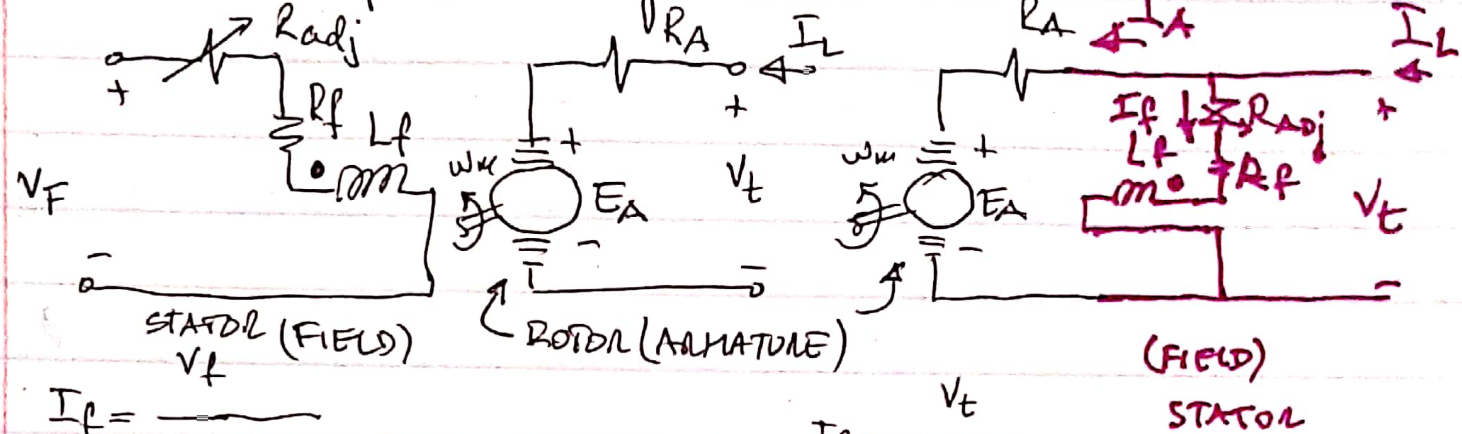
MOTORES DC CON EXCITACION INDEPENDIENTE Y EN DERIVACIONAL.

Si el voltaje en terminales es constante, entonces ambos motores funcionan igual.



$$I_f = \frac{V_f}{R_f + R_{Adj}}$$

$$V_t = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f + R_{adj}}$$

$$V_t = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A + I_f$$

Caracteristicas Terminales $\quad w_m = f(T_{ind})$

T_{ind} : par de salida (Nm)

w_m : Velocidad del eje de flecha en rad/s.

Supongamos un aumento de carga:

1. $T_{load} > T_{ind}$
2. $w_m \downarrow$ velocidad disminuye
3. $E_A^{\downarrow} = k\phi w_m^{\downarrow}$, E_A disminuye
4. $I_A^{\uparrow} = \dfrac{V_t - k\phi w_m^{\downarrow}}{R_A}$, I_A se incrementa
5. $T_{IND}^{\uparrow} = K\phi I_A^{\uparrow}$, El T_{ind} se incrementa y equipara al T_{load} a w_m menor.

Este proceso expresado en ecuaciones:

$$V_t = E_A + I_A R_A$$

$$V_t = k\phi\omega_m + I_A R_A$$

$$T_{IND} = k\phi I_A \longrightarrow I_A = \frac{T_{IND}}{k\phi}$$

$$V_t = k\phi\omega_m + \frac{T_{IND}}{k\phi} R_A$$

Despejamos ω_m y obtenemos

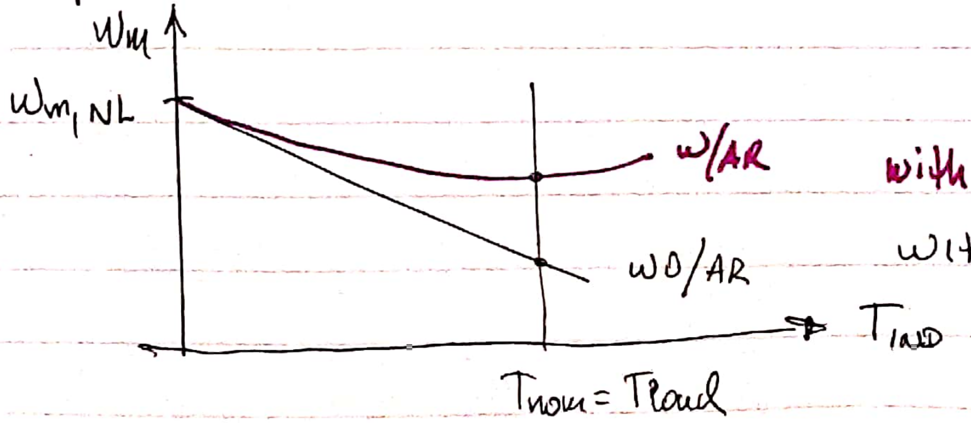
$$\boxed{\omega_m = \frac{V_t}{k\phi} - \frac{R_A}{(k\phi)^2} T_{IND}}$$

b: Intersección ω_m @NL — Pendiente de una recta

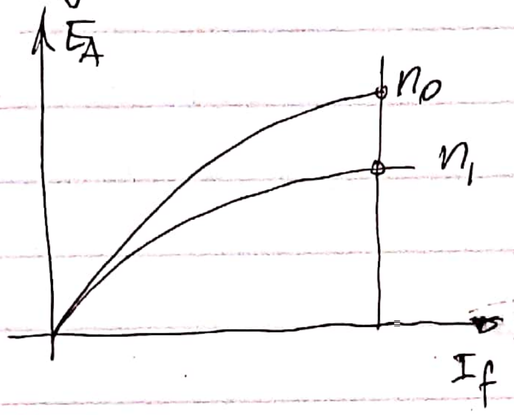
Efecto de AR: Armature Reaction: debilitamiento de ϕ

$$\omega_m \sim \frac{1}{\phi}$$ Incremento de velocidad

* El uso de bobinas compensadoras en las caras polares del campo (stator), elimina la AR.



Si ϕ = constante y conocemos tanto w_m como I_{A_1} entonces es posible saber la velocidad para cualquier otro nivel de carga.



$$E_A = k'\phi n_m$$

$$\frac{E_{A1}}{E_{A0}} = \frac{k'\phi n_{m1}}{k'\phi n_{m0}}$$

$$n_{m1} = \left(\frac{E_{A1}}{E_{A0}}\right) n_{m0}$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f + R_{Adj}} \longrightarrow \underline{\underline{E_{A0} \text{ @ } n_0 \text{ rpm}}}$$

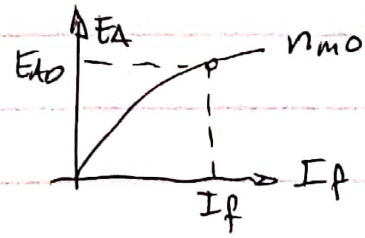
$$E_{A1} = V_t - I_{A1}R_A \quad ; \quad \boxed{\text{si } n_{m,NL},\ I_A = 0 \text{ y } E_{A1} = V_t}$$

$$P_{conv} = E_A I_A = T_{IND}\, w_m$$

$$T_{IND} = \frac{E_A I_A}{w_m} = \frac{E_A I_A}{n_m \times 2\pi/60} \quad [Nm]$$

PASOS DE CALCULOS SUGERIDOS:

PASO #1. $I_f = \dfrac{V_t}{R_f + R_{ADJ}}$



n_{m0}: REFERENCIA

0: VALOR LEIDO DE LA CARAC-TERISTICA.

