



Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina – Telemedicina

## **Señales Biológicas**

*Nataly Sanabria Pemberty*

Bogotá, 9 de septiembre de 2009

# Señales biológicas

## 1. Conceptos generales

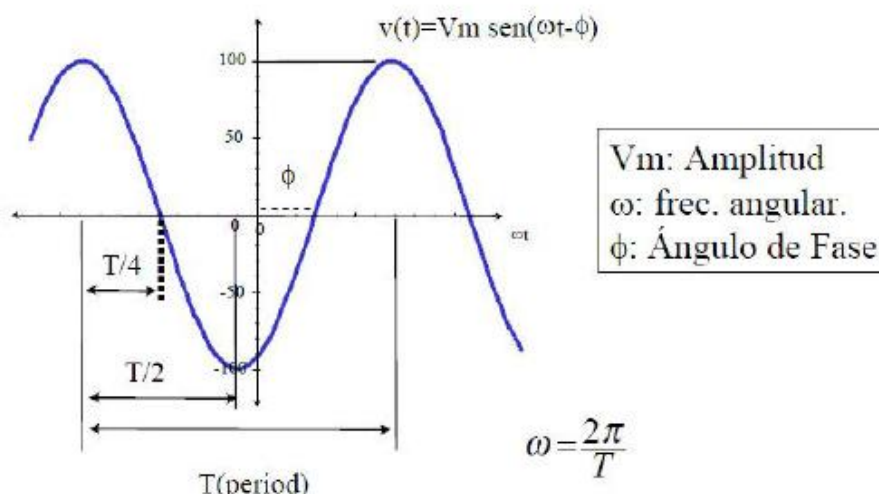
### Definición:

Una señal es una secuencia de estados dentro de un sistema que puede representarse mediante un modelo matemático y que expresa su comportamiento, o bien, el comportamiento de la información que representa.

También puede ser considerada como la variación de una cantidad física en el tiempo, el espacio u otra variable independiente.

### Parámetros de una señal:

- Amplitud: Es el valor que toma la señal en cada instante de tiempo
- Frecuencia (f): Es la cantidad de ciclos o períodos de la señal durante una unidad de tiempo (generalmente segundos). La unidad de medida es el Hertz (Hz).
- Periodo (T): Es la cantidad de tiempo que transcurre mientras la señal cumple un ciclo o período completo. Es equivalente al inverso multiplicativo de la frecuencia, es decir,  $1/f$
- Velocidad angular ( $\omega$ ): Equivale a  $2f\pi$
- Angulo de Fase: Es una constante (en radianes) que mide el desfase de una señal con respecto al origen.



Parámetros de una señal

### Clases de señales:

- Señales Determinísticas y Aleatorias

Las señales determinísticas son aquellas cuyos valores están completamente especificados en cualquier tiempo dado y por lo tanto, pueden modelarse mediante funciones que representan su comportamiento, son predecibles. por ejemplo las ondas sinodales

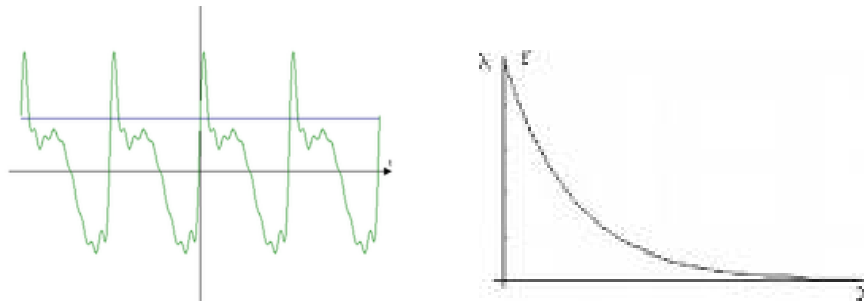
Las señales aleatorias o estocásticas son aquellas que toman valores al azar en cualquier tiempo dado y los valores futuros deben ser caracterizados estadísticamente. Por ejemplo el ritmo cardiaco

- Señales periódicas y no-periódicas:

En la señales periódicas su comportamiento se repite continuamente y satisface las características de un modelo ondulatorio, dado por la fórmula general:

$$f(t) = f(t + T)$$

No periódicas: No se repiten continuamente y por lo tanto no tienen periodo.



