

UNIDAD 3

3.1.- Análisis Nodal

- Circuitos que contienen solo fuentes independientes de Corriente.
- Circuitos que contienen fuentes controladas de Corriente.
- Circuitos que contienen solo fuentes independientes de Voltaje.
- Circuitos que contienen fuentes controladas de Voltaje.

3.2.- Análisis de Malla.

- Circuitos que contienen fuentes controladas de Corriente.
- Circuitos que contienen solo fuentes independientes de Voltaje.
- Circuitos que contienen fuentes controladas de Voltaje.
- Circuitos que contienen fuentes controladas de Voltaje.

Análisis Nodal

Debemos considerar los siguientes aspectos:

- 1.- En el análisis nodal las variables de los circuitos se eligen como voltajes de los nodos.
- 2.- Los voltajes de los nodos se definen con respecto a un punto común en el circuito.
- 3.- Un nodo se selecciona como referencia y con frecuencia este nodo es aquel al que está conectado el mayor número de ramas y se denomina tierra debido a que su potencial es igual a cero y algunas veces es el chasis en el circuito práctico.
- 4.- Seleccionaremos nuestras variables(voltajes en los nodos) como positivas con respecto al nodo de referencia.
- 5.- Es recomendable que los elementos pasivos tengan como unidades el siemens (conductancia).
- 6.- Cuando se conoce los voltajes de los nodos podemos calcular inmediatamente cualquier corriente en una rama y la potencia suministrada o absorbida por cualquier elemento.

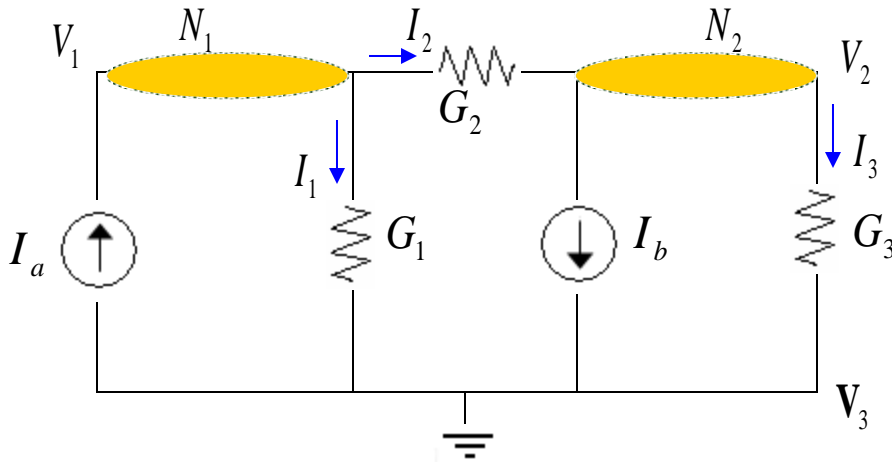
7.- De preferencia la respuesta deberá presentarse de forma matricial:

$$GV = I$$
$$\begin{bmatrix} \text{Matriz} \\ \text{Conductancia} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Vector} \\ \text{Columna} \\ \text{Variables} \\ \text{del_mètodo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Vector_Columna} \\ \text{de_las_fuentes_} \\ \text{de_corriente} \end{bmatrix}$$

8.- Si en el circuito existiera solamente fuentes independientes de corriente debemos entonces observar que la matriz conductancia es simétrica a la diagonal principal. Basta con la presencia de fuentes de voltaje sean estas independientes o controladas, o la presencia de fuentes controladas de corriente en el circuito para que en la matriz conductancia se pierda la simetría con respecto a la diagonal principal.

Ejemplo # 1:

CON SOLO FUENTES INDEPENDIENTES DE CORRIENTE



EXPRESA LA RESPUESTA EN FORMA MARICIAL

de ecuaciones que se encuentran:

$n - 1 = 3 - 1$, donde n es el número de nodos en total.

$$n - 1 = 2$$

En cada ecuación debemos usar LCK, LVK

LCK N1: $I_a = I_1 + I_2$

Ohm :

$$I = GV$$

$$I_1 = G_1(V_1 - V_3)$$

$$I_1 = G_1V_1$$

$$I_2 = G_2(V_1 - V_2)$$

$$I_2 = G_2V_1 - G_2V_2$$

$$\mathbf{I_a = G_1V_1 + G_2V_1 - G_2V_2}$$

$$\Rightarrow \mathbf{I_a = V_1(G_1 + G_2) - V_2(G_2)} \rightarrow \text{1}$$

LCK N2:

$$I_2 = I_b + I_3$$

$$-I_b = I_3 - I_2$$

Ohm :

