

## Campo magnético de una bobina cilíndrica

### DETERMINACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE BOBINAS CILINDRICA DE DIFERENTES LONGITUDES.

- Determinación de la densidad de flujo magnético  $B$  en una bobina cilíndrica en dependencia con la intensidad de corriente  $I$ .
- Medición de la densidad de flujo magnético  $B$  en una bobina cilíndrica con densidad de espiras variable en dependencia con la intensidad de corriente  $I$ .
- Comprobación de la proporcionalidad con la densidad de espiras para grandes longitudes.

UE3030500

10/15 UD

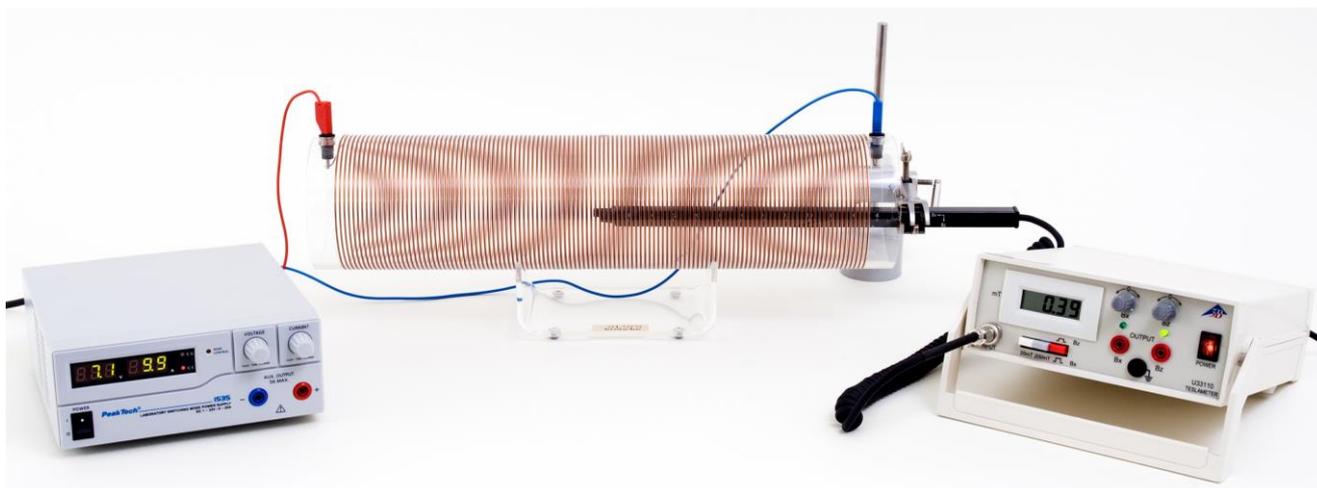


Fig. 1: Disposición de medición.

### FUNDAMENTOS GENERALES

La ley de Biot-Savart describe la relación entre la densidad de flujo magnético  $B$  y la corriente eléctrica  $I$  a través de un conductor de cualquier geometría. Se calculan las aportaciones de partes pequeñas infinitesimales del conductor para la densidad total del flujo magnético por integración sobre la geometría del conductor. En algunos casos p.ej. con bobinas cilíndricas largas, se puede lograr una solución analítica sencilla.

Un elemento infinitesimal  $ds$  del conductor por el cual fluye la corriente  $I$  genera, según Biot-Savart, en el lugar  $r$  la densidad de flujo magnético

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

$B$ : Densidad de flujo magnético

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$  : Permeabilidad del vacío

En el interior de la bobina cilíndrica la densidad de flujo mag-

nético está orientada paralelamente al eje cilíndrico de la bobina y llega a

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

$N$ : Número de espiras,  $L$ : Longitud de la bobina

siempre y cuando la longitud de la bobina sea mucho mayor que su radio. La densidad de flujo magnético es por lo tanto independiente del diámetro de la bobina y proporcional a la densidad de espiras; el número de espiras por unidad de longitud y a la corriente por la bobina.

En el experimento se mide, con un teslámetro axial, la densidad de flujo magnético en el centro de bobinas largas con corrientes de hasta 20 A. Se comprueba, la independencia respecto al diámetro de la bobina así como la proporcionalidad con la corriente y con la densidad de espiras. Para esto último se tiene a disposición la bobina con densidad de espiras variable.

