

# Prácticas de máquinas eléctricas

## Simulación y circuitos equivalentes

Actividad de Evaluación Continua 1 (AEC1)

Asignatura: Tecnología Eléctrica (1526)

Alexander Sebastian Kalis

9 de noviembre de 2025

9,25 Buen trabajo.

## **Índice**

<b>1. Problema 1</b>	<b>2</b>
<b>2. Problema 2</b>	<b>3</b>
2.1. a) Ensayo de vacío . . . . .	3
2.2. b) Ensayo de cortocircuito . . . . .	4
<b>3. Problema 3</b>	<b>5</b>
<b>4. Problema 4</b>	<b>6</b>

# 1. Problema 1

2,75

Problema examen febrero 2025

Una amasadora industrial se conecta a una red eléctrica de 15 kV, 50 Hz, mediante un transformador de las siguientes características:

- Conexión Yy
- $S_N = 100 \text{ kVA}$
- Relación de tensiones 15 kV/380 V
- $\varepsilon_{Rcc} = 5\%$
- $\varepsilon_{Xcc} = 2\%$

La carga de la amasadora se modela mediante una impedancia de  $\bar{Z}_{carga} = 3\angle 30^\circ \Omega$ . Se pide calcular la tensión de línea a la que se alimenta la amasadora sabiendo que la tensión en el primario se mantiene constante y que está conectada en estrella con una línea de impedancia  $0,1 \Omega/\text{fase}$ .

## Solución

### 1. Cálculo de parámetros del transformador (lado B.T.):

$$Z_{base,BT} = \frac{U_{N,BT}^2}{S_N} = \frac{380^2}{100000} = 1,444 \Omega$$

$$R_{cc,BT} = \varepsilon_{Rcc} \cdot Z_{base,BT} = 0,05 \cdot 1,444 = 0,0722 \Omega$$

$$X_{cc,BT} = \varepsilon_{Xcc} \cdot Z_{base,BT} = 0,02 \cdot 1,444 = 0,02888 \Omega$$

### 2. Circuito equivalente por fase (referido al secundario):

La impedancia total por fase vista desde la carga incluye la del transformador y la de la línea.

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{tot} &= (R_{cc,BT} + jX_{cc,BT}) + \bar{Z}_{linea} + \bar{Z}_{carga} \\ \bar{Z}_{tot} &= (0,0722 + j0,02888) + (0,1 + j0) + (3\angle 30^\circ) \\ \bar{Z}_{tot} &= 0,1722 + j0,02888 + (2,598 + j1,5) \\ &= 2,7702 + j1,52888 = 3,164\angle 28,9^\circ \Omega\end{aligned}$$

Bien, aunque lo usual es trabajar en el primario.

### 3. Cálculo de la tensión en la carga:

Tensión de fase en el secundario en vacío (referencia):

$$U_{20f} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 219,39 \text{ V}$$

Corriente de carga:

$$\bar{I}_2 = \frac{U_{20f}}{\bar{Z}_{tot}} = \frac{219,39\angle 0^\circ}{3,164\angle 28,9^\circ} = 69,34\angle -28,9^\circ \text{ A}$$

Tensión de fase en la carga:

$$\bar{U}_{2f,carga} = \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_{carga} = 69,34\angle -28,9^\circ \cdot 3\angle 30^\circ = 208,02\angle 1,1^\circ \text{ V}$$

Tensión de línea en la carga (módulo):

$$U_{2L,carga} = \sqrt{3} \cdot |\bar{U}_{2f,carga}| = \sqrt{3} \cdot 208,02 \approx 360,3 \text{ V}$$

Hay que indicar los resultados con módulo y argumento. El ángulo entre fase y línea son  $30^\circ$ , luego argumento  $31,1^\circ$

## 2. Problema 2

2,75

Un transformador monofásico de 1 MV A, 10000/1000 V, 50 Hz ha dado los siguientes resultados en ensayos:

**Vacio (B.T.):**  $U_0 = 1000 \text{ V}$ ,  $I_0 = 30 \text{ A}$ ,  $P_0 = 10 \text{ kW}$

**Cortocircuito (A.T.):**  $U_{cc} = 540 \text{ V}$ ,  $I_{cc} = 90 \text{ A}$ ,  $P_{cc} = 12 \text{ kW}$

### 2.1. a) Ensayo de vacío

Cálculo de parámetros:

Indicar que se realiza en el secundario, generalmente se pasa todo al primario

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} = \frac{10000}{1000 \cdot 30} = 0,333 \Rightarrow \varphi_0 = 70,53^\circ$$

$$I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 30 \cdot 0,333 = 10 \text{ A} \Rightarrow R_{Fe} = \frac{U_0}{I_{Fe}} = \frac{1000}{10} = 100 \Omega$$

$$I_\mu = I_0 \cdot \sin \varphi_0 = 30 \cdot \sin(70,53^\circ) = 28,28 \text{ A} \Rightarrow X_\mu = \frac{U_0}{I_\mu} = \frac{1000}{28,28} \approx 35,36 \Omega$$

Cálculo de la inductancia de magnetización para la simulación:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi f} = \frac{35,36}{2\pi \cdot 50} \approx 0,1125 \text{ H}$$

Simulación en QUCS:

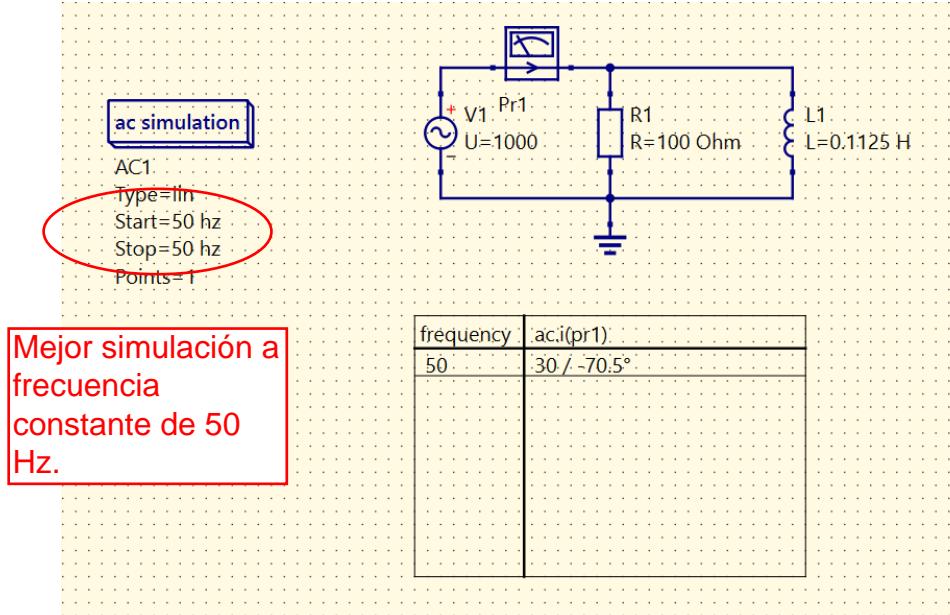


Figura 1: Circuito de simulación del ensayo de vacío en QUCS. La simulación verifica el valor de la intensidad de vacío  $I_0 = 30 \text{ A}$ .

## 2.2. b) Ensayo de cortocircuito

Cálculo de parámetros:

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{12000}{90^2} \approx 1,48 \Omega$$

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{cc}} = \frac{540}{90} = 6 \Omega$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = \sqrt{6^2 - 1,48^2} \approx 5,81 \Omega$$

Cálculo de la inductancia de cortocircuito para la simulación:

$$L_{cc} = \frac{X_{cc}}{2\pi f} = \frac{5,81}{2\pi \cdot 50} \approx 0,0185 \text{ H}$$

Simulación en QUCS:

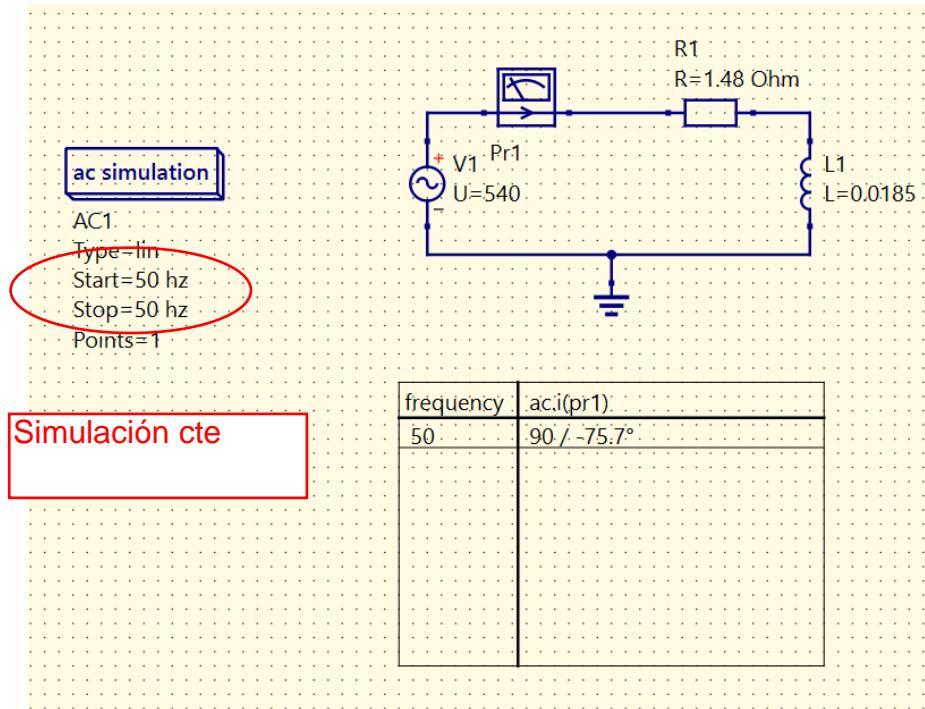


Figura 2: Circuito de simulación del ensayo de cortocircuito en QUCS. La simulación verifica el valor de la intensidad de cortocircuito  $I_{cc} = 90 \text{ A}$ .

### 3. Problema 3 1,75

*Problema examen septiembre 2025*

Alternador trifásico conectado en estrella a red de potencia infinita de 9 kV.  $X_s = 35 \Omega/\text{fase}$ . Desarrolla  $S = 3000 \text{kV A}$  con  $\cos \varphi = 0,9$  (inductivo). Se aumenta la f.e.m. un 10% manteniendo potencia activa constante.

#### Solución

1. Estado inicial (1): Tensión de fase y corriente nominal:

$$U_f = \frac{9000}{\sqrt{3}} \approx 5196 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U_L} = \frac{3000 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 9000} \approx 192,45 \text{ A}$$

$$\varphi_1 = \arccos(0,9) \approx 25,84^\circ$$

$$\bar{I}_1 = 192,45 \angle -25,84^\circ \text{ A} \quad (\text{tomando } \bar{U}_f \text{ como referencia } 0^\circ)$$

F.e.m. inicial  $\bar{E}_1$ :

$$\begin{aligned} \bar{E}_1 &= \bar{U}_f + jX_s \bar{I}_1 = 5196 + j35 \cdot (192,45 \angle -25,84^\circ) \\ &= 5196 + 35 \cdot 192,45 \angle 64,16^\circ = 5196 + 2933 + j6062 \\ &\approx 8129 + j6062 = 10145 \angle 36,7^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$E_1 = |\bar{E}_1| = 10145 \text{ V}$$

2. Estado final (2): Potencia activa constante:

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = 3000 \cdot 0,9 = 2700 \text{ kW} = P_2$$

Nueva f.e.m.:

$$E_2 = 1,10 \cdot E_1 = 1,10 \cdot 10145 \approx 11160 \text{ V}$$

Cálculo del nuevo ángulo de par  $\delta_2$ :

$$P = 3 \frac{U_f E}{X_s} \sin \delta \Rightarrow \frac{E_1 \sin \delta_1}{X_s} = \frac{E_2 \sin \delta_2}{X_s}$$

$$\sin \delta_2 = \frac{E_1}{E_2} \sin \delta_1 = \frac{1}{1,1} \sin(36,7^\circ) \approx 0,543 \Rightarrow \delta_2 \approx 32,9^\circ$$

Nueva corriente y factor de potencia:

$$\begin{aligned} \bar{I}_2 &= \frac{\bar{E}_2 - \bar{U}_f}{jX_s} = \frac{11160 \angle 32,9^\circ - 5196 \angle 0^\circ}{35 \angle 90^\circ} \\ &= \frac{(9375 + j6063) - 5196}{j35} = \frac{4179 + j6063}{j35} \\ &\approx 173,2 - j119,4 \text{ A} \approx 210,4 \angle -34,6^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Nuevo factor de potencia:

$$\cos \varphi_2 = \cos(-34,6^\circ) \approx 0,823 \quad (\text{inductivo})$$

Positivo porque es el signo opuesto al ángulo de la intensidad.

#### 4. Problema 4

2,0

*Problema examen septiembre 2022*

Motor asincrónico trifásico, rotor jaula de ardilla, 4 polos. Datos placa:  $P_u = 10 \text{ kW}$ , 220/380 V, 50 Hz,  $I_{abs} = 19 \text{ A}$ ,  $N_n = 1425 \text{ rpm}$ ,  $\cos \varphi = 0,9$ .

#### Solución

Asumimos conexión estrella para red de 380V (la más habitual si no se especifica otra cosa y concuerda con la corriente de 19A para esa potencia).

a) Resistencia de carga  $R'_c$  y  $R'_2$  Deslizamiento nominal:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

$$s_n = \frac{1500 - 1425}{1500} = \frac{75}{1500} = 0,05$$

Potencia útil (suponiendo pérdidas mecánicas nulas,  $P_u \approx P_{mi}$ ):

$$P_{mi} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R'_c = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R'_2 \frac{1-s}{s} = 10\,000 \text{ W}$$

$$P_{ag} = \frac{P_{mi}}{1-s} = \frac{10\,000}{1-0,05} \approx 10\,526 \text{ W}$$

$$P_{Cu2} = s \cdot P_{ag} = 0,05 \cdot 10\,526 \approx 526,3 \text{ W}$$

Si asumimos  $I_1 \approx I_2' = 19 \text{ A}$ :

$$3 \cdot 19^2 \cdot R'_2 \approx 526,3 \Rightarrow R'_2 \approx \frac{526,3}{3 \cdot 361} \approx 0,486 \Omega$$

$$R'_c = R'_2 \frac{1-0,05}{0,05} = 0,486 \cdot 19 \approx 9,23 \Omega$$

b) Par útil en el eje

$$T_u = \frac{P_u}{\omega_m} = \frac{10\,000}{1425 \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{10\,000}{149,2} \approx 67,0 \text{ N m}$$