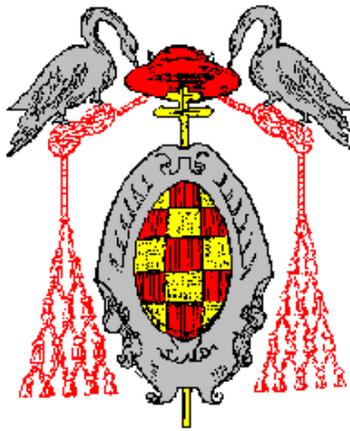


**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

Ingeniería en Electrónica



Instrumentación Biomédica

**Tema 1**

**INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS DE LA  
INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA**

## **1.1.- INTRODUCCIÓN.**

La electrónica es la rama científico-técnica que ha hecho las aportaciones más espectaculares en la instrumentación biomédica en los últimos años. La aplicación de la electrónica a las diversas facetas de las ciencias biológicas y médicas ha dado lugar a la consolidación de una serie de disciplinas teóricas y tecnológicas que configuran el campo de la Bioelectrónica. Dicho campo abarca un amplio espectro de disciplinas tales como modelización de sistemas fisiológicos, estudio de señales bioeléctricas, instrumentación biomédica, medios de diagnóstico, monitorización y terapia, sistemas de ayuda funcional, diseño de prótesis electrónicas..etc.

La definición de "Bioingeniería" parte del prefijo "bio" que significa vida. La "Bioingeniería" puede subdividirse en diferentes áreas como la bioelectrónica o biomecánica. Luego puede observarse que la Bioelectrónica es la rama de la ingeniería electrónica que se aplica a los seres vivos en lugar de a los componentes físicos (electrónicos). La Bioinstrumentación obtiene medidas de variables fisiológicas de seres vivos para su posterior procesamiento y obtención de resultados que determinan el estado del mismo.

Para definir todos los términos relacionados con la bioingeniería, se han creado numerosas asociaciones profesionales tales como IEEE Engineering in Medicine and Biology Group, el ASME Biomechanical and Human Factors Division, la Instrument Society of America, el American Institute of Aeronautics and Astronautics y otras.

El "Subcommittee B (instrumentation) of the Engineers Joint Council Committee on Engineering Interactions with Biology and Medicine" es una comisión de ingenieros que se creó para definir la Bioingeniería. Entre sus recomendaciones cabe citar:

La Bioingeniería es la aplicación de los conocimientos adquiridos por la influencia mutua de la Ingeniería y la Biología de manera que ambas se puedan utilizar de forma más completa en beneficio del hombre.

La Bioingeniería tiene diferentes campos de aplicación que se definen a continuación: la ingeniería Biomédica es la aplicación de la ingeniería a la medicina, la ingeniería del Medio

Ambiente es la aplicación de los principios de la ingeniería al medio ambiente, la ingeniería Agrícola es la aplicación de estos principios a la producción biológica y acciones externas y ambientales que influyen en ella, la ingeniería de Factores Humanos que es la aplicación de la ingeniería, fisiología y psicología a la optimización de las relaciones hombre-máquina..etc.

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 biomédica trata sobre los instrumentos empleados para obtener información a aplicar energía a los seres vivos, y también a los destinados a ofrecer una ayuda funcional o a la sustitución de funciones fisiológicas. Existen equipos o instrumentos para diagnóstico, monitorización, terapia, electrocirugía y rehabilitación.

Un problema importante en la ingeniería biomédica se refiere a la comunicación entre los profesionales de la ingeniería y los de la medicina. El lenguaje y "argot" del ingeniero y el médico son diferentes. Aunque es importante que el médico conozca suficiente terminología de ingeniería que le permita tratar problemas con el ingeniero, la carga de establecer la comunicación suele recaer sobre este último. El resultado es que el ingeniero o técnico deben aprender algunas nociones sobre anatomía y fisiología, de forma que ambas disciplinas puedan trabajar en armonía. Por otro lado, el médico suele ser un profesional de ejercicio libre mientras que el ingeniero suele ser un asalariado, dando origen ha una diferencia conceptual en el enfoque económico de forma que algunos médicos se resisten a considerar a los ingenieros como profesionales y tienden a situarlos en una posición de subordinación. Además los ingenieros suelen estar acostumbrados a las medidas cuantitativas precisas, basadas en principios teóricos y pueden encontrar poco prácticos los métodos utilizados por los médicos a menudo empíricos y cualitativos.

Dado que el desarrollo y utilización de la instrumentación biomédica debe ser un esfuerzo conjunto del ingeniero y el médico, se deben realizar los mayores esfuerzos por solucionar estos problemas de "comunicación"

El diseño de prototipos, desarrollo, fabricación y venta de nuevos equipos o instrumentos biomédicos es una tarea compleja, cara y que requiere de un proceso largo. No todos los prototipos de equipos pueden utilizarse y muy pocos llegan al mercado superando las pruebas y controles médicos y la burocracia.

En la actualidad, el desarrollo de nuevas ideas es bastante limitado y la mayor parte de los nuevos equipos se basan en productos evolucionados dando origen a un nuevo modelo de un equipo ya existente, aumentando las prestaciones y características del mismo. Un equipo nuevo se basa en un nuevo principio o concepto para solucionar un problema de forma más cómoda reemplazando métodos antiguos.

## **1.2.- ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.**

Todos los equipos o sistemas de instrumentación biomédica tienen un diagrama de bloques similar al de la figura 1.1. El flujo principal de información va del hombre al equipo. Los elementos mostrados por líneas discontinuas no son esenciales. La principal diferencia entre los sistemas de instrumentación biomédica y cualquier otro sistema de instrumentación convencional radica en que la fuente de las señales suelen ser seres vivos o energía aplicada a estos seres o tejidos vivos.

