

# Actuadores Electromecánicos - IM305

Prof. Anselmo Cukla

Prof. Lucas Cukla

Prof. Miqueas Neuman

# Contenidos

- ▶ Motores Asíncronos (trifásicos y monofásicos).
- ▶ Motores Síncronos
- ▶ Motores de Corriente continua.
- ▶ Motores Paso a paso.
- ▶ Motores Brushless.
- ▶ Actuadores lineales, solenoides y aplicaciones.
- ▶ Actuadores piezoeléctricos.
- ▶ Cálculo, diseño y selección de actuadores.

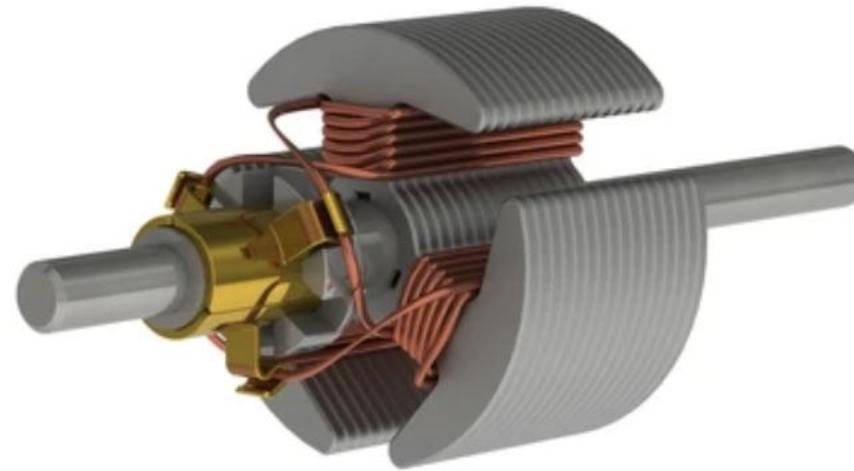
# Asuntos a ser tratados

- ▶ Motores de Corriente Continua (4 - 6 clases)
- ▶ Motores de paso - 2 clases
- ▶ Motores brushless (sin escobillas) - 2 clases
- ▶ Actuadores piezoeléctricos y actuadores de desplazamiento linear - 2 clases
- ▶ Presentación de trabajos - 2 clases

# Bibliografías

- ▶ **Motores de Corriente Continua:**
- ▶ BLÁZQUEZ GARCÍA, F. RODRÍGUEZ ARRIBAS, J. ; ALONSO RODRÍGUEZ, Á. M. Máquinas síncronas y máquinas de corriente continua. ed. Madrid: Dextra Editorial, 2014. 244 p. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/elibrounam/43935?page=137>. Consultado en: 04 Oct 2024
- ▶ UMANS, Stephen D. Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7th ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. E-book. p.1. ISBN 9788580553741. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580553741/>. Acesso em: 08 out. 2024.
- ▶ **Motores CC y Brushless**
- ▶ KUBALA, T. Electricidad 4: motores de CA/CC, controles y mantenimiento. 9. ed. México, D.F: Cengage Learning, 2011. 342 p. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/elibrounam/76611?page=25>. Consultado en: 04 Oct 2024

# Motores de corrente continua CC



# Principales aplicaciones de motores de Continua

- ▶ Motores de corriente continua, son menos utilizados hoy en día, pero en muchos casos, son insustituibles.
- ▶ Fácil control de velocidad y posición, y aplicación directa en sistemas de generación en cc.
- ▶ Sistemas de generación en cc son menos comunes, pero todavía existen aplicaciones, como el caso de tacómetros, centrales ferroviarias, generadores eólicos, entre otros.

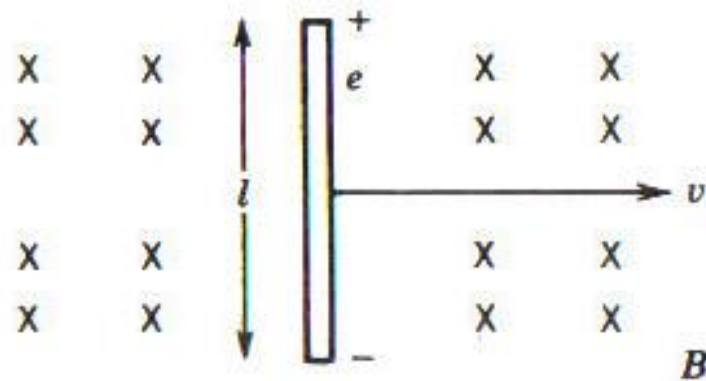
# Conversión electromecánica de energía

- Dos fenómenos electromagnéticos ocurren en el proceso de conversión de energía, tanto en motores como generadores, sean estos en CA o CC, síncronas o asíncronas;

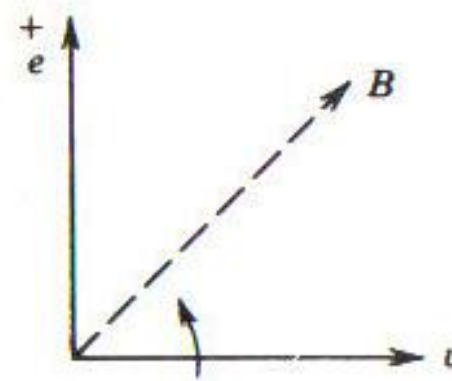
## Efecto 1: Tensión de velocidad:

Cuando un conductor inmerso en un campo magnético es colocado en movimiento, surge una tensión inducida en sus terminales.

