



CURSOS EXTRAORDINARIOS

## **Electrotecnia** **Máquinas D.C**



Departamento de Informática y Automática  
Universidad de Salamanca



# Contenidos

- ➡ Funcionamiento y constitución
- ➡ Fuerza electromotriz inducida en el vacío
- ➡ Fenomenología: Reacción de inducido y conmutación
- ➡ Procedimientos de excitación
  - ✓ Independiente
  - ✓ Paralelo
  - ✓ Serie
  - ✓ Compuesta
- ➡ Características dinámicas
- ➡ Motor vs. Generadores



# Introducción

## ✎ Máquinas eléctricas realizan una conversión

- ✓ Energía Eléctrica  $\Leftrightarrow$  Energía Mecánica
  - ✓ Generadores
  - ✓ Motores
- ✓ Procesos reversibles. Rendimiento
  - ✓ Conversión no reversible de Energía en calor

## ✎ Principio teórico de funcionamiento

- ✓ Leyes
  - ✓ Faraday
    - "El voltaje inducido en una espira o bobina de un conductor es proporcional a la rapidez de cambio de las líneas de fuerza que atraviesan la bobina"
  - ✓ Biot y Savart (Fuerza presente en un motor y generador)
- ✓ Relación de campos eléctricos y magnéticos (**E**, **B**)
  - ✓ Manifestación de fuerzas

## ✎ Maquinas eléctricas rotativas

- ✓ Fenómenos de acoplo de inducción electromagnetismo y ferromagnetismo
  - ✓ Corriente Continua (D.C) y Alterna (A.C)



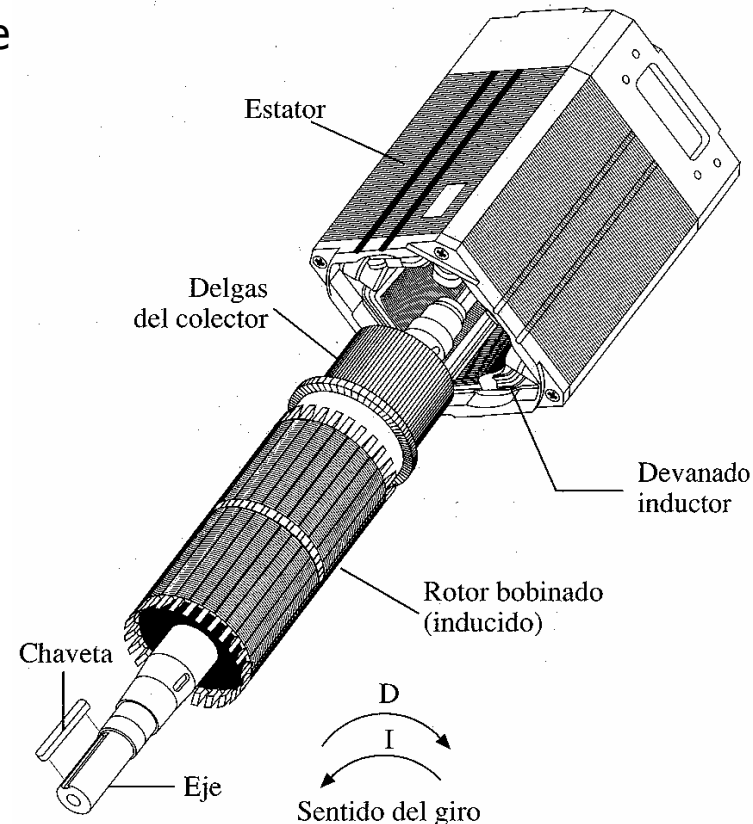
# Componentes de una máquina D.C

## ✎ Rotor

- ✓ Cilindro de material ferromagnético que en su superficie presenta un ranurado en el que se aloja el **devanado inducido**

## ✎ Estator

- ✓ Corona de material ferromagnético (**culata**) con un conjunto de salientes (**polos**) regularmente distribuidos
- ✓ Alrededor de los polos existen unas bobinas alimentadas por D.C
  - ✓ Devanado que genera un **CAMPO INDUCTOR**
- ✓ Ejes de simetría
  - ✓ Longitudinal
  - ✓ Transversal
- ✓ Existe otro conjunto de polos (salvo en máquinas pequeñas)
  - ✓ Auxiliares o de **conmutación** (Sirven para mejorarla)



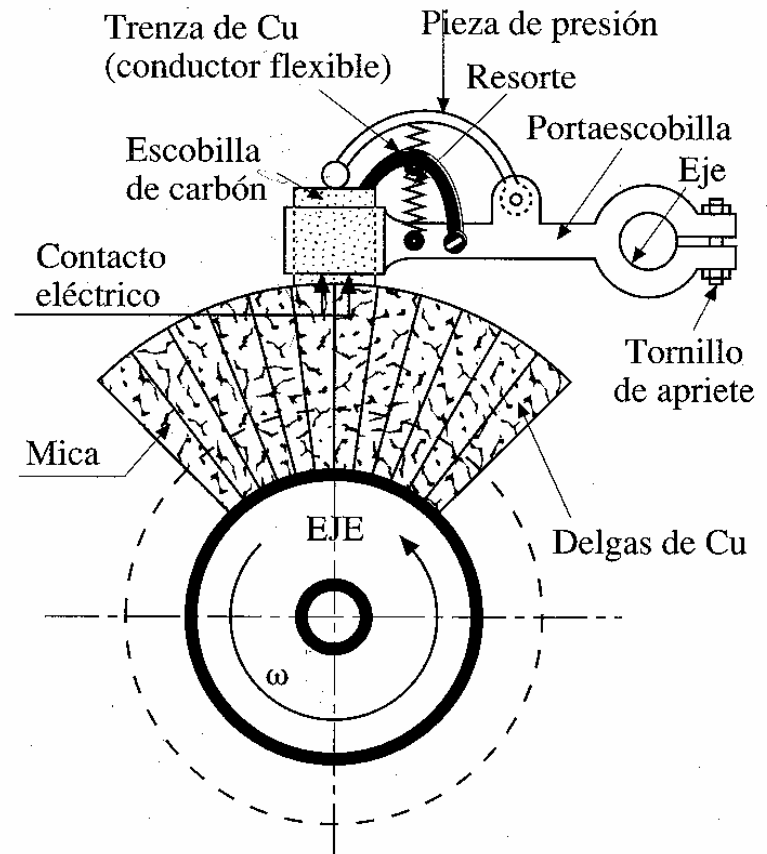


# Componentes de una máquina D.C



## Delgas

- ✓ Conjunto denominado **colector**
- ✓ Piezas de sección trapezoidal, de cobre duro
- ✓ Separadas por un material aislante (Mica)
- ✓ Objetivo
  - ✓ Proporciona continuidad eléctrica entre el devanado móvil (inductor) con el circuito externo a través de las escobillas
  - ✓ Permiten realizar la rectificación de las tensiones alterna que se inducen en las espiras del devanado de inducido



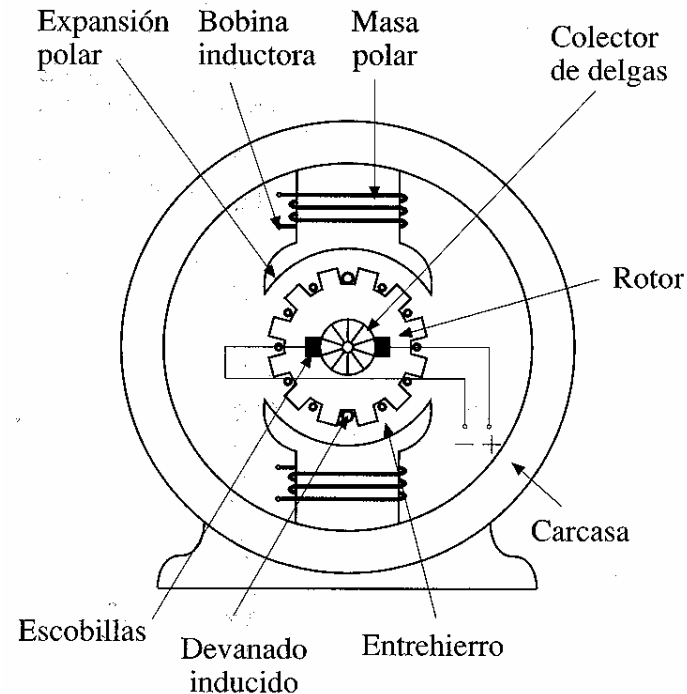


# Componentes de una máquina D.C

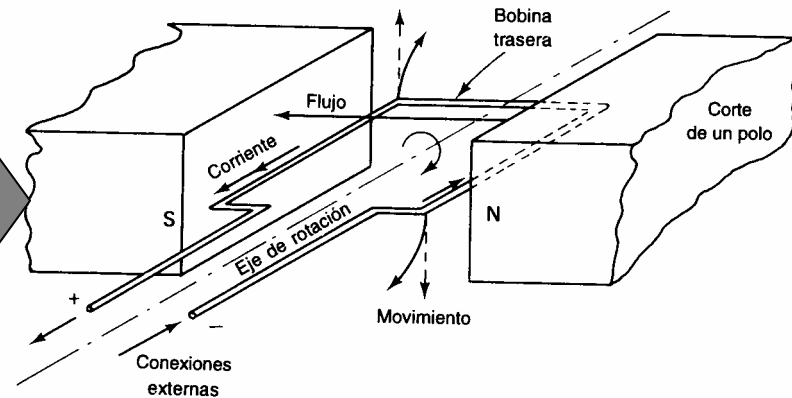


## Escobillas

- ✓ Piezas de grafito que conectan el colector con el circuito exterior



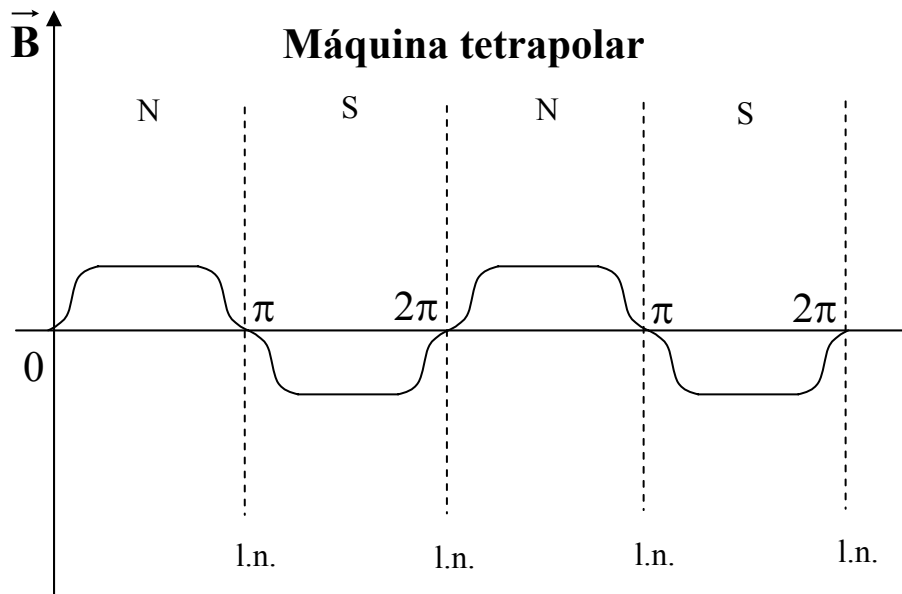
Esquema básico





# Funcionamiento de una máquina D.C

- ➔ Misión del devanado inductor
  - ✓ Generación de un campo magnético
  - ✓ Las líneas de inducción atraviesan el entrehierro
- ➔ Se produce una variación a lo largo de la circunferencia (0- $2\pi$ )
  - ✓ Tantas alternancias como polos tiene la máquina
- ➔ Línea neutra
  - ✓ Generatriz de inducción nula



