

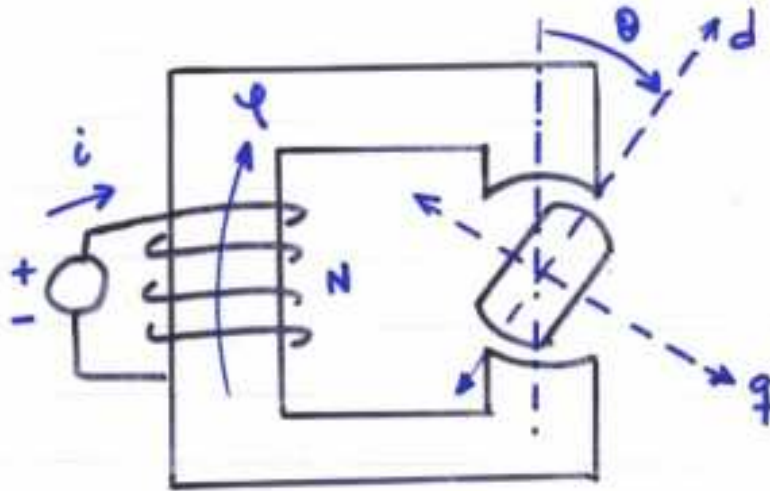
## MÁQUINAS ESPECIALES

### MOTORES DE RELUCTANCIA

SON MOTORES SINCRÓNICOS QUE OPERAN SIN UNA EXCITACIÓN CONTINUA EN EL CAMPO, DEPENDEN PARA SU FUNCIONAMIENTO DE LA DIFERENCIA ENTRE LAS RELUCTANCIAS DE EJE DIRECTO Y EJE EN CUADRATURA

SE USAN EN APLICACIONES QUE REQUIEREN UNA VELOCIDAD SINCRÓNICA PARA IMPULSAR RELOJES ELÉCTRICOS Y OTROS APARATOS MEDIDORES DE TIEMPO

LA VENTAJA DEL MOTOR DE RELUCTANCIA POLIFÁSICO SOBRE EL MOTOR SINCRÓNICO RADICA EN SU SIMPLICIDAD, DADO QUE NO REQUIERE UN CAMPO DE EXCITACIÓN DE CONTINUA, LOS CORRESPONDIENTES BOBINADOS DE CAMPO, ANILLOS DESLIZANTES Y ESCOBILLAS.



$$Ni = \mathcal{R} \varphi$$

$$\varphi = \frac{N}{\mathcal{R}} i = N \mathcal{P} i$$

$$\text{siendo } \mathcal{P} = \frac{1}{\mathcal{R}}$$

$$\phi = N \varphi = N^2 \mathcal{P} i$$

$$L(\theta) \triangleq N^2 \mathcal{P}(\theta)$$

$\mathcal{P}(\theta)$  varía entre

$\mathcal{P}_{\max} = \mathcal{P}_d$	$\theta = 0$	}	$\theta = \pi$
$\mathcal{P}_{\min} = \mathcal{P}_g$	$\theta = \frac{\pi}{2}$		$\theta = \frac{3\pi}{2}$

SUPONEMOS UNA VARIACIÓN SINUSOIDAL ENTRE  $\mathcal{P}_d$  Y  $\mathcal{P}_g$   
 (se tiene  $\mathcal{P}(\theta) = \mathcal{P}(-\theta)$  ,  $\mathcal{P}(\frac{\pi}{2} - \theta) = \mathcal{P}(\frac{\pi}{2} + \theta)$  )