**LISTA DE APARATOS**

1	Bobina de campo, 100 mm	U12252	1000591
1	Bobina de campo, 120 mm	U12253	1000592
1	Bobina con densidad de espiras variable	U8496175	1000965
1	Soporte para bobinas cilíndricas	U8496150	1000964
1	Teslámetro	U33110	1003313/4
1	Fuente de alimentación de CC 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Juego de 15 cables de experimentación 2,5 mm <sup>2</sup>	U13801	1002841
1	Base con orificio central, 1000 g	U13265	1002834
1	Varilla de soporte, 250 mm	U15001	1002933
1	Nuez universal	U13255	1002830
1	Pinza universal	U13261	1002833

**MONTAJE Y REALIZACIÓN**

**Observación:**

- El experimento se realiza ejemplarmente con una bobina de campo de 100 mm (Diámetro  $D = 10$  cm).
- Se monta la disposición de medición según la Fig. 1.
- Se conecta la bobina de campo de  $D = 10$  nm en la salida trasera de 0 – 20 A de la de la fuente de alimentación de CC, pero la fuente de alimentación no se enciende todavía.
- La sonda de campo magnético, utilizando material de soporte, se posiciona de tal forma que la sonda de Hall axial se encuentre exactamente en el centro de la bobina (Fig. 2).

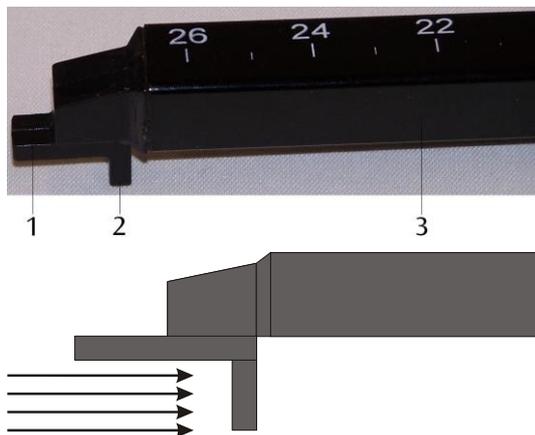


Fig. 2: Arriba: Sonda de campo magnético, 1 Sonda de Hall tangencial (Dirección z), 2 Sonda de Hall axial (Dirección x), 3 Soporte. Abajo: Medición de campos magnéticos axiales.

Con la sonda de Hall axial se mide la componente de la inducción magnética  $B$  a lo largo del eje de la sonda. Si el campo  $B$  muestra en dirección del eje de la sonda (Fig. 2, abajo), el valor indicado es positivo, con una orientación inversa, será negativo.

- Se conecta la sonda de campo magnético en el casquillo de conexión para sonda de campo magnético del teslámetro (Fig. 3).

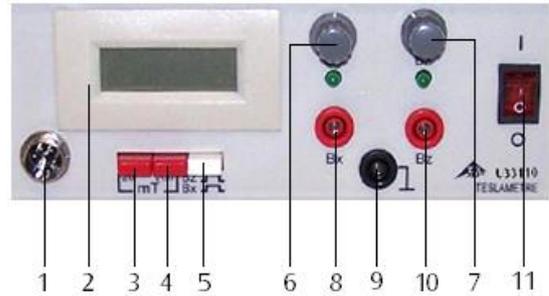


Fig. 3: Elementos de mando del teslámetro:

- 1 Casquillo de conexión para la sonda de campo magnético
- 2 Display digital
- 3 Conmutador de alcance de medida de 20 mT
- 4 Conmutador de alcance de medida de 200 mT
- 5 Conmutador de alcance de medida axial (BX) y tangencial (BZ)
- 6 Ajuste de punto cero para BX con LED de indicación de trabajo
- 7 Ajuste de punto cero BZ con LED de indicación de trabajo
- 8 Casquillo de salida para el modo de medida BX
- 9 Casquillo de masa
- 10 Casquillo de salida para el modo de medida BZ
- 11 Interruptor ON / OFF

- Se enciende el teslametro, se elige el alcance de medida de 20 mT, el conmutador selector de modos de medición se ajusta en axial (Bx).
- Se realiza una compensación de punto cero. Para ello, se gira el ajuste del punto cero del BX hasta que en el campo de indicación aparezca cero o un valor mínimo.
- Se conecta la fuente de alimentación de CC, la corriente se aumenta de 0 hasta 20 A en pasos de 1 A, en cada paso se lee la densidad de flujo  $BX$  y se anota en la Tab. 1 junto a la intensidad de corriente  $I$  ajustada.

**Advertencias de seguridad:**

- ¡Corrientes de  $10 A < I \leq 20 A$  se conectan sólo por corto tiempo!
- Se cambia la bobina de campo con  $D = 10$  cm por la bobina de densidad de espiras variable (Fig. 4).
- Se ajustan longitudes de bobina de  $L = 7, 12, 17, 22, 27$  y  $32$  cm simétricamente con respecto al centro de la bobina y se repite la serie de mediciones descrita arriba para cada longitud de bobina. Todos los valores se anotan en la Tab. 2.

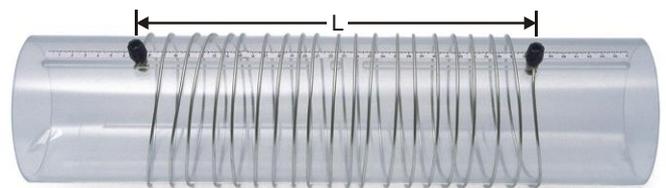


Fig. 4: Bobina con densidad de espiras variable.

**Observación:**

Opcionalmente, la bobina se puede colocar en cada uno de sus extremos en un soporte 1000964. En esta forma no se hace necesario retirar la bobina del soporte para ajustar las diferentes longitudes y la sonda de campo magnético no tiene que ser posicionada de nuevo cada vez

### EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tab. 1: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la corriente  $I$  por la bobina de campo con  $D = 10$  cm.

$I / A$	$B / mT$
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la corriente  $I$  para diferentes longitudes  $L$ .

$I / A$	$B / mT$					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

### EVALUACIÓN

- Se representan los valores de medida de la Tab. 1 en un diagrama  $B(I)$  (Fig. 5).

Se comprueba la proporcionalidad esperada, según la fórmula (2), de la densidad de flujo magnético  $B$  con respecto a la corriente  $I$  por la bobina.

**Observación:**

Por medio de la correspondiente medición con la bobina de campo de 120 mm ( $D = 12$  cm) se puede mostrar que la proporcionalidad de la densidad de flujo magnético  $B$  con respecto a la corriente  $I$  a través de la bobina es independiente del diámetro de la bobina.

- Los valores de medida de la Tab. 2, con las diferentes longitudes  $L$  de bobina como parámetro, se representan en un diagrama  $B(I)$  (Fig. 6).

Se comprueba para todas las longitudes la bobina, la proporcionalidad esperada, según la fórmula (2), entre la densidad de flujo magnético  $B$  y la corriente  $I$  por la bobina.

Las pendientes de las rectas aumentan debido a proporcionalidad inversa de la densidad de flujo magnético  $B$  con respecto a la longitud  $L$  de la bobina al aumentar la longitud de la

misma.

- De las diferentes longitudes  $L$  y del número de espiras  $N = 30$  de la bobina con número de espiras variable, se calcula  $N/L$ , la densidad de las espiras y los valores se anotan en la Tab. 3.
- Se toman de la Tab. 2 las densidades de flujo magnético  $B$  con  $I = 20$  A, para las densidades de espiras calculadas y se anotan en la Tab. 3.
- Se representan en un diagrama  $B(N/L)$  los valores de medida de la Tab. 3. (Fig. 7).
- La proporcionalidad con respecto a la densidad de espiras se comprueba siempre y cuando la longitud de la bobina sea mayor que tres veces el radio de la bobina. El diámetro de la bobina con densidad de espiras variable es de  $D = 10$  cm.

Tab. 3: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la densidad de espiras con  $N/L$  para  $I = 20$  A. Número de espiras  $N = 30$ .