$$I = GV$$

$$I_3 = G_3(V_2 - V_3)$$

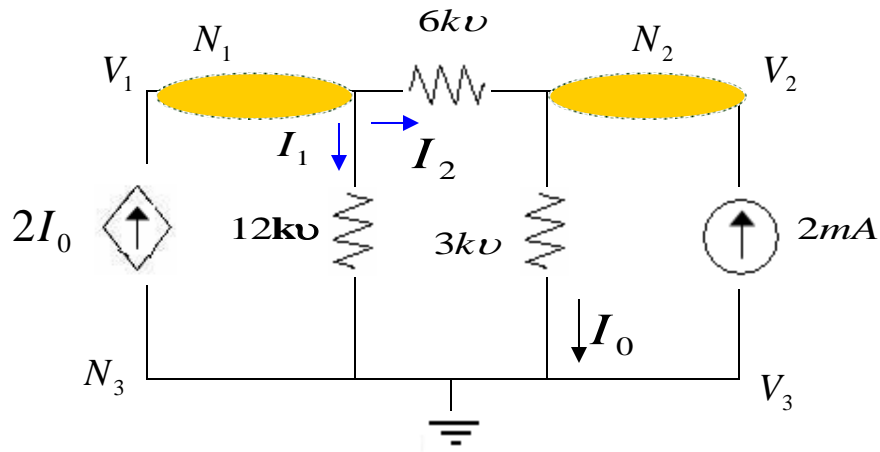
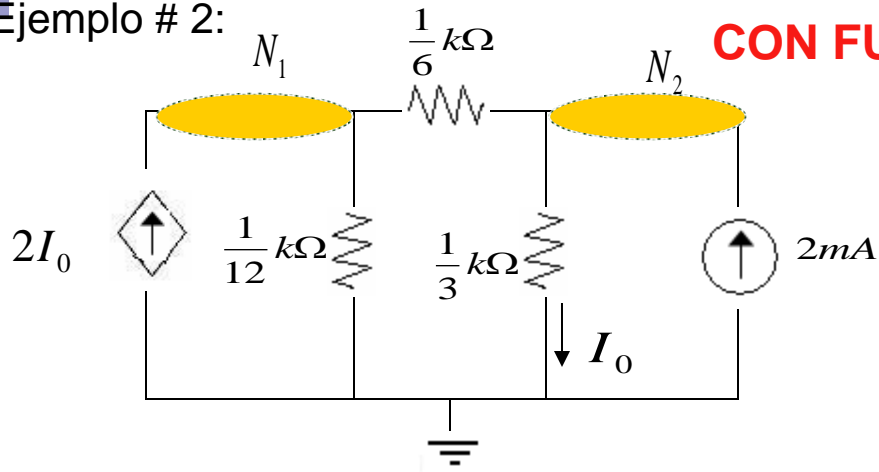
$$I_3 = G_3V_2$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} -I_b &= G_3V_2 - G_2V_1 + G_2V_2 \\ -I_b &= V_1(-G_2) + V_2(G_2 + G_3) \rightarrow \textcircled{2} \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 \\ -G_2 & G_2 + G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a \\ -I_b \end{bmatrix}$$

Ejemplo # 2:

CON FUENTES CONTROLADAS DE CORRIENTE



LCK N1: $2\mathbf{I}_0 - \mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2 = 0$
 $2\mathbf{I}_0 = \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2$

Ohm: $I_1 = 12V_1$
 $I_2 = 6V_1 - 6V_2$
 $I_0 = 3V_2$

$$2(3\mathbf{V}_2) = 12\mathbf{V}_1 + 6\mathbf{V}_1 - 6\mathbf{V}_2$$

$$0 = 18\mathbf{V}_1 - 6\mathbf{V}_2 - 6\mathbf{V}_2$$

$$0 = 18\mathbf{V}_1 - 12\mathbf{V}_2 \longrightarrow \textcircled{1}$$

LCK N2:

$$I_2 + 2 = I_0$$

$$2 = I_0 - I_2$$

$$\Rightarrow 2 = 3V_2 - 6V_1 + 6V_2$$

$$2 = V_1(-6) + 9V_2 \longrightarrow \textcircled{2}$$

$$\begin{bmatrix} 18 & -12 \\ -6 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