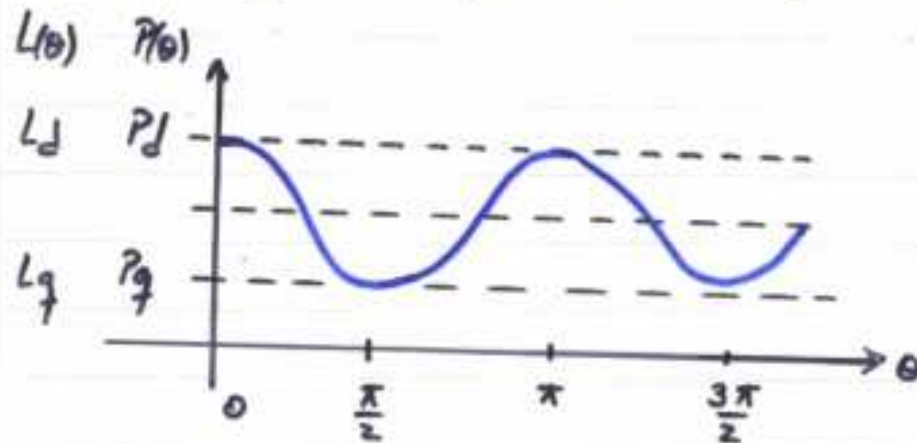
$$P(\theta) \cong \frac{1}{2} (P_d + P_f) + \frac{1}{2} (P_d - P_f) \cos 2\theta$$

$\theta$	0	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$	$2\pi$
$P(\theta)$	$P_d$	$P_f$	$P_d$	$P_f$	$P_d$

$$L(\theta) = \frac{1}{2} N^2 (P_d + P_f) + \frac{1}{2} N^2 (P_d - P_f) \cos 2\theta$$

Definimos  $L_d \triangleq N^2 P_d$  ;  $L_f \triangleq N^2 P_f$

$$L(\theta) = \frac{1}{2} (L_d + L_f) + \frac{1}{2} (L_d - L_f) \cos 2\theta$$



LA EXPRESIÓN DEL PAR  $T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \Rightarrow T = -i^2 (L_d - L_q) \sin 2\theta$

supongo:  $i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$   
 $\frac{d\theta}{dt} = \omega' = \text{cte} \Rightarrow \theta = \omega' t + \theta_0$

sustituyendo:

$$T = - (L_d - L_q) I_m^2 \sin^2(\omega t + \alpha) \sin 2(\omega' t + \theta_0)$$

$$= -\frac{1}{2} (L_d - L_q) I_m^2 [1 - \cos 2(\omega t + \alpha)] \sin 2(\omega' t + \theta_0)$$

$$T = -\frac{1}{2} (L_d - L_q) I_m^2 \left\{ \sin 2(\omega' t + \theta_0) - \frac{1}{2} \sin 2[(\omega' + \omega)t + \theta_0 + \alpha] - \frac{1}{2} \sin 2[(\omega' - \omega)t + \theta_0 - \alpha] \right\}$$

Si  $\omega' \neq \omega$  LA CUPLA MEDIA ES CERO

Si  $\omega' = \omega \Rightarrow T_{\text{medio}} = \frac{1}{4} (L_d - L_q) I_m^2 \sin 2(\theta_0 - \alpha)$

Si  $L_d = L_q$  NO HAY PAR MEDIO

DADO QUE EL PAR MEDIO ES CERO PARA  $\omega \neq \omega'$ , EL PAR DE ARRANQUE ES CERO Y EL ROTOR DEBE SER LLEVADO A SU VELOCIDAD POR MEDIOS MECÁNICOS.

POR EJ. EN MOTORES DE RELOJES SE ARRANCAN MANUALMENTE, SE ACELERAN POR ENCIMA DE LA VELOCIDAD SINCRÓNICA Y AL DESACELERAN SE LLEGA AL SINCRONISMO

USUALMENTE SE ARRANCAN COMO MOTORES DE INDUCCIÓN HACIENDO USO DE UN ROTOR DE JAULA DE ARDILLA.

