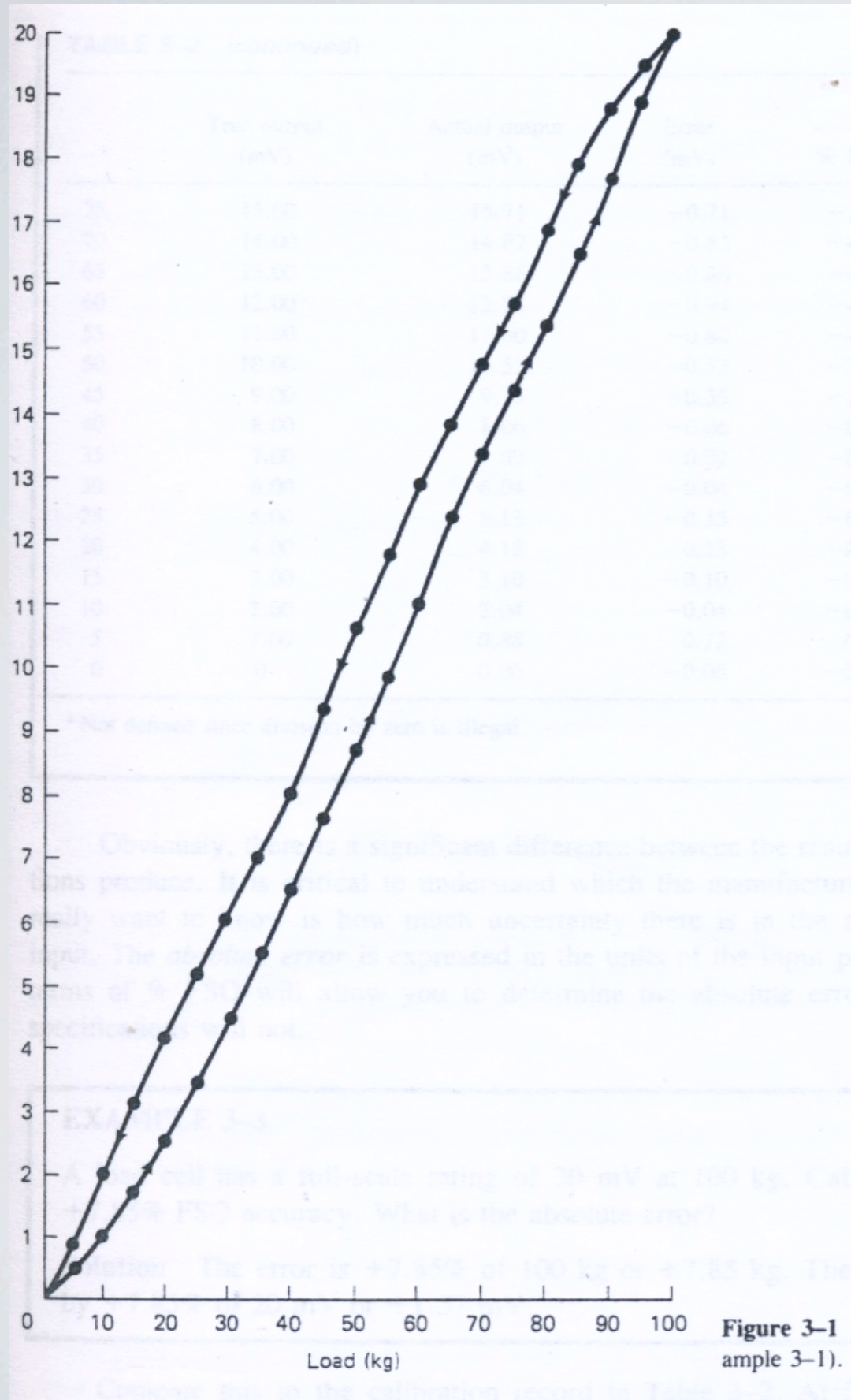


# CARACTERIZACIÓN DE SENSORES

INEL 5205 - Instrumentación

# Curva de Calibración



**TABLE 3-1** CALIBRATION RECORD  
FOR EXAMPLE 3-1

Load (kg)	Output (mV)	
	Increasing	Decreasing
0	0.08	0.06
5	0.45	0.88
10	1.02	2.04
15	1.71	3.10
20	2.55	4.18
25	3.43	5.13
30	4.48	6.04
35	5.50	7.02
40	6.53	8.06
45	7.64	9.35
50	8.70	10.52
55	9.85	11.80
60	11.01	12.94
65	12.40	13.86
70	13.32	14.82
75	14.35	15.71
80	15.40	16.84
85	16.48	17.92
90	17.66	18.70
95	18.90	19.51
100	19.93	20.02

Data para un "load cell"

# Exactitud (Accuracy)

Diferencia entre la salida correcta y la que se obtiene en la realidad. Se expresa como la inexactitud (% de error). Puede medirse de distintas maneras

- ⇒ % de la salida de escala máxima (*FSO*)
- ⇒ % de la medida
- ⇒ en términos absolutos, expresado en unidades de la cantidad medida

Ejemplo: Determine la exactitud del sensor cuya respuesta se muestra en la página anterior, en términos de % de *FSO* y % de lectura. Asuma una relación lineal:

$$v_{true} = \frac{v_{full-scale}}{load_{full-scale}} \times load$$

**TABLE 3-2 ACCURACY FOR EXAMPLE 3-2**

	True output (mV)	Actual output (mV)	Error (mV)	Accuracy	
				% FSO	% reading
0	0	0.08	-0.08	-0.4	<sup>a</sup>
5	1.00	0.45	0.55	2.75	55.00
10	2.00	1.02	0.98	4.90	49.00
15	3.00	1.71	1.29	6.45	43.00
20	4.00	2.55	1.45	7.25	36.25
25	5.00	3.43	1.57	7.85	31.40
30	6.00	4.48	1.52	7.60	25.33
35	7.00	5.50	1.50	7.50	21.43
40	8.00	6.53	1.47	7.35	27.01
45	9.00	7.64	1.36	6.80	15.11
50	10.00	8.70	1.30	6.50	13.00
55	11.00	9.85	1.15	5.75	10.45
60	12.00	11.01	0.99	4.95	8.25
65	13.00	12.40	0.60	3.00	2.77
70	14.00	13.32	0.68	3.40	7.14
75	15.00	14.35	0.65	3.25	4.33
80	16.00	15.40	0.60	3.00	3.75
85	17.00	16.48	0.52	2.60	3.06
90	18.00	17.66	0.34	1.70	1.89
95	19.00	18.90	0.10	0.50	0.53
100	20.00	19.93	0.07	0.35	0.35
100	20.00	20.02	-0.02	-0.10	-0.10
95	19.00	19.51	-0.51	-2.55	-2.68
90	18.00	18.70	-0.70	-3.50	-3.89
85	17.00	17.92	-0.92	-4.60	-5.41
80	16.00	16.84	-0.84	-4.20	-5.25
75	15.00	15.71	-0.71	-3.55	-4.73
70	14.00	14.82	-0.82	-4.10	-5.86
65	13.00	13.86	-0.86	-4.30	-6.62
60	12.00	12.94	-0.94	-4.70	-7.83
55	11.00	11.80	-0.80	-4.00	-5.82
50	10.00	10.52	-0.52	-2.60	-5.20
45	9.00	9.35	-0.35	-1.75	-3.89
40	8.00	8.06	-0.06	-0.30	-0.75
35	7.00	7.02	-0.02	-0.10	-0.29
30	6.00	6.04	-0.04	-0.20	-0.67
25	5.00	5.13	-0.13	-0.65	-2.60
20	4.00	4.18	-0.18	-0.90	-4.50
15	3.00	3.10	-0.10	-0.50	-16.67
10	2.00	2.04	-0.04	-0.20	-10.00
5	1.00	0.88	0.12	0.60	60.00
0	0	0.06	-0.06	-0.30	<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Not defined since division by zero is illegal.

$$\%FSO = 100\% \times \frac{Error(mV)}{FSO(mV)}$$

$$\%reading = 100\% \times \frac{Error(mV)}{True - output(mV)}$$

Los errores más grandes son:

7.85% del FSO y 60% de la lectura.

El error absoluto?

Deberian ser -3.33%, -2% y -12%

Ejemplo: Un “load cell” tiene un FS de 20mV a 100kg, y exactitud de +7.85% del FSO. Cual es el error absoluto, en kg y en mV?

Ejemplo: Se desea medir el torque aplicado con una exactitud de 0.1 ft-lb y valor máximo de 20 ft-lb. Se puede usar un transducer con un que acepta un FS de 100 ft-lb con exactitud de 0.2% FSO?

Resolución: cambio mas pequeño en la entrada que produce un cambio en la salida.

Ejemplo: Un aspa de 2.5m en largo es rotada con un eje para ajustar su posición. Si la posición se debe conocer con certidumbre de 2cm, cual debe ser la resolución del “encoder” óptico conectado al eje?

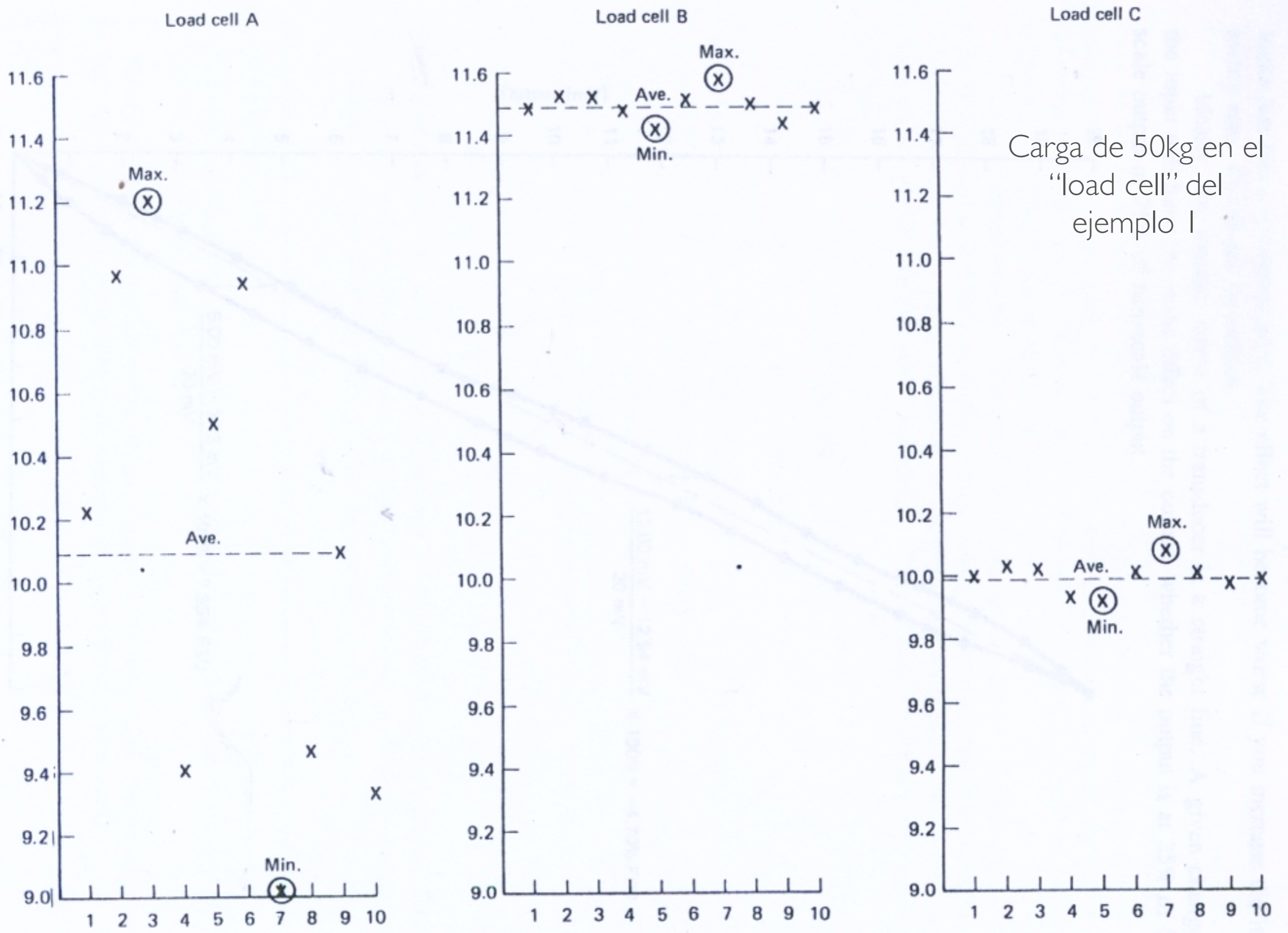
Ejemplo: Un transductor de temperatura que produce una salida de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  es usado para medir la temperatura de un horno que va de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ . Si la salida del sensor se conecta a un ADC de 8-bits, se podria obtener una resolución de  $1^{\circ}\text{C}$ ?

