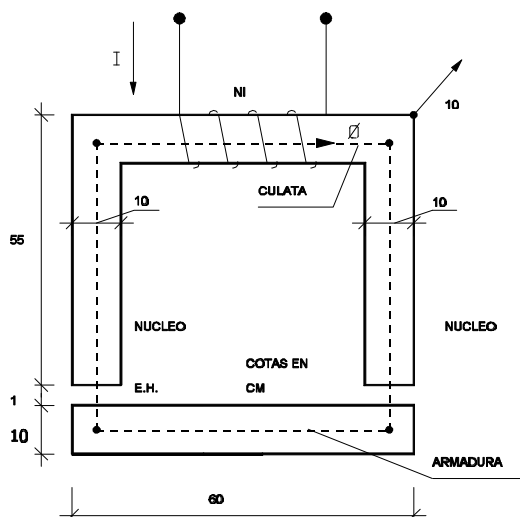


**5.1.** Hallar la excitación (NI) necesaria para que en el ENTREHIERRO y en la armadura del circuito magnético de la figura exista un flujo de  $9 \times 10^{-5}$  Wb. Se supondrá que el flujo ÚTIL es 0,9 veces el flujo producido por el arrollamiento de excitación. Factor de apilamiento = 1.



**DATOS:** Permeabilidad del aire:  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$ .

Permeabilidad relativa de la armadura:  $\mu_{r \text{ ARMADURA}} = 400$ .

Permeabilidad relativa de culatas y núcleos:  $\mu_{r \text{ CULATAS Y NUCLEOS}} = 300$ .

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

Las longitudes de las líneas medias de fuerza serán, respectivamente:

$L_{\text{CULATA}} = 60 - 5 - 5 = 50 \text{ Cm} = 0,5 \text{ m.}$   
 $L_{\text{NUCLEOS}} = 2 (55 - 5) = 100 \text{ Cm} = 1 \text{ m.}$   
 $L_{\text{EH}} = 2 \times 1 = 2 \text{ Cm} = 0,5 \text{ m}$   
 $L_{\text{ARMADURA}} = 60 - 5 - 5 = 50 \text{ Cm} = 0,5 \text{ m.}$

La dispersión es del 10% por lo que el flujo producido por la bobina valdrá  $1,1 \times 9 \times 10^{-5} \text{ Wb} = 10^{-4} \text{ Wb}$  que será el flujo que atraviesa la culata y los núcleos.

A partir del flujo podemos calcular la inducción magnética en las diferentes partes del circuito; y valdrá:

$B_{\text{NU, CU}} = \frac{\phi_{\text{NU, CU}}}{S_{\text{NU, CU}}} = \frac{10^{-4} \text{ Wb}}{0,01 \text{ m}^2} = 10^{-2} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 10^{-2} \text{ T}$   
 $B_{\text{EH}} = \frac{\phi_{\text{EH}}}{S_{\text{EH}}} = \frac{9 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0,01 \text{ m}^2} = 9 \times 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 0,009 \text{ T}$

$$B_{AR} = \frac{\phi_{AR}}{S_{AR}} = \frac{9 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0,01 \text{ m}^2} = 9 \times 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 0,009 \text{ T}$$

con lo que, el valor del campo magnético en el entrehierro será:

$$H_{EH} = \frac{9 \times 10^{-3}}{4 \pi \times 10^{-7}} = \frac{9 \times 10^4}{4 \pi} = 7.200 \frac{\text{Av}}{\text{m}}$$

Análogamente, para núcleos y armadura se tendrá:

$$H_{NU,CU} = \frac{10^{-2}}{4 \pi \times 10^{-7} \times 300} = \frac{10^5}{1.200 \pi} = 26,67 \frac{\text{Av}}{\text{m}}$$

$$H_{AR} = \frac{9 \times 10^{-3}}{4 \pi \times 10^{-7} \times 400} = \frac{9 \times 10^2}{16 \pi} = 18 \frac{\text{Av}}{\text{m}}$$

La ley de Ampere permite escribir:

$$NI = \sum H_i L_i$$

o sea

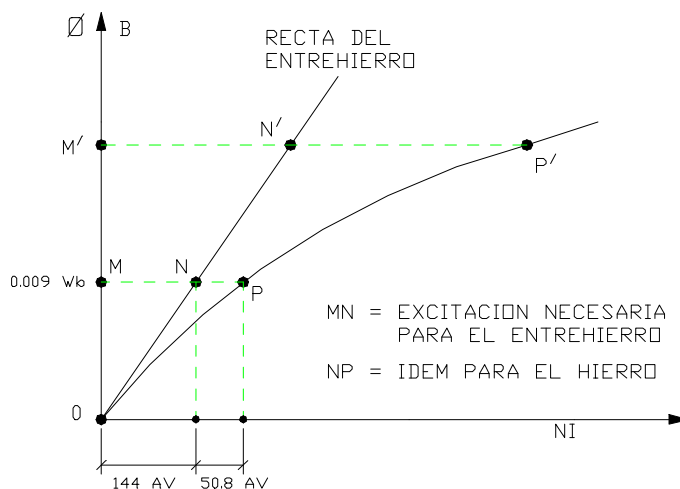
$$\begin{aligned} NI &= H_C L_C + H_N L_N + H_{EH} L_{EH} + H_{AR} L_{AR} \\ NI &= 26,67 \times 0,5 + 26,67 \times 1 + 7.200 \times 0,02 + 18 \times 0,6 = \\ &= 13,33 + 26,67 + 144 + 10,8 = 194,8 \text{ AV} \end{aligned}$$

Con los resultados anteriores se ha confeccionado la tabla que se acompaña, comprobándose que la excitación necesaria es de 194,8 Av.

PIEZA	$\phi$ (Wb)	S (m <sup>2</sup> )	B (T)	H (Av/m)	L (m)	H.L. (Av)
CULATA	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	26,67	0,5	13,33
NUCLEOS (2)	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	26,67	1	26,67
E.H (2)	9 × 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	9 × 10 <sup>-3</sup>	7.200	0,02	144
ARMADURA	9 × 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	9 × 10 <sup>-3</sup>	18	0,6	10,8
<b>Σ NI = 194,8 Av</b>						

De tal excitación se destinan: 144 Av al NÚCLEO y 50,8 Av al circuito ferromagnético.

A medida que se utilizan inducciones grandes es más importante la fracción de la excitación TOTAL que se INVIERTE en vencer la RELUCTANCIA del circuito magnético. En este ejercicio se ha partido de un valor de la inducción magnética (B) muy baja en comparación con las que en la práctica se utilizan en la actualidad.

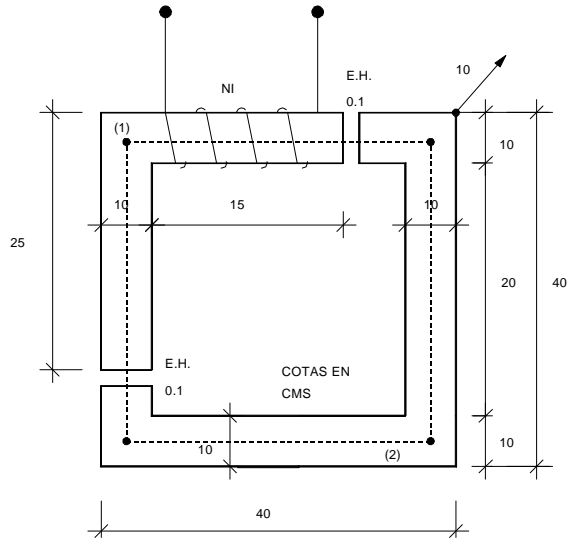


En los materiales ferromagnéticos son hoy normales valores de la inducción magnética del orden de 1,2 - 1,8 T, en tanto que en el ejercicio resuelto se ha trabajado con una inducción (núcleos) de sólo: 0,01 TESLA.

- 5.2. Dado el núcleo magnético de la figura en el que existen TRES partes diferenciadas:
- 1) De permeabilidad magnética relativa:  $\mu_{r_1} = 4.000$
  - 2) De permeabilidad magnética relativa:  $\mu_{r_2} = 3.000$
  - 3) Entrehierro de permeabilidad magnética relativa:  $\mu_{r_3} = 1$

Se pide:

- 1º) Valor de la excitación necesaria ( $\theta = NI$ ) para que el flujo en el entrehierro sea:  $1,2 \times 10^{-2}$  Wb si no se considera dispersión y el factor de apilamiento es la unidad.
- 2º) Si la fuente de tensión a la que ha de conectarse dicho arrollamiento tiene una f.e.m = 100 V y resistencia interna despreciable, indicar si es posible la conexión DIRECTA del arrollamiento a dicha fuente. En caso contrario, elegir alguno de los elementos que se citan (con expresión del nº adecuado de ellos) para poder realizar la alimentación del arrollamiento de excitación a partir de la fuente de tensión disponible: a) 3 resistencias de 70 Ω cada una; b) 3 condensadores de 15 μF; c) 5 bobinas de inducción de 10 mH; d) 4 fuentes de corriente de  $I_{cc} = 100$  A y  $r_i = 10^6$  Ω.



La longitud de la espira (MEDIA) es de 0,5 m y se dispone de 500 m de hilo conductor de 1 mm<sup>2</sup> de sección que se desea utilizar en su TOTALIDAD para constituir el arrollamiento de excitación. La resistividad específica del material conductor es:  $\rho = 1,8 \times 10^{-2}$  Ω mm<sup>2</sup>/m.

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

Las longitudes de las líneas MEDIAS de fuerza son, respectivamente:

$$L_1 = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$L_2 = 15 - 5 - 0,1 + 2(40 - 5 - 5) + 15 - 5 - 0,1 = 79,8 \text{ cm} = 0,798 \text{ m}$$

$$L_3 = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por otra parte, los valores de los campos magnéticos en cada una de las partes del circuito serán:

$$H_{EH} = \frac{1,2 / 1}{4 \pi \times 10^{-7}} = \frac{9,6 \times 10^5}{4 \pi} = 9,6 \times 10^5 \text{ Av/m}$$

$$H_2 = \frac{1,2}{4 \pi \times 10^{-7} \times 3.000} = 320 \text{ Av/m}$$

$$H_1 = \frac{1,2}{4 \pi \times 10^{-7} \times 4.000} = 240 \text{ Av/m}$$

Los valores de  $H_1$  y  $H_2$  así como el de  $H_{EH}$  se han calculado a partir del de la inducción "B" supuesta constante en todo el circuito (sección constante y ausencia de dispersión):

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{1,2 \times 10^{-2}}{0,1 \times 0,1} = 1,2 \text{ TESLAS}$$

Con los resultados indicados se ha confeccionado el CUADRO que se acompaña.

PARTES	$\phi$ (Wb)	S (m <sup>2</sup> )	B (T)	H (Av/m)	L (m)	H·l (Av)
(1)	$1,2 \times 10^{-2}$	$10^{-2}$	1,2	240	0,400	96
(2)	$1,2 \times 10^{-2}$	$10^{-2}$	1,2	320	0,798	255,36
2 EH	$1,2 \times 10^{-2}$	$10^{-2}$	1,2	$9,6 \times 10^5$	0,002	1.920
<b>TOTAL: NI = 2.271,36 Av</b>						

La EXCITACIÓN necesaria será, en consecuencia, de conformidad con los cálculos realizados: 2.271,36 Av.

Si ha de emplearse TODO el hilo conductor disponible y siendo la longitud de la espira media:  $l_M = 0,5 \text{ m}$ , el número de espiras que se obtendrán del conductor disponible será:

$$N = \frac{L_T}{I_M} = \frac{500}{0,5} = 1.000$$

Con dicho número de espiras, la intensidad de la corriente necesaria sería:

$$I = \frac{N I}{N} = \frac{2.271,36}{1.000} = 2,27 \text{ A}$$

La resistencia eléctrica de tal conductor valdrá:

$$R = \frac{500 \times 1,8 \times 10^{-2}}{1} = 9 \Omega$$

Si dicho conductor se conecta DIRECTAMENTE a la fuente de tensión prevista, la intensidad de la corriente que suministraría sería:

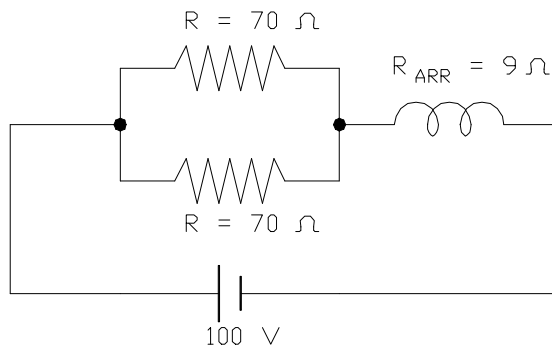
$$I' = \frac{E}{R} = \frac{100}{9} = 11,11 \text{ A} > 2,27 \text{ A}$$

que es la intensidad de la corriente necesaria desde el punto de vista magnético.

La resistencia que deberá tener el circuito será:  $R' = \frac{100}{2,27} = 44 \Omega$

lo que implica adicionar en serie una resistencia:  $R_{AD} = 44 - 9 = 35 \Omega$

De los elementos que se ofertan deberán seleccionarse 2 resistencias de  $70 \Omega$  a conectar en PARALELO entre sí y en SERIE (el conjunto) con el arrollamiento de excitación.



Es claro que el resto de los elementos disponibles carece de utilidad.

**5.3.** Un circuito magnético tiene una sección uniforme de  $8\text{ cm}^2$  y una longitud magnética media de  $0,295\text{ m}$ , así como un entrehierro de  $5\text{ mm}$ .

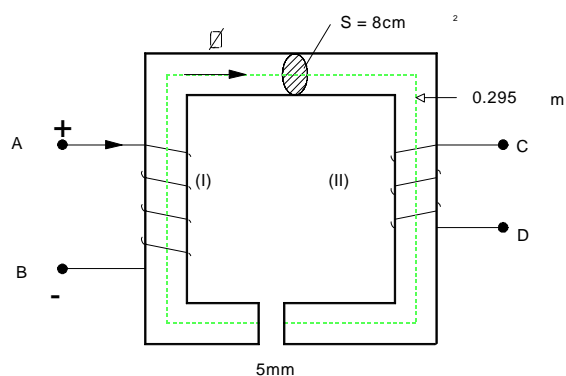
La curva de magnetización del material viene expresado aproximadamente por la ecuación:

$$B = \frac{1,55 H}{77 + H}$$

con "B" en teslas y "H" en Av/m.

La bobina (I) consta de 8.000 espiras recorridas por una corriente continua de 0,4 A. Se desea obtener un flujo de  $8 \times 10^{-4}\text{ Wb}$  en el núcleo considerado. No se considera dispersión y el factor de apilamiento es la unidad. Se pide:

- Número de espiras que deberán añadirse en serie (bornes C y D) con las dispuestas, en principio, para conseguir la excitación adecuada al flujo pedido.
- A partir de los bornes C y D dibujar la bobina (II) haciendo ver el sentido necesario del arrollamiento.



))))))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

- La inducción en el hierro valdrá:

$$B_{\text{Fe}} = \frac{\Phi_{\text{Fe}}}{S_{\text{Fe}}} = \frac{8 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-4}} = 1 \text{ TESLA}$$

Por tanto:

$$1 = \frac{1,55 H_{\text{Fe}}}{77 + H_{\text{Fe}}}$$

de donde:

$$H_{\text{Fe}} = 140 \text{ Av/m}$$

En el ENTREHIERRO se tendrá:  $B_a = 1\text{ T}$  ya que no se considera dispersión,

de donde:

$$H_a = \frac{B_a}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} = \frac{10^7}{4 \pi} = 795.774,7155 \text{ Av/m}$$

En consecuencia (Ley de Ampère):

$$NI = H_{Fe} l_{Fe} + H_a l_a = 140 \times 0,295 + 795.774,7155 \times 0,005 =$$

$$= 41,3 + 3.978,87 = 4.020,17 \text{ Av}$$

La excitación correspondiente a la bobina (I) valdrá:

$$N_1 I_1 = 0,4 \times 8.000 = 3.200 \text{ Av}$$

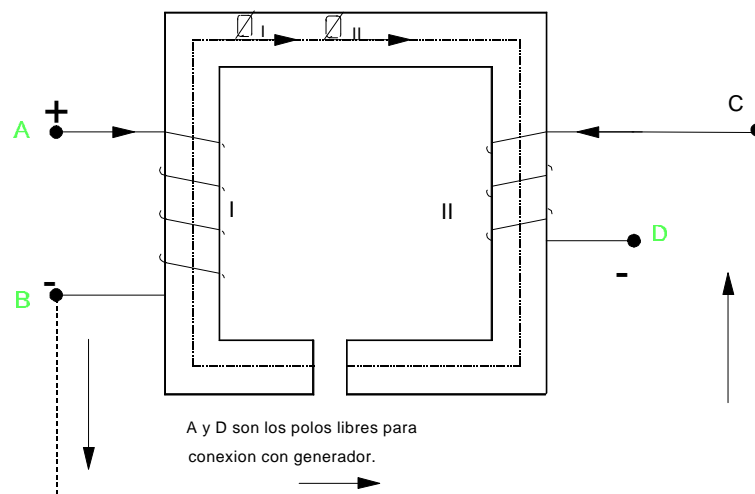
Siendo:  $3.200 < 4.020,17$ , será preciso añadir en SERIE un número de espiras dado

por:

$$N_2 = \frac{4.020,17 - 3.200}{0,4} = 2.050,4$$

o sea, aproximadamente: 2.051 espiras.

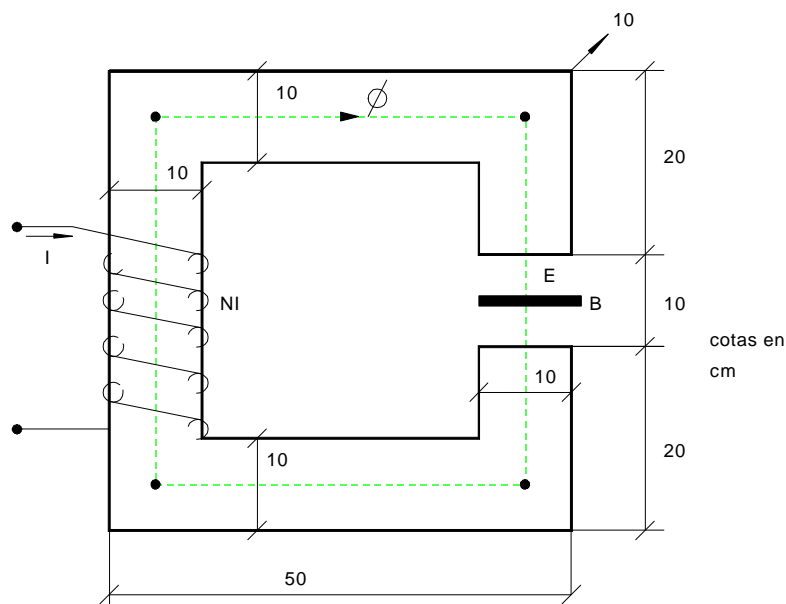
b) Deberán resultar DOS bobinas en SERIE ADITIVA como se indica en la figura.