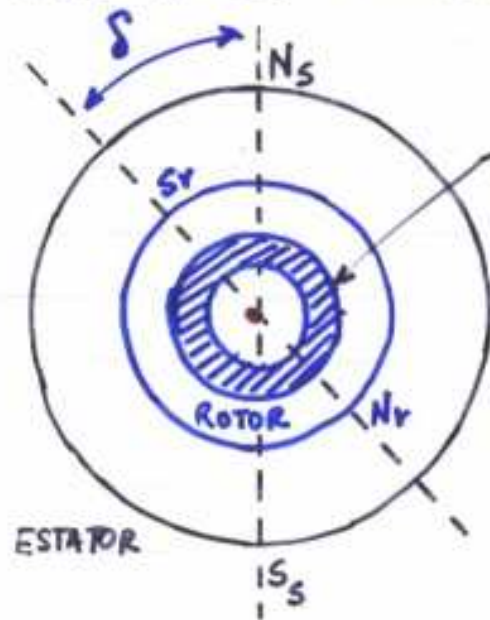
EL NÚMERO DE POLOS SE OBTIENE CON LA DISPOSICIÓN DE LOS DIENTES DEL ROTOR



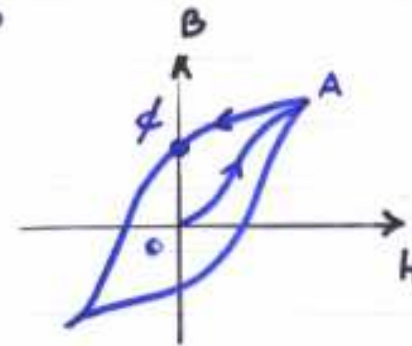
ROTOR SIMPLE  
4 POLOS

## MOTORES DE HISTÉRESIS

- MOTOR SINCRÓNICO SIN POLOS SALIENTES NI CAMPO DE EXCITACIÓN.
- ARRANCA GRACIAS A LAS PÉRDIDAS DE HISTÉRESIS EN EL NÚCLEO DEL ROTOR DEBIDO A LA INDUCCIÓN CREADA POR LAS CORRIENTES ESTATORICAS.
- EN RÉGIMEN LAS CORRIENTES ESTATORICAS CREAN UN CAMPO GIRATORIO QUE INTERACTÚA CON EL CAMPO REMANENTE EN EL NÚCLEO ROTÓRICO
- GIRA A LA VELOCIDAD SINCRÓNICA



ANILLO DE HISTÉRESIS  
de material magnético  
del tipo →



- EL FUNCIONAMIENTO SE PUEDE EXPLICAR RECORDANDO EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

- DURANTE EL ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN, CORRIENTES DE FOUCAULT Y PÉRDIDAS POR HISTÉRESIS APARECEN EN EL HIERRO DEL ROTOR. LOS DOS TIPOS DE PÉRDIDAS ESTÁN ACOMPAÑADAS POR PARES.

- LAS CORRIENTES DE PÉRDIDAS EN EL ROTOR TIENEN LA MISMA PROPIEDAD DE PRODUCIR PARES DEBIDO A LA INTERACCIÓN CON EL CAMPO RESULTANTE, COMO LO HACEN LAS CORRIENTES QUE CIRCULAN POR LAS BARRAS DE LA JAULA DE ARBILLA



LAS PÉRDIDAS POR LAS CORRIENTES DE FOUCAULT SE PUEDEN  
ESCRIBIR COMO:

$$P_F = C_F f_2^2 B^2 = C_F g^2 f_1^2 B^2$$

recordando el motor de inducción:  $M_i = \frac{U_1}{\frac{2\pi N_1}{60}} \frac{R_2' I_2'^2}{g}$   
 pérdidas en el rotor

se tiene:  $M_F = k_F \frac{g^2 f_1^2 B^2}{N_1 g} = \frac{k_F}{N_1} \cdot g f_1^2 B^2$

$M_F$  : par proporcional al deslizamiento  $g$ , disminuye al  
aumentar la velocidad del rotor y vale cero a la velo-  
cidad sincrónica ( $g=0$ )



LAS PÉRDIDAS POR HISTÉRESIS SE PUEDEN ESCRIBIR COMO:

$$P_h = c_h f_2 B^2 = c_h g f_1 B^2$$

$$M_h = \frac{k_h}{n_1} f_1 B^2$$

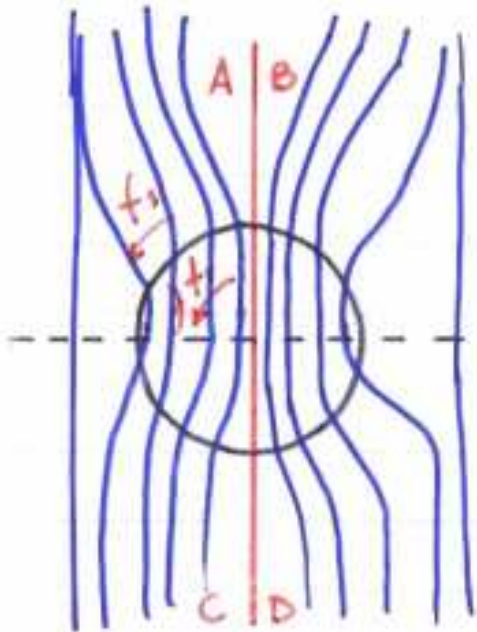
par de histéresis, constante e independiente de la velocidad del rotor.

