

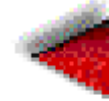


INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES ELÉCTRICOS

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Fraile Mora,J; Máquinas eléctricas.MacGrawhill

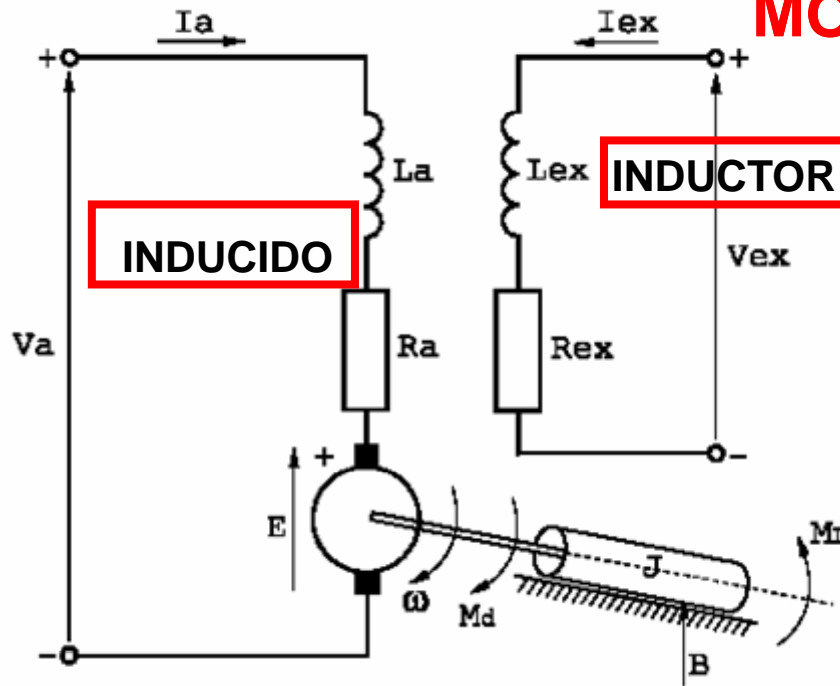


Faure,R; Máquinas y accionamientos eléctricos. Fondo editorial de Ingenieros naval. Madrid 2000

Cortes Cherta,M; Curso moderno de maquinas eléctricas rotativas.Tomos I a IV. Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1990.

Hans,T at ali; Regulación digital electrónica. Paraninfo





MOTORES DC EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

$$v_{ex} = R_{ex} \cdot i_{ex} + L_{ex} \frac{di_{ex}}{dt}$$

$$v_a = R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e$$

$$e = K_v \cdot \omega \cdot i_{ex}$$

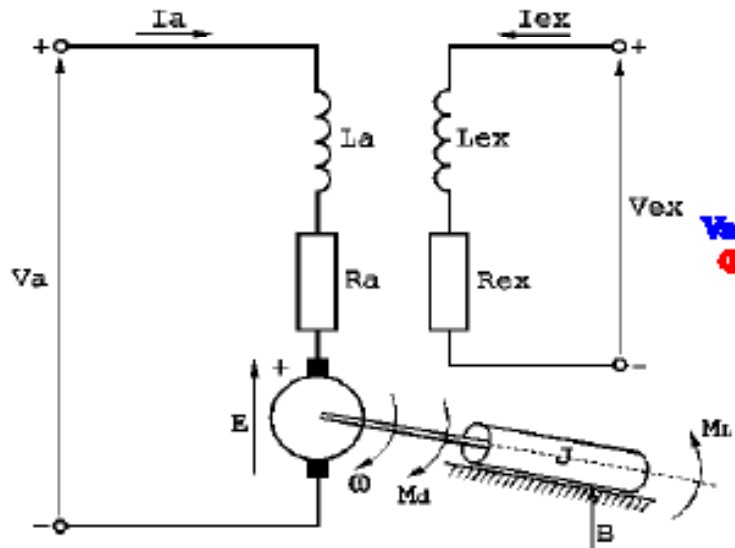
El par desarrollado por el motor es:

$$M_d = K_t \cdot i_{ex} \cdot i_a$$

$$M_d = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + M_L$$

- ω = velocidad del motor en rad/s
- B = constante de fricción viscosa en N·m/rad/s
- K_v = constante de tensión en V/A·rad/s
- $K_t = K_v$ = constante de par
- L_a = inductancia del circuito de inducido en H
- L_{ex} = inductancia del circuito de excitación en H
- R_a = resistencia del circuito de inducido en Ω
- R_{ex} = resistencia del circuito de excitación en Ω
- M_L = par resistente en N·m





