

ELC-30514  
Sistemas de Potencia I

---

Anexo 3.1  
Sistema Por Unidad

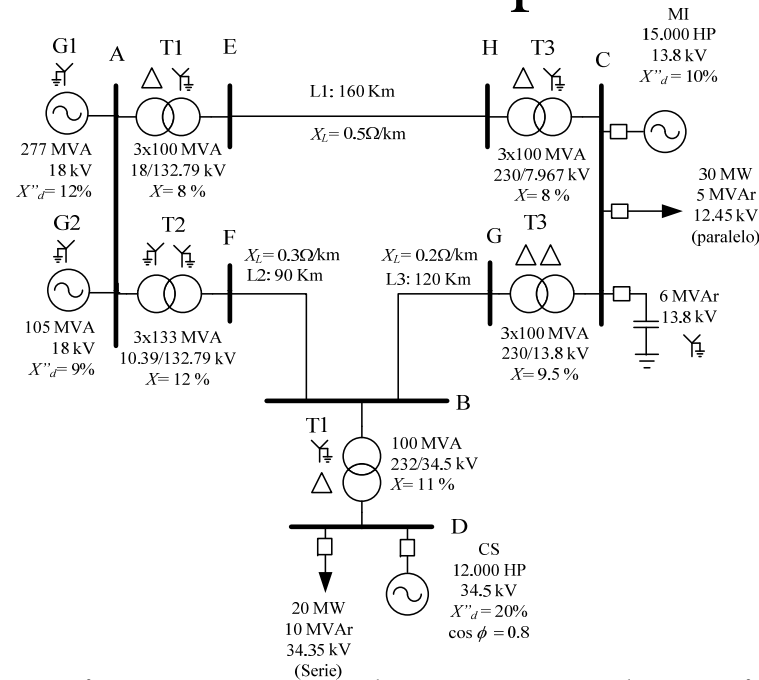
Prof. Francisco M. González-Longatt

[fglongatt@ieee.org](mailto:fglongatt@ieee.org)

<http://www.giaelec.org/fglongatt/SP.htm>

# Ejemplo

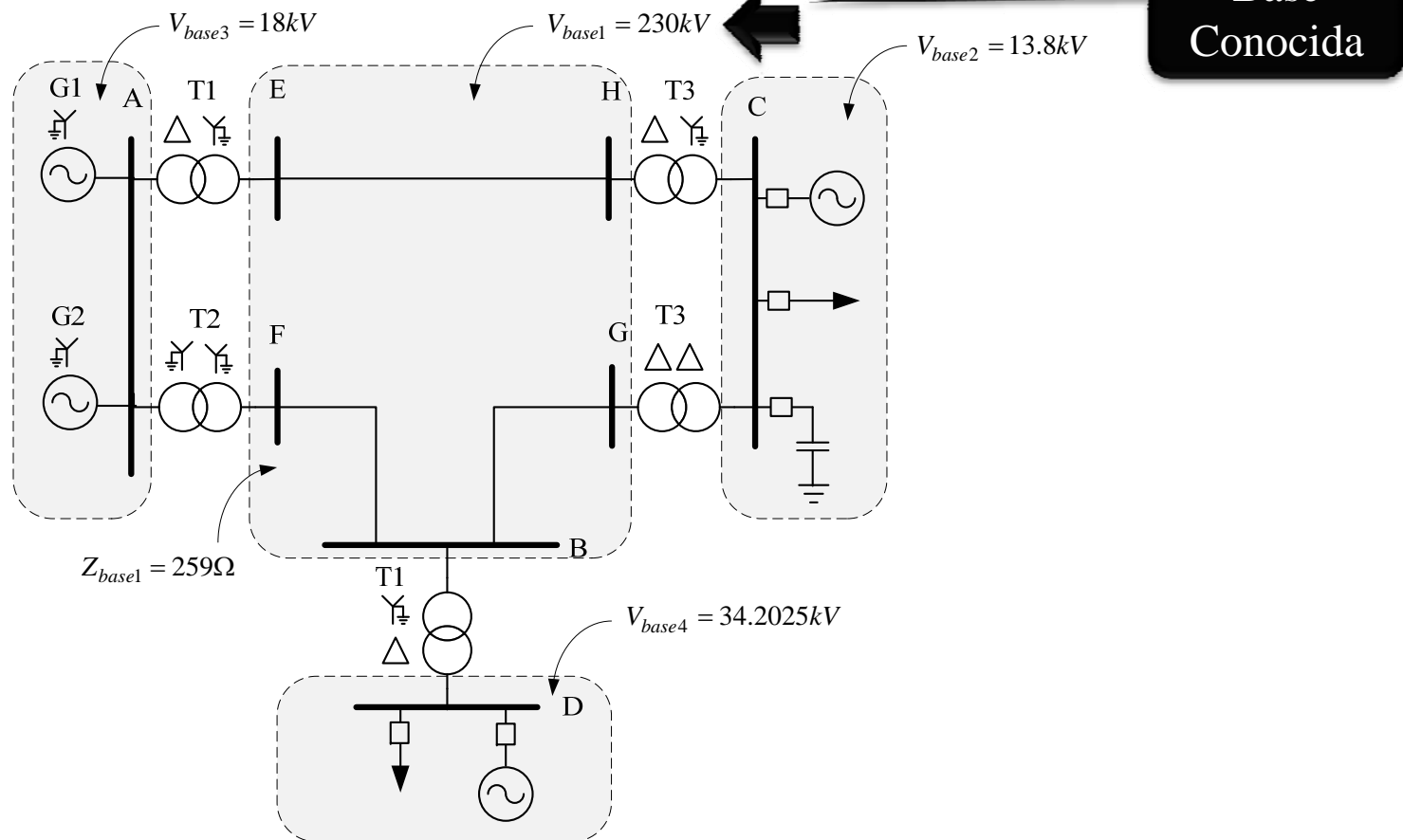
- Considere el sistema de potencia de la Figura siguiente.

