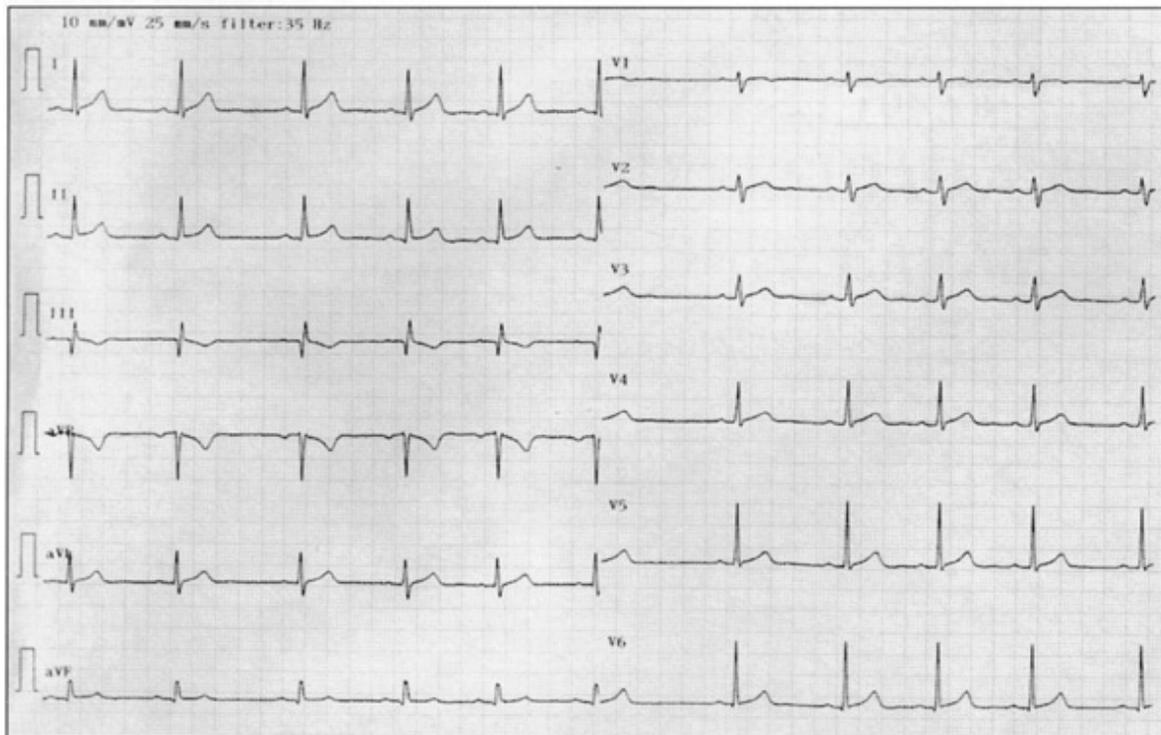


Figura 7. Electrocardiograma Normal.

## SUMMARY

The article is a part of several publication about the use of the surface electrocardiogram as a diagnostic exam. In this first part we are showing the basis for the interpretation of a normal electrocardiogram (ECG), beginning with the knowledge of the location of derivation's electrodes, standardization in the using electrocardiographic paper and an algorism for the first interpretation.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arango JJ. Manual de Electrocardiografía. Cuarta Edición. Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas, 1996: 21-69
2. Arenas IC, Pulido ML. Electrocardiograma y Arritmias Cardíacas. Primera edición. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 1990 : 3 - 20.
3. Block P, Thibault G. Interpretación Básica del Electrocardiograma. TRIBUNA MÉDICA 1978; 58:4-13
4. Duque M. Electrocardiografía. En: Montoya M. ed. Cardiología. Quinta edición. Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas, 1996: 59-73
5. Rueda OL, Hernández C. Historia de la Electrocardiografía. MEDICAS UIS 1996; 10:165-8
6. Castellanos A, Kessler K, Myerburg R. The Resting Electrocardiogram. In: Schlant RC, Waine R. eds. *Hurt's The Heart*. Eight edition. New York: Mc Graw-Hill Inc. 1994: 321 - 56.
7. Matiz H, Gutiérrez O. Electrocardiografía Clínica Aplicada. Primera edición. Santafé de Bogotá: Fundación Escuela Colombiana de Medicina, 1991: 13-51
8. Gau G. Electrocardiography and Vectocardiography. In: Brandenburg, ed. *Cardiology (Fundamentals and Practice)*. New York: Year Book Medical Publishers, Inc. 1987:268-309
9. Goldman MJ. Principios de Electrocardiografía Clínica. Tercera edición. México: El Manual Moderno, S.A, 1965: 1-30
10. Restrepo N, Robledo N. Electrocardiografía. Primera edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía, 1991:57-152
11. Chaves AM, Vesga BE. Manual de Electrocardiografía UIS (en prensa). 1997
12. Gutiérrez J. Primera Unidad de Autoinstrucción sobre Electrocardiografía. *Acta Med Valle* 1976: 7:26-36
13. Fernández SM, Serrano JP. Electrocardiografía Clínica Parte I. MEDICAS UIS 1987; 1:13-7
14. Matiz H, Gutiérrez O. Curso Taller de Electrocardiografía Normal y Electrocardiográfica de Arritmias. Primera edición. Santafé de Bogotá: Asociación Colombiana de Medicina, 1992: 3-18