Régimen permanente

$$V_{ex} = R_{ex} \cdot I_{ex}$$

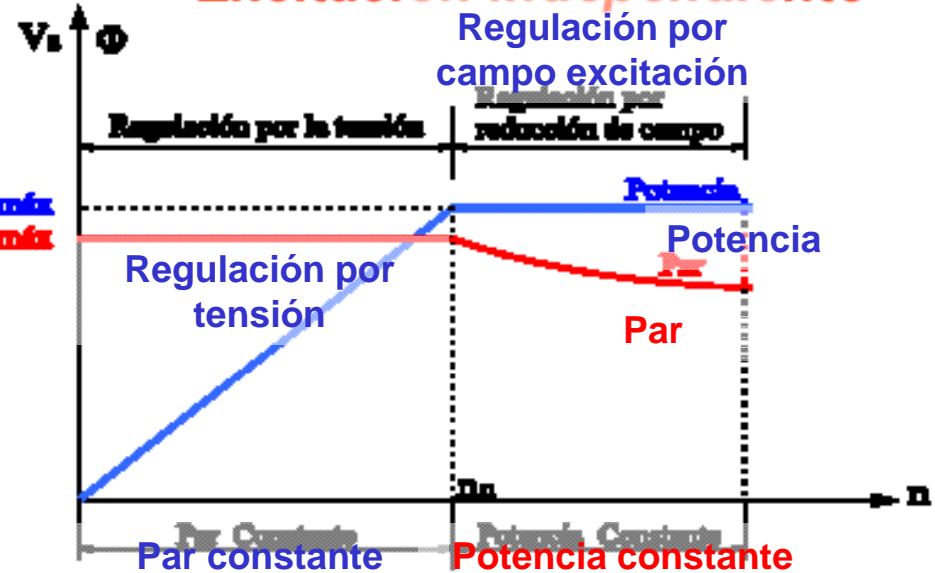
$$E = K_v \cdot \omega \cdot I_{ex}$$

$$V_a = R_a \cdot I_a + E = R_a \cdot I_a + K_v \cdot \omega \cdot I_{ex}$$

$$M_d = K_t \cdot I_{ex} \cdot I_a = B \cdot \omega + M_L$$

$$\omega = \frac{V_a - R_a \cdot I_a}{K_v \cdot I_{ex}} = \frac{V_a - R_a \cdot I_a}{K_v \cdot \frac{V_{ex}}{R_{ex}}}$$

Excitación Independiente

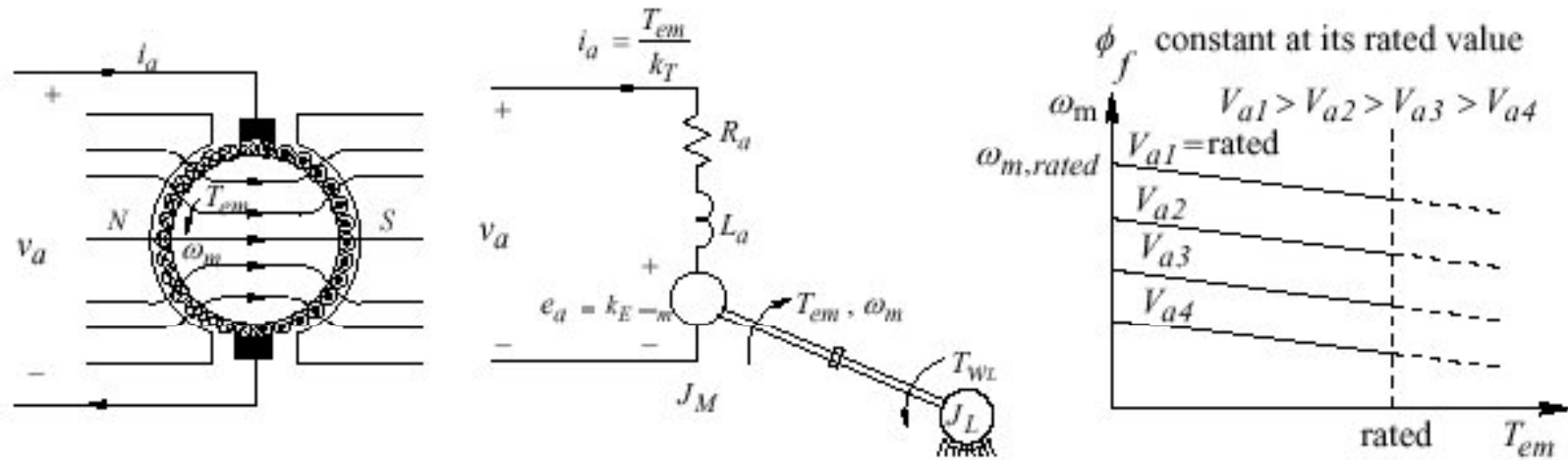


la velocidad se puede variar regulando la tensión V_a o el flujo Φ .