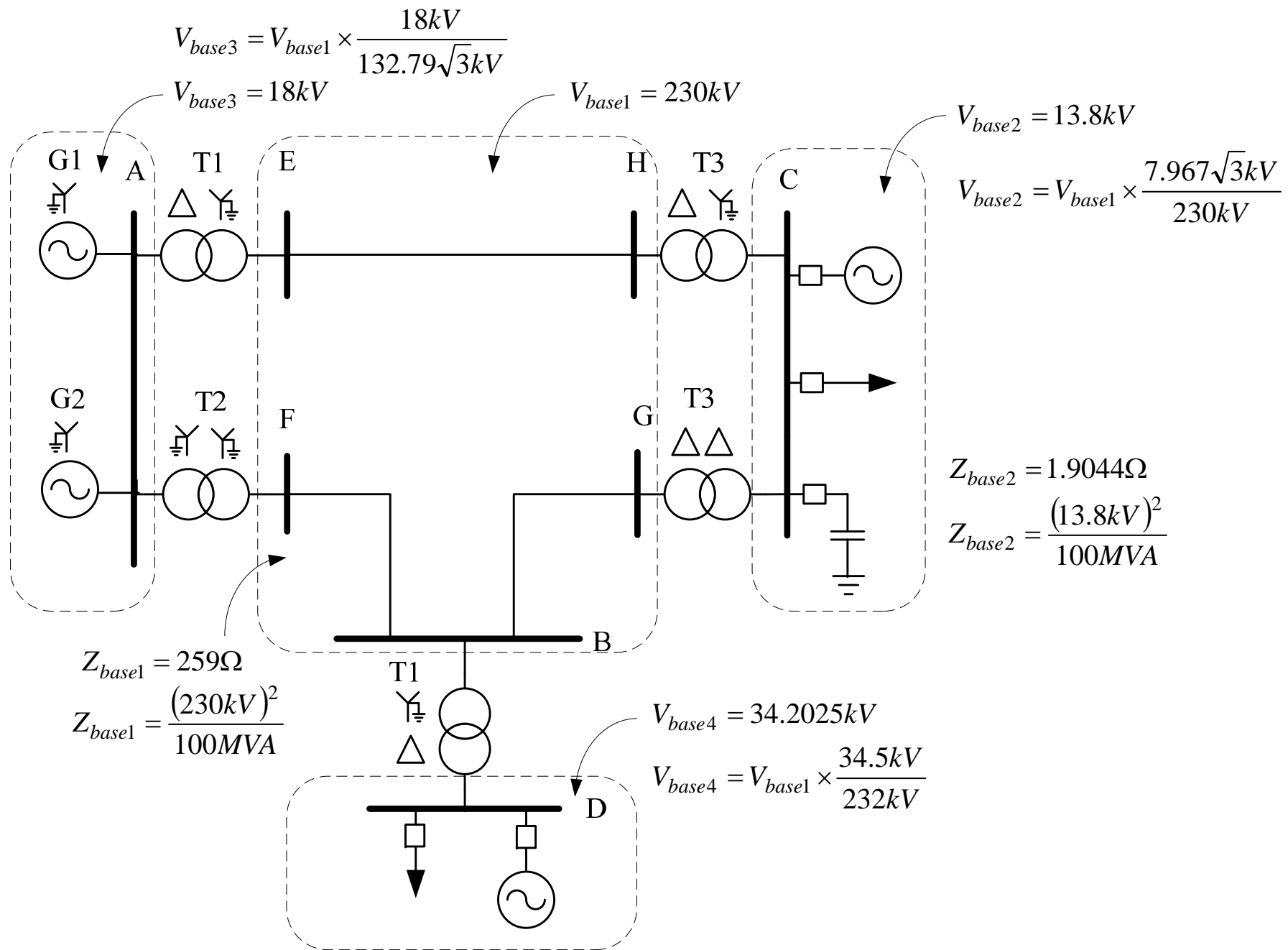


- Construir el Diagrama de Impedancias en el sistema por unidad tomando como base de 100 MVA, y 230 kV en el sistema de transmisión.

# Resolución

- Se procede a ubicar las zonas de igual base de voltaje y calcular las bases restantes:



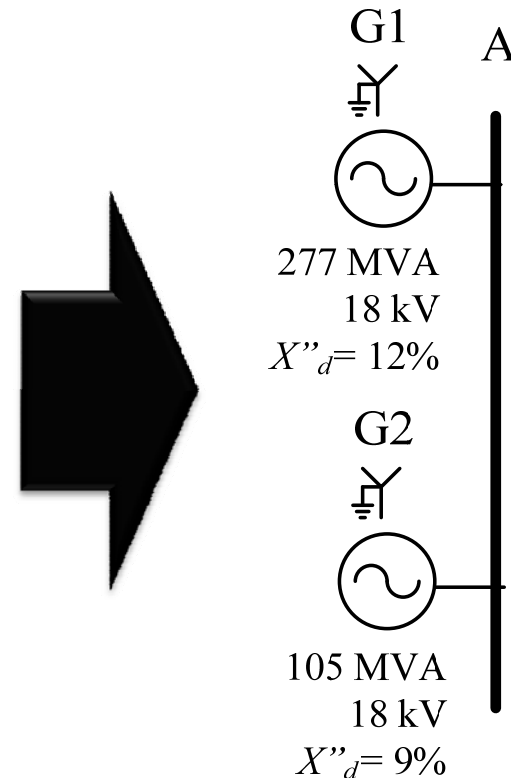


# Resolución

- Se procede a realizar los respectivos cambios de base.
- En los generadores:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{G1} = 0.12 \left( \frac{18kV}{18kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{277MVA} \right) \\ x_{G1} = 0.04332130 p.u \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{G2} = 0.09 \left( \frac{18kV}{18kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{105MVA} \right) \\ x_{G2} = 0.085714 p.u \end{array} \right.$$

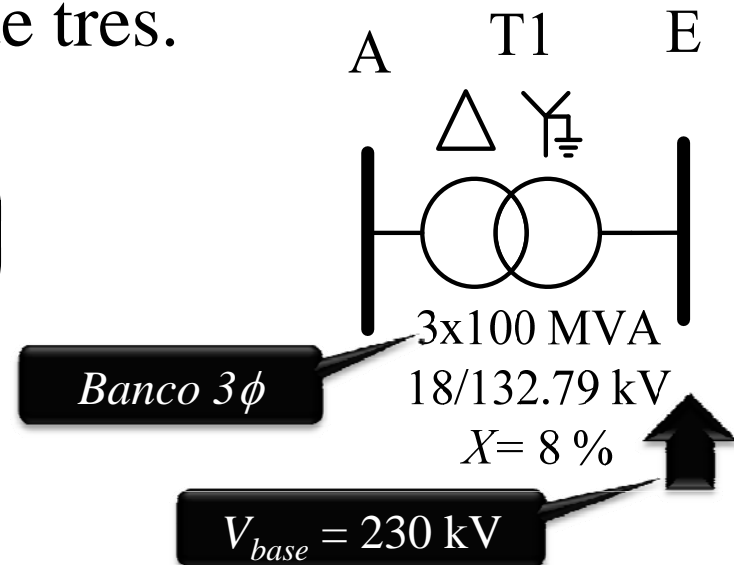


# Resolución

- En los transformadores asociados al sistema de transmisión.
- En el transformador  $T_1$ , se trata de un banco, de modo que en el lado de alta, debido a la conexión estrella, el dato de placa es de línea a neutro por tanto la base debe ser dividido entre raíz de tres.