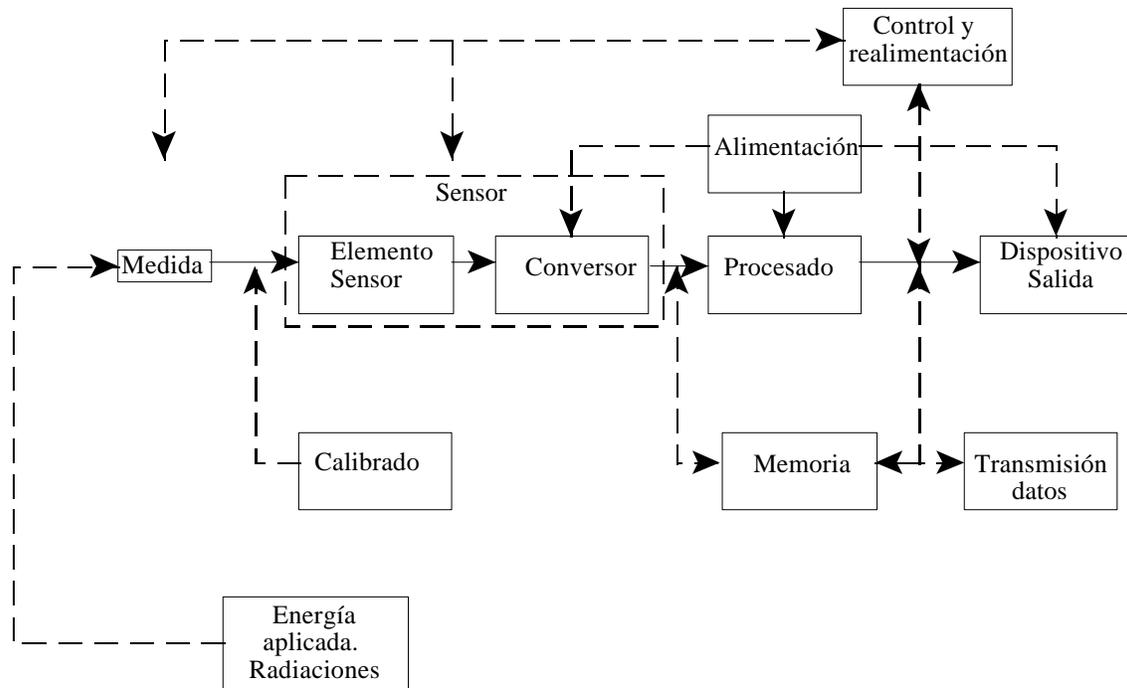


Figura 1.1.- Esquema general de un equipo de instrumentación biomédica.

Los principales bloques que componen un sistema de instrumentación biomédica son:

#### MEDIDA:

Es la magnitud física, propiedad o condición que el sistema mide. La accesibilidad a la medida es un parámetro a tener en cuenta ya que esta puede ser interna (presión de la sangre), puede medirse en la superficie del cuerpo (potenciales extracelulares como el electrocardiograma), puede emanar del cuerpo (radiaciones infrarrojas) o puede salir o derivarse de una muestra de tejido del cuerpo (sangre o una biopsia). Las medidas médicas más importantes pueden agruparse en las siguientes categorías: biopotenciales, presión, flujo, dimensiones (imagen), desplazamiento (velocidad, aceleración y fuerza), impedancia, temperatura y concentraciones químicas. Estas medidas pueden localizarse en un órgano concreto o por toda la estructura anatómica.

#### SENSOR:

Normalmente el término “transductor” se emplea para definir a aquellos dispositivos que convierten un forma de energía en otra. El término “sensor” se emplea para los dispositivos que convierten una medida física en una señal eléctrica. El sensor sólo debería responder a la forma

de energía presente en la medida que se desea realizar y excluir las demás. Además debe poseer una interfaz con el tejido o sistema vivo de forma que no interfiera en éste, debe de minimizar la energía extraída y ser lo menos invasivo posible. Muchos sensores constan de elementos sensores primarios como diafragmas, que convierte la presión en desplazamientos. Un elemento de conversión se encarga posteriormente de convertir esta magnitud en señales eléctricas como puede ser una galga que convierte el desplazamiento en tensión. Algunas veces, las características del sensor puede ajustarse para adaptarse a un amplio rango de sensores primarios. Otras veces se necesitan alimentaciones externas para alimentar estos sensores y obtener datos de salida de los mismos.

#### ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL:

Normalmente, la señal obtenida del sensor no puede aplicarse directamente al “display” o dispositivo de salida (pantalla, papel..etc). Un acondicionador simple puede amplificar, filtrar y adaptar la impedancia del sensor a la pantalla. A menudo, las señales de salida de los sensores se digitalizan y se procesan utilizando ordenadores o sistemas basados en microcontroladores. Por ejemplo, para compensar los errores de medida debidos a posibles ruidos aleatorios puede realizarse un promediado de esta señal.

#### DISPOSITIVO DE SALIDA:

El resultado del proceso de medida puede mostrarse de diferentes formas, pero es conveniente que estos resultados se muestren de la forma más sencilla y cómoda de interpretar por parte del operador humano. En función del tipo de medida y cómo el operador humano va a utilizarla, los resultados pueden representarse por medio gráficos o datos numéricos, de forma continua o discreta, de manera temporal o permanente. Aunque la mayoría de los dispositivos de salida dan una información visual, existen equipos que pueden generar otro tipo de informaciones (pitidos, diferentes sonidos..etc.).

#### ELEMENTOS AUXILIARES:

Existen diferentes elementos auxiliares que pueden implementar en el equipo de medida. Puede utilizarse una señal de calibrado para calibrar los resultados. Puede introducirse realimentaciones de las señales de salida para controlar diferentes aspectos del equipo o ajustar diferentes parámetros del sensor. El control y el sistema de realimentación puede ser automático

o manual. Los datos pueden almacenarse en memorias en función de las condiciones de trabajo. Existen sistemas de seguridad que alertan ante posibles riesgos por parte del sujeto. También pueden existir equipos de telemetría que envían datos a terminales remotos para su posterior procesamiento.

### **1.2.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.**

La fuente de las señales medidas con la instrumentación biomédica son los tejidos vivos o energía aplicada a éstos. Esta circunstancia condiciona los métodos de medida aplicables y los sensores o transductores a utilizar. Para ello deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La acción de medir no debe alterar la magnitud medida. Dicha alteración puede producirse como resultado de una interacción física (directa), bioquímica, fisiológica o psicológica. Lo ideal sería que las medidas se realizasen de una forma no invasiva y sin contacto pero esto no es posible en todos los casos. Además, el mero conocimiento de que se está realizando un medida puede provocar reacciones en el paciente que distorsionan completamente los resultados.
2. Hay que garantizar la seguridad del paciente. La acción de medir no debe poner en peligro innecesariamente la vida del paciente. Ante la inaccesibilidad de muchas medidas se recurre a medidas indirectas en las cuales se sensa otra magnitud relacionada con la deseada (por ejemplo, para medir la presión sanguínea suele sensarse la variación de volumen de un miembro cuando los atraviesa la sangre utilizando técnicas de pletismografía). Si la variable medida es el resultado de aporte de energía al tejido vivo, hay que respetar los límites aceptados como seguros (radiografía). La seguridad también exige que los sensores sean de fácil esterilización o de “usar y tirar “ y no posean recubrimientos agresivos que puedan provocar reacciones al entrar en contacto con el paciente.
3. Considerando el entorno de trabajo donde se van a ubicar los equipos, éstos deben ser robustos, fiables y de fácil calibración.