EXPLICACIÓN DEL ORIGEN DEL PAR DE HISTÉRESIS.

CONSIDEREMOS QUE EL ROTOR DEL MOTOR DE INDUCCIÓN NO TIENE NINGÚN BOBINADO. EL PAR DESARROLLADO SOLAMENTE DEPENDERÁ DE LAS PÉRDIDAS POR HISTÉRESIS Y FOUCAULT EN EL ROTOR. -

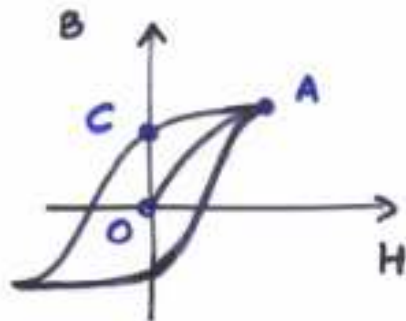
- SUPONGAMOS EN PRIMER INSTANCIA QUE NO HAY HISTÉRESIS.

LA MAGNETIZACIÓN DEL ROTOR SOMETIDO A UN CAMPO MAGNÉTICO ESTARÁ EN FASE CON LA FMM ESTATORICA QUE CREA EL CAMPO



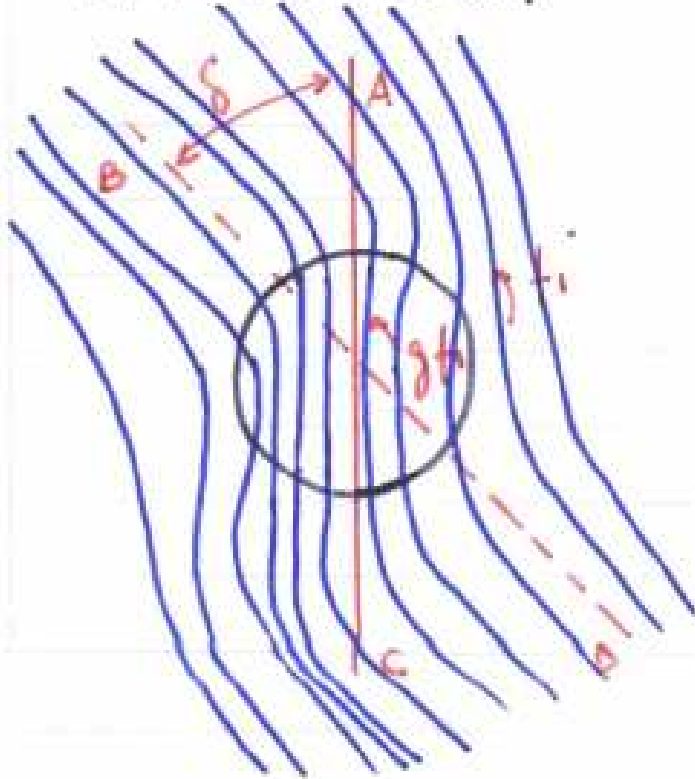
EL EJE MAGNÉTICO AC DEL ROTOR COINCIDE CON EL EJE BD DE LA FMM ESTATORICA

- Si AHORA CONSIDERAMOS QUE HAY HISTÉRESIS EN EL ROTOR, LA DENSIDAD DE FLUJO  $B$  ATRASA A LA FMM.



Si PARTIMOS DEL PUNTO A EN EL DIAGRAMA DE HISTÉRESIS Y DISMINUIMOS H HASTA EL VALOR CERO, B NO DECRECE A CERO, TOMA EL VALOR OC, VALOR REMANENTE DEL MATERIAL.