Variando V_a se obtiene una regulación a **par constante**, mientras que variando el flujo se obtiene una regulación a **potencia máxima constante**.



MOTORES DC IMAN PERMANENTE (Flujo cte)



Basic equations

$$e_a = k_E \omega_m$$

$$v_a = e_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

$$T_{em} = k_T i_a$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_{eq}} (T_{em} - T_{WL})$$

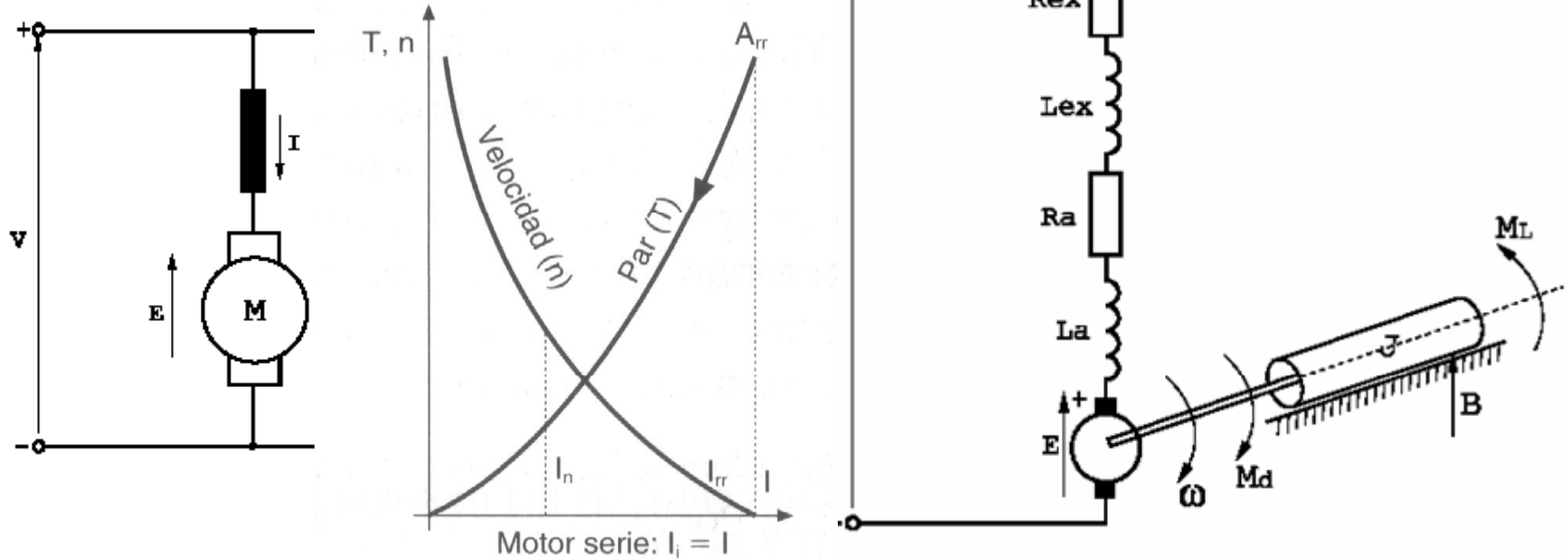
Steady State

$$I_a = \frac{T_{em} (= T_{WL})}{k_T}$$

$$\omega_m = \frac{V_a - I_a R_a}{k_E}$$



AUTOEXCITACIÓN DC-SERIE



En régimen permanente, las ecuaciones del motor serie son:

$$E = K_v \cdot \omega \cdot I_a$$

$$V = (R_a + R_{ex}) \cdot I_a + E = (R_a + R_{ex}) \cdot I_a + K_v \cdot \omega \cdot I_{ex}$$

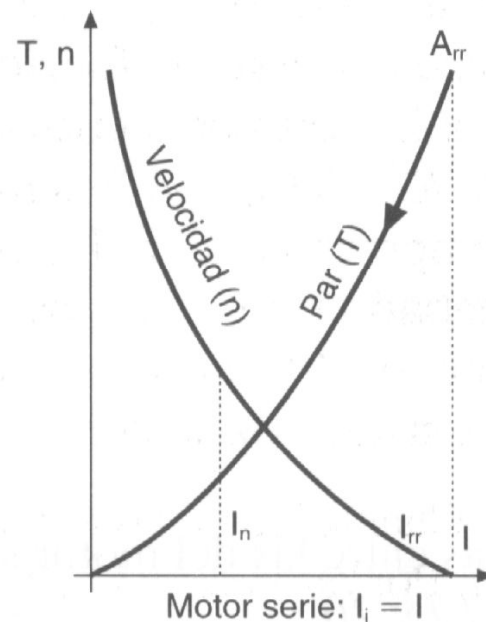
$$M_d = K_t \cdot I_a \cdot I_{ex} = B \cdot \omega + M_L$$

$$\omega = \frac{V - (R_a + R_{ex}) \cdot I_a}{K_v \cdot I_a}$$

El motor universal es un motor dc con excitación serie que puede ser alimentado con ca ya que las alternancias de la corriente se producen al mismo tiempo(en fase) en el inductor y en el inducido⁵