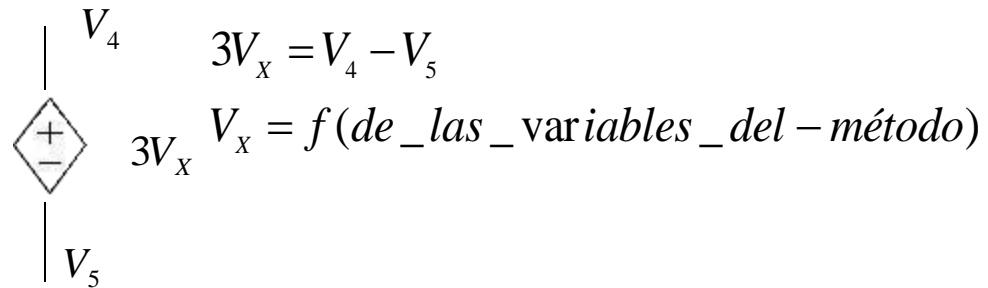
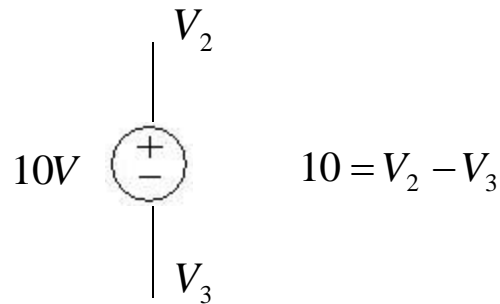
Método para escribir en forma directa las ecuaciones en el análisis nodal.

Una vez identificado los nodos principales y escogido el nodo de referencia, se escriben las ecuaciones en cada uno de los nodos principales con excepción del nodo de referencia de la siguiente forma:

- 1.- De un lado de la ecuación la suma algebraica de las fuentes de corriente (independiente ó controlada) conectadas al nodo en que estamos trabajando respetando el signo de aquellas que estén dirigidas hacia el nodo y cambiándole el signo a aquellas que se estén alejando del nodo.
- 2.- Del otro lado de la ecuación vamos a distinguir dos clases de términos:
 - a) El término llamado propio o mutuo que es igual al producto de la tensión asignada al nodo en que estamos trabajando por la suma de las conductancias de los ramales conectados a dicho nodo. Este término lleva signo positivo.
 - b) Los términos llamados neutros que son iguales al producto de la tensión asignada al otro nodo (adyacente) por la conductancia del ramal que une directamente al nodo en que estamos trabajando y al nodo adyacente. Estos términos llevan el signo negativo.

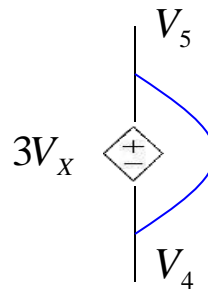
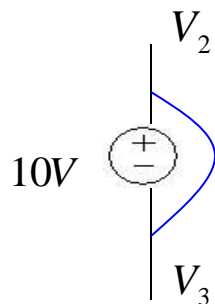
3.- Cuando entre dos nodos activos (ninguno de los dos es tierra) se encuentra una fuente de voltaje (independiente ó controlada), se forma lo que se conoce con el nombre de súper nodo que para este caso específico se necesitan dos ecuaciones para resolverlo.

a) Ecuación del súper nodo



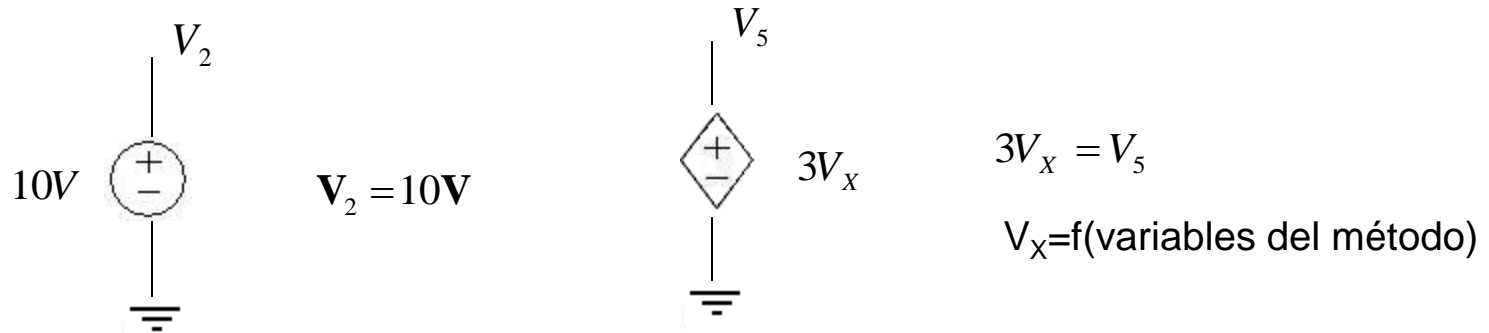
b) Ecuación Auxiliar

Se obtiene haciendo cero a la fuente de voltaje es decir cortocircuitándola y luego se procede a seguir lo que está escrito en los literales 1, 2 de este procedimiento.



