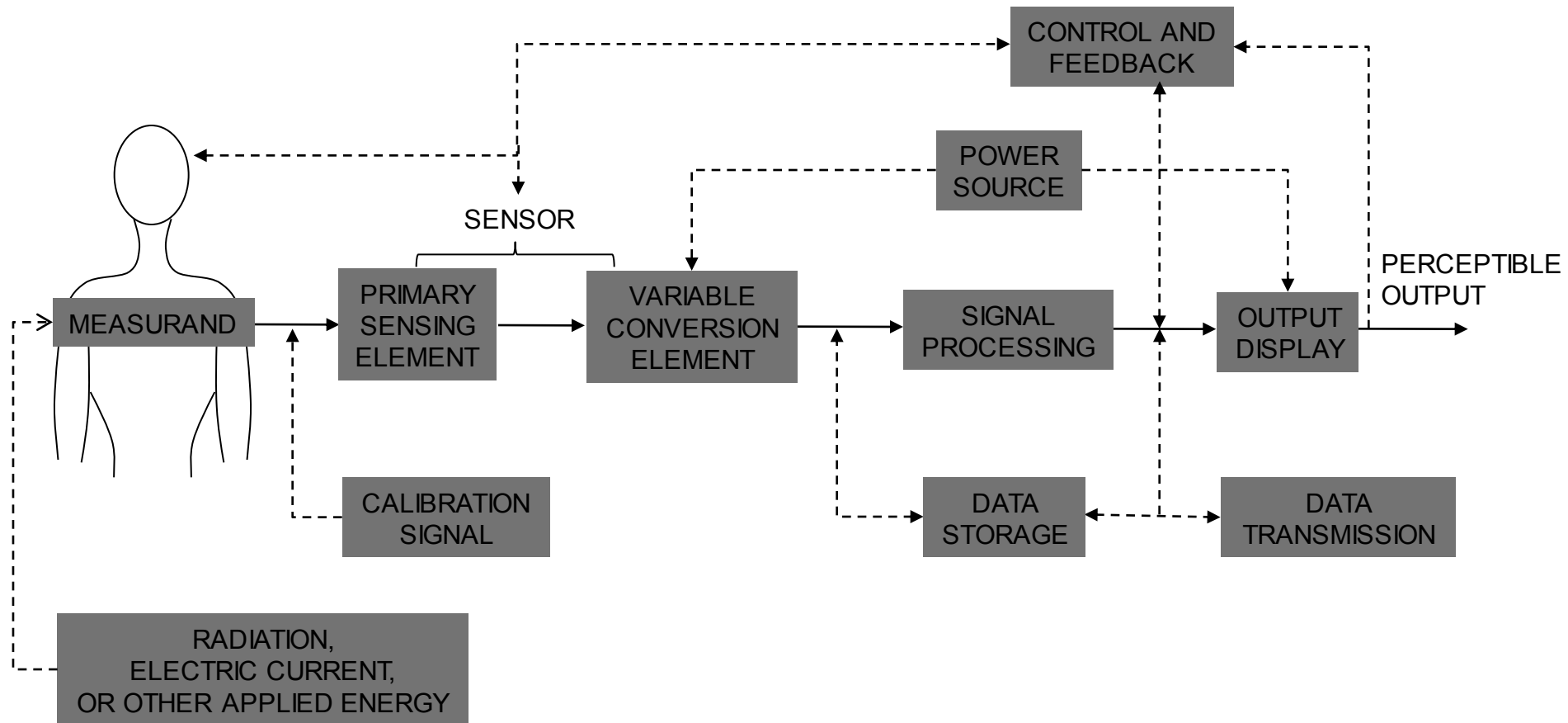


# CONCEPTOS GENERALES DE SENSORES BIOMÉDICOS

## Referencias:

- Medical Instrumentation: Application and Design, by John G. Webster, Ed. Wiley
- Handbook of Transducers, by H.N. Norton, Ed. Prentice Hall

# SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN MÉDICO GENÉRICO



# SINGULARIDADES DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA BIOMÉDICOS (I)

En muchos aspectos, los instrumentos biomédicos son similares a los usados en otros campos y usan la misma tecnología usada en aplicaciones industriales, comerciales, etc.