**5.4.** La bobina "B" está formada por 500 espiras y gira alrededor del eje "E" a razón de 50 vueltas por segundo.

- 1º) Calcular la excitación ( $\theta = NI$ ) necesaria para que en dicha bobina se induzca una f.e.m de valor eficaz 222 V. No se considera dispersión y se toma como factor de apilamiento la unidad. Algunas parejas de valores de campo magnético y de inducción (H-B) se dan en la tabla adjunta.
- 2º) Se estima que la longitud MEDIA de las espiras del arrollamiento de excitación es 0,5 m, disponiéndose de un rollo de hilo de cobre de 100 m de longitud y 1,5 mm<sup>2</sup> de sección ( $\rho = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ). Si se utiliza TODO el hilo y la tensión de alimentación para la excitación es de 200 V, indicar en estas condiciones si se puede efectuar de forma DIRECTA la conexión de la bobina a la fuente de alimentación y, en caso contrario, calcular la resistencia que deberá añadirse en SERIE con ella.



H (Av/m)	100	150	200
B (T)	0,2	0,3	0,4

))))))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

1º) Siendo el flujo instantáneo concatenado con las espiras de la bobina "B":

$$\phi = \phi_M \cos \omega t$$

la ley de LENZ:  $e = -N \frac{d\phi}{dt}$  se convierte en:  $e = N \cdot \omega \cdot \phi_M \text{ sen } \omega t$  con lo que su valor

MÁXIMO será:  $E_{MAX} = N \omega \phi_M = N \cdot 2 \pi f \cdot \phi_M$  y el valor EFICAZ correspondiente:

$$E = \frac{E_{MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \pi f N \phi_M}{\sqrt{2}} = 4,44 N \cdot f \cdot \phi_M$$

de donde:

$$\phi_M = \frac{E}{4,44 N f} = \frac{222}{4,44 \times 500 \times 50} = 0,002 = 2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

con lo cual se podrá confeccionar la siguiente tabla:

PARTES	$\phi$ (Wb)	S (m <sup>2</sup> )	B (T)	H (Av/m)	L (m)	H.L (Av)
HIERRO	$2 \times 10^{-3}$	$10^{-2}$	0,2	100	1,5	150
AIRE	$2 \times 10^{-3}$	$10^{-2}$	0,2	$16 \times 10^4$	0,1	16.000
<b>TOTAL: 16.150</b>						
NI						Av

2º) La resistividad del hilo conductor dada es:  $\rho = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ , que puede expresarse también de la forma:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm} = 1,8 \times 10^{-6} \Omega \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} = 1,8 \times 10^{-6} \Omega \frac{10^2 \text{ mm}^2}{10^{-2} \text{ m}} = \\ &= 1,8 \times 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = 0,018 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \end{aligned}$$

La resistencia óhmica de la totalidad del hilo conductor será:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,018 \frac{100}{1,5} = 1,2 \Omega$$

El número de espiras a ejecutar con dicho hilo resulta ser:

$$N = \frac{100}{0,5} = 200$$

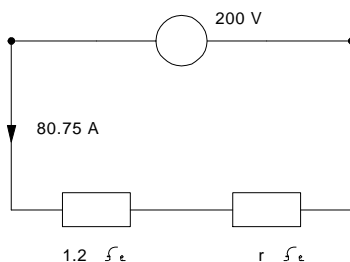
La intensidad de la corriente precisa valdrá, por tanto:

$$I = \frac{16.150}{200} = 80,75 \text{ A}$$

Por otra parte, la intensidad que recorrería el arrollamiento de excitación si se conecta DIRECTAMENTE a la fuente de tensión de 200 V ascendería a:

$$I' = \frac{200}{1,2} = 166,67 \text{ A}$$

Como este valor: 166,67 es MAYOR que el de 80,75 A, no será posible la pretendida conexión DIRECTA.



Será preciso insertar en SERIE una resistencia ADICIONAL de manera que se verifique:

$$80,75 = \frac{200}{1,2 + r}$$

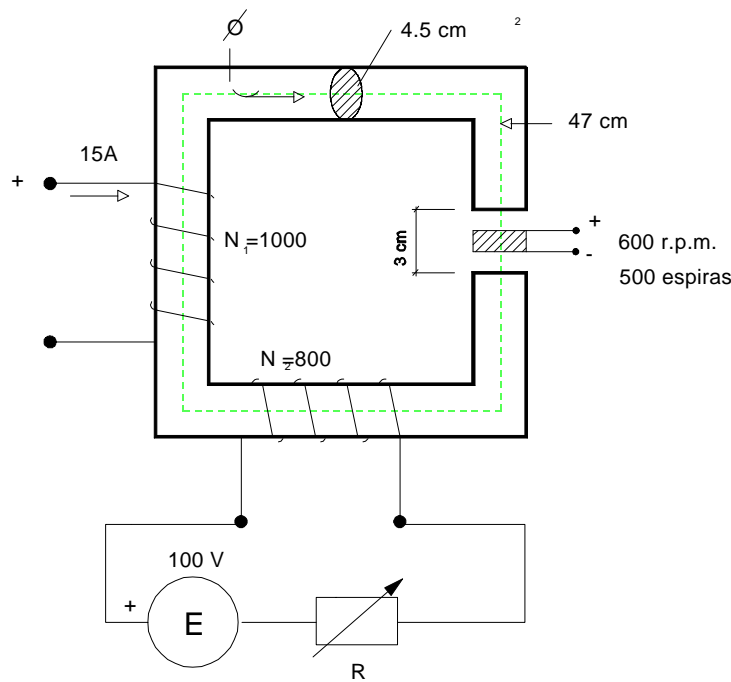
de donde:

$$r = \frac{200 - 96,9}{80,75} = 1,276 \Omega$$

**5.5.** En el entrehierro del circuito magnético de la figura se ha dispuesto una bobina de 500 espiras que gira alrededor de su eje a razón de 600 r.p.m de manera que sus terminales ofrezcan una diferencia de potencial de 20 Voltios.

La longitud de la línea MEDIA de fuerza magnética del citado núcleo es de 47 cm y la del entrehierro de 3 cm.

Se disponen sobre el núcleo DOS bobinas de  $N_1 = 1.000$  espiras y  $N_2 = 800$  espiras, respectivamente, recorriendo la primera de ellas una corriente de 15 A y siendo 100 V la f.e.m del generador que alimenta la segunda bobina.



Si la sección recta del núcleo es de  $4,5 \text{ cm}^2$  y la relación:  $B = f(H)$  se recoge para algunos de sus valores en la tabla adjunta, se pide:

- 1º) Valor de la resistencia necesaria (suma de la resistencia  $R$  variable y de la propia del devanado) para obtener la f.e.m de 10 V en los terminales de la bobina dispuesta en el E.H, según se pretende.
- 2º) Polaridad de la fuente de tensión de f.e.m "E" para la finalidad prevista en el apartado anterior.

B (T)	0,5	1	1,5	2
H (Av/n)	500	2.000	1.400	1.700

))))))))))))))))))))))))))))))))))

*SOLUCIÓN:*

1º) El valor de la f.e.m inducida en una bobina de  $N_2$  espiras es:

$$E = 4,44 N_2 \phi_M f = 4,44 \times 50 \times \phi_M \times \frac{600}{60}$$

de donde:

$$\phi_M = \frac{10}{4,44 \times 500 \times 10} = 0,00045 \text{ Wb} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

La inducción correspondiente será:

$$B = \frac{\phi_M}{S} = \frac{4,5 \times 10^{-4}}{4,5 \times 10^{-4}} = 1 \text{ TESLA}$$

a la que corresponde un campo magnético "H" en el hierro de 1.000 Av/m (ver tabla).

La ley de AMPÈRE permite escribir:  $N I = \sum H_i l_i$  o sea:

$$N I = H_{Fe} l_{Fe} + H_{EH} l_{EH} = 1.000 \times 0,47 + \frac{10^7}{4 \pi} \times 0,03 = 24.343,24 \text{ Av}$$

De esa excitación la primera bobina proporciona:

$$N_1 H_1 = 1.000 \times 15 = 15.000 \text{ Av}$$

Restarán, por tanto:

$$N_3 I_3 = 24.343,24 - 15.000 = 9.343,24 \text{ Av}$$

En consecuencia:

$$800 \times \frac{100}{R} = 9.343,24$$

de donde:  $R_{TOTAL} = 8,56 \Omega$

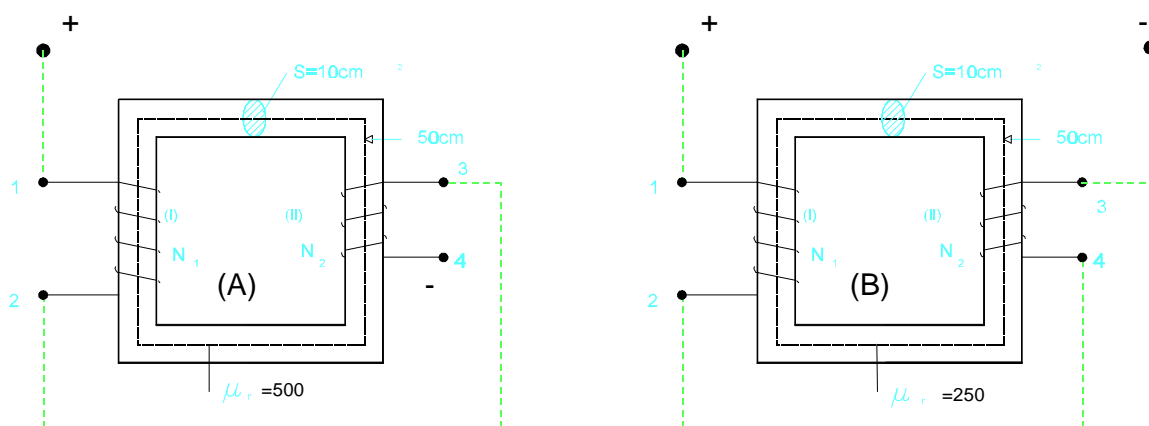
2º) Como es necesario que los flujos de las bobinas (1) y (3) se SUMEN, la polaridad de la fuente de tensión que alimenta el arrollamiento (3) habrá de ser el indicado en la figura.

