

Fundamentos de los Motores Eléctricos

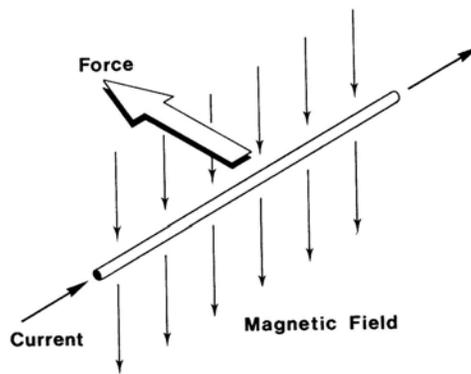
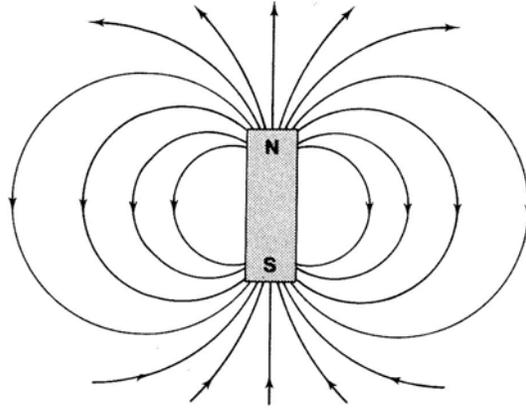


Figure 1.1 *Electromagnetic force on current-carrying conductor in a magnetic field*

Fundamentos de los Motores Eléctricos



$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

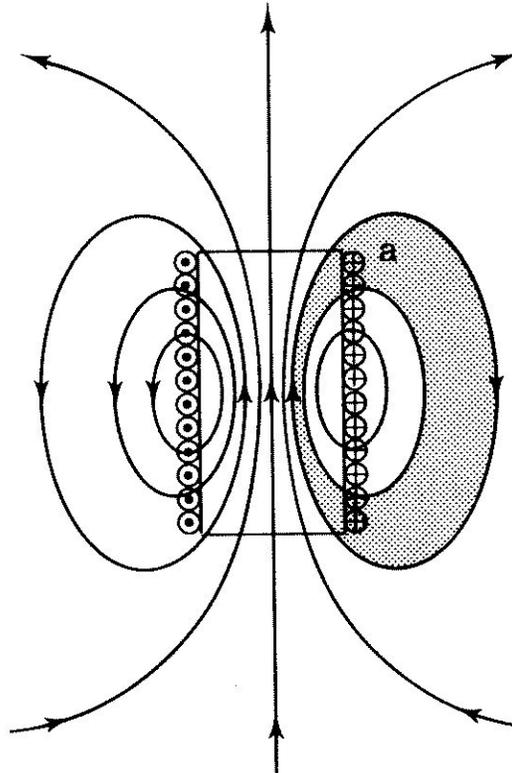
- Fuerza sobre un conductor eléctrico.

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \text{sen}(\alpha)$$

- Fuerza proporcional a:
 - Densidad de flujo magnético.
 - Corriente eléctrica que circula por el conductor.
 - Seno del ángulo que forman los campos B e I .
- Fuerza óptima:
 - Densidad de flujo máxima \Rightarrow Buen circuito magnético.
 - Gran número de conductores con la máxima corriente posible \Rightarrow Problema: Calor.
 - Perpendicularidad de los dos campos \Rightarrow Motores eléctricos.

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Circuitos magnéticos.



- Circuitos magnéticos.
 - Fuerza magnetomotriz.
 - Medida de la capacidad de una bobina para producir flujo magnético.
 - Se expresa en amperios-vuelta.
 - Una misma FMM se puede conseguir:
 - Pocas vueltas, mucha corriente.
 - Muchas vueltas, poca corriente.

$$FMM = N \cdot I$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Circuitos magnéticos.
 - Analogía con los circuitos eléctricos.

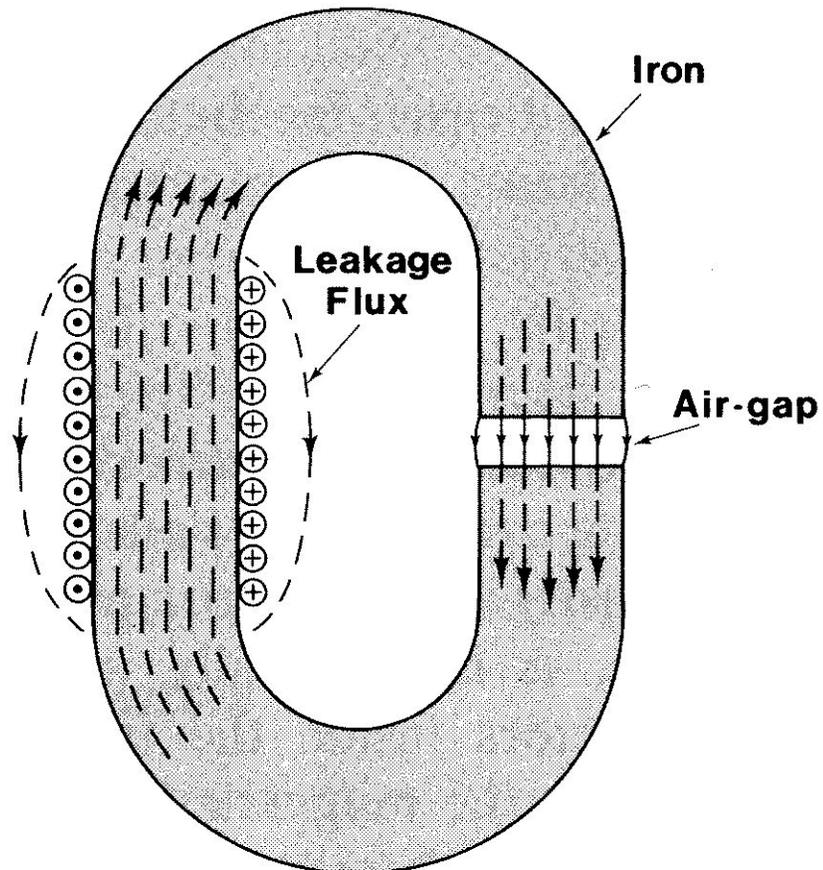
$$\textit{Corriente} = \frac{FEM}{R}$$

$$\textit{Flujo} = \frac{FMM}{\mathfrak{R}}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \cdot S}$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Circuitos magnéticos.



- Circuitos magnéticos.
 - El entrehierro.
 - Porción del circuito magnético donde se alojan los conductores sobre los que se efectuará la fuerza.
 - Muy pequeña longitud.
 - Reluctancia elevada.
 - Misma densidad de flujo magnético que en el hierro.
 - Densidad de flujo en el entrehierro.

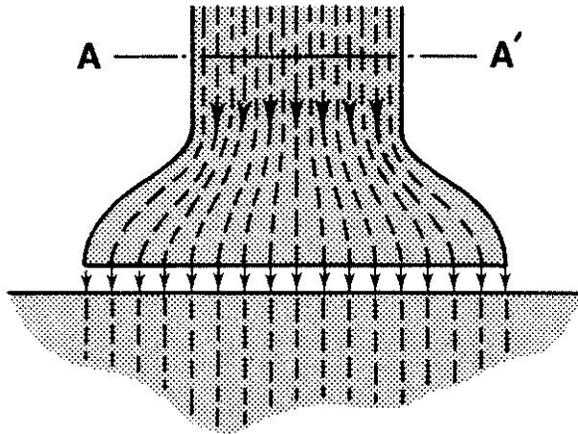
$$\mathcal{R}_{gap} = \frac{g}{\mu_0 \cdot A}$$

$$\Phi = \frac{FMM}{\mathcal{R}_{gap}} = \frac{N \cdot I \cdot A \cdot \mu_0}{g}$$

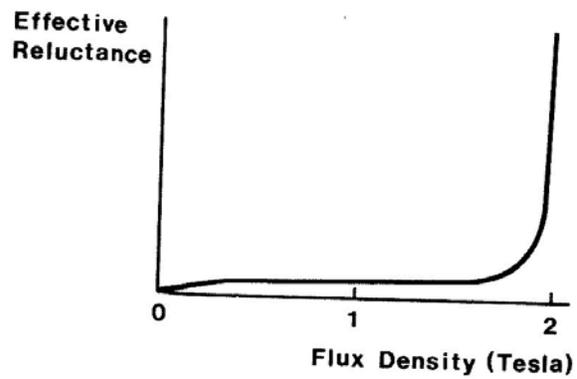
$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{N \cdot I \cdot \mu_0}{g} = \frac{FMM \cdot \mu_0}{g}$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Circuitos magnéticos.

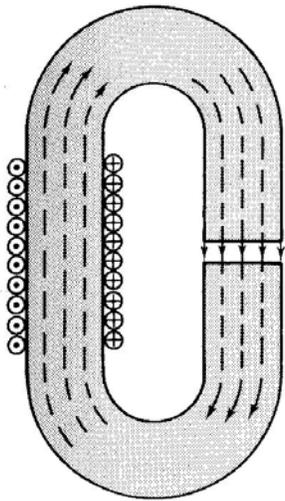


- Saturación del circuito magnético.

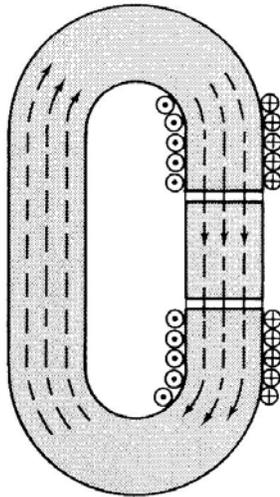


Fundamentos de los Motores Eléctricos

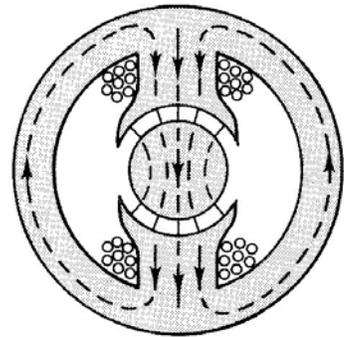
- Circuitos magnéticos en los motores eléctricos.



a

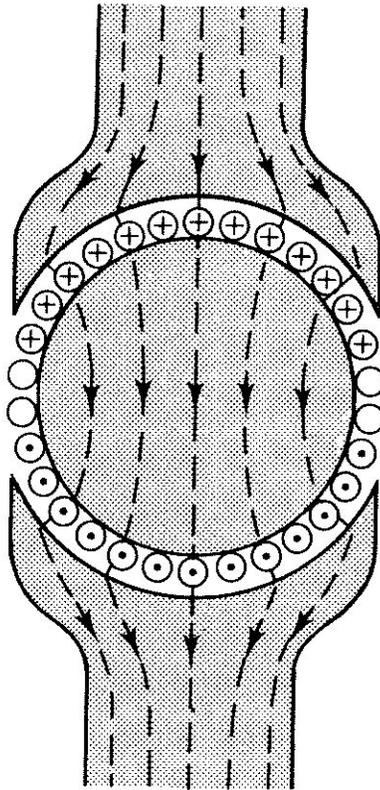


b



c

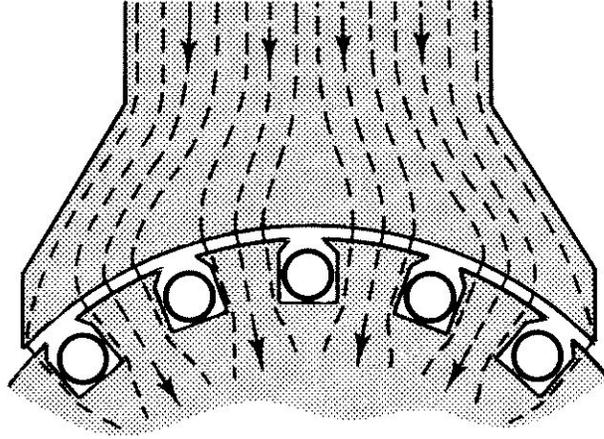
- El par electromagnético



$$T = F \cdot r = r \cdot \left(\sum_N B \cdot I \cdot l \right)$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Las Ranuras.