Junto a la R_a aparece R_{ex} o resistencia del devanado de excitación en serie. La regulación de n puede hacerse solamente, bien regulando la tensión V aplicada al motor, actuando sobre el término $(R_a + R_{ex})$ poniendo en serie con el motor un reostato, o bien actuando sobre el flujo, poniendo en paralelo con el devanado de excitación un reostato o haciendo varias tomas en dicho devanado. En este caso se obtiene una regulación a potencia constante.



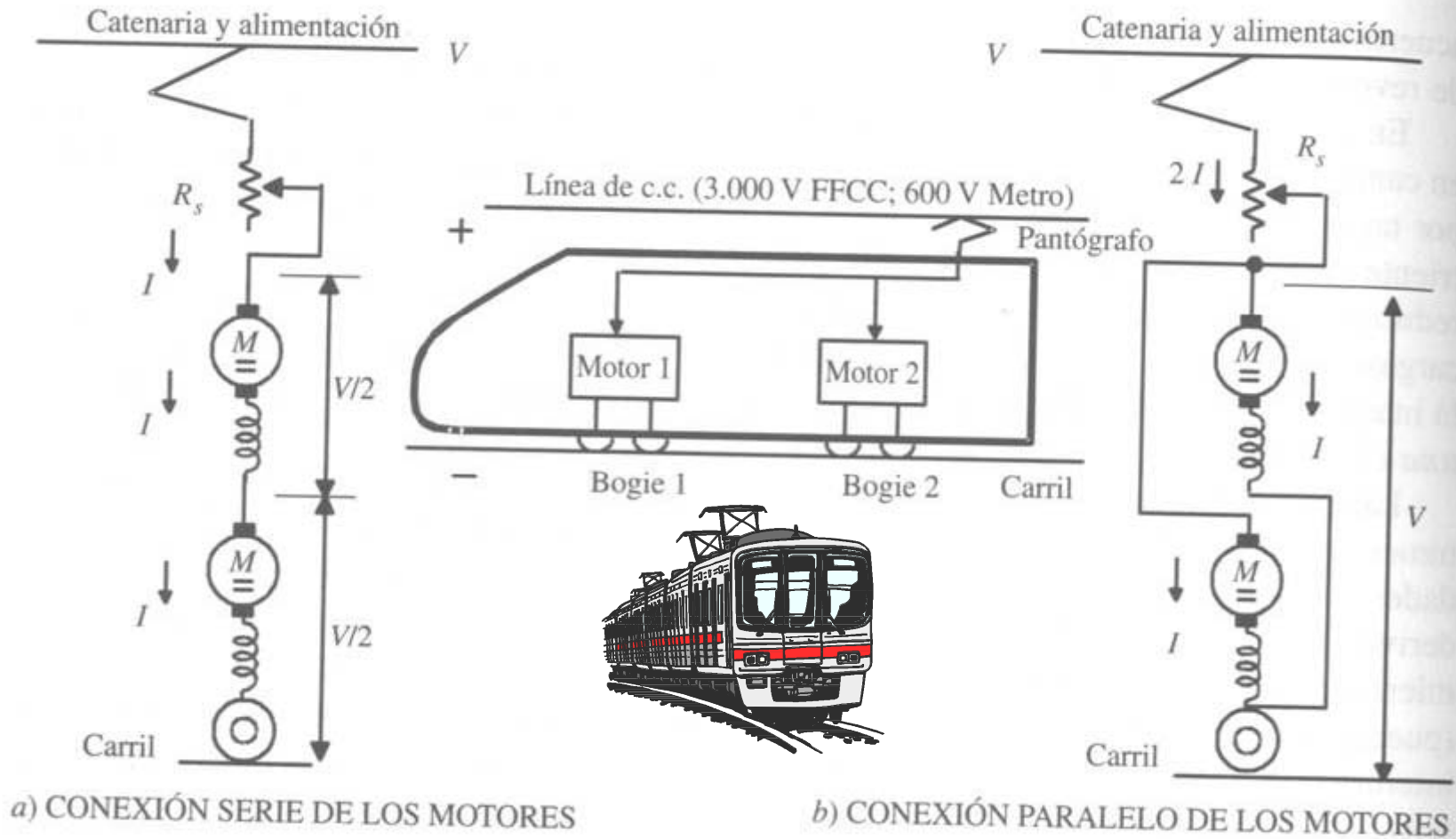
- **Par de arranque elevado**
- **Muy inestable, tendencia a embalsarse**
- **Utilizado en tracción eléctrica**



Las propiedades tan valiosas de este motor lo hacen apropiado para la tracción eléctrica: **trenes, tranvías, trolebuses y también en grúas donde** son necesarios altos pares a bajas velocidades y viceversa.