El hecho de ser usado en humanos hace que las especificaciones de seguridad y fiabilidad sean más exigentes.

Algunas consideraciones específicas:

- El origen y la propagación de la señal no es completamente entendido. El cuerpo humano es complejo y existen interacciones entre diferentes partes del cuerpo.
- Inaccesibilidad de las variables. Algunas variables están dentro del cuerpo y resulta difícil acceder a ellas.
- Difícil establecer el nivel de seguridad de la energía aplicada a un tejido. Nivel de electricidad, rayos-X, ultrasonidos.
- Biocompatibilidad. Las partes de los dispositivos médicos en contacto con el individuo deben ser no-tóxicas y no producir reacciones adversas. Deben aguantar el ambiente químico del cuerpo humano.

# SINGULARIDADES DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA BIOMÉDICOS (II)

- Bajo nivel de la señal. (ver tabla), por ejemplo  $\mu\text{V}$  en EEG. Exige transductores muy sensibles con muy buen rechazo al ruido.
- Rango de frecuencia (ver tabla), en el rango de audiofrecuencia o menores. Muchas señales contienen dc o muy bajas frecuencias.
- Señales variables con el tiempo y no determinísticas. Las señales cambian con la actividad, momento del día, etc.
- Señales varían entre individuos. Es difícil establecer los valores normales y existe una gran tolerancia.
- Dificultad para aislar señales de fuentes de interferencia que pueden proceder de otras partes del sistema biológico. No se puede desconectar un órgano o parte de un tejido para hacer las medidas. Por ejemplo, el latido de un feto está enmascarado por el latido de la madre y se requieren técnicas especiales para extraer la información.

# PARÁMETROS MÉDICOS Y FISIOLÓGICOS

Parameter or Measuring Technique	Principal Measurement Range of Parameter	Signal Frequency Range, Hz	Standard Sensor or Method
Temperature of body	32 – 40 °C (90 – 104 °F)	dc – 0.1	Thermistor, thermocouple
Electrocardiography (ECG)	0.5 – 4 mV	0.01-250	Skin electrodes
Electroencephalography (EEG)	5 – 300 $\mu$ V	dc – 150	Scalp electrodes
Electrocorticography and brain depth	10 – 5000 $\mu$ V	dc – 150	Brain-surface and depth electrodes
Electrogastrography (EGG)	10 – 1000 $\mu$ V	dc – 1	Skin-surface electrodes
Electromyography (EMG)	0.1 – 5 mV	dc – 10,000	Needle electrodes
Eye potentials			
EOG	50 – 3500 $\mu$ V	dc – 50	Contact electrodes
ERG	0 – 900 $\mu$ V	dc – 50	Contact electrodes
Nerve potentials	0.01 – 3 mV	dc – 10,000	Surface or needle electrodes
Galvanic skin response (GSR)	1 -500 k $\Omega$	0.01 – 1	Skin electrodes
Blood gases			
$PO_2$	30 - 100 mm Hg	dc – 2	Specific electrode, volumetric or manometric
$PCO_2$	40 - 100 mm Hg	dc – 2	Specific electrode, volumetric or manometric
$PN_2$	1 - 3 mm Hg	dc – 2	Specific electrode, volumetric or manometric
$PCO$	0.1 - 0.4 mm Hg	dc – 2	Specific electrode, volumetric or manometric
Blood pH	6.8 – 7.8 pH units	dc – 2	Specific electrode
Gastric pH	3 – 13 pH units	dc – 1	pH electrode; antimony electrode