*Señal periódica (izquierda) y no periódica (derecha)*

- Señales continuas y discretas:

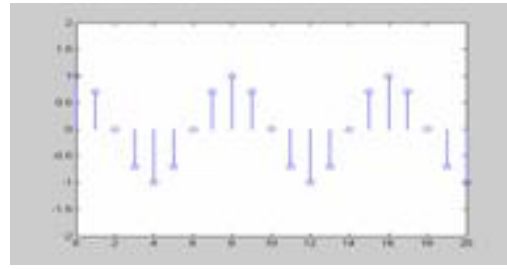
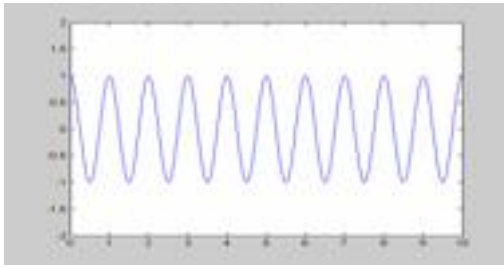
Se dice que una señal es continua si está definida en todo instante de tiempo. Por ejemplo, la temperatura. En cualquier instante del día la temperatura tiene un valor.

$$X_1 = \cos(\pi * t)$$

$$X_2 = e^{-t}$$

Se dice que una señal es discreta si sólo está definida para valores determinados de la variable independiente (en instantes determinados de tiempo).

$$X_3[n] = e^n; \quad \text{donde } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



*Señal continua (izquierda) y discreta (derecha)*

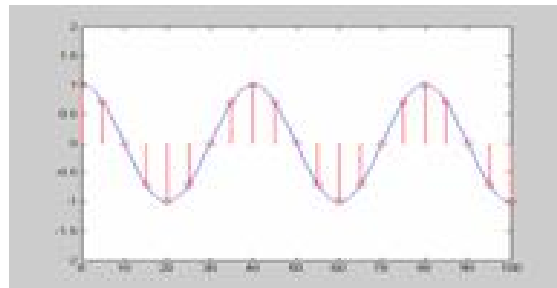
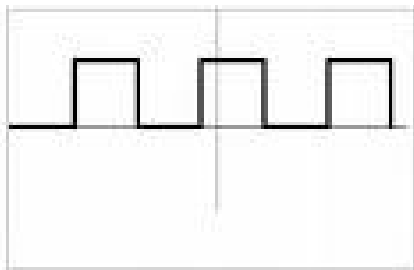
- Señales analógicas y digitales:

Se dice que una señal es Analógica si:

- a) La señal es continua.
- b) Su amplitud puede tomar cualquier valor.

Se dice que una señal es Digital si:

- a) La señal es discreta
- b) Su amplitud sólo puede tomar valores determinados.



*Ejemplos de señales analógicas y digitales.*

- Señales multicanal y multidimensional:

Señales multicanal: señales representadas en un vector, ejemplo ECG (medición de 6-32 canales)

$$s(t) = \begin{Bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ s_3(t) \end{Bmatrix}$$

Dimensiones de una señal: Si la señal depende sólo de una variable independiente se considera unidimensional, si depende de N variables es N- dimensional

Ejemplo: imagen (bidimensional), TV a color (tridimensional y multicanal)

$$A(x, y, t) = \begin{Bmatrix} A_R(x, y, t) \\ A_G(x, y, t) \\ A_B(x, y, t) \end{Bmatrix}$$

Así por ejemplo en medicina, los distintos tipos de electrogramas son señales unidimensionales, ya que se representan por una o varias curvas en función del tiempo. Sin embargo, los distintos tipos de radiografías son señales bidimensionales y los resultados de la tomografía axial computarizada y la resonancia nuclear magnética son señales tridimensionales.

