5.- CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS DE LOS INSTRUMENTOS

Para la correcta selección de los instrumentos a ser instalados en un proceso, es necesario el conocimiento del significado de cada una de sus propiedades. En este capítulo, se hará una descripción de las características que forman parte de la especificación de un instrumento.

5.1. Características relacionadas con el rango.

Las características de los instrumentos relacionadas con el rango engloban las particularidades distintivas que poseen los mismos con respecto a la banda de valores de la variable medida. A continuación se presentan las características más importantes.

5.1.1.- Rango de medición (range).

Es el espectro de valores de la variable medida comprendido entre dos límites, dentro de los cuales, es recibida, transmitida, o indicada la señal. El rango de medición debe ir expresado en unidades de la variable medida, aún cuando en algunos casos también se puede especificar el rango de la variable recibida o transmitida. Por ejemplo un transmisor de temperatura puede tener un rango de medición de -10°C a 50°C en función de la variable medida, un rango en la entrada de -10mV a 100mV, y un rango en la salida de 4 a 20 mA.

Al límite alto del rango de medición se le denomina rango superior (RS), mientras que al límite bajo del rango de medición se le denomina rango inferior (RI).

Un instrumento no necesariamente puede ser calibrado en un rango de medición único, por ejemplo un multímetro digital puede tener los siguientes rangos de medición, seleccionados con un interruptor o perilla de selección: 0 V a 2 V, 0 V a 20 V, 0 V a 200 V y 0 V a 2000 V. En este caso se dice que el instrumento es multirango.

5.1.2.- Alcance (*span*).

El alcance del instrumento se define como el RS menos el RI.

$$Alcance = RS - RI (5.1)$$

Típicamente en los instrumentos multirango también puede variar el alcance. El alcance del instrumento es un parámetro muy importante, ya que gran parte de las características del mismo están expresadas en función del alcance o del RS.

5.1.3.- Rango con cero elevado.

Cuando el cero de la variable medida está por encima del RI, se dice que el instrumento tiene el rango con el cero elevado o que tiene elevación de cero. El factor de elevación de cero (FE) se calcula como:

$$FE = |RI| / Alcance$$
 (5.2)

5.1.4.- Rango con cero suprimido.

Cuando el cero de la variable medida está por debajo del RI, se dice que el instrumento tiene el rango el cero suprimido o que tiene supresión de cero. El factor de supresión de cero (FS) se calcula como:

$$FS = |RI| / Alcance$$
 (5.3)

© EJEMPLO 5.1.

La siguiente Tabla muestra un ejemplo del uso de la terminología asociada al rango y al alcance.

RANGOS TIPICOS	NOMBRE	RANGO	RI	RS	SPAN	DATOS ADICIONALES	
 0		0 a 100	0	100	100		
 -25 0 100	Cero elevado	-25 a 100	-25	100	125	Factor de elevación = 0,2	
 20	Cero suprimido	20 a 100	20	100	80	Factor de supresión = 0,25	
 -100	Cero elevado	-100 a 0	-100	0	100	Factor de elevación = 1	
 -100 -20	Cero elevado	-100 a -20	-100	-20	80	Factor de elevación =1,25	

Tabla 5.1. Características relacionadas con el rango,

5.1.5.- Variabilidad del rango (rangeability).

La variabilidad del rango de un instrumento, se define como la relación entre el valor máximo que puede medir y el valor mínimo que puede medir. Por ejemplo, un indicador de flujo que tenga una variabilidad del rango de 3:1, indica que el máximo caudal que puede medir es tres veces mayor que el mínimo.

Normalmente la variabilidad del rango es una característica principalmente asociada a los instrumentos de medición de caudal y a las válvulas para control de caudal.

5.2.- Características estáticas de los instrumentos.

Las características estáticas de un instrumento son aquellas que exhibe el instrumento en estado estacionario, es decir, cuando la variable medida se ha estabilizado en un valor y permanece invariante en el tiempo.

5.2.1.- Determinación de las características estáticas de un instrumento.

Al final de la etapa de fabricación de un instrumento y durante la etapa de funcionamiento del mismo, se hace necesario la determinación, en el primer caso, y la comprobación, en el segundo, de las características estáticas de un instrumento.

Una vez que un instrumento ha sido instalado, se debe realizar una revisión periódica de su calibración que consiste en determinar si el comportamiento del mismo está acorde con los parámetros de especificación dados por el fabricante y proceder a su corrección en caso de ser necesario. A continuación se describe el procedimiento general que debe ser aplicado para la determinación y comprobación de las características estáticas de un instrumento.

Primeramente se deberá disponer de un instrumento patrón, con el cual comparar las mediciones obtenidas. La tolerancia del instrumento patrón con respecto al parámetro que va a ser estimado, debe ser preferiblemente una décima parte de la tolerancia permitida en el instrumento bajo prueba, en todo caso no debe ser superior a un tercio de la tolerancia permitida. Por ejemplo, si se desea estimar la banda muerta de un instrumento, del cual se espera que no sea superior a 0,2% del alcance, se debe utilizar preferiblemente un instrumento patrón que tenga una banda muerta inferior a 0,02% del alcance, y en todo caso nunca superior a 0.06% del alcance.

En algunos casos no es necesario recurrir a la utilización de un instrumento patrón, y en su lugar se recurre a la medición de la variable, de la cual se conoce su valor, aplicando leyes físicas. Este tipo de calibración es generalmente utilizado para instrumentos de gran exactitud, como lo son los instrumentos patrón, e instrumentos de laboratorio.

Las mediciones a tomar para la determinación de cierta característica, deben estar distribuidas a lo largo de todo el rango de medición, cubriendo por lo menos desde un valor por encima del 10% del RI y por debajo del 10% del RS. Se deben tomar mediciones al menos en 5 puntos diferentes de la escala.

El proceso de calibración, consiste en tomar varias mediciones a lo largo de toda la escala, recorriéndola en sentido ascendente y descendente varias veces, y esperando que la medida se estabilice en su valor final en cada medición. Se debe registrar el valor medido (Vm), el valor registrado por el instrumento patrón y la diferencia entre ambos valores, considerando su signo (típicamente se resta el valor medido menos el valor ideal o patrón). La diferencia entre ambos valores se puede expresar en función del span, realizando la siguiente operación para cada medición:

$$Error = \varepsilon = \frac{(Vm - Vr)}{Span}$$
 (5.4)

donde:

Vr = Valor real

El error también se puede expresar en términos porcentuales multiplicándolo por 100, o dejarlo en términos absolutos en unidades de la variable medida.

5.2.2.- Exactitud (accuracy).

Es una medida de conformidad de un valor indicado, transmitido o registrado, a un valor ideal o estándar. La inexactitud de un instrumento es una fuente de error en la medición, aunque generalmente no es la única. Muchos fabricantes de instrumentos incluyen en el valor de exactitud, los errores por histéresis, banda muerta, repetibilidad y linealidad de un instrumento.

5.2.2.1.- Formas de estimar la exactitud.

Existen varias formas de estimar la exactitud de un instrumento, las cuales se explican a continuación.

a) Basada en el valor más alejado.

En este caso se toma el error mayor obtenido durante el proceso de calibración del instrumento, ya sea que este halla sido recorriendo la escala en sentido ascendente o descendente. Dicho error corresponde al valor más alejado del valor real o ideal.

Exactitud =
$$\pm |Vm_{\text{más alejado}} - Vr|$$
 (5.5)

b) Basada en la desviación promedio.

En este caso se calcula la desviación promedio de todas las mediciones tomadas para una misma entrada, y se expresa como la exactitud.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} \tag{5.6}$$

donde:

$$d_i$$
=| Vmedido - Vr| (5.7)
 $n = N$ úmero de mediciones

Por lo tanto, la exactitud será:

Exactitud =
$$\pm d$$
 (5.8)

Un instrumento tiene diferentes exactitudes en diferentes puntos del rango de medición. Para calcular la exactitud total (en todo el rango de medición) se toma entonces la desviación promedio mayor encontrada.

c) Basada en la desviación estándar.

En este caso se calcula la desviación estándar del error de todas las mediciones tomadas, para lo cual se asume que el error sigue una curva de distribución normal. La fórmula utilizada para calcular la desviación estándar es la siguiente:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i} X_{i}^{2}}{n-1}} \tag{5.9}$$

donde:

$$X_i = (e_i - e_{prom})$$
 (5.10)
 $e_i = \text{Error en la medición i-ésima}$
 $e_{prom} = \text{Error promedio de las mediciones}$

Los términos e; pueden estar expresados en unidades de la variable medida o relativos al alcance. La exactitud se calcula entonces de acuerdo a la siguiente fórmula:

Exactitud =
$$\pm (\overline{e} + k.\sigma)$$
 (5.11)

donde k es un valor entre 1 y 3, siendo k=1 cuando se está tomando como referencia el 68 % de la muestra, para k=2 se está tomando el 95% y para k=3 el 99,7%.

Si para los cálculos se toman todos los valores, tanto recorriendo la escala en forma ascendente como descendente, entonces los valores de exactitud calculados, contemplan los errores de precisión e histéresis.

5.2.2.2. Formas de expresar la exactitud.

Existen varias formas de expresar la exactitud, entre las más comunes encontramos:

a) Porcentual con respecto al alcance.

En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al span.

EJEMPLO 5.2.

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

RM: 200 °C a 400 °C

Exactitud: ± 0,5% del Span.

Vm: 300 °C

Calcular entre qué valores puede estar comprendido el valor real.

Solución.

 $Span = RS - RI = 400 \, ^{\circ}C - 200 \, ^{\circ}C = 200 \, ^{\circ}C.$

Exactitud = $\pm 0.5\%$ de 200 a C = ± 1 o C

El valor real debe estar comprendido entonces entre (300 -1) y (300 +1) °C, es decir,

299 °C < Vr < 301 °C.

b) Porcentual con respecto al rango superior.

En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al RS de medición.

EJEMPLO 5.3.

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

RM: 200 °C a 400 °C Exactitud: $\pm 0.5\%$ del RS.

Vm: 300 °C

Calcular entre que valores puede estar comprendido el valor real.

Solución.

Exactitud = $\pm 0.5\%$ de 400 ^aC = ± 2 °C

El valor real debe estar comprendido entonces entre (300 -2) y (300 +2) aC, es decir,

 $298 \, ^{\circ}\text{C} < \text{Vr} < 302 \, ^{\circ}\text{C}$.

c) Porcentual con respecto al valor medido.

En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al valor medido. Debe notarse, que en este caso el error absoluto no es constante a lo largo de todo el rango de medición, sino más bien depende del valor del medido.

EJEMPLO 5.4.

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Exactitud: $\pm 0.5\%$ del Vm.

Vm: 300 °C

Calcular entre que valores puede estar comprendido el valor real.

Solución.

Exactitud = $\pm 0.5\%$ de 300 °C = ± 1.5 °C

El valor real debe estar comprendido entonces entre (300 -1,5) y (300 +1,5) aC, es decir,

d) En unidades de la variable medida.

En este caso la exactitud representa el máximo error absoluto que puede ser cometido en la medición, para cualquiera que sea el valor medido, y expresado en unidades de la variable medida.

© EJEMPLO 5.5.

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Exactitud: ± 3 °C Vm: 300 °C

Calcular entre que valores puede estar comprendido el valor real.

🙇 Solución.

El valor real debe estar comprendido entonces entre (300 -3) y (300 +3) aC, es decir,

5.2.3.- Precisión o repetibilidad (repeatability).

La precisión de un instrumento, es la capacidad para indicar valores idénticos, bajo el mismo valor de la variable medida y en las mismas condiciones de servicio (mismo sentido de variación). A diferencia de la exactitud, la precisión indica la dispersión entre si, de los valores medidos, más no la diferencia entre los valores medidos y los valores reales.

5.2.3.1.- Formas de estimar la precisión.

La precisión se suele estimar por los siguientes métodos:

a) Basada en los valores más alejados entre sí.

En este caso se toma la máxima diferencia obtenida entre dos lecturas para la misma entrada y en el mismo sentido de variación.

b) Basada en la desviación estándar.

En este caso se calcula la desviación estándar de las lecturas con respecto a la lectura promedio, recorriendo la escala en sentido ascendente y en sentido descendente. De los dos valores de desviación estándar obtenidos, se toma el peor (el mayor).

La fórmula para calcular la precisión, basada en la desviación estándar es:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n-1}} \tag{5.12}$$

donde:

$$X_{i} = (Vm - Vm(promedio))$$
 (5.13)

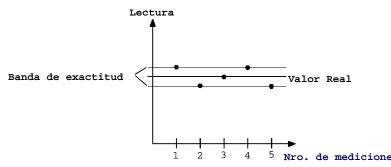
Se deben tomar los valores promedio de las mediciones en los puntos de la escala fijados para realizar la determinación de las características estáticas.

5.2.4.- Diferencia entre exactitud y precisión.

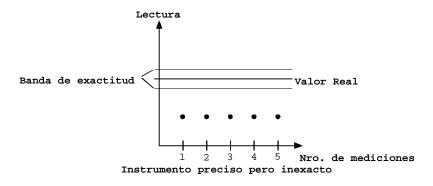
En la Figura 5.1 se puede observar la diferencia entre exactitud y precisión. Se puede concluir que un instrumento puede ser: exacto y preciso, exacto mas no preciso, preciso pero no exacto y ni preciso ni exacto.

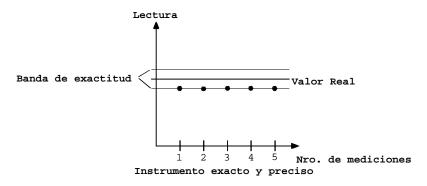
Es importante indicar que en la especificación de exactitud de un instrumento está contemplada la repetibilidad del mismo, sin embargo en ciertas circunstancias es necesario conocer el valor de la repetibilidad así como el de exactitud.

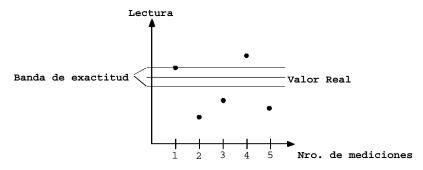
En las aplicaciones de control continuo automático a lazo cerrado, la repetibilidad de un instrumento es un factor importante en la estabilidad del lazo, ya que un transmisor que reporte valores diferentes para el mismo valor de entrada, puede ocasionar oscilaciones indeseadas a la salida del controlador que pueden degenerar en inestabilidad.



Instrumento exacto pero impreciso.







Instrumento inexacto e impreciso

Figura 5.1. Diferencia entre exactitud y precisión.

5.2.5.- Banda muerta (dead band).

Es el rango de valores dentro del cual puede variar la variable medida (señal de entrada), tal que no se producen variaciones a la salida del instrumento.

La banda muerta se mide al momento de ocurrir un cambio de dirección en el sentido de variación de la variable medida. En la Figura 5.2 (a) puede observarse la respuesta de un instrumento que presenta banda muerta.

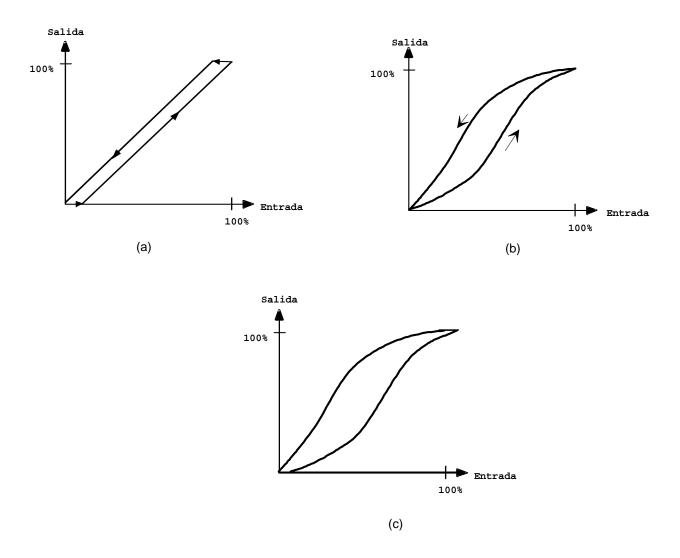


Figura 5.2. (a) Banda muerta. (b) Histéresis. (c) Histéresis y banda muerta.

La banda muerta en instrumentos mecánicos es ocasionada principalmente debido a la fricción existente entre las piezas mecánicas. Se mide en cada ciclo de medición (recorrido ascendente y descendente), durante el proceso de calibración de un instrumento y se toma la peor de ellas.

Para medir la banda muerta se puede ejecutar el siguiente procedimiento:

- 1. Variar lentamente la entrada del instrumento (ya sea incrementándola o disminuyéndola) hasta que se comience a observar un cambio en la salida.
- 2. Registrar el valor de entrada al cual se comenzó a observar la variación a la salida.
- 3. Variar lentamente la entrada en la dirección opuesta, hasta que se observe un cambio en la salida.
- 4. Registrar el valor de la entrada al cual se comenzó a observar variación a la salida.
- 5. La diferencia entre los valores de entrada obtenidos en el segundo y el cuarto paso es el valor de la banda muerta.

5.2.6.- Histéresis.

Es la diferencia máxima entre los valores indicados por un instrumento, para un mismo valor cuando se recorre la escala en ambos sentidos y para ciclos consecutivos. En la Figura 5.2 (b) puede observarse la respuesta de un instrumento que presenta histéresis.

Típicamente la respuesta de un instrumento presenta una combinación de histéresis más banda muerta (ver Fig. 5.2 (c)), por lo que para obtener el valor de histéresis, se debe primero conocer su banda muerta, luego al valor de histéresis más banda muerta obtenido de la curva de calibración, se le resta el valor de la banda muerta, para obtener así la histéresis.

5.2.7.- Resolución.

Es el mínimo intervalo entre dos valores adyacentes que pueden ser distinguidos el uno del otro. Por ejemplo, una regla milimetrada tiene una resolución de un milímetro.

© *EJEMPLO 5.6.*

Un multímetro digital de tres dígitos y medio, está ajustado para trabajar en el rango de 0 a 200 V. Calcule la resolución.

Solución.

Como el multímetro es de tres dígitos y medio, el máximo valor que puede medirse en dicho rango de medición es 199,9 V. Luego el próximo valor más cercano es 199,8 V, por lo que la resolución del instrumento es:

$$(199.9 \text{ V} - 199.8 \text{ V}) = 0.1 \text{ V}.$$

5.2.8.- Linealidad.

Es la proximidad con que la curva de respuesta de un instrumento (salida en función de la entrada), se asemeja a una línea recta. Usualmente se mide la no linealidad, y se expresa como linealidad. Para determinarla, se mide la máxima desviación de la curva promedio de calibración con respecto a una línea recta, la cual es trazada de acuerdo a tres métodos diferentes, los cuales se explican a continuación. Generalmente, el valor de linealidad obtenido por cualquiera de los métodos se expresa en función del span.

a) Linealidad independiente.

En este caso la línea recta utilizada para determinar la linealidad es trazada de forma tal de minimizar la distancia promedio con respecto a la curva de calibración.

b) Linealidad terminal.

La línea recta en este caso se traza entre los dos puntos extremos de la curva de calibración. La linealidad se calcula entonces como la máxima desviación de la curva de calibración con dicha línea recta.

c) Linealidad basada en cero.

En este caso la línea recta es trazada de modo que coincida con la curva de calibración en el punto inferior de la escala, pero con la inclinación adecuada para minimizar la máxima desviación entre la curva de calibración y dicha línea recta.

5.2.9.- Deriva (*drift*).

Es la máxima variación experimentada a la salida de un instrumento, durante un período de tiempo determinado, cuando la entrada se mantiene a un valor constante durante dicho período. La deriva generalmente se expresa en función del span.

Por ejemplo, si un indicador de temperatura que tiene una deriva de 0.5% del span en un período de 6 meses, y el span es de 200 °C, entonces la variación máxima esperada a la salida, bajo condiciones estables de la entrada es de \pm 1°C.

La deriva típicamente se manifiesta como un corrimiento constante de la salida en todo el rango de medición (error de cero), por lo que este error puede ser corregido con recalibración del instrumento. A la deriva también se le suele llamar estabilidad, aunque este es un término más amplio que no necesariamente se refiere siempre a la salida del instrumento.

5.2.10.- Estabilidad.

La estabilidad se refiere a la máxima variación experimentada por alguna de las características del instrumento con respecto a una variable externa al instrumento, la cual en términos generales no puede ser controlada. Por ejemplo, un transmisor de presión que tenga la siguiente la siguiente especificación: Exactitud = 0,05% del Span/°C. En este caso se está haciendo referencia a la estabilidad con respecto a variaciones de la

temperatura ambiente, de la especificación de exactitud del instrumento.

5.2.11.- Sensibilidad.

Es la relación que hay entre la variación experimentada por la salida de un instrumento, y la variación a la entrada causante del cambio.

$$Sensibilidad = \frac{\Delta Salida}{\Delta Entrada}$$
 (5.14)

Por ejemplo, un termopar (sensor de temperatura), que genere una variación a la salida de 100 mV para un cambio de temperatura de 100°C, tendrá una sensibilidad de 1mV/°C. La sensibilidad también se puede expresar en función del span del instrumento, en este caso, se calcula como:

Sensibilidad =
$$\left(\frac{\Delta \text{Salida}}{\Delta \text{Entrada}}\right) / \text{Span}$$
 (5.15)

◎ *EJEMPLO 5.7.*

La siguiente Tabla muestra el resultado de la calibración de un instrumento. En la misma aparecen los errores absolutos expresados en función del alcance obtenidos para 11 puntos de la escala, para tres ciclos de recorrido en forma ascendente y descendente comenzando desde media escala. También se presenta el error promedio ascendente y descendente, así como el error promedio total.

En base a los resultados de la calibración, estimar la exactitud, histéresis y repetibilidad del instrumento.

Entrada	ERROR									Error promedio	
	Subiendo	Bajando	Subiendo	Bajando	Subiendo	Bajando	Subiendo	Subiendo Promedio	Bajando Promedio	Subiendo Promedio	'
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0		-0,04		-0,05		-0,06			-0,05		-0,05
10		+0,14	+0,04	+0,15	+0,05	+0,16	+0,06		+0,15	+0,05	+0,10
20		+0,23	$0.08^{(3)}$	0,26 ⁽¹⁾	+0,09	0,26 ⁽¹⁾	0,13 ⁽³⁾		+0,25	+0,10	+0,175
30		+0,24	+0,09	+0,25	+0,10	+0,26	+0,11		+0,25	+0,10	+0,175
40		+0,13	-0,07 ⁽²⁾	0,15 ⁽²⁾	-0,04	+0,17	-0,04		+0,15	-0,05	+0,05
50	-0,18	-0,02	-0,16	+0,01	-0,13	+0,01	-0,13	-0,15	0	-0,15	-0,075
60	-0,27	-0,12	-0,25	-0,10	-0,23	-0,08		-0,25	-0,10		-0,175
70	-0,32 ⁽¹⁾	-0,17	-0,30	-0,16	-0,28	-0,12		-0,30	-0,15		-0,225
80	-0,27	-0,17	-0,26	-0,15	-0,22	-0,13		-0,25	-0,15		-0,2
90	-0,16	-0,06	-0,15	-0,05	-0,14	-0,04		-0,15	-0,05		-0,1
100	+0.09		+0.11		+0.10			+0.10			+0.1

Tabla 5.2. Calibración de un instrumento.



a) Cálculo de la exactitud.

Para la estimación de la exactitud basada en el valor más alejado, simplemente se recorre la tabla y se buscan los errores más grandes, tanto positivos como negativos. En este caso dichos valores son los identificados con (1), es decir:

Exactitud = -0.32% y -0.26% del span.

En este caso se puede tomar el valor más alejado, es decir, 0.32% e indicar que la exactitud medida del instrumento basada en el valor más alejado es de $\pm 0.32\%$ del Span.

b) Cálculo de la histéresis y banda muerta.

La máxima separación entre los valores medidos, para ciclos consecutivos, se obtiene en los puntos marcados con (2), por lo que:

Histéresis + Banda Muerta = 0.15% - (-0.07%) = 0.22% del Span.

Si de las mediciones anteriores conocemos que la banda muerta es 0,1% del Span, entonces la histéresis es 0,12% del Span.

c) Cálculo de la precisión o repetibilidad.

La repetibilidad se debe calcular buscando en la tabla los valores más alejados entre si para los ciclos de subida o los de bajada y para un mismo valor de la entrada. En este caso estos valores se obtienen en los puntos marcados con (3) en la tabla, la repetibilidad es entonces la separación entre dichos valores, es decir,

Repetibilidad = 0.13% - 0.08% = 0.05% del Span.

d) Linealidad.

Para el cálculo de la linealidad, se debe graficar el error promedio (última columna de la derecha), y trazar líneas rectas de acuerdo a lo indicado en subcapítulo 5.2.8, y medir la máxima desviación existente entre dichas rectas y la curva promedio.

5.3.- Características dinámicas.

Las características dinámicas de un instrumento se refieren al comportamiento del mismo cuando la entrada o variable medida, está cambiando en el tiempo.

Para la determinación de las características dinámicas de un instrumento, típicamente se somete al mismo

a una entrada tipo escalón, y se estudia el comportamiento de la salida en el tiempo. La respuesta típica de un instrumento, ante un escalón, es ilustrada en la Figura 5.3.

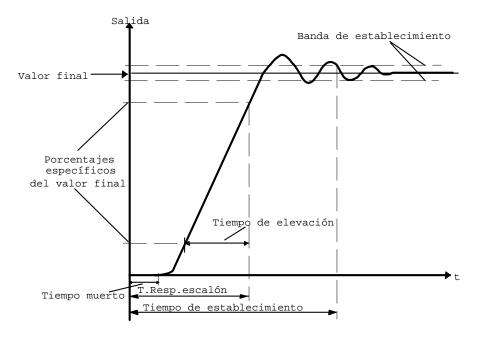


Figura 5.3. Respuesta al escalón de un instrumento.

5.3.1.- Tiempo muerto.

Es el tiempo transcurrido desde el inicio de un estímulo a la entrada del instrumento, hasta que existe un cambio observable a la salida. Una parte del tiempo muerto se debe a la presencia de una banda muerta en el instrumento.

5.3.2.- Tiempo de respuesta al escalón.

Es el tiempo transcurrido desde un cambio en la entrada (tipo escalón), hasta que la salida alcance un porcentaje específico del valor en estado estacionario. Usualmente este porcentaje suele estar entre 90% y 99%. En algunos casos también se suele medir el tiempo necesario para que la salida entre en la banda de exactitud del instrumento.

5.3.3.- Tiempo de establecimiento.

Es el tiempo transcurrido después del inicio de un estímulo a la entrada (escalón), hasta que la salida se estabiliza dentro de una banda alrededor del valor final (usualmente 2%, o también se puede utilizar la banda de exactitud).

Por ejemplo, si el tiempo de establecimiento al 95% de cierto instrumento es de 5 s, esto significa que el

instrumento ante un cambio tipo escalón en la entrada tarda 5 s en establecerse dentro de una banda de \pm 5% del valor final.

A diferencia del tiempo de respuesta, el tiempo de establecimiento se mide cuando la salida entra en la banda predefinida y nunca sale de ella, mientras que para la determinación del tiempo de respuesta sólo se toma en cuenta cuando la salida entra por primera vez en la banda preestablecida.

5.3.4.- Tiempo de elevación.

Es el tiempo que tarda la salida en recorrer, ante un cambio tipo escalón en la entrada, dos límites preestablecidos del valor final o de estado estacionario. Por ejemplo, el tiempo de elevación 10-90 es el tiempo que tarda la salida en viajar desde un valor al 10% del valor final hasta el 90% del valor final.

5.3.5.- Velocidad de respuesta.

Es la rapidez a la que el instrumento responde a cambios en la cantidad medida. Usualmente se determina sometiendo a la entrada a un cambio tipo escalón, y midiendo el cambio a la salida experimentada durante el tiempo de elevación, es decir:

$$Velocidad de respuesta = \frac{\Delta Salida}{\Delta t_{elevacion}}$$
 (5.16)

Por ejemplo, si la velocidad de respuesta de un sensor de temperatura es de 10°C/s, esto significa que el instrumento está en capacidad de medir dichas variaciones de temperatura, sin error dinámico, es decir, con un error sólo debido a la inexactitud del instrumento.

5.3.6.- Constante de tiempo.

Es el tiempo que tarda la salida en recorrer el 63% del valor final, ante un cambio tipo escalón en la entrada. El hecho de que se indique la constante de tiempo de un instrumento, no indica que el mismo responda como un sistema de primer orden.



PROBLEMA 5.1.

Para determinar las características estáticas de un instrumento se realizaron varias mediciones recorriendo la escala en forma ascendente y descendente, comenzando desde media escala hasta llegar al RS; luego descendiendo desde el RS hasta el RI; y de nuevo recorriendo la escala en modo ascendente hasta llegar a media escala. En total se recorrió la escala en modo ascendente y descendente tres veces respectivamente.

En cada medición se registró la diferencia entre la salida observada (lectura) y la salida ideal. La diferencia obtenida o error absoluto, se expreó en porcentaje del alcance ideal del instrumento, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla anexa.

En base a los resultados, determine:

- a) Exactitud basada en el valor más alejado y expresada en función del alcance.
- **b)** Precisión basada en los valores más alejados entre sí y expresada en unción del alcance.
- c) Histéresis expresada en función del alcance, si se sabe que la banda muerta es de 0,1% del alcance.
- **d)** Si el instrumento en cuestión es un indicador de temperatura cuyo rango de medición es de -10°C hasta 100°C, determine en base a la exactitud obtenida en el punto **a)**, entre qué valores estaría comprendido el valor real, cuando el valor medido es de 10°C.
- e) Para el instrumento anteior, indicar cuál sería la exactitud expresada en función del RS.

Tabla 5.3. Calibración de un instrumento.

	Error porcentual, %									
Entrada	Subiendo	Bajando	Subiendo	Bajando	Subiendo	Bajando	Subiendo			
%	%	%	%	%	%	%	%			
0		-0,04		-0,05		-0,06				
10		+0,14	+0,04	+0,15	+0,05	+0,16	+0,06			
20		+0,23	+0,08	+0,26	+0,09	+0,26	+0,13			
30		+0,24	+0,09	+0,25	+0,10	+0,26	+0,11			
40		+0,13	-0,07	+0,15	-0,04	+0,17	-0,04			
50	-0,18	-0,02	-0,16	+0,01	-0,13	+0,01	-0,13			
60	-0,27	-0,12	-0,25	-0,10	-0,23	-0,08				
70	-0,32	-0,17	-0,30	-0,16	-0,28	-0,12				
80	-0,27	-0,25	-0,33	-0,15	-0,22	-0,13				
90	-0,16	-0,06	-0,15	-0,05	-0,14	-0,04				
100	+0,09	- 7	+0,11	- 7	+0,10	- 7 -				

PROBLEMA 5.2.

Un transmisor de temperatura tiene un rango de medición de 0 °C a 100 °C, y una exactitud de \pm 1% del RS. Grafique el valor del error absoluto máximo y el error máximo relativo al valor medido, en todo el rango de medición.

PROBLEMA 5.2.

Si el transmisor de la pregunta anterior tiene ahora una exactitud de 1% del valor medido, grafique el valor del error absoluto máximo y el error máximo relativo al valor medido, en todo el rango de medición.

PROBLEMA 5.3.

En la calibración de un instumento de nivel de un tanque se llenó y vació éste 4 veces. Hallar el valor de la histéresis si se sabe que RS= 4 m, banda muerta = 0,2% Span y el mayor error entre vaciado y llenado es:

 Muestra
 Error

 40% del nivel
 1,2% Vm

 50% " " 1,5% Span

 60% " " 1,42% Vm

0,97% RS

Tabla 5.4. Calibración de un instrumento.

PROBLEMA 5.4.

Un instrumento mide 150°C y su RI es de 25°C y el RS es de 200°C. Entre qué valores está el Vr si su exactitud es de:

a) 0,5% Vm

b) 1% Span

c) 0,8% RS

20% "

PROBLEMA 5.5.

Un sensor de nivel que se encuentra en un silo de granos tiene un error de 1% RS, el del transmisor que envía la señal al cuarto de control es de 0.05% Vm y el indicador tiene un error del 3% del Span. Hallar el nivel del silo sabiendo que el error probable es 0.3162 m. El rango de medición es de 0-10 m.