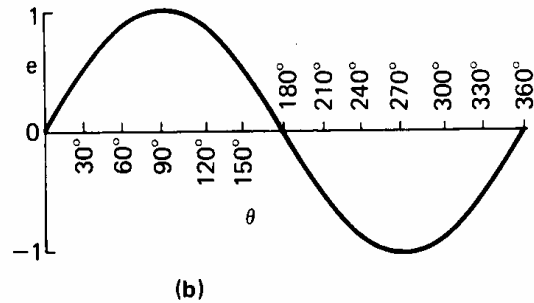
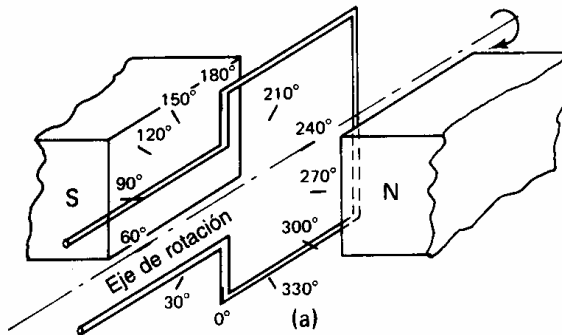
Al girar el inducido, los conductores cortan el flujo → Variación de flujo que genera una f.e.m



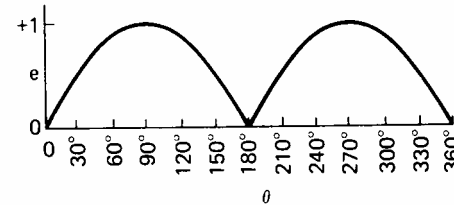
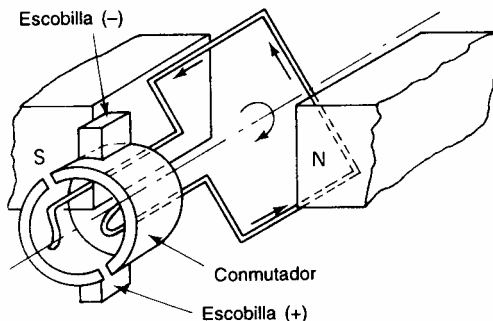
# Funcionamiento de máquina D.C

El colector realiza una labor de rectificación

✓ Variación del campo produce una f.e.m



✓ Las escobillas producen un efecto de rectificación



(b) Voltaje generado contra posición angular (basado en lo mismo que la figura 2-6)





# Funcionamiento de máquina D.C.

➡ Punto de partida. Ley de *Faraday*

✓  $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$

✓  $\Phi = \vec{\mathbf{B}} \cdot \vec{\mathbf{s}} = Bs \cos(\theta) \quad \text{con} \quad \theta = \omega t$

➡ Si el flujo que soporta una espira sigue la siguiente expresión

✓ La f.e.m para cada bobina (z conductores)

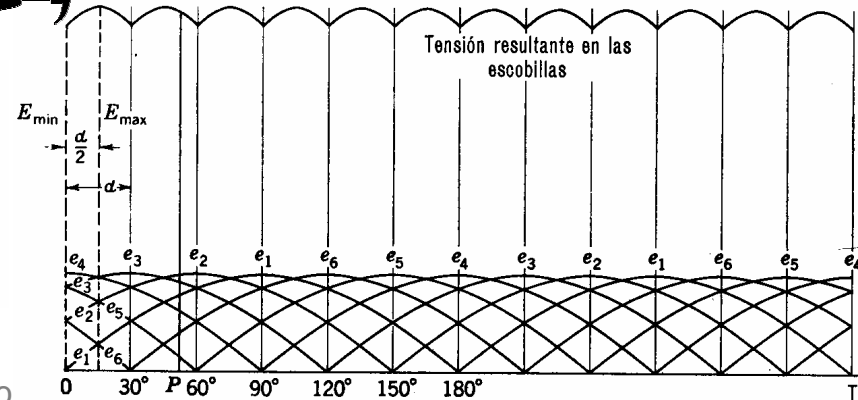
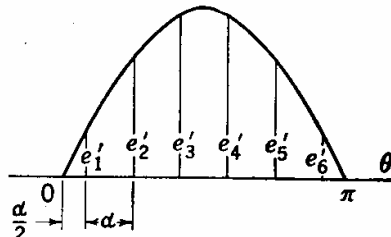
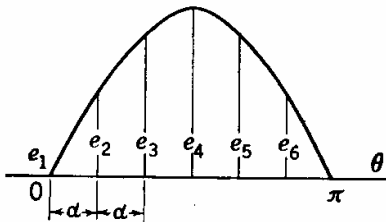
$$\mathcal{E} = 2zB_m l v \sin \theta = \mathcal{E}_m \sin \theta$$

➡ Para s bobinas

✓ Cada instante de tiempo

✓ Superposición

Componente de rizado





# Constitución de una máquina D.C. Estator

- ➡ El estator dispone una serie  $p$  de pares de polos
- ➡ Cada polo recubre el rotor
  - ✓ Homogeneidad en el campo en el entrehierro
- ➡ Definiciones
  - ✓ Eje longitudinal
    - ✓ Une los polos
  - ✓ Eje transversal
    - ✓ Une las líneas neutras (Generatrices de inducción nula)
    - ✓ Máximo de f.e.m
  - ✓ Paso polar ( $\gamma_p$ )
    - ✓ Angulo entre dos polos consecutivos (N-S)
    - ✓ Se mide en unidades de ángulo eléctrico
  - ✓ Angulo eléctrico
    - ✓ Definido por el número de pares de polos de forma  $\theta_e = p\theta$



# Constitución de una máquina D.C

## Rotor

### Tipos

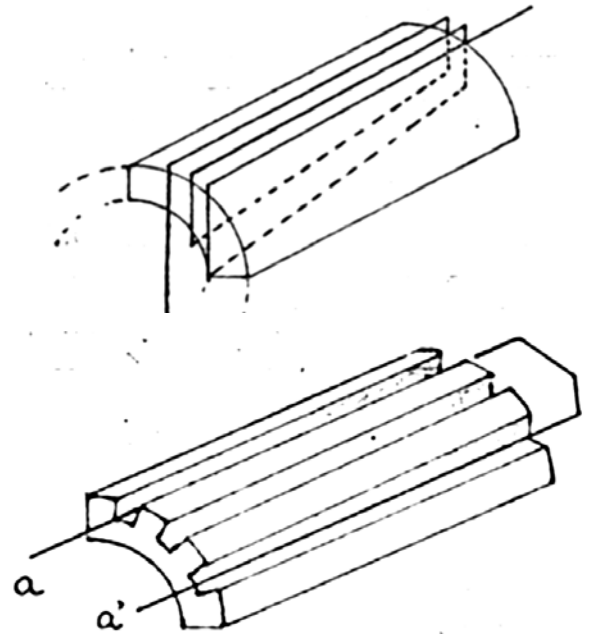
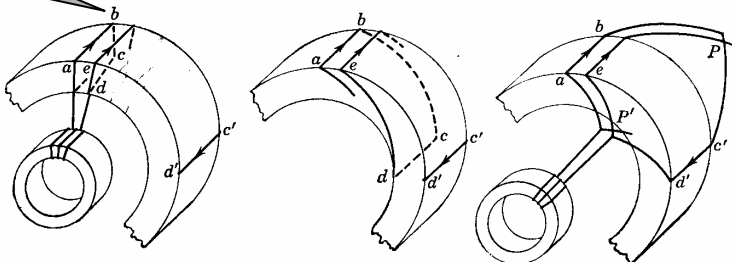
#### ✓ Anillo

- ✓ Principio de funcionamiento sencillo
- ✓ Los conductores van alojados en el rotor formando anillos
- ✓ Problemas
  - Dificultad de bobinado

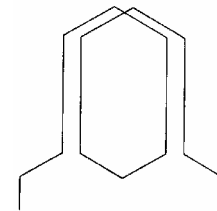
#### ✓ Tambor

- ✓ Los conductores van alojados en el rotor en ranuras periféricas
- ✓ Devanados
  - Ondulados
  - Imbricados

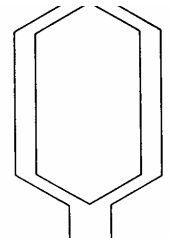
Evolución de anillo a tambor



Ondulado



Imbricado

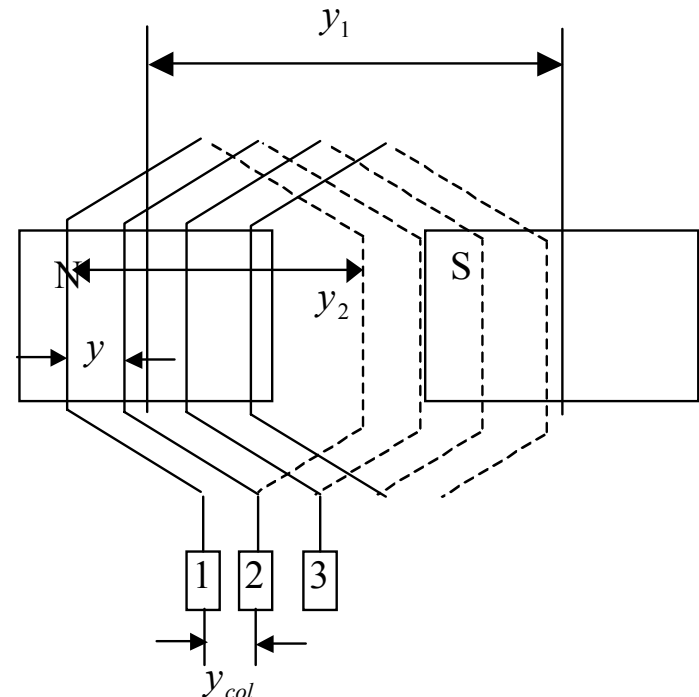




# Devanado de inducido (I)

Definiciones de paso (expresado como número de ranuras elementales)

- ✓ Paso de devanado ( $y$ )
  - ✓ Distancia entre puntos homólogos de las bobinas colocadas en serie
- ✓ Paso de bobina ( $y_1$ )
  - ✓ Distancia entre los lados activos de ida y vuelta de una bobina
  - ✓ Debe ser próximo al paso polar
    - También denominado Paso posterior
    - 3 casos (Relación con paso polar)
      - Diametral (=Paso polar)
      - Acortado
      - Alargado
- ✓ Paso de conexión ( $y_2$ )
  - ✓ Distancia entre lado activo de retorno y el lado activo de ida de la consecutiva
- ✓ Devanado simple o múltiple (cuando se produce un intercalado de devanados)



## Devanado imbricado

- ✓ Conexión en serie de un conjunto de bobinas situados bajo el mismo par de polos
  - ✓ Se verifica que  $y = y_1 - y_2$



## Devanado de inducido (II)



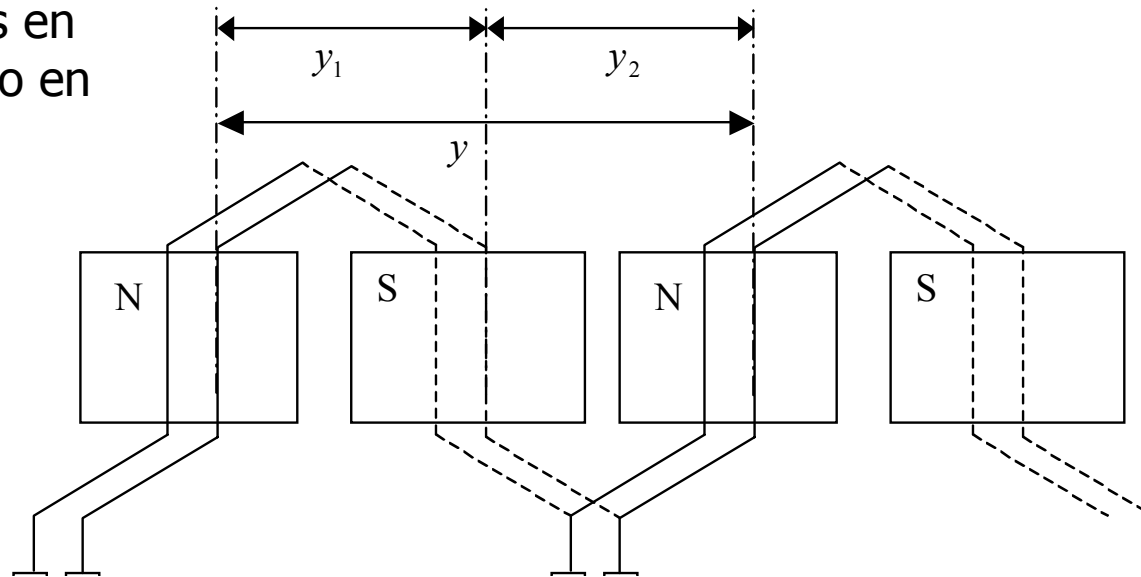
### Ondulado

- ✓ Conexión de las bobinas en posiciones idénticas pero en pares de polos distintos



