

# Lección 2: Análisis de un sistema dinámico

## Resumen

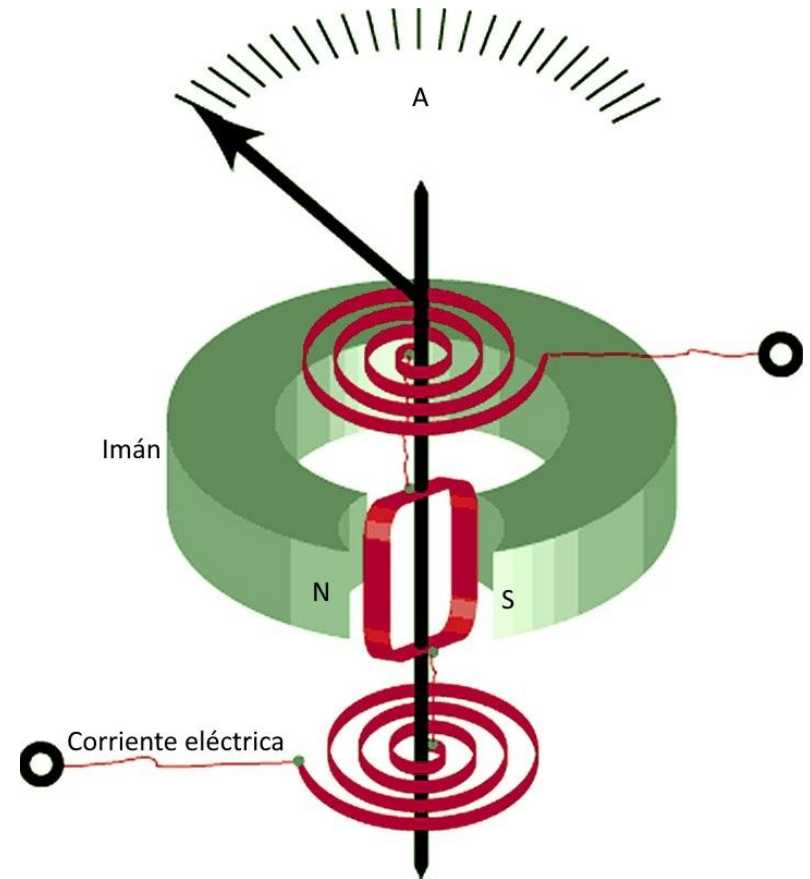
Como sistema dinámico se utiliza un dispositivo de medición eléctrica (amperímetro). Si no fluye corriente eléctrica, el valor medido indicado es cero. El medidor está diseñado de tal manera que la indicación aumenta proporcionalmente a la corriente. Esto se aplica prácticamente a cualquier instrumento de medición.

## Tabla de contenidos

- Folio 2: Instrumento de medida como sistema dinámico
- Folio 3: Principio de funcionamiento
- Folio 4: Diseño del dispositivo
- Folio 5: Objetivo de los experimentos
- Folio 6: Diseño experimental
- Folio 7: Datos experimentales
- Folio 8: Gráfica de los datos experimentales
- Folio 9: Cálculo de SNR y SEN
- Folio 10: Evaluación de SNR
- Folio 11: Evaluación de SEN
- Folio 12: Interpretación y modelo
- Folio 13: Curva característica del dispositivo

# Instrumento de medición como sistema dinámico

Una bobina giratoria de alambre de cobre se encuentra en el campo de un imán permanente. Dos muelles espirales sirven tanto para el flujo de la corriente eléctrica como para el retorno a la posición de reposo. El flujo de corriente causa que la fuerza de Lorentz intervenga sobre los conductores de la bobina. Esto tiene como consecuencia que la bobina gire en el campo del imán contra la fuerza de los muelles hasta que la fuerza de Lorentz es igual a la fuerza de restablecimiento, que depende del ángulo.



