



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería electrónica industrial y automática**

**Tecnología electrónica en ingeniería biomédica:  
sensores**

**Autor:**

**Del Brío García, Antonio**

**Tutora:**

**Pérez Barreiro, Cristina  
Departamento de Tecnología  
Electrónica**

**Valladolid, septiembre 2020.**



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



En la actualidad, con los grandes avances en la tecnología, ingeniería y ciencia de materiales, los sensores tienen un papel clave en todos los aspectos de la medicina; prevención, diagnóstico, monitorización de la enfermedad y del tratamiento.

En este trabajo fin de grado se expone las principales características, tipos y aplicaciones de estos sensores biomédicos.

He escogido este trabajo porque me parece muy interesante y a su vez muy importante la aplicación de sensores y sistemas electrónicos en la medicina ya que son de gran ayuda y, al fin y al cabo, mejoramos el cuidado de la salud de los seres humanos.

**Palabras clave:** Bioingeniería, instrumentación, biosensor, señales bioeléctricas, electrodo.



## Índice

---

1. INTRODUCCIÓN A LA BIOINGENIERÍA E INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.....	7
1.1. BIOINGENIERÍA.....	7
1.2. INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.....	8
1.2.1. CARACTERÍSTICAS.....	9
1.2.2. DISEÑO .....	10
2. SEÑALES BIOMÉDICAS .....	12
3. SENSORES BIOMÉDICOS .....	14
3.1. BIOSENSORES FÍSICOS .....	16
Sensor 17	
Aplicación .....	17
Rango de señal .....	17
3.1.1. LVDT .....	17
3.1.2. Acelerómetro.....	20
3.1.3. Sensor de presión miniatura .....	22
3.2. BIOSENSORES ELECTROQUÍMICOS.....	24
3.2.1. Sensores conductimétricos .....	24
3.2.2. Sensores potenciométricos .....	25
3.2.3. Sensores amperométricos .....	26
3.3. ELECTRODOS DE BIOPOTENCIALES.....	27
3.3.1. Electrocardiografía .....	29
3.3.2. Electromiografía .....	31
3.3.3. Electroencefalografía .....	32
3.3.4. Electroptigrama o electrooculograma.....	33
3.3.5. Electrorretinografía.....	34
3.3.6. Electrogastrografía.....	35



3.3.7. Reflejo galvánico en la piel.....	36
3.4. SENSORES ÓPTICOS.....	37
3.4.1. Fibra óptica .....	38
3.4.2. Espectroscopia.....	39
4. CONCLUSIONES .....	40
4.1. VENTAJAS .....	40
4.2. DESVENTAJAS.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	42
BIBLIOGRAFIA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS .....	43

## Índice de ilustraciones y tablas

Ilustración 1. Estructura de un sistema de Instrumentación Biomédica.....	8
Ilustración 2. Proceso de diseño de un instrumento biomédico .....	10
Ilustración 3. LVDT .....	18
Ilustración 4. Interior de un LVDT .....	18
Ilustración 5. Relación lineal de un LVDT .....	19
Ilustración 6. Acelerómetro piezoeléctrico .....	21
Ilustración 7. ACELERÓMETRO ACTIGRAPH wGT3X-BT. ....	22
Ilustración 8. ACELERÓMETRO ACTIGRAPH GT9X Link.....	22
Ilustración 9. EPB .....	23
Ilustración 10. TruStability™ RSC series.....	23
Ilustración 11. HTD .....	23
Ilustración 12. Número de publicaciones en sensores electroquímicos durante la pasada década. ....	26
Ilustración 13. Aplicación de electrocardiograma.....	29
Ilustración 14. Electrocardiógrafo SONOECG9600 Touch .....	30



Ilustración 15. Electrocardiógrafo SONOECG12000 .....	30
Ilustración 16. Electromiografía .....	31
Ilustración 17. Electroencefalografía.....	32
Ilustración 18. Movimiento ocular sacádico .....	33
Ilustración 19. Electroretinograma .....	34
Ilustración 20. Electrogastrograma .....	36
Ilustración 21. Reflejo galvánico de la piel .....	36
Ilustración 22. Endoscopio.....	38
Tabla 1. Rangos de frecuencia de algunas bioseñales.....	13
Tabla 2. Clasificación general de los biosensores. ....	15
Tabla 3. Biosensores físicos. ....	16
Tabla 4. Ejemplos de aplicación biomédica de los sensores físicos.....	17
Tabla 5. Señales bioeléctricas .....	27
Tabla 6. Aplicaciones de electrodos de potenciales .....	28

# 1. INTRODUCCIÓN A LA BIOINGENIERÍA E INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA

---

## 1.1. BIOINGENIERÍA

---

La bioingeniería o ingeniería biomédica es una rama multidisciplinar de la ingeniería relacionada de alguna manera al ámbito de la medicina y de la biología. Al ser de naturaleza multidisciplinar tiene que haber mucha comunicación entre especialistas de diferentes campos y compartir conocimientos y esfuerzos para conseguir unas metas comunes. Esta comunicación entre especialistas es muy importante, ya que, por ejemplo, el lenguaje de un ingeniero y el de un médico son muy diferentes y una buena comunicación entre ambos es de vital importancia. Por eso, el médico debe aprender la suficiente terminología de ingeniería y el ingeniero debe conocer algunas nociones sobre fisiología y anatomía.

La bioingeniería trabaja en diferentes áreas como son la investigación, desarrollo, implementación y operación.

Tiene diferentes disciplinas como son:

- Análisis médico y biológico.
- Dispositivos protésicos y órganos artificiales.
- Imágenes médicas.
- Biomecánica.
- Biomateriales.
- Biotecnología.
- Informática médica.
- Ingeniería clínica.
- Modelado, control y simulación de la fisiología.
- Instrumentación biomédica, en la cual se desarrollan los biosensores.

En este proyecto nos centraremos en los biosensores.

Ahora vamos a hacer una breve introducción de la instrumentación biomédica, ya que dentro de esta se encuentran los biosensores.

## 1.2. INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA

Un instrumento es un dispositivo capaz de medir el valor de la magnitud que se está tratando. La instrumentación biomédica es la ciencia que utiliza instrumentos para obtener información sobre magnitudes de los seres vivos.

La principal diferencia entre la instrumentación biomédica y cualquier otro tipo de instrumentación es que las señales a medir vienen de los seres vivos o de energía aplicada a estos. Otra diferencia de gran importancia es que en estos sensores, al trabajar con seres humanos, las especificaciones de seguridad y fiabilidad son mucho más exigentes, ya que un fallo podría producir daños para la salud de una persona.

Algunas consideraciones específicas de la instrumentación biomédica son las siguientes:

- Dificultad por acceder a variables por estar dentro del cuerpo.
- Dificultad al establecer el nivel de seguridad de la energía aplicada.
- Biocompatibilidad. Los aparatos médicos en contacto con el paciente no pueden ser tóxicas ni que produzcan ninguna reacción adversa sobre ellos.

La estructura de un sistema de este tipo de instrumentación es la mostrada en la Ilustración 1.