PASO #2. $\underline{E_{A0} \text{ @ } n_{m0}}$

PASO #3: $E_{A1} = V_t - R_A I_{A1}$; $I_{A1} = I_L - I_f$

PASO #4: $n_{m1} = \left(\dfrac{E_A}{E_{A0}}\right) n_0$ (rpm)

PASO #5. $T_{IND} = \dfrac{E_{A1} I_{A1}}{n_{m1}(2\pi/60)}$ [Nm] ; $w_m = n_m \left(\dfrac{2\pi}{60}\right)$ rad/s.

Análisis NO-lineal de un MDC - Shunt:

Dado que E_A Vs $\mathcal{F}_F = N_F I_F$ es una característica no-Lineal, cualquier cambio en $\mathcal{F}_F$ no se puede analizar ó calcular analíticamente, pero se puede lograr obtener resultados gráficos para puntos discretos de operación.

$$\mathcal{F}_{net} = N_F I_F - \mathcal{F}_{AR}$$

Definimos : I_F^* : corriente de campo equivalente: es la corriente que produciría la misma E_A ó V_t que la combinación de todas las FMM operando juntas.

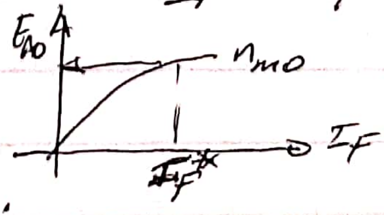
$$N_F I_F^* = N_F I_F - \mathcal{F}_{AR}$$

$$I_F^* = I_F - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F}$$

* Esta corriente no fluye en ninguna parte de la máquina.

Con AR se tiene el siguiente procedimiento:

PASO #1. $I_F = \dfrac{V_t}{R_f + R_{adj}} \rightarrow I_F^* = I_F - \dfrac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F}$



PASO #2. E_{A0} @ n_{m0}

PASO #3. $E_{A1} = V_t - R_A I_{A1}$; $I_{A1} = I_L - I_F$

PASO #4. $n_{m1} = \left(\dfrac{E_{A1}}{E_{A0}}\right) n_{m0}$ [rpm]

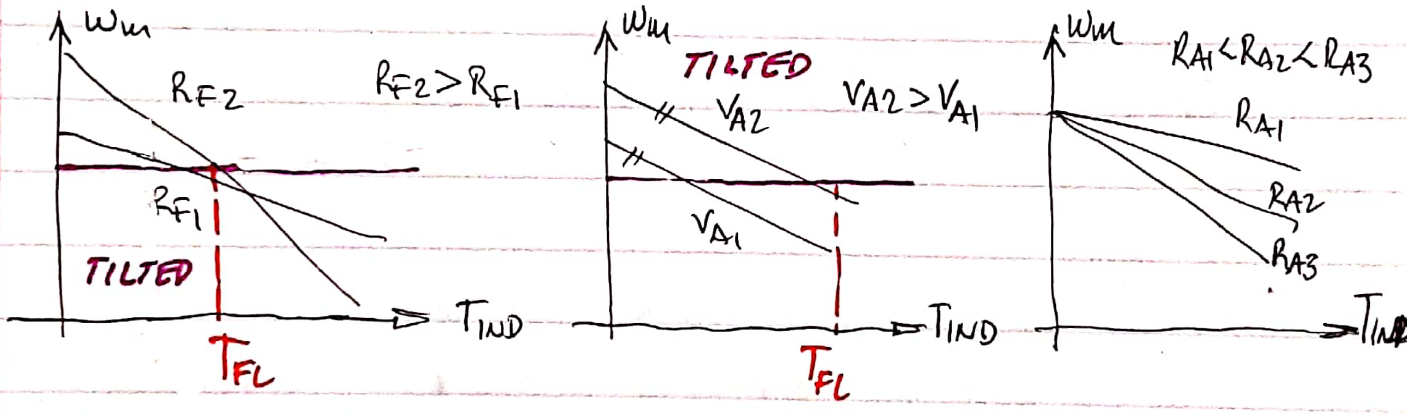
PASO #5. $T_{IND} = \dfrac{E_{A1} I_{A1}}{n_{m1}(2\pi/60)}$ [Nm] ; $\omega_m = n_m\left(\dfrac{2\pi}{60}\right)$ [rad/s]

Control de Velocidad en motores MDC-Shunt.

