



UNIVERSIDAD  
DE LOS ANDES  
MÉRIDA VENEZUELA

Fundamentos de las Mediciones Eléctricas  
Teoría y Prácticas de Laboratorio

Jesús A. Calderón-Vielma  
**Escuela de Ingeniería Eléctrica**  
**Departamento de Circuitos y Medidas**  
**Universidad de Los Andes**

Mérida, Octubre de 2001

# Índice General

<b>1</b>	<b>Sistema Internacional de Unidades (SI)</b>	<b>1</b>
1.1	Introducción . . . . .	1
1.2	Reseña Histórica del Sistema Internacional . . . . .	1
1.3	Unidades del Sistema Internacional . . . . .	3
1.4	Prefijos SI para múltiplos y submúltiplos de Unidades . . . . .	4
1.5	Organismos que rigen el SI . . . . .	6
1.6	Reglas para el uso del SI . . . . .	7
1.6.1	Reglas para la escritura de los símbolos de unidades . . . . .	7
1.6.2	Reglas para escribir numeros . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Características de los Instrumentos de Medición</b>	<b>9</b>
2.1	Introducción . . . . .	9
2.2	Características y especificaciones generales de los instrumentos . . . . .	10
2.2.1	Términos relacionados con la señal . . . . .	10
2.2.2	Términos relacionados con el rango . . . . .	11
2.2.3	Términos relacionados con la calidad de la lectura . . . . .	11
2.2.4	Términos relacionados con la exactitud - Condiciones estáticas . . . . .	12
2.2.5	Términos relacionados con las características dinámicas . . . . .	20
2.2.6	<i>Términos relacionados con la energía</i> . . . . .	22
2.2.7	<i>Términos relacionados con la operación</i> . . . . .	23



# Capítulo 1

## Sistema Internacional de Unidades (SI)

### 1.1 Introducción

La medición es un proceso de reconocimiento que se reduce a la comparación, mediante un experimento físico, de una magnitud dada con un valor de esta magnitud elegido como unidad.

Las unidades se fijan por acuerdos internacionales y en general, siempre que ello sea posible, se materializan en condiciones rigurosamente establecidas.

Esta materialización de la unidad recibe el nombre de patrón, el cual, debe ser lo más exacto, constante y reproducible.

El desarrollo de la ciencia está relacionado con el desarrollo de las técnicas de medición. Las teorías pueden ser confirmadas sólo con las mediciones. Es inevitable que un ingeniero tenga que realizar mediciones utilizándolas como medio para obtener una determinada información o para investigaciones científicas.

El ingeniero, el técnico y el investigador, deben estar familiarizado a fondo con los instrumentos, los métodos y las técnicas de medición.

La compleja determinación de una magnitud exige, la indicación del valor numérico y de la unidad empleada. Un ingeniero debe estar claro con respecto a lo que representan las mediciones a realizar y la referencia que se tiene en cada clase de medición.

Las unidades físicas están relacionadas entre sí por ecuaciones. Muchas de estas ecuaciones expresan solamente la homogeneidad de dos magnitudes. En cambio otras expresan leyes universales de la física y permiten definir nuevas magnitudes. En el estudio de las leyes que gobiernan los fenómenos físicos se reconoció desde hace siglos, que de las distintas magnitudes son pocas las que tienen que considerarse independientes. En principio tres magnitudes se consideraron como completamente independientes entre si e irreducibles como son: la longitud, la masa y el tiempo, estableciéndose de esta manera como magnitudes fundamentales. Así con base a un sistema de sólo tres unidades fundamentales se desarrollo la interpretación de todos los fenómenos físicos estableciéndose sus correlaciones y leyes.

### 1.2 Reseña Histórica del Sistema Internacional

La creación del Sistema Métrico decimal al momento de la Revolución Francesa y la subsecuente declaración de dos estándares de platino representando el metro y el kilogramo el 22 de junio

de 1799, en los Archivos de la República en París puede ser considerado el primer paso en el desarrollo del presente Sistema Internacional de Unidades.

En 1832, Gauss promovió fuertemente el Sistema Métrico, junto con la definición del segundo en astronomía, como un sistema coherente de unidades para las ciencias físicas. Gauss fue el primero en hacer medidas absolutas de la fuerza magnética de la tierra, en términos de un sistema decimal basado en las tres unidades mecánicas: milímetro, gramo y segundo; usadas respectivamente para las cantidades longitud, masa y tiempo. En los últimos años, Gauss y Weber extendieron esas mediciones para incluir fenómenos eléctricos.

Esas aplicaciones en el campo de la electricidad y el magnetismo fueron además desarrolladas en los años 1860 bajo el activo liderazgo de Maxwell y Thomson a través de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS: British Association for the Advancement of Science). En 1874 la BAAS introdujo el sistema CGS, un sistema tridimensional de unidades coherente basado en las tres unidades mecánicas: centímetro, gramo y segundo, usando un rango de prefijos desde micro hasta mega para expresar múltiplos y submúltiplos decimales. El siguiente desarrollo de la física como una ciencia experimental estuvo basado principalmente en este sistema..

Las dimensiones de las unidades del CGS coherente en el campo de la electricidad y el magnetismo evidenciaron ser inconvenientes, sin embargo, en los años 1880, la BAAS y el Congreso Internacional Eléctrico, predecesor de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC: International Electrotechnical Commission), aprobaron un conjunto coherente mutuo de unidades prácticas. Entre ellas estaba el ohm para la resistencia eléctrica, el volt para la fuerza electromotriz y el ampere para la corriente eléctrica.

Después del establecimiento de la Convención del Metro el 20 de mayo de 1875 en París, el Comité Internacional para Pesos y Medidas (CIPM: Comité International des Poids et Mesures) se concentro en la construcción de nuevos prototipos tomando el metro y el kilogramo como unidades bases de longitud y masa. En 1889 la 1era. Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM: Conférence Générale des Poids et Mesures) sancionó los prototipos internacionales para el metro y el kilogramo. Al mismo tiempo con el segundo astronómico como unidad de tiempo, esas unidades constituyeron un sistema de unidades mecánico tridimensional similar al sistema CGS, pero con las unidades básicas: metro, kilogramo y segundo.

En 1901 Giorgio mostró que es posible combinar las unidades mecánicas de este sistema metro-kilogramo-segundo con las unidades prácticas eléctricas para formar un sencillo sistema cuadridimensional agregando a las tres unidades básicas una cuarta unidad de naturaleza eléctrica, tal como el ampere o el ohm, reescribiendo la ocurrencia de ecuaciones en electromagnetismo en la llamada forma racionalizada. La propuesta de Giorgio abrió el camino a un número de nuevos desarrollos.

Luego de la revisión de la Convención del metro por la 6ta. CGPM en 1921, la cual extendió el alcance y responsabilidades del Buró Internacional de Pesos y Medidas (BIPM: Bureau International des Poids et Mesures) a otros campos de la física, y la subsecuente creación del CCE (ahora el CCEM) por la 7ma. CGPM en 1927, la propuesta de Giorgio fue discutida a fondo por la IEC y la IUPAP y otras organizaciones internacionales. Esto condujo al CCE a recomendar en 1939, la adopción de un sistema cuadridimensional basado en el metro, kilogramo, segundo y ampere; una propuesta aprobada por el CIPM en 1946.

Siguiendo una indagación internacional por el BIPM, la cual comenzó en 1948, la 10ma. CGPM en 1954 aprobó la introducción del ampere, el kelvin y la candela como unidades básicas respectivamente. El nombre de Sistema Internacional de Unidades (SI: Le Système International d'Unités) fue dado al sistema por la 11ma. CGPM en 1960. En la 14ta. CGPM en 1971 la versión actual del SI fue completada con el agregado del mole como unidad básica para la

cantidad de sustancia, llevando el número total de unidades básicas a siete.