$$e = (\mathbf{B} \times \mathbf{v}) \cdot \mathbf{l}$$



X indicates  $\mathbf{B}$  into the paper



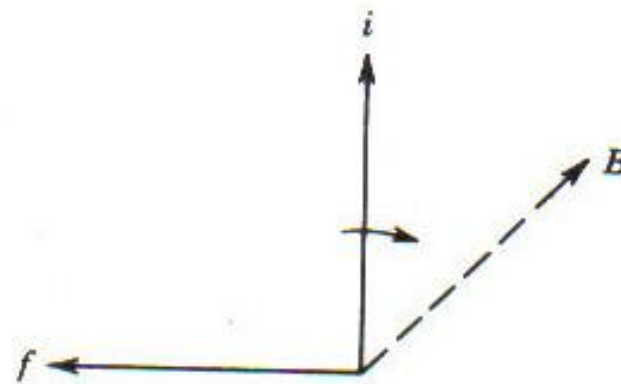
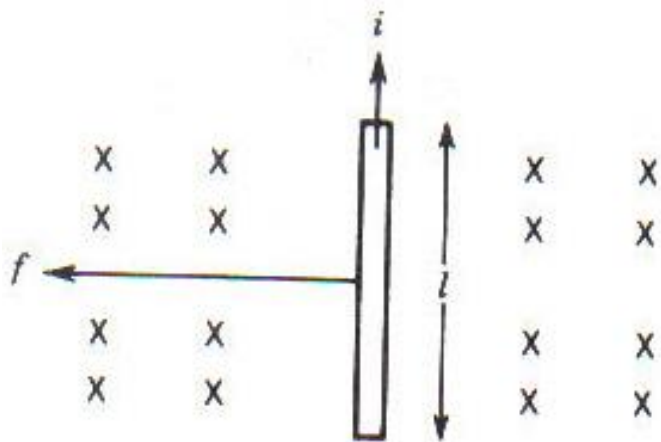
# Conversión electromecánica de energía

## Efecto 2: fuerza electromagnética

Cuando un conductor transporta una corriente eléctrica y esta inmerso en un campo magnético, surge entonces una fuerza mecánica:

$$\mathbf{F} = l \cdot (\mathbf{i} \times \mathbf{B})$$

Fuerza de Lorentz





# Conversión electromecánica de energía

Los dos efectos ocurren simultáneamente en cualquier proceso de conversión de energía.

**En un motor**, el principal es el **segundo efecto**.

1. Los conductores inmersos en un campo magnético, son alimentados con corriente continua;
2. Una fuerza electromecánica surge en cada conductor, desplazando el equilibrio del sistema mecánico (efecto 2);
3. Si los conductores fueron posicionados en una estructura libre para girar, entonces ese equilibrio será eliminado naturalmente, e el eje encontrará una velocidad de régimen permanente. De esta forma, obtenemos un torque electromecánico  $T$  y una velocidad  $n$ , para alimentar una carga mecánica;
4. Si los conductores giran inmersos en un campo magnético, surgirá una tensión inducida en sus terminales (efecto 1), llamada fuerza contra electromotriz, y que tendrá un impacto en el torque y velocidad de equilibrio.

# Conversión electromecánica de energía

**Em un generador, el principal es el primero efecto.**

1. El rotor es colocado en movimiento por una maquina primaria;
2. Los conductores del rotor giran inmersos en un campo magnético;
3. Una tensión inducida  $e$  surgirá en los terminales de los conductores (efecto 1);
4. Si los terminales de los conductores alimentan una carga eléctrica surgirá una corriente  $i$ , providenciada por el generador eléctrico;
5. Los conductores que transportan corriente eléctrica  $e$  inmersos en un campo magnético estarán sujetos a una fuerza electromecánica (efecto 2), resultando en un torque electromecánico de reacción, o torque resistencia al torque dado por la maquina primaria, afectando también la tensión y corriente de equilibrio del sistema

# Conclusiones

- ▶ Los efectos 1 y 2 ocurren en los dos casos;
- ▶ El campo magnético es fundamental para la producción de torque (motor) y de la tensión inducida (generador), sirviendo de interface entre los sistemas eléctrico y mecánico.

# Estructura básica de maquinas eléctricas rotativas

- ▶ El estator y rotor están separados por un entrehierro;
- ▶ El estator y rotor son contruidos utilizando materiales ferromagnéticos;

**Material laminado:** reducen las corrientes parasitas en el rotor y estator, aumentando la resistencia eléctrica (mejora el rendimiento);

**Material ferromagnético:** aumenta la densidad de flujo magnético en la maquina (alta permeabilidad –  $\mu$ ), disminuye el tamaño de la maquina, disminuye la dispersión de flujo magnético;

# Estructura básica de maquinas eléctricas rotativas

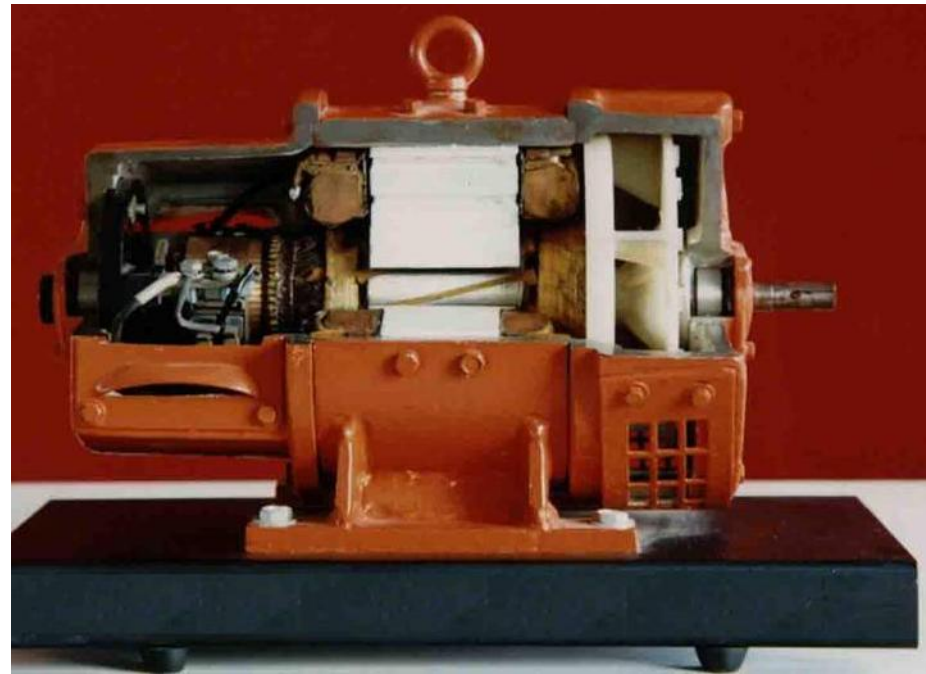
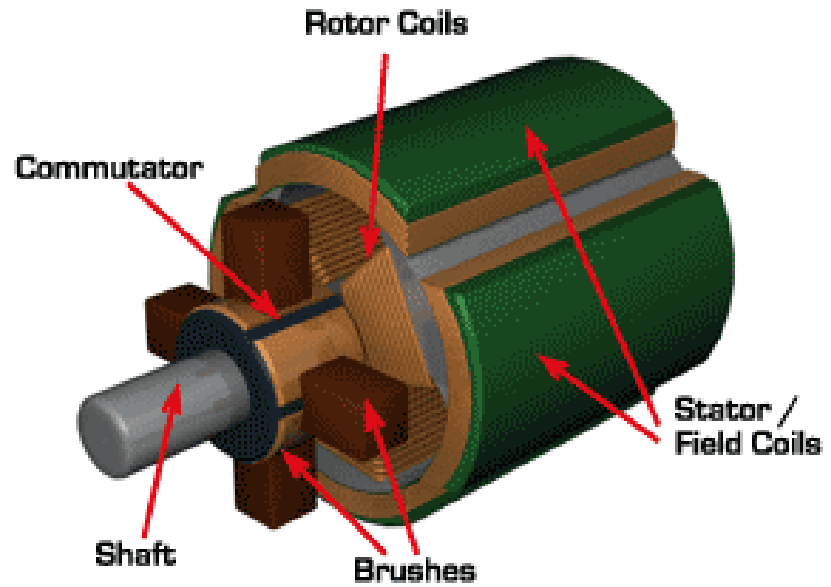
- ▶ Las maquinas eléctricas, usualmente tienen dos tipos de bobinas o devanados:
  - ▶ Bobina de campo: compone el electroimán productor del campo principal de la maquina;
  - ▶ Bobina de armadura: contiene los conductores que son inmersos en el campo principal para la producción de tensión (generador inducido) o torque (motor);
- ▶ Estos bobinados son posicionados en ranuras localizadas en el estator y en el rotor;



# Maquinas CC: características básicas

- ▶ El devanado de campo es colocado en el estator;
- ▶ El devanado de armadura, es colocado en el rotor;
- ▶ Como motor, los dos devanados son alimentados en CC, de diversas maneras o configuraciones: independiente, serie, paralelo e compuesto (combinación de serie paralelo).
- ▶ Ofrece varias opciones para el control de velocidad como motor;
- ▶ Como generador, el devanado de campo es alimentado con CC, produciendo un campo constante sobre la armadura.