Repetibilidad: mide la consistencia de la medida cuando se repite en las mismas condiciones.

**TABLE 3-3** REPEATABILITY TEST FOR EXAMPLE 3-7

Trial no.	Load cell output (mV)		
	A	B	C
1	10.02	11.50	10.00
2	10.96	11.53	10.03
3	11.20	11.52	10.02
4	9.39	11.47	9.93
5	10.50	11.42	9.92
6	10.94	11.51	10.01
7	9.02	11.58	10.08
8	9.47	11.50	10.00
9	10.08	11.43	9.97
10	9.32	11.48	9.98
Maximum	11.20	11.58	10.08
Average	10.09	11.49	9.99
Minimum	9.02	11.42	9.92

Se desea que los valores medidos estén cerca uno del otro, aunque exista error pues el mismo se puede corregir electrónicamente.



Carga de 50kg en el "load cell" del ejemplo I

Figure 3-3 Plot of repeatability data (Example 3-7).

Se usan ds definiciones

$$\textit{repeatability} = \frac{\textit{max} - \textit{min}}{FS} \times 100\%$$

o

$$\textit{repeatability} = \frac{\Delta_{\textit{max}} - \textit{ave}}{FS} \times 100\%$$

# Hysterisis

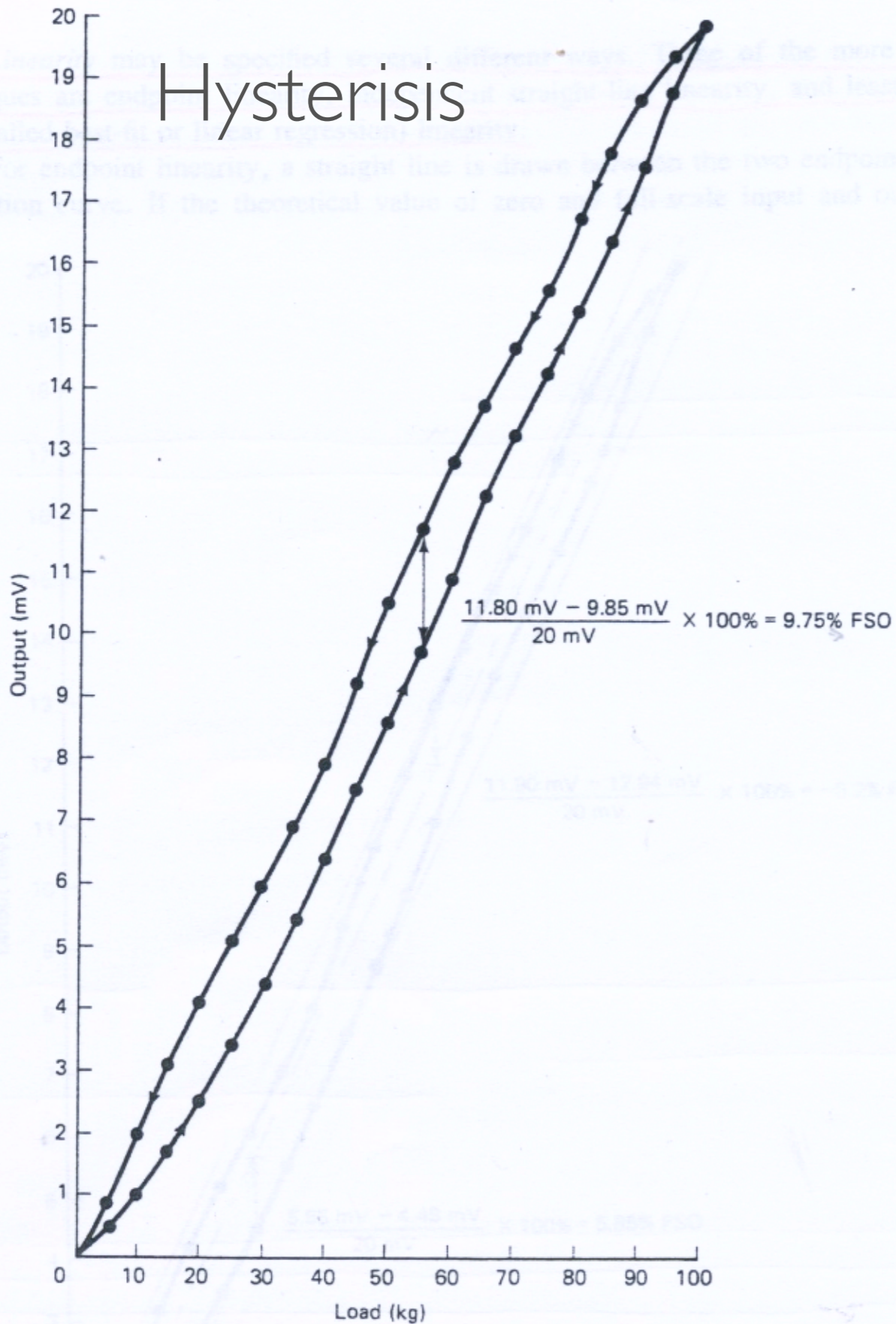


Figure 3-4 Hysterisis.

# Linearidad

Con referencia a la linea que va del punto inicial al final

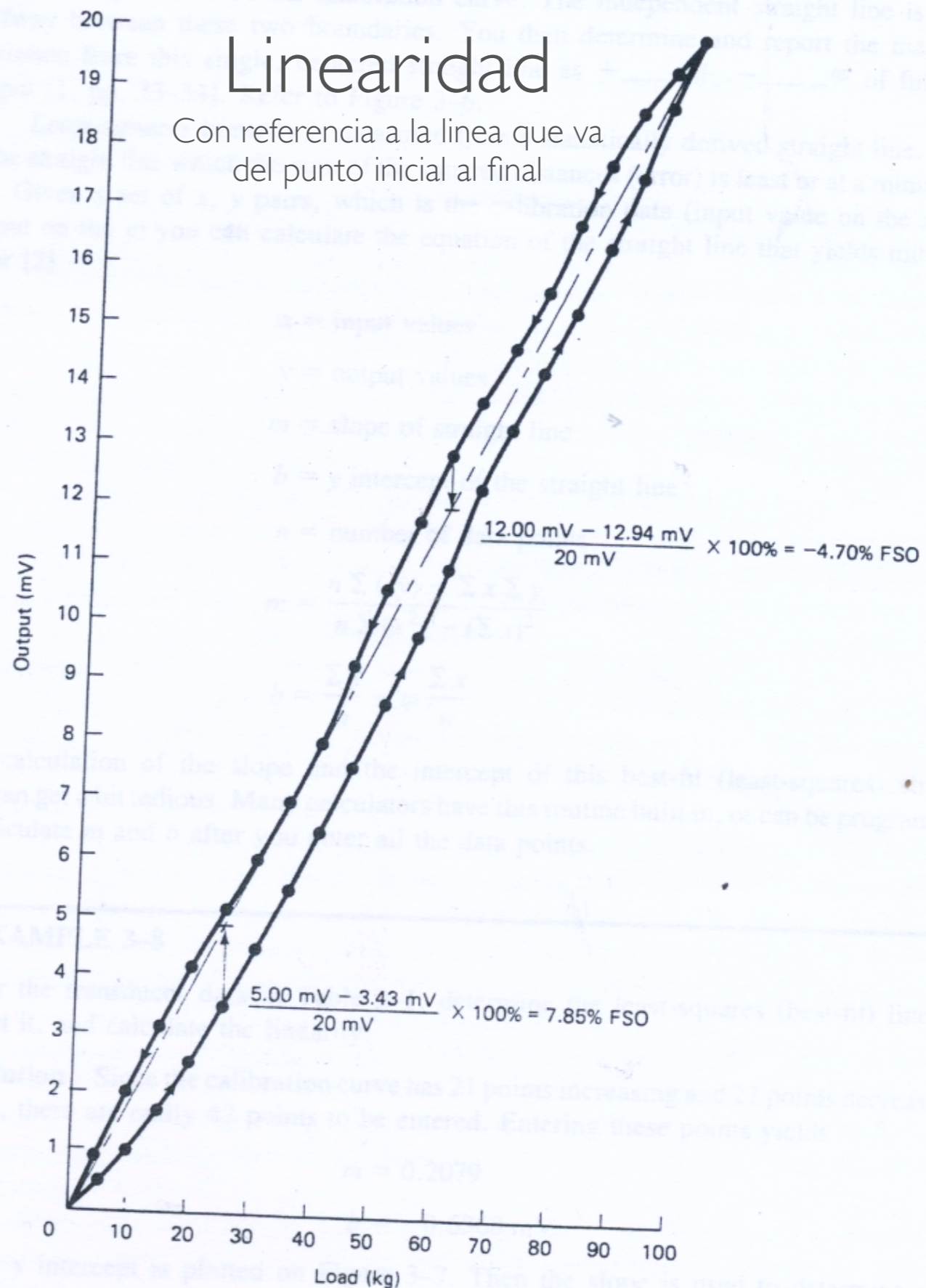


Figure 3-5 Endpoint linearity.

Linearidad usando una linea independiente de la data

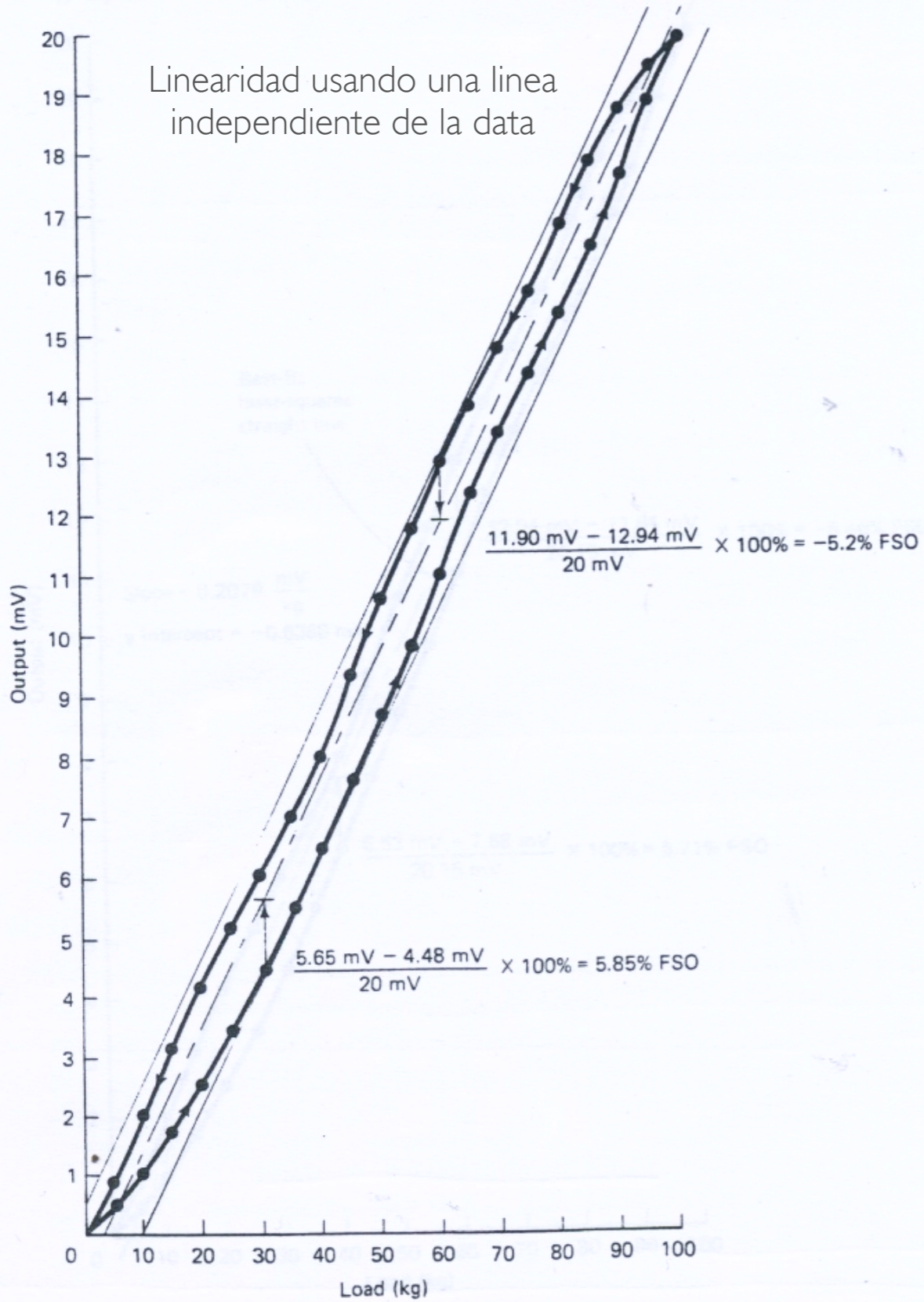


Figure 3-6 Independent straight-line linearity.

Linearidad usando la linea que minimiza el error de los cuadrados

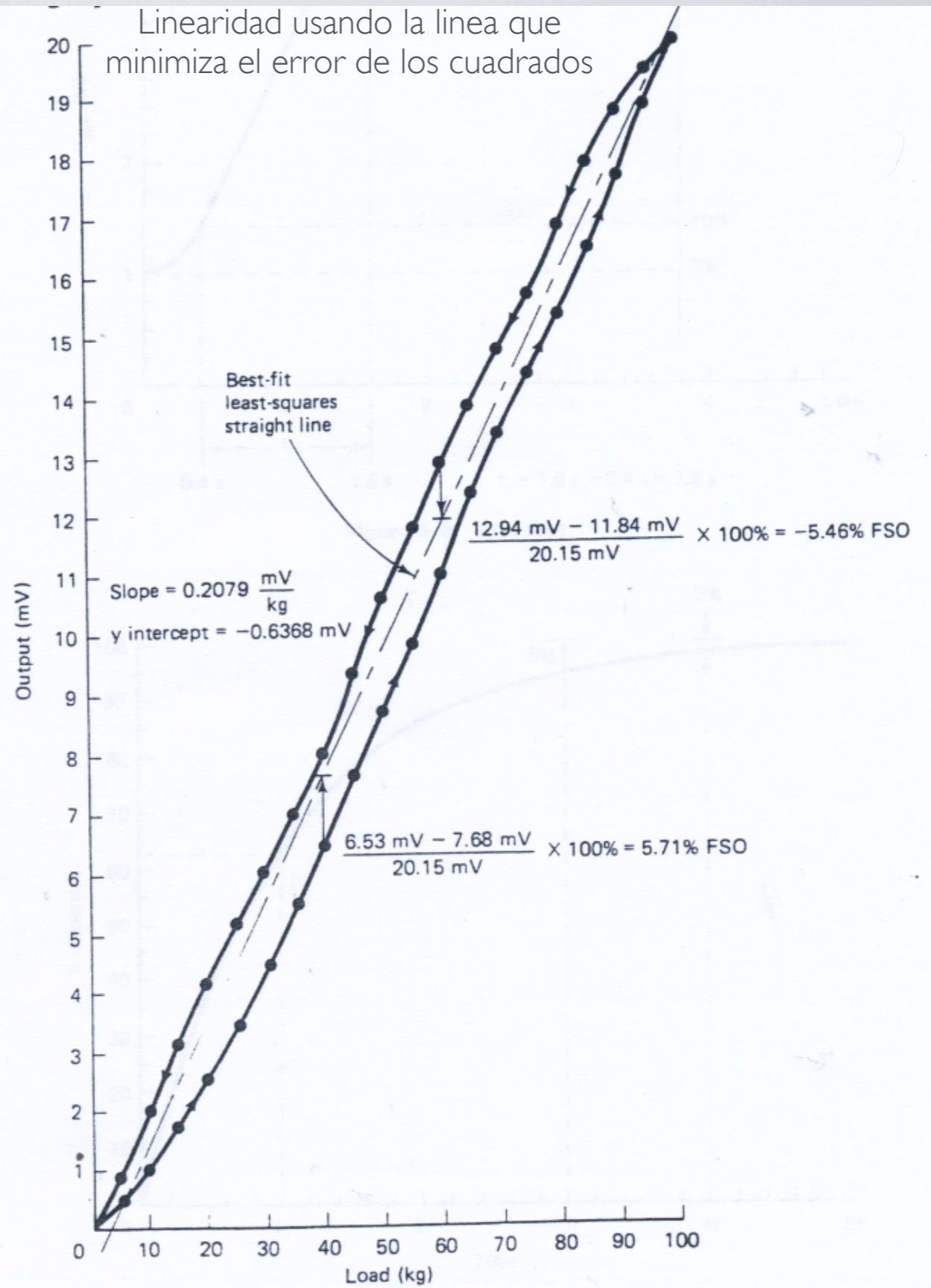


Figure 3-7 Least-squares linearity.

$x$  = *input values*

$y$  = *output values*

$m$  = *slope*

$b$  = *intercept*

$n$  = *number of data points*

$$m = \frac{n \Sigma(xy) - \Sigma x \Sigma y}{n \Sigma(x^2) - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma y}{n} - m \frac{\Sigma x}{n}$$

Los términos anteriores son estáticos - se espera hasta que se alcance estado estable para tomar la medida.

Las características dinámicas del sensor son las usuales para un sistema dinámico: constante de tiempo, tiempo de subida tiempo de caída, retraso (*dead time*), tiempo de acomodación (*settling time*) frecuencia natural y razón de amortiguamiento (si se representa con un modelo de segundo orden), frecuencia de corte, etc.

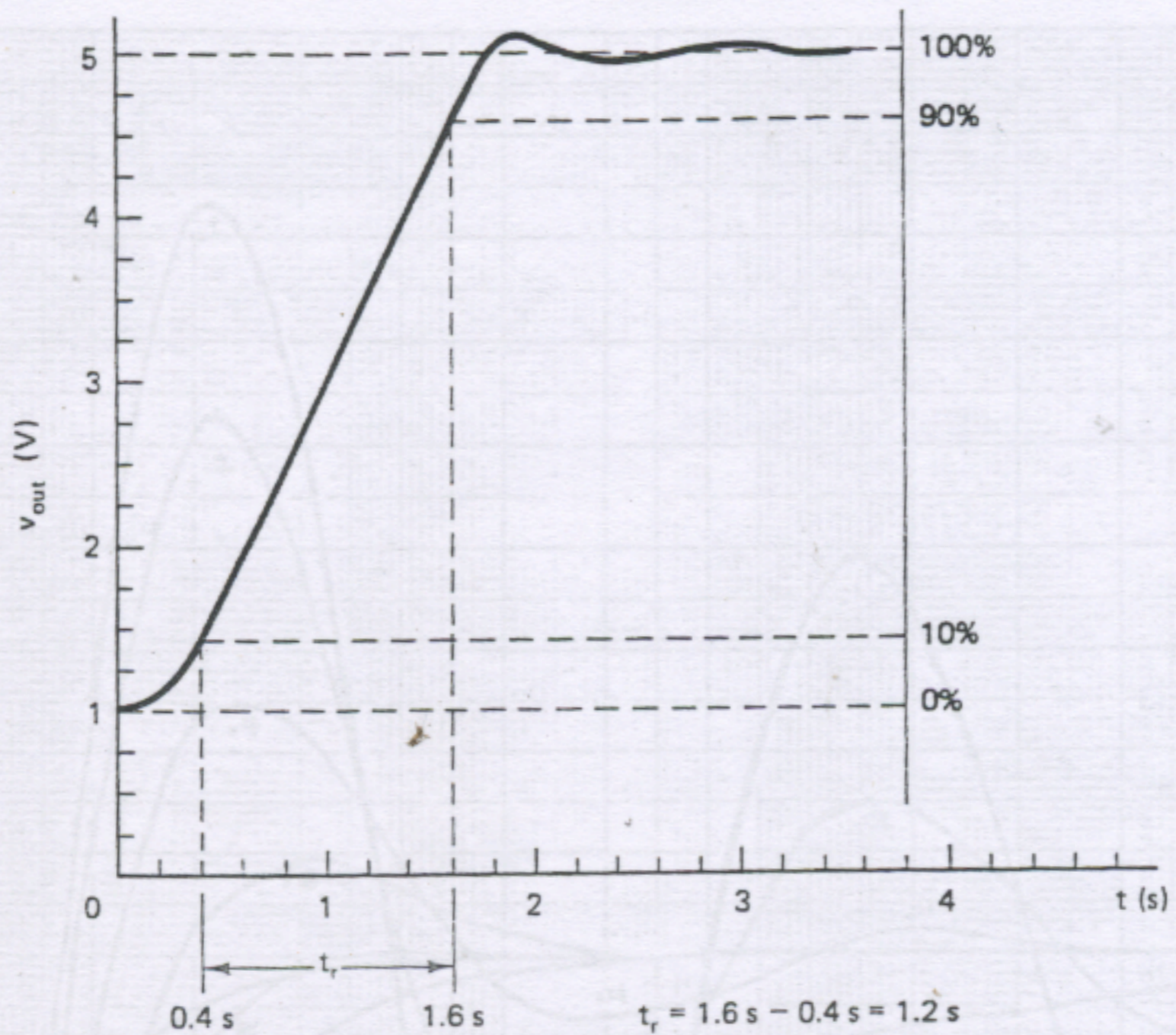


Figure 3-8 Rise time.

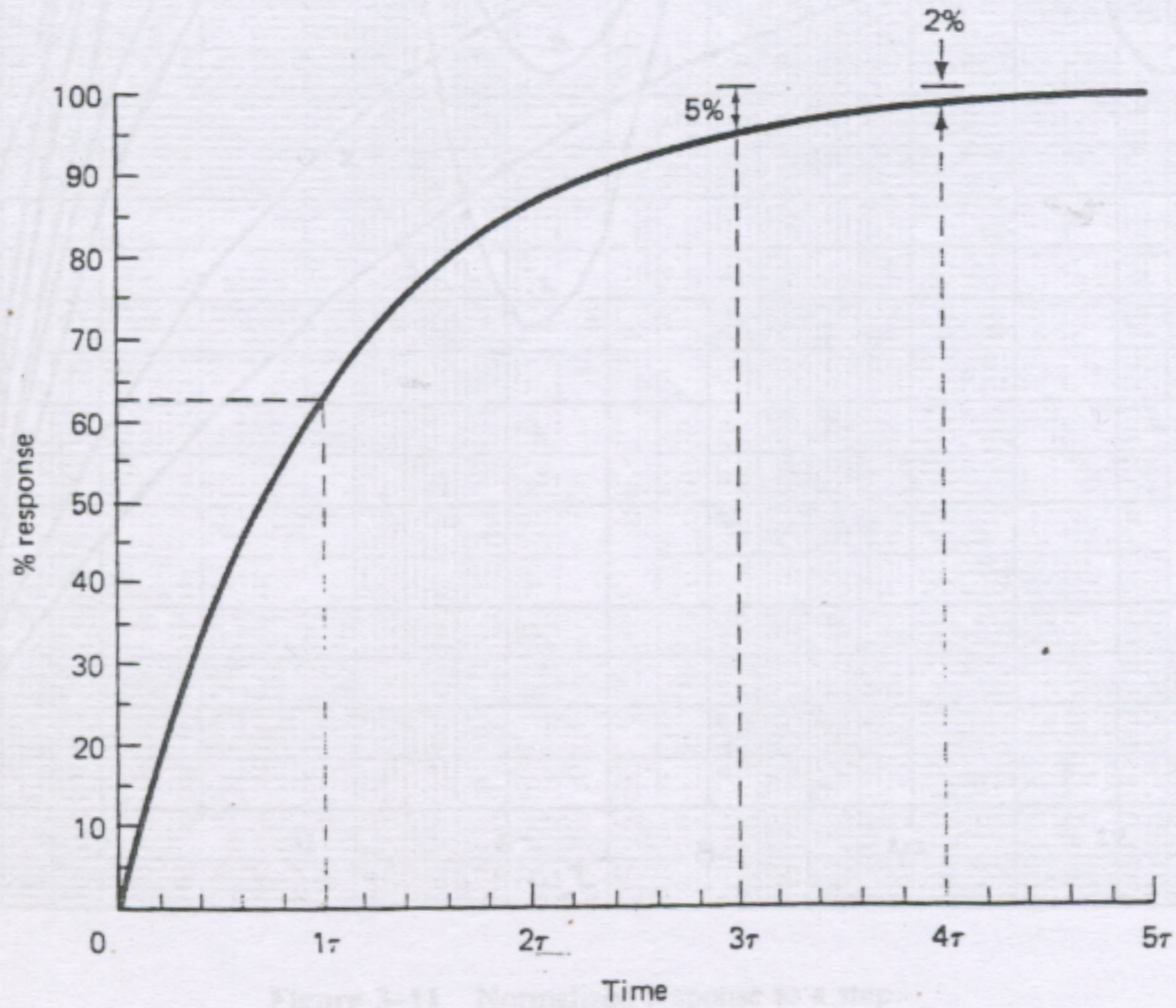


Figure 3-9 Time constant.

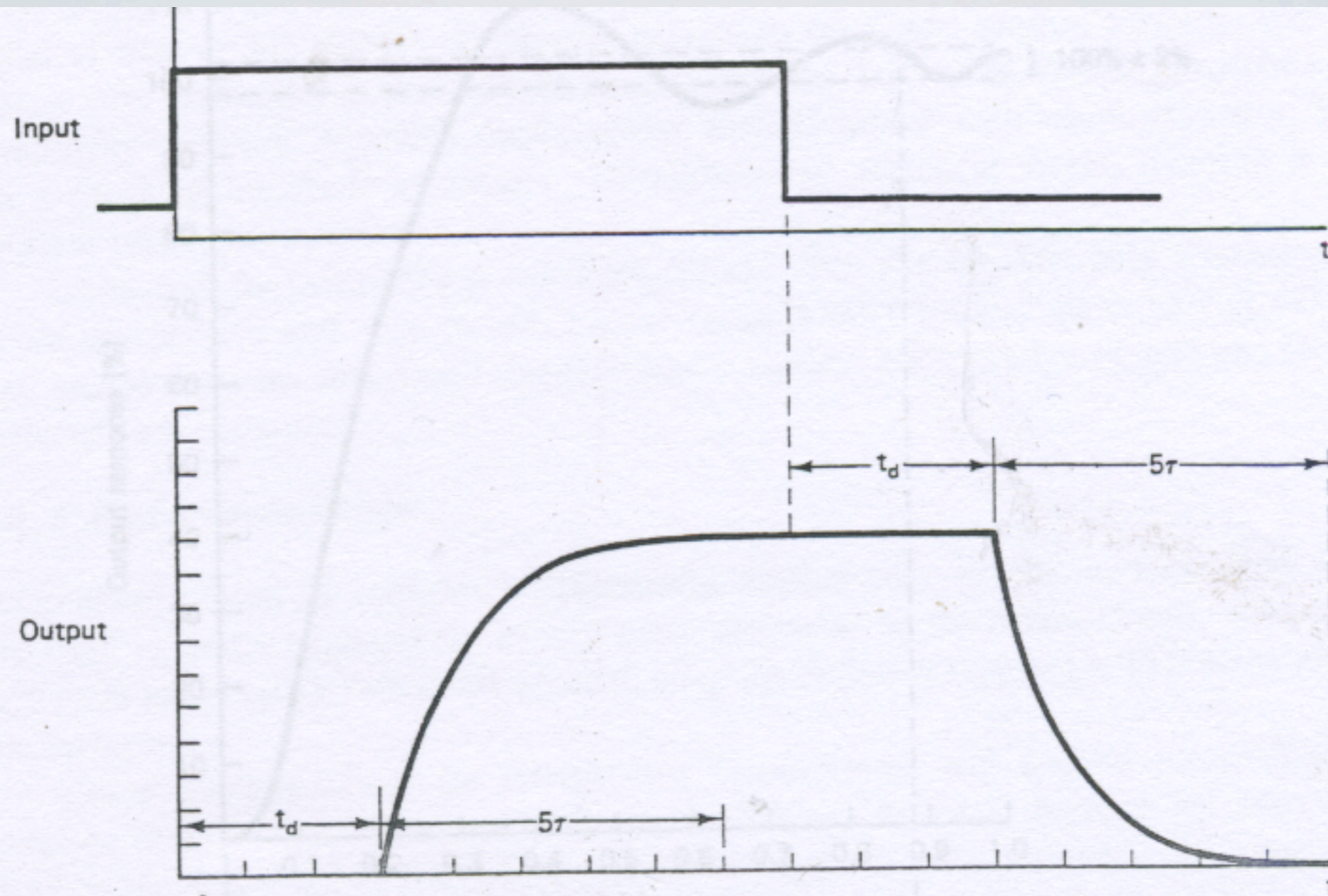
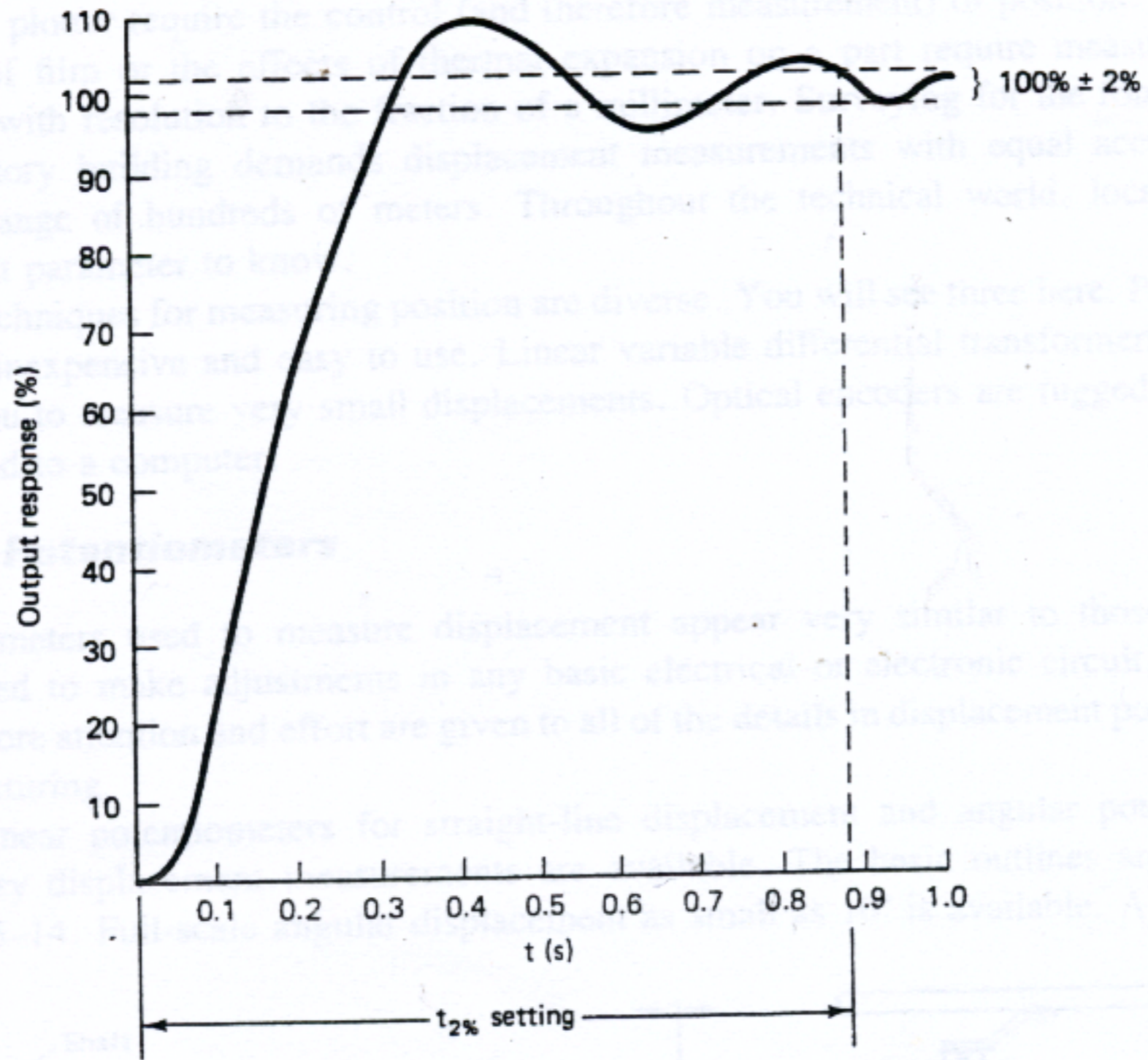


Figure 3-10 Response of a transducer with both dead time and a time constant.



**Figure 3-12** Settling time.

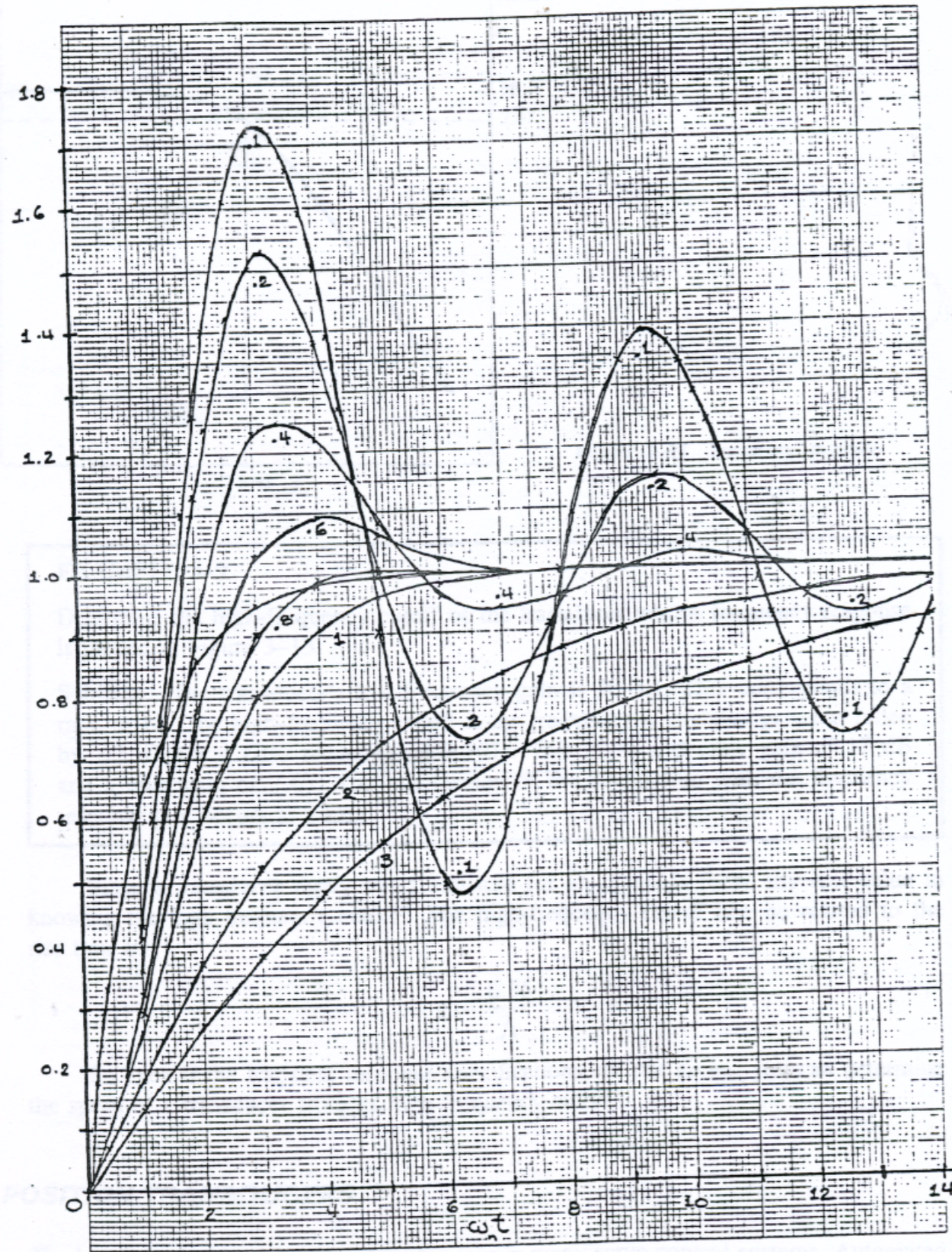


Figure 3-11 Normalized response to a step.

Respuesta 2<sup>do</sup> orden

$$\frac{K}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2}$$