ESTE ATRASO DE  $\underline{B}$  DETRÁS DE LA FMM RESULTA EN UN ATRASO DEL EJE MAGNÉTICO DEL ROTOR DETRÁS DEL EJE DE LA FMM ESTADÍSTICA.

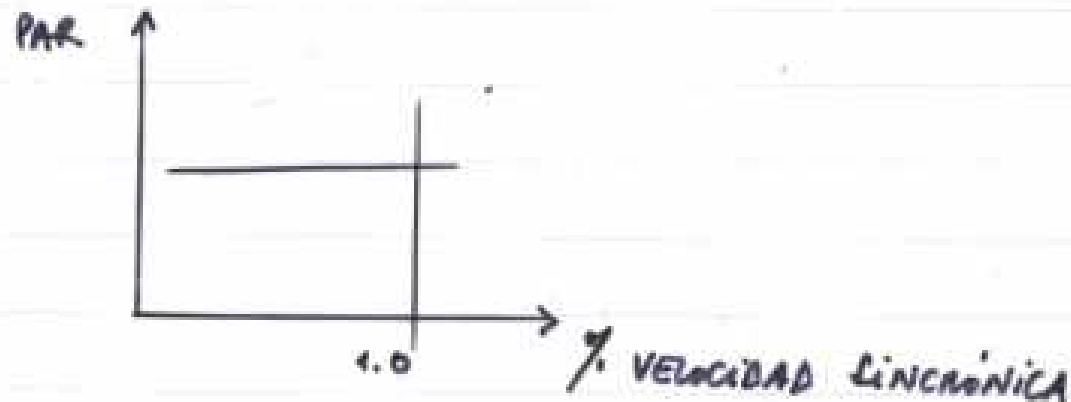


EL ÁNGULO  $\delta$  DE ATRASO, CAUSADO POR LA HISTÉRESIS ES INDEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA DE LA MAGNETIZACIÓN DEL ROTOR  $f_2 = \gamma f_1$ , DEPENDE SOLAMENTE DEL LOOP DE HISTÉRESIS DEL MATERIAL USADO EN EL ROTOR Y PERMANECE IGUAL PARA CUALQUIER VELOCIDAD DEL ROTOR

EL PAR DE HISTÉRESIS ES CONSTANTE E INDEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD DEL ROTOR

- SE BUSCA QUE EL MATERIAL DEL ROTOR TENGA UN LOOP DE HISTÉRESIS GRANDE
- UN ANILLO DE UN MATERIAL MAGNÉTICO ESPECIAL COMO EL COBALTO O EL ACERO CON CROMO SE COLOCA SOBRE UN CILINDRO DE MATERIAL NO MAGNÉTICO COMO POR EJEMPLO ALUMINIO . NO SE USA JAULA DE ARDILLA.
- EN EL ARRANQUE INFLUYEN LOS PARES DE HISTÉRESIS Y DE POUCAULT , A LA VELOCIDAD SINCRÓNICA SOLAMENTE INTERVIENE EL PAR DE HISTÉRESIS
- A LA VELOCIDAD SINCRÓNICA EL ROTOR DESARROLLA POLOS MAGNÉTICOS EN FORMA SIMILAR A LOS QUE EXISTEN EN UN MOTOR SINCRÓNICO CON EXCITACIÓN DE CAMPO O EN UN MOTOR DE RELUCTANCIA.

- EL ESTATOR ES GENERALMENTE MONOFÁSICO . HAY VARIOS TIPOS :
  - a) motor polifásico
  - b) " de tipo capacitor
  - c) " con polo de sombra
- EL MOTOR DE HIÉREKIS ES EL QUE TIENE EL "PAR MÁS CONSTANTE" ENTRE LOS MOTORES PEQUEÑOS



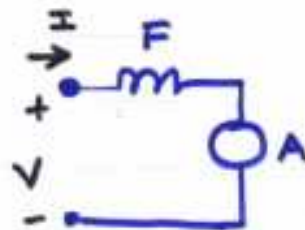
## MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA (CA) CONMUTADOS