La regulación de la velocidad de estos motores, a diferencia con el motor derivación, se realiza solamente por control de la tensión aplicada al motor. Este procedimiento puede realizarse de manera económica si se dispone por lo menos de dos motores (pueden ser también cuatro o seis), como sucede en los ferrocarriles eléctricos urbanos o interurbanos. Cada coche motor va equipado con dos motores serie, uno acoplado al boje (o *bogie*) delantero que impulsa las ruedas motrices delanteras y otro acoplado al boje trasero impulsando sus respectivas ruedas traseras .

APLICACIÓN A TRACCIÓN ELÉCTRICA DC-SERIE



Conexión en serie y en paralelo de motores serie de c.c. en tracción eléctrica.

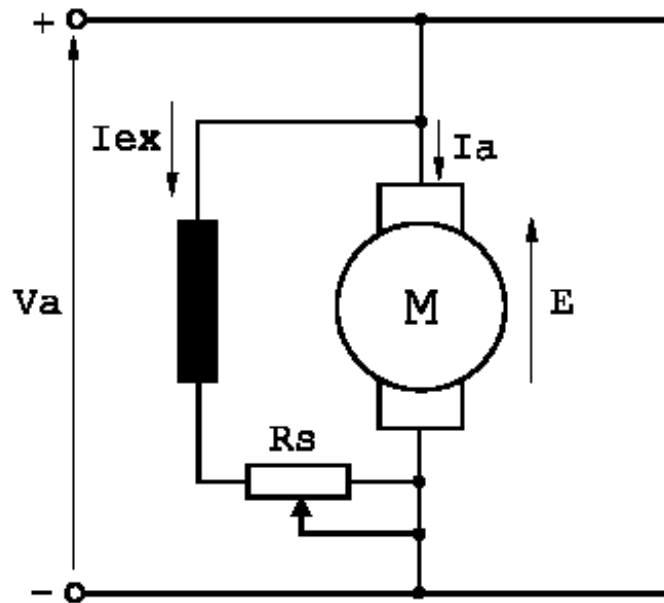




Las velocidades de ambos motores son iguales en todo momento. La variación de velocidad se consigue con la conexión serie-paralelo de ambos motores, de esta forma pueden obtenerse dos velocidades básicas de trabajo con un buen rendimiento energético.

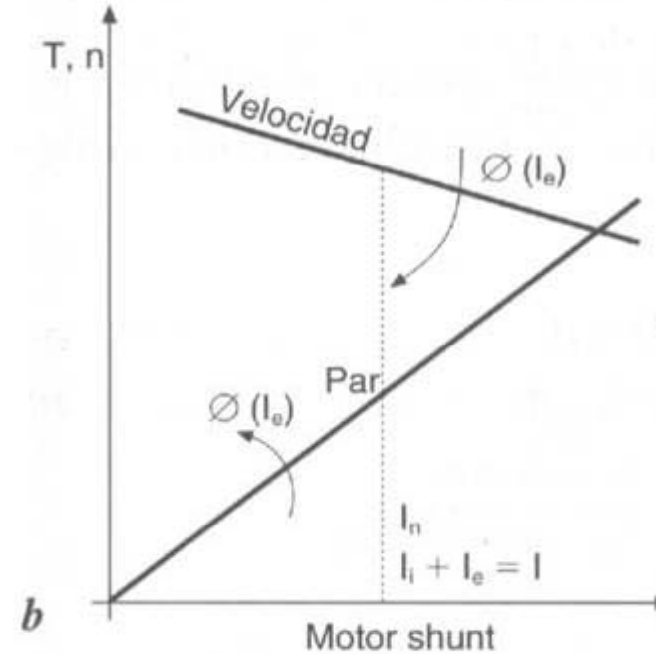
Inicialmente los motores están conectados en serie a través de una resistencia variable que se va eliminando gradualmente hasta que se obtiene una tensión en bornes de cada motor, mitad de la línea. Con ello se obtiene la primera posición de marcha. En este momento, al no existir ninguna resistencia externa en el circuito, se obtiene un gran rendimiento del conjunto.

