4. Electroimanes

Tanto los cuerpos ferromagnéticos como los conductores recorridos por corrientes, que están sumergidos en un campo magnético, quedan sometidos a la acción de fuerzas mecánicas que se denominan fuerzas electromagnéticas (en realidad, en el caso de cuerpos ferromagnéticos, estas fuerzas son solo de naturaleza magnética).

Como caso más interesante, en la práctica, está la fuerza electromagnética de atracción de la armadura de un electroimán. A esta fuerza se la conoce por el nombre de ***fuerza portante***, que aparece, además de en los electroimanes, propiamente dicho, también en las armaduras de los relés y en otros dispositivos de construcción industrial (electrónica, electrotecnia, telecomunicación, etc.).

Supongamos que tenemos presentes varios cuerpos ferromagnéticos (figura 11.29) y que, durante un tiempo *dt*, uno de los cuerpos, por la acción de la fuerza portante, ha sufrido un desplazamiento *dx*, en la dirección de esta fuerza, mientras que los otros cuerpos no han sufrido variación en el espacio. Durante el tiempo, *dt*, las fuentes de energía eléctrica han sufrido una variación energética:

$$\left[\sum (V_i I_i)\right] dt$$

de cuya suma de energías, una parte: $\left[\sum \left(R_i I_i^2\right)\right] dt$

se habrá gastado en suministrar las pérdidas térmicas que, por efecto Joule, habrán tenido lugar en los distintos conductores de las bobinas y otros circuitos.

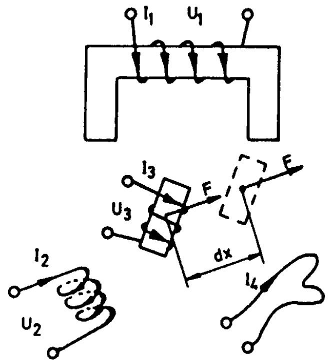

Fig. 11.29

La diferencia entre las dos energías anteriores será empleada en realizar el trabajo mecánico, *Fdx*, que ha realizado la fuerza, *F*, durante el desplazamiento, *dx*, del cuerpo, así como para aumentar la energía del campo magnético presente, que denominaremos *dW*. O sea, el balance energético que resulta será:

$$\left[\sum (V_i I_i)\right] dt - \left[\sum \left(R_i I_i^2\right)\right] dt = \left[\sum I_i (V_i - R_i I_i)\right] dt = Fdx + dw \qquad (8)$$

Ahora bien, la tensión existente en los bornes de una bobina se descompone en la caída de tensión, *IR*, debida a su resistencia óhmica y en la componente que compensa a la fuerza electromotriz autoinducida en la bobina $N\dfrac{d\phi}{dt}$. O sea que:

$$\left[\sum (V_i - R_i I_i)\right] dt = \left[\sum \left(N_i \frac{d\phi_i}{dt}\right)\right] dt = \sum (N_i d\phi_i) \qquad (9)$$

Sustituyendo la (9) en la (8), y despejando la fuerza, *F*, quedará:

$$F = \sum \left(I_i N_i \frac{d\phi_i}{dx}\right) - \frac{dw}{dx} \qquad (10)$$

que es la relación matemática que estábamos buscando. La expresión anterior es válida, también, cuando los valores de las tensiones V_i, en los bornes de los distintos sistemas eléctricos puestos en juego, puedan variar de tal forma que, al producirse un desplazamiento de un cuerpo, debido a la fuerza *F*, los flujos magnéticos totales, ϕ_i, permanezcan invariables y, como consecuencia, $\dfrac{d\phi_i}{dx} = 0$. En este caso, la expresión (10), quedará de la forma:

$$F = -\frac{dw}{dx} \qquad (11)$$

Empleando esta fórmula (11), se puede calcular la fuerza de atracción que se ejerce sobre la armadura, *A*, por los polos del electroimán. Suponiendo que al desplazarse la armadura hacia el electroimán una distancia, *dx*, el flujo magnético del sistema no se modifica, resultará que la energía acumulada en el campo magnético, disminuirá debido a que se ha producido una disminución del volumen del entrehierro (armadura-electroimán) en un valor S_0dx, siendo S_0 la superficie del entrehierro enfrentado a los polos y las líneas de fuerzas magnéticas, en el entrehierro, decrecen *dx*. También disminuirá el valor de la intensidad de la corriente eléctrica en las bobinas, *di*. Por lo tanto, si aplicamos el teorema de Ampere a este decrecimiento, tendremos:

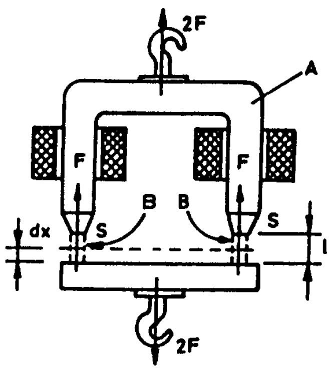

Fig. 11.30

$$-H_0 dx = -N di$$

de donde: $$di = \frac{H_0 dx}{N} = \frac{B_0 dx}{\mu_0 N}$$

Por otra parte, la energía magnética acumulada en el circuito magnético también disminuirá un valor:

$$dW = -\frac{1}{2} N\phi_0 di = -\frac{1}{2} N B_0 S_0 \frac{B_0 dx}{\mu_0 N} = -\frac{1}{2}\frac{B_0^2 S_0 dx}{\mu_0}$$

y de aquí obtendremos el valor de la fuerza portante, teniendo en cuenta la (11):

$$F = -\frac{dW}{dx} = \frac{B_0^2 S_0}{2\mu_0} = \frac{B_0^2 S_0}{2 \cdot 4\pi 10^{-7}} \approx 4 \cdot 10^5 B_0^2 S_0$$

Si la inducción, en el entrehierro, la expresamos en teslas y la sección en m^2, el valor de la fuerza la obtendremos en newtons.

Téngase en cuenta que la fuerza hallada es para cada uno de los polos del electroimán, es decir que la armadura será atraída, en el caso que se estudia, por una fuerza *2F* y la fórmula, para la fuerza total, quedará:

$$F_T \approx 8 \cdot 10^5 B_0^2 S_0$$

(Hacer los ejercicios 11.6 y 11.7)