**5.6.** Dado el núcleo magnético de la figura cuya excitación está lograda mediante dos bobinas I y II cuyos números de espiras son, respectivamente:

$$N_I = \frac{1.000}{\pi} \quad ; \quad N_{II} = \frac{250}{\pi}$$

se desea saber:

- 1º) Con cuál de las dos posibles conexiones de las bobinas, A o B, el flujo establecido en el núcleo estudiado es de  $10^{-3}$  Wb.
- 2º) Valor del flujo magnético en el núcleo para la otra conexión.



- DATOS:**
- Longitud de la línea de fuerza media: 50 cm.
  - Sección uniforme a lo largo de todo el núcleo:  $10 \text{ cm}^2$ .
  - Permeabilidad relativa en la posición A: 500.
  - Permeabilidad relativa en la posición B: 250.
  - Intensidad de la corriente en ambos casos:  $I = 2 \text{ A}$ .
  - $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ .

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

1º) Si el valor del flujo es:  $\phi = 10^{-3}$  Wb, se tendrá:

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{10^{-3}}{10^{-3}} = 1 \text{ TESLA}$$

En la conexión A):

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{10^7}{4 \pi \times 500} = \frac{500}{\pi} \text{ Av/m}$$

con lo que:

$$H \cdot l = \frac{500}{\pi} \times 0,5 = \frac{2.500}{\pi} \text{ Av/m}$$

Entonces:

$$\Sigma (N I) = 2 \Sigma N = \frac{2.500}{\pi}$$

de donde:

$$\Sigma N = \frac{1.250}{\pi} = \frac{1.000}{\pi} + \frac{250}{\pi}$$

resultado VALIDO.

En la conexión B):

$$\frac{1.250}{\pi} \neq \frac{1.000}{\pi} - \frac{250}{\pi}$$

que no es resultado VALIDO.

2º) En la conexión B):

$$\Sigma N I = \frac{750}{\pi} = H \cdot l = \frac{\phi \cdot l}{\mu_0 \mu_r S} = \frac{0,5 \phi \times 10^7}{4 \pi \times 250 \times 10^{-3}} = \frac{5 \times 10^6 \phi}{\pi}$$

de donde:

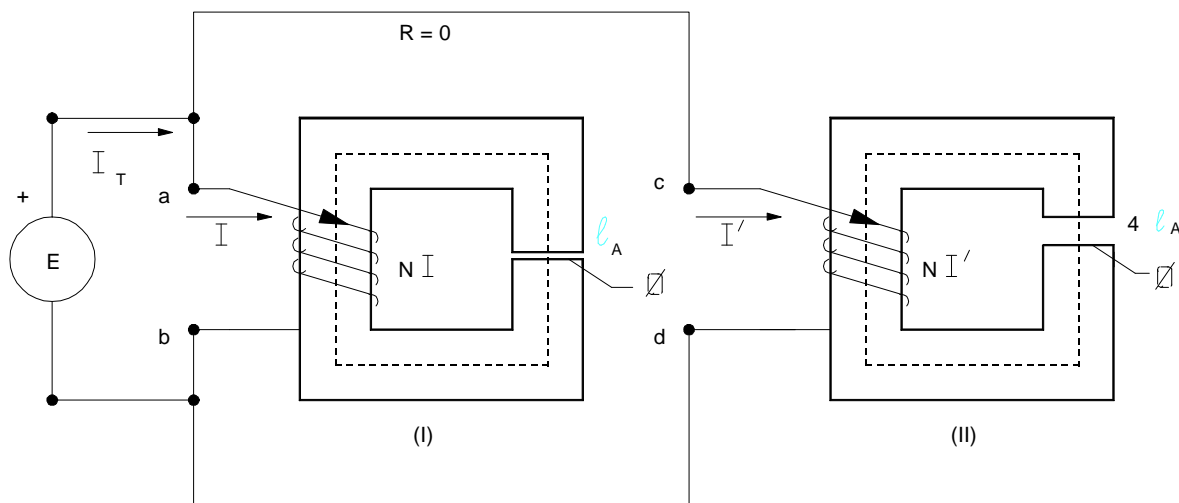
$$\phi = \frac{750}{5 \times 10^6} = \frac{15}{10^5} = 0,15 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

www.uco.es/electrotecnia-etsiam

**5.7.** Una fuente de tensión de resistencia interna despreciable y f.e.m desconocida alimenta los devanados de dos núcleos, de material ferromagnético, idénticos en todo menos en la longitud de sus respectivos entrehierros.

Admitiendo que la intensidad de la corriente suministrada por la indicada fuente de tensión sea exactamente la suma de las corrientes necesarias para obtener la excitación que en cada núcleo corresponde a la existencia de un flujo:  $\phi = 10^{-3}$  Wb en los respectivos entrehierros, se pide:

- 1º) Valor de las excitaciones (NI) precisas para cada núcleo.
- 2º) Valor de la f.e.m.



- DATOS:
- Flujo en el entrehierro:  $\phi_{EH} = 10^{-3}$  Wb.
  - Sección de los núcleos:  $10 \text{ cm}^2$ .
  - Longitud total de la línea de fuerza en cada núcleo: 50 cm.
  - Longitud media de las espiras: 40 cm (igual ambos devanados).
  - Sección conductores:  $0,015 \text{ cm}^2$ .
  - Resistividad:  $\rho = 1,8 \times 10^{-6} \Omega \text{ Cm}$
  - Resistencia uniones:  $R_{ac}$  y  $R_{bd}$  son despreciables.
  - No se considera dispersión.
  - $L_A = L_{EH} = 0,5 \text{ cm}$
  - $N' = 2 N$

))))))))))))))))))))))))))))))

SOLUCIÓN:

1º) Para el devanado (I) se tendrá:



$$NI = H_{Fe} l_{Fe} + H_a l_a = \frac{10^{-3} \times 10^7}{4 \pi \times 10^{-3} \times 1.000} (0,5 - 0,005) + \\ + \frac{10^{-3} \times 10^7}{10^{-3} \times 4 \pi} \times 0,005$$

es decir:  $NI = 393,91 + 3.978,87 = 4.372,38 \text{ Av}$

Análogamente, para el núcleo (II), será:

$$N' I' = \frac{10^{-3} \times 10^7 \times (0,5 - 0,02)}{10^{-3} \times 4 \pi \times 1.500} + \frac{10^{-3} \times 10^7}{10^{-3} \times 4 \pi} \times 0,02 = \\ = 254,65 + 15.915,5 = 16.170,15 \text{ Av}$$

2º) Las intensidades de las corrientes en cada uno de los devanados valdrán, respectivamente:

$$I = \frac{4.372,38}{N} \text{ A} \quad ; \quad Z' = \frac{16.170,15}{2 N} \text{ A}$$

con lo que la corriente total (suministrada por la fuente de tensión), tendrá por intensidad:

$$I_T = I + I' = \frac{4.372,38}{N} + \frac{16.170,15}{2 N} = \frac{24.914,91}{2 N} = \frac{12.457,455}{N} \text{ AMPERIOS}$$

La resistencia del hilo conductor correspondiente a cada uno de los devanados será:

$$R_1 = \rho \frac{0,35 N}{1,5} = 0,0042 N \text{ ( } \Omega \text{ )}$$

$$R_2 = \rho \frac{0,7 N}{1,5} = 0,0084 N \text{ ( } \Omega \text{ )}$$

La resistencia del conjunto de ambas (conectadas en PARALELO) valdrá:

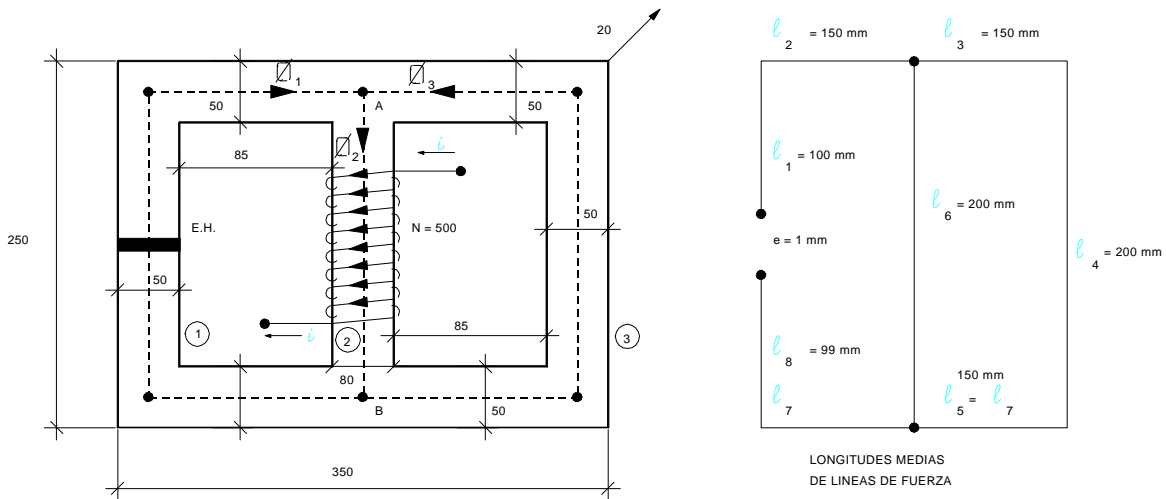
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,00003528}{0,0126} N = 0,0028 N \text{ ( } \Omega \text{ )}$$

Por tanto, habrá de verificarse:

$$E = I_T \cdot R = \frac{12.457,455}{N} \times 0,0028 N = 34,89 \text{ V}$$

**5.8.** El circuito magnético de la figura está formado por chapas de aleación: acero-silicio apiladas hasta lograr un espesor total de 20 mm.

En el núcleo central se enrolla una bobina de 500 espiras de forma que en el entrehierro se consigue disponer de una inducción:  $B_c = 1,1$  TESLAS, cuando dichas espiras están recorridas por una corriente de determinada intensidad que se desea calcular. No se considera dispersión.



B (T)	1,00	1,35	1,45	1,50	1,54	1,61
H (Av/m)	400	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

En el NUDO "A" se verificará:  $\phi_1 + \phi_3 = \phi_2$  (1)

Asimismo, la ley de AMPÈRE aplicada a los caminos cerrados 1-2 y 2,3 proporciona:

$N I = H_1 l_1 + H_a l_a + H_2 l_2$  (2)

$N I = H_2 l_2 + H_3 l_3$  (3)

Igualando (2) y (3), se obtendrá:

$H_1 l_1 + H_a l_a = H_3 l_3$  (4)

El campo magnético en el entrehierro valdrá:

$$H_a = \frac{B_a}{\mu_0} = \frac{1,1}{4 \pi \times 10^{-7}} \text{ Av/m}$$

con lo que:

$$H_a l_a = \frac{1,1 \times 10^7}{4 \pi} \times 10^{-3} = \frac{1,1 \times 10^4}{4 \pi} = 875,352 \text{ Av}$$

Al no existir dispersión, la inducción en el NÚCLEO 1 será igual que la que existe en el entrehierro:

$$B_1 = B_a$$

El valor del campo magnético en dicho núcleo 1 valdrá:

$$H_1 = \frac{B_1}{\mu}$$

y entrando en la tabla de valores H-B, para  $B_1 = 1,1$ , le corresponde:  $H_1 = 571,42 \text{ Av/m}$  (Interpolación lineal).

La ecuación (4) permite obtener ahora:

$$H_3 = \frac{H_1 l_1 + H_a l_a}{l_3} = \frac{571,42 (1,99 + 3) + 875,352}{5} = 745,35 \text{ Av/m}$$

El valor de la inducción magnética "B<sub>3</sub>" correspondiente al del campo magnético "H<sub>3</sub>", se obtendrá a partir de la tabla de valores B-H, resultando por interpolación lineal:

$$B_3 = 1,2 \text{ TESLAS}$$

Los respectivos valores del flujo magnético en las columnas 1 y 3 serán, en consecuencia:

$$\phi_1 = B_1 S_1 = 1,1 \times 50 \times 20 \times 10^{-6} = 0,0011 \text{ Wb}$$

$$\phi_3 = B_3 S_3 = 1,2 \times 50 \times 20 \times 10^{-6} = 0,0012 \text{ Wb}$$

De (1) se deduce, por tanto:

$$\phi_2 = \phi_1 + \phi_3 = 0,0011 + 0,0012 = 0,0023 \text{ Wb}$$

La inducción en el núcleo 2 tendrá, pues, por valor:

$$B_2 = \frac{\phi_2}{S_2} = \frac{0,0023}{80 \times 20 \times 10^{-6}} = \frac{0,0023 \times 10^6}{1.600} = 1,4375 \text{ TESLAS}$$

a la que corresponde (tabla de valores BH) un campo magnético:  $H_2 = 1.875 \text{ Av/m}$

Con los valores ya calculados, la igualdad (3) puede ponerse de la forma:

$$N I = 1.875 \times 0,2 + 745,35 \times 5 = 4.101,75$$

y como:  $N = 500$ , se tendrá finalmente:

$$I = \frac{4.101,75}{500} = 8,2 \text{ A}$$

5.9.

Del circuito magnético de la figura se sabe que:

- a) El flujo en la columna central es  $10^{-3}$  Wb y su sentido el indicado.
- b) El flujo en la columna de la izquierda es  $10^{-2}$  Wb y su sentido está también representado en la misma figura.
- c) Las dimensiones del núcleo son:

$$S_1 = 25 \text{ cm}^2 \quad ; \quad S_2 = 50 \text{ cm}^2 \quad ; \quad S_3 = 25 \text{ cm}^2$$

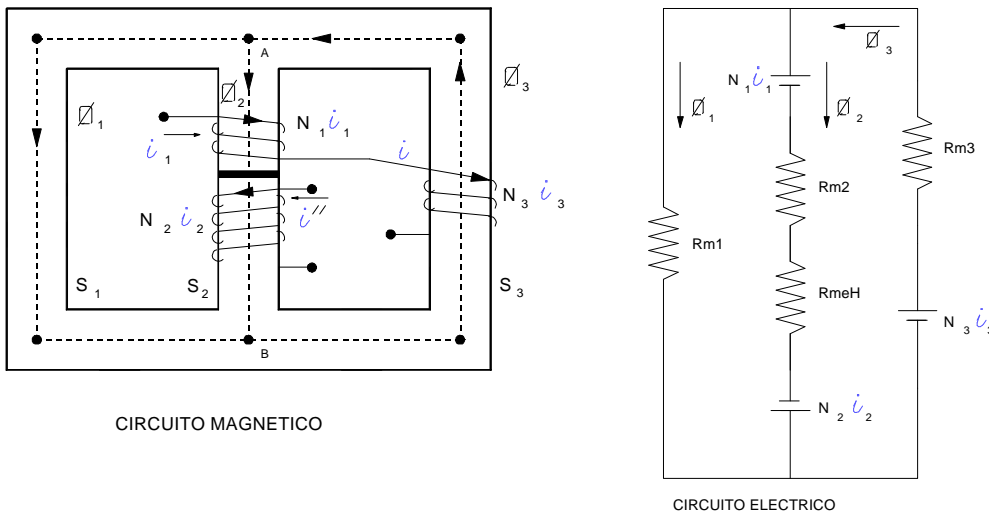
$$L_1 = 40 \text{ cm} \quad ; \quad L_2 = 20 \text{ cm} \quad ; \quad L_3 = 40 \text{ cm} \quad ; \quad L_{EH} = 2 \text{ mm}$$

- d) Los valores significativos de la curva de imantación del material se recogen en la siguiente tabla:

B (T)	0,2	4,0	4,4
H (Av/m)	100	3.000	3.520

- e) El número de espiras de la bobina 3 es DOBLE que el de la bobina 1.

Se pide calcular los valores de las f.m.m:  $N_1 i_1$ ;  $N_2 i_2$ ;  $N_3 i_3$  del circuito magnético.



)))))))))

**SOLUCIÓN:**

En el nudo "A" se verificará:

$$\phi_3 = \phi_1 + \phi_2 = 10^{-2} + 10^{-3} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

Por otra parte:

$$\phi_1 R_{m_1} + \phi_3 R_{m_3} = H_1 l_1 + H_3 l_3 = N_3 i_3$$

Pero:

$$B_1 = \frac{\phi_1}{S_1} = \frac{10^{-2}}{25 \times 10^{-4}} = 4 \text{ TESLAS}$$

con lo que:  $H_1 = 3.000 \text{ Av/m}$

Análogamente:

$$B_3 = \frac{\phi_3}{S_3} = \frac{1,1 \times 10^{-2}}{25 \times 10^{-4}} = \frac{110}{25} = 4,4 \text{ TESLAS}$$

y, por tanto:  $H_3 = 3.520 \text{ Av/m}$

Con los valores de  $H_1$  y  $H_3$  hallados, resultará:

$$N_3 i_3 = 3.000 \times 0,4 + 3.520 \times 0,4 = 2.608 \text{ Av}$$

En la columna CENTRAL se podrá escribir:

$$\phi_1 R_{m_1} - \phi_2 R_{m_2} - \phi_2 R_{m_{EH}} = N_1 i_1 - N_2 i_2 = N I$$

o sea:

$$H_1 l_1 - H_2 l_2 - \phi_2 R_{m_{EH}} = N I$$

En dicho núcleo CENTRAL, la inducción magnética tiene por valor:

$$B_2 = \frac{\phi_2}{S_2} = \frac{10^{-3}}{50 \times 10^{-4}} = 0,2 \text{ TESLAS}$$

con lo que el campo magnético será:  $H_2 = 100 \text{ Av/m}$

Asimismo:

$$R_{m_{EH}} = \frac{L_{EH}}{\mu_0 S_{EH}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{4 \pi \times 10^{-7} \times 50 \times 10^{-4}} = \frac{10^6}{\pi} \text{ H}^{-1}$$

En consecuencia:

$$3.000 \times 0,4 - 100 \times 0,2 - \frac{10^{-3} \times 10^6}{\pi} = N I$$

es decir:

$$N I = 1.200 - 20 - \frac{1.000}{\pi} = 861,69 \text{ Av/m}$$

Como la bobina 1 tiene la MITAD de espiras que la bobina 3 y la corriente que las recorre es la MISMA (están conectadas en SERIE), deberá ser:

$$N_1 i_1 = \frac{N_3 i_3}{2} = \frac{2.608}{2} = 1.304 \text{ Av}$$

con lo que:

$$N_2 i_2 = N_1 i_1 - N I = 1.304 - 861,69 = 442,31 \text{ Av}$$





En los otros núcleos:

$$B_1 = \frac{2 \times 10^{-2}}{10^{-2}} = 2 \text{ T} \quad \text{y} \quad B_3 = \frac{10^{-2}}{10^{-2}} = 1 \text{ T}$$

Los campos magnéticos correspondientes tendrán por valor:

$$H_1 = \frac{B_1}{\mu_0 \mu_{r1}} = \frac{2 \times 10^7}{500 \times 4 \pi} = \frac{10^4}{\pi} \text{ Av/m}$$

$$H_2 = H_3 = \frac{10^7}{500 \times 4 \pi} = \frac{10^4}{2 \pi} \text{ Av/m}$$

En consecuencia:

$$\begin{aligned} N_1 I &= H_1 l_1 + H_3 l_3 = \frac{10^4}{\pi} \times 0,6 + \frac{10^4}{4 \pi} \times 0,8 = \\ &= \frac{10^4}{\pi} (0,6 + 0,15) = 2.387,32 \text{ Av} \end{aligned}$$

de donde:  $I = \frac{2.387,32}{1.000} = 2,387 \text{ A}$

Asimismo:

$$N_2 I = -H_3 l_3 + H_2 l_2 = -\frac{10^4}{2 \pi} \times 0,3 + \frac{10^4}{2 \pi} \times 0,6 = \frac{10^4}{2 \pi} \times 0,3 = 477,46 \text{ Av}$$

de donde:  $N_2 = \frac{477,46}{2,387} = 200 \text{ Espiras}$

Por fin:

$$\begin{aligned} V = I R &= 2,387 \times \frac{(N_1 + N_2) \times 0,5 \times 0,018}{1,5} = \\ &= \frac{2,387 \times 1.200 \times 0,5 \times 0,018}{1,5} = 17,19 \text{ V} \end{aligned}$$

**5.11.** El núcleo central del circuito magnético de la figura está bobinado con 800 espiras.  
Si la curva de magnetización del acero fundido con que está realizado el circuito magnético en su totalidad responde a la ecuación:

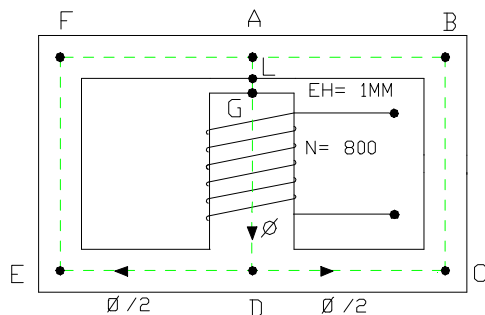
$$B = \frac{1,8 \times 10^{-3} \text{ H}}{1 + 10^{-3} \text{ H}}$$

con "B" en Teslas y "H" en Av/m, determinar la intensidad de la corriente que debe circular por la bobina antes citada para obtener en el entrehierro un flujo de 1 mWb.

Si la tensión disponible para alimentar la bobina es de 200 V, diseñar el montaje a realizar para que la corriente que recorra dicha bobina tenga la intensidad adecuada al cálculo magnético antes realizado.

Datos:

- Se supone que no hay dispersión de flujo y que el coeficiente de apilamiento es la unidad.
- La longitud MEDIA de las espiras del bobinado es de 275 mm y el conductor utilizado tiene 1 mm<sup>2</sup> de sección, siendo su resistividad:  $\rho = 0,02 \text{ } \Omega \text{ mm/m}$ .



SECCION NUCLEO CENTRAL: 400MM<sup>2</sup>  
 RESTO SECCIONES : 200MM<sup>2</sup>  
 LONGITUD LINEA DE FUERZA LAFED: 700MM  
 LONGITUD LINEA FUERZA DG : 250MM

))))))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

Por razones de simetría, en el núcleo CENTRAL se tendrá:

$$B = \frac{\phi/2}{S/2} = \frac{\phi}{S} = \frac{10^{-3}}{4.000 \times 10^{-6}} = \frac{1}{4} \text{ TESLA}$$

En consecuencia:

$$B = \frac{1}{4} = \frac{1,8 \times 10^{-3} \text{ H}}{1 + 10^{-3} \text{ H}}$$

de donde:

$$H = \frac{10^3}{6,2} = 161,29 \text{ Av}$$

En el ENTREHIERRO, por idénticas razones de simetría y al no considerarse dispersión de flujo será:

$$B = \frac{\phi/2}{S/2} = \frac{\phi}{S} = \frac{10^{-3}}{4.000 \times 10^{-6}} = \frac{1}{4} \text{ TESLA}$$

con lo que el campo magnético valdrá:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{10^7}{16 \pi} = 198.943,68 \text{ Av/m}$$

En cada una de las *culatas* y *núcleos laterales* resultará:

$$B = \frac{\phi/2}{S} = \frac{0,5 \times 10^{-3}}{2.000 \times 10^{-6}} = \frac{1}{4} \text{ TESLA}$$

por lo que el valor del campo magnético será igual al ya calculado, o sea:  $H = 161,29 \text{ Av/m}$

El Teorema de Ampère, aplicado al presente ejercicio, tendrá por expresión:

$$\begin{aligned} N I &= 161,29 (0,7 + 0,25) + \frac{10^7}{16 \pi} \times 10^{-3} = \\ &= 161,29 \times 0,95 + \frac{10^4}{16 \pi} = 352,1692 \text{ Av} \end{aligned}$$

La intensidad de la corriente necesaria para lograr dicha excitación magnética tendrá por valor:

$$I = \frac{352,1692}{800} = 0,44 \text{ A}$$

La longitud TOTAL del arrollamiento será:

$$L_T = N \times L_e = 800 \times 0,275 = 220 \text{ m}$$

y la resistencia eléctrica correspondiente valdrá:

$$R = \rho \frac{L_T}{S} = 0,02 \times \frac{220}{1} = 4,4 \Omega$$

La conexión directa a la fuente de tensión del arrollamiento daría lugar a una intensidad de corriente:

$$I' = \frac{220}{4,4} = 50 \text{ A} > I (0,44)$$

Se deberá adicionar en serie con el bobinado una resistencia " $R_{AD}$ " tal que:

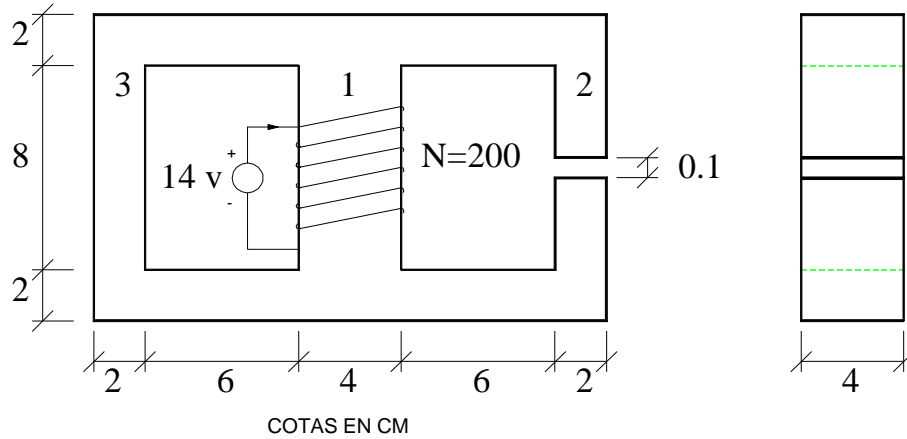
$$0,44 = \frac{220}{4,4 R_{AD}}$$

es decir:  $R_{AD} = 495,6 \Omega$

5.12. En el circuito de la figura, la inducción en el E.H. vale 0,8 T. El material del que está fabricado el núcleo responde de manera muy aproximada a la formula de FROELICH:

$$B = \frac{1,6 H}{75 + H} \quad (\text{B en T y H en Av/m})$$

En la columna central se dispone un arrollamiento constituido por 200 espiras que se pretende alimentar con una fuente de tensión continua de 14 V.



Se pide:

- 1.- Intensidad de la corriente en el arrollamiento.
- 2.- Indicar si es posible la conexión directa de dichos arrollamientos con la fuente de tensión de 14 V.  
 Longitud de hilo (se utilizará todo) 35 m.  
 $\rho=0.018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .  
 $S=1 \text{ mm}^2$ .
- 3.- En caso de no ser posible la conexión directa: (arrollamiento-fuente) determinar con cual o cuales de los elementos que seguidamente se detallan podría lograrse la conexión deseada.
  - a) Condensadores de 2 F de capacidad.
  - b) Resistencias de 2  $\Omega$ .
  - c) Bobinas de autoinducción de 0,001 H.

Deberá concretarse además del tipo de elemento seleccionado, el nº de ellos y la agrupación que haya de realizarse.

Se admitirá que no hay dispersión y que el coeficiente de apilamiento es la unidad.