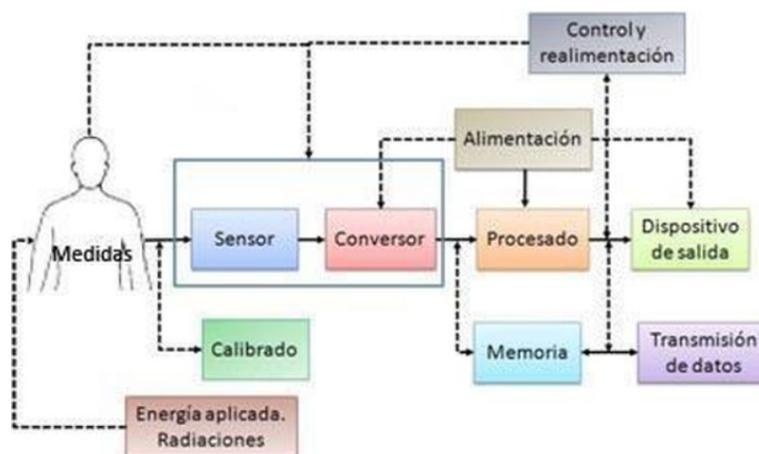


Ilustración 1. Estructura de un sistema de Instrumentación Biomédica



Vamos a describir los bloques más significativos de este diagrama:

- **Medida:** magnitud física que se está midiendo y de la cual queremos obtener información. Hay varios tipos de medidas médicas como pueden ser presión, flujo, dimensiones, desplazamientos, temperatura, concentraciones químicas, etc.
- **Sensor:** dispositivo que transforma la medida en una señal eléctrica, la cual se puede tratar mejor. Será en lo que nos centraremos en este trabajo.
- **Acondicionamiento de señal:** diferentes procesos, como pueden ser amplificación, filtrado o adaptación, que se hacen a la señal eléctrica proporcionada por el sensor para que el dispositivo de salida pueda mostrar el resultado de la medida. Normalmente, las señales que salen de los sensores se digitalizan y procesan con ordenadores.
- **Dispositivo de salida:** elemento que nos muestra el resultado de la medición a partir de gráficos, datos numéricos, sonidos, etc. La forma de representar el resultado depende del tipo de medida que se esté tratando y cómo el usuario vaya a utilizar la información.
- **Elementos auxiliares:** todos los bloques unidos con líneas discontinuas. Estos elementos pueden ser prescindibles del sistema.

### 1.2.1. CARACTERÍSTICAS

---

Los aparatos de instrumentación biomédica deben garantizar que:

- La medición no tiene que variar la magnitud que estamos midiendo.
- La medición no tiene que poner en peligro al paciente, hay que garantizar seguridad.
- Los equipos de instrumentación tienen que ser robustos, fiables y de fácil calibración.

Para ello los sensores deberán tener las siguientes características:

- **Exactitud:** mayor error entre el valor real y el medido. Responde a la siguiente ecuación:

$$Exactitud = \frac{valor\ real - valor\ medido}{valor\ real}$$

- **Precisión:** máximo error que se espera en la medida.
- **Repetitividad:** diferencia entre las salidas cuando se aplican las mismas entradas y en las mismas condiciones.
- **Resolución:** incremento más pequeño que puede medirse.
- **Control estático:** aseguran que cambios aleatorios en las medidas están dentro de un determinado rango que puede admitirse.
- **Sensibilidad:** relación entre los cambios en la salida y los cambios en la magnitud medida. Si la transferencia es lineal la sensibilidad es constante.
- **Desplazamiento del origen** (Offset).
- **Linealidad:** proximidad de la curva de calibración del equipo a una recta.

### 1.2.2. DISEÑO

Para diseñar un instrumento biomédico hay que tener en cuenta muchos factores que afectan a este diseño e imponen restricciones. Algunos de los principales factores que intervienen en el diseño de un aparato biomédico son los que se muestran en la ilustración 2.

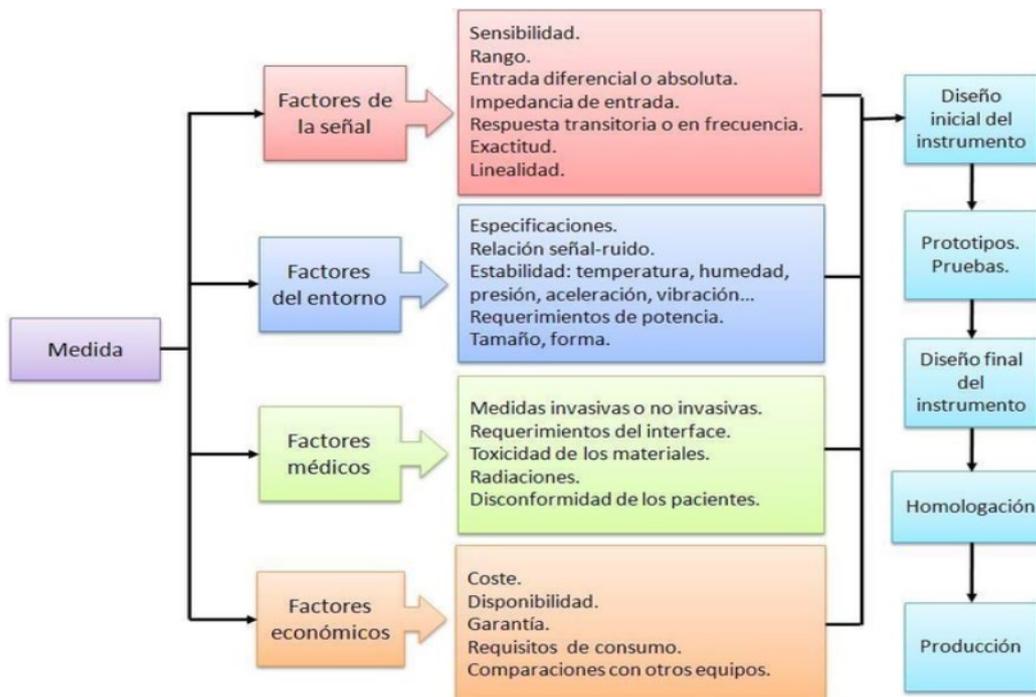


Ilustración 2. Proceso de diseño de un instrumento biomédico

El proceso de diseño de un instrumento biomédico tiene varias fases. A medida que se va avanzando en el desarrollo del aparato de medida se va necesitando más personal. En principio, las ideas originales de la creación de un instrumento surgen de personas que trabajan en los hospitales y clínicas que están tratando día a día con la medicina y ven las necesidades que hay. A su vez, ingenieros industriales y personal de mercado también pasan tiempo en los hospitales para ver el funcionamiento de sus dispositivos y viendo posibles mejoras.

Para realizar este estudio es necesario recibir indicaciones de pacientes, indicaciones del personal sanitario y tener las especificaciones necesarias para saber cómo, cuándo y por quién debe ser utilizado el dispositivo.

También hay que saber que tecnología utilizar, pensar en posibles mejoras o modificaciones en los componentes del instrumento, tener los sistemas necesarios para el análisis del proceso y una estimación del coste final del producto.

Una vez tengamos un estudio exhaustivo del equipo hay que diseñar un primer prototipo y probarlo para ver si cumple las características estudiadas. Es importante que el instrumento cumpla con las características de seguridad. Cuando hayamos probado el prototipo y se comprueba que se cumplen todas las características se puede diseñar el producto final.

Las especificaciones del producto deben incluir características de rendimiento, interfaz con el usuario, características físicas del dispositivo, etc.

Algunas de las especificaciones del sensor son:

- Medida.
- CMRR (relación de rechazo común).
- Rangos de funcionamiento.
- Tiempo de recuperación de sobrecarga.
- Aislamiento.
- Dimensiones físicas.
- Sensibilidad.
- Tiempo de respuesta.
- Respuesta en frecuencia.
- Especificaciones de procesado de la señal.



- Compensaciones o correcciones.
- Supresión del cero.
- Rango de salida.
- Filtrado.

## 2. SEÑALES BIOMÉDICAS

---

Como podemos ver en el esquema de la Ilustración 1, lo que le llega al sensor es una variación de una determinada magnitud. Este cambio pasa por el sensor para transformarla en una señal eléctrica, y después se trata para que esta señal pueda ser procesada y podamos sacar información de ella. Pues bien, las señales biomédicas son las cuales se extraen de un sistema biológico.

Los principales problemas de estas señales son:

- El nivel de la señal es muy bajo. El sensor debe ser muy sensible para captar bien la señal y desechar el ruido.
- El rango de frecuencia es muy bajo (como se ve en la Tabla 1).
- Variables con el tiempo y no determinísticas.
- Varían entre individuos y se exige una gran tolerancia.
- Es difícil aislar las señales de otras partes del sistema biológico. Si se está tratando un órgano específico no se pueden desconectar los de su alrededor y son fuentes de interferencias.