### 1.3 Unidades del Sistema Internacional

En la evolución de establecer patrones rigurosos en base a la exactitud, valor constante y reproducibilidad, un paso importante fue la adopción internacional en el año de 1948 de los patrones absolutos. Sin embargo, es solamente en la 11ma. Conferencia General de Pesas y Medidas (París, Octubre de 1960), cuando definitivamente se aprobó el sistema de medidas conocido como SI (Sistema Internacional), el cual sustituyó a los sistemas c.g.s. y M.K.S. eliminando los problemas que originaban el uso dual de esos dos sistemas.

El sistema SI consta de siete unidades básicas, las cuales se muestran en la Tabla 1.1.

A continuación se dan las definiciones de las unidades básicas que son consideradas independientes entre si, en cada definición se indica cuando fue realizada su última actualización.

1. **El metro:** es la longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de  $1/299\,792\,458$  de un segundo. Esta definición fué adoptada en 1983 por la CGPM.
2. **El kilogramo:** es definido como la masa de un cilindro de platino e iridio que es mantenido en el BIPM bajo condiciones establecidas en 1889 por la 1era. CGPM. Esta definición fué adoptada en 1901 por la 3era. CGPM.
3. **El segundo:** es la duración de  $9\,192\,631\,770$  periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del bajo estado del átomo de cesio 133. Esta definición fué adoptada en 1967 por la 13va. CGPM y afirmada por el CIPM en 1997.
4. **El ampere:** es esa corriente constante que, si se mantiene en dos conductores paralelos rectos de longitud infinita, de sección transversal circular despreciable, y colocados a una separación de 1 m en vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a  $2 * 10^{-7}$  newton por metro de longitud. Esta definición fué adoptada en 1948 por la 9na. CGPM.
5. **El kelvin:** es definido como la fracción  $1/273.16$  de la temperatura termodinámica del triple punto del agua. La temperatura 0 K es denominado “cero absoluto”. Esta definición fué adoptada en 1967 por la 13va. CGPM.
6. **El mole:** se define como la cantidad de sustancia contenida en tantas cantidades elementales como átomos en 0.012 kg de carbono 12. Esta definición fué adoptada en 1971 por la 14ta. CGPM.
7. **La candela:** es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hz y que tiene una intensidad radiante

Cantidad	Nombre de la Unidad	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampere	A
temp. termodinámica	kelvin	K
cantidad de sustancia	mole	mol

Tabla 1.1: Unidades básicas del SI

Cantidad	Nombre	Símbolo	Equivalente a
ángulo plano	radian	rd	-
ángulo sólido	steradian	sr	-
fuerza	newton	N	kg.m/s <sup>2</sup>
presión	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
trabajo, energía	joule	J	N.m
potencia	watt	W	J/s
carga eléctrica	coulomb	C	A.s
potencial eléctrico	volt	V	W/A
resistencia	ohm	Ω	V/A
capacitancia	farad	F	C/V
conductancia	siemens	S	A/V
flujo magnético	weber	Wb	V.s
inductancia	henry	H	Wb/A
densidad de flujo magnético	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
frecuencia	hertz	Hz	1/s
flujo luminoso	lumen	lm	cd.sr
luminancia	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>
temperatura Celsius	grado Celsius	°C	K
actividad	becquerel	Bq	1/s
dosis de absorción	gray	Gy	J/kg
dosis equivalente	sievert	Sv	J/kg
actividad catalítica	katal	kat	s <sup>-1</sup> .mol

Tabla 1.2: Unidades derivadas en SI con nombres especiales

en esa dirección de 1/683 watt por steradian. Esta definición fué adoptada en 1979 por la 16ma. CGPM.

Además de veintidos unidades derivadas que se forman con las unidades básicas que tienen nombre propio como se puede apreciar en la Tabla 1.2 y otro grupo de unidades derivadas sin nombre propio.

## 1.4 Prefijos SI para múltiplos y submúltiplos de Unidades

El SI establece también los prefijos para los múltiplos y los sub-múltiplos de las unidades. Los 20 prefijos SI usados para formar múltiplos y submúltiplos decimales del SI son mostrados en la tabla 1.3.

### Prefijos para múltiplos binarios

Como los prefijos del SI representan estrictamente potencias de 10, ellos no deberían ser usados para representar potencias de 2. Entonces, un kilobit, o 1 kbit es 1000 bit = y no  $2^{10} = 1024$  bit. Para solventar esta ambigüedad, prefijos para los múltiplos binarios han sido adoptados por la IEC para el uso en tecnología de la información.

En diciembre de 1998 la IEC, la principal organización internacional para la normalización mundial en electrotecnología, aprobó un Estándar Internacional IEC de nombres y símbolos de los prefijos para múltiplos binarios a usar en los campos del procesamiento y transmisión de datos. Los prefijos establecidos se muestran en la tabla 1.4.

Factor de multiplicación	Nombre	Símbolo
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto*	h
$10^1$	deka*	da
$10^{-1}$	deci*	d
$10^{-2}$	centi*	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

\*Deben ser omitidas en lo posible

Tabla 1.3: Prefijos SI

Factor	Nombre	Símbolo	Origen	Derivación
$2^{10}$	kibi	Ki	kilobinario: $(2^{10})^1$	kilo: $(10^3)^1$
$2^{20}$	mebi	Mi	megabinario: $(2^{10})^2$	mega: $(10^3)^2$
$2^{30}$	gibi	Gi	gigabinario: $(2^{10})^3$	giga: $(10^3)^3$
$2^{40}$	tebi	Ti	terabinario: $(2^{10})^4$	tera: $(10^3)^4$
$2^{50}$	pebi	Pi	petabinario: $(2^{10})^5$	peta: $(10^3)^5$
$2^{60}$	exbi	Ei	exabinario: $(2^{10})^6$	exa: $(10^3)^6$

Tabla 1.4: Prefijos para múltiplos binarios



un kibibit	<b>1 Kibit = <math>2^{10}</math> bit = 1024 bit</b>
un kilobit	1 kbit = $10^3$ bit = 1000 bit
un mebibyte	<b>1 MiB = <math>2^{20}</math> B = 1 048 576 B</b>
un megabyte	1 MB = $10^6$ B = 1 000 000 B
un gibibyte	<b>1 GiB = <math>2^{30}</math> B = 1 073 741 824 B</b>
un gigabyte	1 GB = $10^9$ B = 1 000 000 000 B

Tabla 1.5: Ejemplos y comparaciones de prefijos binarios con prefijos SI

Es importante reconocer que los nuevos prefijos para los múltiplos binarios no son parte del Sistema Internacional de Unidades (SI), el sistema métrico moderno. Sin embargo, para facilitar la comprensión y llamado, ellos se derivaron de los prefijos del SI para potencias positivas de diez. Como puede verse en la tabla 1.4, el nombre de cada nuevo prefijo se deriva del nombre del prefijo SI correspondiente, manteniendo las primeras dos letras del nombre del prefijo del SI y agregando las letras “bi”, la cual recuerda la palabra “binario”. Así mismo, el símbolo de cada nuevo prefijo se deriva del símbolo del prefijo del SI correspondiente agregando la letra “i”, que de nuevo recuerda la palabra “binario”. (Para la consistencia con los otros prefijos de los múltiplos binarios, el símbolo Ki es usado para  $2^{10}$  en lugar de ki).

En la tabla 1.5, se muestran algunos ejemplos y comparaciones de prefijos binarios con prefijos SI.