Otra característica que diferencia a la instrumentación biomédica de la industrial es que las variables biomédicas rara vez son determinísticas y éstas varían enormemente de unas personas a otras. También es habitual, que en una medida de una señal biológica influyan otras señales que

constituyen una interferencia (estas interferencias pueden deberse a otras variables fisiológicas o propias del equipo de medida). Su supresión es uno de los objetivos fundamentales en el diseño de un sistema de medida utilizándose para ello las técnicas habituales en instrumentación.

### **1.3.- MODOS DE FUNCIONAMIENTO ALTERNATIVOS.**

#### **1.3.1.- MODO DE ADQUISICIÓN DIRECTO-INDIRECTO.**

A menudo, la medida de la magnitud deseada puede obtenerse directamente por el sensor puesto que ésta es accesible. Este modo de adquisición se denomina modo directo. Cuando la medida no es accesible, se utiliza el modo indirecto que se basa en obtener medidas relacionadas con la deseada. Como ejemplo de medida directa puede citarse el registro del electrocardiograma por medio de electrodos superficiales y como medida indirecta el volumen de sangre por minuto que bombea el corazón.

#### **1.3.2.- MODO DE ADQUISICIÓN CONTINUO-MUESTREADO.**

Algunas medidas, como por ejemplo, la temperatura corporal o la concentración de iones, varían lentamente en el tiempo, de forma que pueden adquirirse o muestrearse a intervalos grandes de tiempo. Otras magnitudes o medidas, como el electrocardiograma o flujo sanguíneo requieren una monitorización continua. Por lo tanto, la frecuencia de la señal que se desea medir, el objetivo de la medida, el estado del paciente influyen en el diseño del sistema de adquisición de datos.

#### **1.3.3.- SENSORES GENERADORES Y MODULADORES.**

Los sensores generadores producen una señal de salida directamente de la señal medida, mientras que los moduladores utilizan la medida obtenida para variar el flujo de energía de una fuente externa de forma que varía la salida del sensor. Por ejemplo, una célula fotovoltaica es un sensor generador puesto que proporciona una tensión relacionada con la radiación luminosa recibida, sin embargo, una célula fotoconductiva es un sensor modulador ya que para medir los cambios

de su resistencia en función de la radiación recibida debe aplicarse una energía externa (tensión) al sensor.

#### **1.3.4.- MODO DE ADQUISICIÓN ANALÓGICO Y DIGITAL.**

Las señales que transportan la información medida pueden ser analógicas (señal continua que puede tomar cualquier valor dentro de un rango) o digitales (sólo puede tomar un número finito de valores dentro del rango). Normalmente los sensores funcionan en modo analógico aunque también existen el modo digital. En los últimos años, ha aumentado el uso de sistemas que trabajan en modo digital (ordenadores) con lo que se utilizan convertidores analógico-digital y digital-analógico como interfaces entre los sensores y dispositivos de salida analógicos y los procesadores digitales.

Las ventajas del modo digital incluyen mayor precisión, repetibilidad, fiabilidad e inmunidad a ruidos. Los dispositivos de salida digitales se van imponiendo a los analógicos, si bien en muchas aplicaciones se prefieren los analógicos cuando hay que determinar si la variable medida está dentro de unos límites y ésta varía rápidamente como el latido del corazón. En este caso, la representación digital cambia los números tan rápidamente que no pueden casi apreciarse.

#### **1.3.5.- MODO DE TRABAJO EN TIEMPO REAL - TIEMPO RETARDADO.**

Los sensores deben adquirir las señales en tiempo real. La salida de los sistemas de salida puede no mostrar los resultados inmediatamente puesto que se puede requerir diferentes procesos o transformaciones para obtenerlos. A menudo, estos retardos en presentar los resultados pueden admitirse a no ser que se requiera una realimentación o control urgente de una tarea en función de la salida.

#### 1.4.- RESTRICCIONES EN LAS MEDICIONES.

La instrumentación biomédica se diseña para medir diversos parámetros físicos y fisiológicos. El rango de frecuencias y valores del parámetro a medir son los principales factores que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar un sistema (Figura 1.1). Un resumen de los principales parámetros, y sus valores estándar pueden observarse en la tabla 1.1.

Parámetro o técnica de medida	Rango de medida	Frecuencia señal	Método o sensor estándar
Balístocardiografo (BCG)	0-7 mg 0-100 $\mu\text{m}$	dc-40 dc-40	Acelerómetro Galga extensiométrica Desplazamiento (LVDT)
Presión Bladder	1-100 cm H <sub>2</sub> O	dc-10	Galga extensiométrica Manómetro
Presión de la sangre	1-300 ml/s	dc-20	Flujometro (electromagnético o ultrasonidos)
Presión arterial de la sangre	1-400 mm Hg	dc-50	Galga extensiométrica Manómetro
Presión venosa de la sangre	0-50 mm Hg	dc-50	Galga extensiométrica Oscultación, Cuff
pH sangre	6,8-7,8 pH	dc-2	Electrodos específicos
volumen/minuto	4-25 litros/minuto	dc-20	Tinte, Flujometro
Electrocardiograma (ECG)	0.5-4 mV	0.01-250	Electrodos superficiales
Electroencefalograma (EEG)	5-300 $\mu\text{V}$	dc-150	Electrodos en el cuero cabelludo
Electromiograma (EMG)	0.1-5 mV	dc-10.000	Electrodos de aguja
Electrooculograma (EOG)	50-3500 $\mu\text{V}$	dc-50	Electrodos de contacto
Electroretinograma (ERG)	0-900 $\mu\text{V}$	dc-50	Electrodos de contacto
Respuesta galvánica de la piel (GSR)	1-500 K $\Omega$	0,01-1	Electrodos de piel
pH gástrico	3-13 pH unidad	dc-1	Electrodo de pH Electrodo de antimonio
Presión gastrointestinal	0-100 cm H <sub>2</sub> O	dc-10	Galga extensiométrica Manómetro
Fuerza gastrointestinal	1-50 g	dc-1	Desplazamiento
Potenciales nerviosos	0,01-3 mV	dc-10.000	Electrodos de aguja o superficiales
Fonocardiograma	rango dinámico de 80dB, umbral 100 $\mu\text{Pa}$	5-2000	Micrófono

Pletismógrafo (cambio volumen)	En función del órgano medido	dc-30	Desplazamiento de cámara o cambio de impedancia
Flujo de aire Neumotacografía	0-600 litros/minuto	dc-40	Neumotacógrafo y presión diferencial
Ratio de respiración	2-50 por minuto	0,1-10	Galga extensiométrica Termistor nasal
Temperatura corporal	32-40 °C	dc-0.1	Termistores Termopares

Tabla 1.1.- Rango y frecuencia de parámetros fisiológicos.

Muchas variables importantes de los sistemas fisiológicos no pueden obtenerse directamente y sin daño para el sujeto puesto que son inaccesibles y deben obtenerse por medio de medidas indirectas.

Las variables medidas en el cuerpo humano rara vez son determinísticas. Sus magnitudes varían con el tiempo, incluso teniendo controladas todas las variables que pueden aceptarle. La mayoría de las medidas biomédicas varían ampliamente entre diferentes pacientes normales, incluso en condiciones similares de medida. Existen numerosos lazos de realimentación entre diferentes variables fisiológicas y todavía muchos de ellos no se conocen suficientemente. El método más común para asumir esta variabilidad de las medidas y poder compararlas con otras es utilizar funciones de distribución estadísticas y probabilísticas.

Hoy en día, todas las medidas biomédicas dependen de alguna forma de energía que se aplica al tejido vivo o de alguna energía que modifica el funcionamiento del sensor. Por ejemplo, los rayos X o imágenes por ultrasonidos dependen de energía aplicada externamente que interactúa sobre el tejido vivo. Los niveles de seguridad de estas energías son difíciles de establecer ya que muchos mecanismos que provocan daños a los tejidos no se comprenden en la actualidad muy bien.

El funcionamiento de los instrumentos en entornos médicos impone restricciones muy importantes. El equipo debe ser seguro, de fácil manejo y capaz de soportar golpes y exposiciones a productos químicos. El equipo electrónico debe diseñarse para minimizar los riesgos de electroshock. La seguridad de los pacientes y del personal sanitario debe tenerse en cuenta en todas las fases del diseño y testeado de los equipos. Existen numerosas reglamentaciones que vigilan la seguridad de los dispositivos o equipos destinados a uso humano.

### **1.5.- CLASIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.**

El estudio de la instrumentación biomédica puede realizarse al menos desde cuatro puntos de vista. Las técnicas utilizadas para obtener la media biomédica pueden clasificarse en función de la magnitud que se sensa, como puede ser la presión, flujo o temperatura. Una ventaja de este tipo de clasificación es que pueden compararse fácilmente diferentes métodos de medir un determinado parámetro.

Una segunda clasificación se basa en el principio de transducción, tales como resistivo, inductivo, capacitivo, ultrasonidos o electroquímicos.

Las técnicas de medida pueden estudiarse separadamente para cada sistema fisiológico: sistema cardiovascular, respiratorio, nervioso..etc. De esta forma, pueden aislarse diferentes parámetros para cada área específica. pero normalmente se solapan diferentes magnitudes medidas y principios de transducción, es decir, puede medirse la misma magnitud o parámetro en varios sistemas fisiológicos.

Por ultimo, los instrumentos biomédicos pueden clasificarse en función de la especialidad médica o clínica donde se utilice. Ejemplos de esta clasificación es la instrumentación destinada a pediatría, obstetricia, cardiología o radiología..etc.

### **1.6.- CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.**

Cuando se desea adquirir equipos comerciales de instrumentación biomédica es necesario comparar y evaluar los diferentes equipos disponibles en el mercado en función de criterios cuantitativos. Estos criterios deben especificar y dar a conocer de una forma clara las prestaciones del equipo y la calidad de éste. Deben tenerse en cuenta el rango de las magnitudes a medir y la dependencia de las señales de salida respecto de posibles interferencias en el equipo. Las características del funcionamiento del equipo pueden dividirse en dos grandes bloques en función de la frecuencia de la señal de entrada.

Las características estáticas del instrumento describen el funcionamiento y prestaciones de éste para corriente continua o señales de entrada de baja frecuencia. Las propiedades de la señal de salida para un amplio rango de valores de entrada constantes determinan la calidad de la medida, incluyendo los efectos de no-linealidad. Algunos sensores e instrumentos, como los sensores o dispositivos piezoeléctricos solo responden a señales variables y no tienen características estáticas.

### EXACTITUD

La exactitud de una única medida es la diferencia entre el valor real y el valor medido dividido por el valor real. Este ratio normalmente se expresa en tanto por ciento. Debido a que el valor real generalmente no puede disponerse (recuérdese que las medidas o magnitudes biomédicas rara vez son determinísticas) se acepta como valor real un valor de referencia.

$$exactitud = \frac{valor\_real - valor\_medido}{valor\_real}$$

La exactitud varía en función del rango y la frecuencia de la magnitud a medir. Puede expresarse como porcentaje de la magnitud medida ( $\pm 0.01\%$  del valor medido), porcentaje a fondo de escala ( $\pm 0.015$  a fondo de escala) o  $\pm$  número de dígitos ( $\pm 1$  dígito).

### PRECISIÓN

La precisión de una medida determina el número de dígitos válidos en una medida realizada. Por ejemplo, una medida de 2,434 V es más precisa que una medida de 2.43 V. Una medida de alta precisión no significa necesariamente alta exactitud, por lo tanto, la precisión no puede considerarse como un parámetro válido para comparar diferentes equipos.

## RESOLUCIÓN

La resolución representa el incremento más pequeño de la magnitud de entrada que puede medirse con certeza.

