

EVIDENCIA No. 7

"ANALIZAR EL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO MEDIANTE EL MODELO DE PARAMETROS" (ANÁLISIS POR FASE)

Instrucciones

El problema es el mismo que el visto en clase, (se anexa aquí mismo)

solo que se les solicita que ustedes desglosen al máximo todas las operaciones de conversiones polar rectangular y viceversa, ya que, en el problema de clase, la mayoría de las operaciones están abreviadas o expresadas solamente y solo muestran los resultados. DEBERAN DE MAXIMIZAR LAS OPERACIONES

Si se elabora la evidencia copiando solo el problema de ejemplo sin desarrollar paso a paso las operaciones, la tarea o evidencia no tendrá ningún punto de calificación. Ya que el objetivo es que practiquen las operaciones en calculadora paso a paso para el día del examen no se les dificulte

ATENCIÓN: SOLO SE RESOLVERA HASTA EL INCISO 15 para la evidencia

Se anexa archivo con el problema resuelto

PROBLEMA

UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFASICO DE CORRIENTE ALTERNA CON ROTOR JAULA DE ARDILLA TIENE LOS SIGUIENTES DATOS Y PARAMETROS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE VACIO Y DE ROTOR BOLQUEADO A TENSION PLENA Y A TENSION REDUCIDA:

DATOS DE PLACA
3 HP
440-220 V
3 Fases
4 Polos
$\eta_R = 1750$

MODELO DE ARRANQUE
$R_e = 2.69 \Omega$
$R_{R'} = 2.79 \Omega$
$X_e = X_{R'} = 3.4 \Omega$
$X_m = 103 \Omega$
$R_m = 3.66 \Omega$

MODELO DE MARCHA
$R_e = 2.69 \Omega$
$R_{R'} = 2.14 \Omega$
$X_e = 4.36 \Omega$
$X_{R'} = 4.5 \Omega$
$X_m = 103 \Omega$
$R_m = 3.66 \Omega$

Se requiere determinar las condiciones del funcionamiento del motor en el momento del arranque y durante la marcha, las pérdidas medidas son las siguientes:

- ◆ Pérdidas por fricción y ventilación (**$P_{f+v} = 44 \text{ Watts}$**)
- ◆ Pérdidas totales en el núcleo del estator debido a la histéresis y corrientes parásitas y en el núcleo del rotor debido a la rotación son de 122 watts
(**$P_{\text{núcleo estator}} + P_{\text{núcleo rotor}} = 122 \text{ Watts}$**)
- ◆ Pérdidas parásitas debido a la carga (**$P_{\text{parásitas}} = 48 \text{ Watts}$**)

La prueba se efectuó a **440 Volts** tomando el motor una corriente en vacío de **$I_o = 2.36 \text{ A}$**

DETERMINAR:

EN EL ARRANQUE

1. Corriente de Arranque ($I_{arranque}$)
2. Par de Arranque ($T_{arranque}$)

DURANTE LA MARCHA A PLENA CARGA

3. Deslizamiento (S)
4. La Resistencia de Carga
5. Corriente de Marcha ($I_{nominal}$)
6. La corriente de vacio (I_0)
7. La relación entre la corriente de Arranque y la de Marcha
8. Factor de Potencia ($\cos \theta$)
9. Par Desarrollado ($T_{desarrollado}$)
10. Par Perdidas Mecánicas en el Rotor (T_{pmr})
11. Par Entregado ($T_{entregado}$)
12. Potencia de Entrada ($P_{entrada}$)
13. Potencia de Perdidas ($P_{perdidas}$)
14. Potencia Entregada ($P_{entregada}$)
15. Rendimiento (n)