Debido a todos estos problemas, el sistema de adquisición de datos debe ser muy sofisticado para eliminar el ruido innecesario, amplificar la señal hasta un nivel adecuado, etc.



Bioseñal	Definición	Rango amplitud	Rango frecuencia
Electrocardiograma (ECG)	Actividad eléctrica cardiaca	0,5 – 4 mV	0,01 – 250 Hz
Electroencefalograma (EEG)	Actividad eléctrica cerebral	5 – 300 $\mu$ V	DC – 150 Hz
Electrogastrograma (EGG)	Actividad eléctrica gástrica	10 $\mu$ V – 1 mV	DC – 1 Hz
Electromiograma (ENG)	Actividad eléctrica muscular	0,1 – 5 mV	DC – 10 kHz
Electroneurograma (EMG)	Actividad eléctrica nerviosa	0,01 – 3 mV	DC – 1 kHz
Electrooculograma (EOG)	Potencial retina – córnea	50 – 3500 $\mu$ V	DC – 50 Hz
Electrorretinograma (ERG)	Actividad eléctrica de la retina	0 – 900 $\mu$ V	DC – 50 Hz
Fonocardiograma (PCG)	Sonidos cardiacos	80 dB (rango dinámico) 100 $\mu$ Pa (umbral)	5 – 2000 Hz
Flujo sanguíneo	Flujo sanguíneo	1 – 300 ml/s	DC – 20 Hz
Gasto cardiaco	Cantidad de sangre bombeada por el corazón en unidad de tiempo	4 – 25 litros/minuto	DC – 20 Hz
pH sanguíneo	Medida de pH en sangre	6,8 – 7,8 unid. pH	DC – 2 Hz
Plestitimografía	Medida de cambios de volumen	Depende del órgano medido	DC – 30 Hz
Pneumotacografía	Medida del flujo respiratorio	0 – 600 litros/minuto	DC – 40 Hz
Potencial acción	Potencial característico de diferentes tipos de células	100 mV	2 kHz
Potenciales evocados (EP)	Respuestas cerebrales evocadas por estímulos sensoriales	0,1 – 10 $\mu$ V	0,5 – 3 kHz
Presión arterial	Presión sanguínea arterial	10 – 400 mm Hg	DC – 50 Hz
Presión venosa	Presión sanguínea venosa	0 – 50 mm Hg	DC – 50 Hz
Respuesta galvánica de la piel (GSR)	Potencial generado por la actividad de las glándulas sudoríparas de la mano	1 – 500 k $\Omega$	0,01 – 1 Hz

Tabla 1. Rangos de frecuencia de algunas bioseñales.

### 3. SENSORES BIOMÉDICOS

---

Los sensores biomédicos captan señales biomédicas, como puede ser la presión de la sangre, y las transforma en señales eléctricas más fácilmente de tratar y representar. Sirven de interfaz entre el sistema biológico y el electrónico.

Estos sensores se pueden clasificar según diferentes parámetros:

- Según el principio de funcionamiento:
  - Activos.
  - Pasivos.
- Según el tipo de señal eléctrica que generan:
  - Digitales.
  - Analógicos.
  - Temporales.
- Según el rango de valores que proporcionan:
  - Todo o nada.
  - De medida.
- Según el nivel de integración:
  - Discretos.
  - Integrados.
  - Inteligentes.
- Según como son aplicados al paciente:
  - No invasivos sin contacto con la superficie de la piel.
  - No invasivos en contacto con la piel.
  - Mínimamente invasivos.
  - Implantables, invasivos.



La clasificación general de los biosensores se muestra, a continuación, en la Tabla 2.

<b>Sensores físicos</b>	Geométricos Mecánicos Térmicos Hidráulicos Eléctricos Eléctricos Ópticos
<b>Sensores químicos</b>	Gaseosos Electroquímicos Fotométricos Otros métodos químico-físicos

*Tabla 2. Clasificación general de los biosensores.*

Como podemos ver en la Tabla 2 todos los sensores se pueden clasificar en sensores físicos y químicos.

Los sensores físicos son los que miden magnitudes como pueden ser la presión sanguínea, la temperatura corporal o el desplazamiento de un músculo. Dentro de estos cabe destacar dos tipos:

- **Eléctricos**, denominados electrodos. Los más usuales son los que se usan para obtener electrocardiogramas a partir de una señal eléctrica producida en el corazón.
- **Ópticos**, también son usados en muchas aplicaciones de la medicina. Utilizan la luz para obtener cierta información e incluso, en el caso de la fibra óptica, la luz es el medio de transmisión de la señal.

Los veremos con especial atención más adelante.



Los sensores químicos miden la concentración de una sustancia química en el cuerpo, como pueden ser medidas en el sistema pulmonar a partir de una fase gaseosa.

### 3.1. BIOSENSORES FÍSICOS

Dentro de los biosensores físicos podemos clasificarlos como se muestra en la Tabla 3.

Magnitud física	Sensor	Variable
Geométrica	Indicador de estiramiento LVDT	Estiramiento Desplazamiento
	Tiempo de tránsito ultrasónico	Desplazamiento
Cinemática	Velocímetro	Velocidad
	Acelerómetro	Aceleración
Fuerza – torque Flujo	Célula de carga	Fuerza aplicada
	Transductor de presión	Presión
	Medidor de flujo	Flujo
Térmica	Termómetro	Temperatura
	Sensor de flujo térmico	Flujo calorífico

Tabla 3. Biosensores físicos.

En la Tabla 4 podemos ver algunos ejemplos de aplicación biomédica de los sensores físicos.

Sensor	Aplicación	Rango de señal
Indicador de estiramiento de metal líquido	Movimiento respiratorio	0 – 0,05
	Pletismografía	0 – 0,02
Sensor magnético de desplazamiento	Movimiento respiratorio	0 – 10 mm
LVDT	Contratación muscular	0 - 20 mm
	Sensor de contracción uterina	0,5 mm
Célula de carga	Escala electrónica	0 – 440 lbs (0 – 200 kg)
Acelerómetro	Actividad del sujeto	0 – 20 m/s <sup>2</sup>
Sensor de presión miniatura	Presión intra-arterial	0 – 50 Pa (0 – 350 mm Hg)
	Presión de la vejiga	0 – 10 Pa (0 - 70 mm Hg)
	Presión intrauterina	0 – 15 Pa (0 – 100mm Hg)
Sensor electromagnético de flujo	Gasto cardiaco	0 – 500 ml/min
	Flujo sanguíneo de un órgano	0 – 100 ml/min

Tabla 4. Ejemplos de aplicación biomédica de los sensores físicos.

A continuación, vamos a entrar más en detalle dentro de algunos de estos sensores.

### 3.1.1.LVDT

Los sensores de desplazamiento inductivos LVDT (Ilustración 3) se basan en el movimiento de un núcleo en el interior del sensor en el que están enrolladas unas bobinas. Básicamente son un transformador con núcleo móvil y lo que miden es el desplazamiento de este núcleo y nos da una salida de corriente alterna proporcional a este desplazamiento.



Ilustración 3. LVDT

### Funcionamiento:

Como se muestra en la Ilustración 4, el LVDT tiene tres bobinas alrededor de una barra. La bobina  $L_1$  es el devanado primario y las dos bobinas  $L_2$  los secundarios. El cilindro que rodea la barra central es un núcleo ferromagnético que es el que se va moviendo y del que se mide el desplazamiento.

Cuando se aplica una corriente alterna al primario induce una tensión a los secundarios proporcional a la inductancia mutua con el primario. La frecuencia en la corriente alterna de entrada está en el rango de 1 a 10 kHz.