### Existen diferentes posibilidades

- ✓ Simple
  - ✓ N° ramas siempre 2
- ✓ Múltiple
  - ✓ N° par de ramas
  - ✓  $2a \geq \leq 2p$





## Devanado de inducido (III)

- ☞ La conexión habitual esta formada por un conjunto de espiras conectadas en serie (formando una bobina) y éstas a su vez en paralelo constituyendo diversas ramas
  - ✓ La simetría de los campos magnéticos y la distribución de bobinas uniforme
    - ✓ Número de ramas:  $2a$
- ☞ Devanado imbricado
  - ✓ Simple
    - ✓  $a=p$  (Número de pares de ramas=Número de pares de polos)
  - ✓ Múltiple
    - ✓  $2a=y2p$
- ☞ Devanado Ondulado
  - ✓ Simple
    - ✓  $a=1$
  - ✓ Múltiple
    - ✓  $2a<>=2p$



# Aplicación de los tipos de devanados

## ✎ Clasificación de máquinas

### ✓ Imbricado

#### ✓ Simple ( $a=p$ )

- ✓ Potencia media y tensión normal
- ✓ Gran potencia y tensión media

#### ✓ Doble ( $2a=4p$ )

- ✓ Pequeña potencia y tensión baja
- ✓ Media y gran potencia con tensión reducida y normal

### ✓ Ondulado

#### ✓ Simple ( $a=1$ )

- ✓ Pequeña y media potencia con tensión normal, media y alta

#### ✓ Múltiple

- ✓ Potencia media y tensión media

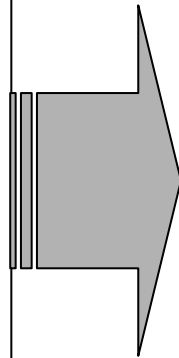
## ✎ Criterios

### ✓ Potencia

- ✓ Pequeña: hasta 50 Kw
- ✓ Media: entre 50 y 500 Kw
- ✓ Grande: mas de 500 Kw

### ✓ Tensión

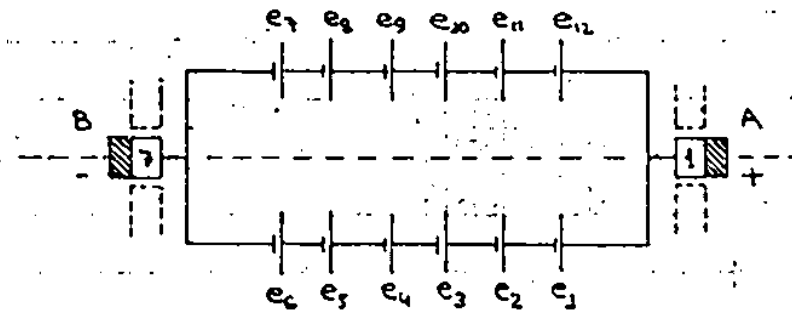
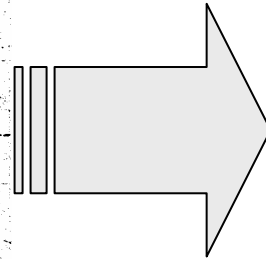
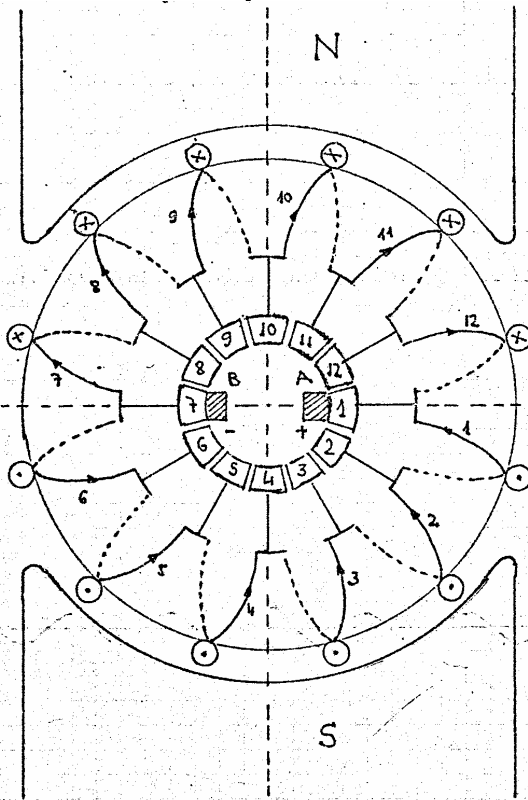
- ✓ Baja: menos de 24 V
- ✓ Reducida: entre 32 y 80 V
- ✓ Normal: entre 100 y 300 V
- ✓ Media: entre 400 y 600 V
- ✓ Alta: más de 600 V





# La f.e.m inducida en el vacío

➔ Para una posición de la máquina



$a=1$ . Un par de ramas





# La f.e.m inducida en el vacío

## 👉 Deducción I

✓ Se tenía que la f.e.m  $\varepsilon_T = \varepsilon_m \sin(\alpha) + \varepsilon_m \sin(2\alpha) + \dots$

✓ El valor medio  $E = \frac{2\varepsilon_m}{\alpha}$  donde  $\varepsilon_m = 2B_m l z v$

✓  $\alpha$  intervalo entre bobinas

•  $s$  espiras en serie  $\alpha = \frac{\pi}{s}$

✓ Por tanto

$$E = \frac{4zlvB_ms}{\pi} \quad \text{y} \quad zs = \frac{N'}{4a}$$

✓ Si el campo es sinusoidal

$$\bar{B} = \frac{2B_m}{\pi} \quad \text{y por tanto} \quad \Phi = \frac{\pi D}{2p} l \bar{B} = \frac{D l B_m}{p}. \quad v = \frac{\pi n D}{60 \cdot 2}$$

✓ Queda

$$E = \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{60} N' \Phi$$



# La f.e.m inducida en el vacío

## ➡ Deducción II

- ✓ Cualquiera que sea la curva de variación de la inducción en el entrehierro, el valor medio (absoluto) de la f.e.m inducida en una espira

$$\Delta\Phi = 2\Phi_m$$

- ✓ Si la máquina tiene  $2p$  polos  $\Delta t = \frac{1/2p \text{ revol}}{n/60 \text{ r.p.s}} = \frac{60}{2pn} \text{ s}$

- ✓ Se tiene  $\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{4pn\Phi_m}{60}$

- ✓ Si tiene  $N'$  conductores activos y  $2a$  circuitos derivados
  - ✓  $N'/4a$  espiras en serie por rama

$$\varepsilon = \frac{p}{a} \frac{n}{60} N' \Phi_m$$



## Par electromagnético

☞ Si existe una corriente en el inducido

- ✓ Fuerza electromagnética que actúa sobre cada conductor

$$F_j = l \cdot i \cdot B_j$$

- ✓ Sobre el eje de giro se produce un par

$$\tau_j = l \cdot i \cdot B_j \cdot r \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

- ✓ El par total será la suma

$$\Gamma = \sum_{j=1}^{N'} \tau_j = \sum_{j=1}^{N'} l \cdot i \cdot r \cdot B_j = l \cdot i \cdot r \cdot \sum_{j=1}^{N'} B_j$$

- ✓ Con un n° elevado de conductores  $N'$ , el valor total del sumatorio es igual al valor medio de la inducción multiplicado por dicho  $N'$  donde

$$B_{medio} = \frac{\text{Flujo máximo}}{\text{Long. paso polar} \cdot \text{Long activa}} = \frac{\Phi_m}{\frac{2\pi r}{2p} l} = \frac{p\Phi_m}{\pi r l}$$



## Par electromagnético

- ➡ La corriente que circula por cada rama en paralelo (2a ramas)

$$i = \frac{I}{2a}$$

- ➡ Sustituyendo en las expresiones anteriores

$$\Gamma = l \cdot i \cdot r \cdot N' \cdot B_{medio} = \frac{p}{2\pi a} N' \Phi_m I = \frac{1}{2\pi} (2p \Phi_m) \left( N' \frac{I}{2a} \right)$$

- ➡ Proporcional al productos

- ✓ Flujo de todos los polos
- ✓ Corriente que circula por todos los conductores del inducido

- ➡ Denominado PAR INTERNO y está presente

- ✓ Motores (Par motor)
- ✓ Generadores (Par resistente)
  - ✓ Se opone al movimiento de giro de la máquina que le impone el giro



# Potencia

- ➡ Potencia eléctrica interna

$$P_{ei} = \varepsilon \cdot I$$

- ➡ Potencia mecánica interna

$$P_{mi} = \Gamma \omega$$

- ➡ Expresión

$$P_{mi} = P_{ei} = \frac{p}{a} \frac{n}{60} N' \cdot \Phi_m \cdot I$$

- ➡ Se suele relacionar con parámetros característicos de la máquina
  - ✓ Diámetro del cilindro de inducido
  - ✓ Longitud neta útil



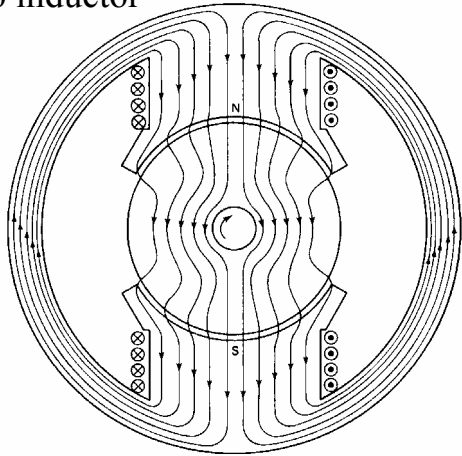
# Fenomenología

- ☞ El análisis realizado es valido para máquinas D.C (Motores y generadores)
- ☞ Efecto de reacción de inducido
  - ✓ Situación presente siempre en los motores
  - ✓ Generadores
    - ✓ Cuando no tienen ninguna carga la corriente en el inducido es nula (Excitación independiente)
    - ✓ En carga (y otros tipos de excitación)
      - Existe una corriente en los devanados de inducido que generan un campo magnético que modifica el generado por los polos del estátor
  - ✓ La aparición de este campo produce efectos “no deseados” que se engloban en el efecto denominado “reacción de inducido”
- ☞ Problemas en la conmutación en las delgas del colector

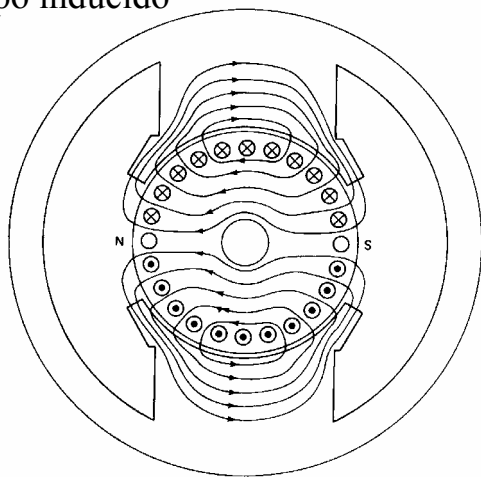


# Reacción de inducido

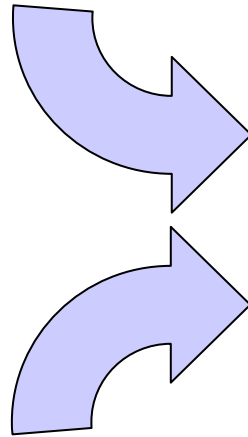
Campo inductor



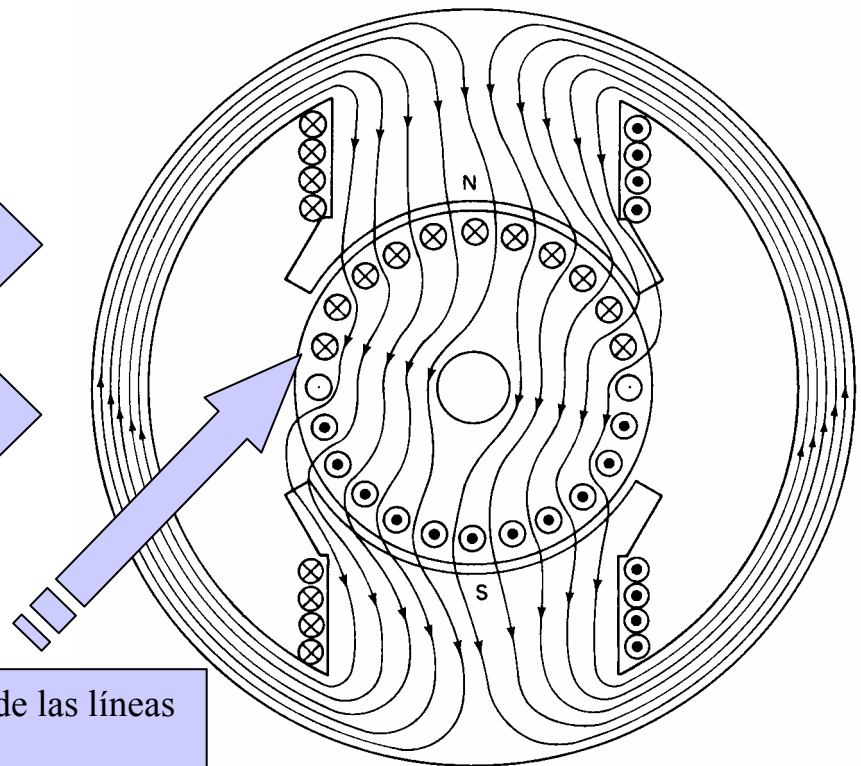
Campo inducido



La existencia de corriente en el inducido produce campo magnético que se superpone con el campo generado por los polos



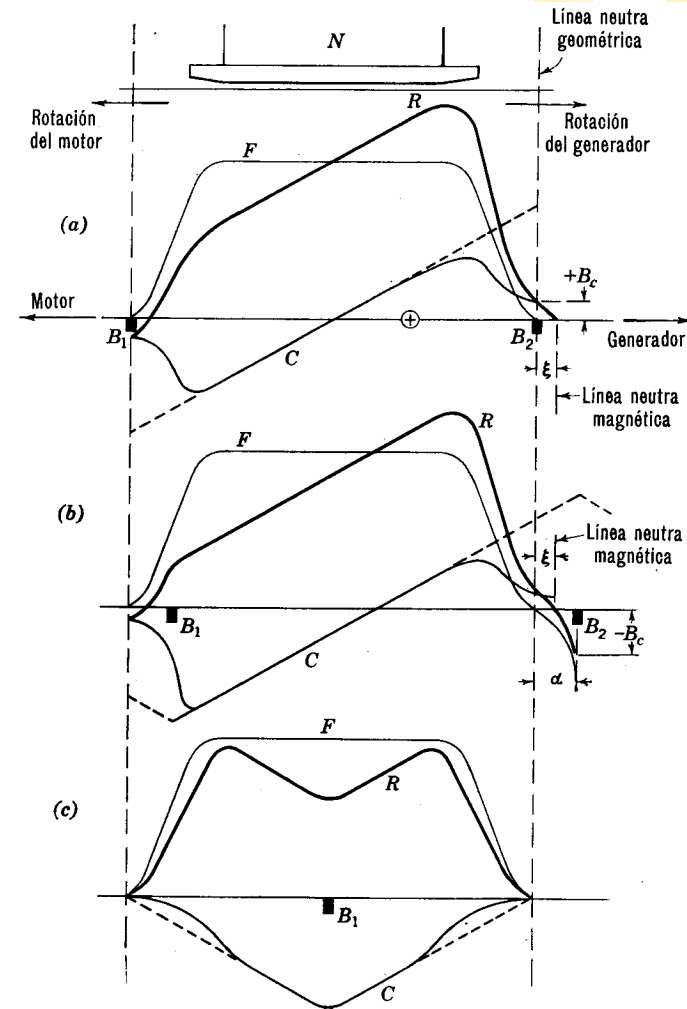
Modificación de las líneas neutras





# Reacción del inducido

- ➡ **Modificación en las líneas neutras**
  - ✓ Existe una f.e.m en las bobinas conectadas
  - ✓ Chispazos en la conmutación
- ➡ **Soluciones**
  - ✓ Desplazamiento (Decalado) de las escobillas
    - ✓ Se produce un fenómeno de Reacción longitudinal
  - ✓ Generar un campo de compensación
    - ✓ Bobinas de compensación
      - POLOS AUXILIARES
    - ✓ Utilizado en máquinas de gran tamaño
- ➡ Se representa su efecto por una caída en la f.e.m  $\Delta \mathcal{E}$

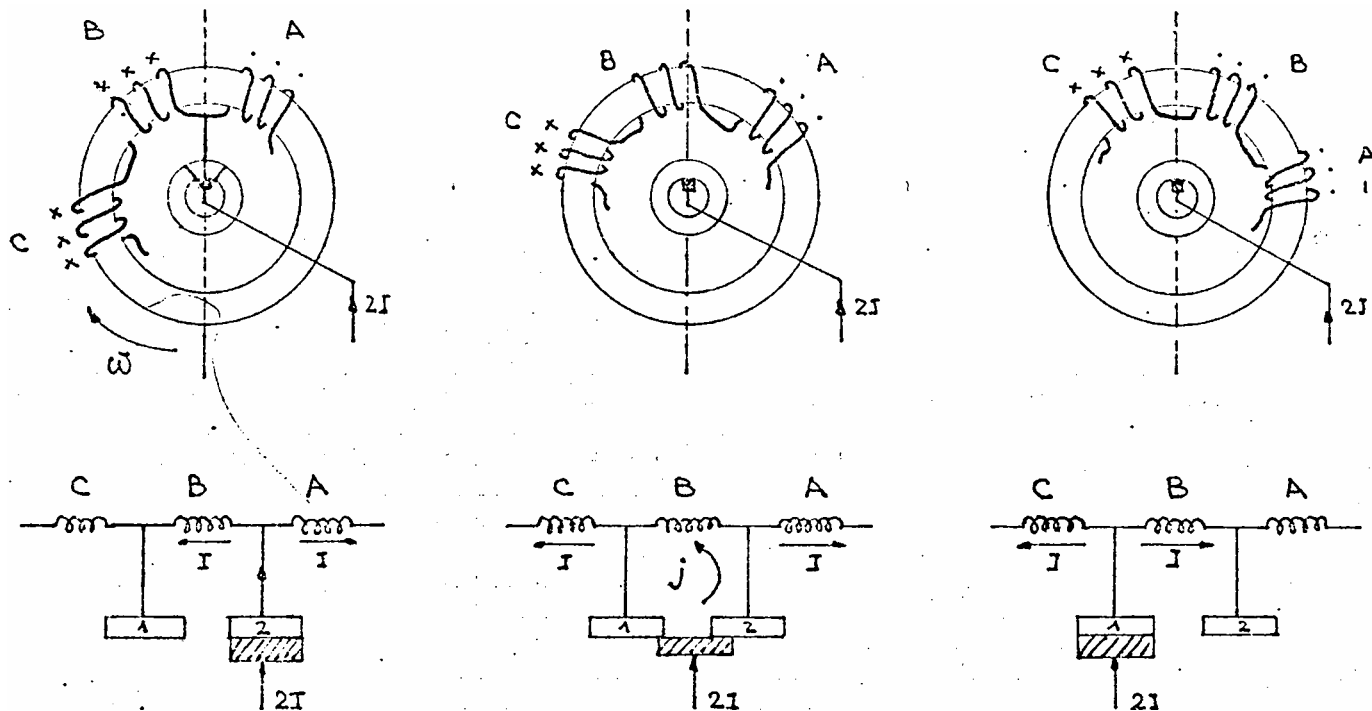






# Conmutación

- Es interesante conocer cómo se produce la conmutación
  - ✓ Variaciones en la densidad de corriente
  - ✓ Problemas de chispas que limitan el correcto funcionamiento del motor





# Conmutación

➡ Si se realizan las siguientes hipótesis

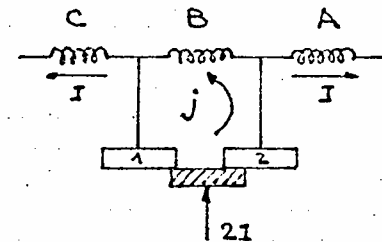
- ✓ Resistencia de las bobinas es despreciable frente a la resistencia colector (delga)-escobilla
- ✓ La resistencia colector escobilla es inversamente proporcional a la sección de contacto delga-escobilla

➡ Conmutación ideal

- ✓ Si  $T_0$  es el tiempo de la conmutación, las superficies  $S_1$  y  $S_2$  que son cubiertas por la escobilla

$$S_1 = S \frac{t}{T_0} \quad S_2 = S \frac{T_0 - t}{T_0}$$

$$j = \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} I \Rightarrow j = \left( 1 - 2 \frac{t}{T_0} \right) I$$



- Durante la conmutación la densidad de corriente es constante

➡ Existen corrientes residuales (Reacción de inducido)