VALORES MAXIMOS

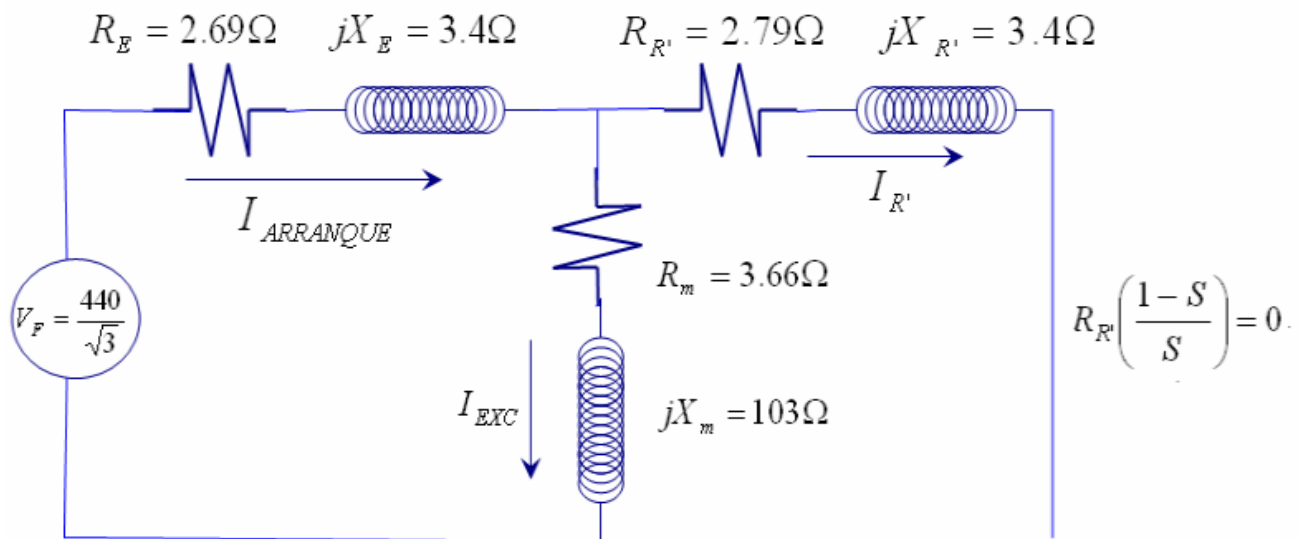
16. Deslizamiento Máximo (S_{max})
17. Par Motor Máximo (T_{max})

GRAFICAS

18. Curva Par - Velocidad

ANÁLISIS DE ARRANQUE

Como estamos en el análisis de arranque se toman los datos de la tabla de "Modelo de Arranque"



$$\eta_R = 0$$

$$R_{R'} \left(\frac{1-S}{S} \right) = 0$$

$$S = \frac{\eta_S - \eta_R}{\eta_S} (x100\%)$$

$$S = 1$$

$$R_{R'} \left(\frac{1-S}{S} \right) = 0$$

MODELO DE ARRANQUE
$R_e = 2.69 \Omega$
$R_{R'} = 2.79 \Omega$
$X_e = X_{R'} = 3.4 \Omega$
$X_m = 103 \Omega$
$R_m = 3.66 \Omega$

Todos los motores arrancan en CORTOCIRCUITO

Se calculan las impedancias

$$Z_e = R_e + jX_e$$

$$Z_{R'} = R_{R'} + jX_{R'}$$

$$Z_m = R_m + jX_m$$

$$Z_e = 2.69 + j3.4 = 4.34 \angle 51.65^\circ$$

$$Z_{R'} = 2.79 + j3.4 = 4.40 \angle 50.63^\circ$$

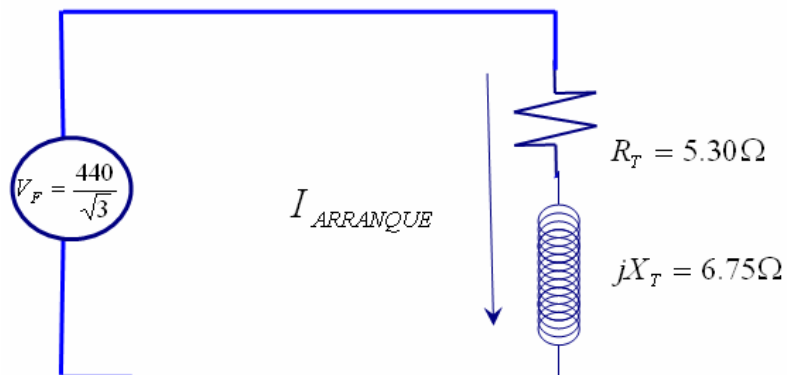
$$Z_m = 3.66 + j103 = 103.07 \angle 87.96^\circ$$