$$x_{T1} = 0.08 \left( \frac{132.79 \text{ kV}}{\frac{230}{\sqrt{3}} \text{ kV}} \right)^2 \left( \frac{100 \text{ MVA}}{3 \times 100 \text{ MVA}} \right)$$

$$x_{T1} = 0.026666 \text{ p.u}$$

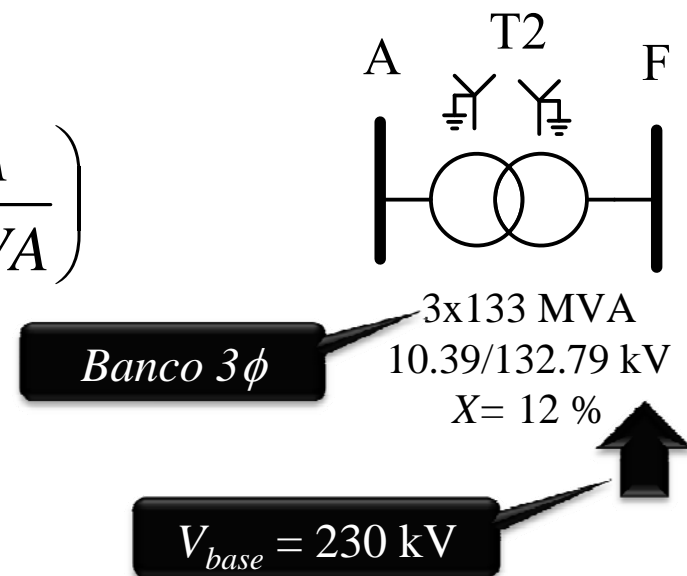


# Resolución

- En el transformador  $T_2$ , se trata de un *banco*, de modo que en el lado de alta, debido a la conexión estrella, el dato de placa es de línea a neutro por tanto la base debe ser dividido entre raíz de tres.

$$x_{T2} = 0.12 \left( \frac{132.79 \text{ kV}}{\frac{230}{\sqrt{3}} \text{ kV}} \right)^2 \left( \frac{100 \text{ MVA}}{3 \times 133 \text{ MVA}} \right)$$

$$x_{T2} = 0.030074 \text{ p.u}$$

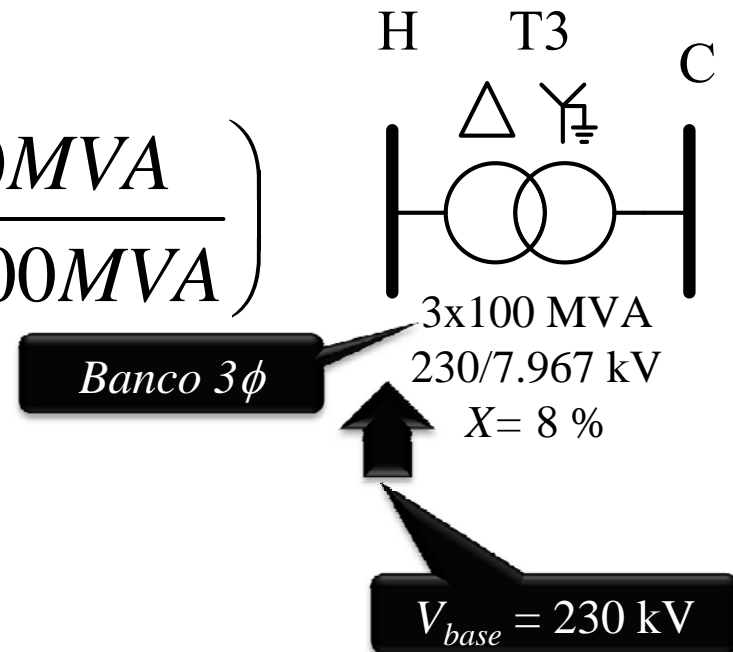


# Resolución

- El transformador  $T_3$ , es un banco y en el mismo se puede aplicar directamente la transformación de bases de voltaje, debido a que el arrollado de alta esta en delta.