## REPRODUCTIBILIDAD.REPITITIVIDAD

La repititividad o reproductivilida de un medida es la capacidad de un instrumento de obetner la misma salida para la misma entrada aplicada en instantes de tiempo diferentes. Esta característica no implica exactitud de la medida.

## CONTROL ESTÁTICO

La exactitud de un equipo depende de muchos parámetros, y debe tenerse en cuenta el entorno de trabajo y el modo de uso del mismo. Este control asegura que variaciones aleatorias en las medidas entran dentro de una determinada tolerancia y por lo tanto pueden admitirse. Los ruidos o errores sistemáticos pueden eliminarse facilmente mediante un proceso de calibracion o corrigiendo algunos factores, sin embargo, las variaciones aleatorias tienen una solución más complicada. Los equipos de medida pueden introducir errores estáticos que provocan que la salida no se pueda repetir. Si este problema no puede solucionarse (eliminar ruidos sistemáticos) debe realizarse un estudio del sistema para determinar la posible variación del error. De esta forma, el valor real puede estimarse utilizando diversas técnicas como el promediado o tecnicas de estimación.

## SENSIBILIDAD

La sensibilidad estática de un instrumento o sistema representa el incremento que sufre la señal de salida ante un incremento de la magnitud de entrada. La sensibilidad generalmente no es constante aunque puede considerarse constante para determinados intervalos de la señal de entrada (Figura 1.2)

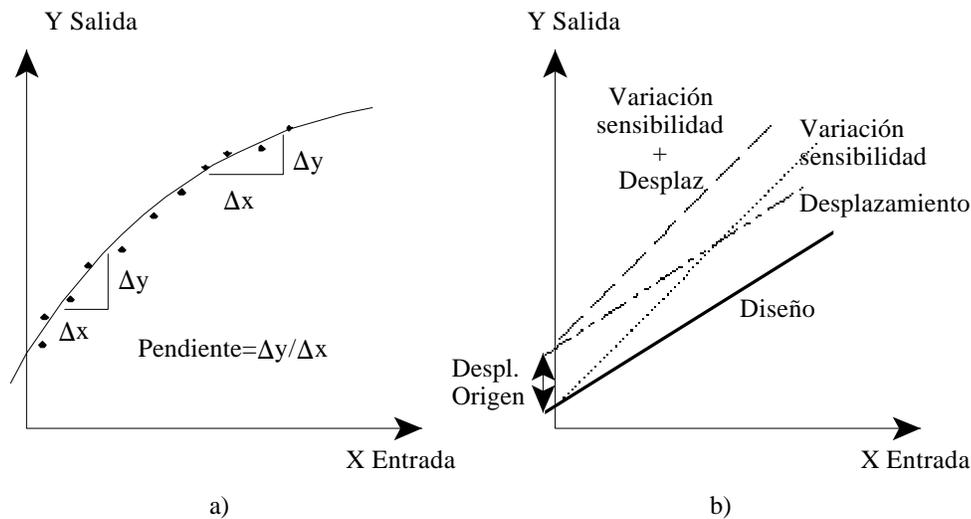


Figura 1.2.- a) Sensibilidad. b) Variación de la respuesta.

#### DESPLAZAMIENTO DEL ORIGEN

Las interferencias o variaciones de los parámetros del sistema pueden afectar a la curva de calibración en estática vista en la figura 1.2. El desplazamiento del origen ocurre cuando todos los valores o magnitudes medidas se ven incrementadas o decrementadas en una misma cantidad (valor absoluto). En este caso no se producen variaciones en la pendiente de la curva por lo que no se producen variaciones en la sensibilidad del equipo. Entre las causas que pueden provocar un desplazamiento del origen se puede citar: fabricación defectuosa, variaciones de la temperatura ambiente, derivas de los componentes electrónicos empleados, histéresis, posibles vibraciones..etc. Un ejemplo de desplazamiento del origen sería una posible variación de la tensión de offset dc de los electrodos en un electrocardiograma (figura 1.3). Las variaciones lentas de este potencial no serían problema puesto que los electrocardiografos eliminan la componente continua, sin embargo, variaciones rápidas de esta señal debidas a movimientos del paciente pueden provocar desplazamientos en la señal de salida.

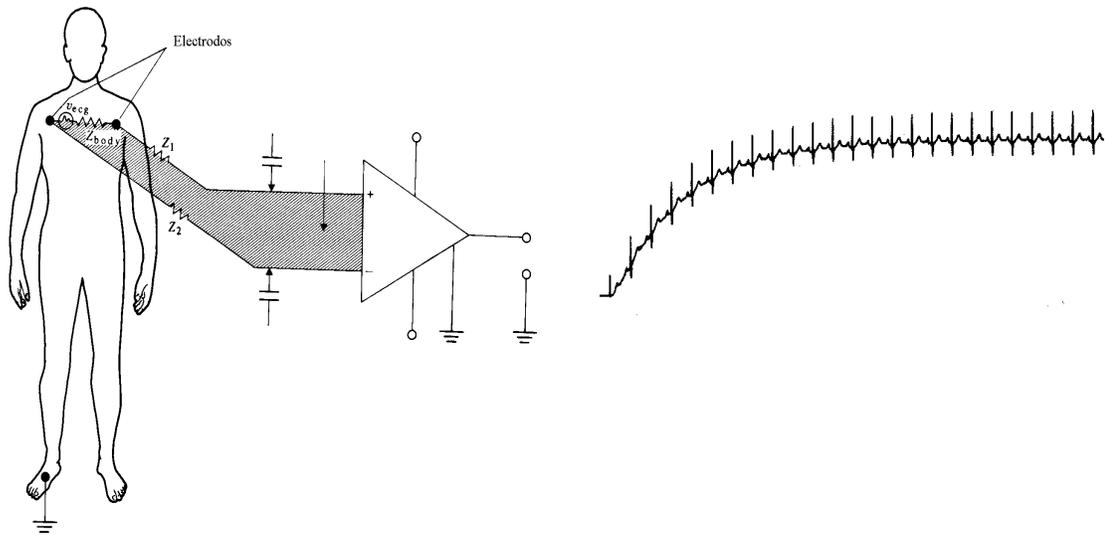


Figura 1.3.- Desplazamiento de la señal.

### DERIVA DE LA SENSIBILIDAD

Se produce un desplazamiento o deriva de la sensibilidad cuando la pendiente de la curva cambia debido a interferencias o variaciones de las entradas. Esta variación introduce un error que es proporcional a la magnitud de la entrada. La pendiente puede incrementarse o decrementarse como se observa en la figura 1.3.b. Esta deriva puede deberse a tolerancias de los componentes, variaciones en las alimentaciones, no-linealidad de los componentes, cambios en la temperatura ambiente y presión. Como ejemplo puede citarse variaciones en la ganancia de los amplificadores del ECG debidas a flucturaciones de la alimentación o cambios de temperatura.

### LINEALIDAD

Un sistema o elemento es lineal si cumple la propiedad de la linealidad. Esta propiedad establece:

$$x_1 \rightarrow y_1$$

$$x_2 \rightarrow y_2$$

$$x_1 + x_2 \rightarrow y_1 + y_2$$

$$K_1 \cdot x_1 + K_2 \cdot x_2 \rightarrow K_1 \cdot y_1 + K_2 \cdot y_2$$

Donde “x” representan las entradas al sistema e “y” las salidas, siendo “K” constantes.

## RANGOS DE ENTRADA

Los rangos de entrada del equipo determinan las magnitudes que pueden medirse. Normalmente, el valor máximo del rango de entrada determina la máxima entrada que puede introducirse en el equipo o sensor sin que este sufra daños. También debe tenerse en cuenta que en condiciones de almacenamiento o cuando no se usa, las magnitudes del entorno o ambientales no deben superar estos valores puesto pueden dañar al equipo. Los rangos no tienen porque ser simétricos.

## IMPEDANCIA DE ENTRADA

El concepto de impedancia debe tenerse en cuenta puesto que la mayoría de los sensores biomédicos e instrumentos convierten magnitudes no eléctricas en tensiones o corrientes. Por este motivo debe evaluarse el grado en que estos equipos provocan perturbaciones en la magnitud medida. Interesa que esta perturbación sea la menor posible y para ello normalmente se requiere que los equipos de medida tengan impedancias de entrada lo más grandes posibles.

## **1.7.- CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.**

La presencia en equipos de instrumentación de elementos que almacenan energía, hace que la magnitud de la entrada varía con el tiempo y la evolución de la salida no es simultánea. Todo esto se traduce en un error dinámico y en retardo. De esta forma, aunque no existan errores estáticos, existen errores entre el valor obtenido como resultado de la medida y el verdadero valor de la entrada, por el hecho de ser ésta variable con el tiempo.

Para conocer el error dinámico y la velocidad de respuesta de un sensor, transductor o equipo de instrumentación, conviene describirlo mediante un modelo matemático simple. Para ello se utiliza la teoría de sistemas lineales, invariantes en el tiempo y el uso de diagramas de bloques.

Las características dinámicas de un sistema, equipo o sensor pueden obtenerse a partir de su función de transferencia obtenida de la ecuación diferencial que modela su comportamiento. Según el orden de esta ecuación, se puede hablar de equipos o sensores de orden cero, de primer orden o segundo orden. No suelen utilizarse modelos de ecuaciones diferenciales de orden superior.

Un sistema de orden cero es aquel cuya salida está relacionada con la entrada mediante una ecuación del tipo:

$$y(t) = K \cdot x(t)$$

Su comportamiento se mantiene constante con independencia de la frecuencia de la entrada, de modo que su error dinámico como su retardo son nulos (figura 1.4).

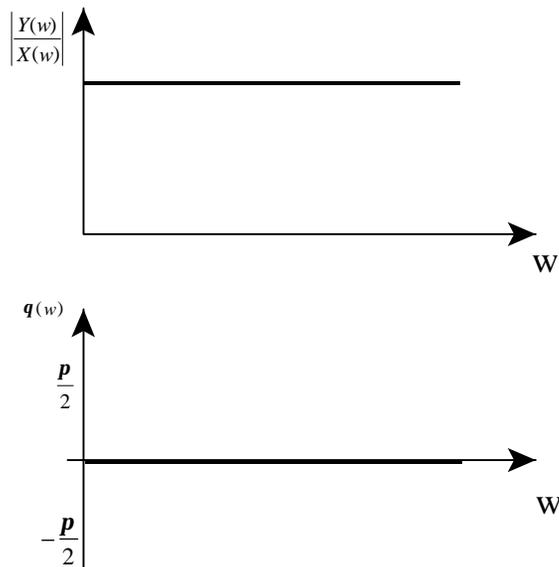


Figura 1.4.- Función de transferencia de un sistema de orden cero.

Un sistema se dice que es de primer orden si hay un elemento que almacena energía y otro que la disipa. La relación entre la entrada  $x(t)$  y la salida  $y(t)$  viene dada por la ecuación:

$$\frac{dy(t)}{dt} + a \cdot y(t) = b \cdot x(t)$$

Cuya función de transferencia correspondiente es:

$$\frac{Y(jw)}{X(jw)} = \frac{K}{1 + jw\tau}$$

Donde  $K = b/a$ , es la denominada sensibilidad estática y  $\tau = 1/a$  se conoce como constante de tiempo del sistema. La figura 1.5 muestra la función de transferencia de un sistema de primer orden.

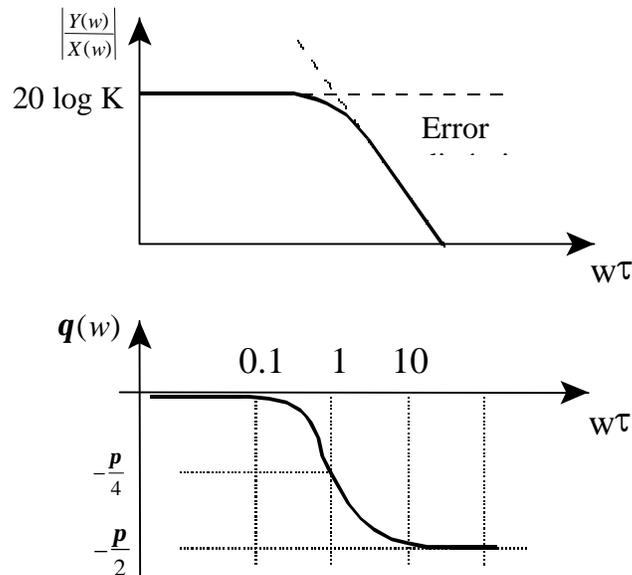


Figura 1.5.- Función de transferencia de un sistema de primer orden.