# Principio de funcionamiento

Torque debido a la fuerza de Lorentz

$$M_{Lorentz} = 2 \cdot r \cdot F_{Lorentz} = 2 \cdot r \cdot n \cdot l \cdot I \cdot B$$

Torque debido a la muelle espiral

$$M_{muelle} = D \cdot \alpha$$

*r: radio   F: Fuerza   n: número de bobinados   l: longitud del conductor  
I: corriente eléctrica   B: campo magnético   D: constante del muelle  
 $\alpha$ : ángulo de giro*

La deflexión del indicador es

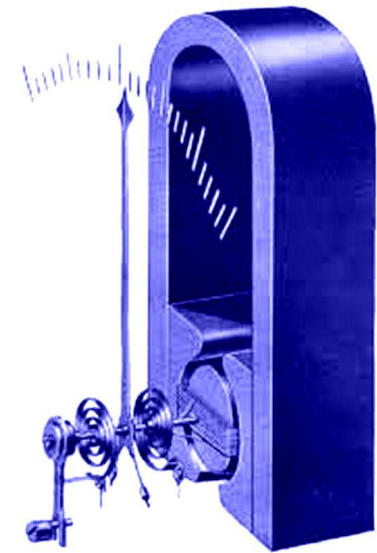
$$\alpha = 2 \cdot r \cdot n \cdot l \cdot I \cdot \frac{B}{D} \rightarrow \alpha \sim I$$

Para obtener mediciones precisas, es fundamental que las desviaciones de la linealidad sean lo más pequeñas posible.

# Diseño del dispositivo

El efecto de los parámetros del diseño debe ser analizado para conseguir que las leyes físicas se reproduzcan lo más fielmente posible. De esto se pueden derivar los mejores valores de una configuración (niveles de los parámetros), que tienen el mayor índice SNR.

Los parámetros pueden ser: el espacio de aire respecto al imán permanente, el número de vueltas de la bobina (resistencia eléctrica interna), las dimensiones de un núcleo cilíndrico de hierro suave en la bobina (alta sensibilidad), el tipo de aleación metálica del muelle espiral.



$$\begin{aligned}\alpha &= y \\ I &= M \\ y &= \beta M\end{aligned}$$

# Objetivo de los experimentos

La intención de un análisis de los efectos de los parámetros es realizar una **relación lineal** entre la corriente eléctrica, por ejemplo, de 0 - 50 mA en una escala de 0 - 90°.

Con **4 parámetros a 3 niveles y 3 valores del señal** (corriente eléctrica), el ortogonal array L4 hay que aplicar tres veces. El ángulo de giro como respuesta del sistema debe medirse con exactitud.

La corriente eléctrica como señal de entrada también tiene que ajustarse con precisión.

Todos los datos para su análisis se convertirán a **SNR** y **SEN**. Para obtener los mejores resultados, haga que el índice SNR sea lo más grande posible mientras ajusta la amplificación (= sensibilidad) para **calibrar la escala** con precisión.

# Diseño experimental

Tabla de  
parámetros

Parámetros	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
A: Distancia entre el imán y la bobina	1 mm	0.5 mm	0.2 mm
B: Número de vueltas de la bobina	100	200	500
C: Dimensiones de un núcleo de hierro suave en la bobina	12 mm	8 mm	4 mm
D: Aleación metálica del muelle espiral	acero	latón	bronce

Diagrama de datos

Test #	A	B	C	D	M1	M2	M3	$\beta$	$\sigma^2$	S/N	SNR	SEN
1	1	1	1	1	y11	y12	y13					
2	1	2	2	2	y21	y22	y23					
3	1	3	3	3	y31	y32	y33					
4	2	1	2	3	y41	y42	y43					
5	2	2	3	1	y51	y52	y53					
6	2	3	1	2	y61	y62	y63					
7	3	1	3	2	y71	y72	y73					
8	3	2	1	3	y81	y82	y83					
9	3	3	2	1	y91	y92	y93					
						S2			Promedio			

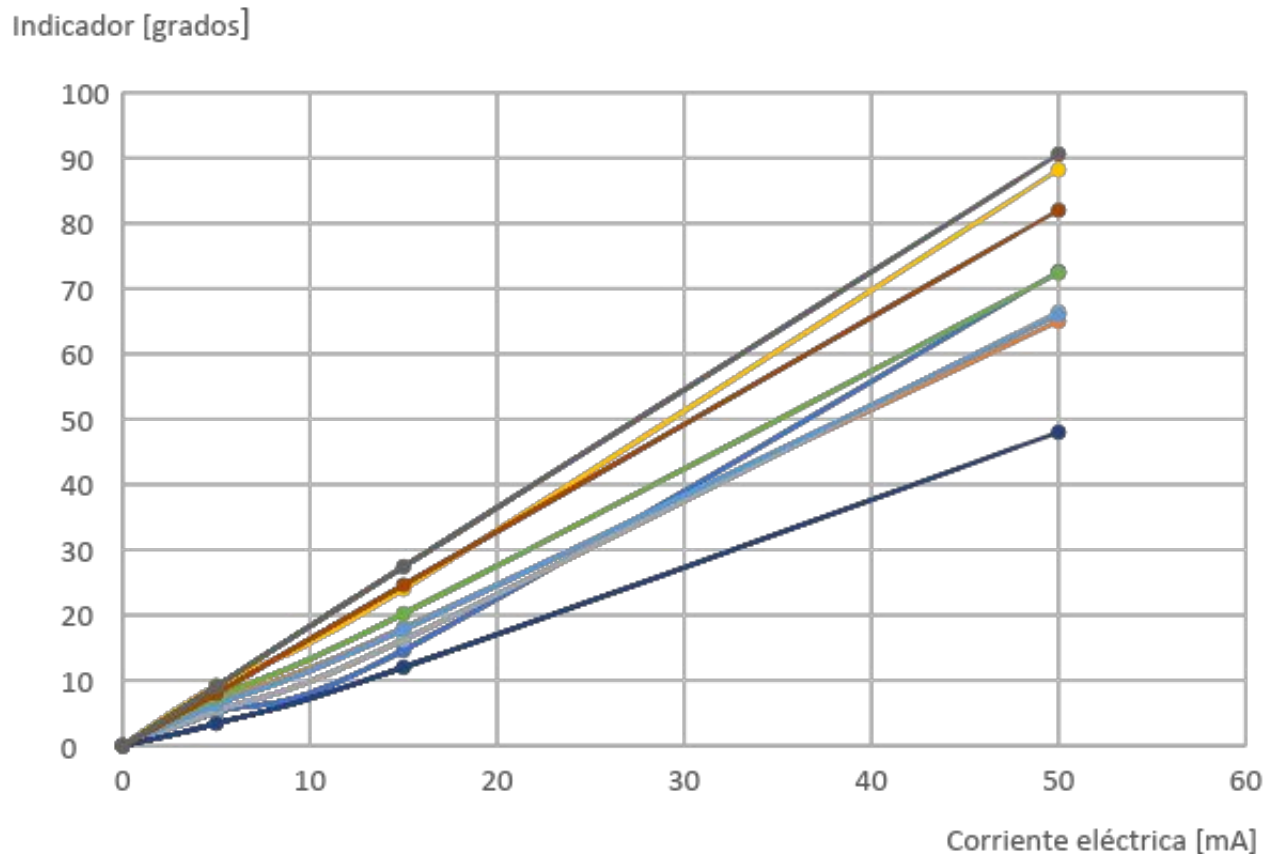
# Datos experimentales

Los índices SNR y SEN que se calculan a partir de los datos experimentales (deflexión del indicador en grados) para la evaluación.

		M1	M2	M3					
Test #	ABCD	5 mA	15 mA	50 mA	$\beta$	$\sigma^2$	S/N	SNR	SEN
1	1111	5.1	14.6	72.6					
2	1222	6.7	18	65					
3	1333	5.3	16.2	66.4					
4	2123	9.2	24	88.2					
5	2231	6.3	17.8	66					
6	2312	7.4	20.2	72.4					
7	3132	3.4	12	48					
8	3213	8	24.6	82					
9	3321	9.1	27.4	90.6					
				S2		Promedio			

# Gráfica de los datos experimentales

Visualización gráfica de los experimentos 1 - 9 sin procesar.





# Cálculo de SNR y SEN

Hay que calcular la pendiente de la línea recta de compensación, la dispersión cuadrado, el factor dimensional para ganar SNR y SEN. El valor promedio es necesario para predecir la respuesta del sistema a través de la configuración de un modelo.