- ✓ Soluciones: Decalado de escobillas, polos de conmutación

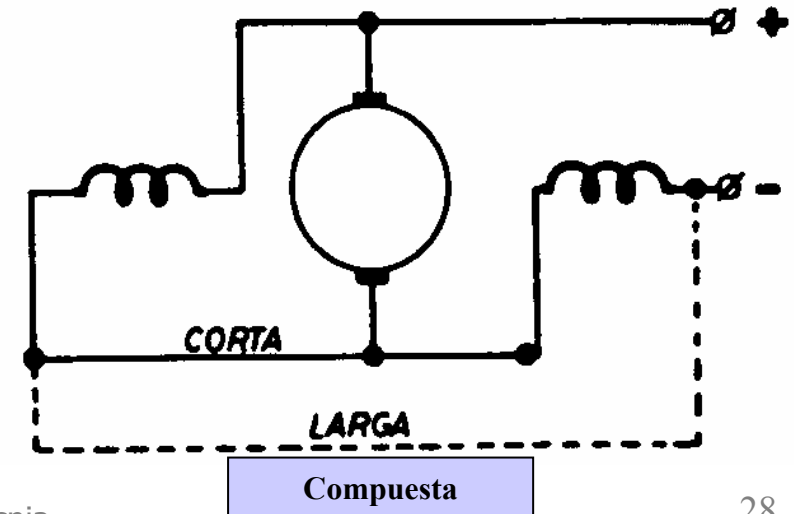
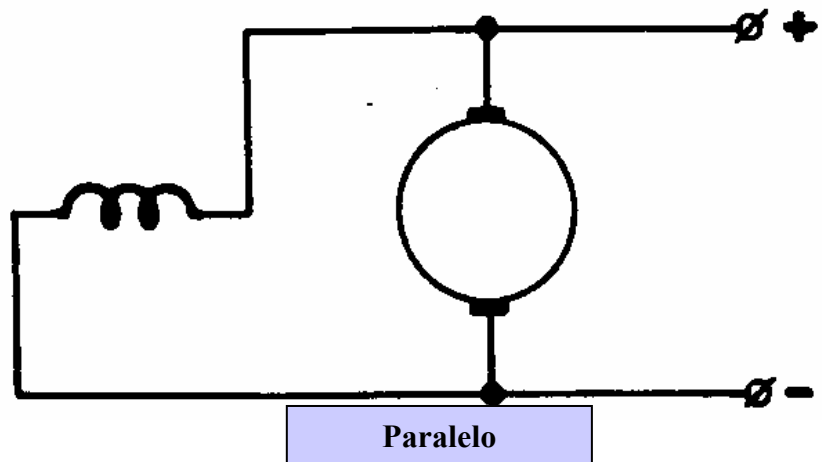
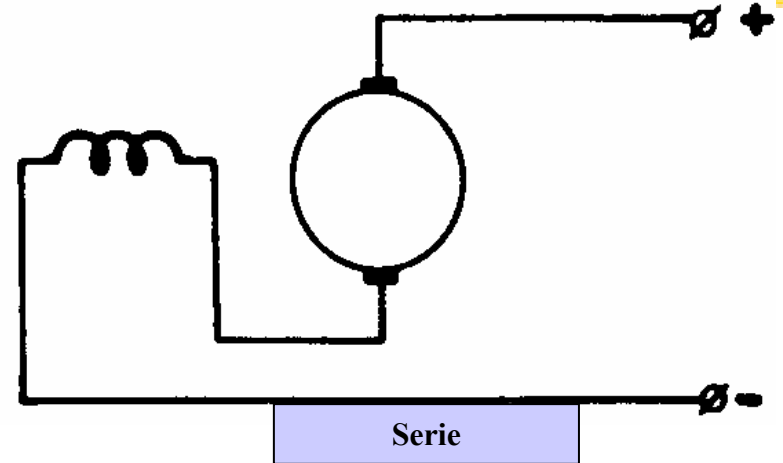
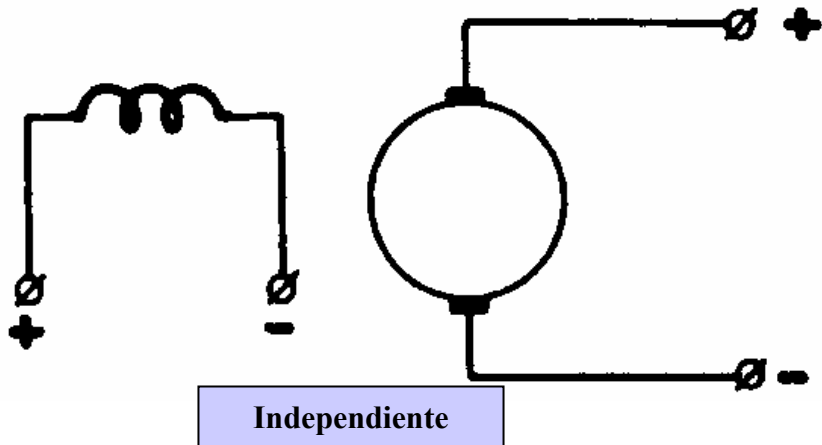


# Procedimientos de excitación magnética

- ☞ Alternativas para la creación del campo magnético por los polos
  - ✓ Imanes permanentes
    - ✓ Campos magnéticos bajos
      - Motores de baja potencia
      - Ventaja
        - Sencillez de control de movimiento
  - ✓ Electroimanes
    - ✓ Campos magnéticos más altos
    - ✓ Alternativas
      - Excitación Independiente
        - Alternativa inicial a la generación mediante imanes permanentes
        - Mantienen la sencillez para el control de movimientos
        - INCONVENIENTE: Requiere de una fuente de energía eléctrica adicional
      - Excitación dependiente
        - Los devanados de inducido e inductor mantienen una conexión eléctrica
        - TIPOS: SERIE, PARALELO y COMPUESTA



# Procedimientos de excitación magnética





# Dinamos. Excitación serie

Relación f.e.m  
con U salida


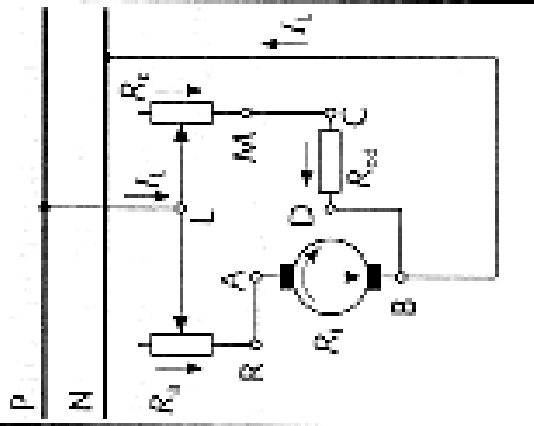
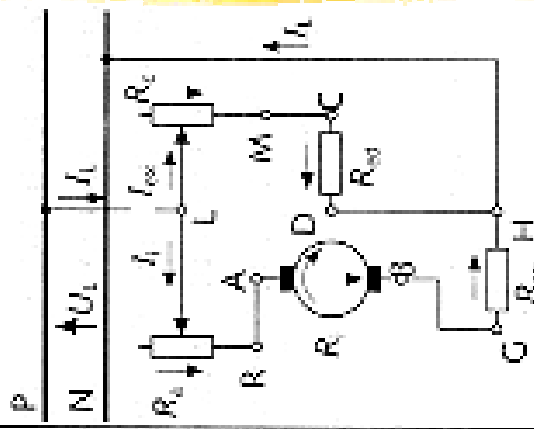

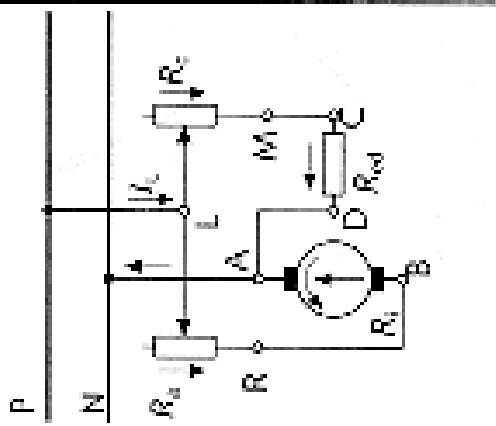
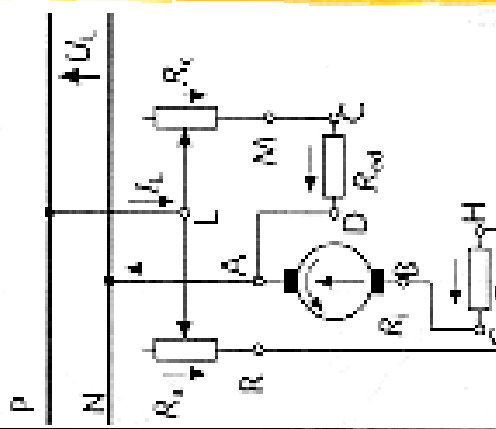
$$E = (R_a + R_i + R_{es})I + U$$

Con polos auxiliares	
Sin polos auxiliares	
Sentido de giro	



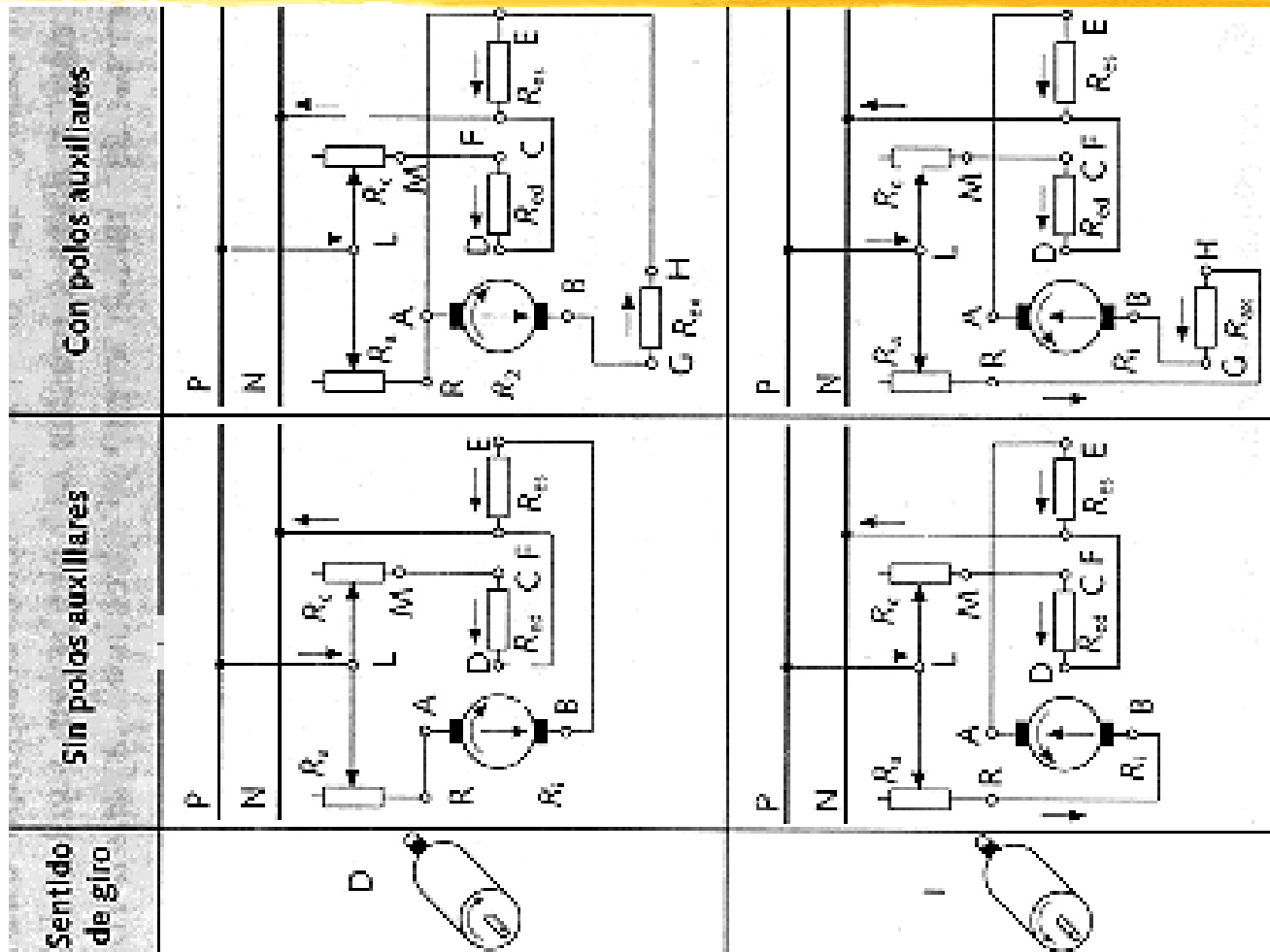
## Relación f.e.m con U salida

$$\begin{aligned} E &= (R_{aux} + R_i)I_i + U \\ U &= R_{ep}I_e \\ I &= I_i + I_e \end{aligned}$$

Sentido de giro		Sin polos auxiliares		Con polos auxiliares				
-----------------	--	----------------------	---	----------------------	--	---	--	---



# Dinamos. Excitación compuesta (Compound)





# Procedimientos de excitación

## Identificación de máquinas (Dinamos)

1. Máquina	2. Resistencias de arranque
A-B Inducido.	L Resistencia de arranque o de excitación en el lado que va a la red.
C-D Excitación en derivación.	R Conexión del arrancador que va a la excitación.
E-F Excitación en serie.	M Conexión del arrancador.
G-H Polos auxiliares o de compensación. Si están separados.	s Reóstato de excitación.
GH-HW Polos auxiliares.	t Reóstato de excitación.
GK-HK Arrollamiento de compensación.	q Borne de la red para cortocircuitar el reóstato de excitación.
Conexión de la excitación serie para el giro a derechas:	3. Bornes de la red
EA-FA Si está al lado A del inducido.	P Positivo en CC.
EB-FB Si está al lado B del inducido.	N Negativo en CC.
J-K Arrollamiento de excitación independiente.	Mp Cero, medio o neutro en CC.
C-E Si la excitación es alimentada por la propia tensión del rotor.	
Devanado de polos auxiliares:	
GA-HA Lado del borne A del inducido.	
GB-HB Lado del borne B del inducido.	