$L / \text{cm}$	$N/L / 1/\text{cm}$	$B / \text{mT}$
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

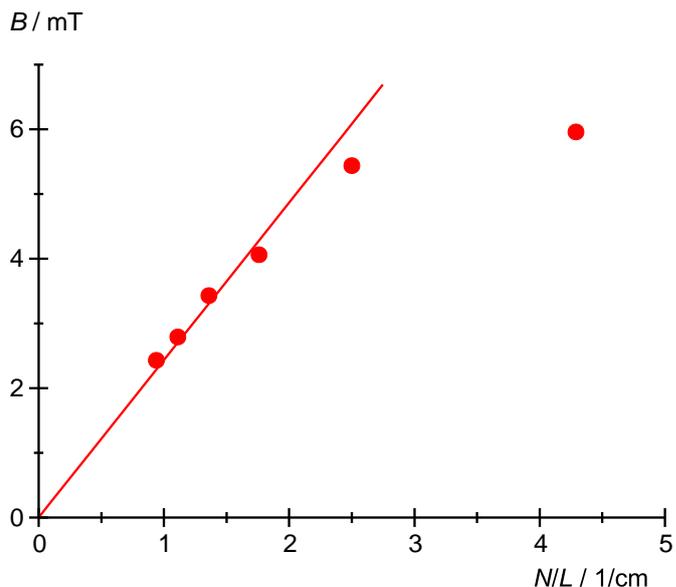


Fig. 7: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la densidad de espiras con  $N/L$  para  $I = 20$  A.

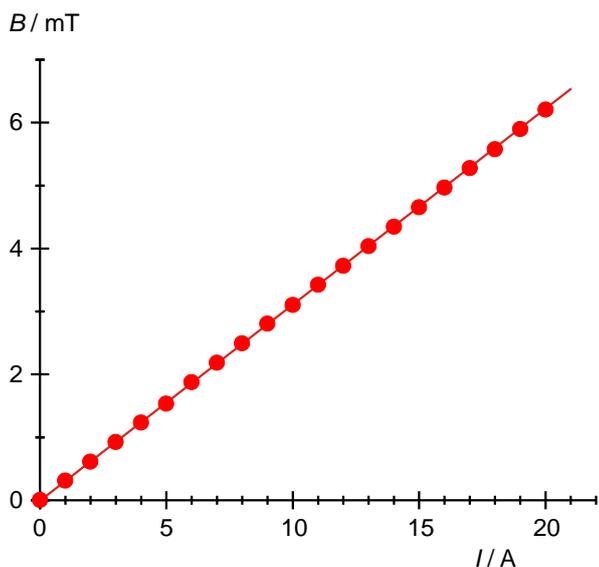


Fig. 5: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la corriente  $I$  por la bobina de campo con  $D = 10$  cm.

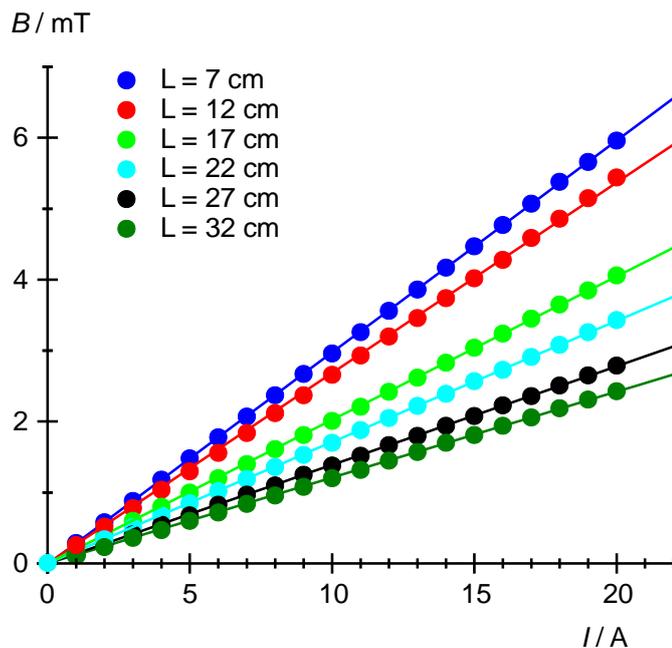


Fig. 6: Densidad de flujo magnético  $B$  en dependencia con la corriente  $I$  para la bobina con densidad de espiras variable, para diferentes longitudes  $L$ .