### Transformada de Fourier:

La Transformada de Fourier se encarga de transformar una señal del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia, de donde se puede realizar su anti transformada y volver al dominio temporal. Es de aclarar que esta frecuencia no es una velocidad para apreciar la forma de la señal en el tiempo, es una velocidad para enseñar las componentes frecuenciales de la señal en estudio.

Un ejemplo de representación en frecuencia, puede ser el ecualizador de un equipo de música: las barras que suben y bajan indican las diferentes componentes frecuenciales de la señal sonora que se pueden escuchar. Esto lo hace un circuito integrado que realiza la transformada de Fourier de la forma más rápida posible.

El trabajo con la señal en frecuencia no solo sirve como información sino que se puede modificar, de forma que es ampliamente utilizada en filtros, procesamiento de imágenes y sonido, comunicaciones (modulaciones, líneas de transmisión, etc) y otro tipo de aplicaciones más curiosas: estadística, detección de fluctuaciones en los precios, análisis sísmográfico, etc.

### Modulación:

El proceso de modulación implica una forma de adaptación de la señal al medio de transmisión por el cual va a propagarse. Normalmente implica la alteración de su banda de frecuencias para transmitir la señal en una gama de frecuencias más adecuada.

La necesidad de modular viene dada por la imposibilidad de la propagación de la señal en su banda de frecuencias base, o en superar las dificultades que representa esta propagación. En general, se pretenden conseguir estos objetivos en el proceso de modulación:

- Posibilidad de multiplexión: es decir, enviar varios canales de información de una manera conjunta por el mismo medio de transmisión.
- Facilitar la propagación de la señal por ese medio de transmisión adaptándola a él: El ejemplo típico es la radiación de señales por ondas de radio. Para señales de voz limitadas a 4 KHz, la longitud de antena a utilizar sería de unos 75Km ( $\lambda/2$ ), totalmente desproporcionada. Entonces, para emitir señales de radio es necesario una modulación previa para convertir la señal a frecuencias fácilmente radiables.

- Reducción del ruido e interferencia: Empleando el método de modulación adecuado se puede reducir el ruido e interferencias que sufre la señal durante su transmisión, con relación a la transmisión banda
- Superar limitaciones de equipos: Los equipos electrónicos utilizados en los sistemas de telecomunicación pudieran tener unas frecuencias de utilización óptimas, que deberán usarse para mejorar la calidad de la transmisión.

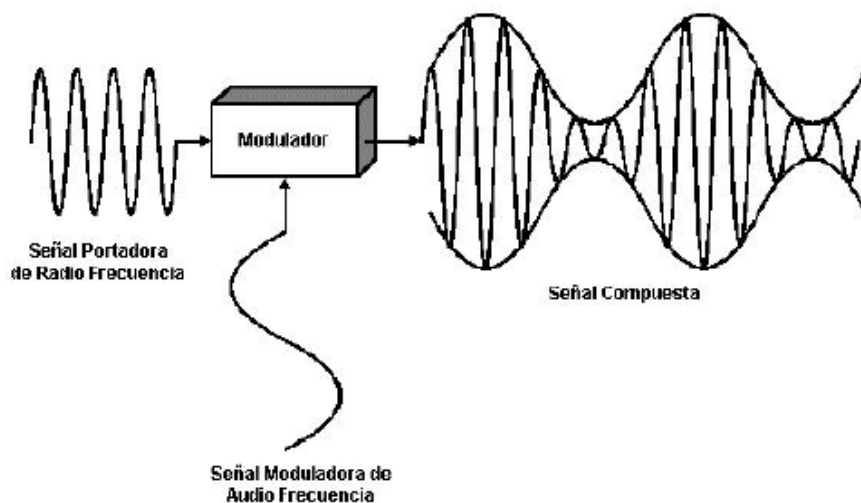
En todo proceso de modulación existen una serie de señales propias del proceso de modulación. Se llama moduladora a la señal que contiene toda la información que se quiere enviar al receptor.