Un sistema de segundo orden incluye dos elementos que almacenan energía y otros que disipan energía. La relación entre la salida y la entrada responde a una ecuación diferencial de segundo orden:

$$\frac{Y(jw)}{X(jw)} = \frac{K}{1 + (2 \cdot \zeta \cdot w / w_n) + (jw / w_n)^2}$$

Donde K es la sensibilidad estática,  $\zeta$  es el denominado coeficiente de amortiguamiento. En la figura 1.6 se obtiene la función de transferencia de un sistema de segundo orden.

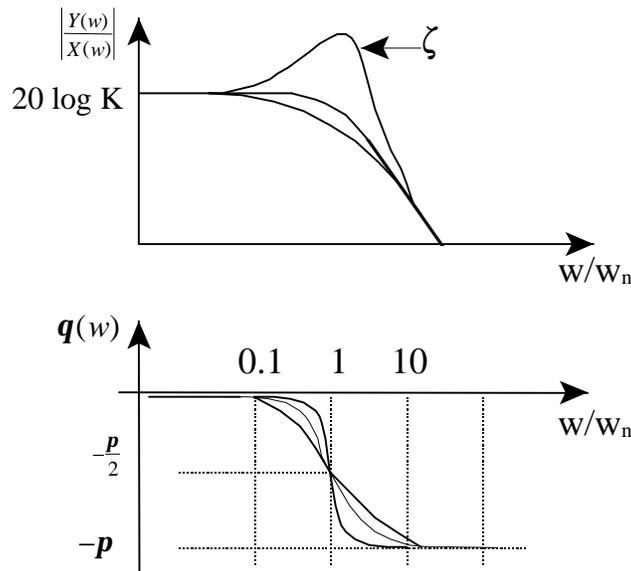


Figura 1.6.- Función de transferencia de un sistema de segundo orden.

### **1.8.- CRITERIOS DE DISEÑO.**

Son muchos los factores que afectan al diseño de instrumentos biomédicos. Los factores que imponen restricciones en el diseño de estos equipos dependen del tipo de instrumento a desarrollar. Sin embargo, existen algunos requisitos que pueden generalizarse y responden a diversas categorías como señales utilizadas, entorno de trabajo, factores económicos y médicos. Dichos factores pueden observarse en la figura 1.7.

Conviene resaltar que cada tipo de sensor determina el equipo de procesamiento de la señal, por lo tanto, las especificaciones de los instrumentos deben incluir bastantes más cosas que el tipo de sensor a emplear. Para obtener el diseño final, deben establecerse ciertos compromisos entre las especificaciones que se desean obtener. Posibles cambios de componentes o forma de interactuar o interconectarse entre ellos, conlleva generalmente una revisión completa del diseño sobre todo en equipos complejos. Un buen diseño, suele ser el resultado de muchas horas de trabajo y de compromisos establecidos en el desarrollo del equipo.

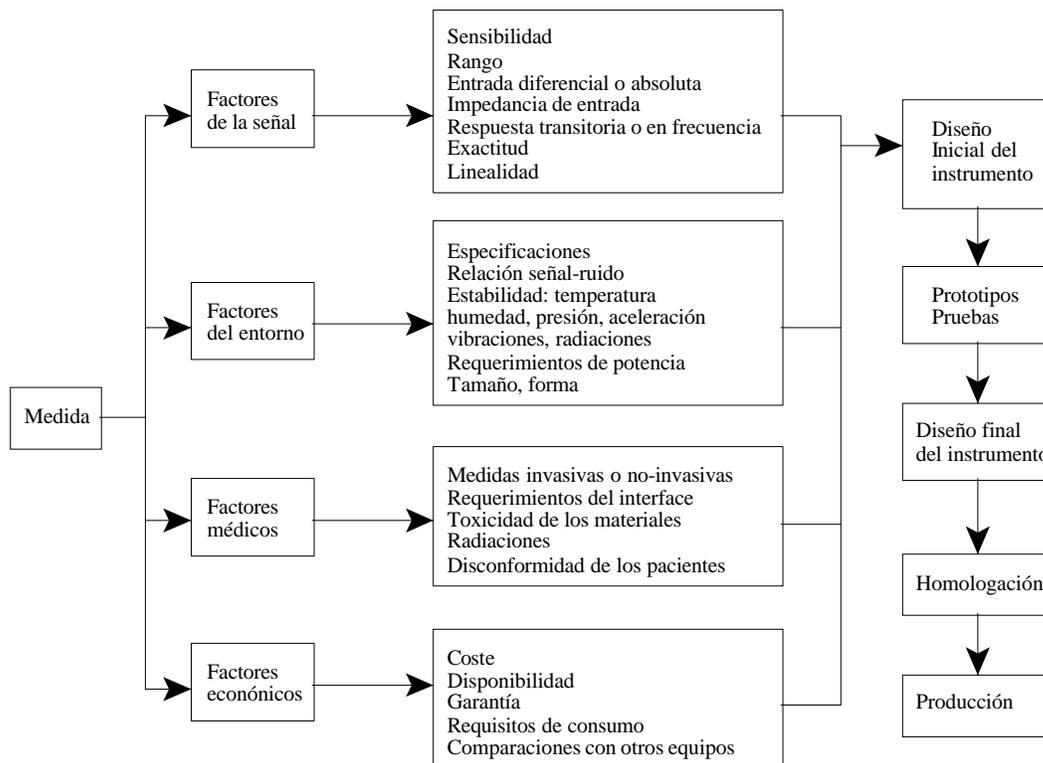


Figura 1.7.- Proceso de diseño de instrumentos biomédicos

## 1.9.- PROCESO DE DESARROLLO COMERCIAL DE LA INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA.

El desarrollo de un instrumento comercial requiere de diversas fases, aumentando el tamaño del equipo necesario a medida que el proyecto progresa. La idea original a menudo surge de personas que trabajan en clínicas u hospitales y observan las necesidades clínicas. Los médicos, enfermeras, ingenieros clínicos o personal de ventas son los principales generadores de ideas. Los ingenieros industriales y personal de mercado pasan tiempo en los hospitales observando el funcionamiento de sus productos y posibles mejoras en el entorno de trabajo. La mayoría de las compañías disponen de varias personas que se encargan de presentar y evaluar nuevas ideas y es fundamental que la persona que quiere proponer una nueva idea pueda ponerse en contacto con otra que sea capaz de entenderla y pueda analizarla mediante un estudio detallado. También debe tenerse en cuenta la protección de las ideas mediante patentes o derechos.