# PARÁMETROS MÉDICOS Y FISIOLÓGICOS

Parameter or Measuring Technique	Principal Measurement Range of Parameter	Signal Frequency Range, Hz	Standard Sensor or Method
Ballistocardiography (BCG)	0 - 7 mg 1 - 100 $\mu$ m	dc - 40 dc - 40	Accelerometer, strain gage Displacement (LVDT)
Bladder pressure	1 - 100 cm H <sub>2</sub> O	dc - 40	Strain-gage, manometer
Blood pressure, arterial			
Direct	10 - 400 mm Hg	dc - 50	Strain-gage, manometer
Indirect	25 - 400 mm Hg	dc - 60	Cuff, auscultation
Blood pressure, venous	0 - 50 mm Hg	dc - 50	Strain gage
Gastrointestinal pressure	0 - 100 cm H <sub>2</sub> O	dc - 10	Strain-gage manometer
Gastrointestinal forces	1 - 50 g	dc - 1	Displacement system, LVDT
Phonocardiography (PCG)	Dynamic range 80 dB, threshold about 100 $\mu$ Pa	5 - 2000	Microphone
Plethysmography (volume change)			
Circulatory	Varies with organ measured	dc - 30	Displacement chamber or impedance change
	0 - 30 ml	dc - 30	Displacement chamber or impedance change
Blood flow	1 - 300 ml/s	dc - 20	Flowmeter (electromagnetic or ultrasonic)
Cardiac output	4 - 25 liter/min	dc - 2	Dye dilution, Fick
Respiratory functions			
Pneumotachography (flow rate)	0 - 600 liter/min	dc - 40	Pneumotachograph head and differential pressure
Respiratory rate	2 - 50 breaths/min	0.1 - 10	Strain gage on chest, impedance, nasal thermistor
Tidal volume	50 - 1000 ml/breath	0.1 - 10	Above methods

# CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS BIOMÉDICOS (I)

## POR LA FUNCIÓN:

- Diagnóstico: usados para determinar signos físicos o enfermedades sin alteración de la estructura y función del sistema biológico.

Ej: Instrumento de tomografía computerizada.

Dentro de estos dispositivos, los dispositivos de monitorización se usan para determinar cambios de un parámetro fisiológico durante un periodo de tiempo.

Ej: Monitorización del latido de corazón en pacientes en cuidados intensivos.

-Terapéuticos: diseñados para producir cambios estructurales o funcionales que lleven a una mejora del paciente.

Ej: aceleradores lineales para el tratamiento del cáncer, sistemas de cirugía.

Dentro de ellos los dispositivos de asistencia son los usados para restaurar una función del cuerpo humano.

Ej: marcapasos del corazón, audífonos, sillas de ruedas.

# CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS BIOMÉDICOS (II)

**POR EL PARÁMETRO FÍSICO MEDIDO:** Presión, temperatura, flujo, pH ...

Esta clasificación facilita la comparación de diferentes métodos para medir una magnitud dada.

**POR EL PRINCIPIO DE TRANSDUCCIÓN:** Resistivo, capacitivo, inductivo, electroquímico, ultrasonidos ...

Esta clasificación pone énfasis en el concepto que subyace a la transducción y nuevas aplicaciones pueden inferirse fácilmente.

**POR EL SISTEMA FISIOLÓGICO:** sistema cardiovascular (Ej. EEG), pulmonar (Ej. ventilador mecánico), nervioso, endocrino.

Esta clasificación aísla todas las medidas importantes para los especialistas de un área determinada.

**POR LAS ESPECIALIDADES MÉDICAS:** pediatría, obstetricia, cardiología, radiología, etc.

Esta clasificación es útil para personal médico interesados en instrumentos especializados, aunque un determinado instrumento (Ej. Medida de la presión sanguínea) puede ser de interés para diferentes especialidades.

**POR LAS CLASES DE RIESGO.** El nivel de riesgo en los pacientes determina el control regulatorio impuesto a los fabricantes y usuarios para asegurar su seguridad y eficacia en su uso clínico. Clase I (poco riesgo) – tiritas-, Clase II – lentes de contacto- , Clase III – cateters-, Clase IV (riesgo más alto)–válvulas de corazón-