Corriente de arranque

$$I_{\text{arranque}} = \frac{V_f}{Z_T}$$

V_f es el voltaje de fase

Z_T es la impedancia equivalente del circuito



$$\mathbf{Z}_T = (Z_{R'} // Z_m) + Z_e$$

$$\mathbf{Z}_T = \left(\frac{Z_{R'} \times Z_m}{Z_{R'} + Z_m} \right) + Z_e$$

Por lo tanto:

$$\mathbf{Z}_T = \left(\frac{(4.40 \angle 50.63^\circ) * (103.07 \angle 87.96^\circ)}{(4.40 \angle 50.63^\circ) + (103.06 \angle 87.96^\circ)} \right) + 4.34 \angle 51.65^\circ$$

$$\mathbf{Z}_T = \mathbf{8.59} \angle 51.85^\circ \Omega$$

Sustituyendo Z_T en la ecuación $I_{arranque} = \frac{V_f}{Z_T}$

Como el voltaje que requerimos es el de fase, se divide el voltaje de línea entre $\sqrt{3}$

$$\mathbf{I}_{arranque} = \frac{440 / \sqrt{3} \angle 0^\circ}{8.59 \angle 51.85^\circ}$$

$$\mathbf{I}_{arranque} = 29.58 \angle -51.85^\circ \text{ A}$$

Par de arranque

$$P = \tau \omega$$

$$\tau \cdot_{\text{arranque}} = \left[\frac{m * 7.04}{\eta s} \right] P_{R'}$$

Donde

- τ : par motor en (libras- pie)
- ω : velocidad angular (rad/seg)
- n_s : velocidad sincrónica en (rpm)
- P: potencia real en (Watts)
- m: numero de fases
- 7.04 constante

$$P_{R'} = I_{R'}^2 R_{R'}$$

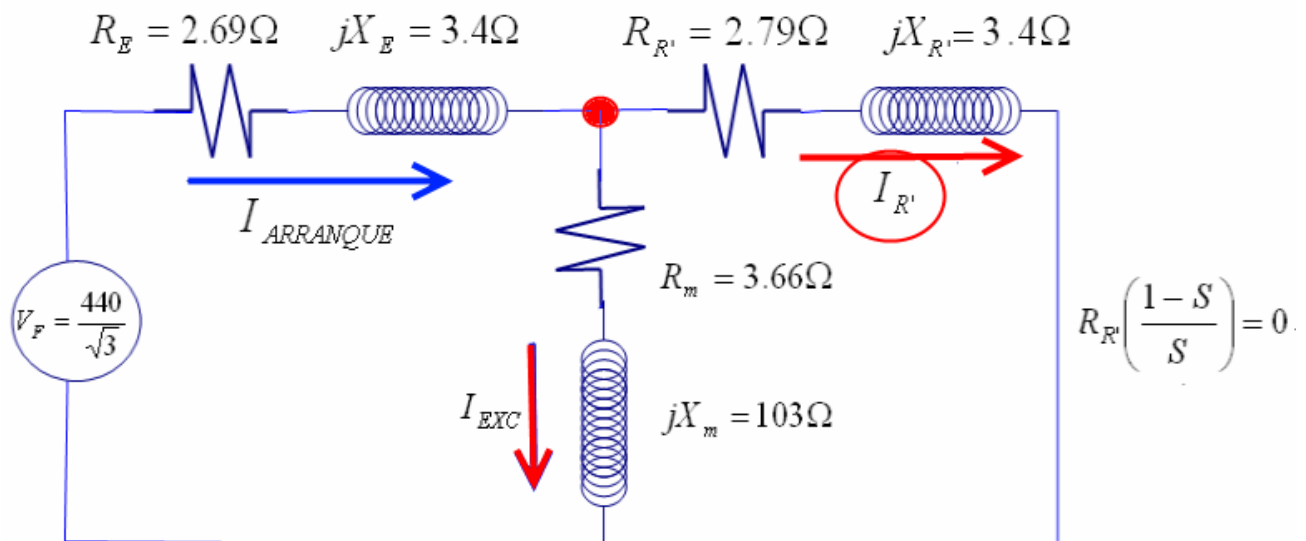
$$\tau \cdot_{\text{arranque}} = \left[\frac{m * 7.04}{\eta s} \right] I_{R'}^2 R_{R'}$$