Existe también una señal encargada de trasladar al otro extremo de la comunicación esa información que contiene la moduladora. Esta señal que se encarga de llevar la información de la moduladora se denomina portadora. El resultado del proceso será una señal llamada modulada.

En general, la modulación va a consistir en la alteración sistemática de algún parámetro de la señal portadora a cargo de la señal moduladora, que es la que originalmente contiene la información.

El objetivo de modular una señal, es tener un control sobre la misma. El control se hará sobre ciertos elementos característicos de una oscilación continua; estos son modificados según la forma de onda de la señal que se desea transmitir.

El parámetro a modificar de la portadora puede ser la amplitud, la frecuencia, la fase, la posición o la duración del pulso. Según sea la naturaleza de la señal modulada, así se denominará el tipo de modulación.

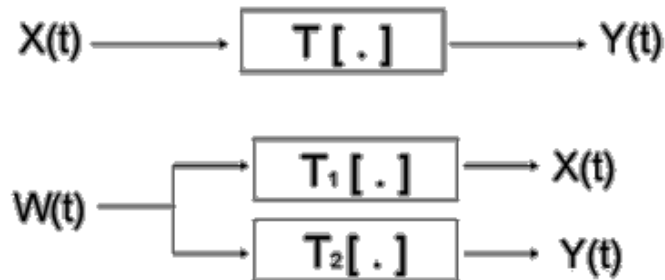


*Modulación AM*

## 2. Procesamiento de señales

### Definiciones:

- Sistema: Es un dispositivo físico a través del cual se definen reglas que transforman una variable (señal) en otra, cuando pasamos una señal por un sistema decimos que se ha procesado. Un ejemplo de sistema es un filtro.



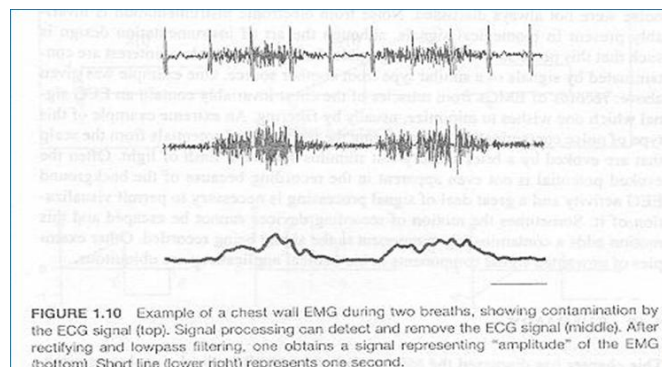
- Ruido: componentes indeseados, tomando en cuenta que debe ser definido a priori que se considera deseado o no en una señal.

### Para qué procesar señales:

El procesamiento de señales se usa con la intención de:

- Extraer información de la señal
- Determinar la relación entre dos o más señales
- Producir una representación alternativa de la señal

Por ejemplo al eliminar componentes indeseados de la señal (filtrado)



*Procesamiento de un EMG de pecho*

Mediante el procesamiento se puede extraer información representándola en una forma más obvia y entendible (simplificación) o predecir valores futuros de una señal (Predicción).