De la ecuación ω_m Vs T_{ind} se puede ver los 3 métodos de variar la velocidad:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} T_{ind}$$

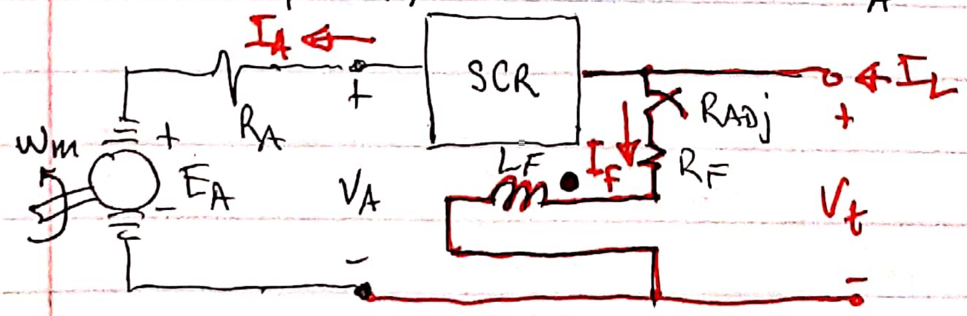
1. Ajuste de R_F ó flujo de campo (ϕ).
2. Ajuste de V_A (voltaje aplicado a la armadura).
3. Insertar una resistencia en el circuito de armadura (ajuste de voltaje en terminales de la armadura).



1. CNTRL R_F (ϕ)

2. CNTRL V_A

3. CNTRL $R_{SE,A}$



* En el cntrl de I_F (ϕ), la corriente $I_{F,máx}$ establece el máx calentamiento en la bobina de campo. Osea, este control de velocidad

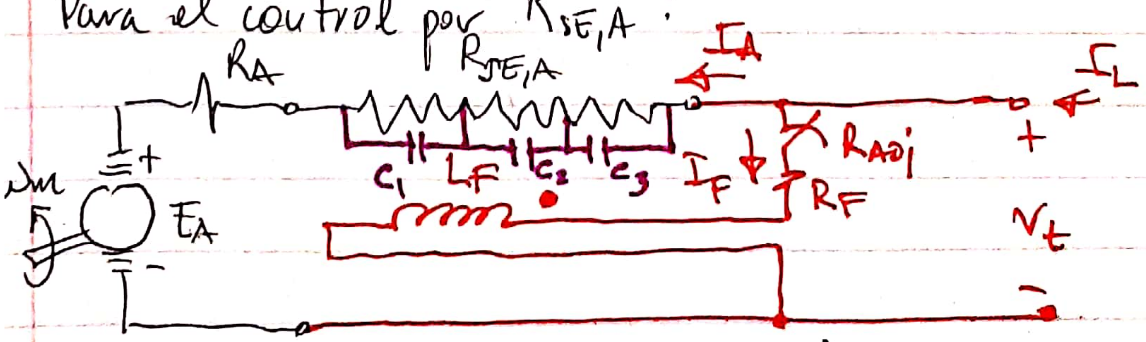
Se utiliza para velocidades por encima del $T_{nominal}$.

* En el control de V_A, $V_{A,máx}$ establece el voltaje máximo que soporta el aislamiento de la armadura. O sea, este control de velocidad se usa para velocidades por debajo del $T_{nominal}$.

* Cntrol R_F opera para velocidades superiores a la w_0 base ($V_{t,nominal}$, $P_{nominal}$, $I_{F,nominal}$) ó $w_{nominal}$.
Cntrl V_A opera para velocidades inferiores a la w_0 base.