Al principio la idea puede no estar bien definida y se necesita un análisis profundo para describir las características del producto y sus necesidades médicas, la técnica empleada y posibles líneas de productos y de ventas. Este estudio incluye necesidades médicas, indicaciones de pacientes, indicaciones de personal sanitario y las especificaciones de como, cuando, y por quien debe utilizarse el equipo. Al mismo tiempo debe incluirse una descripción de la tecnología necesaria, posibles mejoras o modificación de componentes, sistemas necesarios de análisis y una estimación preliminar del coste final del producto.

En un primer paso, debe diseñarse y contruirse un prototipo del equipo y probar sus cualidades. Una vez el prototipo se ha testeado y los resultados son satisfactorios puede diseñarse el producto final.

Las especificaciones del producto deben contener una descripción de las características del mismo. Deben incluirse características de rendimiento, interface con el usuario, posibles pruebas o test en el entorno de trabajo, e incluso tamaño, peso y color del instrumento. Con todos estos datos ya puede abordarse la fabricación de los equipos en cadena.

### **1.10.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS EQUIPOS.**

En este apartado se exponen algunas de las especificaciones más usuales de los equipos de instrumentación.

#### **ESPECIFICACIONES DEL SENSOR Y DE ENTRADA**

- Medida: magnitud física, propiedad o condición que se mide.
- Medida diferencial o absoluta: cuando la medida se realiza de forma difereencial o unipolar.
- CMRR (rechazo al modo comun): Establece la relación entre la ganancia diferencial y la ganancia en modo comun.
- Rangos de funcionamiento: Valores de la señal de entrada posibles. El ajuste de determinados sensores pueden requerir cambios o ajustes mecánicos.
- Rangos de sobrecarga: Posibles valores de la entrada que pueden tolerarse si dañar el equipo.

- Tiempo de recuperación de sobrecarga
- Sensibilidad: indica la variación de la salida ante variaciones de la entrada.
- Impedancia de entrada.
- Principio del sensor: indica en principio de funcionamiento del sensor para captar la magnitud a medir.
- Tiempo de respuesta: El tiempo de respuesta, el coeficiente de amortiguamiento y la frecuencia natural o de resonancia deben tenerse en cuenta en equipos o instrumentos que respondan a ecuaciones de primer, segundo orden o superiores.
- Respuesta en frecuencia: La distorsión de fase o de amplitud es otro factor a tener en cuenta en función de las frecuencias de las señales que se desean medir.
- Excitación del sensor: Debe especificarse los requisitos de alimentación del sensor y el modo y magnitud necesaria para excitarlo y obtener una medida.
- Aislamiento: Deben especificarse el aislamiento eléctrico u otros métodos de seguridad del equipo.
- Dimensiones físicas: El tamaño, modo de acoplamiento del sensor primario al equipo pueden resultar parámetros de gran interés para realizar las medidas correctamente.
- Cuidado y manejo especial: Algunos sensores pueden dañarse fácilmente por lo que se especifican algunas condiciones de manejo o mantenimiento del mismo.

#### ESPECIFICACIONES DE PROCESADO DE LA SEÑAL

- Método de procesamiento: Los métodos y la teoría de funcionamiento deben explicarse. Los circuitos electrónicos y el análisis y procesamiento que sufre la señal deben describirse con detalle. Pueden expresarse por medio de funciones de transferencia.
- Compensaciones o correcciones: Pueden requerirse ajustes o compensaciones de falta de linealidad de los sensores pero deben especificarse de forma clara.
- Supresión del cero: Consiste en el ajuste del offset de los amplificadores para compensar los desplazamientos de la señal.
- Filtrado: Pueden realizar diversos filtrados en función de la banda de frecuencia que se desea procesar o eliminar.

## ESPECIFICACIONES DE SALIDA

- Valores de salida: Es el margen de valores de salida que puede representar el dispositivo de salida (pantalla, carro de cinta..etc).
- Rango de salida: Rango de valores de salida donde el funcionamiento es lineal y no se produce saturación.
- Potencia de salida: Representa la máxima potencia que se puede aplicar a una carga para un valor específico de ésta.
- Impedancia de salida:
- Velocidad de representación: Representa la velocidad para representar datos del dispositivo de salida o pantalla.
- Tiempo de salida: Para equipos que no trabajan en tiempo real, determina el tiempo que tarda el procesar una señal.
- Interface: modo de transmisión o comunicación (RS-232, IEEE488).

## FIABILIDAD Y POSIBLES ERRORES

- Exactitud: Da idea del mayor error entre el valor real y el valor medido.
- Repetibilidad: Posibles variaciones de la salida ante la misma entrada en diferentes instantes de tiempo.
- No-linealidad: Desviación del modo de funcionamiento lineal.
- Susceptibilidad a interferencia: sensibilidad del instrumento a interferencia y variaciones de las señales de entrada.
- Relación señal/ruido: Es la relación entre el valor de la señal (de pico o rms) y el ruido.
- Estabilidad: Determina posibles derivas del instrumento en función del tiempo, temperatura, humedad..etc.
- Modo funcionamiento: Mínimas condiciones que deben cumplirse para que el equipo funcione correctamente o que las especificaciones no se vean profundamente alteradas.
- Fiabilidad: Establece la fiabilidad del equipo y suele expresarse por medio del tiempo medio entre fallos (MTBF).

## ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y DIVERSAS

- Requisitos de alimentación: Tensiones, frecuencia..etc.
- Circuitos de protección: Fusibles, diodos, aislantes.
- Codigos y regulaciones.
- Requisitos del entorno: Temperatura, humedad, altitud, radiaciones, sustancias corrosivas.
- Conexiones eléctricas y mecánicas: Compatibilidad con otros instrumentos.
- Montaje: Establece si el equipo se monta solo o en “rack”.
- Dimensiones.
- Peso.
- Materiales de construcción.
- Accesorios y opciones.
- Material fungible: Establece requisitos de materias fungible o consumible: paper, gel para ultrasonidos, electrodos, productos químicos..etc.
- Condiciones de entrega: Tiempo y plazos.
- Garantía.
- Coste.