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

1º) La inducción en el núcleo 2 será igual a la del entrehierro, ya que no se considera dispersión. Por tanto, el valor del campo magnético en dicho núcleo será tal que se verifique:

$$0,8 = \frac{1,6 H_2}{75 + H_2}$$

o sea:  $H_2 = 75 \text{ Av/m}$

Asimismo, el valor del flujo en el citado núcleo será:

$$\phi_2 = B_2 S_2 = 0,8 \times 8 \times 10^{-4} = 6,4 \times 10^{-4} \text{ WEBERS}$$

Por aplicación de la ley de AMPÈRE se tendrá:

$$H_3 l_3 = H_2 l_2 + H_a l_a$$

es decir:

$$0,28 H_3 = 75 \times 0,279 + \frac{0,8}{4 \pi \times 10^{-7}} \times 10^{-3}$$

de donde resulta:

$$H_3 = 2.348,37 \text{ Av/m}$$

La inducción en el núcleo 3 será, por tanto:

$$B_3 = \frac{1,6 \times 2.348,37}{75 + 21.348,37} = 1,55 \text{ TESLAS}$$

En dicho núcleo, el flujo magnético tendrá por valor:

$$\phi_3 = B_3 S_3 = 1,55 \times 8 \times 10^{-4} = 12,4 \times 10^{-4} \text{ WEBERS}$$

En consecuencia, el flujo en el núcleo 1 valdrá:

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi_3 = 6,4 \times 10^{-4} + 12,4 \times 10^{-4} = 18,8 \times 10^{-4} \text{ WEBERS}$$

Asimismo:

$$B_1 = \frac{\phi_1}{S_1} = \frac{18,8 \times 10^{-4}}{16 \times 10^{-4}} = 1,175 \text{ TESLAS}$$

y:

$$H_1 = \frac{7,5 B_1}{1,6 - B_1} = \frac{75 \times 1,175}{1,6 - 1,175} = 207,35 \text{ Av/m}$$

PARTE DEL CIRCUITO	$\phi$ (Wb)	S (m <sup>2</sup> )	B (T)	H (Av/m)	L (m)	H.L (Av)
1	$18,8 \times 10^{-4}$	$16 \times 10^{-4}$	1,175	207,35	0,100	20,735
2	$6,4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	0,800	75	0,279	20,925
3	$12,4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	1,550	2.348,37	0,280	657,540
E.H	$6,4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	0,800	636.620	0,001	636,620

También de la ley de AMPÈRE se tiene:

$$N I = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_a l_a$$

o sea:

$$N I = 20,735 + 20,925 + 636'62 = 678,28 \text{ Av}$$

con lo que:

$$I = \frac{678,28}{200} = 3,392 \text{ A}$$

2º)

La resistencia eléctrica del hilo conductor será:

$$R_{\text{HILO}} = \rho \frac{L}{S} = \frac{0,018 \times 35}{1} = 0,63 \Omega$$

En conexión DIRECTA:

$$I' = \frac{V}{R_H} = \frac{14}{0,63} = 22,22 > 3,392$$

lo que equivale a que no sea posible dicha conexión directa.

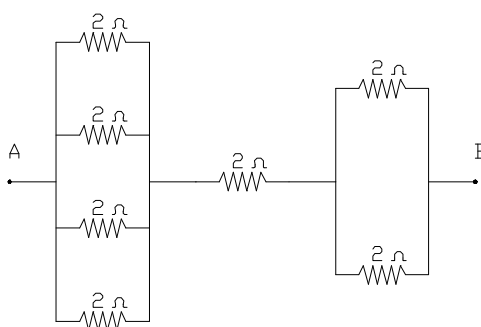
3º) La resistencia adicional (no valen condensadores ni bobinas) será tal que:

$$3,392 = \frac{14}{0,63 + R_{AD}}$$

de donde:

$$R_{AD} = 3,5 \Omega$$

Una posibilidad de obtener esa resistencia se indica en la figura.



$$R_{AB} = \frac{2}{4} + 2 + \frac{2}{2} = 3,5 \Omega$$

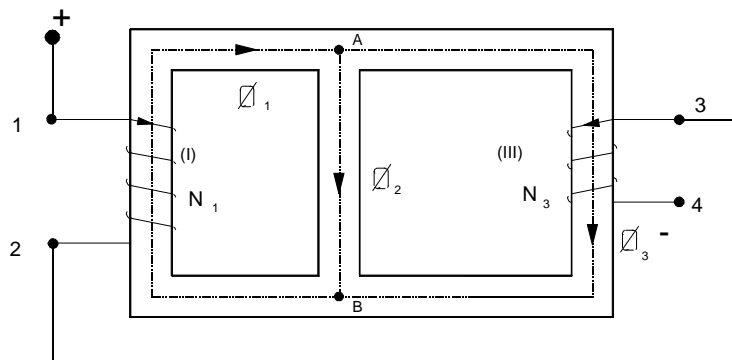
NO ES SOLUCIÓN ÚNICA



**5.13.** En el circuito magnético de la figura son conocidas las magnitudes que se incluyen a continuación:

$$N_1 I_1 = 1.200 \text{ Av} \quad ; \quad \phi_2 = 10^{-3} \text{ Wb} \quad ; \quad L_1 = 100 \text{ cm} \quad ; \quad L_2 = 60 \text{ cm}$$

$$L_3 = 200 \text{ cm} \quad ; \quad S \text{ (sección normal al flujo)} = 10^{-3} \text{ m}^2$$



La relación B-H del material utilizado, según tabla que se acompaña.

B (T)	0,2	0,5	1,0	1,5
H (Av/m)	120	300	500	900

Se pide:

- 1) Determinar, a partir de los datos indicados, la relación  $N_1/N_3$  del número de espiras de las dos bobinas.
- 2) Si se invirtiesen las conexiones de la bobina arrollada sobre el núcleo (3), determinar la misma relación  $N_1/N_3$  comentando el resultado matemático obtenido.
- 3) Considerando el primer apartado, si de la primera bobina [arrollada sobre el núcleo (1)] se conoce:
  - Longitud de las espiras: 35 cm
  - Número de espiras: 48
  - Resistividad del hilo conductor empleado: 0,02 Ohm·mm<sup>2</sup>/m

calcular la sección mínima del conductor para que la intensidad de la corriente necesaria no sobrepase la máxima admisible dada por la tabla que se acompaña.

S (mm <sup>2</sup> )	1,5	2,5	4	6
I <sub>MAX</sub>	18	26	35	45

4) Igualmente, teniendo en cuenta el primer apartado del problema, si la longitud media de las espiras de la bobina arrollada sobre el núcleo (3) es también de 35 cm, hallar el número de espiras de que deberá constar dicha bobina y la resistencia que habrá de conectarse en serie con ella para que ambas bobinas puedan ser alimentadas por una f.d.t. de 220 V de forma que la excitación magnética en las dos sea la calculada.

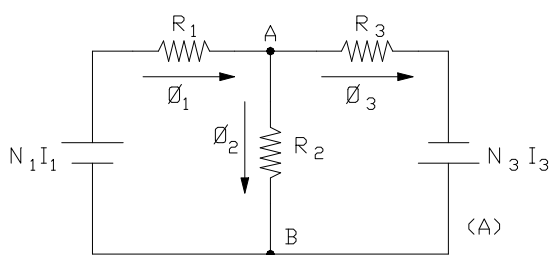
NOTA: Se despreciará cualquier resistencia eléctrica distinta de las correspondientes a los conductores de las bobinas y la del elemento pasivo añadido.

))))))))))))))))))))))))))))))

**SOLUCIÓN:**

1º) En el nudo A deberá verificarse:

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi_3 \tag{1}$$



En cada una de las ventanas del núcleo se tendrá, asimismo:

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = N_1 I_1 \tag{2}$$

$$H_3 l_3 - H_2 l_2 = N_3 I_3 \tag{3}$$

Como:  $\phi_2 = 10^{-3}$  Wb (DATO) y  $S = 10^{-3}$  m<sup>2</sup>, resulta:

$$B_2 = \frac{\phi_2}{S} = \frac{10^{-3}}{10^{-3}} = 1 \text{ TESLA}$$

Según la tabla:  $H_2 = 500$  Av/m

Por tanto, de (2):

$$H_1 l_1 = N_1 I_1 - H_2 l_2 = 1.200 - 500 \times 0,6 = 900 \text{ Av}$$

es decir:

$$H_1 = \frac{900}{1} = 900 \text{ Av/m}$$

Para ese valor de  $H_1$ , la tabla de valores B-H da:  $B_1 = 1,5 \text{ TESLAS}$  y, en consecuencia:

$$\phi_1 = B_1 S = 1,5 \times 10^{-3} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ WEBER}$$

De la relación (1) se conocerá ahora:

$$\phi_3 = \phi_1 - \phi_2 = 10^{-3} \times (1,5 - 1) = 0,5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

y, por tanto:

$$B_3 = \frac{\phi_3}{S} = \frac{0,5 \times 10^{-3}}{10^{-3}} = 0,5 \text{ TESLAS}$$

que supone (ver tabla):  $H_3 = 300 \text{ Av/m}$

Por fin, de (3):

$$N_3 I_3 = 300 \times 2 - 500 \times 0,6 = 300 \text{ Av}$$

Se tendrá, en resumen:

$$\frac{N_1 I_1}{N_3 I_3} = \frac{1.200}{300} = 4$$

y como:  $I_1 = I_3$  (conexión SERIE de las bobinas), resultará:

$$\frac{N_1}{N_3} = 4$$

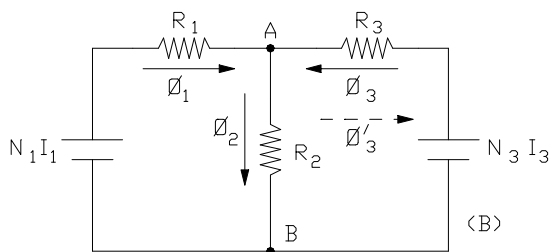
2º) Invertiendo la polaridad de la bobina 3, se tendrán las siguientes relaciones:

$$\phi_1 + \phi_3 = \phi_2 \tag{1}$$

$$N_1 I_1 = H_1 l_1 + H_2 l_2 \tag{2}$$

$$N_3 I_3 = H_3 l_3 + H_2 l_2 \tag{3}$$

donde  $\phi_2$ ,  $B_2$  y  $H_2$  conservan los mismos valores que en el apartado anterior, o sea:



$$\phi_2 = 10^{-3} \text{ Wb} \quad ; \quad B_2 = 1 \text{ TESLA} \quad ; \quad H_2 = 500 \text{ Av/m}$$

Asimismo, también serán iguales:

$$H_1 = 900 \text{ Av/m} \quad ; \quad B_1 = 1,5 \text{ TESLAS} \quad ; \quad \phi_1 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ WEBER}$$

De (1) resulta ahora:

$$\phi_3 = \phi_2 - \phi_1 = 10^{-3} \times (1 - 1,5) = -0,5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

con lo que su sentido sería el correspondiente a  $\phi'_3$  (figura B).