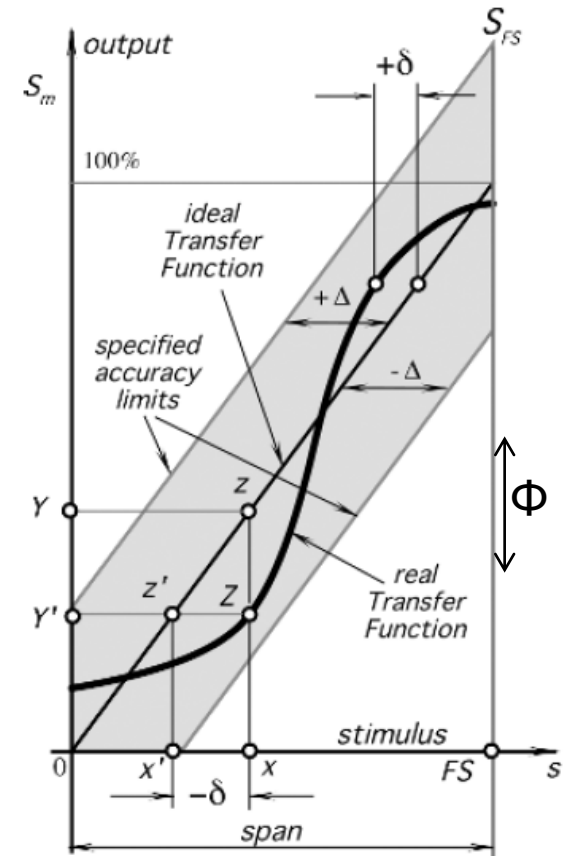


# CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA

- Para todos los sistemas de medida existe una relación entre la magnitud de salida-magnitud medida, que puede establecerse en forma de tabla de valores, gráfica o ecuación matemática.
- La **función de transferencia** (*transfer function*) establece la dependencia entre la señal eléctrica (Y) producida por el sistema y la magnitud medida (x)  $Y=f(x)$ .
  - En muchos casos la función es unidimensional pero puede tener más de una dimensión cuando la salida depende de más de un estímulo  $Y=f(x_1, x_2, \dots)$ .
  - Esta función puede ser lineal o no-lineal (logarítmica, exponencial, potencial, etc.)
  - Para indicar el valor de la magnitud de entrada, se debe usar la función inversa  $x=f^{-1}(Y)$ . Cuando la función de transferencia es lineal, es sencillo calcular la función inversa, pero si f es no-lineal, esta tarea puede resultar difícil y en ocasiones la solución analítica no es sencilla de procesar y hay que recurrir a aproximaciones.

- La función de transferencia ideal o teórica raramente coincide con la real debido a variaciones del material, errores de diseño, tolerancias en la fabricación y otras limitaciones.
- La **calibración** (*calibration*) implica determinar las variables específicas que describen la función de transferencia de un sensor o sistema de medida completo particular.
  - Es preciso conocer el modelo matemático de la función de transferencia. Por ejemplo, si es una línea recta, hace falta determinar dos parámetros y para ello es necesario obtener al menos dos puntos (introducir dos valores conocidos en la entrada y registrar la salida). Para otras funciones polinómicas de orden superior son necesarios más puntos experimentales.
  - Para calibrar los sensores es esencial disponer y mantener apropiadamente standards físicos precisos y exactos de la magnitud medida. Por ejemplo, un baño térmico con temperatura controlada para calibrar un sensor de temperatura. La exactitud del sistema calibrado está directamente relacionada con la exactitud del sistema calibrador.

- La **inexactitud** (*inaccuracy*) indica la máxima desviación entre el valor real y el valor ideal correspondiente a una entrada.
  - Para una entrada  $x$ , la salida ideal sería  $Y$ . Sin embargo el sensor real produce  $Y'$ , que correspondería a una entrada  $x'$  en el caso ideal. Así la imperfección de la función de transferencia produce un ERROR de  $-\delta$ .
- El error puede representarse de varias formas:
  - Directamente en términos de la magnitud medida ( $\Delta$ ).
  - En términos de la señal de salida ( $\Phi$ ).
  - En porcentaje del fondo de escala.
- El error puede ser de varios tipos:
  - Aleatorio
  - Sistemático
  - De cuantización
  - Dinámico.



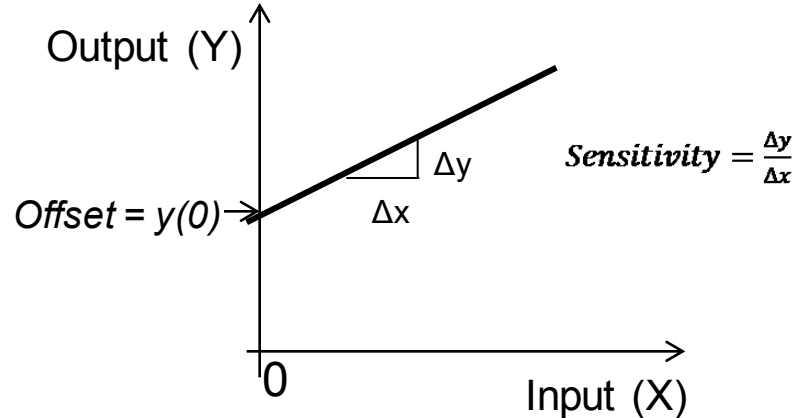
# CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

Describen las prestaciones con cambios muy lentos en la magnitud medida en condiciones ambientales normales (25°C, 1 atm, <90% HR),.

**SENSIBILIDAD:** relación entre las variaciones de la salida y las variaciones de la magnitud medida. Es la pendiente de la función de transferencia. Sólo es constante si la función de transferencia es lineal.

**ZERO OFFSET:** valor de la salida para entrada nula.

**INPUT ZERO OFFSET:** valor aplicado a la entrada para que la salida sea nula.



**DERIVAS TÉRMICAS:** variación de las características (sensibilidad, offset) con la temperatura, considerada ésta como un factor ambiental, no la magnitud medida.

**LINEALIDAD:** proximidad de la curva de calibración del equipo respecto a una recta.

**LINEALIDAD TERMINAL:** referida a la línea recta que pasa por los puntos terminales (valores máximos y mínimos) teóricos.

**LINEALIDAD DE PUNTOS EXTREMOS:** referida a la línea que pasa por los puntos extremos experimentales.

**LINEALIDAD INDEPENDIENTE:** referida a la línea recta intermedia entre dos líneas rectas paralelas próximas que envuelven todos los valores de calibración.

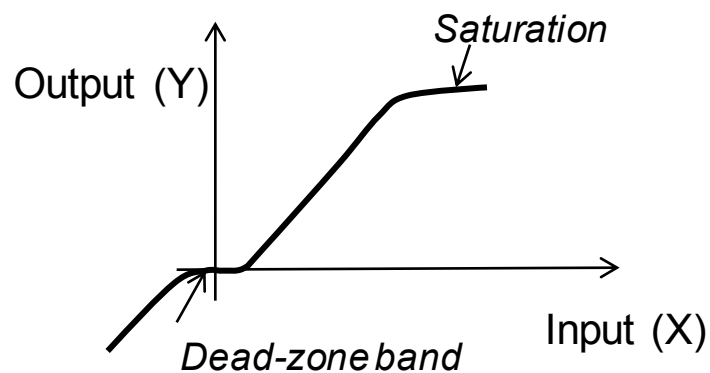
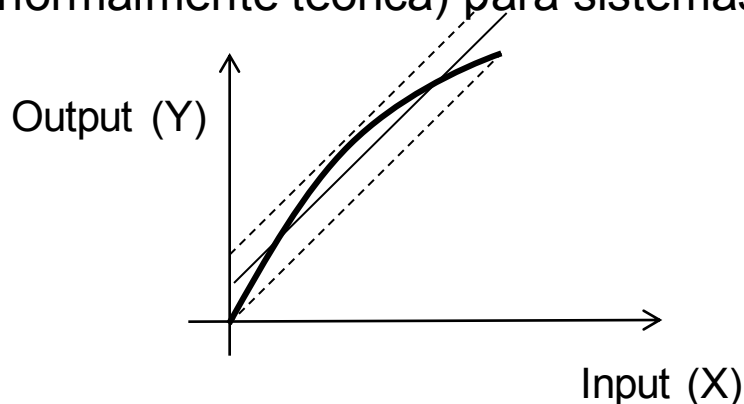
**LINEALIDAD DE MÍNIMOS CUADRADOS:** referida a la línea recta obtenida mediante la minimización de la suma de los cuadrados de los residuos.

**LINEALIDAD BASADA EN UN PUNTO:** referida a una línea recta que pasa por un punto específico.

**SATURACIÓN:** ocurre cuando la salida no puede aumentar más aunque aumente la entrada.

**ZONA MUERTA:** rango de la entrada en que la salida permanece constante.

**CONFORMIDAD:** proximidad de una curva de calibración a una curva especificada (normalmente teórica) para sistemas intrínsecamente no lineales.



