

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION

Como hemos dicho anteriormente, los instrumentos de medición hacen posible la observación de los fenómenos eléctricos y su cuantificación. Ahora bien, estos instrumentos no son sistemas ideales sino reales, y por lo tanto tienen una serie de limitaciones que debemos tomar en cuenta para poder juzgar si afectan de alguna manera las medidas que estamos realizando, y poder determinar así mismo la veracidad de las anteriores.

Las características que definen el comportamiento de los instrumentos son las siguientes:

- Exactitud y precisión
- Error
- Corrección
- Resolución
- Sensibilidad
- Gama y escala
- Banda de frecuencia
- Linealidad
- Eficiencia
- Respuesta estática y dinámica
- Error dinámico
- Tiempo de respuesta
- Tiempo nulo
- Sobre alcance

2.1. EXACTITUD Y PRECISION.

En primer lugar vamos a analizar la diferencia entre los términos precisión y exactitud . En general estas dos palabras son sinónimos, pero en el campo de las mediciones indican dos conceptos completamente diferentes.

Se dice que el valor de un parámetro es muy preciso cuando está muy bien definido.

Por otra parte, se dice que dicho valor es muy exacto cuando se aproxima mucho al verdadero valor.

Veamos este ejemplo:

En el reloj de pulsera de la Fig. 1, solo están marcadas las posiciones de las 12, las 3, las 6 y las 9.



Fig. 1.- Reloj de pulsera

Como podemos observar, este reloj aunque funcione correctamente y por lo tanto indique en cada momento la hora exacta, no tiene precisión, ya que resulta difícil leer los minutos, e imposible determinar los segundos.

Supongamos ahora que tenemos un reloj digital muy preciso, como el de la Fig. 2, que en un momento dado indica las 12 horas, 15 minutos, 30 segundos, 3 décimas, 4 centésimas.



Fig. 2.- Reloj Digital

Ahora bien, si en realidad son las doce y media, este reloj no nos sirve de nada, porque aunque es muy preciso no tiene ninguna exactitud.

Una vez aclarados estos conceptos vamos a analizar otros tres que están relacionados con ellos.

2.2. ERROR.

La exactitud la medimos en función del error.

El error se define como la diferencia entre el valor indicado y el verdadero, el cual está dado por un elemento patrón.

$$E=I-V \quad (2.1)$$

donde

E= Error

I= Valor indicado

V= Valor verdadero

2.3. CORRECCION.

La corrección se define como la diferencia entre el valor verdadero y el valor indicado, esto es

$$C=V-I \quad (2.2)$$

Como podemos observar, la corrección tiene signo opuesto al error.

Es conveniente determinar la curva de corrección para cada uno de los instrumentos que utilizemos. Para realizar esto, determinamos la corrección para distintos valores de la escala del mismo, graficamos los puntos obtenidos con respecto a los valores de dicha escala, y unimos los puntos obtenidos con líneas rectas. La curva de corrección de un voltímetro de 50V podría tener la forma presentada en la Fig. 3.

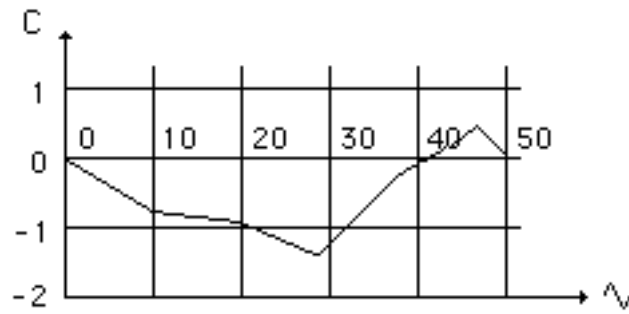


Fig. 3.-Gráfico de Corrección

2.4. RESOLUCION.

Esta característica está relacionada con la precisión. La resolución de un instrumento es el menor incremento de la variable bajo medición que puede ser detectado con certidumbre por dicho instrumento. Por ejemplo, en el caso del reloj digital que vimos anteriormente, la resolución es de una centésima de segundo. Si tenemos un amperímetro con la escala mostrada en la Fig. 4, cada una de las divisiones corresponde a 1 mA.



Fig. 4.- Escala de un miliamperímetro

Como podemos determinar con certidumbre si la aguja se encuentra exactamente sobre uno de los segmentos o entre dos de ellos, la resolución es de 0.5 mA.

2.5. SENSIBILIDAD.

La sensibilidad de un instrumento es la relación entre la respuesta del instrumento (N° de divisiones recorridas) y la magnitud de la cantidad que estamos midiendo. Vamos a ver varios ejemplos.

Para un miliamperímetro, la sensibilidad viene dada por el N° de divisiones que defleca la aguja cuando por el instrumento circula 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 2 divisiones cuando circula 1 mA, mientras que el segundo defleca 10 divisiones para la misma corriente, este último es cinco veces más sensible que el primero.

Para un voltímetro, de acuerdo a la definición general, la sensibilidad viene dada por el N° de divisiones deflectadas cuando en sus extremos hay una caída de 1 Voltio. Para estos instrumentos se define además un parámetro especial denominado característica de sensibilidad, el cual viene expresado en Ohm/volt. La definición de este parámetro y su utilidad los veremos cuando estudiemos el voltímetro.

Para un puente de Wheatstone, mostrado en la Fig. 5, que como definimos anteriormente es un instrumento capaz de medir resistencias por el método del cero, la sensibilidad viene dada por el número de divisiones que defleca el instrumento sensor G cuando, una vez calibrado, la resistencia incógnita R_x varía en 1 .

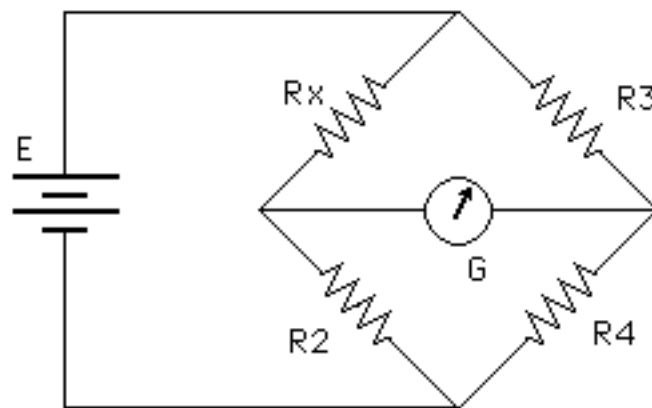


Fig. 5.- Puente de Wheatstone para determinar R_x

Para un potenciómetro, que es un instrumento capaz de medir voltajes por el método de detección de cero, la sensibilidad viene dada por el número de divisiones que defleca el instrumento sensor cuando, una vez que se ha conseguido la condición de equilibrio, el voltaje incógnita varía cierta cantidad (1V; 0.1V; 1mV) dependiendo del instrumento.

2.6 GAMA Y ESCALA.

La gama de un instrumento se define como la diferencia entre la indicación mayor y la menor que puede ofrecer el instrumento. La gama puede estar dividida en varias escalas o constar de una sola. Por ejemplo, el amperímetro de la Fig. 6 tiene una gama de 0 a 5 mA, y una sola escala, mientras que el de la Fig. 7 tiene una gama de 0 a

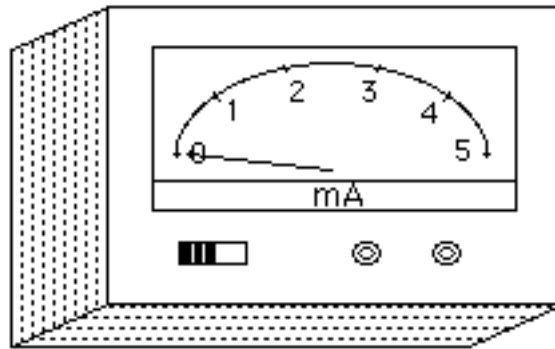


Fig. 6.- Miliamperímetro simple

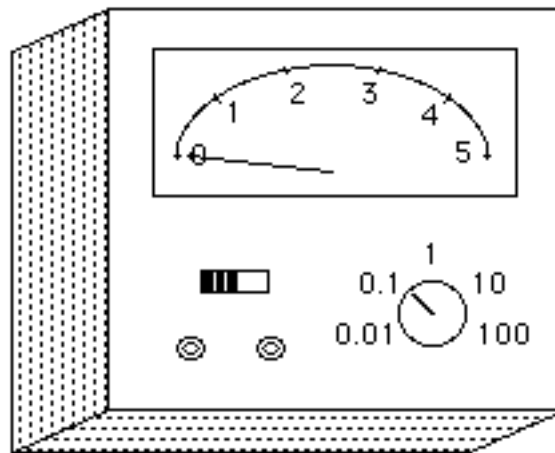


Fig. 7.- Miliamperímetro de 5 escalas

500 mA, dividida en 5 escalas, las cuales van respectivamente de 0 a 0.05 mA; de 0 a 0.5 mA; de 0 a 5 mA; de 0 a 50 mA y de 0 a 500 mA.

2.7 BANDA DE FRECUENCIAS.

Los instrumentos pueden estar diseñados para realizar mediciones en régimen continuo (DC), o sobre señales alternas (AC), bien sea en el rango de frecuencias alrededor de 60 Hz, o en cualquier otro rango de frecuencias. Por lo tanto antes de introducir un instrumento en un determinado circuito es necesario conocer la banda de frecuencias en las que opera correctamente.

Si por ejemplo, introducimos un amperímetro diseñado para corriente continua en un circuito donde la corriente es sinusoidal, con una frecuencia 60Hz y valor pico de 5 mA, el instrumento indicará 0 Amp, porque la aguja tratará de oscilar entre -5 mA y 5 mA a 60 veces por segundo, y como el sistema mecánico no puede responder a esta frecuencia, se quedará en el punto medio, esto es, en cero.

Por otra parte, cuando trabajamos con corriente alterna debemos tener cuidado de utilizar en cada caso un instrumento que pueda responder a la frecuencia de operación del circuito, ya que cada instrumento tiene un ancho de banda determinado.

La mayoría de los instrumentos diseñados para medir señales alternas tienen una respuesta de frecuencia similar a la presentada en la Fig. 8. Esta gráfica se interpreta de la siguiente manera:

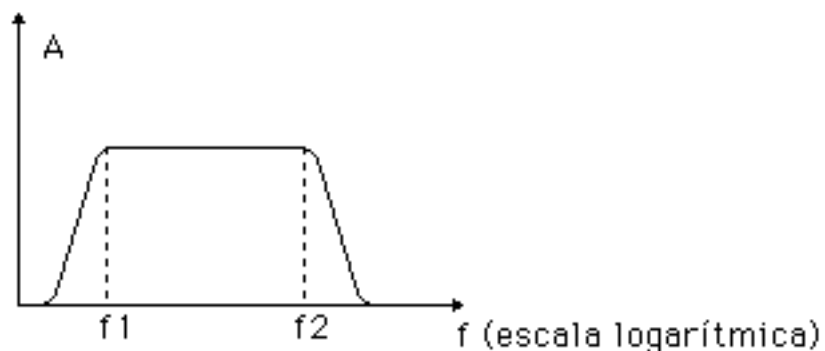


Fig. 8.- Respuesta de frecuencia de un instrumento.

Si la frecuencia de operación del circuito en el que se conecta el instrumento se encuentra entre f_1 y f_2 , el instrumento responde en forma "normal" según sus especificaciones, y la lectura del instrumento se corresponde con la magnitud medida, dentro del rango de exactitud y precisión que posea dicho instrumento. Pero si la frecuencia es mayor que f_2 o menor que f_1 , la respuesta del instrumento sufre cierto grado de atenuación, lo cual significa que la lectura que indica el instrumento es menor que la verdadera magnitud bajo medición. Así por ejemplo, si se usa un vatímetro "standard" para medir la potencia en un dispositivo de un circuito AC a 60 Hz, su lectura será confiable, dentro del rango de exactitud y precisión que posea el instrumento, pero si se trata de utilizar este mismo instrumento para realizar mediciones de potencia en circuitos que operan a frecuencias mucho mayores, las lecturas serán erróneas, y por lo general mucho menores que las verdaderas magnitudes bajo medición.

Las frecuencias f_1 y f_2 se denominan respectivamente frecuencia de corte inferior y frecuencia de corte superior, y se definen como las frecuencias para las cuales la ganancia del instrumento (esto es, el factor por el cual se multiplica la señal bajo medición para obtener la variable que presenta el instrumento como medida) es igual a la ganancia de frecuencias medias dividida entre $\sqrt{2}$. Se denomina ancho de banda (Δf) a la diferencia $\Delta f = f_2 - f_1$.

Existen otros instrumentos, como por ejemplo el osciloscopio, que son capaces de medir tanto señales continuas como a alternas hasta una cierta frecuencia. Su respuesta es la presentada en la Fig. 9, y el ancho de banda de estos instrumentos es $\Delta f = f_2$, donde f_2 es la frecuencia de corte superior, de acuerdo con la definición dada anteriormente.

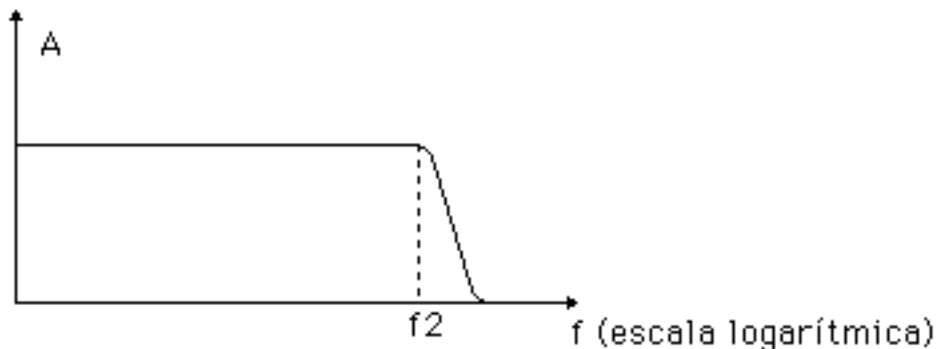


Fig. 9.- Respuesta de frecuencia de un osciloscopio.

Por lo general, la escala vertical del diagrama de la respuesta de frecuencia viene dada en decibelios (dB). Esto quiere decir que en dicha escala se representa la relación entre la señal de salida y la de entrada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$X_{dB} = 20 \log \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \quad (2.3)$$

Al tener el eje vertical calibrado en dB, las frecuencias de corte se definen como aquellas frecuencias para las cuales la respuesta se encuentra 3 dB por debajo de la correspondiente a frecuencias medias, como podemos observar en la Fig. 10. El ancho de banda es la diferencia entre f_b y f_a .

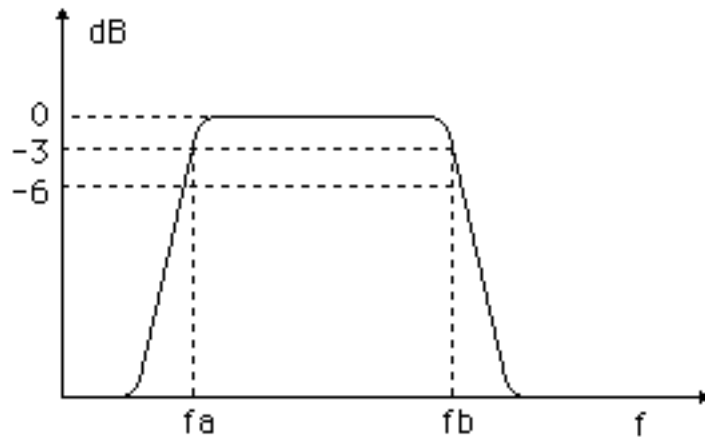


Fig. 10.- Ancho de banda de un instrumento.

$$f = f_b - f_a \quad (2.4)$$

Para aquellos instrumentos que pueden medir tanto señales AC como DC, el punto de corte superior en la respuesta en frecuencia expresada en dB se muestra en la Fig. 11.

El ancho de banda en este caso es:

$$f = f_b - 0 = f_b \quad (2.5)$$

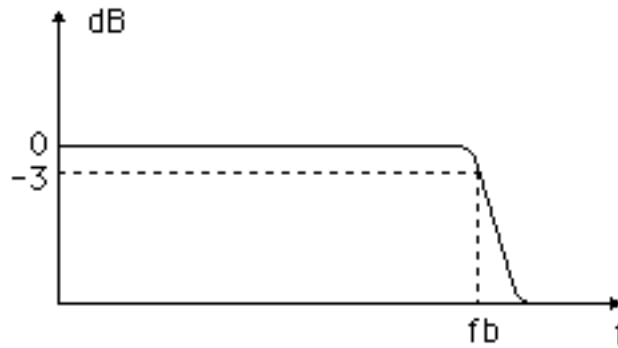


Fig. 11.- Ancho de banda de un osciloscopio.

2.8. LINEALIDAD.

Por lo general los instrumentos se diseñan de forma que tengan una respuesta lo más lineal posible, es decir, que para un determinado incremento del parámetro que estamos midiendo, el desplazamiento correspondiente del indicador sea siempre el mismo, independientemente de la posición de éste. Por ejemplo, si tenemos el siguiente amperímetro, en el que cada división de 1 mA tiene 10 subdivisiones:

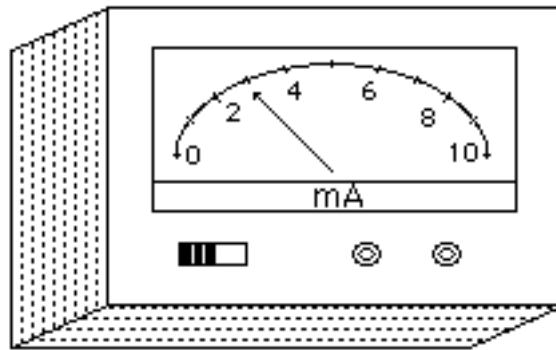


Fig 12.-Instrumento de medición

Si estamos midiendo una corriente de 1 mA y en un momento dado dicha corriente aumenta 0.1 mA, la aguja debe deflejar una subdivisión. Por otra parte, si la corriente que estamos midiendo es de 3 mA y también sufre un incremento de 0.1 mA, la aguja debe deflejar igualmente una subdivisión.

Las desviaciones de este tipo de respuesta lineal se deben principalmente a las características de diseño mecánico del instrumento. Dichas desviaciones son más notorias hacia los extremos de la escala. Podremos profundizar más sobre esto cuando estudiemos el mecanismo de cada uno de los instrumentos.

2.9 EFICIENCIA

La eficiencia de un instrumento se define como la indicación del instrumento dividida por la potencia que absorbe del circuito para poder realizar la medición. Por ejemplo:

Tenemos un circuito como el siguiente:

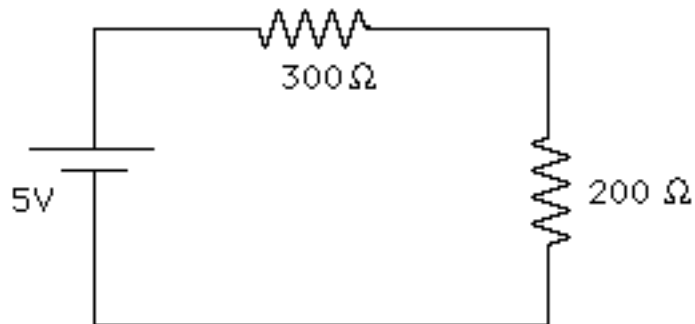


Fig. 13.- Circuito bajo medición.

Queremos medir el voltaje existente entre los extremos de la resistencia de 200 Ω, y para ello vamos a utilizar un voltímetro. Ahora bien, para poder realizar la medición, por el voltímetro tiene que circular una pequeña cantidad de corriente, y se va a disipar cierta potencia en el instrumento. La relación entre la lectura realizada con el voltímetro (aproximadamente 2V) y la potencia disipada por el mismo es lo que denominamos eficiencia. Cuanto mayor sea la eficiencia de un instrumento menor será su influencia sobre el circuito en el cual se está realizando la medición.

2.10. RESPUESTA ESTÁTICA Y DINÁMICA.

Hasta el momento hemos analizado las características de los instrumentos cuando estos están midiendo cantidades estables, o sea, mientras no presentan variaciones bruscas en su magnitud. Por lo tanto

a todas estas características mencionadas anteriormente podemos denominarlas estáticas . Ahora bien, puede ocurrir que la cantidad bajo medición sufra una variación en un momento determinado y por lo tanto es necesario que conozcamos el comportamiento dinámico del instrumento cuando sucedan estas variaciones. Para realizar el análisis dinámico del instrumento podemos aplicar un cambio brusco de un estado a otro (la función escalón).

Vamos a definir una serie de parámetros dinámicos.

2.10.1.- Error dinámico

El error dinámico de un instrumento se define como la diferencia entre la cantidad indicada en un instante de tiempo dado y el verdadero valor del parámetro que se está midiendo. Supongamos que tenemos un instrumento al que le aplicamos la función mostrada en la Fig. 14:

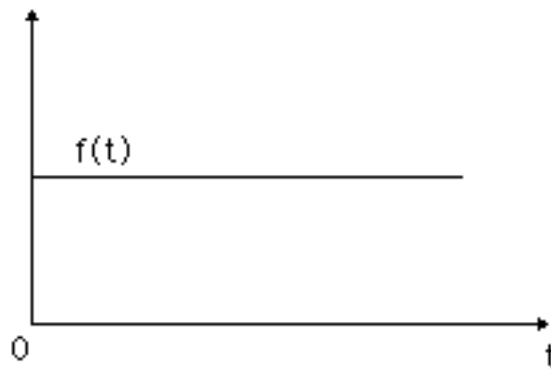


Fig. 14.- Función de entrada de un instrumento

Esto quiere decir que si por ejemplo se trata de un voltímetro, hacemos variar bruscamente el voltaje entre sus extremos.

La respuesta del instrumento en función del tiempo puede presentar diferentes formas, como puede apreciarse en las Fig. 15 y 16. Según podemos observar, para todo instante de tiempo menor que t_0 existe una diferencia entre la función aplicada y la respuesta del instrumento. Esta diferencia es lo que denominamos error dinámico.

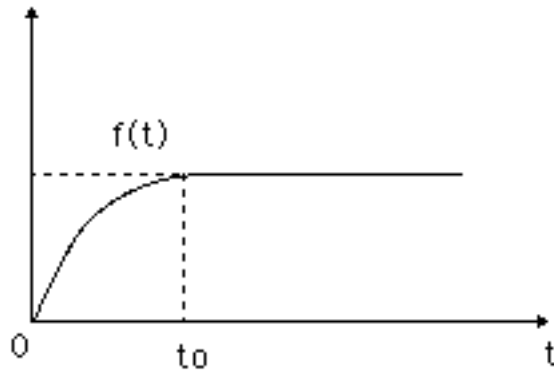


Fig. N° 15.-Respuesta sobreamortiguada a la función de entrada de un instrumento

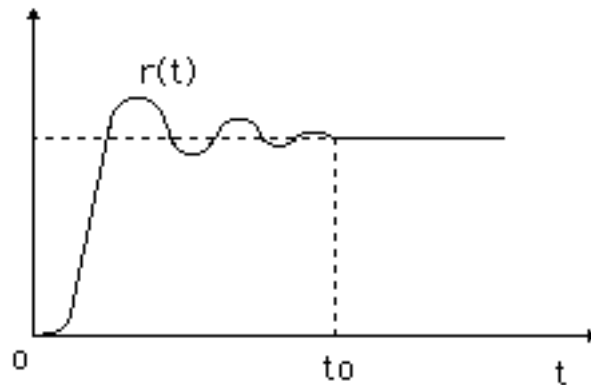


Fig. 16.-Respuesta subamortiguada a la función de entrada de un instrumento

2.10.2.- Tiempo de respuesta

Es el tiempo transcurrido entre la aplicación de una función escalón y el instante en que el instrumento indica un cierto porcentaje (90%, 95% o 99%) del valor final. Para instrumentos con aguja indicadora, el tiempo de respuesta es aquél que tarda la aguja en estabilizarse aparentemente, lo cual ocurre cuando ha llegado a un porcentaje determinado (por ejemplo 1%) de su valor final.

2.10.3.- Tiempo nulo.

Es el tiempo transcurrido desde que se produce el cambio brusco a la entrada del instrumento hasta que él alcanza el 5% del valor final.

2.10.4.- Sobrealcance.

En los instrumentos con aguja indicadora, la deflexión se produce debido a que se aplica una fuerza a la parte móvil. Dicha parte móvil tiene una masa, por lo que al aplicar la fuerza se origina un momento que puede llevar a la aguja más allá del valor correspondiente al de equilibrio. La diferencia entre el valor máximo y el valor final se denomina sobrealcance. Los dos tipos de respuesta que vimos anteriormente se diferencian porque en el segundo hay sobrealcance mientras que en el primero no. Un sobrealcance elevado es indeseable, pero un valor pequeño del mismo contribuye a disminuir el tiempo requerido para que la aguja alcance el estado estable.

Los conceptos enunciados anteriormente podemos resumirlos en la gráfica de la Fig. 17.



Fig. 17.- Respuesta transitoria