# Características dinamos

- ✎ Se definen las curvas características como la variación de una magnitud eléctrica (o mecánica) de una máquina eléctrica en función de otra magnitud cuando el resto permanecen constantes
- ✎ Clasificación (Generadores)
  - ✓ Vacío  $\mathcal{E} = f(I_e)$ 
    - ✓ Cuando la máquina no tiene carga. (No existe corriente en el inducido)
  - ✓ Exterior  $U = f(I)$ 
    - ✓ Tensión en bornes en el exterior en función de la corriente que cede al exterior
      - Ejemplo: Parametrizada por la Intensidad de excitación
  - ✓ Interior  $\mathcal{E} = f(I_i)$ 
    - ✓ F.e.m en función de la intensidad de inducido
  - ✓ Regulación  $I_e = f(I)$ 
    - ✓ Variación de la Intensidad de excitación en función de la intensidad de carga (Carga y velocidad constantes)

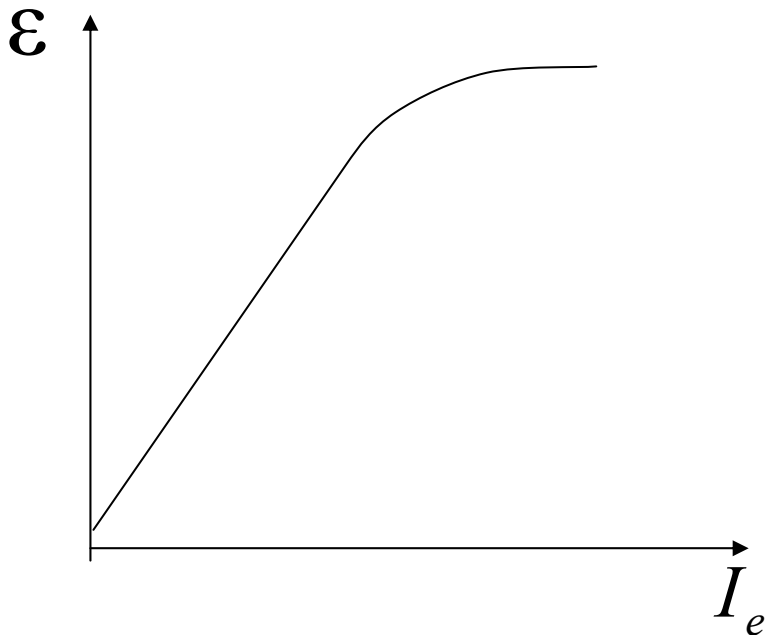


# Características

## Dinamo Exc. independiente

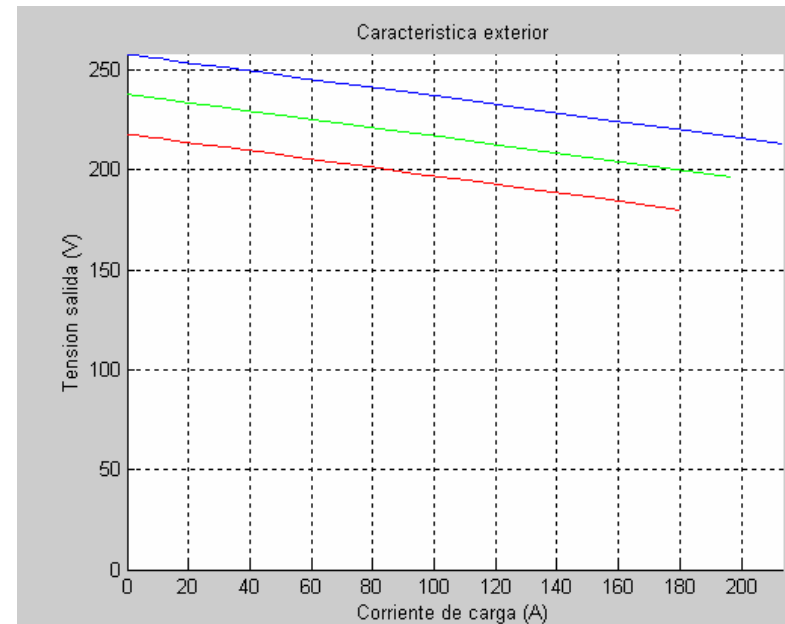
### ☞ Vacío

- ✓ Efecto de las propiedades de magnetización
  - ✓ Saturación
  - ✓ Magnetismo remanente



### ☞ Exterior

- ✓ Velocidad y excitación constantes
  - ✓ Se consideran cargas variables

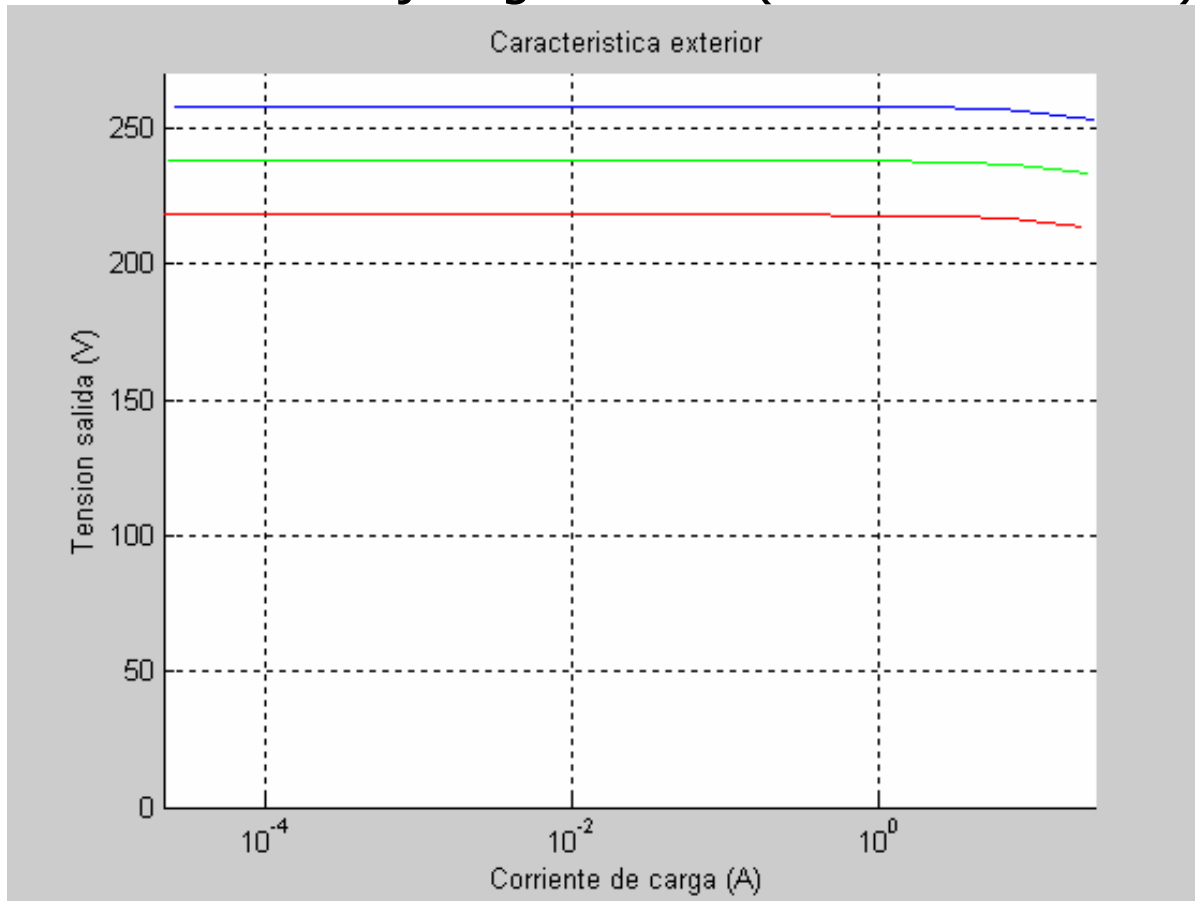




# Características

## Dinamo Exc. independiente

➡ Característica exterior. Eje logarítmico ( $R=10^7 \Omega \rightarrow 10^1 \Omega$ )