$$SNR = 10 \log \left( \frac{\beta^2}{\sigma^2} S_2 \right)$$

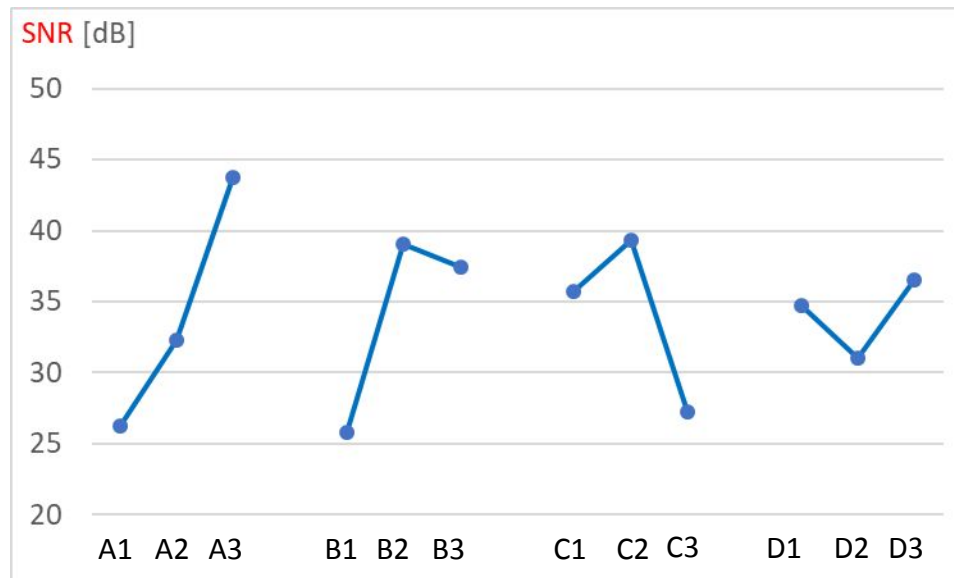
$$SEN = 10 \log(\beta^2)$$

		M1	M2	M3					
Test #	ABCD	5 mA	15 mA	50 mA	$\beta$	$\sigma^2$	S/N	SNR	SEN
1	1111	5.1	14.6	72.6	1.41	17.04	106.80	20.29	2.98
2	1222	6.7	18	65	1.29	0.71	2163.98	33.35	2.23
3	1333	5.3	16.2	66.4	1.31	4.74	329.63	25.18	2.31
4	2123	9.2	24	88.2	1.75	1.92	1466.67	31.66	4.87
5	2231	6.3	17.8	66	1.31	1.24	1262.69	31.01	2.34
6	2312	7.4	20.2	72.4	1.44	0.72	2640.00	34.22	3.17
7	3132	3.4	12	48	0.94	2.35	347.99	25.42	-0.50
8	3213	8	24.6	82	1.64	0.01	186524	52.71	4.29
9	3321	9.1	27.4	90.6	1.81	0.02	198524	52.98	5.17
				S2	916.67		Promedio	34.09	2.98

# Evaluación de SNR

La evaluación se realiza con las definiciones de los niveles del Ortogonal Array L9. Los efectos de los parámetros se muestran en la tabla y en el gráfico.

SNR	A	B	C	D
Nivel 1	26.27	25.79	35.74	34.76
Nivel 2	32.30	39.02	39.33	31.00
Nivel 3	43.70	37.46	27.20	36.52



# Evaluación de SEN

La evaluación se realiza con las definiciones de los niveles del Ortogonal Array L9. Los efectos de los parámetros se muestran en la tabla y en el gráfico.

SEN	A	B	C	D
Nivel 1	2.51	2.45	3.48	3.50
Nivel 2	3.46	2.95	4.09	1.63
Nivel 3	2.99	3.55	1.38	3.82



# Interpretación y modelo

Hay que determinar el mejor compromiso para la mayor linealidad, la menor desviación y el factor de amplificación (pendiente) con el fin de calibrar la escala existente.

	Configuración	Valor numérico	Transformación inversa
<b>SNR<sub>máximo</sub></b>	A3+B2+C2+D3	56.30 [dB]	
<b>SEN</b>	A3+B2+C2+D3	4.90	1.76 demasiado pequeño
<b>SNR</b>	A3+B3+C2+D3	54.74 [dB]	
<b>SEN</b>	A3+B3+C2+D3	5.50	1.88 demasiado grande
<b>SNR</b>	A3+B3+C2+D1	52.98 [dB]	
<b>SEN</b>	A3+B3+C2+D1	5.17	1.81 mejor opción

El valor ideal es  $90^\circ/50 \text{ mA} = 1.8 \text{ grados/mA}$ . La pequeña tolerancia de la indicación se puede calcular a base del valor numérico SNR. Dado que la configuración seleccionada ya se encuentra en el OA L9, el experimento de confirmación no es necesario.

# Curva característica del dispositivo

Gráfico de la función de transferencia del dispositivo de medición optimizado.