* Ambos controles de velocidad son complementarios logrando control 40:1 ó más de velocidades continuos.

Para el control por $R_{SE,A}$:



C_1, C_2, C_3: contactores (NO): Al cerrar un contacto se reduce un segmento de Resistencia.

Límites de par y potencia en función de velocidad:

$T = f(\omega_m)$, $P = f(\omega_m)$

<u>Para el cntrl de V_A</u>, $\phi = \text{const}$ y el par máximo

$$T_{máx} = k\phi I_{A,máx}$$

y no depende de ω_m. La potencia máxima a cualquier velocidad

$$P_{máx} = T_{máx}\,\omega_m$$

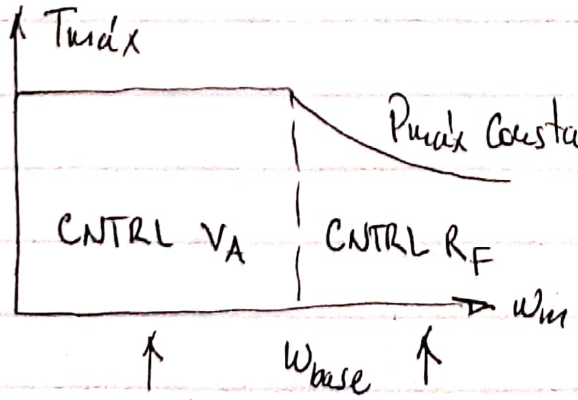
y es una función lineal de ω_m.

<u>Para el cntrl de R_F</u>, $\phi \neq$ constante

$$\omega_m \sim \frac{1}{\phi}$$

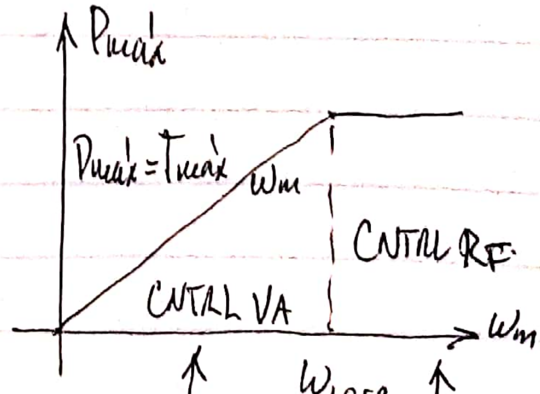
$$P_{máx} = T_{máx}\,\omega_m = \text{constante}$$

ya que $T_{máx} \sim \frac{1}{\phi}$



Constant torque Region (CTR)

Flux weakening Region (FWR)



CTR

FWR

* $I_A \neq$ constante bajo control de R_F.
I_A variará en función del T_{LOAD} (par requerido por el tipo de carga) y la velocidad w_m.

$$\left.\begin{array}{l} \overset{\uparrow}{T_{ind}} = k\phi I_A \quad (\leftarrow LOAD) \\ P = T_{ind}\, \overset{\uparrow}{w_m} \end{array}\right\} I_A = f(w_m, T_{ind})$$

Efecto de circuito de campo abierto:
Si CB = OFF en el circuito de campo
$\phi \longrightarrow \phi_{Remanente} \Longrightarrow E_A \approx 2\,V.$

$$w_m^{\uparrow\uparrow\uparrow} \sim \frac{1}{\phi\downarrow\downarrow}$$

La máquina se puede desbocar

1. $\overset{\uparrow\uparrow}{I_A} = \dfrac{V_t - E_A}{R_A} = \dfrac{V_t - k\overset{\downarrow\downarrow}{\phi} w_m}{R_A}$

2. $\overset{\uparrow}{T_{IND}} = k\,\overset{\downarrow\downarrow}{\phi}\,\overset{\uparrow\uparrow}{I_A}$, El incremento en I_A es más fuerte (el efecto) que el del flujo ϕ.