Fundamentos de los Motores Eléctricos

- El par electromagnético.

$$Par \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} B \Rightarrow \textit{Saturacion} \\ I \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \textit{Aislamiento} \\ \textit{Sistema de refrigeracion} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$T \propto \bar{B} \cdot \bar{A} \cdot \underbrace{D^2 L}_{\textit{Volumen del Rotor}}$$

El par es proporcional al volumen del motor.

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- La potencia de salida y la potencia específica.

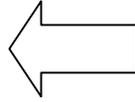
$$P = T \cdot \omega$$

$$P \propto \bar{B} \cdot \bar{A} \cdot D^2 \cdot L \cdot \omega$$

$$Q \propto \bar{B} \cdot \bar{A} \cdot \omega$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

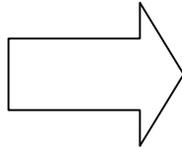
$$F = B \cdot I \cdot l$$



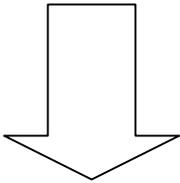
No interviene el movimiento.

+

MOVIMIENTO



$$P = T \cdot \omega$$



F.E.M. INDUCIDA

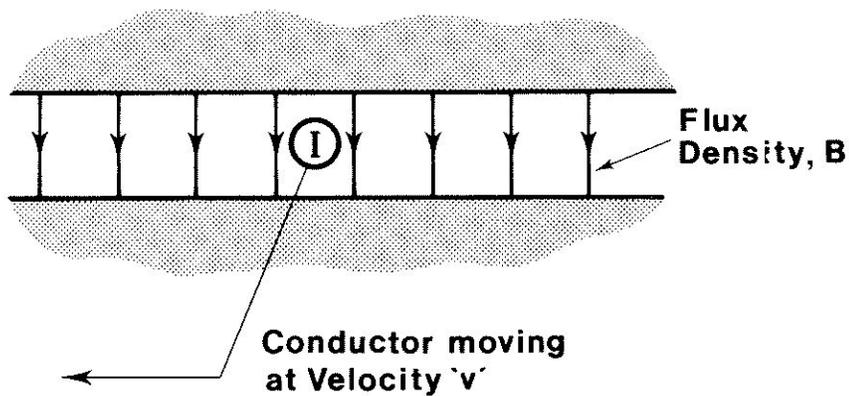


Conversión
De
Energía

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Condiciones estacionarias.

Motor Elemental



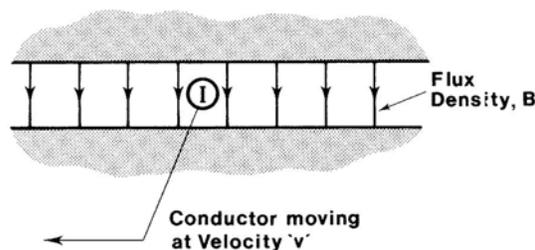
Balance de Potencias

$$V \cdot I = R \cdot I^2$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Conductor desplazándose a una velocidad constante.

Motor Elemental



Balance de Potencias

Potencia eléctrica consumida =
Pérdidas por efecto Joule en el
conductor + Potencia mecánica
de salida = $RI^2 + BIlv$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

$$V_2 \cdot I = R \cdot I^2 + B \cdot I \cdot l \cdot v$$

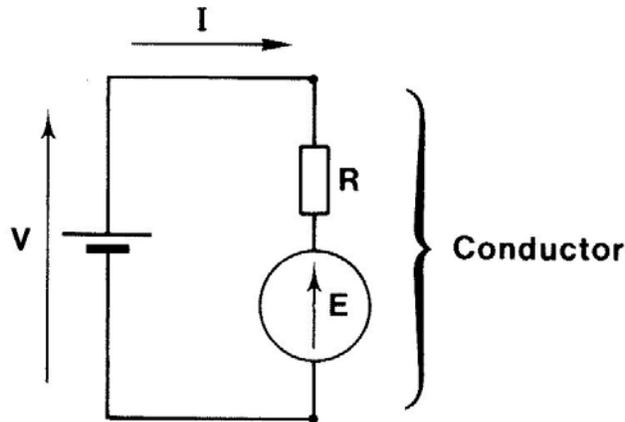
$$V_1 = R \cdot I$$

$$(V_2 - V_1) \cdot I = B \cdot I \cdot l \cdot v$$

$$V_2 - V_1 = E = B \cdot l \cdot v$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Circuito Eléctrico Equivalente.



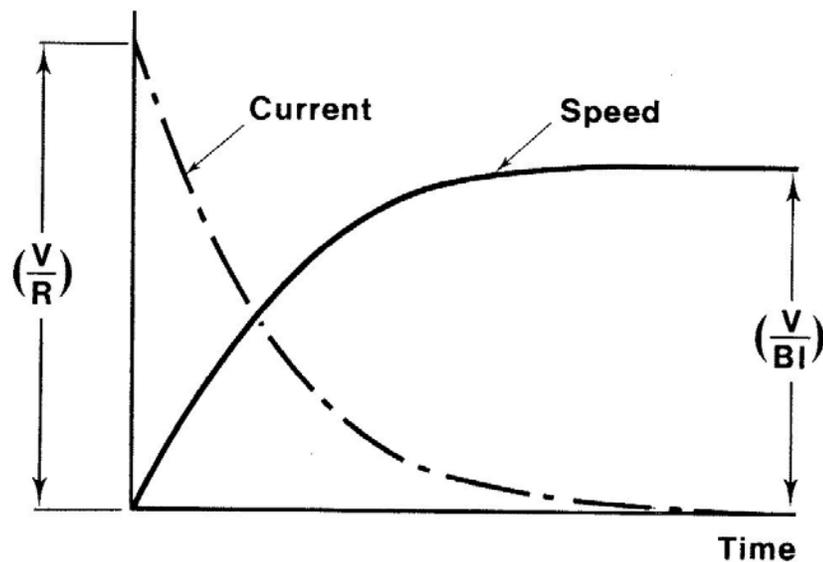
$$V = E + R \cdot I$$

$$V \cdot I = E \cdot I + R \cdot I^2$$

Potencia Eléctrica Consumida (VI) =
Potencia Mecánica Desarrollada (EI) +
Pérdidas en el Cobre (RI^2)

Fundamento de los Motores Eléctricos

- Funcionamiento como motor.
 - El conductor se mueve en la misma dirección que la fuerza.
 - $E < V$.
- Funcionamiento sin carga o en vacío.

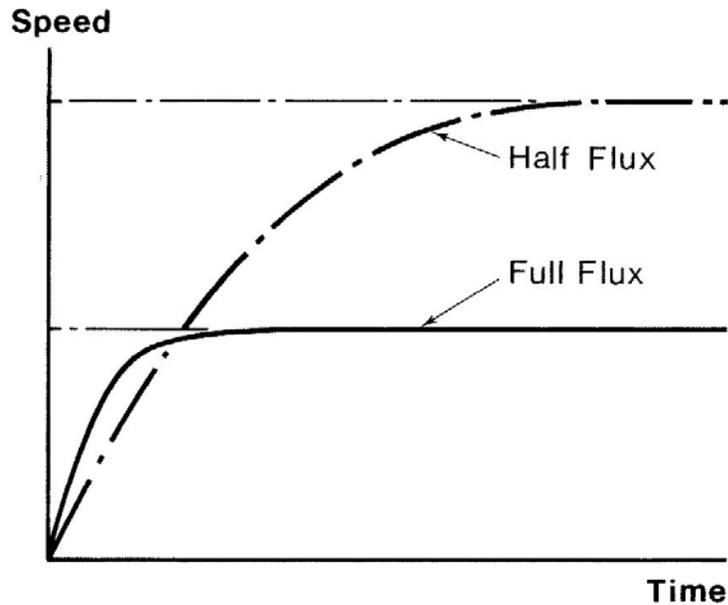


$$V \approx E = B \cdot l \cdot v_0$$

$$v_0 \approx \frac{V}{B \cdot l}$$

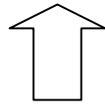
Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Efecto del flujo en la aceleración y en la velocidad de estado estacionario del motor funcionando en vacío.