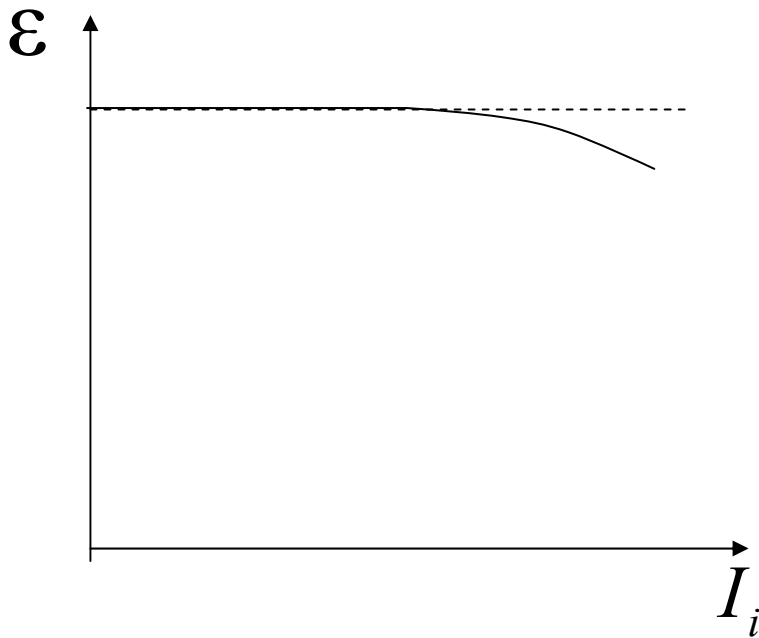
# Características

## Dinamo Exc. independiente



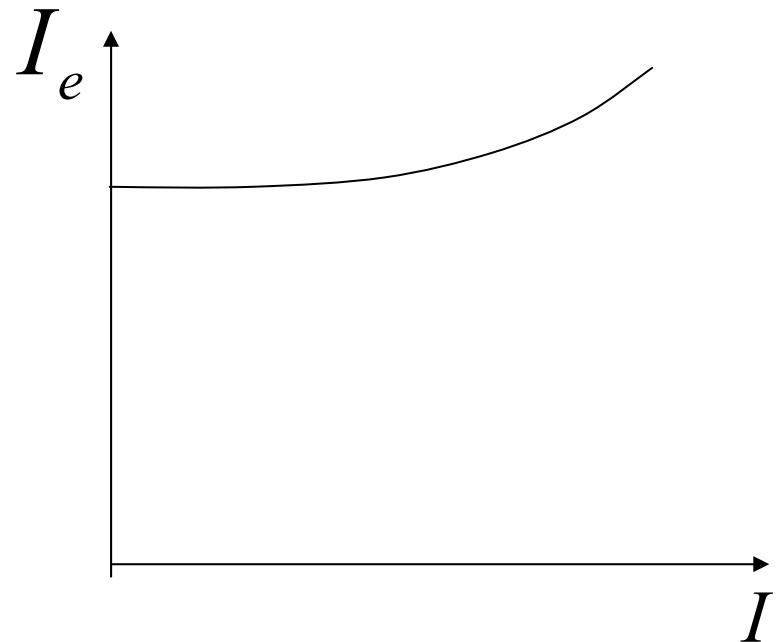
### Característica interna

- ✓ Variación de la f.e.m frente a la intensidad de inducido



### Característica de regulación

- ✓ Variación  $I_e$  frente a la carga a  $U$  cte





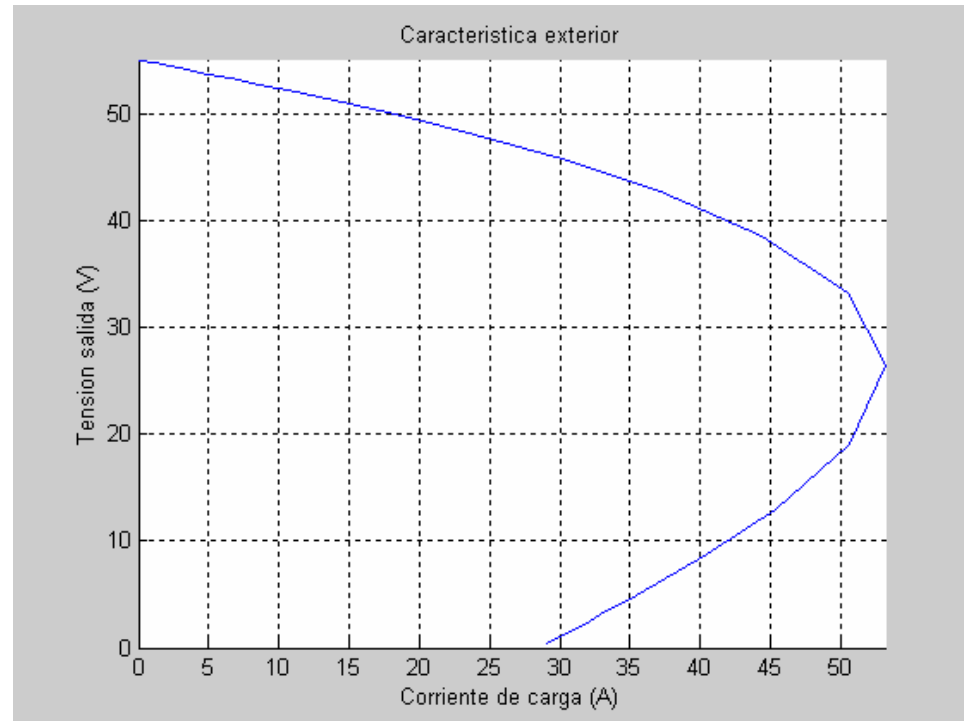
# Características

## Dinamo Exc. *Shunt*



### Característica exterior

- ✓ Se mantiene constante la velocidad
- ✓ Existe un punto de funcionamiento límite
  - ✓ Posibilidad de funcionamiento en cortocircuito
  - ✓ Cuanto menor es la carga la intensidad va hacia la excitación
    - Menor excitación → Menor f.e.m

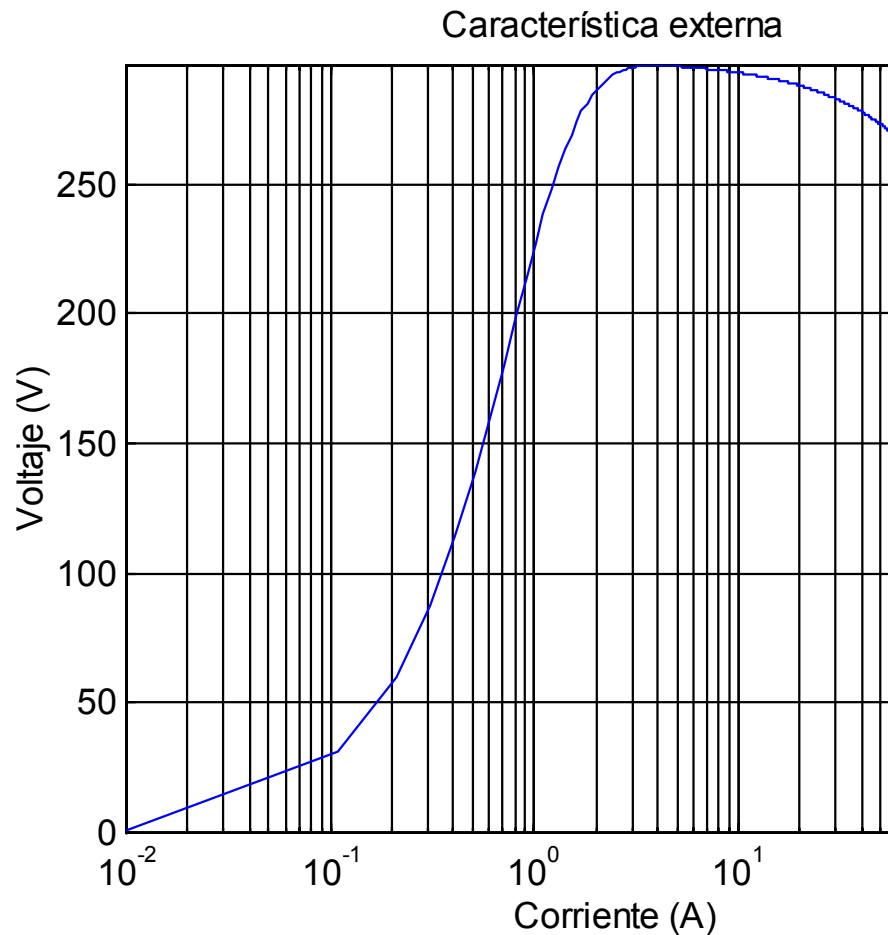




# Características

## Dinamo Exc. Serie

➡ No dispone de característica en vacío





# Ejemplos.

## Dinamos



### Problema 1

- ✓ Una dinamo con excitación independientes tiene 740 conductores activos, gira a 1400 *r.p.m* y el flujo por polo es de 40 *mWb*. El devanado es imbricado simple y tiene cuatro polos. Si por el inducido circulan 10 *mA* y la resistencia de inducido es de 2.1  $\Omega$ , calcular la tensión en bornes
- ✓ Solución
  - ✓ Devanado imbricado simple

$$\begin{aligned} p &= a = 2 \\ U &= E - R_i I = \\ &= \frac{2p \cdot N' \cdot n \cdot \Phi}{2 \cdot a \cdot 60} - R_i I = \frac{2 \cdot 2 \cdot 740 \cdot 1400 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2 \cdot 60} - 10 \cdot 2.1 = 668.66 \text{ V} \end{aligned}$$



# Motor vs. Dinamo



## Aspectos comunes

- ✓ Par electromagnético y velocidad
- ✓ Procedimientos de excitación



## Fuerza contraelectromotriz

- ✓ Ppio inducción electromagnético
  - ✓ En todo conductor que se mueve en el seno de un campo magnético se genera una f.e.m
- ✓ f.c.e.m ( $E'$ )
  - ✓ F.e.m que se genera en el devanado de inducido y que se opone a la tensión aplicada
    - La misma expresión que  $E$

$$E' = \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{60} N' \Phi$$

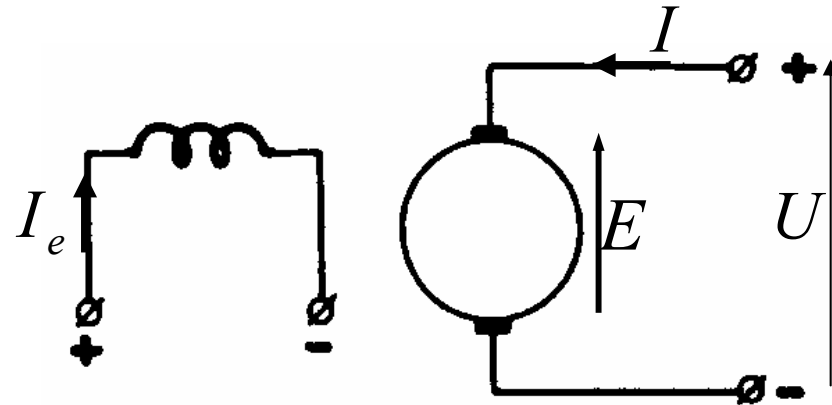




# Motor

## Excitación independiente

- ☞ La fuente de alimentación del devanado inductor es independiente de la máquina
  - ✓ Ejemplo: Batería de acumuladores, rectificador, otro generador rotativo
  - ✓ Caso especial
    - ✓ Generación de campo por imán permanente
- ☞ Adecuada para realizar el control de movimientos/generación de una máquina D.C.
  - ✓ Control por campo
    - ✓ Disponen de un reóstato de excitación para determinar la corriente de excitación
  - ✓ Control por armadura
    - ✓ Reóstato en serie con el devanado de inducido



$$U = R_i I + E'$$



# Motor

## Excitación serie

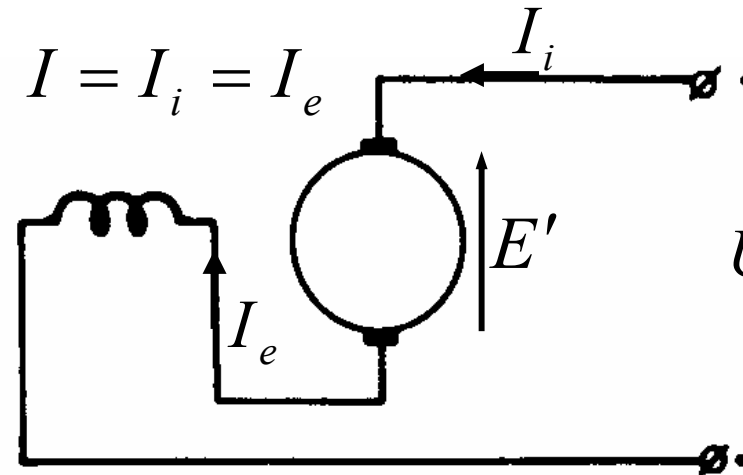
Se verifica



$$n = \frac{2a \cdot 60 \cdot [U - 2V_{col} - I(R_i + R_e + R_{aux})]}{2p \cdot N' \cdot \Phi} \quad \Gamma = K\Phi I_i \approx K'I^2$$

En el arranque

- ✓ La f.e.m es nula inicialmente
  - ✓ Situación próxima al cortocircuito
- ✓ Se incluye una Resistencia de arranque en serie con el devanado de inducido (Reóstato)
  - ✓ Conforme aumenta la velocidad se produce un aumento de la f.c.e.m y se reduce la resistencia de arranque hasta el cortocircuito





# Característica de velocidad

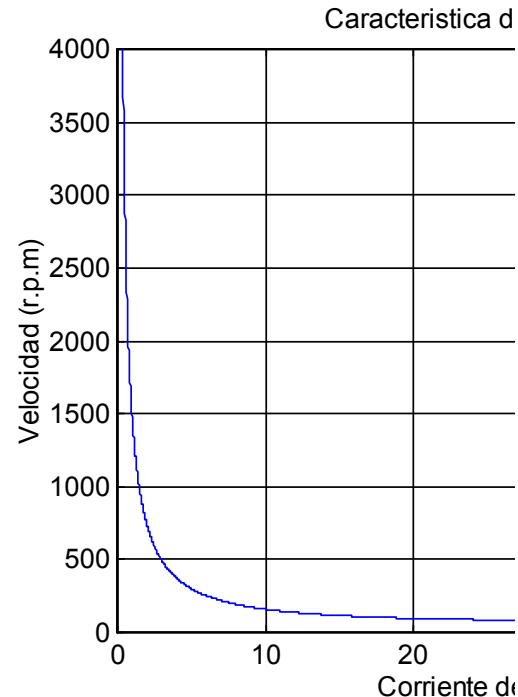
## Motor excitación serie

### ➡ Comportamiento inestable

- ✓ Al disminuir la carga
  - ✓ Aumenta la velocidad

### ➡ Control de velocidad

- ✓ Reóstato en paralelo
  - ✓ Si aumenta la  $I \rightarrow$   
Mayor flujo  $\rightarrow$   
Menor velocidad
- ✓ También se coloca una resistencia en serie con el devanado de inducido

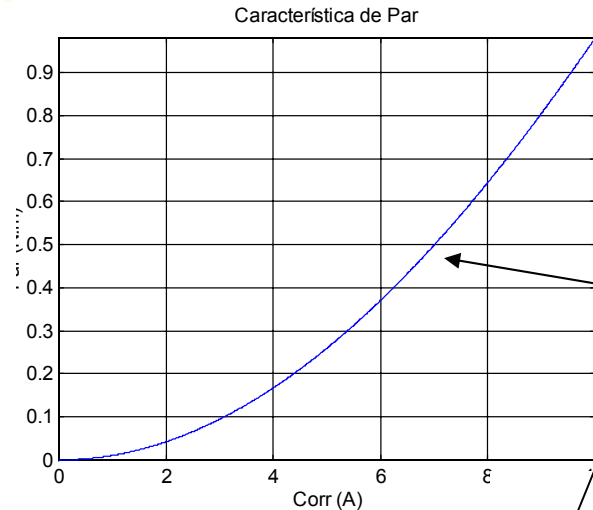




# Característica de carga

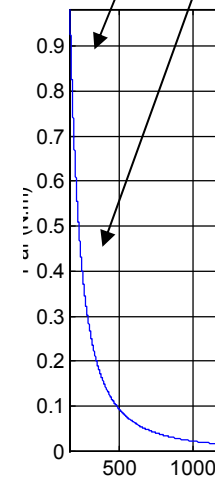
## Motor excitación serie

- ➡ Presenta un par cuadrático
- ➡ Características
  - ✓ Elevado par de arranque
  - ✓ Inestable
- ➡ Utilización
  - ✓ Arranques en carga
  - ✓ Necesidad de operario para que no se embale