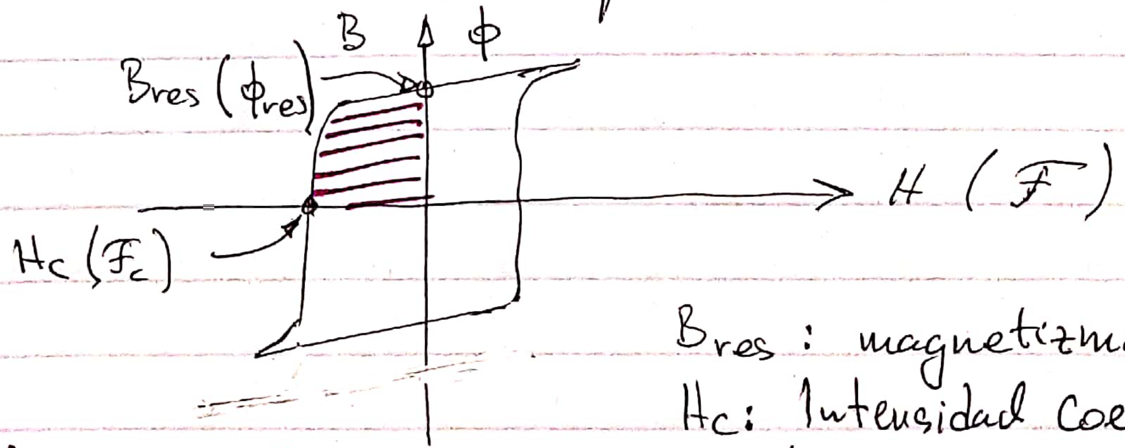
3. Si $\overset{\uparrow}{T_{ind}} \longrightarrow \overset{\uparrow}{w_m} \longrightarrow \infty$, pero antes la armadura se quema.

* Se usa un relé de pérdida de campo de campo que abre el CB de la línea. ($I_F = 0$).

Motor de Corriente Directa de Imán Permanente.

PMDCM: Permanent Magnets DC Motor.

- ↳ Polos hechos con PM's
- ↳ No tiene pérdidas en el ckt de campo
- ↳ ϕ = constante
- ↳ Mucho más pequeños ya que no tienen bobinas compensadoras.
- ↳ Pueden ser de hasta 100 HP, pero suelen ser de tamaño fraccional y Subfraccional.
- ↳ $T_{ind} << HP/AMP$
- ↳ Tienen riesgo de demagnetización
  - → calentamiento
  - → Vibración (materiales son menos fuerte que los aceros).



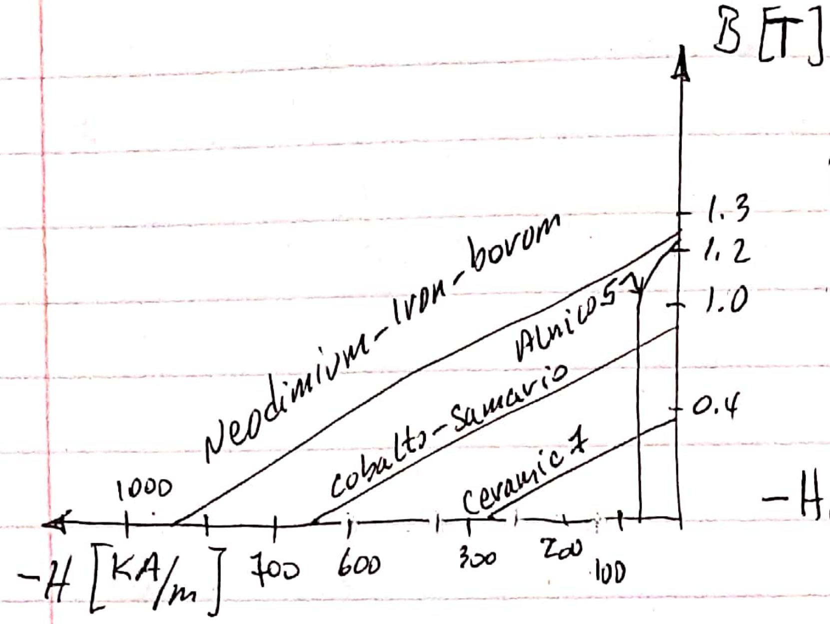
Región operativa de un PM.