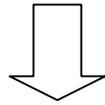


Fundamentos de los Motores Eléctricos

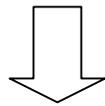
- Funcionamiento del motor en carga.



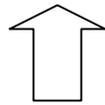
Fuerza de carga



Velocidad

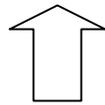


E



I

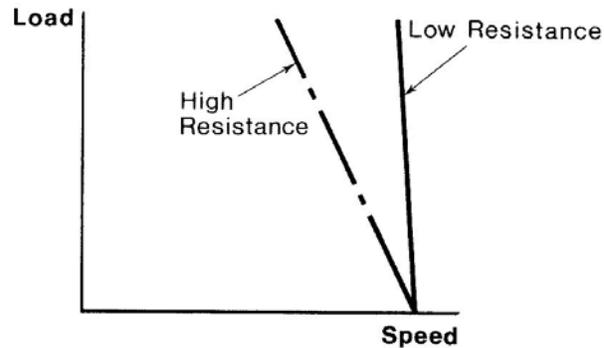
$$I = \frac{V - E}{R}$$



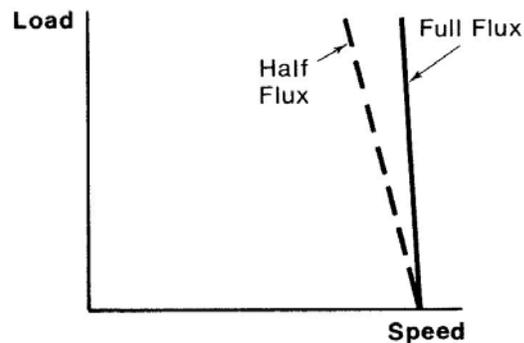
Fuerza desarrollada
por el motor

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Influencia de la resistencia del conductor en el funcionamiento del motor en carga.



- Influencia de la inducción magnética en el funcionamiento del motor en carga.



Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Magnitudes relativas de E y V , y el rendimiento.