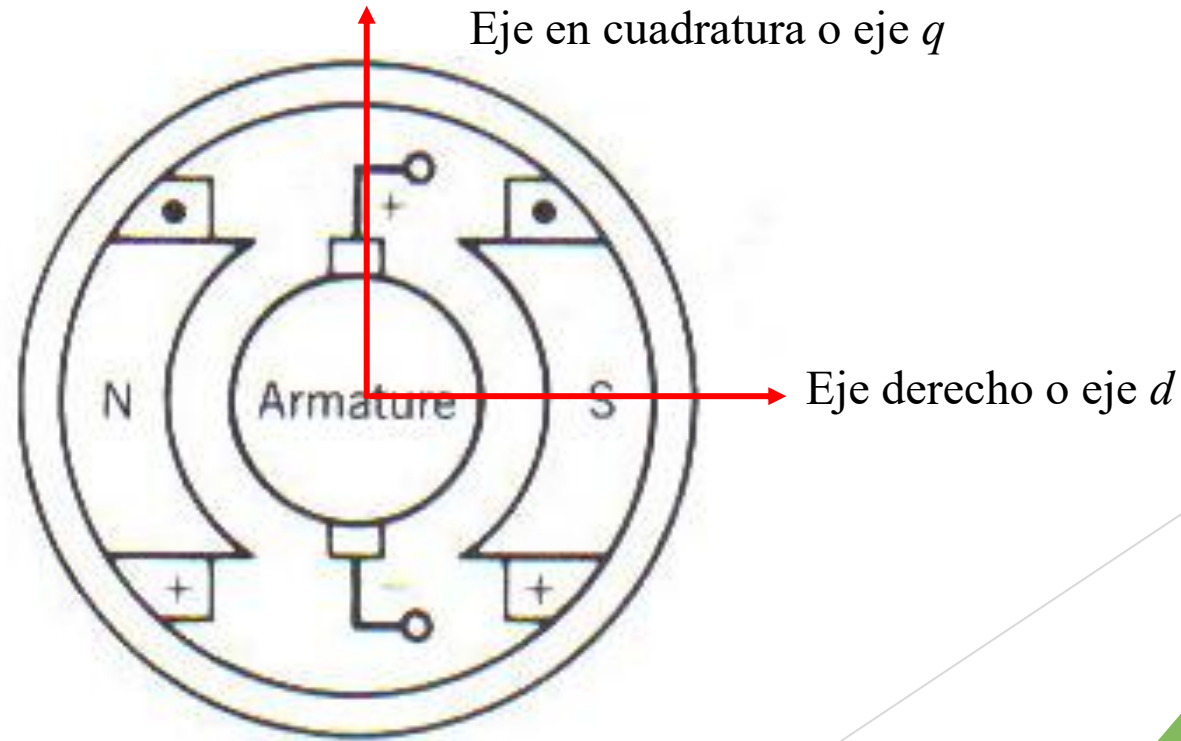
# Maquinas CC: características básicas





# Maquinas CC

- El estator tiene polos salientes, excitados por uno o mas devanados (serie e shunt/paralelo/em derivación);
- El devanado de campo produce una distribución del flujo simétrica en relación al eje de los polos del estator (eje derecho o eje  $d$ )





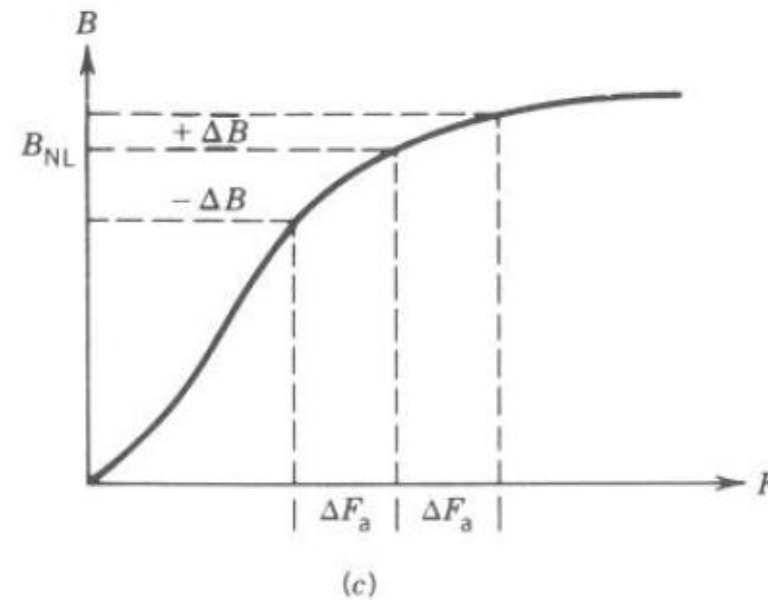
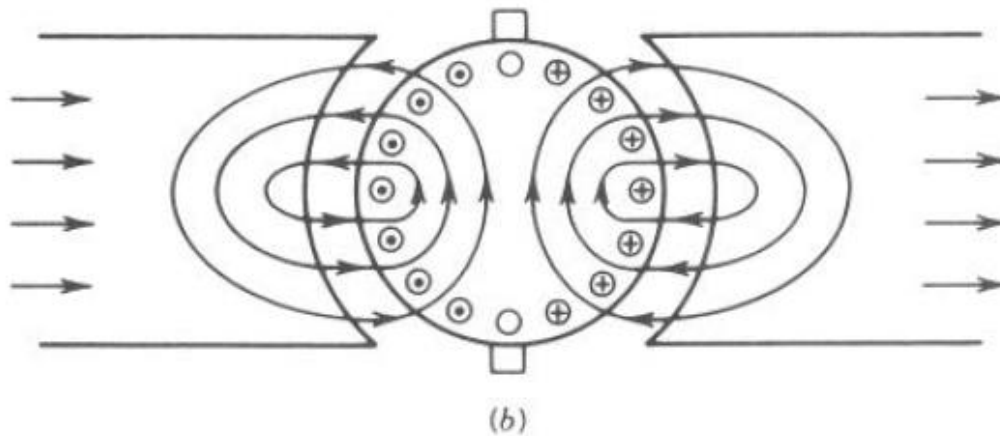
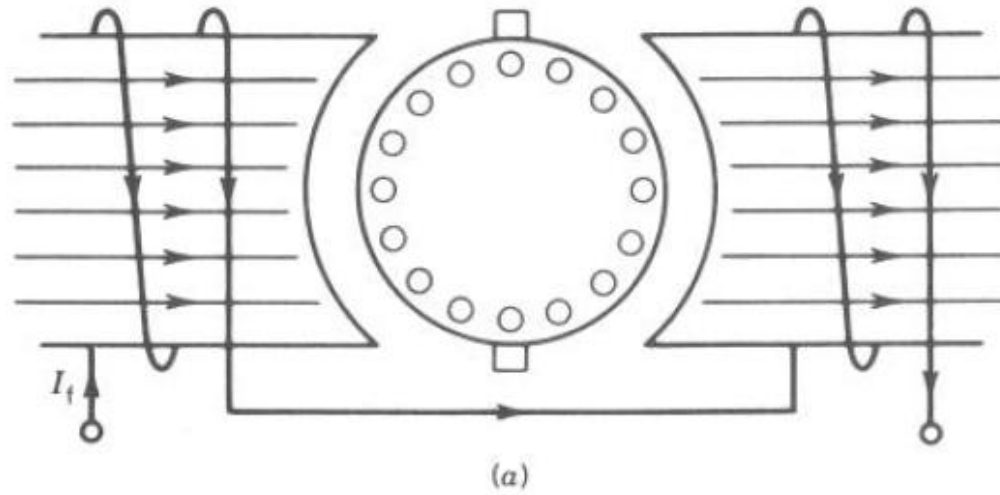
# Maquinas CC: conmutador