**HISTÉRESIS:** máxima diferencia en la salida cuando los valores de la entrada se aproximan de forma creciente y luego decreciente.

**RESOLUCIÓN:** es el mínimo cambio en la entrada que puede ser detectado a la salida.

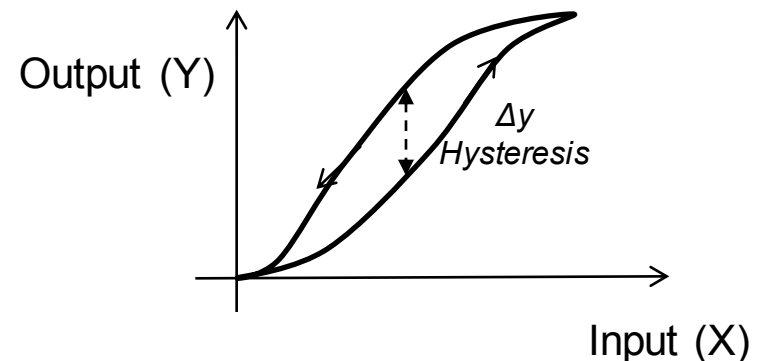
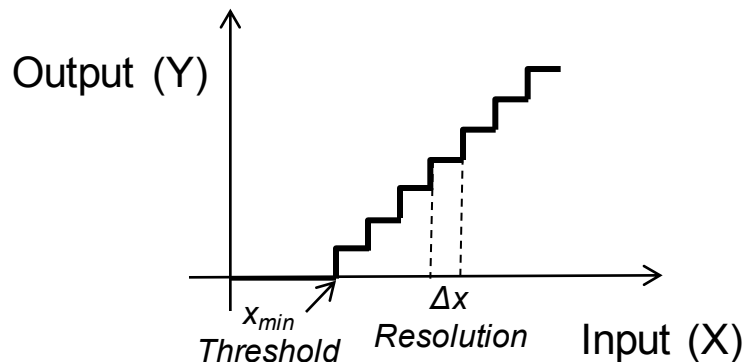
La mayoría de los sensores analógicos tienen una resolución infinitesimal. En los sensores digitales, la resolución es finita y está limitada por el número de bits.

**RANGO DINÁMICO:** relación entre el margen de medida y la resolución (en dB)

**UMBRAL:** mínimo valor de la entrada que es detectado a la salida.

**REPETITIVIDAD:** diferencia en la salida cuando se aplican los mismos valores de entrada y en las mismas condiciones.

**REPRODUCIBILIDAD:** hace referencia a la capacidad de obtener la misma salida cuando se aplican los mismos valores de entrada en «aparentemente» las mismas condiciones pero por diferentes personas o en diferentes laboratorios.



# CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

Describen la respuesta del equipo cuando la magnitud medida cambia con el tiempo.

Para señales periódicas (normalmente sinusoidales) se describe el comportamiento en el **DOMINIO DE LA FRECUENCIA**.

**RANGO DE FRECUENCIA** en el que para entradas sinusoidales la amplitud de la relación salida/entrada es constante dentro de un determinado margen de error dinámico (diferencia entre el módulo de la función de transferencia a frecuencia cero y a la frecuencia de referencia en relación al módulo de la función de transferencia a frecuencia cero).

**DESFASE** a una frecuencia dada: define el retraso, expresado en grados o rad, de la señal de salida respecto a una señal sinusoidal de entrada

Para señales transitorias (normalmente entrada en escalón) se describe el comportamiento en el **DOMINIO DEL TIEMPO**.

**TIEMPO DE RESPUESTA**: tiempo requerido para que la salida alcance un porcentaje especificado de su valor final (típicamente 95% o 98%)

**TIEMPO DE SUBIDA**: tiempo requerido para que la salida pase de un pequeño porcentaje a un gran porcentaje del valor final (típicamente 10% al 90%)

**TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO**: tiempo requerido para que la señal se estabilice en un rango finito del valor final (típicamente  $\pm 5\%$ )

Para señales aleatorias (ruido) se describe el comportamiento espectral.

El comportamiento del sistema depende del orden del sistema que lo describe.