$$V \cdot I = E \cdot I + R \cdot I^2$$

$$V = E + R \cdot I$$

$$R = 0.5 \Omega$$

$$I = 4 A$$

$$V = 10 V$$

$$E = V - R \cdot I = 8 V$$

$$V \cdot I = 40 \text{ Vatios}$$

$$E \cdot I = 32 \text{ Vatios}$$

$$R \cdot I^2 = 8 \text{ Vatios}$$

$$\text{Eficiencia} = 80\%$$

$$R = 0.5 \Omega$$

$$I = 4 A$$

$$V = 20 V$$

$$E = V - R \cdot I = 18 V$$

$$V \cdot I = 80 \text{ Vatios}$$

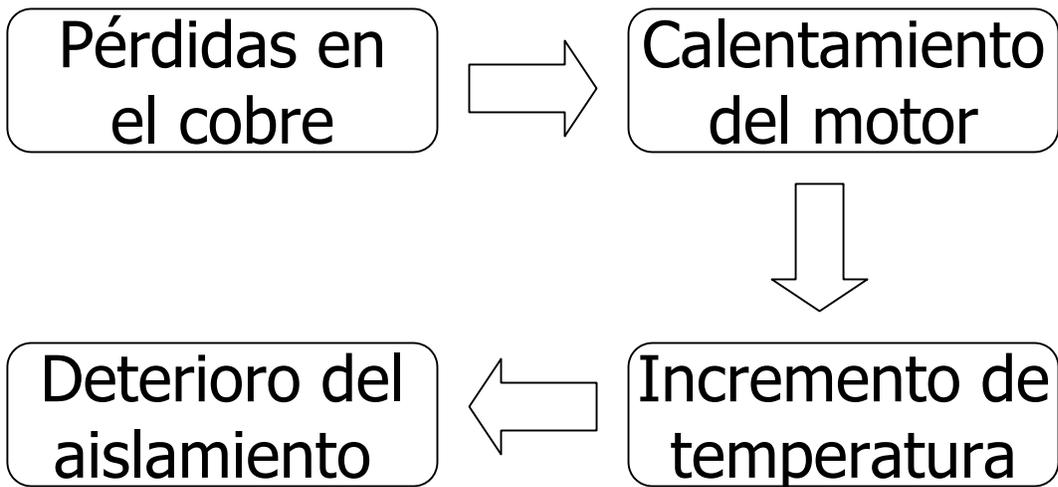
$$E \cdot I = 72 \text{ Vatios}$$

$$R \cdot I^2 = 8 \text{ Vatios}$$

$$\text{Eficiencia} = 90\%$$

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Propiedades Generales de los Motores Eléctricos.
 - Temperatura de funcionamiento y sistema de refrigeración.
 - El aislamiento eléctrico de los conductores limita la potencia de salida del motor.



- Sistema de refrigeración.
- Clase de aislamiento.

Fundamentos de los Motores Eléctricos

- Par por unidad de volumen.
 - El par nominal es proporcional al volumen del rotor, para el mismo sistema de refrigeración y la misma clase de aislamiento.
- Potencia por unidad de volumen, la importancia de la velocidad.
- Efecto del tamaño: par específico y el rendimiento.
- Rendimiento y velocidad.
- Sobrecarga temporal.

Fundamentos de los Motores Eléctricos

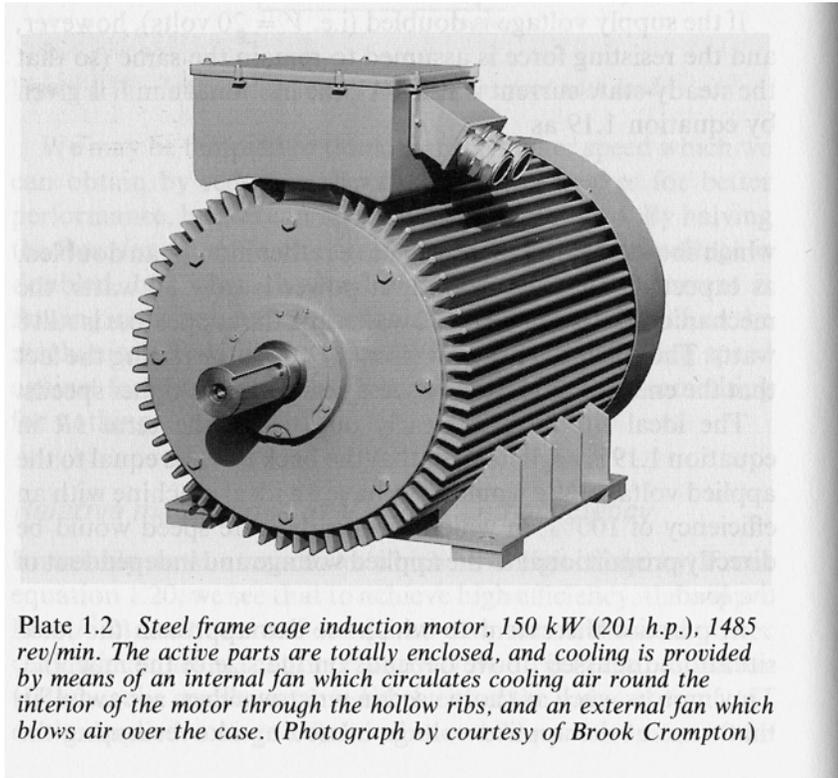


Plate 1.2 Steel frame cage induction motor, 150 kW (201 h.p.), 1485 rev/min. The active parts are totally enclosed, and cooling is provided by means of an internal fan which circulates cooling air round the interior of the motor through the hollow ribs, and an external fan which blows air over the case. (Photograph by courtesy of Brook Crompton)

■ Bibliografía:

- *Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications*

Second Edition

Autor: Austin Hughes

Editorial: Newnes. Butterworth-Heinemann

- *Máquinas Eléctricas*

Cuarta edición.

Autor: Jesús Fraile Mora

Editorial: Servicio de publicaciones del
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y
Puertos.