- ▶ El conmutador también es fundamental para el funcionamiento de la máquina CC como motor, una vez que el torque surge debido a la búsqueda por el alineamiento entre los campos del rotor y del estator;
- ▶ El conmutador varia continuamente y la orientación del campo producido por la armadura, no permitiendo que los dos campos sea colineales y que el torque sea nulo.



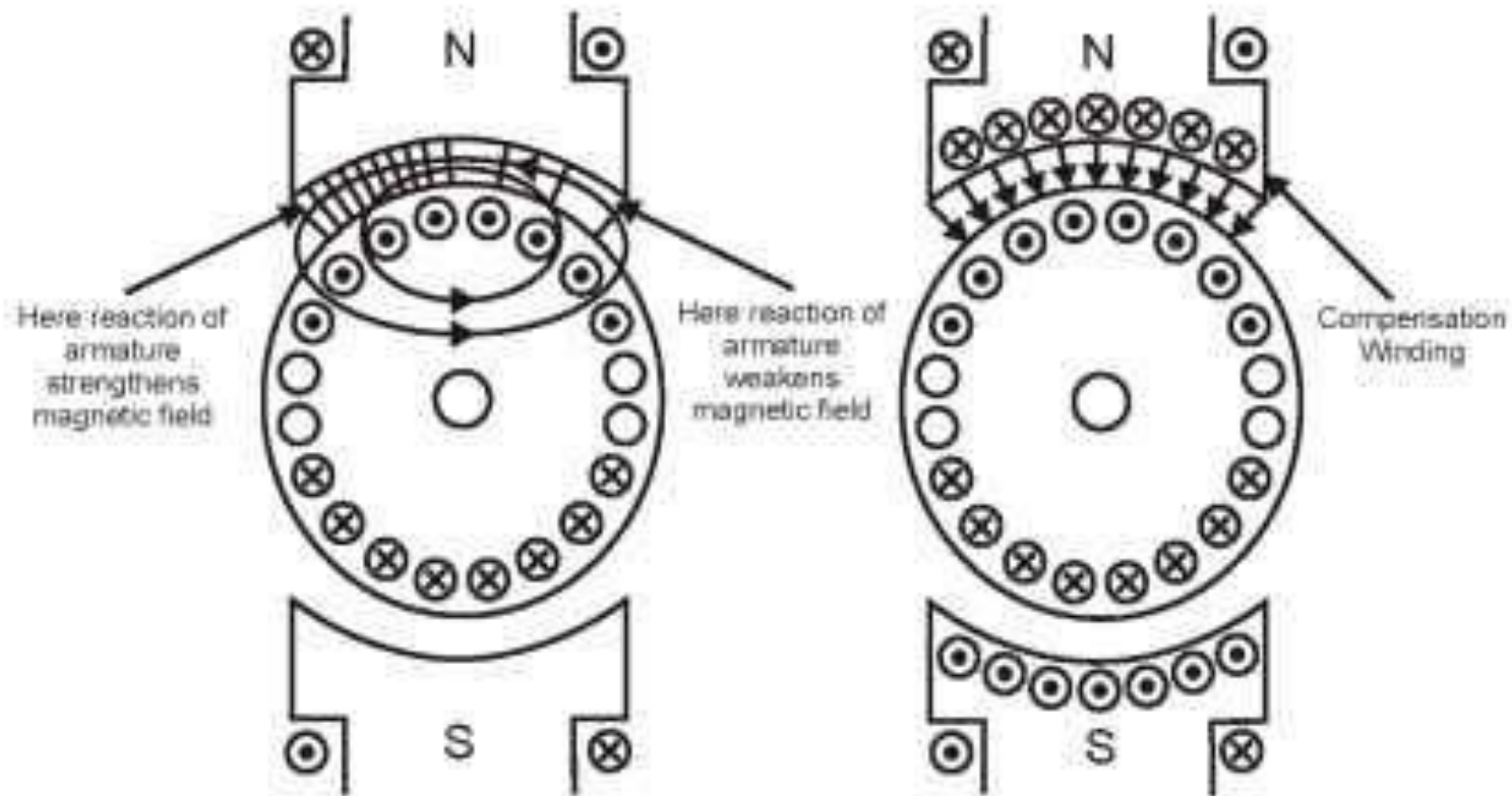
# Problemas en la conmutación

## ► Reacción en la armadura



# Problemas en la conmutación

## ► Reacción en la armadura



# Generador con excitación independiente

## - reacción de armadura

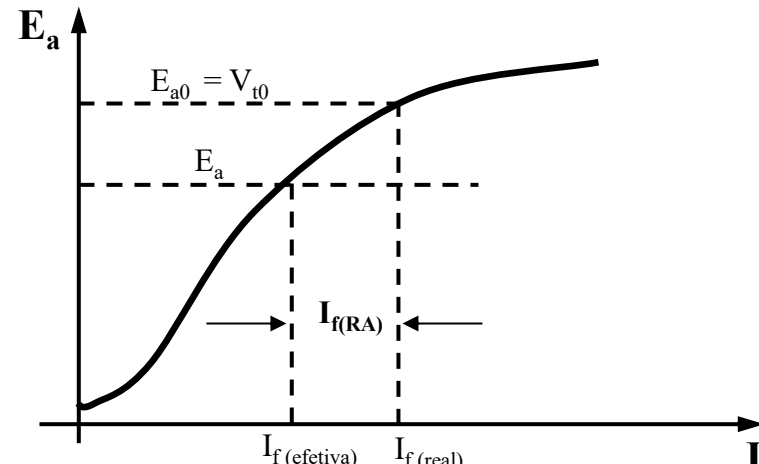
- O efecto neto de la reacción de armadura puede ser traducida como una disminución de la corriente campo, o sea:

$$I_{f(efectiva)} = I_{f(real)} - I_{f(RA)}$$

$I_{f(efectiva)}$ : corriente que recorre el devanado de campo;

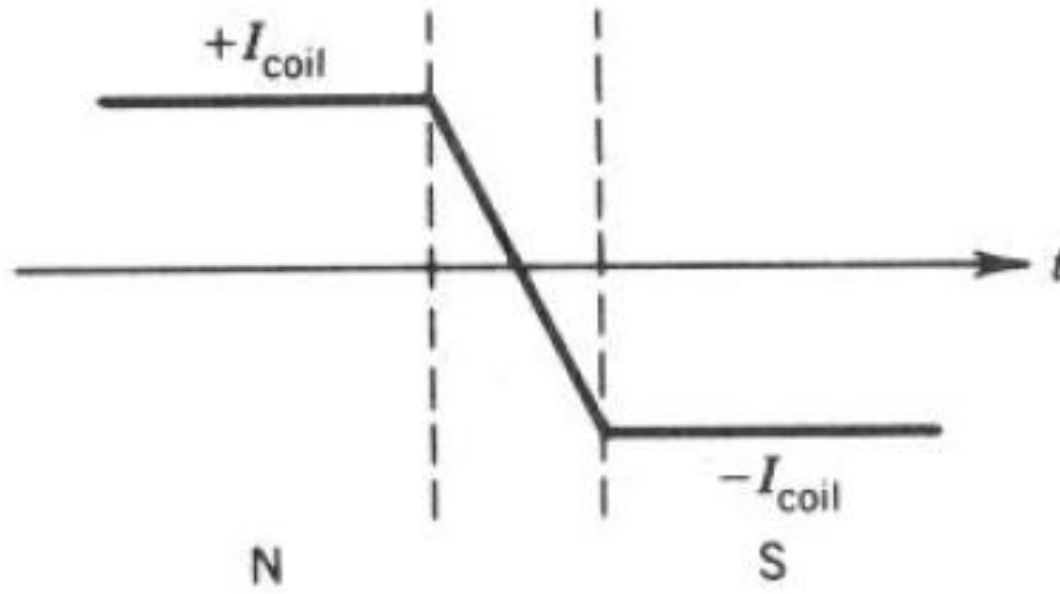
$I_{f(real)}$ : corriente que produce el flujo neto en el eje  $d$ .

$I_{f(RA)}$ : reacción de la armadura traducida como una corriente de desmagnetización en el devanado de campo.



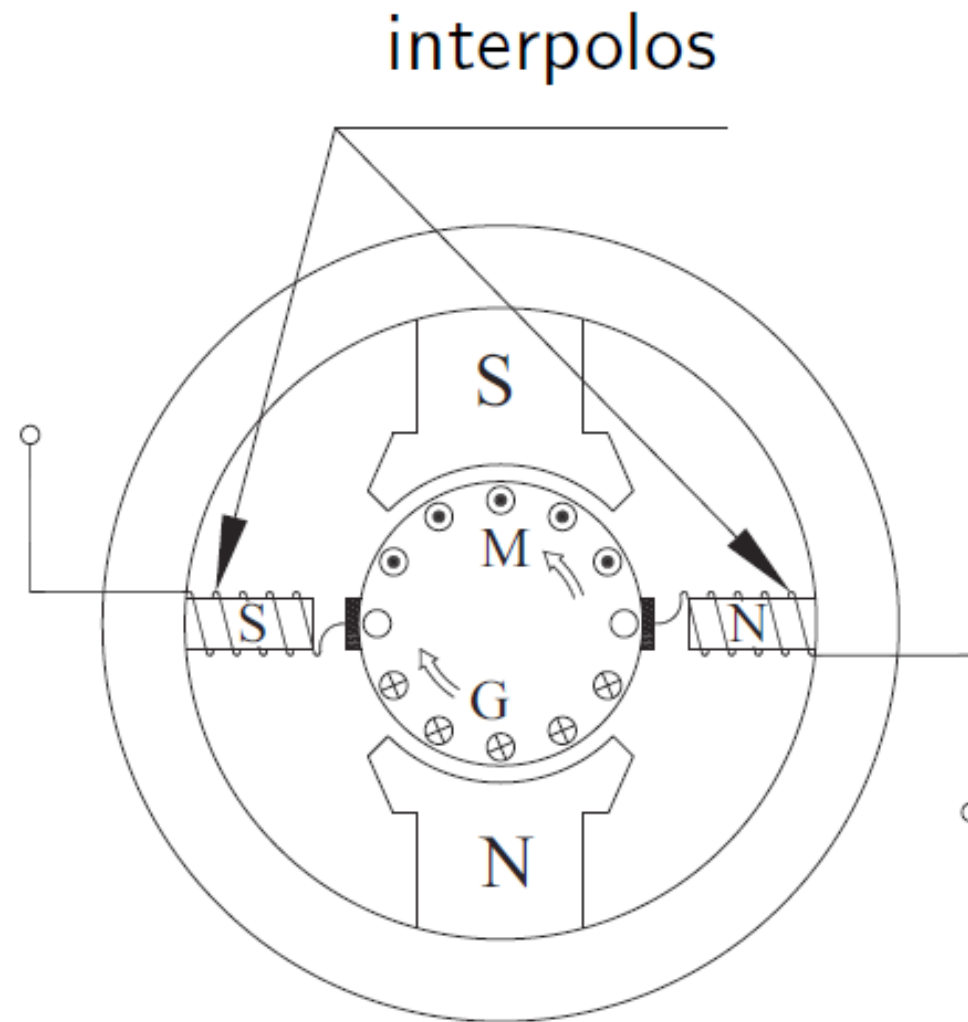
# Tensión inducida

$$V = L \frac{di}{dt}$$



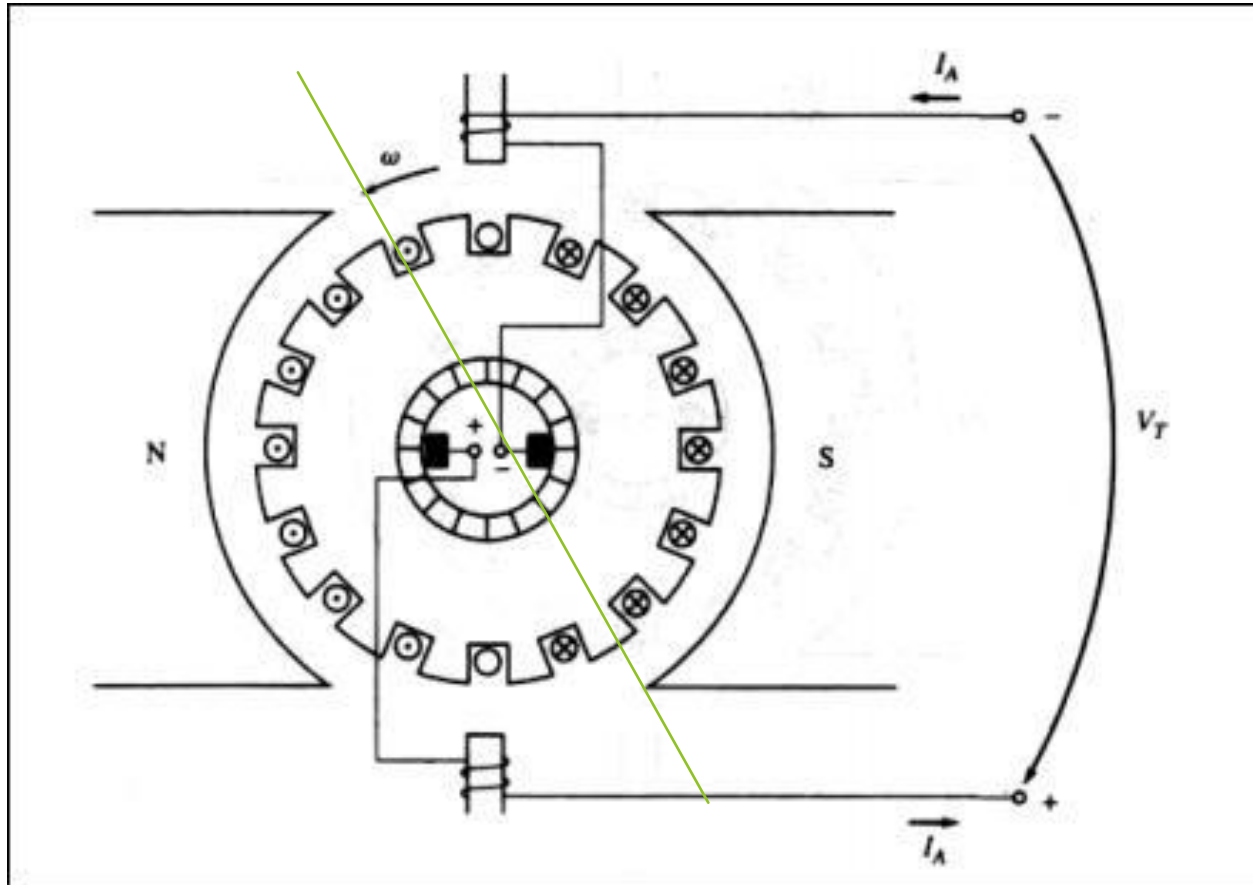
(c)

# Interpolos



(e) Interpolos

# Interpolos



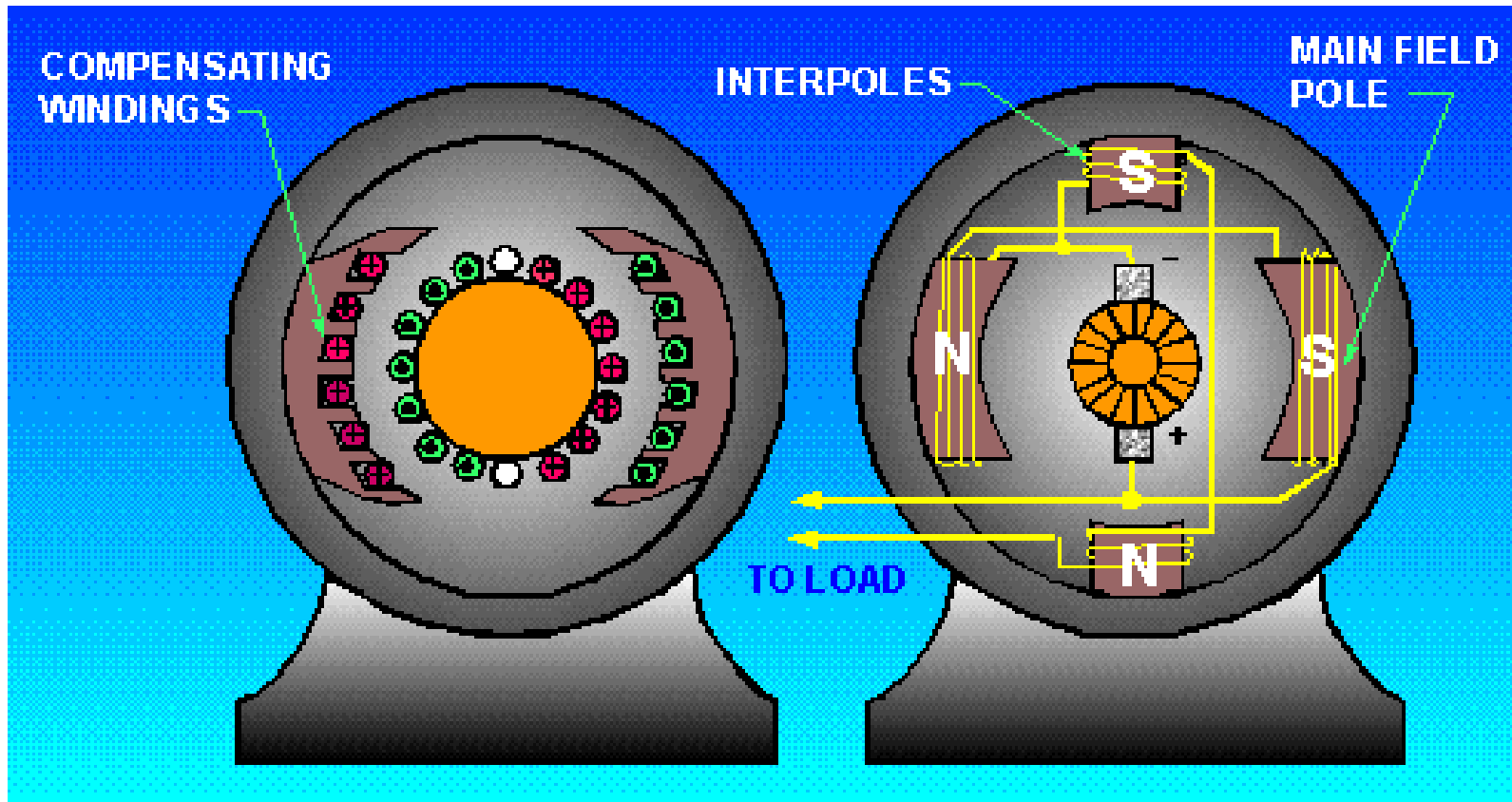


# Interpolos





# Devanado compensador



# Maquinas CC - Torque

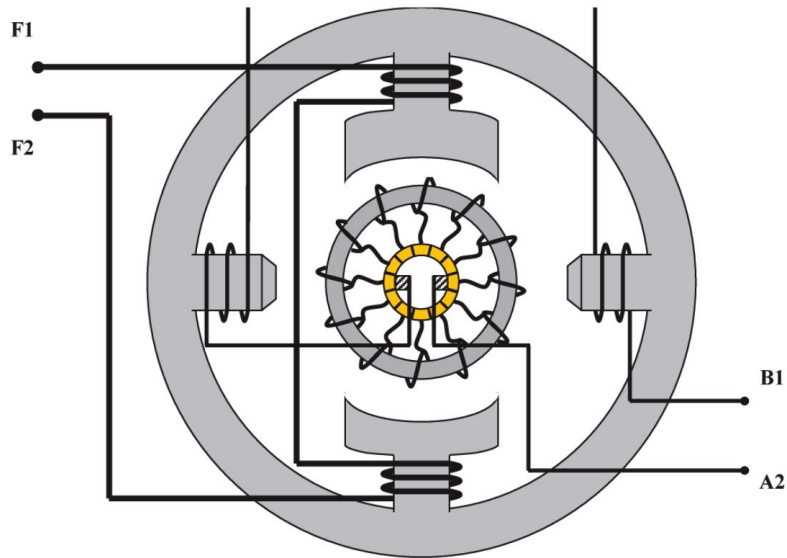
$$T = K\Phi I_A$$

La expresión es valida como motor o como generador;

**Como motor:** representa el torque desenvuelto para atender la carga (principal variable de la maquina)

**Como generador:** representa un torque de reacción, o torque resistivo al torque introducido por la maquina primaria;

# Aspectos constructivos



Estator: se encuentra el devanado de excitación en los dos polos principales. Hay dos polos auxiliares, a 90grados, y donde están conectados los conmutadores.

En el rotor (inducido), circula la corriente del inducido y de los polos auxiliares.