Bres: magnetizmo residual

Hc: Intensidad Coercitiva (necesaria para demagnetizar al nucleo).

Se busca un alto producto $(BH)_{máx}$ que determina la energía por unidad de volumen: $[B] = \frac{Vs}{m^2}$; $[H] = \frac{At}{m}$

$[BH] = \frac{VAs\,t}{m^3} = J/m^3$; t = TURNS

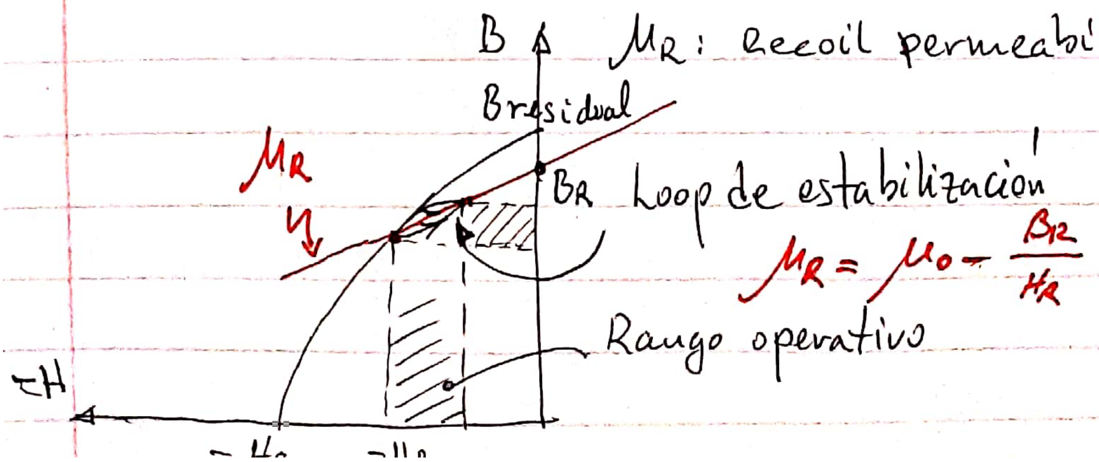


Materiales Ferromagnéticos:
↳ Duros: difícil de demagnetizar
↳ Suaves: fácil de demagnetizar
-Hc: determina que tan difícil es demagnetizar.

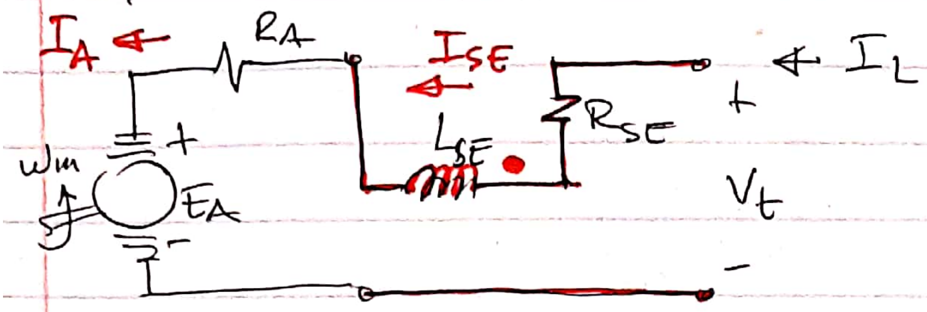
* Los materiales suaves (ALNICO) son usados para conducción magnética en dispositivos electro-magnéticos y electro-mecánicos.

* Los materiables duros son usados para imán permanente (Alnico 5, Cerámicos 7).