### Procesado digital y analógico:

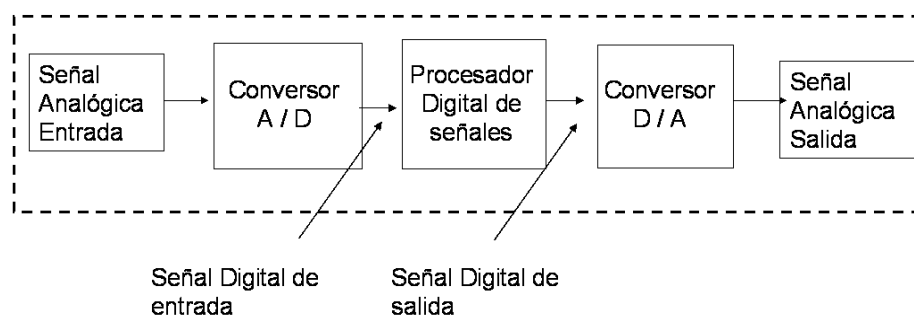
El procesamiento de señales incluye cuatro etapas:

1. Adquisición de las señales: Se tratan los sensores (transductores) y mecanismos asociados para adquirir los datos digitalizados de las señales.
2. Tratamiento y transformación: Se procesan y manipulan las señales, por ejemplo para tratar de eliminar ruidos y características no deseadas de la señal por medio del filtrado.
3. Medición de los parámetros: Se miden los parámetros de interés sobre las señales procesadas. Se hace una descripción de las características de la fuente basándose en las características de la señal.
4. Clasificación e interpretación: A partir de los parámetros medidos, se clasifican e interpretan las señales biológicas

Dependiendo de la naturaleza de las señales se pueden procesar digital o analógicamente, algunas de las ventajas del procesamiento digital son:

- Fácil reconfiguración ya que hay flexibilidad para cambiar las especificaciones mediante programación
- Mejor control sobre requisitos de precisión: No posee características típicas de los componentes analógicos como tolerancia, amplificación no lineal o variación de valores por condiciones ambientales, además el rango dinámico es prácticamente infinito por el uso de punto flotante.
- La señal digital se almacena y no se deteriora la calidad fácilmente, la sensibilidad al ruido eléctrico es baja.
- Permite algoritmos de procesamiento más complejos como operaciones no lineales y variantes en el tiempo
- En muchos casos es más barato
- Limitante: velocidad de conversión AD/DA

Los elementos básicos de un sistema de procesamiento digital son:



Tomando en cuenta que la mayor parte de las señales de la naturaleza son de origen analógico, se hace de gran importancia la etapa de conversión analógica digital. Este proceso incluye:

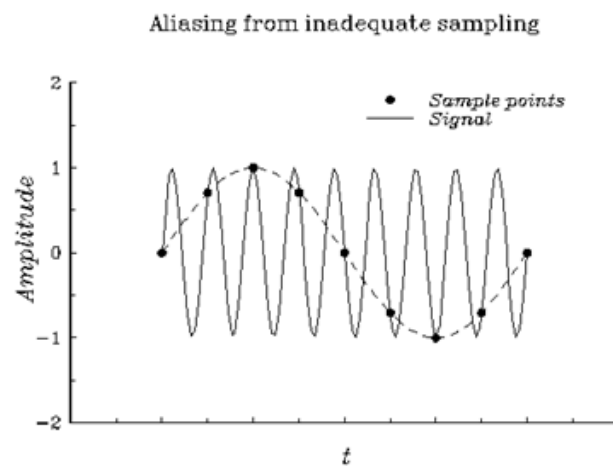
1. Muestreo: Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de una señal



analógica, siendo el intervalo entre las muestras constante. El ritmo de este muestreo, se denomina frecuencia o tasa de muestreo y determina el número de muestras que se toman en un intervalo de tiempo.

Una señal analógica puede reconstruirse adecuadamente si la tasa de muestreo es lo suficientemente alta para evitar el solapamiento (aliasing)

El teorema de muestreo dice que si la frecuencia más alta contenida en una señal es  $F_{\text{máx}} = B$  y la señal se muestrea a una velocidad  $F_s > 2 F_{\text{máx}} = 2B$ , entonces la señal analógica se puede recuperar mediante interpolación.