Las ecuaciones del circuito sería ahora:

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi'_3 \tag{1}$$

$$N_1 I_1 = H_1 l_1 + H_2 l_2 \tag{2}$$

$$N_3 I_3 = H_2 l_2 - H_3 l_3 \tag{3}$$

Siendo, como antes:

$$H_2 = 500 \text{ Av/m} \quad ; \quad H_1 = 900 \text{ Av/m}$$

$$B_1 = 1,5\text{T} \quad ; \quad \phi_1 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

resultará con el nuevo sentido de  $\phi_3$ :

$$\phi_3 = \phi_1 - \phi_2 = 0,5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

de donde:

$$B_3 = 0,5 \text{ T} \quad \text{y} \quad H_3 = 300 \text{ Av/m}$$

Con ello:

$$N_3 I_3 = 500 \times 0,6 - 300 \times 2 = -300 \text{ Av}$$

En consecuencia, la inversión de las conexiones de la bobina arrollada en el núcleo (3) no es compatible con el mantenimiento del sentido del flujo en la columna (2). En tales condiciones, el problema NO tiene solución posible.

3º) De:  $N_1 I_1 = 1.200 \text{ Av}$ , siendo  $N_1 = 48$  espiras, resulta:

$$I_1 = \frac{1.200}{48} = 25 \text{ A}$$

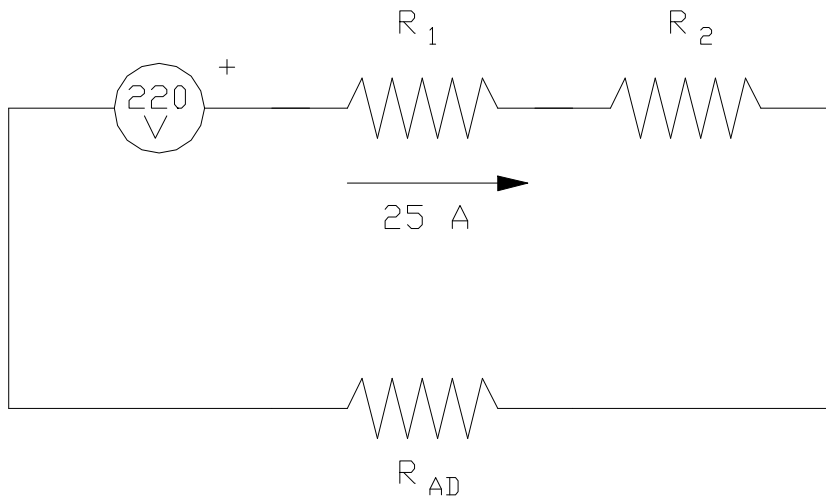
Para esa intensidad de corriente, la sección MÍNIMA habrá de ser:

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{ver tabla})$$

La resistencia del hilo valdrá:

$$R_1 = \rho \frac{L_1}{S_1} = 0,02 \times \frac{48 \times 0,35}{2,5} = 0,1344 \Omega$$

- 4º) La resistencia eléctrica del hilo correspondiente al devanado (3) será:



$$R_2 = \rho \frac{N_3 L_m}{S} = \rho \frac{N_1}{4} \frac{L_m}{S} = 0,02 \times \frac{\frac{48}{4} \times 0,35}{2,5} = 0,0336 \Omega$$

Por tanto, se deberá verificar:

$$25 = \frac{220}{0,1344 + 0,0336 + R_{AD}}$$

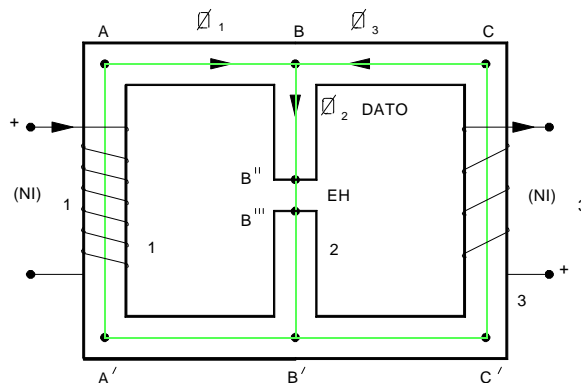
es decir:

$$R_{AD} = \frac{220 - 4,2}{25} = 8,632 \Omega$$

**5.14.** Dado el circuito magnético de la figura, calcular el número de Av que será preciso disponer en la columna (1) para que el flujo en el núcleo central sea  $\phi_2 = 10^{-4}$  Wb. Se supone que no hay dispersión y que el factor de apilamiento es la unidad.

En las condiciones de trabajo:  $\mu_r = 1.000$ .

- AA' = CC' = 300 mm
- BB'' = B'B''' = 145 mm
- EH = B''B''' = 10 mm
- AB = BC = A'B' = B'C'' = 300 mm
- S = 100 mm<sup>2</sup>
- (NI)<sub>3</sub> = 10.000 Av



)))))))))

**SOLUCIÓN:**

En el nudo "B" y en las ventanas (1, 2) y (2, 3) se puede escribir:

$$\phi_2 = \phi_1 + \phi_3 \tag{1}$$

$$(N I)_1 = \phi_1 R_{m1} + \phi_2 R_{m2} \tag{2}$$

$$(N I)_3 = \phi_2 R_{m2} + \phi_3 R_{m3} \tag{3}$$

De (3) se deduce:

$$\phi_3 = \frac{(N I)_3 - \phi_2 R_{m2}}{R_{m3}}$$

Sustituyendo este valor en (1) resulta:

$$\phi_1 = \phi_2 - \phi_3 = \phi_2 - \frac{(N I)_3 - \phi_2 R_{m2}}{R_{m3}}$$

Introduciendo a su vez este resultado en (2) se obtiene:

$$(N I)_1 = \phi_2 R_{m1} - \frac{R_{m1} (N I)_3 - \phi_2 R_{m2} R_{m1}}{R_{m3}} + \phi_2 R_{m2}$$

o sea:

$$(N I)_1 = \frac{\phi_2 R_{m1} (R_{m3} + R_{m2})}{R_{m3}} - \frac{R_{m1}}{R_{m3}} (N I)_3 + \phi_2 R_{m2}$$

y como:  $R_{m1} = R_{m3}$ , se tendrá:

$$(N I)_1 = \phi_2 (R_{m3} + R_{m2}) - (N I)_3 + \phi_2 R_{m2} = \phi_2 (2 R_{m2} + R_{m3}) - (N I)_3 \quad (4)$$

[compárese con (4')].

$$R_{m1} = R_{m3} = \frac{1}{\mu S} = \frac{0,9}{1.000 S \mu_0} = 0,0009 K$$

con:  $K = 1/(S \mu_0)$ .

$$R_{m2} = \frac{1}{\mu S} = \frac{0,29}{1.000 S \mu_0} + \frac{0,01}{S \mu_0} = \frac{1}{S \mu_0} (0,00029 + 0,01) = 0,01029 K$$

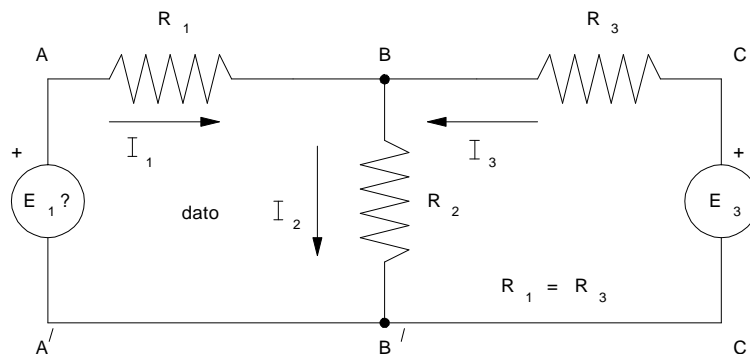
En consecuencia:

$$\begin{aligned} (N I)_1 &= 10^{-4} (0,0009 K + 0,02058 K) - 10.000 = \\ &= 10^{-4} \times \frac{0,02148}{4 \pi \times 10^{-7} \times 10^{-4}} - 10.000 = 7.093,24 Av \end{aligned}$$

Si el arrollamiento de excitación  $(N I)_3$  estuviese devanado en sentido contrario, resultaría:

$$(N I)_1 = 17.093,24 + 10.000 = 27.093,24 Av$$





Para el *circuito ELÉCTRICO* "equivalente" se escribirían las siguientes ecuaciones:

$$I_2 = I_1 + I_3 \tag{1'}$$

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 \tag{2'}$$

$$E_3 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \tag{3'}$$

De (3'):

$$I_3 = \frac{E_3 - I_2 R_2}{R_3}$$

De (1'):

$$I_1 = I_2 - I_3 = \frac{I_2 R_3 - E_3 + I_2 R_2}{R_3} = \frac{I_2 (R_2 + R_3) - E_3}{R_3}$$

De (2'):

$$E_1 = \frac{R_1}{R_3} [I_2 (R_2 + R_3) - E_3] + I_2 R_2 = I_2 (R_2 + R_3) - E_3 + I_2 R_2$$

y como final:

$$E_1 = I_2 (2 R_2 + R_3) - E_3 \tag{4'}$$