## 1.5 Organismos que rigen el SI

El Sistema Internacional de Unidades, universalmente abreviado SI (del francés *Le Système International d’Unités*), es el sistema métrico moderno de medida. El SI se estableció en 1960 por la 11ma. Conferencia General en los Pesos y Medidas (**CGPM: *Conférence Générale des Poids et Mesures***). La CGPM es la autoridad internacional que asegura la amplia diseminación del SI y modifica el SI cuando sea necesario reflejar los últimos adelantos en ciencia y tecnología.

La CGPM es una organización de tratado intergubernamental creada por un tratado diplomático llamado la **Convención del Metro** (*Convention du Mètre*). La Convención del Metro se firmó en París en 1875 por representantes de diecisiete naciones, incluyendo a Venezuela. Ahora hay cincuenta y un Estados Miembros abarcando a todos los grandes países industrializados. La Convención modificada ligeramente en 1921, conserva las bases de todo el acuerdo internacional sobre las unidades de medida.

La Convención del Metro también creó el Buró Internacional de Pesos y Medidas (**BIPM: *Bureau International des Poids et Mesures***) y el Comité Internacional de Pesos y Medidas (**CIPM: *Comité International des Poids et Mesures***). El BIPM que se localiza en Sèvres, un suburbio de París, Francia y que tiene la tarea de asegurar la unificación mundial de las medidas físicas, opera bajo la vigilancia exclusiva del CIPM que está bajo la autoridad de la CGPM.

La CGPM consiste de delegados de todos los Estados Miembros de la Convención del Metro, y generalmente se reúne cada cuatro años (la 21ra. CGPM tuvo lugar en octubre de 1999). El CIPM consiste de dieciocho miembros, cada uno pertenece a un Estado Miembro diferente; se reúne todos los años, normalmente en septiembre en el BIPM.

Las modificaciones sugeridas al SI son sometidas a la CGPM por el CIPM para la adopción formal. El CIPM también puede en su propia autoridad pasar resoluciones y recomendaciones

clarificadoras con respecto al SI (estas resoluciones y recomendaciones normalmente tratan sobre materias de interpretación y uso).

Para ayudar en su amplio espectro de actividades técnicas, el CIPM ha preparado varios Comités Consultivos (Comités Consultatifs). Estos comités le proporcionan información al CIPM sobre materias que se refiere a ellos para el estudio y consejo. En cada Comité Consultivo, el Presidente normalmente es un miembro del CIPM, está compuesto de delegados de los institutos de metrología nacional, institutos especializados, y otras organizaciones internacionales, así como de los miembros individuales. El Comité Consultivo para las Unidades (*CCU: Comité Consultatif des Unités*) el cual fue establecido en 1964 y reemplazó la Comisión para el Sistema de Unidades establecido por el CIPM en 1954, él aconseja al CIPM en materias que tratan con el SI. En particular, el CCU ayuda en el borrador del Folleto SI del BIPM. La 7ma. edición del Folleto SI del BIPM (el más reciente) fue publicado por el BIPM en 1998, y un suplemento a él se publicó en junio de 2000.

## 1.6 Reglas para el uso del SI

Se debe tener cuidado al usar los símbolos de las unidades en forma apropiada, ya que los acuerdos internacionales proveen reglas uniformes. El manejo del nombre de las unidades varia de acuerdo al lenguaje, sin embargo, las reglas aquí descritas son la normativa más usada internacionalmente.

El SI establece algunas reglas sencillas para el uso del sistema, las cuales se describen a continuación.

### 1.6.1 Reglas para la escritura de los símbolos de unidades

Las reglas básicas para la escritura de los símbolos de unidades son:

1. Los símbolos son siempre impresos en letra tipo romana, indistintamente del tipo de letra usado en el resto del texto: m g °C s
2. Los símbolos son escritos en minúscula excepto cuando el nombre de la unidad se deriva de un nombre propio: m para metro, s para segundo, pero N para newton, A para ampere. Nota: cuando los nombres de las unidades se derivan de nombres propios, se escriben en minúscula y el nombre completo. Las excepciones a esta regla son el símbolo L para litro y el nombre de Celsius que comienza con mayúscula.
3. Los símbolos de los prefijos se imprimen en letra tipo romana sin espacio entre los símbolos del prefijo y la unidad: kg para kilogramo, km para kilómetro.
4. Los símbolos nunca se pluralizan: 1 g, 45 g (no 45 gs).
5. Nunca use un punto después de un símbolo, excepto cuando el símbolo ocurre al final de una oración.
6. Siempre use un espacio entre el número y el símbolo: 45 g (no 45g)  
Excepción: cuando el primer carácter de un símbolo (no para unidades SI) no es una letra, no se debe dejar espacio:  
32°C (no 32 ° C ó 32° C) 75° 12' 45" (no 75 ° 12 ' 45 ")
7. Los símbolos se usan en conjunto con números en lugar de escribir el nombre completo de la unidad; cuando no hay números, las unidades se escriben con su nombre propio.

**1.6.2 Reglas para escribir números**

1. Se usan decimales, no fracciones: 0,25 g (no  $1/4$  g)
2. Se usa un cero antes de la coma en los valores numéricos menores que uno: 0,45 g (no ,45 g)
3. Se usa espacios para separar números muy grandes para que sean de fácil lectura en bloques de a tres dígitos con respecto a la coma: 32 453,246 072 5

## Capítulo 2

# Características de los Instrumentos de Medición

### 2.1 Introducción

Los instrumentos de medición son los que hacen posible la observación de cualquier fenómeno físico y su cuantificación en el proceso de medición. Al realizar una medición en el mundo real, los instrumentos no son sistemas ideales, por lo tanto, tienen una serie de limitaciones que se deben tomar en cuenta para poder juzgar si afectan de alguna manera las mediciones que se realizan, y así determinar la veracidad de las mediciones.

Durante algunos años, varias sociedades técnicas y organizaciones profesionales han hecho esfuerzos concernientes a desarrollar un cuerpo de definiciones y términos que describan de una manera consistente muchas características y especificaciones que se aplican a instrumentos. Lo más reciente al respecto es el trabajo del comité de SAMA (Scientific Apparatus Marker Association), incluida en el programa de ISA (Instruments, Systems and Automation Society) a través de la recomendación ISA - S51.1 (“Standard Process Instrumentation Terminology”), trabajando en cooperación con la ANSI (American National Standards Institute) y otras organizaciones de normalización.

Los instrumentos se caracterizan y se especifican de acuerdo a términos relacionados con:

- a.- Señal.
- b.- Rango.
- c.- Calidad de lectura.
- d.- Características estáticas de exactitud y precisión.
- e.- Características Dinámicas.
- f.- Energía.
- g.- Operación.

RANGOS TIPI- COS	TIPO DE RANGO	RANGO	VALOR INFERIOR DEL RAN- GO	VALOR SUPERIOR DEL RAN- GO	ALCANCE
(Termopar) 0—200°C	VARIABLE DE MEDIDA	0 a 200°C	0°C	200°C	200°C
(-0.68 +44.91) mV	SEÑAL DE MEDIDA	-0.68 a 44.91 mV	-0.68 mV	44.91 mV	45.59 mV
0—200x10°C	ESCALA	0 a 2000°C	0°C	200°C	200°C
(Tacómetro) 0—500 rpm	VARIABLE DE MEDIDA	0 a 500 rpm	0 rpm	500 rpm	500 rpm
0—5 V	SEÑAL DE MEDIDA	0 a 5 V	0 V	5 V	5 V
0—30 m/s	ESCALA	0 a 30 m/s	0 m/s	30 m/s	30 m/s

Tabla 2.1: ILUSTRACION DEL USO DE LOS TERMINOS “VARIABLE DE MEDIDA Y “SEÑAL DE MEDIDA”

## 2.2 Características y especificaciones generales de los instrumentos

En las siguientes definiciones que caracterizan y especifican a un instrumento en forma general, se darán los términos comúnmente usados en inglés.

### 2.2.1 Términos relacionados con la señal

1. **Variable de Medida (Measured Variable):** es la cantidad física, propiedad o condición que es medida.

Ejemplo: Temperatura, presión, flujo, velocidad, resistencia eléctrica, etc.

2. **Señal de Medida (Measured Signal):** son señales eléctricas, neumáticas o de cualquier tipo aplicada al instrumento. Es la salida de un transductor , cuando este es usado para la medición de una variable. En un termómetro de termopar, la señal medida es una fuerza electromotriz (emf), que es una variable eléctrica analógica, dependiente de la temperatura aplicada al termopar. En un sistema de tacómetro eléctrico , la señal de medida puede ser un voltaje analógico proporcional a la velocidad de rotación de la parte acoplada del tacómetro al generador. Estos ejemplos se pueden observar en la tabla 2.1.

3. **Señal de entrada (Input Signal):** es la señal aplicada directamente al elemento o entrada del instrumento. o no y entregada por un instrumento.

4. **Señal de salida (Output Signal):** es la señal procesada o no y entregada por un instrumento.

### 2.2.2 Términos relacionados con el rango

1. **Campo o rango de medida (range)**: es el conjunto de valores de la variable medida, que están comprendidos dentro de los límites superior (URV: Upper Range Value) e inferior (LRV: Lower Range Value) de la capacidad de medida o de transmisión de un instrumento.

Ejemplo:

0 - 150°C

100 - 300°C

-20 - 200°C

2. **Alcance (span)**: es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento:  $\text{span} = \text{URV} - \text{LRV}$  Ejemplo:

rango: -20 - 200 K;

span= 220 K

3. **Sobrealcance y subalcance (Overrange)**: de un sistema o elemento, es cualquier valor que exceda a la señal de entrada por arriba o por abajo del valor del rango.

4. **Rango de Elevación de cero (Elevated-Zero Range)**: es un rango en el cual, el valor cero de la variable medida, señal medida, etc.; es más grande que el valor inferior del rango.

Ejemplo:

Elevated-zero range: -20 - 100°C

Para un rango elevado de cero, la cantidad de la variable medida que esta por arriba del valor inferior del rango hasta el valor cero, es expresado en unidades de la variable medida o en porcentaje (%) del alcance y se define como elevación de cero (Zero elevation). Para el rango elevado de cero anterior se tiene el siguiente ejemplo:

Elevación de cero: 20

5. **Rango de supresión de cero (Suppressed-Zero Range)**: es un rango en el cual, el valor cero de la variable medida es menor que el valor inferior del rango.

Ejemplo: 20 - 100°C

La cantidad de la variable medida que está por abajo del valor inferior hasta el valor cero, puede ser expresado en unidades de la variable medida o en porcentaje del alcance y se denomina supresión de cero (Suppression Zero). Para el rango de supresión de cero anterior se tiene el siguiente ejemplo:

Supresión de cero: 20

### 2.2.3 Términos relacionados con la calidad de la lectura

La fineza con la cual, una variable puede ser medida depende de una cantidad de factores. La longitud de la escala y el número de graduaciones de la escala influyen notablemente en la calidad de la observación. Obviamente una escala muy grande y un número grande de las graduaciones de la misma escala resultarían en más precisión y exactitud en la observación. Los siguientes términos son algunos involucrados en la observación:

RANGOS TÍPICOS	NOMBRE	RANGO	VALOR INFERIOR DEL RANGO	VALOR SUPERIOR DEL RANGO	ALCANCE
0 — +100	-	0 a 100	0	+100	100
20 — +100	RANGO DE SUPRESION DE CERO	20 a 100	20	+100	80
-25 — +100	RANGO DE ELEVACION DE CERO	-25 a 100	-25	+100	125
-100 — +100	RANGO DE ELEVACION DE CERO	-100 a 100	-100	+100	200
-100 — -20	RANGO DE ELEVACION DE CERO	-100 a -20	-100	-20	80

Tabla 2.2: ILUSTRACION DEL USO DE LA TERMINOLOGIA DEL RANGO Y EL ALCANCE

1. **Resolución (Resolution):** es el menor incremento que puede ser detectado con certidumbre entre dos unidades de medida discretas, o es el menor cambio en la entrada que se puede medir. La resolución puede ser expresada en unidades de la variable medida o en porcentaje del fondo escala, del alcance, etc.
2. **Sensibilidad (Sensitivity):** es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la magnitud que lo ocasiona, después de haber alcanzado el estado de reposo. En general, es la pendiente de la curva de calibración. Se pueden observar los siguientes ejemplos:

Para un miliamperímetro: la sensibilidad viene dada por el número de divisiones cuando por él circula la corriente de 1 mA. Las unidades de este parámetro son div/mA. Si dos miliamperímetros tienen el mismo número de divisiones en su escala, pero el primero sufre una deflexión de dos divisiones cuando circula 1 mA, mientras que el segundo deflecta 10 divisiones para la misma corriente, éste último es mucho más sensible que el primero.

Para un voltímetro: como de la definición general se deduce, la sensibilidad vendría dada por el número de divisiones deflectadas cuando en sus extremos hay una caída de 1 V. Sin embargo, para los voltímetros se define un parámetro especial que se llama característica de sensibilidad, la cual viene expresada en **ohm por volt**. La definición de este parámetro y su utilidad se verá cuando se estudie el voltímetro.

#### 2.2.4 Términos relacionados con la exactitud - Condiciones estáticas

1. **Exactitud (accuracy) y Precisión:** se dice que el valor de un parámetro ( $X_m$ ) es muy exacto cuando se aproxima mucho al valor verdadero ( $X_v$ ). Se dice que el valor de una medida es muy preciso cuando esta muy bien definido, por ejemplo: Si se dispone de un voltímetro digital de  $3\frac{1}{2}$  dígitos y otro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos, uno de ellos es más preciso que el otro, para ello se determina:
  - La indicación de cada voltímetro:

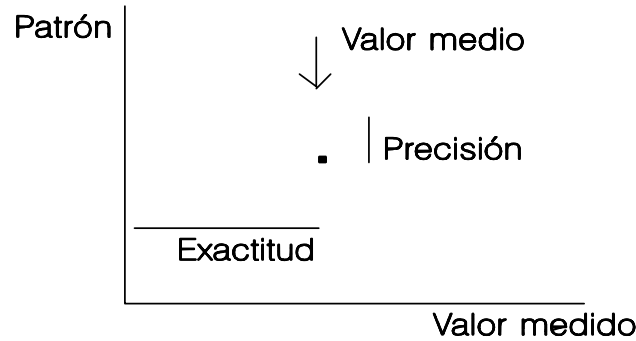


Figura 2.1: Exactitud y Precisión

Para el voltímetro de  $3\frac{1}{2}$  dígitos, se tienen 3 dígitos, es decir, tres valores que varían de 0 a 9 y para el  $\frac{1}{2}$  dígito, el denominador expresa dos posibles valores, mientras el numerador indica el valor máximo que toma de esos dos posibles valores, el valor será uno. Por ello se tiene para la indicación máxima del voltímetro: 1999.

Para el voltímetro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos, la indicación máxima es: 19999.

- Ahora se deben comparar la indicación de cada uno de los voltímetros, para ello se debe medir en los mismos rangos de medida o los rangos más próximos posible. Para el ejemplo si se mide en el rango de 2 V, se observa:

Voltímetro de  $3\frac{1}{2}$  dígitos, URV: 1.999 V = 2 V

Voltímetro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos, URV: 1.9999 V = 2 V

El voltímetro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos es el más preciso.

En cuanto a la exactitud hay varias formas de expresarla:

a.- En tanto por ciento del alcance.

Ejemplo:

Lectura =  $150.0^{\circ}\text{C}$  ; alcance =  $200.0^{\circ}\text{C}$

accuracy =  $\pm 0.5\%$

Valor real =  $150.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5 * 200/100$

$150.0^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$

b.- En términos de la variable medida.

Ejemplo: accuracy =  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

c.- En tanto por ciento de la lectura realizada.

Ejemplo: accuracy =  $\pm 1\%$  ; Lectura = 150 K

Valor real =  $(150 \pm 1)$  K

d.- En tanto por ciento del valor máximo del campo de medida.

Ejemplo: accuracy =  $\pm 0.5\%$  span alcance =  $300.0^{\circ}\text{C}$

accuracy =  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

e.- En tanto por ciento de la longitud de la escala.

Ejemplo: accuracy =  $\pm 0.5\%$

longitud de la escala = 150.00 mm

Representa 0.75 mm de longitud de escala.



f.- En un instrumento digital, se expresa con un número de dígitos.

Por ejemplo al medir  $I_m = 1.5200$  mA, con un amperímetro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos y exactitud de:

$\pm(0.5\% \text{ rango} + 0.5\% \text{ lectura} + 15 \text{ dígitos})$

La exactitud será:  $\pm(0.0100 + 0.0076 + 0.0015)$  mA

2. **Error:** se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero, es decir:

$E = V_m - V_v$ , donde: E= error ;  $V_m$  = Valor medido;  $V_v$  = Valor verdadero

3. **Corrección:** la corrección se define como la diferencia algebraica entre el valor verdadero y el valor medido, es decir:

$C = V_v - V_m$  ; C = Corrección ;  $C = - E$

Cuando se utilice un instrumento es necesario determinar la curva de corrección .

4. **Clase de un instrumento (Class):** la sensibilidad y la exactitud, constituyen criterios para determinar la calidad de un instrumento de medición. Es así, como las normas de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) establecen que todos los instrumentos de medición deben llevar un signo de calidad, en el que se indiquen las cualidades de los instrumentos. De acuerdo a estas normas, se distinguen siete (7) clases de instrumentos de medición.

Clases: 0.1 0.2 0.5 1.0 1.5 2.5 5

La clase expresa, en tanto por ciento, el error máximo de medición con respecto: al valor de la lectura, al alcance o a cualquier valor del rango.

Ejemplo: clase 1.5 ; Fondo escala = 100.0 mA

El error máximo resultaría =  $\pm 1.5\%$ , es decir,  $\pm 1.5$  mA.

Para las siete clases de instrumentos, se ha hecho una agrupación que establece el uso que tienen, como se describe a continuación:

- Instrumentos de clase 0.1 y 0.2, para exactitud científica.
- Instrumentos de clase 0.5 y 1.0, para uso en laboratorio.
- Instrumentos de clase 1.5 a 5, para uso en talleres industriales.

5. **Histéresis (Hysteresis):** es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento para el mismo valor dentro del rango de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente, como se observa en la figura 2.2.

Se puede expresar en tanto por ciento del rango o el alcance durante cualquier ciclo de calibración.

6. **Repetibilidad (Repeatability):** es la habilidad de un instrumento a reproducir una lectura de salida cuando el mismo estímulo le es aplicado consecutivamente bajo las mismas condiciones y en la misma dirección. La repetibilidad es expresada como la máxima diferencia entre las lecturas de salida; como se muestra en la figura N° 3. Observe que el término repetibilidad no incluye la histéresis.

Se expresa en tanto por ciento del rango o el alcance, por ejemplo  $\pm 0.1\%$  del alcance o  $0.1\%$

7. **Deriva (*drift*):** es el cambio no deseado en la señal de salida en un período de tiempo, el cual, no es función del medio de medición. La deriva se describe sobre un punto (*point drift*) que es el cambio en la salida sobre un especificado período de tiempo para una entrada constante, bajo condiciones especificadas de operación. Así, se puede considerar la deriva de cero (variación en la señal de salida para el valor cero de la medida a cualquier causa interna), y la deriva térmica de cero (variación en la señal de salida a medida cero, debida a los efectos únicos de temperatura. Una expresión típica de deriva a media escala, para temperatura ambiente en un período de 48 horas fue de 0.1% del alcance.
8. **Regulación de carga (*Offset*):** es un cambio no deseado en la señal de salida debido a la tolerancia de los elementos componentes del instrumento, que se mantiene constante en un período de tiempo, lo cual, requiere ser tomado en cuenta al calibrar o realizar una medición.
9. **Zona muerta (*dead zone or dead band*):** es el rango de valores a la entrada al instrumento que pueden ser variados sin que se inicie una respuesta observable, como se muestra en la figura 2.5.

La zona muerta se puede expresar en tanto por ciento del alcance del instrumento.

10. **Linealidad (*Linearity*):** es la aproximación de la curva de calibración a una línea recta especificada. Es usualmente medida como una no linealidad y expresada como linealidad; por ejemplo, una máxima desviación entre una curva promedio y una línea recta especificada. La curva promedio es determinada después de hacer dos o más recorridos del rango total de entrada en cada dirección (ascendente y descendente). El valor de la linealidad es referido a la salida a menos que se indique lo contrario. La máxima desviación puede ser expresa en tanto por ciento del alcance o cualquier valor del rango.

La especificación de la linealidad sería expresada como linealidad independiente (*independent linearity*), linealidad basada en un terminal (*terminal-based linearity*), linealidad basada en cero (*zero-based linearity*). Cuando es expresada simplemente como linealidad se asume como linealidad independiente.

- 10.1 **Linealidad independiente (*Independent linearity*):** es la máxima desviación de la curva de calibración (promedio de las lecturas ascendentes y descendentes) para una línea recta posicionada tal que minimice la máxima desviación.

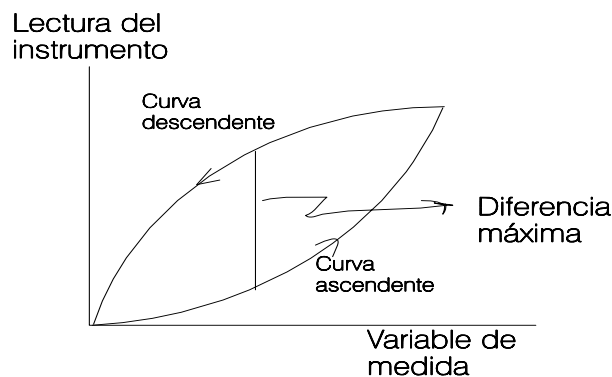


Figura 2.2: Curva de Histéresis

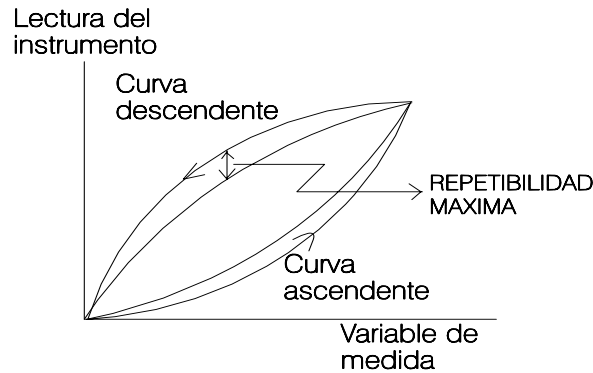


Figura 2.3: Repetibilidad

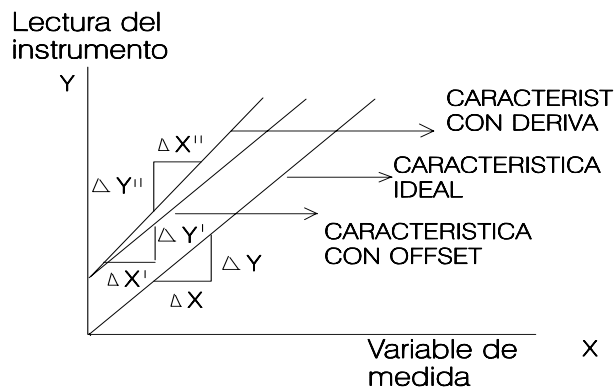


Figura 2.4: Deriva y Offset

**10.2** *Linealidad basada en un terminal (Terminal-based Linearity)*: es la máxima desviación de la curva de calibración (promedio de las lecturas ascendentes y descendentes) para una línea recta que coincide con la curva de calibración en el valor superior e inferior del rango.

**10.3** *Linealidad basada en cero (Zero-based linearity)*: es la máxima desviación de la curva de calibración para una línea recta posicionada tal que coincide sólo con el valor inferior del rango de la curva de calibración para minimizar la máxima desviación.

11. **Fiabilidad (reliability)**: es la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de los límites especificados de error a lo largo de un determinado tiempo y bajo condiciones especificadas de operación.
12. **Característica de la respuesta de frecuencia (frequency response characteristic)**: en procesos de instrumentación es la relación dependiente de la frecuencia, en ambos ganancia y fase, entre la entrada sinusoidal en régimen permanente y el resultado de las fundamentales sinusoidales a la salida del instrumento. La respuesta de frecuencia es comúnmente dibujada en un diagrama de Bode .

Los instrumentos eléctricos o electrónicos pueden estar diseñados para realizar mediciones en régimen permanente (corriente directa dc) o régimen alterno (corriente alterna ac). Por ello antes de realizar la medición con un instrumento es necesario conocer la respuesta de frecuencia o la banda de frecuencias que cubre. Ya que no todos los instrumentos pueden

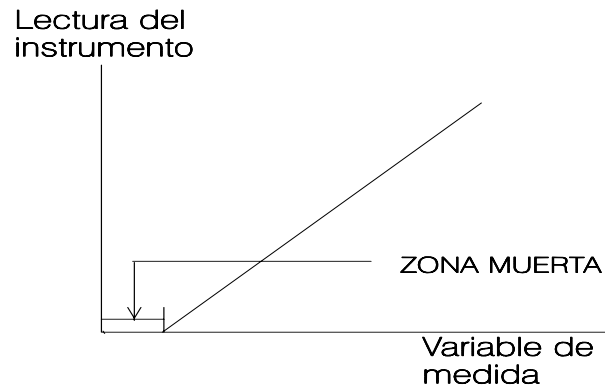


Figura 2.5: Zona muerta

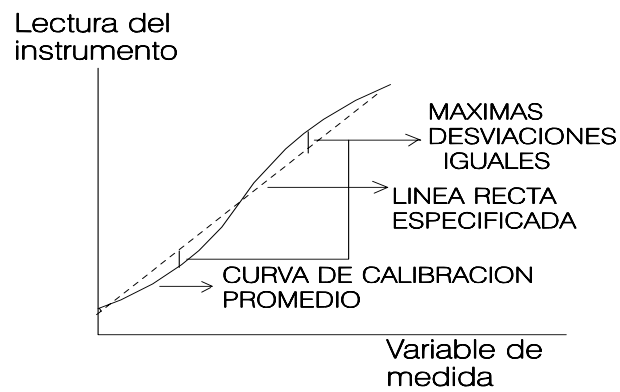


Figura 2.6: Linealidad independiente

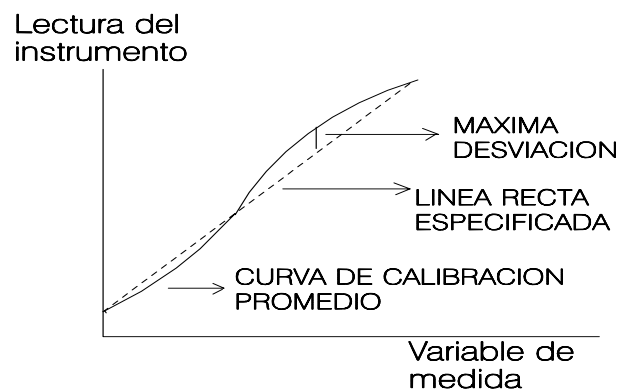


Figura 2.7: Linealidad basada en terminal

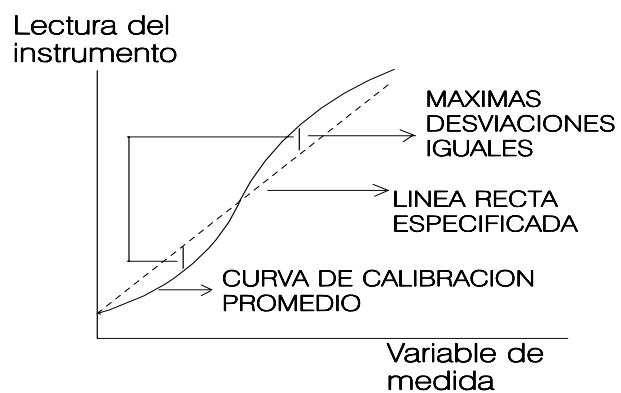


Figura 2.8: Linealidad basada en cero

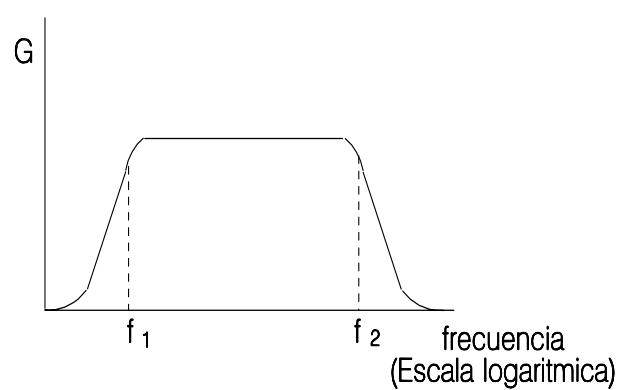


Figura 2.9: Respuesta de frecuencia de un instrumento para medir en ac

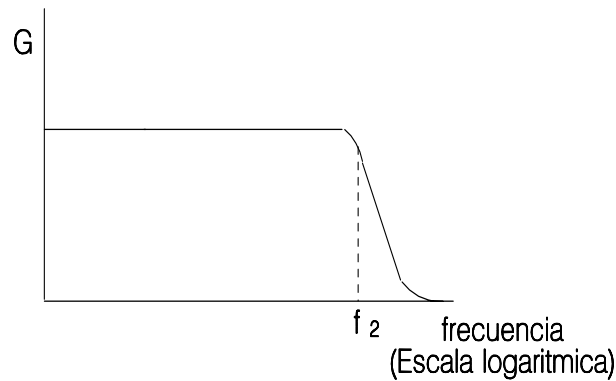


Figura 2.10: Respuesta de frecuencia de un instrumento para medir en dc y ac

responder a todas las frecuencias, sino que cada uno de ellos tiene un ancho de banda determinado.

La mayoría de los instrumentos diseñados para medir señales ac, tienen una respuesta de frecuencia como la mostrada en el diagrama de Bode (ganancia) de la figura 2.9, donde a partir de la frecuencia  $f_2$  la respuesta comienza a caer. Si por ejemplo se tiene un voltímetro que posee una respuesta de frecuencia de 10 a 100 Hz, y se mide con él un voltaje alterno eficaz de 10 V; 60 Hz, el voltímetro indicara una cantidad aproximadamente de 10 V, pero si la frecuencia de la señal es 200 Hz, con el mismo voltaje eficaz de 10 V, el voltímetro indicará una cantidad menor. También se observa en la figura 2.9, que para frecuencias menores de  $f_1$  el instrumento no tiene una respuesta satisfactoria. Esto se debe precisamente a las características del diseño.

Si por el contrario, se tiene un instrumento que responde tanto a señales continuas como alternas hasta una cierta frecuencia, su respuesta será como la mostrada en la figura 2.10, es decir, su respuesta es satisfactoria desde 0 Hz hasta  $f_2$ .

Para el comportamiento frecuencial de un instrumento, la escala vertical del diagrama de Bode viene dado por lo general en decibel (dB). Esta unidad representa la relación entre la magnitud de la señal de salida del instrumento y la magnitud de la señal de entrada al mismo, determinada de acuerdo a la ecuación 2.1.

$$X = 20\log[A1/A2] \quad (2.1)$$

donde:

X = magnitud de la ganancia expresada en dB.

A1 = magnitud de la señal de salida del instrumento.

A2 = magnitud de la señal de entrada al instrumento.

La respuesta de frecuencia o ancho de banda de los instrumentos diseñados sólo para señales ac, se especifica como la banda de frecuencias para la cual, la diferencia entre el valor indicado y el real es menor de 3 dB como se observa en la figura 2.11.

Para todas las frecuencias comprendidas entre  $f_1$  y  $f_2$ , la diferencia entre el valor verdadero y el indicado es menor de 3 dB, por lo tanto el ancho de banda es:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (2.2)$$

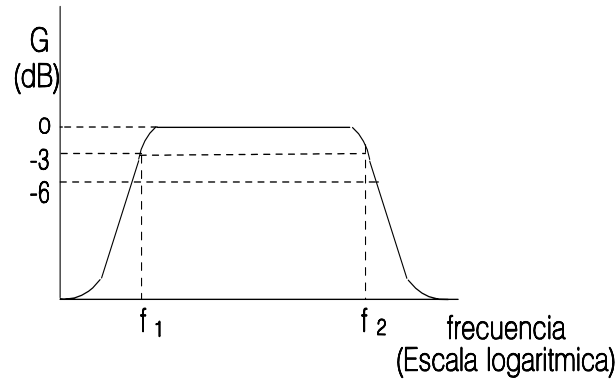


Figura 2.11: Ancho de banda de instrumento para medir en ac

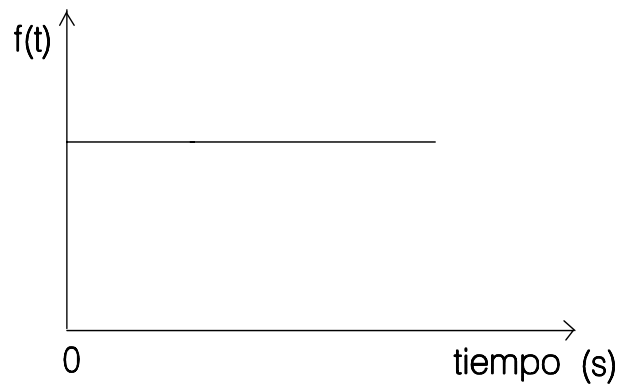


Figura 2.12: Función escalón

Si el instrumento es para señales dc y ac, se tiene que el ancho de banda es:

$$\Delta f = f_1 - 0 = f_1 \quad (2.3)$$

En los catálogos de especificación de los instrumentos, generalmente viene expresada la respuesta de frecuencia como en el siguiente ejemplo:

*response frequency: 3 dB at 1 kHz*

### 2.2.5 Términos relacionados con las características dinámicas

Si la variable bajo medición sufre una variación “brusca” en un momento determinado es necesario determinar el comportamiento dinámico del instrumento cuando sucedan estas variaciones. Hay dos dominios para los cuales un instrumento es evaluado: estático y dinámico. Las descripciones de los términos estáticos ya han sido abordadas. Aquí serán cubiertos los términos dinámicos. Es por ello que no es suficiente conocer que un dispositivo sea “rápido” o “estable”, se debe conocer “que tan rápido” o “que tan estable” es un instrumento de medición.

Para realizar el análisis dinámico de un instrumento es necesario que se pueda aplicar una señal de entrada que sea un cambio “brusco”, para ello se podría aplicar una función escalón, rampa o pulso. En el análisis a realizar en el presente texto se hará para una señal de función escalón como la mostrada en la figura 2.12, si se tratará de un voltímetro se hace variar en forma brusca el voltaje aplicado entre sus extremos.

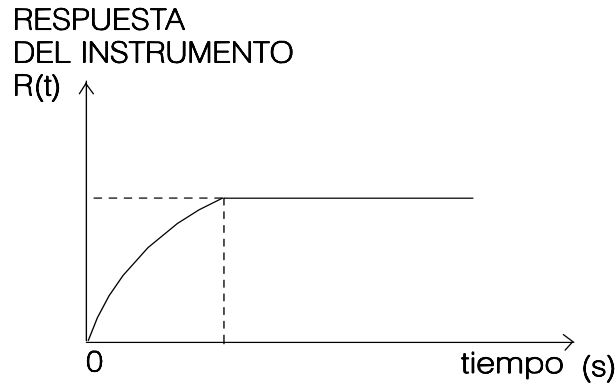


Figura 2.13: Respuesta de primer orden

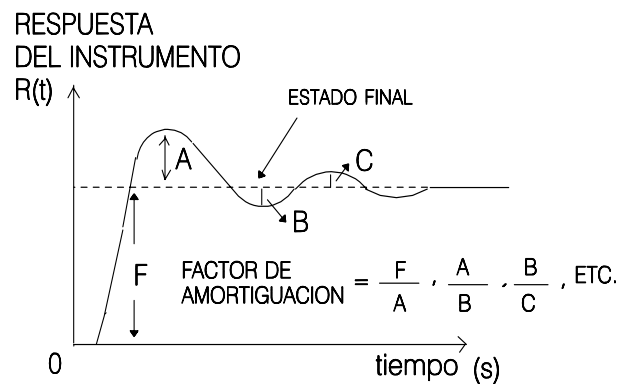


Figura 2.14: Respuesta subamortiguada de segundo orden

El instrumento podrá tener dos posibles respuestas a la señal aplicada, una que correspondería a un sistema de primer orden (como sería un circuito eléctrico RC) que se muestra en figura 2.13 y otra que correspondería a un sistema de segundo orden (como un circuito eléctrico RLC) que se muestra en la figura 2.14.

Los siguientes términos permitirán un mejor conocimiento del dominio dinámico especificado en las características de un instrumento.

### *Amortiguación (Damping)*

Es la progresiva reducción o supresión de oscilaciones en un instrumento o sistema. La respuesta a la función escalón es comúnmente nombrada como “amortiguación crítica” (critically damped) cuando el tiempo de respuesta es tan rápido como sea posible sin producir sobrealcance; “subamortiguado” (underdamped) es cuando ocurre sobrealcance y “sobreamortiguado” (overdamped) es cuando la respuesta es más baja que la crítica.

### *Factor de amortiguación (Damping factor)*

Para tres oscilaciones de un sistema lineal de segundo orden, una medida de la amortiguación es expresada como el cociente del valor más grande entre el más pequeño de un par de consecutivos cambios alrededor del valor de régimen permanente en direcciones opuestas.



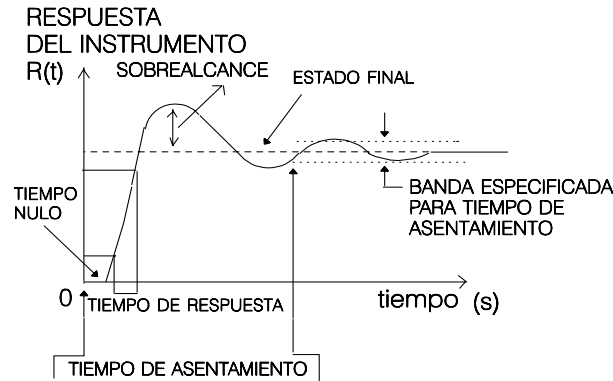


Figura 2.15: Respuesta dinámica de segundo orden

### *Tiempo Nulo (Dead time)*

Es el tiempo transcurrido desde que se produce el cambio del escalón a la entrada del instrumento hasta que él alcanza una respuesta observable, generalmente es para 5% del valor régimen permanente.

### *Tiempo de subida (Rise Time)*

Es el tiempo requerido por la salida de un sistema para hacer el cambio de un pequeño porcentaje especificado (5% o 10%) de incremento del valor de régimen permanente a un porcentaje grande (90% a 95%), antes del sobrealcance o sin sobrealcance.

### *Tiempo de respuesta a un escalón (Step Response Time)*

El tiempo de respuesta de un instrumento es el tiempo transcurrido entre la aplicación de una función escalón y el instante en que el instrumento indica un cierto porcentaje (90%, 95%, 99%) del valor final.

### *Tiempo de asentamiento (Settling time)*

Es el tiempo requerido siguiendo el estímulo aplicado al sistema, para que la salida entre y permanezca en una banda limitada y centrada alrededor del valor de régimen permanente. La banda es frecuentemente especificada como  $\pm 2\%$  del valor final de régimen permanente.

### *Sobrealcance (Overshoot)*

Es la máxima excursión arriba del valor de régimen permanente de la salida del instrumento como resultado de la señal escalón aplicada a la entrada del instrumento. Los dos tipos de respuestas observadas en las figuras 2.13 y 2.14 se diferencian en que en una no existe sobrealcance. Un sobrealcance elevado es indeseable, pero un valor pequeño del mismo contribuye a disminuir el tiempo requerido para que el instrumento llegue al régimen estable permanente.

## 2.2.6 *Términos relacionados con la energía*

Estos términos están relacionados con la fuente de alimentación de potencia que requiere y consume un instrumento.

### *Alimentación de presión (Supply Pressure)*

Es la presión necesaria para el funcionamiento del instrumento aplicada a los terminales de entrada de alimentación de presión.

Un típico transmisor que usa presión de aire es especificado como sigue:

Recomendado 20 psi (límites: 18 a 25 psi)

### *Alimentación de voltaje (Supply Voltage)*

Es el voltaje de alimentación eléctrica aplicado a los terminales de entrada del instrumento. Especificaciones de voltaje típicos en los instrumentos son:

- Instrumento 1: 117 V  $\pm$ 10%, 50 o 60 Hz.
- Instrumento 2: Recomendado 24 V (dc) (límites 23 a 27 V)

### *Consumo de potencia eléctrica (Power Consumption, Electrical)*

Es la máxima potencia usada por un instrumento con su rango de operación en condición estable durante un largo período de tiempo arbitrario. Para un factor de potencia diferente a la unidad, el consumo de potencia debería ser especificado como un máximo de volt-ampere.

### **2.2.7 Términos relacionados con la operación**

Las condiciones de operación a las que está sujeto un instrumento, no incluyen la medida de la variable hecha por el mismo. Ejemplos de condiciones de operación incluyen presión ambiental, temperatura ambiente, campos electromagnéticos, fuerza gravitacional, inclinación, variaciones de la fuente de alimentación (voltaje, frecuencia, armónicos), radiación, choques, vibración. En las características estáticas y dinámicas esas variaciones en las condiciones de operación deberían ser consideradas.

Los instrumentos localizados en ambientes exteriores están sujetos a los extremos de las condiciones climáticas, tales como viento, sol y lluvia que a temperatura ambiente pueden ser solamente una de las severas condiciones de operación. Un proceso industrial o de laboratorio puede influenciar en un instrumento, como por ejemplo un elemento de presión inmerso en un fluido de alta temperatura.

Un buen diseñador debe atender y probar continuamente para el diseño de un instrumento esas condiciones de operación, además de las principales condiciones para la medición de la variable, tengan o no influencia mínima sobre la lectura. El arte de diseñar incluye entre otras cosas la compensación de temperatura, compartimientos controlados de temperatura para las resistencias de precisión en puentes de resistencias de alta exactitud, y otras que dependerán como se mencionó de tomar en cuenta las condiciones de operación.

### *Condiciones de referencia para operación (Reference Operating Conditions)*

Es el rango de condiciones de operación para un instrumento, en el cual, las influencias de operación son despreciables. El rango es usualmente una banda límite. Estas son las condiciones bajo las cuales las características de los instrumentos son determinadas.

***Límites de operación (Operative Limits)***

El rango de condiciones de operación a los cuales un instrumento puede estar sujeto sin deterioro de las características de operación. En general las características de funcionamiento no son estables para la región entre los límites de condiciones de operación normal y los límites de operación. Un retorno a los límites de condiciones de operación normal de un instrumento pueden requerir ajustes para restaurar el funcionamiento normal.

***Condiciones de transportación y almacenaje (Transportation and Storage Conditions)***

Son las condiciones para las cuales un instrumento puede estar sujeto entre el tiempo de construcción y el tiempo de instalación. También son incluidas las condiciones que pueden existir durante una suspensión en la operación del instrumento en un laboratorio o fábrica. Ningún daño físico o deterioro de las características de operación tendrán lugar bajo estas condiciones, pero leves ajustes pueden ser necesitados para restaurar el funcionamiento normal.

***Influencias de operación (Operating Influences)***

Es el cambio en el funcionamiento de una característica causada por el cambio en una condición especificada de operación desde las condiciones de referencia para operación, todas las otras condiciones son mantenidas con los límites de las condiciones de referencia para operación. Las condiciones especificadas de operación son usualmente los límites de las condiciones de operación normal.

Las influencias de operación pueden ser establecidas en cualquiera de las dos formas:

1. Como el cambio total en una característica de funcionamiento desde las condiciones de referencia para operación a otra condición especificada de operación.

Ejemplo: La influencia del voltaje sobre la exactitud puede ser expresada como: 2% del alcance basado en el cambio en el voltaje desde el valor de referencia de 120 V a el valor de 130 V.

2. Como un coeficiente que expresa el cambio en una característica de funcionamiento, correspondiente a la unidad de cambio en la condición de operación desde la condición de referencia a otra condición especificada de operación.

Ejemplo: La influencia de voltaje en la exactitud puede ser expresada como:

2% del alcance = 0.2% del alcance por volt

130 V - 120 V

***Presión ambiental (Ambient Pressure)***

Es la presión del medio alrededor del instrumento.

***Temperatura ambiente (Ambient Temperature)***

Es la temperatura del medio alrededor del instrumento.

*Interferencia electromagnética (Electromagnetic Interference - EMI)*

Es cualquier efecto indeseable producido en el circuito o elementos de un instrumento por campos electromagnéticos. Un caso especial de interferencia desde transmisores de radio es conocido como Interferencia de Radio Frecuencia (RFI).