Cuando se desea aumentar la velocidad del vehículo se cambia la conexión en serie de los motores y se pasa a paralelo insertando al mismo tiempo entre ellos y la línea una resistencia exterior. Esta resistencia se va eliminando poco a poco hasta que los motores funcionan a plena tensión de línea, obteniendo la segunda posición estable de funcionamiento



AUTOEXCITACIÓN DC-SHUNT

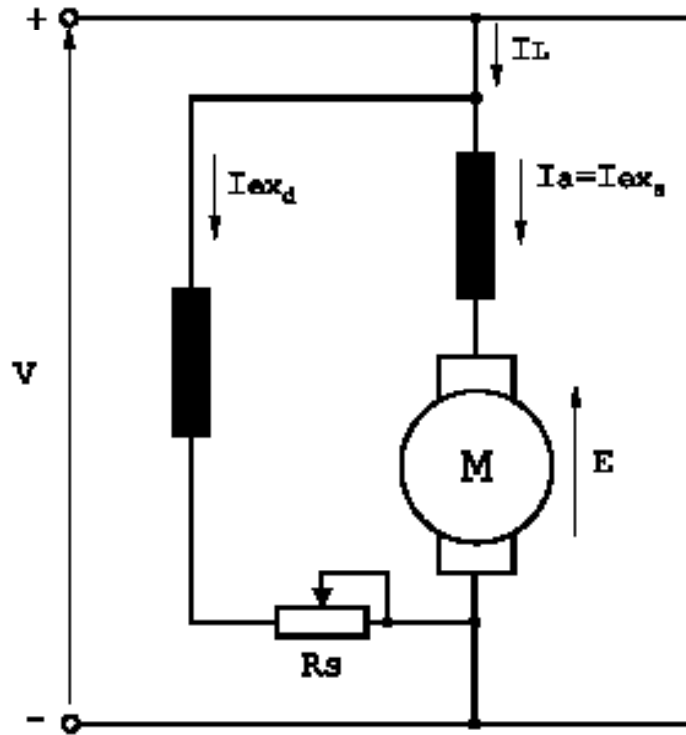
El reostato de excitación, que algunas veces suele disponerse en el circuito inductor para regular entre ciertos límites la corriente de excitación, admitiremos que está cortocircuitado (resistencia nula), siendo por tanto el valor de la corriente de excitación y el flujo inductor debido a ella, máximo.



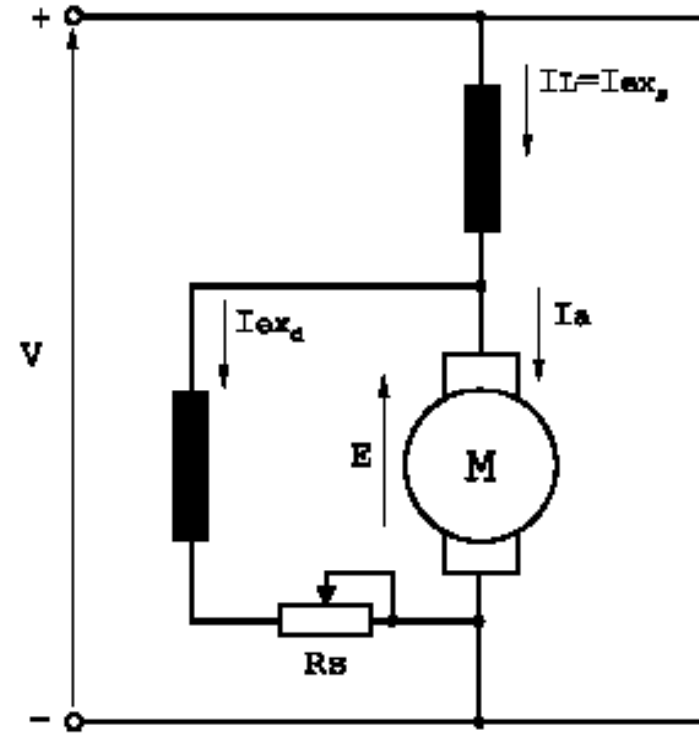
$$I_{ex} = \frac{V_a}{R_{ed}} \quad \text{siendo} \quad R_{ed} = R_s + R_{ex}$$

**Utilizado en
máquinas y
herramientas
por su
estabilidad**

AUTOEXCITACIÓN DC-COMPUESTO



(a)



(b)