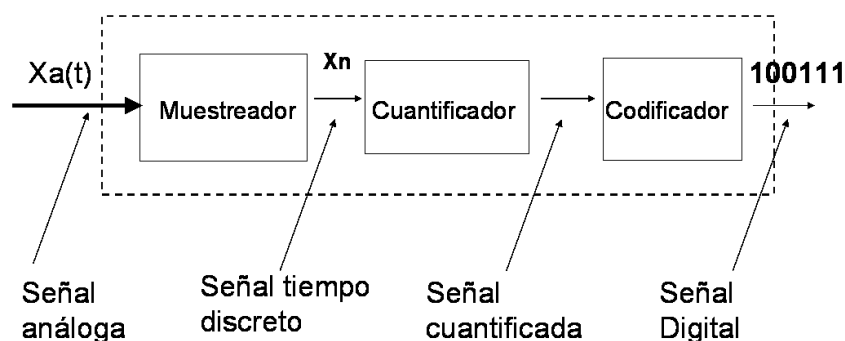
2. Cuantificación: se trata de convertir una sucesión de muestras de amplitud continua en una sucesión de valores discretos preestablecidos según el código utilizado.

Durante el proceso de cuantificación se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras, obtenidas en el proceso de muestreo, y se les atribuye un valor finito (discreto) de amplitud, seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente fijado.

Este es un proceso irreversible que resulta en la distorsión de la señal

3. Codificación: cada valor discreto es representado como una secuencia de números binarios de  $n$  bits, mediante la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante códigos preestablecidos.

El siguiente diagrama ilustra los pasos explicados anteriormente:



### **3. Aplicaciones biomédicas**

El procesamiento de señales tiene una gran importancia en medicina. Está presente en las más modernas técnicas (TAC, escáner, etc..) para construir imágenes tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales.

También se utiliza el procesamiento de imágenes para su aplicación al estudio de imágenes de microscopio electrónico (estudio de células, etc).

Una de las primeras áreas en las que se comenzó a utilizar el procesamiento de señales fue en su aplicación al estudio de señales biomédicas (EEG, ECG, etc.)

#### **Electroencefalograma:**

La electroencefalografía (EEG) es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones (habitualmente hiperventilación y estimulación luminosa intermitente) mediante un equipo de electroencefalografía

En primer lugar, es necesario registrar la señal digitalmente. Por tanto no son válidos los viejos registros en papel. En su lugar, hoy en día, los electroencefalógrafos digitales han desplazado completamente a los analógicos.

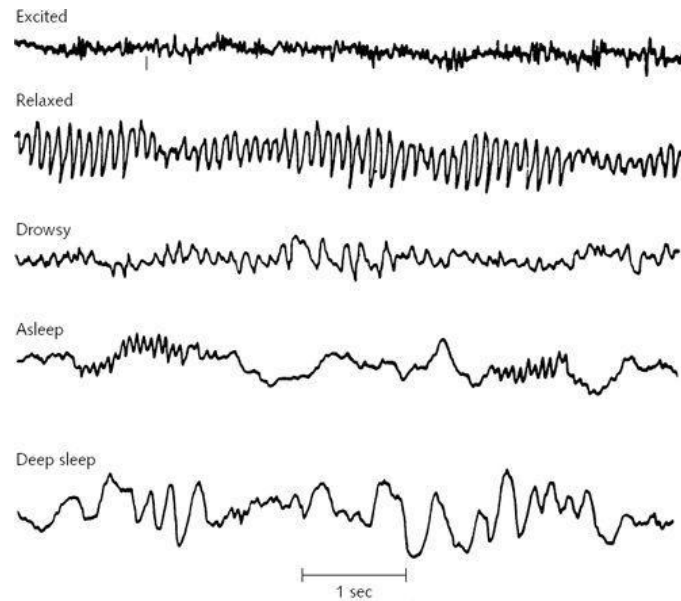
El primer aspecto a tener en cuenta es que permiten representar la señal en diferentes escalas y diferentes regiones a voluntad.

La aplicación de algunos métodos matemáticos como la transformada rápida de Fourier permiten ver las frecuencias activas en cada instante de tiempo. Por otro lado, se puede estudiar la evolución de bandas de frecuencia (regiones de varios Hz de ancho).

El EEG puede indicar enfermedades de origen cerebral, especialmente en fase sintomática como:

- Epilepsia
- Encefalopatía: cualquier enfermedad degenerativa del cerebro
- Coma
- Diagnóstico de muerte encefálica
- Tumores cerebrales y otras lesiones ocupantes de espacio
- Demencia
- Enfermedades degenerativas del sistema nervioso central
- Enfermedad cerebrovascular
- Traumatismo craneoencefálico
- Cefalea
- Vértigo
- Trastornos psiquiátricos

La siguiente grafica muestra los resultados típicos de un encefalograma bajo diferentes estados de alerta mental:



*Características de las señales de un electroencefalograma*

### Fonocardiograma:

La fonocardiografía es el registro de los sonidos cardiacos desarrollada para mejorar los resultados obtenidos con el estetoscopio acústico tradicional.

Mediante el fonocardiograma, las ondas sonoras procedentes del latido cardíaco pueden ser captadas, registradas, medidas y representadas gráficamente usando la instrumentación adecuada. El fonocardiograma permite documentar la temporización, intensidad relativa, frecuencia, calidad, tono, timbre y localización precisa de las diferentes componentes del sonido cardíaco, de una forma objetiva y repetible.

Es uno de los métodos más valiosos de la exploración cardiológica y a pesar de ser el oído humano un aparato prodigioso, es un instrumento muy pobre para la auscultación cardiaca debido a las características de los ruidos cardiacos.

La auscultación cardiaca debe hacerse con el estetoscopio explorador en la región precordial y saliéndose de ellas, para auscultar todas las regiones, las subclaviculares, la axila izquierda, el epigastrio, los vasos del cuello, y la cara posterior del tórax, especialmente en la región interescapular izquierda.

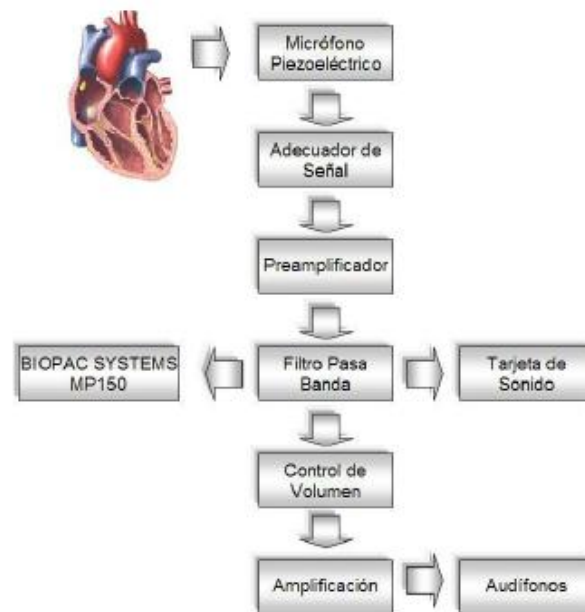
Durante el ciclo cardíaco el corazón vibra en su totalidad, provocando una onda acústica que se propaga a través de la pared torácica. La componente principal de la onda acústica es el ritmo cardíaco, pero además cada estructura del corazón mismo tiene una constitución particular con sus propias características biomecánicas:

Frecuencias naturales, elasticidad, amortiguamiento e impedancias mecánica y acústica.

Esto hace que, tanto la vibración del corazón, como la onda acústica que produce, abarquen un amplio espectro de frecuencias, que puede ir desde 1 Hz o menos hasta superar los 1500 Hz. La amplitud de la señal acústica está en torno a los 80 dB.

Para realizar un fonocardiograma se necesita un transductor que transforme la onda acústica en una señal eléctrica proporcional. Para ello se utiliza un micrófono piezoeléctrico.

Dado que la señal eléctrica obtenida suele tener amplitud muy baja, se realiza una etapa preamplificadora seguida de un filtrado activo para adecuar la señal en su espectro de frecuencia entre 10 - 100Hz respectivamente, y así de esta forma puede ser registrada y grabada en el computador.

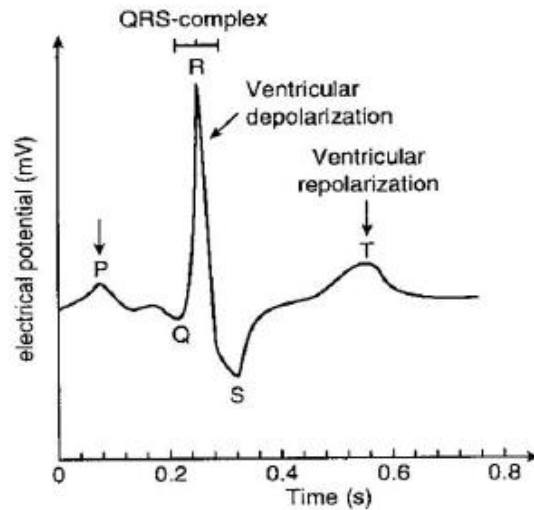


*Esquema de un fonocardiograma*

### Electrocardiograma (ECG):

Es un procedimiento de diagnóstico con el que se obtiene un registro de la actividad eléctrica del corazón. Es la técnica más usada para el estudio electrofisiológico del corazón, debido a que es un método no invasivo y permite registrar la actividad eléctrica del corazón desde la superficie del cuerpo humano. Desde sus inicios el ECG ha sido interpretado a partir de la morfología de las ondas y complejos que componen el ciclo cardíaco y de las mediciones de intervalos de tiempo entre las diferentes ondas, complejos y segmentos.

Las contracciones rítmicas del corazón están controladas por una serie ordenada de descargas eléctricas, mediante electrodos aplicados en varias regiones del cuerpo se puede obtener, tras amplificarlas, un registro de estas descargas eléctricas (transmitidas por los tejidos corporales desde el corazón hasta la piel): este registro se llama electrocardiograma.



*Registro de un electrocardiograma*

Otras aplicaciones médicas:

- El electromiograma (EMG): consiste en el registro mediante electrodos de los potenciales eléctricos que se producen en el músculo esquelético cuando éste se activa.
- El oculograma (EOG): mide la variación del potencial de reposo entre la córnea (positivo) y la parte posterior del ojo (negativo) en relación con los cambios de incidencia de la luz sobre la retina que se producen con los movimientos oculares.
- Potenciales Evocados (EP): son un método de monitoreo que evoca respuestas corticales a estímulos periféricos sensoriales. Por tanto al estimular un nervio sensorial periférico se transmitirá la señal hasta el centro de recepción central en la corteza sensorial primaria y analizando esta respuesta podemos evaluar la total integridad de la vía estimulada.

#### **4. Documentos de interés**

- Bruce, Eugene. Biomedical Signal processing and Signal modeling
- Proakis and Manolakis , Digital Signal processing, Prentice Hall, 3<sup>rd</sup> edition, 1996

#### **5. Referencias**

- Procesamiento de Señales IEA . 2009.  
[http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/signals/intro\\_senales.ppt](http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/signals/intro_senales.ppt)
- Señales Biológicas. Sofia UN, telemedicina, recursos.  
<http://www.sofia.unal.edu.co/access/content/group/60a9dc33/SE3ALES%20BIOL5GICAS/SeBiologicas.pdf>
- Wikipedia