- LAS ARMADURAS SON SEMEJANTES A LAS DE LAS MÁQUINAS DE CONTINUA, LAS ESTRUCTURAS DEL CAMPO SE LAMINAN PARA EVITAR LAS CORRIENTES PARÁSITAS.
- EL MÁS COMÚN ES EL MOTOR SERIE MONOFÁSICO
- EL MOTOR DE ALTERNA CONMUTADO TIENE DOS VENTAJAS SOBRE EL DE INDUCCIÓN:
  - ALTO PAR DE ARRANQUE
  - AMPLIO RANGO DE VELOCIDAD

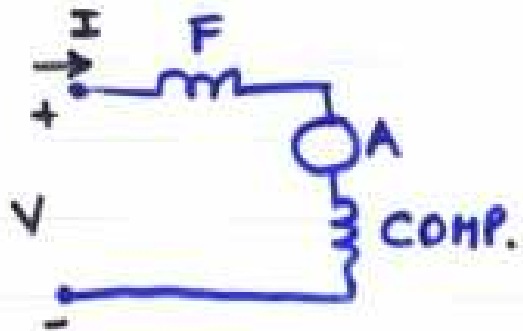
### MOTOR SERIE MONOFÁSICO

ES UN MOTOR SERIE DE CONTINUA CON UNA ESTRUCTURA DE CAMPO LAMINADA.

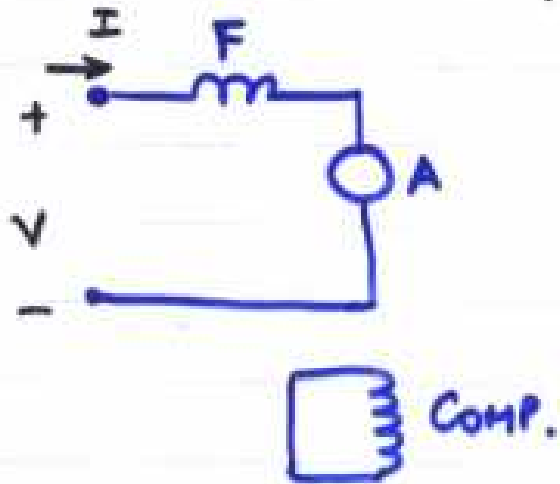
TIPOS DE CIRCUITOS



MOTOR SERIE DIRECTO



MOTOR SERIE COMPENSADO  
(CONDUCTIVAMENTE)



MOTOR SERIE COMPENSADO  
(INDUCTIVAMENTE)

BOBINADO DE COMPENSACIÓN IDÉNTICO AL ANALIZADO EN  
LAS MÁQUINAS DE CONTINUA



- FUNCIONANDO EN RÉGIMEN PERMANENTE LAS INDUCTANCIAS PROPIAS DE LOS CIRCUITOS DEL CAMPO Y DE LA ARMADURA TIENEN EFECTOS DESPRECIABLES CUANDO EL MOTOR OPERA EN CONTINUA, NO ASÍ EN ALTERNA, DONDE SU PAPEL ES FUNDAMENTAL
- EL VOLTAJE INSTANTÁNEO GENERADO EN LA ARMADURA ESTA DADO POR:

$$E = \frac{p z \phi_d \omega_m}{\pi a}$$

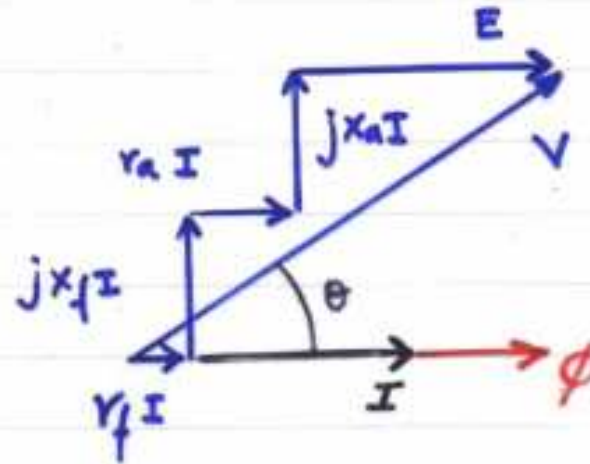
- $p$  nº de pares de polos
  - $z$  nº de conductores de la armadura
  - $\omega_m$  velocidad angular mecánica de la armadura
  - $a$  nº de trayectorias de corrientes paralelas en el bobinado de la armadura
- $\phi_d$  flujo instantáneo en el eje d, producido por la fmm ya sea "alterna" o "continua". -

EL VOLTAJE GENERADO ESTA EN FASE CON  $\phi_d$ , QUE ESTA EN FASE CON LA CORRIENTE DE CAMPO CUANDO EL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS DEL NÚCLEO, QUE SON PEQUEÑAS, SON DESPRECIABLES.

ENTONCES PARA EL MOTOR DIRECTO Y QUE TIENE LAS ESCOBILLAS EN EL NEUTRO GEOMÉTRICO, EL VOLTAJE APLICADO SE EXPRESA POR:

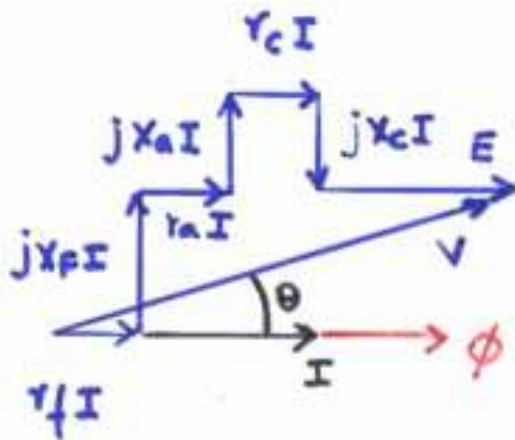
$$V = (r_f + jX_f + r_a + jX_a)I + E$$

- $r_f$  RESISTENCIA DEL CAMPO
- $r_a$  " DE LA ARMADURA
- $X_f$  REACTANCIA DEL CAMPO
- $X_a$  " DE LA ARMADURA
- $I$  CORRIENTE DEL MOTOR



EN EL ARRANQUE  $E$  ES CERO, EL ÁNGULO  $\theta$  ES GRANDE Y SE TIENE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA Y UN CORRESPONDIENTE BAJO PAR DE ARRANQUE.

- EL BOBINADO COMPENSADOR MEJORA EL FACTOR DE POTENCIA DURANTE EL ARRANQUE Y EL FUNCIONAMIENTO DE RÉGIMEN. SE COMPENSA LA REACTANCIA DE LA ARMADURA Y SE INTRODUCE UNA RESISTENCIA ADICIONAL.



- 1) • COMPENSACIÓN EN SERIE CON LA ARMADURA
- 2) • COMPENSACIÓN CON UN BOBINADO EXTERNO EN CORTOCIRCUITO Y ACOPLADO MAGNÉTICAMENTE CON LA ARMADURA

CASO 1. SE USA EN LAS MÁQUINAS QUE FUNCIONAN EN ALTERNA  
Ó CONTINUA

CASO 2 . PARA MÁQUINAS DE ALTERNA. LA VENTAJA DE ESTE  
ESQUEMA ES QUE EL COMPENSADOR PUEDE UTILIZARSE CON  
UNA TENSIÓN REDUCIDA, REQUIRIENDO MENOR AISLACIÓN,  
OPTIMIZACIÓN DE LOS ESPACIOS Y UN MEJOR USO DEL MATE-  
RIAL CONDUCTOR.

## MOTORES UNIVERSALES

- SE USAN EN GENERAL EN ELECTRODOMÉSTICOS, ASPIRADORAS, MEZCLADORAS DE COMIDA O EN HERRAMIENTAS PORTÁTILES CON VELOCIDADES DE 3000 A 11000 RPM.
- SE USAN EN ALTERNA O CONTINUA
  - PARA UNA TENSIÓN APLICADA EL VALOR EFICAZ DEL FLUJO EN ALTERNA ES APRECIABLEMENTE MENOR QUE EL FLUJO DE CONTINUA
  - LA VELOCIDAD ES ALGO MENOR CUANDO FUNCIONA EN ALTERNA QUE CUANDO LO HACE EN CONTINUA

- CURVA PAR - VELOCIDAD