$$m = 3 \text{ \# de fases} \quad f = 60 \text{ Hz}$$

$$n_s = \frac{120f}{P} = 1800 \text{ rpm}$$

$$P = 4 \text{ polos}$$

De la ecuación anterior se necesita calcular la $I_{R'}$ por lo que la calcularemos mediante la ecuación del divisor de corriente



$$I_{R'} = I_{arranque} \left(\frac{Z_m}{Z_m + Z_{R'}} \right)$$

$$I_{R'} = 29.58 \angle -51.85^\circ \left(\frac{103.07 \angle 87.96^\circ}{103.07 \angle 87.96^\circ + 4.40 \angle 50.63^\circ} \right)$$

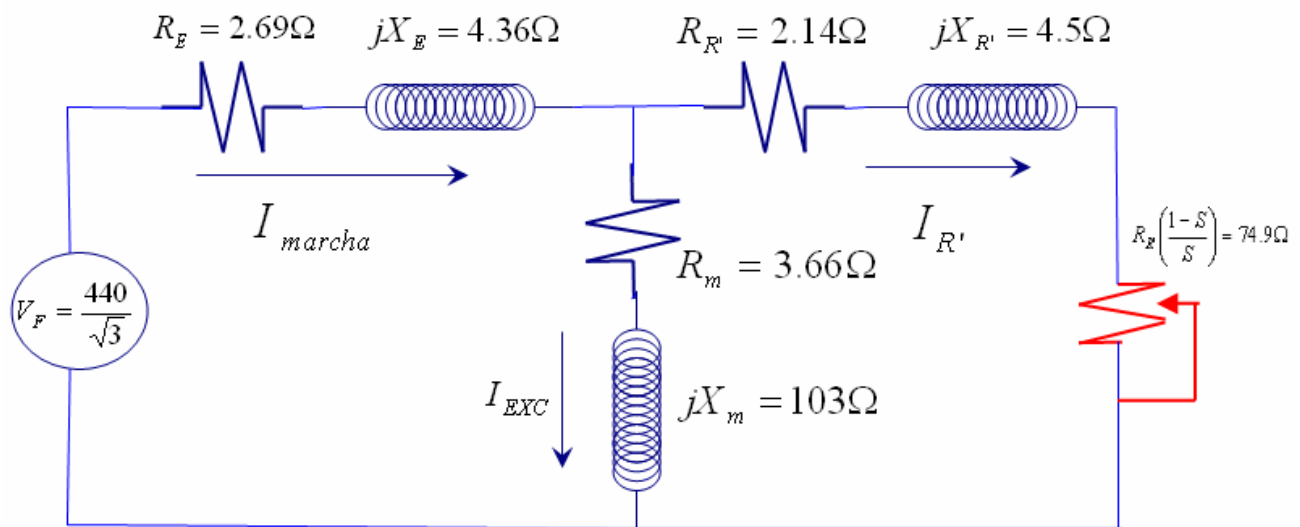
$$I_{R'} = 28.60 \angle -50.42^\circ \text{ A}$$

$$\tau_{arranque} = \frac{m * 7.04}{n_s} I_{R'}^2 R_{R'} = \left(\frac{3 * 7.04}{1800} \right) (28.6)^2 (2.79) = 26.78 \text{ (Lb - pie)}$$

$$\tau_{arranque} = 26.78 \text{ (Lb - pie)}$$

ANÁLISIS DE MARCHA (condición de plena carga)

Como estamos en el análisis en la marcha se toman los datos de la tabla de "Modelo de marcha"



$$\eta_s = \frac{120f}{p}$$

$$\eta_s = 1800 \text{ rpm}$$

$$n_{R'} = 1750 \text{ rpm (a plena carga)}$$

MODELO DE MARCHA

Re = 2.69 Ω
RR' = 2.14 Ω
Xe = 4.36 Ω
XR' = 4.5 Ω
Xm = 103 Ω
Rm = 3.66 Ω

Deslizamiento a plena carga

$$S = \frac{n_s - n_{R'}}{n_s} = \frac{1800 - 1750}{1800} = .028 \approx 2.8\%$$

Calculo de la resistencia a plena carga

$$R_{R'} \left(\frac{1-S}{S} \right) = 2.14 \left(\frac{1-.028}{.028} \right) = 74.9 \Omega$$

Se calculan las impedancias

$$Z_e = R_e + jX_e$$

$$Z_{R'} = R_{R'} + jX_{R'}$$

$$Z_m = R_m + jX_m$$

Forma Rectangular

Forma Polar

$$Z_e = 2.69 + j4.36 \longrightarrow Z_e = 5.12 \angle 58.33^\circ$$

$$Z_{R'} = (2.14 + 74.9) + j4.5 \longrightarrow Z_{R'} = 77.17 \angle 3.34^\circ$$

$$Z_m = 3.66 + j103 \longrightarrow Z_m = 103.07 \angle 87.96^\circ$$

Corriente Nominal (plena marcha)

$$I_{marcha} = \frac{V_f}{Z_T}$$

V_f es el voltaje de fase

Z_T es la impedancia equivalente del circuito de marcha

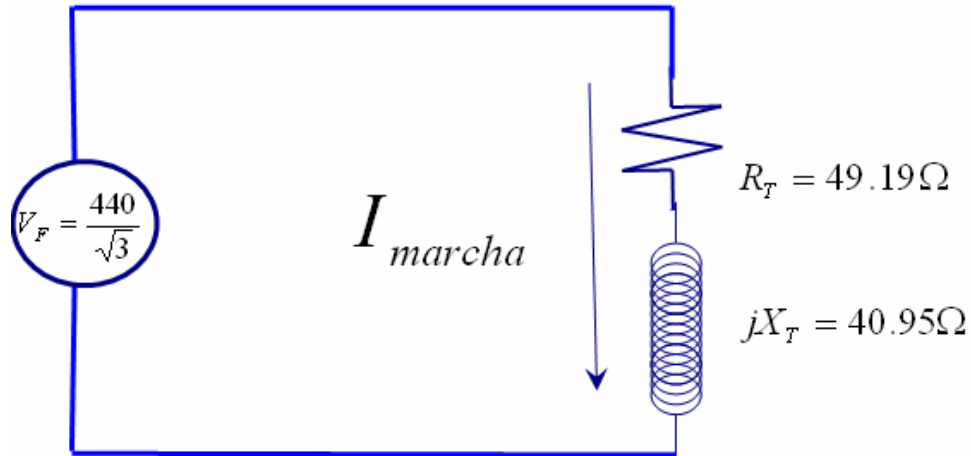
$$Z_T = (Z_{R'} // Z_m) + Z_e$$

$$Z_T = \left(\frac{Z_{R'} \times Z_m}{Z_{R'} + Z_m} \right) + Z_e$$

Por lo tanto:

$$\mathbf{Z}_T = \left(\frac{(77.17 \angle 3.34^\circ) * (103.07 \angle 87.96^\circ)}{(77.17 \angle 3.34^\circ) + (103.06 \angle 87.96^\circ)} \right) + 5.12 \angle 58.33^\circ$$

$$\mathbf{Z}_T = \mathbf{64} \angle 39.78^\circ \Omega$$



$$Z_T = 49.19 + j40.95 = 64 \angle 39.78^\circ \Omega$$

Sustituyendo Z_T en la ecuación $I_{marcha} = \frac{V_f}{Z_T}$

Como el voltaje que requerimos es el de fase, se divide el voltaje de línea entre $\sqrt{3}$

$$\mathbf{I}_{nominal} = \frac{440 / \sqrt{3} \angle 0^\circ}{64 \angle 39.78^\circ}$$

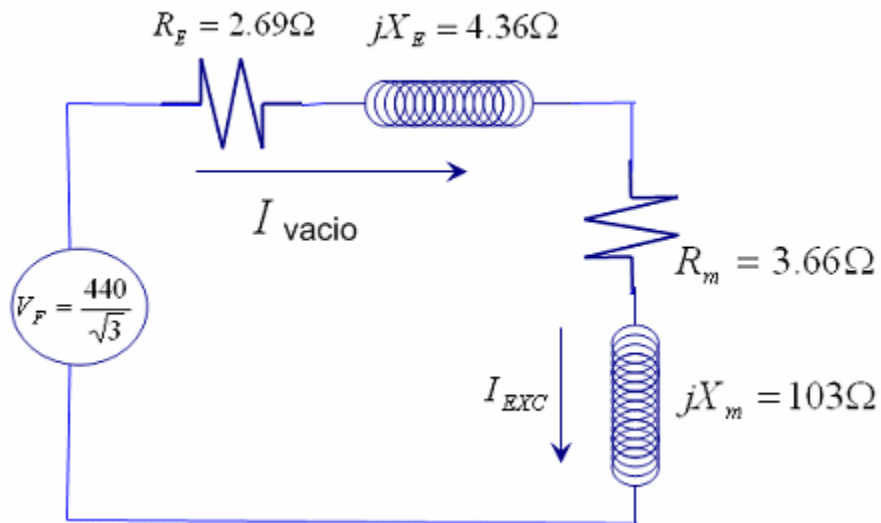
$$\mathbf{I}_{nominal} = 3.97 \angle -39.78^\circ \text{ A}$$

$$\mathbf{I_{nominal} = 3.97 A}$$

Relación entre la Corriente de arranque y la nominal

$$\frac{\mathbf{I_{arranque}}}{\mathbf{I_{marcha}}} = \frac{\mathbf{29.57 A}}{\mathbf{3.9 A}} = \mathbf{7.6 \text{ veces}}$$

Corriente del motor en vacío I_0



$$I_0 = \frac{V_f}{Z_T}$$

$$\mathbf{Z_T = Z_m + Z_e = 2.69 + j4.36 + 3.66 + j103 = 6.35 + j107.36 = 107.55 \angle -86.62^\circ \Omega}$$

$$\mathbf{I_{vacio} = \frac{440/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{107.55 \angle 86.62^\circ}}$$

$$\mathbf{I_{vacio} = 2.36 \angle -86.62^\circ A}$$

Factor de potencia

$$f.p = \cos \theta = \cos 39.78 = 0.768 \text{ _atrazo}$$

Corriente de rotor ($I_{R'}$)

$$I_{R'} = I_{marcha} \left(\frac{Z_m}{Z_m + Z_{R'}} \right) = 3.97 \angle -39.78 \left(\frac{103.07 \angle 87.96^\circ}{103.07 \angle 87.96^\circ + 77.17 \angle 3.34^\circ} \right)$$

$$I_{R'} = 3.04 \angle -4.92^\circ \text{ A}$$

Par desarrollado

$$\tau_{desarrollado} = \left[\frac{m * 7.04}{\eta_s} \right] I_{R'}^2 R_{R'total}$$

$$\tau_{desarrollado} = \frac{m * 7.04}{n_s} I_{R'}^2 R_{R'total} = \left(\frac{3 * 7.04}{1800} \right) (3.04)^2 (77.04) = 8.4 (\text{Lb} - \text{pie})$$

$$\tau_{desarrollado} = 8.4 (\text{Lb} - \text{pie})$$

Par pérdidas mecánicas en el rotor (τ_{PMR})

$$\tau_{PMR} = \frac{7.04}{\eta_s} [(P_f + v) + (P_{nucleorotor}) + (P_{parasitas})]$$

$$P_{F+V} = 44W \quad (\text{Pérdidas por fricción + ventilación})$$

$$P_{PC} = 48W \quad \text{Pérdidas parásitas por la carga}$$

$$P_{NR} + P_{NE} = 122W \quad \text{Pérdidas totales en los núcleos del rotor + estator}$$

Como las pérdidas en el núcleo del estator y en el núcleo del rotor las podemos considerar iguales $\therefore P_{NR} = 61W$

$$\tau_{PMR} = \frac{7.04}{n_s} (P_{F+V} + P_{NR} + P_{PC}) = \left(\frac{7.04}{1800} \right) (44 + 61 + 48) = 0.6(Lb - pie)$$

Par entregado ($\tau_{entregado}$)

$$\tau_{entregado} = \tau_{desarrollado} - \tau_{PMR} = 8.4 - 0.6 = 7.77(Lb - pie)$$

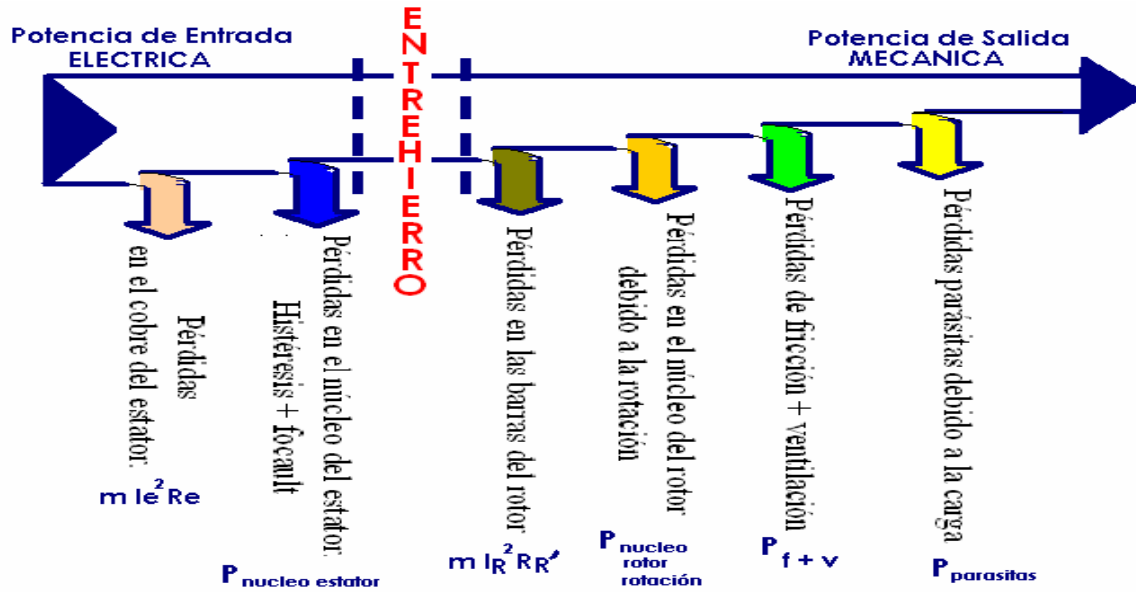
$$\tau_{entregado} = 7.77(Lb - pie)$$

Potencia de entrada ($P_{entrada}$)

$$P_{entrada} = (3)(V_F)(I_F)(f \cdot p) \quad I_F = I_{marcha}$$

$$P_{entrada} = (3)(254)(3.97)(.768) = 2324Watts$$

$$P_{entrada} = 2324.Watts$$



Potencia de pérdidas ($P_{perdidas}$)

- ESTATOR** $(m)(I_{estator})^2(R_e) = (3)(3.97)^2(2.69) = 127.1$
 - ROTOR** $(m)(I_{R'})^2(R_{R'}) = (3)(3.04)^2(2.14) = 59.46$
 - NÚCLEOS** $P_{NR} + P_{NE} = 122$
 - PARÁSITAS EN LA CARGA** $P_{PC} = 48$
 - FRICCIÓN + VENTILACIÓN** $P_{F+V} = 44$
- CALCULAR**
- DATOS**
- TOTAL DE POTENCIAS PERDIDAS = 400.58 watts**

Potencia Entregada ($P_{entregada}$)

$$P_{entregada} = P_{entrada} - P_{perdidas}$$

$$P_{entregada} = 2324 - 400.58 = 1924..Watts$$

$$P_{entregada} = 2.58..HP$$

1 H.P. = 746 Watts

la potencia entregada se expresa en HP debido a que es una potencia mecánica

Rendimiento

$$\%rendimiento = \frac{P_{entregada}}{P_{entrada}} = \frac{1924}{2324} = .828$$

$$\text{Rendimiento} = \mathbf{82.8\%}$$

Deslizamiento máximo (S_{maximo})

$$S_{maximo} = \frac{\left(1 + \frac{X_e}{X_m}\right)R_{R'}}{X_e + \left(1 + \frac{X_e}{X_m}\right)X_{R'}} = \frac{\left(1 + \frac{4.36}{103}\right)2.14}{4.36 + \left(1 + \frac{4.36}{103}\right)4.5} = \frac{2.23}{9.050} = .246 \Rightarrow 24.6\%$$

Calcular para

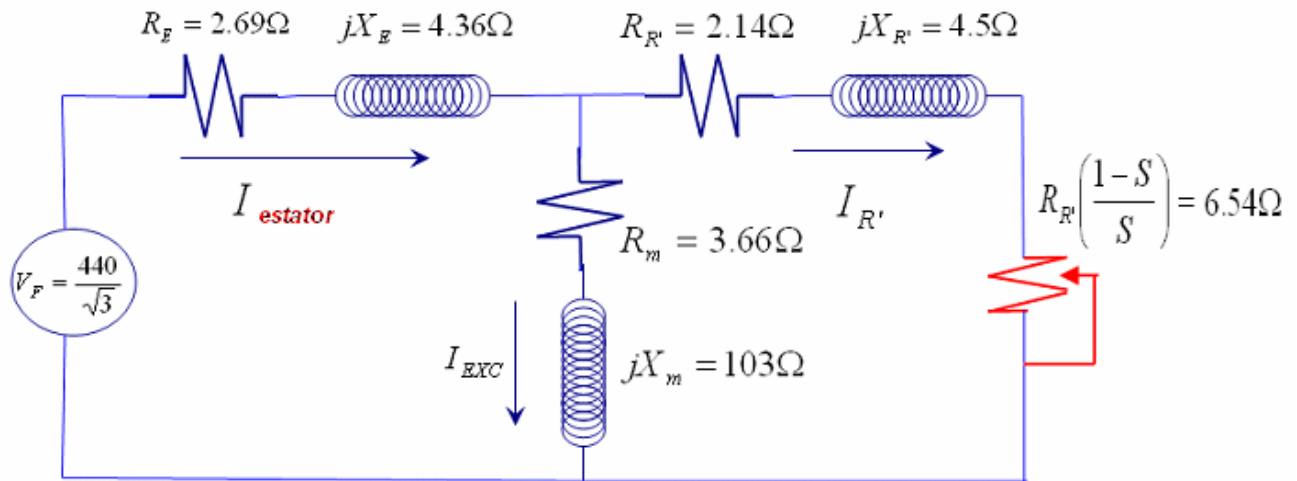
$$S_{maximo} = \mathbf{0.246}$$

$$R_{R'} \left(\frac{1-S}{S} \right) = 2.14 \left(\frac{1-0.246}{0.246} \right) = 6.54\Omega$$

$$Z_e = 2.69 + j4.36 = 5.12 \angle 58.32^\circ$$

$$Z_{R'} = (2.14 + 6.54) + j4.5 = 9.78 \angle 27.40^\circ$$

$$Z_m = 3.66 + j103 = 103.6 \angle 87.96^\circ$$



$$I_e = \frac{V_T}{Z_T}$$

$$Z_T = (Z_{R'} \parallel Z_m) + Z_e = 7.9 + j4.91 + 2.69 + j4.36 = 10.59 + j9.27 \Rightarrow 14.07 \angle 41.19^\circ$$

$$(Z_{R'} \parallel Z_m) = \frac{Z_{R'} Z_m}{Z_{R'} + Z_m} = \frac{1007.92 \angle 115.33^\circ}{108.2 \angle 83.44^\circ} = 9.31 \angle 31.89^\circ \Rightarrow 7.9 + j4.91$$

$$Z_{R'} Z_m = (9.78 \angle 27.37^\circ)(103.06 \angle 87.96^\circ) = 1007.92 \angle 115.33^\circ$$

$$Z_{R'} + Z_m = 8.69 + j4.5 + 3.66 + j103 = 12.35 + j107.5 \Rightarrow 108.2 \angle 83.44^\circ$$

$$I_e = \frac{V_T}{Z_T} = \frac{440/\sqrt{3}}{14.07 \angle 41.19^\circ} = \frac{254 \angle 0^\circ}{14.07 \angle 41.19^\circ} = 18.05 \angle -41.19^\circ$$

Par máximo (τ_{maximo})

$$\tau_{maximo} = \frac{7.04(m)}{n_S} I_{R'}^2 R_{R'T} = (0.011)(17.17)^2(8.68) = 30(Lb - pie)$$

Curva Par-Velocidad