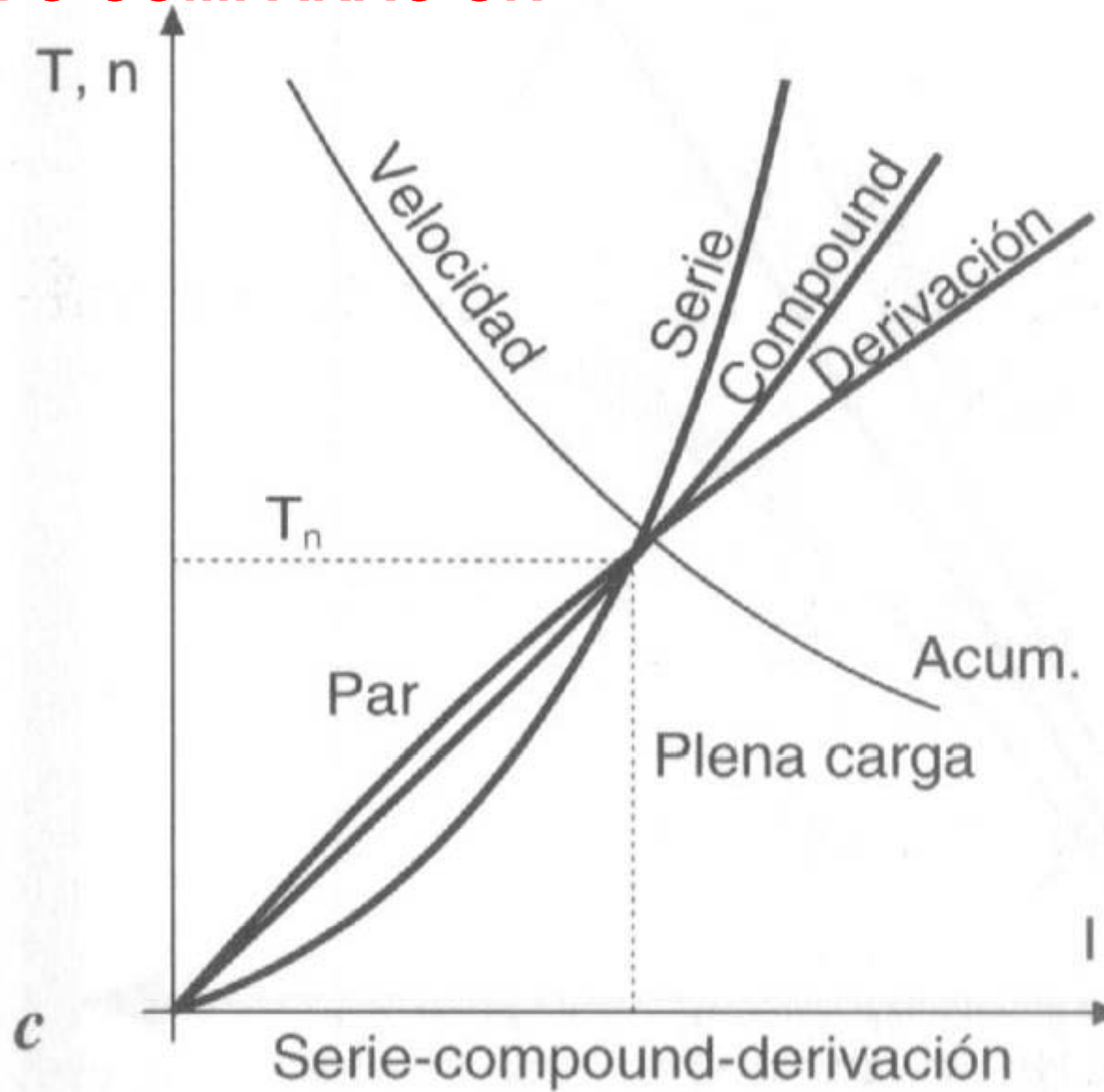
· Motor con excitación compuesta . a) Compuesta larga;
b) Compuesta corta

Maquinas herramientas y tracción





DC-COMPARACIÓN



DC-GENERADOR EJEMPLO

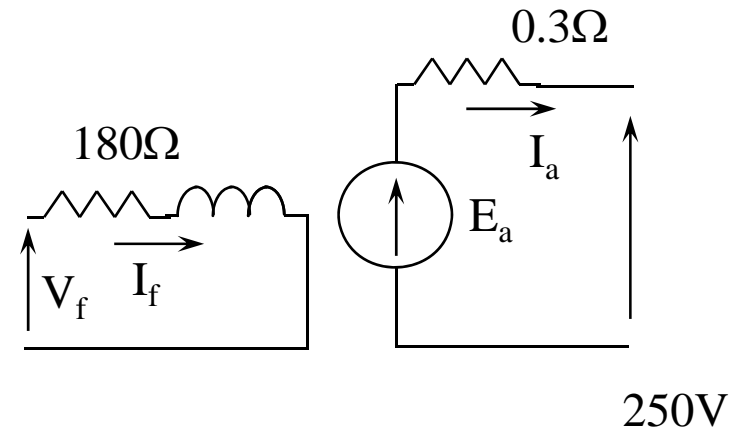
Un generador excitación independiente 20 kW, 250 V, 1300 rpm, con resistencia de $R_a = 0.3 \text{ ohm}$, y $R_f = 180 \text{ ohms}$.