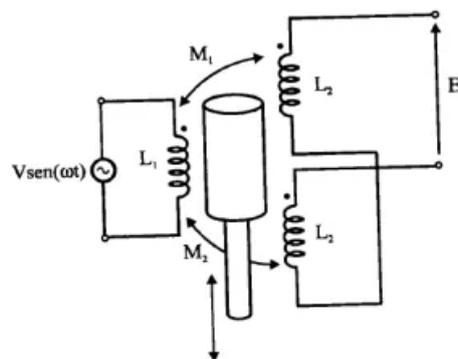


Ilustración 4. Interior de un LVDT

A medida que el núcleo se va moviendo la inductancia mutua va cambiando y hace que el voltaje de salida cambie. Las bobinas en el secundario están conectadas en serie pero invertidas, con lo que conseguimos que la tensión de

salida sea la resta entre los dos secundarios. Cuando el núcleo está justo en el centro, el voltaje de salida es cero.

De esta manera conseguimos que cuando el núcleo se mueve en una dirección el voltaje de salida sea positivo y cuando se mueve en la otra, el voltaje sea negativo.

El LVDT responde a una relación lineal entre el desplazamiento y la tensión alterna de salida como se muestra en la Ilustración 5.

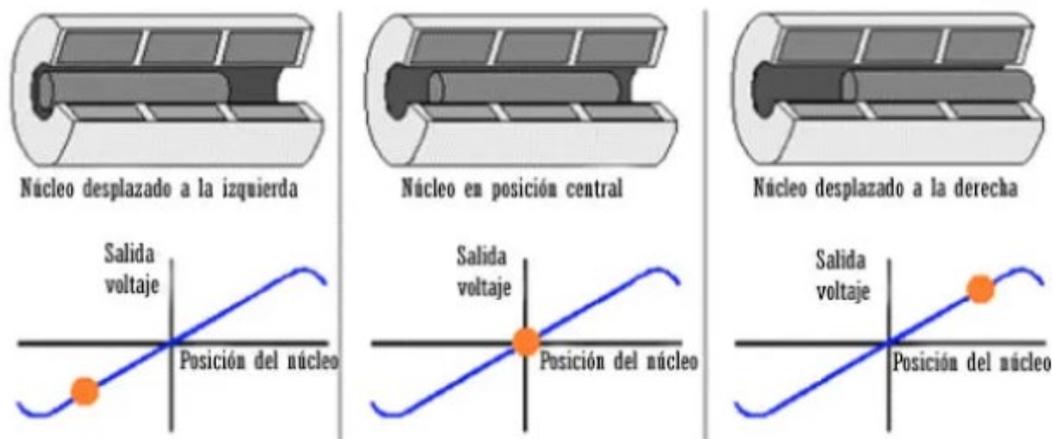


Ilustración 5. Relación lineal de un LVDT

### Ventajas:

- Elevada precisión
- Insensible a interferencias
- No necesita el contacto, rozamiento del núcleo muy bajo
- Resolución muy alta
- Repetitividad alta
- Elevada linealidad
- Consumo de potencia bajo, aproximadamente de 1 W
- Vida útil larga
- Robusto
- Fácil instalación
- Resistencia a las adversidades ambientales

### Desventajas:

- Sensible a los campos magnéticos dispersos, requiere de protección contra ellos
- Sensible a las vibraciones y a la temperatura

### Aplicaciones en medicina:

- Contracción muscular (0-20 mm)
- Contracción uterina (0.5 mm)

### 3.1.2. Acelerómetro

---

Un acelerómetro es un sensor que mide la vibración del movimiento del centro de masas de un cuerpo.

Hay varios tipos de acelerómetros, que son:

- Capacitivos.
- Mecánicos.
- Térmicos.
- Piezoresistivos.
- Piezoeléctricos .

Los más utilizados en la industria son estos últimos, los piezoeléctricos.

### Funcionamiento:

El funcionamiento del acelerómetro depende del tipo del que sea, pero todos tienen en común que miden el desplazamiento de placas, resortes, etc.

Más concretamente, el funcionamiento del acelerómetro piezoeléctrico se basa en la deformación de un cristal del cual cambian sus características eléctricas.

La composición de este sensor se representa en la Ilustración 6.

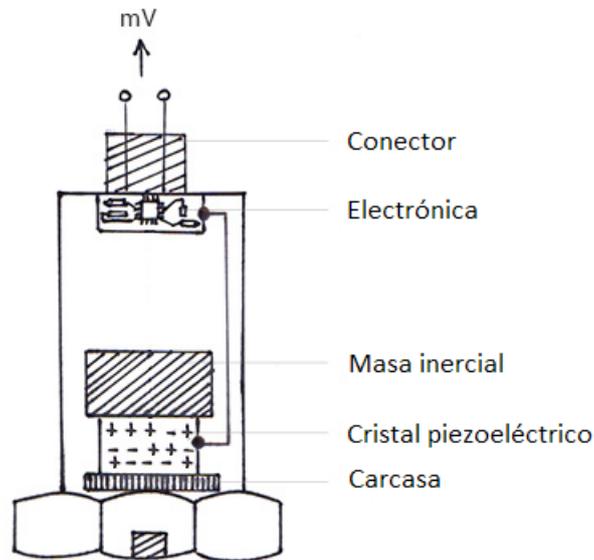


Ilustración 6. Acelerómetro piezoeléctrico

Cuando el sensor está sometido a vibraciones la masa que está sobre el cristal piezoeléctrico lo deforma y al deformarlo genera una carga eléctrica. Esta es transferida a un circuito electrónico que se encarga de medir esta vibración (deformación) y transforma la carga eléctrica en un voltaje, que sale por el conector.

### Aplicaciones:

Una de las aplicaciones del acelerómetro es para medir la actividad física en toda una serie de poblaciones, como pueden ser ancianos, adolescentes, sedentarios, niños, enfermos, etc. En definitiva, sirve para controlar los niveles de ejercicio físico de los distintos tipos de población.

### Algunos modelos:

- ActiGraph wGT3X-BT (Ilustración 7): acelerómetro que te proporciona medidas de actividad física y valoración del sueño. Para proporcionar los datos utiliza la comunicación por bluetooth o USB.



Ilustración 7. ACELERÓMETRO ACTIGRAPH wGT3X-BT.

- ActiGraph GT9X Link (Ilustración 8): monitor de actividad muy sofisticado que contiene dos acelerómetros, giroscopio y sensores magnetómetros.



Ilustración 8. ACELERÓMETRO ACTIGRAPH GT9X Link.

### 3.1.3. Sensor de presión miniatura

---

Los sensores de presión miniatura son sensores de presión muy pequeños donde es de vital importancia el tamaño. En nuestro caso que el campo donde se va a aplicar es el de la medicina, este tipo de sensores es muy adecuado, ya que en muchas aplicaciones es necesario introducir el sensor en el interior del cuerpo.

#### Ventajas:

- Tamaño y peso muy reducido.
- Muy robusto.
- Distorsión de la señal nula.
- Estabilidad alta.
- Respuesta rápida.

### Algunos modelos:

- **EPB** (Ilustración 9): sensor de presión miniatura de acero inoxidable, de montaje empotrado.
  - Rango de medida: 0 – 5000 psi (0 – 350 bar)
  - Tensión de salida: 10 – 75 mV



Ilustración 9. EPB

- **TruStability™ RSC series** (Ilustración 10): sensores de presión para aplicaciones en equipos de anestesia, dispositivos respiratorios y dispositivos de la apnea del sueño.
  - Rango de medida:  $\pm 0.5 - \pm 150$  psi (0 - 10 bar)
  - Tensión de alimentación: 2.7 – 6 V
  - Rango de temperatura de operación: -40 – 85 °C



Ilustración 10. TruStability™ RSC series.

- **HTD** (Ilustración 11): sensor piezorresistivo de presión diferencial.
  - Rango de medida: 1 mbar – 10 bar
  - Interfaz digital y salida de tensión analógica



Ilustración 11. HTD

## 3.2. BIOSENSORES ELECTROQUÍMICOS

---

Los sensores electroquímicos son los más utilizados en medicina dentro de los sensores químicos. Son aparatos muy sencillos que no necesitan dispositivos de medida muy avanzados. Utilizan instrumentos muy comunes como son los potenciómetros y potencióstatos.

Estos sensores son muy pequeños, facilitando así las medidas en zonas reducidas.

También son dispositivos de coste muy barato y se pueden fabricar grandes lotes en poco tiempo.

Los biorreceptores que se pueden inmovilizar sobre sensores electroquímicos son:

- Anticuerpos
- Ácidos nucleicos
- Microorganismos
- Tejidos orgánicos
- Enzimas

Dentro de los sensores electroquímicos se pueden diferenciar tres tipos:

- Sensores conductimétricos.
- Sensores potenciométricos.
- Sensores amperométricos.

### 3.2.1. Sensores conductimétricos

---

Estos sensores se caracterizan por medir los cambios en la conductividad (o alguna propiedad relacionada) ocasionados por el analito, ya sea en la solución de medida o en la membrana selectiva o incluso se puede llegar a medir en el propio analito.

La conductividad se puede calcular gracias a la siguiente ecuación:

$$\Lambda = \frac{k}{C}$$

k: conductividad específica ( $\text{S cm}^{-1}$ ).

C: concentración de iones ( $\text{mol cm}^{-3}$ ).

En el funcionamiento de este tipo de sensores las medidas de resistividad son en corriente continua pero si se quiere registrar medidas de impedancia se debe usar corriente alterna. Estas últimas medidas se utilizan para caracterizar algunos líquidos y superficies de electrodos modificadas.

La configuración de estos sensores se basa en dos electrodos, en general fabricados de algún metal noble, como el oro, con la posibilidad de detectar cambios de concentración del ácido sulfhídrico, o como el platino, paladio o rutenio, que se utilizan para la detección de hidrógeno.

Otra manera en la que se han fabricado sensores conductimétricos ha sido mediante la variación de electrodos con material biológico atrapado en polímeros conductores.

### 3.2.2. Sensores potenciométricos

---

El funcionamiento de los biosensores potenciométricos se basa en medir una diferencia de potencial en condiciones de circuito abierto entre un electrodo de trabajo y uno de referencia. Esta diferencia de potencial responde a la ecuación de Nernst:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln(a_i + \sum_{i,j} k_{i,j}^{pot} \cdot a_j^{z_i/z_j})$$

$a_i$ : actividad del ion principal

$a_j$ : actividad del ion interferente

$Z_i$  y  $Z_j$ : cargas de los iones principal e interferente

$k_{i,j}^{pot}$ : coeficiente de selectividad

Este tipo de biosensores electroquímicos son los más avanzados durante los últimos diez años, como podemos ver en la Ilustración 12. El origen de los sensores químicos fue a principios del siglo XX con la fabricación del electrodo de vidrio, uno de los sensores potenciométricos más usados.

Las aplicaciones de estos sensores son la fabricación de transistores de efecto de campo sensibles a iones (ISFET's) y su modificación con membranas selectivas (CHEMFET's) pero, sobre todo, en la fabricación de electrodos selectivos de iones

(ISE's), en los cuales se modifica el electrodo de trabajo con una membrana selectiva de un ión.

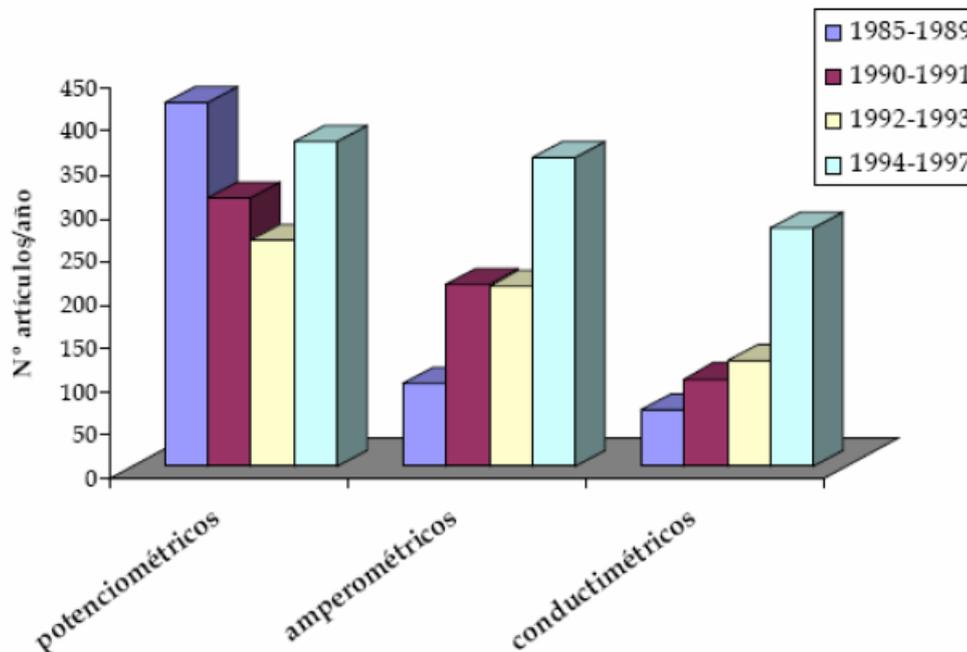


Ilustración 12. Número de publicaciones en sensores electroquímicos durante la pasada década.

### 3.2.3. Sensores amperométricos

El funcionamiento de los sensores amperométricos consiste en aplicar un potencial constante a un electrodo de trabajo, normalmente de platino, oro o grafito, respecto a un electrodo de referencia. En gran parte de estos sensores, hace falta un tercer electrodo llamado auxiliar para completar la celda electroquímica.

Estos transductores se fundamentan en una relación entre la concentración de una determinada especie electroactiva y la intensidad eléctrica que hay al oxidarse la superficie de un electrodo polarizado. Esta relación se basa en la Ley de Fick:

$$I = nFAD_0 \frac{\delta(C_0(o, t))}{\delta x}$$

A: área del electrodo de trabajo

D<sub>0</sub>: coeficiente de difusión

$C_0$ : concentración del analito

x: distancia de la doble capa

Los sensores amperométricos son los que más se han desarrollado debido a su gran aplicación en el ámbito del análisis médico. Donde más se utilizan son en biosensores para medidas en sangre y suero.

### 3.3. ELECTRODOS DE BIOPOTENCIALES

Los electrodos de potenciales son los biosensores más utilizados en medicina y lo que detectan son las actividades eléctricas asociadas a los sistemas biológicos, como puede ser un campo eléctrico constante, un flujo de partículas portadoras de carga, etc.

En la Tabla 5 se muestran las señales bioeléctricas detectadas por este tipo de sensores.

Señal bioeléctrica	Abreviatura	Fuente biológica
Electrocardiograma	ECG	Corazón - desde la superficie del cuerpo
Electrograma cardiaco	-	Corazón – desde dentro
Electromiograma	EMG	Músculo
Electroencefalograma	EEG	Cerebro
Electroptigrama	EOG	Campo dipolar del ojo
Electroretinograma	ERG	Retina del ojo
Potencial de acción	-	Nervio o músculo
Electrogastrograma	EKG	Estómago
Reflejo galvánico en la piel	GSR	Piel

Tabla 5. Señales bioeléctricas

Hay muchas aplicaciones para este tipo de sensores. Algunas de ellas se muestran en la Tabla 6.

Aplicación	Biopotencial	Tipo electrodo
Monitorización cardiaca	ECG	Ag/AgCl con esponja
		Ag/AgCl con hidrogel
Monitorización cardiopulmonar de niños	Impedancia de ECG	Ag/AgCl con esponja
		Ag/AgCl con hidrogel
		Película delgada
Encefalografía	EEG	Ag/AgCl
		Electrodos activos
Diagnóstico de la actividad muscular	EMG	Aguja
Electrogramas cardiacos	Electrograma	Sonda intracardiaca
Telemetría implantada	ECG	Presilla de acero inoxidable
Biopotenciales	EMG	Discos de platino
Movimiento de los ojos	EOG	Ag/AgCl con hidrogel

Tabla 6. Aplicaciones de electrodos de potenciales

Vamos a ver más detalladamente algunas de estas técnicas.

### 3.3.1. Electrocardiografía

---

Un electrocardiograma (ECG) es una técnica para medir la actividad eléctrica del corazón. Se obtiene desde la superficie corporal con un aparato electrónico llamado electrocardiógrafo (Ilustración 13) a través de electrodos colocados en las extremidades y en varias posiciones en el tórax. El procedimiento suele durar únicamente unos tres minutos.



*Ilustración 13. Aplicación de electrocardiograma*

El electrocardiograma se utiliza para detectar enfermedades del corazón como pueden ser:

- Arritmia: latidos irregulares
- Obstrucción arterial
- Daño al corazón
- Insuficiencia cardiaca
- Ataque al corazón.

Algunos modelos de electrocardiógrafos:

- SONOECG9600 Touch (Ilustración 14): electrocardiógrafo digital con seis canales controlado por un microprocesador.



*Ilustración 14. Electrocardiógrafo SONOECG9600 Touch*

- SONOECG12000 (Ilustración 15): electrocardiógrafo con 12 canales que puede trabajar en modo manual y automático. Tiene una pantalla LCD de 20.32 cm/ 8 pulgadas.



*Ilustración 15. Electrocardiógrafo SONOECG12000*

### 3.3.2. Electromiografía

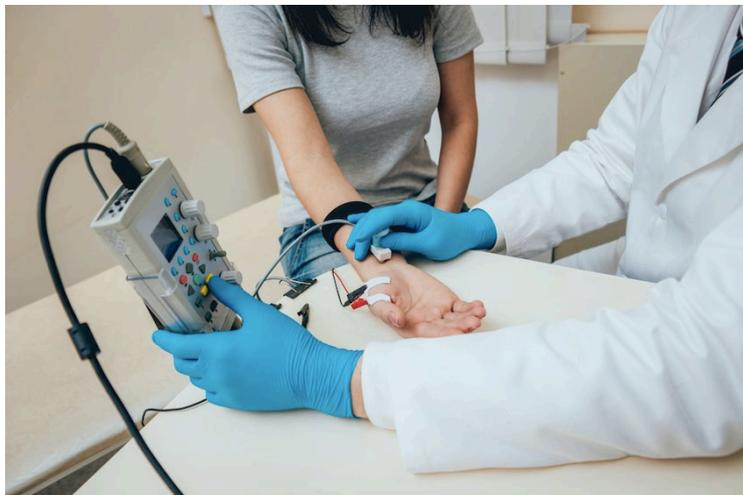
---

La electromiografía (EMG) se utiliza para examinar el funcionamiento del sistema nervioso de los seres humanos y ver la posible existencia de una enfermedad neurológica y/o muscular. Algunas de estas enfermedades son:

- Neuropatía:
- Radiculopatía:
- Miopatía:
- Distrofia muscular:

Para realizar la prueba se colocan unos electrodos por el cuerpo que provocaran unas pequeñas descargas eléctricas para que los músculos se contraigan. La información la recibe un osciloscopio que después será procesada por un neurólogo.

El electromiograma se puede hacer en cualquier parte del cuerpo: manos, brazos, piernas, zona lumbar, etc.



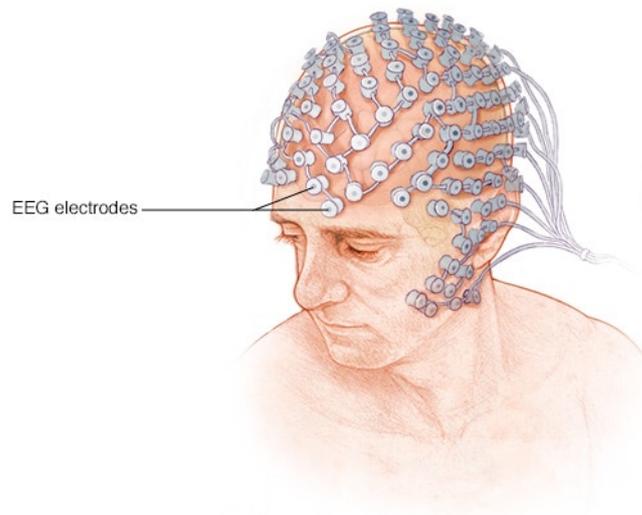
*Ilustración 16. Electromiografía*

### 3.3.3. Electroencefalografía

---

La electroencefalografía (EEG) es una técnica que se utiliza para analizar la actividad eléctrica del cerebro gracias a unos pequeños electrodos que se colocan sobre la cabeza. Estos electrodos (Ilustración 17) lo que captan son impulsos eléctricos que emite el cerebro y se representan en un registro electroencefalográfico en forma de líneas onduladas. Gracias a esta técnica podemos detectar varios trastornos cerebrales que son los siguientes:

- Epilepsia: aumento de la actividad eléctrica de las neuronas en el cerebro.
- Tumor cerebral.
- Daños cerebrales por lesiones en la cabeza.
- Encefalopatía: pérdida de la función cerebral.
- Encefalitis: inflamación del cerebro.
- Accidente cerebrovascular.
- Trastornos del sueño.



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

*Ilustración 17. Electroencefalografía*

### 3.3.4. Electroptigrama o electrooculograma

El electrooculograma (EOG) es un estudio que se basa en la colocación de unos pequeños electrodos cerca de los ojos para medir su movimiento.

Una persona en sus ojos tiene, en condiciones normales, una diferencia de potencial de 0,4 a 5 mV entre la córnea y la membrana de Bruch que está en la parte superior del ojo. Este pequeño voltaje es registrado mediante los electrodos colocados cerca del ojo.

Hay varios tipos de movimientos oculares pero el que más se analiza en este estudio es el llamado movimiento sacádico, que es el que se produce cuando hay un movimiento rápido de los ojos al enfocar un objeto.

En la Ilustración 18 podemos ver como al hacer un movimiento de  $30^\circ$  en los ojos se produce un determinado voltaje y al hacer un movimiento de  $-15^\circ$  se produce otro voltaje distinto.

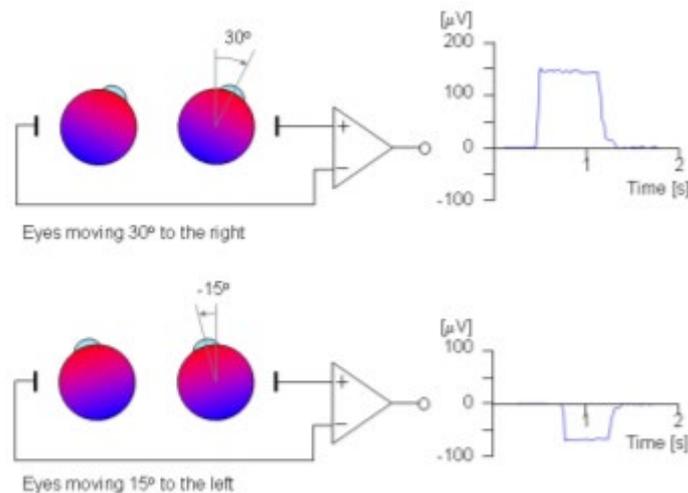


Ilustración 18. Movimiento ocular sacádico

Este examen es útil para los siguientes diagnósticos con las respectivas enfermedades que pueden detectar:

- Diagnóstico de distrofias del Epitelio Pigmentario Retinal:
  - Enfermedad de Best
  - Enfermedad de Stargardt

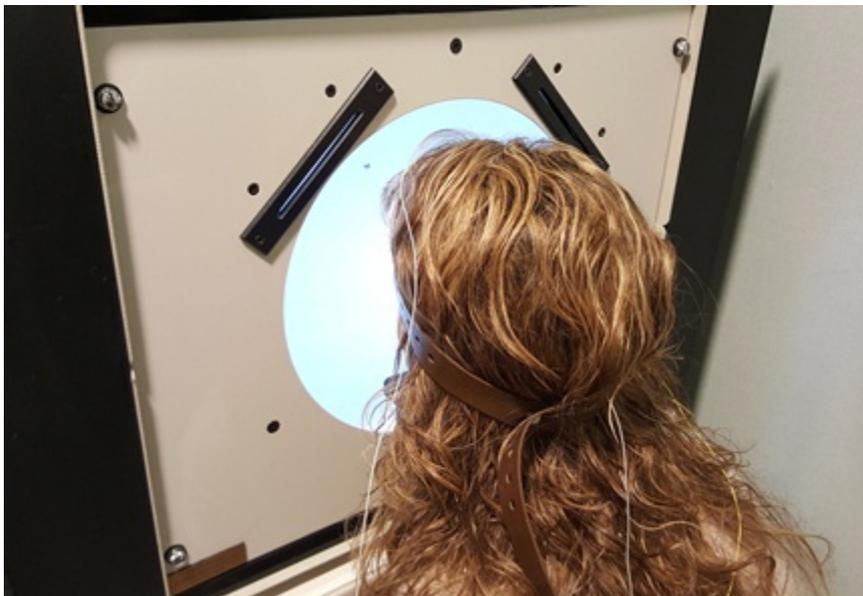
- Diagnóstico precoz de toxicidad retiniana por medicamentos.
- Diagnóstico de enfermedades relacionadas con la alteración del sueño:
  - Narcolepsia
  - Síndrome de apneas obstructivas durante el sueño
  - Trastorno de conducta durante el sueño REM

### 3.3.5. Electroretinografía

---

El electroretinograma (ERG) nos mide la respuesta eléctrica de la retina del ojo cuando hay mucha luz cuando hay poca.

Este estudio o prueba del ojo se realiza colocando dos electrodos debajo de los ojos y otros dos en el vértice del ojo, y ponemos al paciente frente a una pantalla como vemos en la Ilustración 19.



*Ilustración 19. Electroretinograma*

Una vez están colocados los electrodos y el paciente está frente a la pantalla con los ojos abiertos se le hacen unas fotografías con estímulos de luz. Después el paciente debe estar unos veinte minutos a oscuras y después repetir el proceso.

Los trastornos o enfermedades que se pueden detectar con esta técnica son los siguientes:

- Distrofias de conos y bastones, que son células del ojo sensibles a la luz
- Distrofias coriorretinianas
- Enfermedades inflamatorias
- Retinosis pigmentaria
- Obstrucción de la arteria y de la vena de la retina
- Retinopatía diabética
- Desprendimiento de retina
- Ceguera nocturna
- Alteración de la visión de los colores
- Toxicidad por fármacos como el etambutol, antipalúdicos, antiepilépticos como la vigabatrina.

### 3.3.6. Electrogastrografía

La electrogastrografía de superficie (EGG) es una técnica que evalúa la actividad eléctrica gástrica. Para realizar esta prueba colocamos al paciente unos electrodos sobre la tripa, sobre el estómago. Gracias a estos electrodos se registran las ondas lentas emitidas por las células intersticiales de Cajal, que son células marcapasos del tracto gastrointestinal. La frecuencia normal de estas ondas gástricas en una persona es de aproximadamente 3 ciclos por minuto, con rango de 2,4 – 3,7. Si superas o no llegas a este límite se distinguen dos enfermedades:

- Bradigastria: cuando el rango es de 0,5 – 2,3 cpm
- Taquigastria: cuando el rango es de 3,8 – 10 cpm

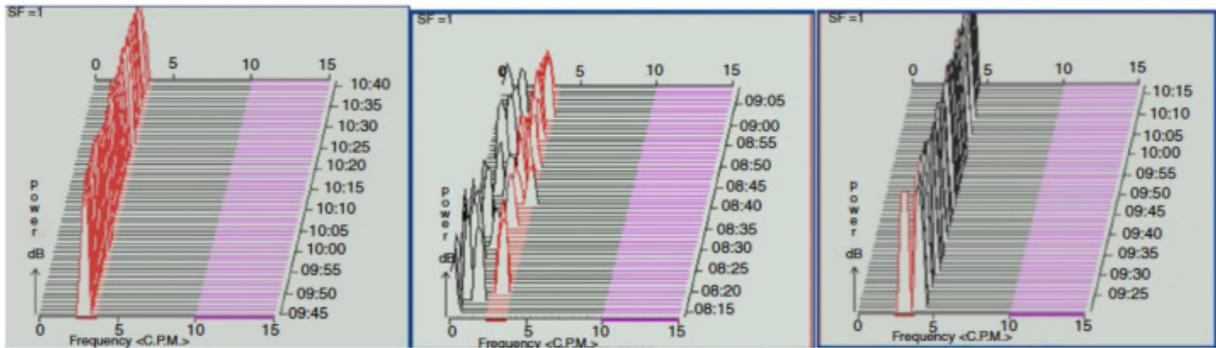


Ilustración 20. Electrocardiograma

En la Ilustración 20 se muestra el electrocardiograma de una persona con ritmos normales, con bradigastia y con taquigastia, respectivamente.

### 3.3.7. Reflejo galvánico en la piel

El reflejo galvánico de la piel (GSR), también conocido como actividad electrodérmica (EDA) o conductancia de la piel (SC) es el estudio que mide las variaciones de las características eléctricas de la piel.

La prueba consiste en colocar al paciente dos electrodos en la mano, en el segundo y tercer dedo, como se muestra en la Ilustración 21. A través de estos dos electrodos se aplica una corriente de poca tensión para medir la actividad electrodérmica.



Ilustración 21. Reflejo galvánico de la piel

Este estudio se basa en la suposición de que la resistencia de la piel cambia con el estado de las glándulas sudoríparas. La actividad de estas glándulas está controlada por el sistema nervioso autónomo (SNA). Cuando el sistema nervioso está muy alterado, la actividad de las glándulas sudoríparas también varía, lo cual varía también la conductancia de la piel.

Algunos estados mentales que se detectan gracias a esta técnica son:

- Estrés
- Cansancio
- Compromiso

Esta técnica es en la que se basa el polígrafo, más conocido como detector de mentiras.

En la actualidad, con el avance de la tecnología se han diseñado dispositivos comerciales más portátiles como brazaletes o relojes basados en esta técnica.

### 3.4. SENSORES ÓPTICOS

---

El funcionamiento de un sensor óptico se basa en la emisión y recepción de luz. En el emisor y receptor hay unas pequeñas lentes ópticas que se encargan de centralizar el haz de luz. En la mayoría de los dispositivos trabajan por reflexión de luz, es decir, el emisor emite luz y si esta choca contra un objeto y es reflejada, el receptor lo detecta.

Algunas de las características más importantes de estos tipos de sensores son las siguientes:

- Inmunidad a la interferencia electromagnética.
- Medidas no destructivas.
- Posibilidad de ser usados en entornos destructivos.
- Existencia y control de peligros de la señal óptica.
- Resolución y sensibilidad altas.
- Dimensiones y pesos bajos.

### 3.4.1. Fibra óptica

---

El dispositivo más usado para los sensores ópticos hoy en día es la fibra óptica, que es un dispositivo con simetría cilíndrica por el que se conduce la luz a través de actos sucesivos de reflexión total interna. Este fenómeno consiste en incidir un rayo de luz sobre la superficie de un medio de índice de refracción  $n_2$  menor que el índice  $n_1$  en el que se encuentra dicho rayo, de tal manera que se retracta y no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose totalmente. Solo se produce para ángulos superiores al ángulo crítico de incidencia.



*Ilustración 22. Endoscopio.*

Una de las aplicaciones de la fibra óptica es utilizarla como un sensor que traduce la variación de una magnitud física o química en una señal óptica.

Estos sensores de fibra óptica también están dentro del ámbito de la medicina. Estas fibras muy finas y flexibles se introducen en el cuerpo humano a través de orificios naturales o a través de incisiones, y dirigiéndolas por el interior de los conductos del cuerpo los médicos pueden ver partes como pueden ser los pliegues intestinales, las cavidades del corazón y muchos más lugares del cuerpo a los que es muy difícil de acceder. El equipo que emitiendo luz permiten visualizar las cavidades internas del organismo se denomina endoscopio, que podemos ver en la Ilustración 22. También gracias a la fibra óptica los cirujanos pueden evitar ejecutar técnicas agresivas que puedan dañar algún tejido del paciente dirigiendo un haz laser para acceder a la zona enferma.



### 3.4.2. Espectroscopia

---

La espectroscopia de infrarrojo o NIRS es un diagnóstico óptico no invasivo que utiliza un haz de luz que al chocar con material biológico produce una radiación electromagnética en forma de ondas de 750 a 2600 nm de longitud dentro del espectro más próximo al infrarrojo, lo que permite introducirse dentro de una muestra y ser reflejada. Esta técnica lo que hace es utilizar la reflexión de una determinada longitud de onda emitida por los diferentes tejidos. La onda que se refleja es analizada y de ella se saca información como puede ser la geometría del objeto, tamaño, distribución o composición. En el ámbito de la medicina, este método proporciona información en tiempo real de la saturación de oxígeno y el índice de oxigenación en cualquier tejido. También es útil para la identificación de procesos de isquemia, medición de flujos sanguíneos, detección de tumores y la determinación de la vascularización de extremidades, entre otras.

## 4. CONCLUSIONES

---

En la actualidad, la biomedicina ha crecido mucho ya que la tecnología ha ido avanzando y gracias a ella se han ido creando nuevos dispositivos y biosensores que permiten obtener información sanitaria que no se puede obtener de otra manera. A lo largo de este proyecto hemos podido ver algunas nociones de lo que es la bioingeniería y la instrumentación biomédica, donde se desarrollan los sensores biomédicos. También hemos analizado y estudiado los diferentes tipos de sensores según la variable que estemos midiendo y, con más en detalle, los más utilizados en medicina. De cada uno de estos sensores, hemos analizado su funcionamiento, sus ventajas y desventajas y sus aplicaciones dentro del ámbito médico. Este trabajo me ha ayudado a ver lo importante que es la electrónica en el campo de la sanidad hoy en día, ya que sin todos estos dispositivos biomédicos no se podrían detectar numerosas patologías que gracias a ellos sí podemos.

Para finalizar, vamos a ver una serie de ventajas y desventajas de la utilización de estos dispositivos biomédicos.

### 4.1. VENTAJAS

---

- Unir la medicina al estudio, más específico, de los seres vivos.
- Hacer investigaciones que permiten el desarrollo genético.
- Obtener soluciones que faciliten desarrollar la medicina clínica.
- Generación de nuevos medicamentos.
- La erradicación parcial o total de enfermedades.
- Suelen utilizar métodos médicos no invasivos.

### 4.2. DESVENTAJAS

---

- Estudios incompletos e inversiones sin algún resultado.
- Elaboración de medicamentos que puedan ser dañinos.
- Estudio en animales y humanos de forma inadecuada.
- Alta inversión económica en los dispositivos tecnológicos.



En conclusión, el papel del ingeniero biomédico va a irse incrementando y es un papel clave dentro de la medicina debido al gran desarrollo de dispositivos biomédicos y la gran complejidad de sus usos.

El trabajo de un ingeniero biomédico será como consultor, desarrollador e investigador en un departamento de ingeniería biomédica en un hospital o en una empresa propia. Dentro de un hospital, su trabajo consistirá en asesorar acerca de los dispositivos biomédicos. Para ello deberá conocer todas las especificaciones técnicas que se necesitan y le transmita esta información al equipo médico.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Ferris, C. (1982). Introduction to bioelectrodes. New York: Plenum.
- Concepción Pérez Conde (1996). Sensores ópticos. Universitat de València.
- Salvador Alegret, Manel del Valle, Arben Merkoçi (2004). Sensores electroquímicos. Materials.
- Robert B. Northrop (2004). Analysis and application of analog electronic circuits to biomedical instrumentation. CRC Press.
- Webster.J.G. (2004). Bioinstrumentation. Hoboken: Wiley.
- R, S., & Raghbir, K. (2004). Biomedical Instrumentation Technology And Applications. Ohio: McGraw-Hill.
- Ramon Pallas Areny (2005). Sensores y acondicionadores de señal. S.A. MARCOMBO.
- John Enderle Ph.D. Dr., Joseph Bronzino (2005). Introduction to Biomedical Engineering. Academic Press.
- King, P. (2009). Design of biomedical devices and systems. Boca Raton: CRC Press.
- Liang, Rongguang (2012). Biomedical Optical Imaging Technologies. Springer (Alemania).
- W. Mark Saltzman (2015). Biomedical Engineering: Bridging Medicine and Technology. Cambridge University Press.
- Ganesh Naik (2019). Biomedical Signal Processing: Advances in Theory, Algorithms and Applications. Springer.
- Dr V K Sachan (11 junio 2020). Ingeniería Biomédica. Independently published.



## BIBLIOGRAFIA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

---

- Tabla 1. Rangos de frecuencia de algunas bioseñales. Disponible en: [http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib\\_material/IB\\_T2\\_OCW.pdf](http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T2_OCW.pdf)
- Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 6. SONNIA M. LÓPEZ SILVA, JOSÉ RAMÓN SENDRA SENDRA, 1997. Apuntes de Bioingeniería. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Disponible en: [http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Bioingenieria/PDF/Apuntes/Biolng\\_ULPGC\\_2001.pdf](http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Bioingenieria/PDF/Apuntes/Biolng_ULPGC_2001.pdf)
- Ilustración 1 e Ilustración 2. XAVIER PARDELL. Apuntes de electromedicina, Instrumentación biomédica. Disponible en: <https://www.pardell.es/instrumentacion-biomedica.html>
- Tabla 5. DANIEL SÁNCHEZ MORILLO. Tesis doctoral: Procesado y transmisión de señales biomédicas para el diagnóstico de trastornos y enfermedades del sueño. Disponible en: [https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15643/sanchez\\_morillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15643/sanchez_morillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ilustración 3, Ilustración 4 e Ilustración 5. INGENIERÍA MECAFENIX. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/lvdt/>
- Ilustración 6. ADASH. Disponible en: <https://adash.com/es/diagnostico-vibraciones/aceler%C3%B3metro-medidor-analizador-de-vibraciones/>
- Ilustración 7 e Ilustración 8. VERMONT. Disponible en: <https://www.vermontc2.com/es/acelerometro-wgt3x-bt/>
- Ilustración 9, Ilustración 10 e Ilustración 11. Disponible MEDICAL EXPO. en: <https://www.medicalexpo.es/>
- Ilustración 12. MANUEL CANO LUNA, 2008. Diseño y Aplicación de Sensores Electroquímicos basados en Moléculas Orgánicas Conductoras. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/422/9788478019311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ilustración 13. Disponible en: <https://esportbase.valenciaplaza.com/2018/08/29/albelda-incide-en-la-importancia-de-los-tests-cardiacos-en-las-revisiones-y-anuncia-conversaciones-con-nuubo/>



- Ilustración 14 e Ilustración 15. Disponible en:  
<https://www.soloequiposmedicos.mx/producto/electrocardiografo-sonoECG9600-touch>
- Ilustración 16. Disponible en: <https://electromiografia.com/>
- Ilustración 17. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>
- Ilustración 18. TRABAJO SOBRE EL ELECTROOCULOGRAMA, 2008.  
Disponible en: <https://www.seeic.org/images/site/uclm/dos.pdf>
- Ilustración 19. Disponible en:  
<https://www.admiravision.es/es/articulos/pruebas-diagnosticas/articulo/electroretinograma#.XkZ-JEp7mUk>
- Ilustración 20. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375090618301009>
- Ilustración 21. Disponible en:  
<https://www.brainsigns.com/es/science/s2/technologies/gsr>
- Ilustración 22. Disponible en: <https://www.topcinco.es/tecnologia/5-usos-de-la-fibra-optica/2/>