* Rare Earth (Tierras Raras): Neodimium, Cobalt, Samarium, borom): tienen características magnéticas con permeabilidades constantes y altos $-H_c$.



Motor de Corriente Directa Serie:



$$V_t = E_A + (R_A + R_{SE}) I_A$$

$$I_A = I_{SE} = I_L$$

$$\left.\begin{aligned} \phi &= c\, I_A \\ T_{IND} &= K \phi I_A \end{aligned}\right\} \; T_{IND} = K c I_A^2$$

* Esta máquina cuenta con el mayor par por unidad de amperios de todas la máquinas eléctricas.

$$T_{IND} >> HP/Amp$$

Característica T_{IND} Vs w_m:

1. $\phi = c I_A$
2. $V_t = E_A + (R_A + R_{SE}) I_A$
3. $I_A = \sqrt{\dfrac{T_{IND}}{Kc}}$
4. $E_A = K\phi w_m$
5. $V_t = K\phi w_m + \sqrt{\dfrac{T_{IND}}{Kc}} \, (R_A + R_{SE})$

Eliminamos ϕ:

$$I_A = \frac{\phi}{c} \longrightarrow \tau_{IND} = Kc\, I_A^2 = Kc \frac{\phi^2}{c^2}$$

$$\tau_{IND} = k\frac{\phi^2}{c} \longrightarrow \phi = \sqrt{\frac{c}{k}}\sqrt{\tau_{IND}}$$

$$V_t = k\sqrt{\frac{c}{k}}\sqrt{\tau_{IND}}\,\omega_m + \sqrt{\frac{\tau_{IND}}{kc}}\,(R_A + R_{SE})$$

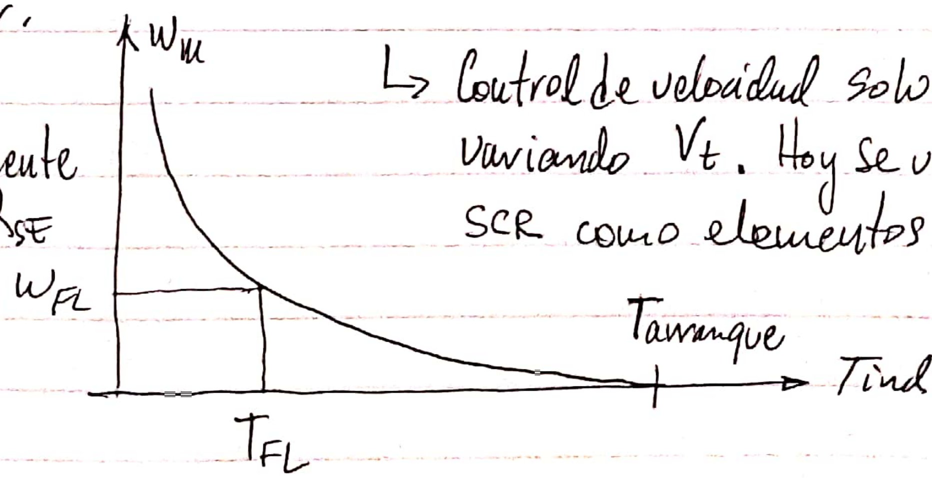
$$\boxed{\omega_m = \frac{V_t}{\sqrt{kc}}\,\frac{1}{\sqrt{\tau_{IND}}} - \frac{R_A + R_{SE}}{kc}}$$

Si la máquina no está saturada

$$\omega_m \sim \frac{1}{\sqrt{\tau_{IND}}}$$

Si el motor no tiene carga $\tau_{ind} = \tau_{load} = 0$, entonces $\omega_m \longrightarrow \infty$. Este implica que no puede usarse correas para acoplar la carga. Nunca debe descargarse mecánicamente este motor.

↳ Antiguamente se usaba R_{SE} como elemento de control de velocidad.



↳ Control de velocidad solo variando V_t. Hoy se usa SCR como elementos.