- Sin carga, el terminal voltaje es de 250 V, la corriente 1.5 A.
- A plena carga, el terminal voltaje es también 250 V.

a) Dibuja el circuito equivalente.

b) A plena carga, calcula:

- El generador voltaje E_a
- El par entregado
- Corriente y voltaje de excitación





GENERATOR:

- Cálculo de k de la maquina sin carga:

$$\square \omega_m = 2 p n / 60 = 2 p 1300 / 60 = 136.13 \text{ 1/sec}$$

$$- E_{a_nl} = K \Phi_f \omega_m = K_m I_f \omega_m$$

$$K_m = E_{a_nl} / I_f \omega_m = 250 / (1.5)(136.13) = 1.224$$

- Corriente carga: $I_a = 20000 / 250 = 80 \text{ A}$
- Voltaje generador: $E_a = V_t + I_a R_a = 250 + (80)(0.3) = 274 \text{ V}$
- Par: $T_e = E_a I_a / \omega_m = (274)(80) / 136.131 = 161.0 \text{ Newton m}$
- Corriente excitación y voltaje a plena carga:

$$I_f = E_a / (K_m \omega_m) = 274 / (1.224)(136.131) = 1.64 \text{ A}$$

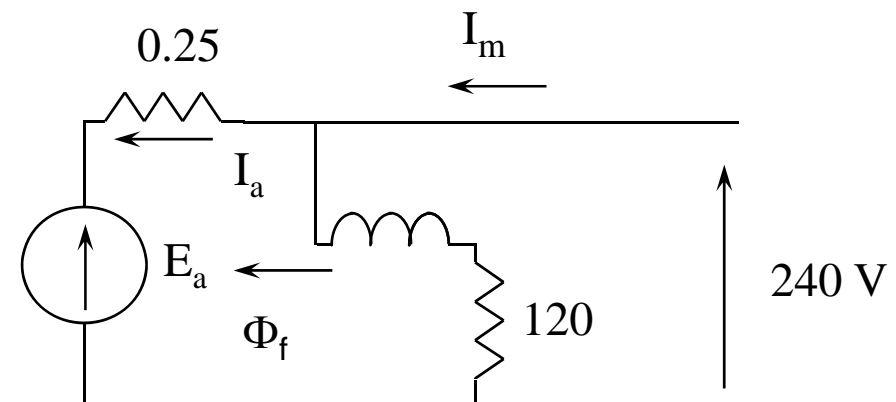
$$V_f = R_f I_f = (1.64)(180) = 296 \text{ V}$$

DC-SHUNT EJEMPLO

Un shunt motor de 15 kW, 240 V, tiene una resistencia de armadura $R_a = 0.25$ ohm, y de excitación $R_f = 120$ ohms. La corriente es de 8 A y una velocidad de 1000 rpm.

- Dibuja el diagrama equivalente.
- Calcula la constante del motor
- Calcula la velocidad y el Par

Diagrama equivalente





MOTOR.

- Corriente de excitación $I_f = 240 / 120 = 2 \text{ A}$
- Corriente de armadura sin carga: $I_a = 8 - 2 = 6 \text{ A}$
- Voltaje generador sin carga: $E_a = V_t - I_a R_a = 240 - (6)(0.25) = 238.5 \text{ V}$
- Velocidad sin carga: $\omega_{m_nl} = 2 \pi n / 60 = 2 \pi 1000 / 60 = 104.72 / \text{sec}$
- Constante de maquina: $E_a = K \Phi_f \omega_{m_nl} = K_m I_f \omega_{m_nl}$
 $K_m = E_a / I_f \omega_{m_nl} = 238.5 / (2) (104.72) = 1.139$
- Corriente carga: $I_m = 15000 / 240 = 62.5 \text{ A}$
- Corriente armadura: $I_a = 62.5 - 2 = 60.5 \text{ A}$



- Voltaje generador a plena carga:

$$E_a = V_t - I_a R_a = 240 - (60.5)(0.25) = 224.9 \text{ V}$$

- Velocidad motor a plena carga:

$$E_a = K \Phi_f \omega_m = K_m I_f \omega_m$$

$$\omega_m = E_a / K_m I_f = 224.8 / (1.139)(2) = 98.8 \text{ rad./sec}$$

$$n_m = 60 \omega_m / 2 \pi = 942.7 \text{ rpm.}$$

- Par:

$$T_e = E_a I_a / \omega_m = (224.8)(60.5) / 98.8 = 137.65 \text{ Newton m}$$

DC-ARRANQUE

Motor arranque.

- a) Calcula la corriente de arranque del ejemplo anterior.
- El voltaje de inducido es cero porque la velocidad es cero.
 - La corriente de arranque es :

$$I_{\text{start}} = (300 - 4) / 0.2 = 1480 \text{ A.}$$

Circuito equivalente de arranque