**Arranque**

**Nominal**





# Motor

## Excitación paralela

➡ Se verifica  $I_e = \frac{U}{R_e}$

$$I_i = \frac{U - 2 \cdot V_{col} - E'}{R_i + R_{aux}}$$

➡ En el arranque

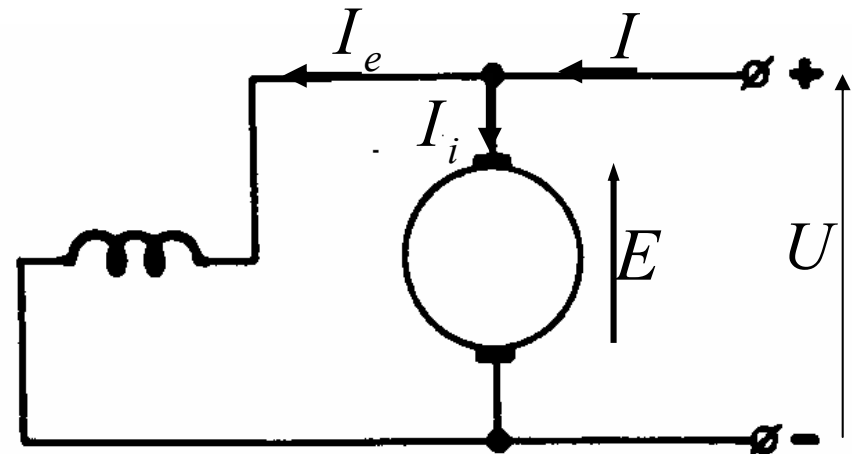
- ✓ Se introduce un reóstato en serie con la resistencia de inducido para limitar la corriente

➡ Comportamiento estable

- ✓ Aumenta la  $I_i$  disminuyen los dos términos (Numerador y denominador)

$$n = \frac{2a \cdot 60 \cdot [U - 2V_{col} - I_i(R_i + R_{aux})]}{2p \cdot N' \cdot \Phi}$$

$$I = I_e + I_i$$

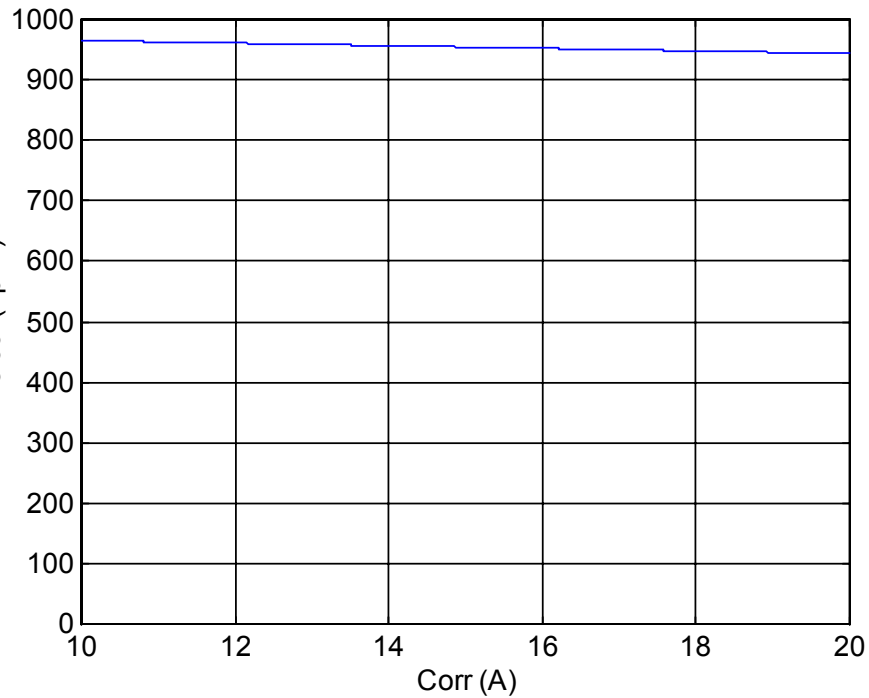




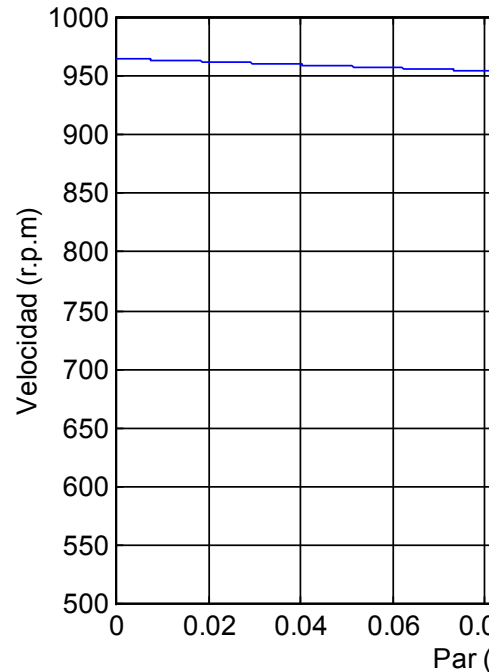
# Características (Mecánica y de velocidad)

## Motor excitación shunt

Característica de velocidad



Característica

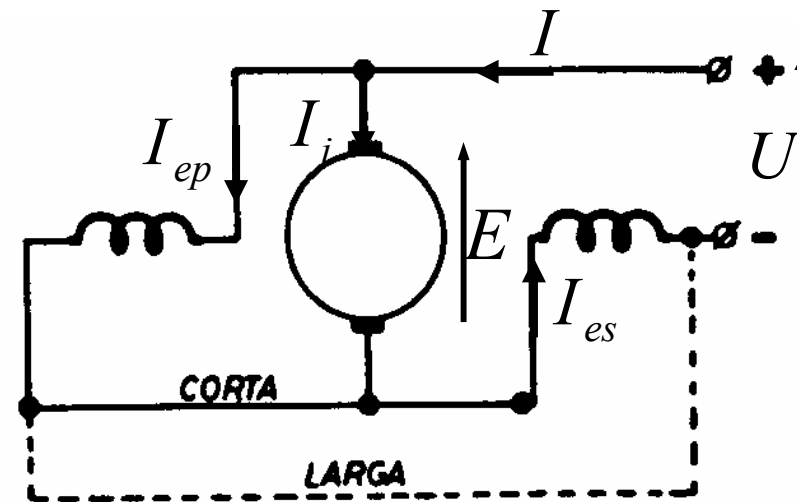




# Motor

## Excitación compuesta

- ➔ Combinación de los procedimientos de excitación serie paralelo
  - ✓ Excitación corta
    - ✓ Inestable
  - ✓ Se utiliza en conexión larga: ADITIV
    - ✓ Flujo serie en la misma dirección que el paralelo
  - ✓ Características
    - ✓ Elevado par de arranque
    - ✓ Mayor margen de velocidad que el shunt y no se embala
  - ✓ Aplicación
    - ✓ Se utiliza en máquinas herramienta y tracción
      - VARIACIONES BRUSCAS DE CARGA





# Ejemplos

## Motor

### Problema 1

- ✓ Un motor serie de tensión nominal de 220 V y velocidad nominal de 1400 r.p.m tiene las siguientes características
  - ✓  $R_f = 0.20 \, \Omega$ ,  $R_e = 0.12 \, \Omega$ ,  $R_{aux} = 0.05 \, \Omega$
  - ✓ f.c.e.m 214 V
- ✓ Calcular
  - ✓ Corriente de arranque y en carga, Potencia de pérdidas, Rendimiento eléctrico
  - ✓ Velocidad para la mitad de la intensidad de carga

$$I_{arr} = \frac{U - 2 \cdot V_{col}}{R_i + R_e + R_{aux}} = \frac{220 - 2}{0.20 + 0.12 + 0.05} = 598.2 \, A$$

$$I = \frac{U - 2 \cdot V_{col} - E'}{R_i + R_e + R_{aux}} = \frac{220 - 2 - 214}{0.20 + 0.12 + 0.05} = 10.8 \, A$$

$$P = U \cdot I = 220 \cdot 10.8 = 2378.2 \, W \quad P_p = R_t \cdot I^2 + 2V_{col}I = 0.37 \cdot 10.8^2 + 2 \cdot 10.8 = 64.86 \, W$$

$$\eta = \frac{E'}{U} = 0.97$$

$$\left. \begin{aligned} n_n &= \frac{K(220 - 2 - 10.8 \cdot 0.37)}{\Phi} = \frac{K}{\Phi} \cdot 214 \\ n' &= \frac{K(220 - 2 - (10.8/2) \cdot 0.37)}{\Phi/2} = \frac{K}{\Phi} \cdot 432 \end{aligned} \right\} \Rightarrow n' = \frac{432}{214} n = 2826.2 \, r.p.m$$

Curso





# Ejemplos

## Motor



### Problema 2

- ✓ Un motor shunt de 20 CV, 240 V y 1500 r.p.m tiene una resistencia de inducido de  $0.085 \Omega$ . La resistencia de inductor es de  $280 \Omega$  y la de los polos auxiliares de  $0.05 \Omega$ . Si la f.c.e.m que se genera es de 231 V, calcular
  - ✓ Intensidad en el inducido en el arranque sin reóstato de arranque
  - ✓ Intensidad en el inducido en condiciones nominales
  - ✓ Valor del reóstato de arranque para reducir la corriente de arranque de 1.4 veces la nominal
  - ✓ Intensidad de carga en condiciones nominales
  - ✓ F.c.e.m, potencia y par interno cuando por el inducido circulan 20 A. Considerar sólo pérdidas eléctricas



# Ejemplos

## Motor



### Problema 2. SOLUCION

$$I_{arr} = \frac{U - 2 \cdot V_{col}}{R_i + R_{aux}} = \frac{240 - 2}{0.085 + 0.05} = 1793 \text{ A}$$

$$I_i = \frac{U - 2 - E'}{0.085 + 0.05} = 51.9 \text{ A}$$

$$I_e = \frac{U}{R_e} = 0.85 \text{ A}$$

$$1.4 \cdot I_i = \frac{U - 2 \cdot V_{col}}{R_i + R + R_{arr}} \Rightarrow R_{arr} = 3.14 \Omega$$

$$I = I_i + I_e = 51.9 + 0.85 = 52.7 \text{ A}$$

$$E' = U - 2V_{col} - (R_i - R_{aux})I_i = 240 - 2 - (0.085 + 0.05) \cdot 20 = 235.3 \text{ V}$$

$$P = E' \cdot I_i = 4706 \text{ W}$$

$$\Gamma = \frac{E' \cdot I_i}{\omega} = \frac{4708}{2\pi \left( \frac{1500}{60} \right)} = 30 \text{ N} \cdot \text{m}$$



# Control de velocidad

- ☞ El motor de corriente alterna presenta un mejor comportamiento energético
  - ✓ Dificultades en el control de la velocidad dado que ésta viene determinada por la frecuencia de la red
    - ✓ Actualmente se soluciona con la introducción de la electrónica de potencia (Variadores de frecuencia)
- ☞ El motor de corriente continua es más sencillo de controlar (velocidad y posición)
  - ✓ Actuación sobre la corriente de inducido (Control de armadura)
  - ✓ Actuación sobre el flujo (Control de campo)
- ☞ La opción ideal es la configuración de excitación independiente
  - ✓ Par proporcional a la corriente (Campo o armadura)