$$x_{T3} = 0.08 \left( \frac{230kV}{230kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{3 \times 100MVA} \right)$$

$$x_{T3} = 0.026666 p.u$$



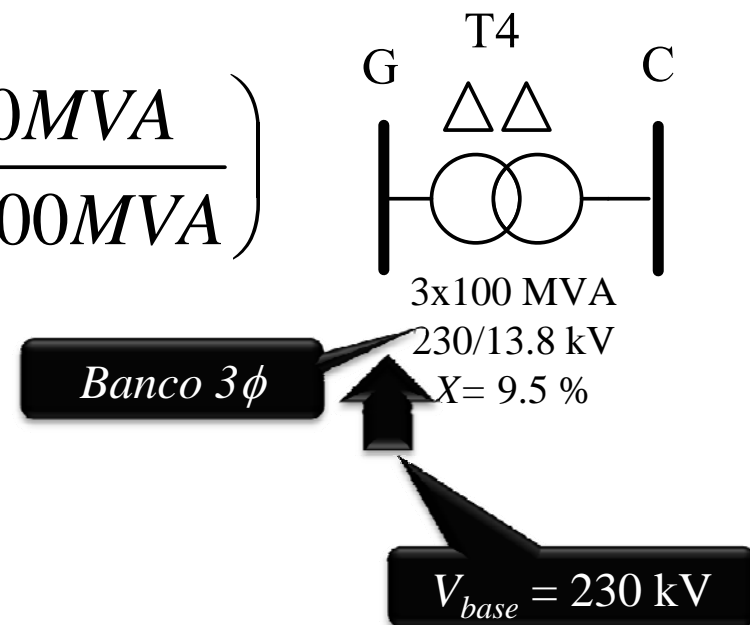


# Resolución

- El transformador  $T_4$ , es un banco y en el mismo se puede aplicar directamente la transformación de bases de voltaje, debido a que el arrollado de alta esta en delta.

$$x_{T_4} = 0.095 \left( \frac{230kV}{230kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{3 \times 100MVA} \right)$$

$$x_{T_4} = 0.031666 p.u$$

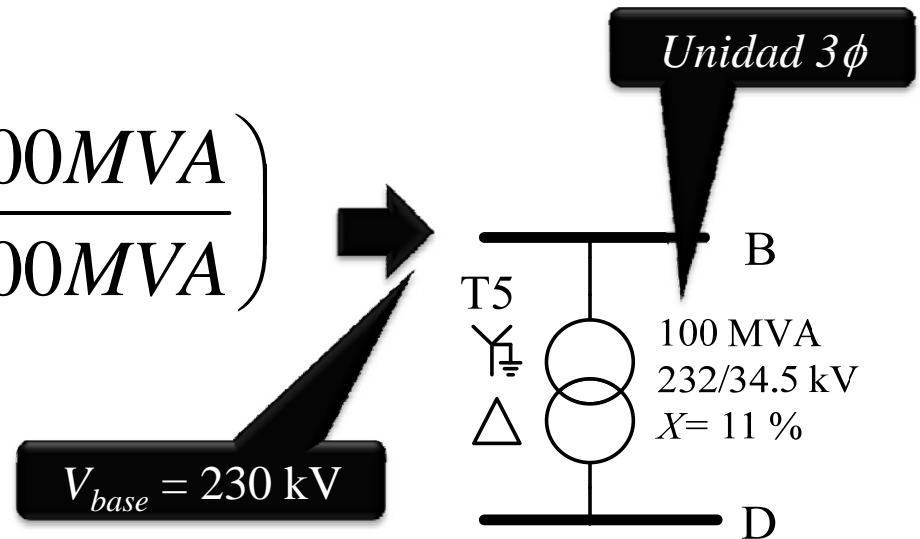


# Resolución

- En T5, se trata de una unidad, de modo que el cambio de bases es directo.

$$x_{T5} = 0.11 \left( \frac{232 \text{ kV}}{230 \text{ kV}} \right)^2 \left( \frac{100 \text{ MVA}}{100 \text{ MVA}} \right)$$

$$x_{T5} = 0.11192136 \text{ p.u.}$$



# Resolución

---

- Se procede al cálculo de los modelos de las *cargas estáticas*.
- En la carga 1 se emplea el modelo serie:

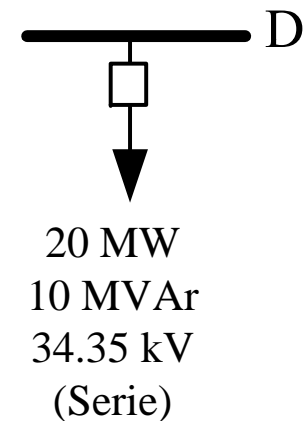
$$S_{load1} = (20 + 10j)MVA$$

$$S_{load1} = 0.2 + 0.1jp.u$$

$$S_{load1} = 0.223607 \angle 26.5651 p.u$$

$$V_{load1} = \frac{34.35kV}{V_{base}} = \frac{34.35kV}{34.2025kV}$$

$$V_{load1} = 1.00431255 p.u$$



# Resolución

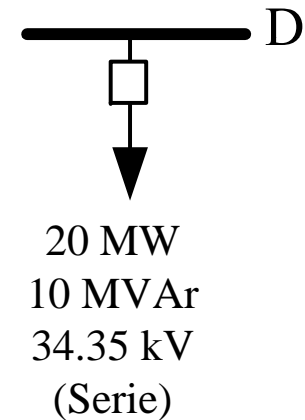
---

- En la carga 1 se emplea el modelo serie:

$$Z_{load} = \frac{(V_{load})^2}{S_{load}^*} \quad \left\{ \begin{array}{l} S_{load2} = 0.3 + 0.05j p.u \\ V_{load2} = 0.90217391 p.u \end{array} \right.$$

$$Z_{load2} = \frac{(1.00431255)^2}{0.2 - 0.1j}$$

$$Z_{load2} = 4.017 + 2.008j$$



$$Z_{load1} = 4.0172 + 2.008j = 4.491 \angle 26.56 p.u$$

# Resolución

---

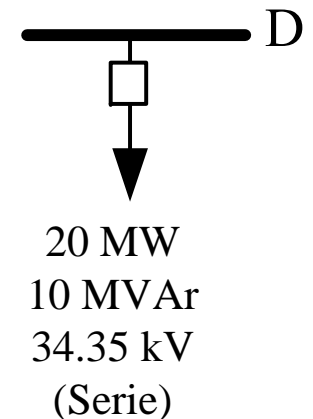
- En el modelo paralelo, se conoce que:

$$R_{load} = \frac{(V_{load})^2}{P_{load}} \quad R_{load} = \frac{(0.902173)^2}{0.30}$$

$$R_{load} = 2.71305923 \text{ p.u}$$

$$X_{load} = \frac{(0.902173)^2}{0.05} \quad X_{load} = \frac{(V_{load})^2}{Q_{load}}$$

$$X_{load} = 16.27836 \text{ p.u}$$



# Resolución

---

- Se procede de un modo semejante en el caso del reactor capacitivo conectado en la barra C.

$$V_c = \frac{13.8kV}{V_{base2}} = \frac{13.8kV}{13.8kV} = 1.0 p.u$$

$$Q_c = 6MVAr \qquad Q_c = 0.06 p.u$$

$$X_c = \frac{(V_c)^2}{Q_c} \qquad X_c = \frac{(1.0 p.u)^2}{0.06 p.u}$$

$$X_c = 16.66667 p.u$$

# Resolución

---

- Ahora se procede a calcular los respectivos cambios de bases en las máquinas giratorias: (i) *condensador sincrónico CS*, y (ii) *motor de inducción MI*.
- (i) En el condensador sincrónico CS, se tiene que los datos de placa están dados en HP, y el factor de potencia es 80%, de modo que se aplica:

$$KVA_{base} = HP \quad \longrightarrow \quad KVA_{base} = 12000kVA = 12MVA$$

$$x_{CS} = 0.20 \left( \frac{34.5kV}{34.2025kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{12MVA} \right)$$

$$x_{CS} = 1.695786 p.u$$

# Resolución

---

(ii) En el caso del motor de inducción, MI, se cumple:

$$KVA_{base} = HP \qquad KVA_{base} = 15000kVA = 15MVA$$

- De modo que la reactancia de la maquina en las nuevas bases resulta ser:

$$x_{MI} = 0.10 \left( \frac{13.8kV}{13.8kV} \right)^2 \left( \frac{100MVA}{15MVA} \right)$$

$$x_{MI} = 0.66666 p.u$$



# Resolución

---

- En las líneas de transmisión se tiene:

$$X_{EH} = \frac{0.5 \frac{\Omega}{km} \times 160km}{Z_{base1}} = \frac{80\Omega}{529\Omega} = 0.15123 p.u$$

$$X_{BG} = \frac{0.2 \frac{\Omega}{km} \times 120km}{Z_{base1}} = \frac{24\Omega}{529\Omega} = 0.04537 p.u$$

$$X_{BF} = \frac{0.3 \frac{\Omega}{km} \times 160km}{Z_{base1}} = \frac{27\Omega}{529\Omega} = 0.05104 p.u$$

# Resolución

- Finalmente el diagrama de impedancias resulta ser:

