

Capítulo 2

Instrumentación Médica



2.1 Historia de la Instrumentación Médica

La instrumentación médica se puede dividir en dos grandes grupos: antes del siglo XX (primera instrumentación médica) y después del siglo XX, porque es aquí donde se da el verdadero avance tecnológico en apoyo a la medicina.

2.1.1 Primera Instrumentación Médica

“Cuando el hombre enfermaba, los antiguos decían que estaba poseído por espíritus malignos”. La idea se reforzaba cuando el individuo decía cosas incoherentes o actuaba como nunca había actuado. Sanaba por sí solo o con la ayuda del brujo, que lograba expulsar los malos espíritus. Esta creencia subsiste hasta nuestros días y podemos observarla en la mayor parte de nuestras civilizaciones.

En épocas posteriores a los griegos, los médicos a fin de obtener la información que le permitiera diagnosticar, utilizaron como instrumentos únicamente sus sentidos; es decir el Tacto, Oído y vista.

El tacto: La temperatura la trató de medir en 1603, el científico italiano Galileo, cuando demostró que la altura de agua succionada por un tubo al que se le había hecho vacío parcial variaba con la temperatura.

En 1625, el físico eslavo Santorio, aplicó este principio para medir la temperatura del cuerpo humano, pero el problema que se presentaba era que la medida era afectada por la presión atmosférica. Este inconveniente fue resuelto 25 años después por el Gran Duque de Toscana, quien selló el tubo y así eliminó el efecto.

Los termómetros modernos (todavía en uso), fueron desarrollados por un artesano fabricante de instrumentos, el polaco Gabriel D. Fahrenheit, quien en el siglo XVIII reemplazó el agua por mercurio y así aumentó su precisión.



Figura 2.1 Termómetro de mercurio por Fahrenheit

El sentido del Oído: Los antiguos médicos griegos usaron los ruidos percibidos por sus oídos para diagnosticar. Colocaban los oídos en el pecho, espalda o abdomen del paciente, para percibir los sonidos del corazón, las vías respiratorias o ruidos intestinales.

Para incrementar el nivel de sonido se empleó el “tubo para oír”. El estetoscopio es una versión moderna de este tubo, cuyo desarrollo se debe probablemente al médico francés T. H. Leannec, quien lo usó en 1819, principalmente para evitar contagiarse al colocar su oído en contacto con la piel del paciente y para incrementar su habilidad para oír.

Su instrumento consistía en un tubo. A fin de conseguir acoplamiento de impedancia acústica entre el cuerpo del paciente y el “tubo de oír”, se le daba la forma indicada, con lo cual se conseguía mayor eficiencia de transmisión. Otras mejoras fueron aportadas muchos años después, en 1851 por el norteamericano George P. Camman, quien concibió el estetoscopio como es hoy día.



Figura 2.2 “Tubo para Oír” de T. H. Leannec

El Sentido de la Vista: El microscopio surge de la necesidad de investigar de cómo están hechas las cosas, de observar lo más pequeño, de intentar penetrar en los secretos de la materia.

En aquel entonces las lupas producían aumentos limitados, la idea más simple para poder mejorarlos es utilizar dos lupas, una a continuación de la otra, de manera que la imagen pueda ser ampliada dos veces. Esta idea fue realizada a mediados del siglo XVII y muchos científicos la aplicaron.

Uno de ellos, el holandés Anton van Leeuwenhoek escribe en 1683 a un científico inglés: *“Por la mañana acostumbro a frotarme los dientes con sal y enjuagarme después la boca con agua. A menudo, después de comer, me limpio los molares con un mondadientes y me los froto enérgicamente con un trozo de tela...”*.

Leeuwenhoek estaba orgulloso de su dentadura, pero no obstante observaba entre sus dientes una sustancia blanca que se disolvía con agua de lluvia y la que enfocó con su microscopio *“Observé entonces con gran asombro, que en la citada materia existían numerosos animalitos vivos, dotados de movimiento, muy bonitos”*.

Leeuwenhoek, sin darse cuenta, acababa de descubrir los microbios y el microscopio es el instrumento único para la observación de tan importantes seres vivos.



Figura 2.3 imagen izquierda: Microscopio Verick de Hartnack (1870), Imagen derecha: Microscopio Electrónico (época actual)

2.1.2 Instrumentación en el Siglo XX

La instrumentación médica tendría un despunte importante hasta el siglo XX, debido a los grandes sucesos científicos y tecnológicos ocurridos en ese periodo, siendo la electrónica quien hiciera más contribuciones. A continuación se hace mención de algunos de estos aportes:

- En 1903 se da la invención del electrocardiógrafo por el danés Willem Einthoven. Aquí el paciente introducía las dos manos y el pié izquierdo cada uno en un recipiente que contenía agua. Un conductor unía el recipiente de la mano derecha con el recipiente de la mano izquierda. El mismo conductor pasaba entre los polos de un magneto.

El cable se movía debido a la corriente del cuerpo generada entre los dos brazos, por el corazón. El movimiento del cable fue registrado por una luz reflejada por un espejo colocado sobre el cable.

- Crammer en 1906 inventó el electrodo que media pH, dicho invento podía cuantificar la acidez o alcalinidad de una solución.
- En 1924 se desarrolla el electroencefalógrafo (EEG). El alemán Hans Berger empleó unos galvanómetros para medir la corriente proveniente de placas metálicas fijadas en la cabeza del paciente y encontró que eran el resultado de la actividad cerebral.
- La transmisión inalámbrica de las señales Morse se produce cuando se genera una chispa entre dos electrodos. Tomando este principio, se desarrolló la Unidad de Electrocirugía (ESU), el bisturí eléctrico es empleado en los Estados Unidos desde 1928.

Con el ESU las cirugías podían realizarse con menos pérdidas de sangre, cuando se efectuaban con un electrodo al que se le aplicaba una energía de radiofrecuencia de 500 kHz. Con esta frecuencia y suficiente energía se cauteriza a medida que se corta.

Al principio este Electrobisturí no pudo emplearse por un motivo, la anestesia era muy inflamable. A partir de 1950, con el empleo de la anestesia no inflamable, su uso se generalizó.

- El ultrasonido fue desarrollado durante la segunda guerra mundial como sonar, un radar submarino. Fue empleado para facilitar la navegación submarina y para localizar submarinos enemigos, pero luego tuvo grandes aplicaciones en el campo de la medicina.

Con esta técnica pueden obtenerse imágenes estáticas y dinámicas de los órganos blandos, ya sea la imagen del feto y de su válvula mitral en movimiento, o la velocidad de la sangre en los vasos, etc.

Hasta estos momentos se puede afirmar que el ultrasonido, con los niveles de energía empleados para producir imágenes, es completamente inocuo, pues no es radiación ionizante como los rayos X, sino energía vibratoria.

- El Tomógrafo es desarrollado en 1970 por A. Cormack y G. Hounsfield. Encontraron que calculando la absorción de rayos X por los tejidos, que se producía en la intersección de filas y columnas de una matriz, permitía determinar la dimensión de la región. Por este sistema fueron capaces de producir imágenes de un corte o “tajada” del órgano en cuestión.

El auxilio de la computación fue de gran importancia, ya que la velocidad de cálculo requerida es inmensa y prácticamente difícil de realizar por otros métodos. Es la computadora un sistema de adquisición de un gran número de datos, que después de procesados, produce imágenes.

- El equipo de Resonancia Magnética Nuclear (NMR) desarrollado en 1982, es otro instrumento que permite ver los tejidos blandos con aún mayor resolución. A fin de obtener imágenes, el paciente es colocado en el centro de un campo magnético intenso Y luego se irradia con un impulso de radiofrecuencia.

La frecuencia y la duración del “ringing” de los protones, después que el impulso de radiofrecuencia es cortado; suministra datos a un computador que construye la imagen.

2.2 Tipo de Instrumentación Médica

Se denomina instrumento a cualquier dispositivo empleado para medir, registrar y/o controlar el valor de una magnitud que se desea observar. La instrumentación desde este punto de vista puede considerarse como la ciencia y tecnología del diseño y utilización de los instrumentos.

La instrumentación médica trata sobre los instrumentos empleados para obtener información, aplicar energía a los seres vivos y también ofrecer una ayuda funcional (prótesis) o a la sustitución de funciones fisiológicas. Por estos motivos la Instrumentación médica puede clasificarse en cuatro grupos [2], que se mencionan a continuación:

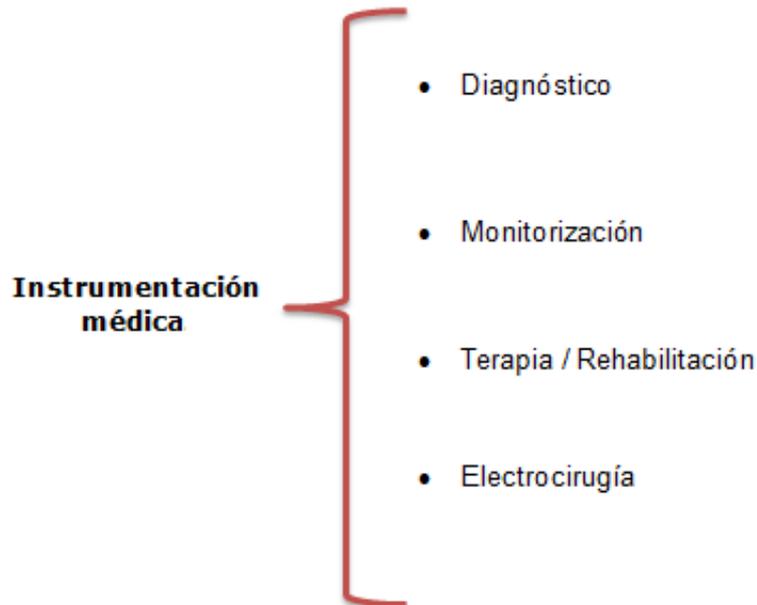


Figura 2.4 Tipos de instrumentación médica

2.2.1 Instrumentación para Diagnóstico

Son instrumentos que permiten crear imágenes del cuerpo humano y de las señales electrofisiológicas que hay en él. Estas imágenes son usadas con propósitos clínicos (procedimientos médicos que buscan revelar, diagnosticar o examinar enfermedades) o para la ciencia médica (estudio de la anatomía).

Los equipos de imagenología (rayos X, ultrasonido, tomografía computada y resonancia magnética, principalmente) son la base de esta instrumentación, de tal manera que en la actualidad, la mitad del gasto de equipamiento médico en un hospital es en sistemas de este tipo. Algunos ejemplos para esta clasificación son los siguientes:

Electrocardiógrafos: Los electrocardiógrafos se utilizan para obtener registros de la señal de ECG del corazón.



Figura 2.5 Electrocardiógrafo

Tomógrafo: Es un aparato que utiliza un equipo de rayos X especial para crear imágenes transversales del cuerpo y procesarlas mediante computadoras muy potentes. A estas imágenes producidas se les conoce como tomograma.



Figura 2.6 Tomógrafo Computarizado

2.2.2 Instrumentación para Monitorización

Son instrumentos que sirven para tener un seguimiento estricto del estado clínico del paciente. Este tipo de instrumentación permite observar y registrar continuamente los parámetros fisiológicos en el estado actual del paciente y su evolución. Ejemplos de esta instrumentación son las siguientes:

Monitores Cardiacos: Los monitores cardíacos se utilizan para controlar de forma continua la señal de ECG y el ritmo cardíaco del paciente durante operaciones quirúrgicas o en unidades de cuidados intensivos, entre otras situaciones.



Figura 2.7 Monitores Cardiacos

2.2.3 Instrumentación para Electrocirugía

La electrocirugía consiste en emplear corriente eléctrica de radiofrecuencia para cortar tejidos. La energía eléctrica empleada en electrocirugía se transforma en calor y en energía lumínica. El calor generado por el arco eléctrico de alto voltaje formado entre el electrodo y el tejido permite al médico cortar tejido por vaporización (a 100°C) o coagularlo por deshidratación (por encima de 100°C).



Figura 2.8 Equipo para Electrocirugía

2.2.4 Instrumentación para Terapia/Rehabilitación

A este tipo de instrumentación se le conoce también como “Estimuladores Eléctricos”, sus fines son terapéuticos o como prótesis. Existe una gran cantidad de tipos, desarrollados para distintas aplicaciones, entre las que podemos destacar los cardíacos (marcapasos), musculares, nerviosos, auditivos, etc. Ejemplos de esta instrumentación son los siguientes.

Marcapasos: Los marcapasos cardíacos son estimuladores eléctricos que establecen y mantienen la actividad rítmica del corazón mediante impulsos eléctricos periódicos, conducidos a electrodos situados en la superficie, en el interior del miocardio o en el interior del corazón.



Figura 2.9 Marcapasos Cardíaco

Estimuladores musculares: Los estimuladores musculares permiten producir la contracción de músculos o grupos de músculos. Se utilizan en diversas aplicaciones, tales como para contrarrestar atrofia muscular.



Figura 2.10 Unidad FES Para el control de mano

2.3 Electrocardiógrafo

El electrocardiógrafo es un aparato electrónico que capta y amplía la actividad eléctrica del corazón a través de electrodos colocados en las extremidades y en 6 posiciones precordiales.

El espectro en frecuencias de la señal electrocardiográfica normalmente no tiene componentes arriba de los 60Hz en pacientes normales, por lo que se usa generalmente un ancho de banda de trabajo entre 0.05 y 150Hz para este equipo.

2.3.1 Aplicación del Electrocardiógrafo

El electrocardiograma (ECG/EKG, del alemán Elektrokardiogramm) es el gráfico que se obtiene con el electrocardiógrafo para medir la actividad eléctrica del corazón en forma de cinta gráfica continua.

Es el instrumento principal de la electrofisiología cardíaca y tiene una función relevante en el diagnóstico de las enfermedades cardiovasculares, alteraciones metabólicas y la predisposición a una muerte súbita cardíaca.

El nombre electrocardiograma está compuesto por “electro” que implica la actividad eléctrica, “cardio” del griego corazón y “grama”, también del griego, que significa escritura. El electrocardiograma tiene la ventaja de ser un procedimiento médico con resultados disponibles inmediatamente y no es invasiva.

El Electrocardiógrafo tiene una amplia gama de usos:

- Determina si el corazón funciona normalmente o sufre de anomalías (por ejemplo: latidos extra o saltos – arritmia cardíaca).
- Indicar bloqueos coronarios arteriales (durante o después de un ataque cardíaco).
- Se puede utilizar para detectar alteraciones electrolíticas de potasio, sodio, calcio, magnesio u otros.

- Permitir la detección de anomalías conductivas (bloqueo aurículo-ventricular, bloqueo de rama).
- Mostrar la condición física de un paciente durante un test de esfuerzo.
- Suministrar información sobre las condiciones físicas del corazón (por ejemplo: hipertrofia ventricular izquierda).

2.3.2 Tipos de Electrocardiógrafos

Existen al menos tres tipos de electrocardiógrafos, que se diferencian por su tamaño, portabilidad y almacenaje de datos durante periodos prolongados de tiempo. La clasificación es la siguiente:

De sobremesa: Son Electrocardiógrafos de un tamaño normal desarrollados para ser utilizados dentro de un hospital al lado del paciente.

Portátiles: Son electrocardiógrafos que por sus prestaciones, baja complejidad y características constructivas permiten que sean apropiados para ser utilizados en urgencias, ambulancias y en visitas médicas.

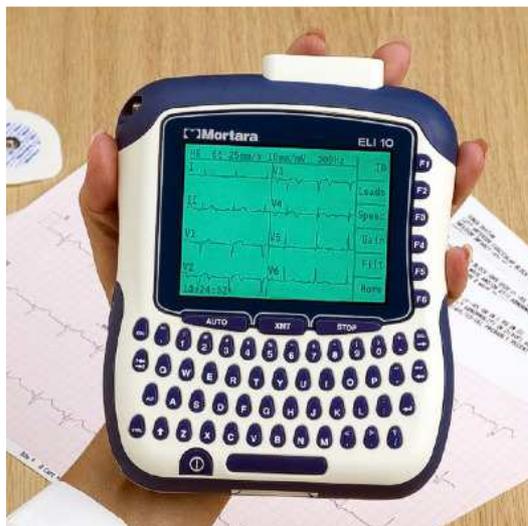


Figura 2.11 Electrocardiógrafo portátil de 12 derivaciones

Holter: Se denomina Holter a una prueba diagnóstica que consiste en la monitorización ambulatoria del registro electrocardiográfico por un tiempo prolongado, habitualmente unas veinticuatro horas, en una persona que está en movimiento.



Figura 2.12 Electrocardiógrafo Holter

2.3.3 Colocación de las Derivaciones (Electrodos)

El ECG se estructura en la medición del potencial eléctrico entre varios puntos corporales. Para ello existen las derivaciones, que son puntos o lugares en el cuerpo humano, donde se pueden colocar los electrodos para medir el potencial eléctrico y obtener el electrocardiograma.

Estas derivaciones se clasifican en: Plano Frontal (bipolares estándar y monopoles de las extremidades) y Plano Horizontal (precordiales monopoles) [3].

Derivaciones Bipolares Estándar: registran la diferencia de potencial eléctrico que se registra entre dos puntos. Para su registro se colocan 4 electrodos, uno en el brazo derecho R (right: derecha), otro en el brazo izquierdo L (left: izquierda), otro en la pierna izquierda F (Feet: pie) y finalmente, otro en la pierna derecha N (neutro) que es la toma de tierra.

Las derivaciones bipolares son tres, denominadas D1, D2 y D3. Por ejemplo la derivación D1 registra la diferencia de potencial entre el brazo izquierdo (+) y negativo (-).

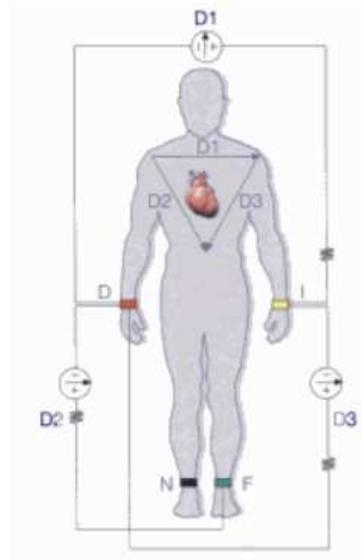


Figura 2.13 Derivaciones bipolares

Derivaciones Monopolares de las Extremidades: estas derivaciones registran el potencial total en un punto del cuerpo, para su registro se unieron las tres derivaciones del triángulo de Einthoven. Cada una a través de una resistencia de $5k\Omega$ a un punto donde el potencial eléctrico es casi igual a cero.

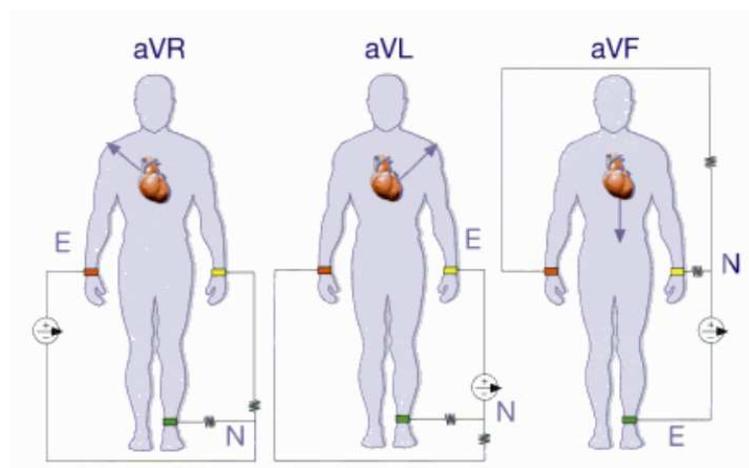


Figura 2.14 Derivaciones Monopolares: aVR, aVL y aVF

En estas derivaciones no se coloca el positivo en un miembro y el negativo en otro como en el caso anterior, sino que se coloca el electrodo positivo en uno de los miembros y se compara contra la sumatoria de los otros miembros conectados al polo negativo.

Derivaciones Precordiales Monopolares

Las derivaciones precordiales se obtienen usando el mismo sistema propuesto por las derivaciones monopulares (Figura 2.14). Las derivaciones precordiales son básicamente 6. Los electrodos se colocan usualmente de acuerdo a la Tabla 2.1.

Estas 6 derivaciones permiten el registro de potenciales que escapan a las derivaciones anteriormente citadas, abarcan el tórax partiendo de su lado derecho y llegan hasta la línea axilar media, en otras palabras, rodean el corazón a manera de semicírculo.

Tabla 2. 1 Ubicación de las derivaciones monopulares precordiales

| Derivación | Ubicación |
|-------------------|---|
| V1 | 4 ^o espacio intercostal con línea paraesternal derecha. |
| V2 | 4 ^o espacio intercostal con línea paraesternal izquierda. |
| V3 | Equidistante entre V2 y V4. |
| V4 | 5 ^o espacio intercostal con línea medioclavicular izquierda. |
| V5 | 5 ^o espacio intercostal con línea axilar anterior izquierda. |
| V6 | 5 ^o espacio intercostal con línea axilar media izquierda. |

2.4 Normatividad en la Instrumentación médica

Aquí se tratará la normatividad de la instrumentación médica, pero haciendo referencia únicamente al Electrocardiógrafo, aclarado el punto se mencionan cuáles son las normas extranjeras como nacionales que tienen que cumplir estos equipos en México [4]:

Tabla 2. 2 Normas relacionadas con electrocardiógrafos

| Nombre de la norma | Expedida por | Año | Carácter | |
|--|--------------|------|----------|---------------|
| | | | Nacional | Internacional |
| IEC 60601-1-1 (1988-12). Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for safety. | IEC | 1988 | | X |
| ANSI/AAMI ECI 2-1991.1991. Disposable ECG Electrodes. 3rd Edition | ANSI/AAMI | 1991 | | X |
| IEC 60601-1-am1 (1991-11).1991. Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for safety. Amendment 1. | IEC | 1991 | | X |
| ANSI/AAMI ECI 1 R-1991.1991 (Reaffirmed 2001). Diagnostic Electrocardiographic Devices. | ANSI/AAMI | 1991 | | X |
| IEC 60601-1-1 (1992-06).1992. Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for safety. Collateral Standard: Safety requirements for medical electrical | IEC | 1992 | | X |
| IEC 60601-2-25 (1993-03).1992. Medical Electrical Equipment --- part 2: Particular requirements for the safety of electrocardiographics. | IEC | 1993 | | X |
| ANSI/AAMI EC53-RC01.1995. ECG cables and leadwires. | ANSI/AAMI | 1995 | | X |
| IEC 60601-1-1-am1 (1995-11).1995. Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for safety. Collateral Standard: Safety requirements for medical electrical systems. Amendment 1. | IEC | 1995 | | X |
| IEC 60601-am2 (1995-03).1995. Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for the safety. Amendment 2. | IEC | 1995 | | X |
| NOM-137-SSA 1-1995. Información regulatoria: Especificaciones generales de etiquetado que deberán ostentar los dispositivos médicos, tanto de manufactura nacional como de procedencia extranjera. | SSA | 1995 | X | |

| | | | | |
|---|-----|------|---|---|
| IEC 60601-2-25-am1 (1995-05).1999. Medical Electrical Equipment --- part 2: Particular requirements for the safety of electrocardiographs. Amendment 1. | IEC | 1999 | | X |
| NOM-197-SSA 1-2000. Establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada. | SSA | 2000 | X | |
| IEC 60601-1-2 (2001-09).2001. Medical Electrical Equipment --- part 1: General requirements for the safety. Section 2. Collateral standard: electromagnetic compatibility-requirements and tests. | IEC | 2001 | | X |

donde *IEC: Internacional Electrotechnical Commission.*

ANSI: American National Standard Institute/Association for the Advancement of Medical Instrumentation.

SSA: Secretaria de Salud.