Por cada par de nodos activos vamos a tener siempre dos términos propios (es decir con signo positivo).

4.- Para el literal anterior cuando uno de los nodos es tierra sólo va a existir la ecuación del súper nodo.



Ejemplo # 1:

Nodo 1:

$$I_a = \overbrace{V_1(G_1 + G_2)}^{\text{Término propio}} - \underbrace{V_2(G_2)}_{\text{Término Neutro}}$$

$$\underline{I_a = V_1(G_1 + G_2) - V_2(G_2)}$$

Nodo 2:

$$0 - I_b = V_2(G_2 + G_3) - V_1(G_2)$$

$$\underline{-I_b = V_1(-G_2) + V_2(G_2 + G_3)}$$

Del Ejemplo # 2:

Nodo 1:

$$2\mathbf{I}_0 = \mathbf{V}_1(6\mathbf{k}\mathbf{v} + 12\mathbf{k}\mathbf{v}) - \mathbf{V}_2(6\mathbf{k}\mathbf{v})$$

$$\mathbf{pero : I}_0 = 3\mathbf{V}_2$$

$$2(3\mathbf{V}_2) = 18\mathbf{V}_1 - 6\mathbf{V}_2$$

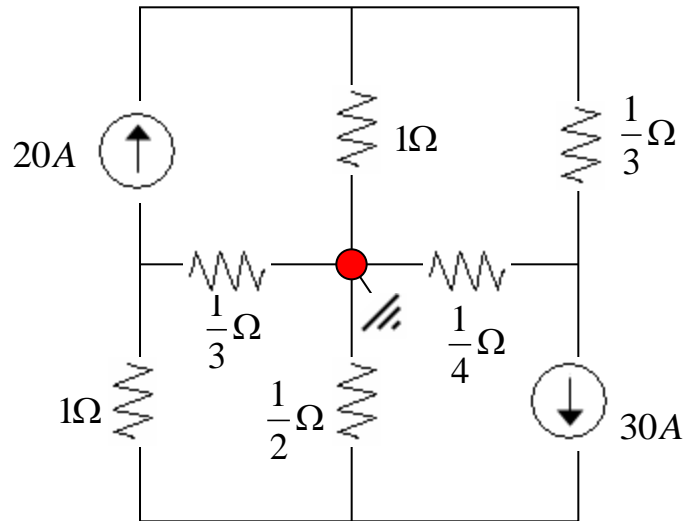
$$\underline{0 = 18\mathbf{V}_1 - 12\mathbf{V}_2}$$

Nodo 2:

$$2 = \mathbf{V}_2(6 + 3) - \mathbf{V}_1(6)$$

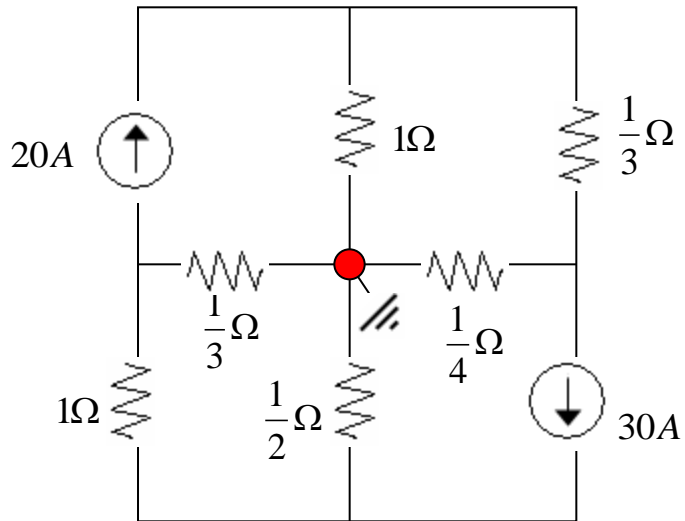
$$\underline{2 = \mathbf{V}_1(-6) + \mathbf{V}_2(9)}$$

Ejemplo # 3.

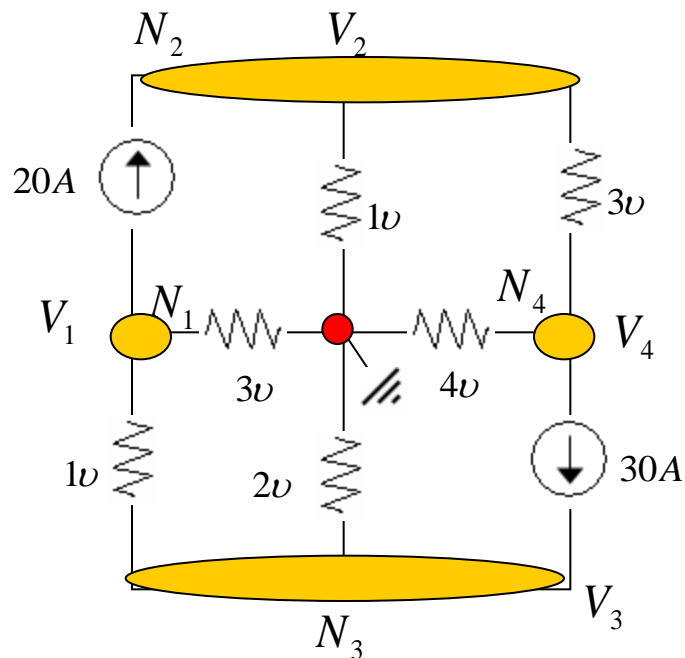


- a) Exprese la respuesta en forma matricial
- b) La potencia entregada o consumida por las fuentes independientes

Ejemplo # 3.



a) Matriz Conductancia



Nodo 1

$$-20 = V_1(1 + 3) - V_3(1)$$

$$-20 = 4V_1 - V_3$$

Nodo 2

$$20 = V_2(3 + 1) - V_4(3)$$

$$20 = 4V_2 - 3V_4$$

Nodo 3

$$30 = \mathbf{V}_3(2+1) - \mathbf{V}_1(1)$$

$$30 = 3\mathbf{V}_3 - \mathbf{V}_1$$

Nodo 4

$$-30 = V_4(3+4) - V_2(3)$$

$$-30 = 7V_4 - 3V_2$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 4 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & -3 \\ -1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & -3 & 0 & 7 \end{bmatrix}}_{\text{Matriz Conductancia}} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \\ \mathbf{V}_3 \\ \mathbf{V}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 \\ 20 \\ 30 \\ -30 \end{bmatrix}$$

Matriz Conductancia

Al resolver la matriz anterior nos queda:

$$\mathbf{V}_1 = -2.727\mathbf{V}$$

$$\mathbf{V}_3 = 9.090\mathbf{V}$$

$$\mathbf{V}_2 = 2.631\mathbf{V}$$

$$\mathbf{V}_4 = -3.157\mathbf{V}$$

Suministra

b) Potencia en las fuentes independientes.

$$\mathbf{V}_{f1} = \mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1$$

$$\mathbf{V}_{f1} = 2.631 - (-2.727)$$

$$\mathbf{V}_{f1} = 5.358\mathbf{V}$$

$$P_{20A} = 5.358 (20)$$

$$P_{20A} = 107.16 \text{ W} \quad \text{Suministra}$$

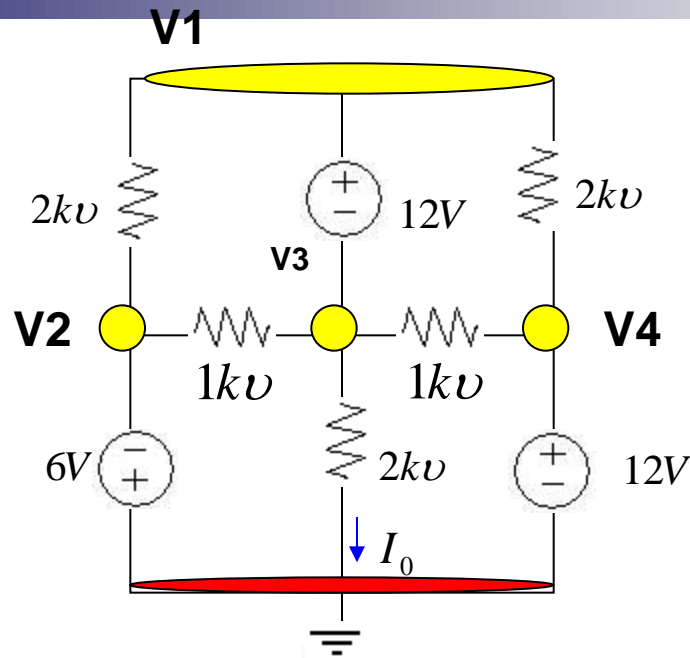
$$\mathbf{V}_{f2} = \mathbf{V}_3 - \mathbf{V}_4$$

$$\mathbf{V}_{f2} = 9.090\mathbf{V} - (-3.157\mathbf{V})$$

$$\mathbf{V}_{f2} = 12.247\mathbf{V}$$

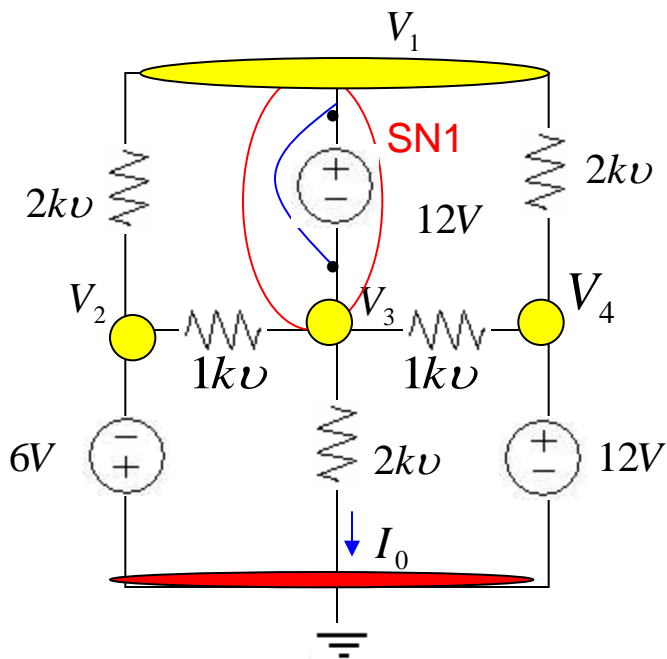
$$P_{30A} = 12.247 (30)$$

$$P_{30A} = 367.41 \text{ W} \quad \text{Suministra}$$



Ejemplo # 4.

Determinar $I_0 = ?$



Nodo 1 y Nodo 3 \rightarrow Súper Nodo 1

Ecuación del SN 1

$$12 = V_1 - V_3 \quad 1)$$

Ecuación Auxiliar

$$0 = V_1(2 + 2) + V_3(1 + 1 + 2) - V_2(2 + 1) - V_4(2 + 1)$$

$$0 = 4V_1 - 3V_2 + 4V_3 - 3V_4 \quad 2)$$

Nodo 2 → Súper Nodo 2

$$V_2 = -6V \quad 3)$$

Nodo 4 → Súper Nodo 3

$$V_4 = 12V$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 4 & -3 & 4 & -3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 6 \\ 12 \end{bmatrix}$$

Al resolver la matriz nos queda:

$$\mathbf{V1=8.25 \text{ V}}$$

$$\mathbf{V2= -6 \text{ V}}$$

$$\mathbf{V3= -3.75 \text{ V}}$$

$$\mathbf{V4= 12 \text{ V}}$$

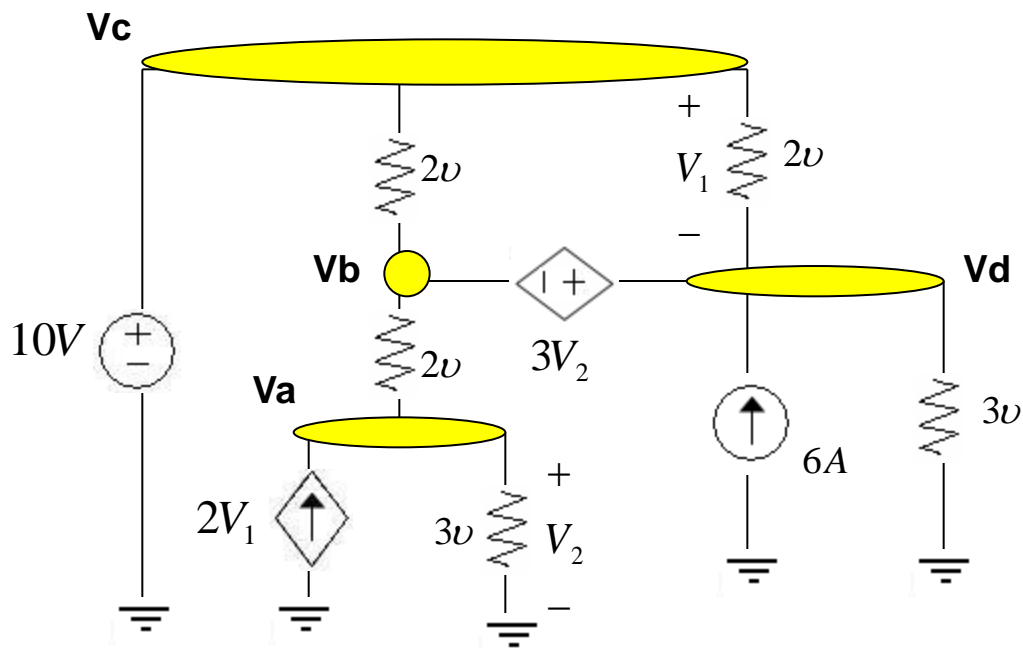
⇒

$$\mathbf{I_o = 2(V_3 - 0)}$$

$$\mathbf{I_o = 2V_3}$$

$$\mathbf{I_o = 2(-3.75)}$$

$$\mathbf{I_o = -7.5mA}$$



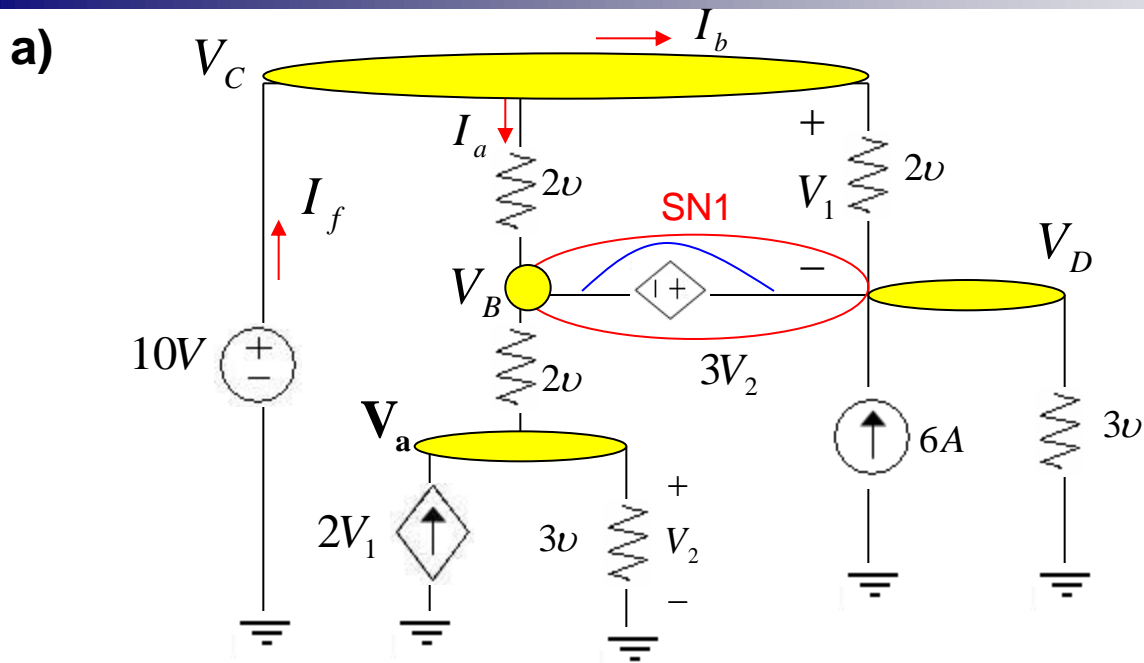
Ejemplo # 5.

Todos los elementos pasivos están en mhos. CALCULAR

a) V_1 , V_2

b) Potencia en la fuente de 10V indicando si suministra o consume.

Nota: Respete los nodos marcados.



Nodo A

$$2V_1 = V_A(2 + 3) - V_B(2)$$

$$\text{pero } V_1 = V_C - V_D$$

$$2V_C - 2V_D = 5V_A - 2V_B$$

$$0 = 5V_A - 2V_B - 2V_C + 2V_D \quad 1)$$

Nodo B y Nodo D \rightarrow SN1

Ecuación del SN 1

$$3V_2 = V_D - V_B$$

$$\text{pero } V_2 = V_A - 0$$

$$3V_A + V_B - V_D = 0 \quad 2)$$

Ecuación Auxiliar

$$6 = V_B(2 + 2) + V_D(2 + 3) - V_A(2) - V_C(2 + 2)$$

$$6 = -2V_A + 4V_B - 4V_C + 5V_D \quad 3)$$

Nodo C \rightarrow SN2

$$V_C = 10V \quad 4)$$

$$\begin{bmatrix} 5 & -2 & -2 & 2 \\ 3 & 1 & 0 & -1 \\ -2 & 4 & -4 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6 \\ 10 \end{bmatrix}$$

$$V_A = 1.81V$$

$$V_B = 2.48V$$

$$V_C = 10V$$

$$V_D = 7.93V$$

$$\Rightarrow V_1 = V_C - V_D = 10V - 7.93V = 2.07V$$

$$V_2 = V_A - 0 = 1.81V - 0V = 1.81V$$

b)

LCK Nodo C:

$$I_f = I_a + I_b$$

$$I_a = 2(V_C - V_B) = 2V_C - 2V_B$$

$$I_b = 2(V_C - V_D) = 2V_C - 2V_D$$

$$\Rightarrow I_f = 4V_C - 2V_B - 2V_D$$

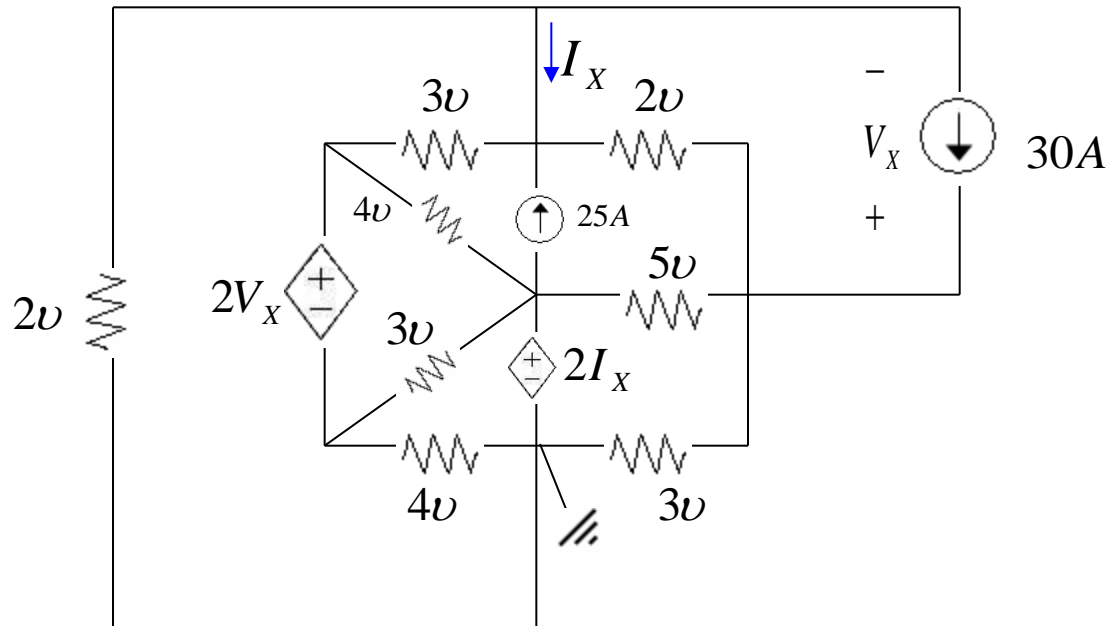
$$P_{10V} = (10V)I_f$$

$$P_{10V} = 10(-2V_B + 4V_C - 2V_D)$$

$$P_{10V} = 10[-2(2.48) + 4(10) - 2(7.93)]$$

$$\underline{P_{10V} = 191.8W \text{ (su min istra)}}$$

EJERCICIO # 18



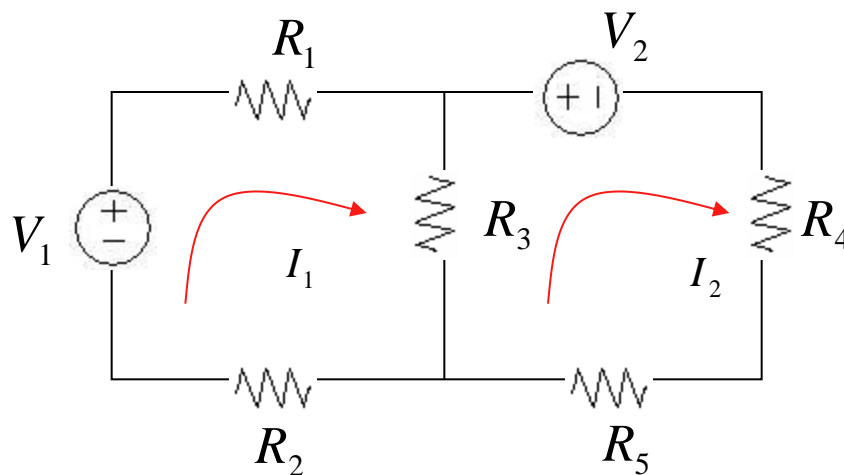
Calcular la potencia asociada a cada una de las fuentes controladas.

Análisis de Malla

Utiliza la LVK para determinar las corrientes en el circuito y una vez que se conocen estas, se puede utilizar la ley de Ohm para calcular el voltaje en cualquier elemento pasivo, como también es posible calcular la potencia suministrada o consumida por cualquier elemento del circuito.

Si el circuito tiene n mallas independientes se requerirá n ecuaciones simultáneas independientes para describir el comportamiento del circuito.

Vamos a suponer que los circuitos son planos, es decir, que ningún conductor se cruce con otro conductor.



Malla 1

LVK:

$$V_1 - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0$$

$$V_1 = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

Ohm:

$$V_{R1} = I_1 R_1$$

$$V_{R2} = I_1 R_2$$

$$V_{R3} = I R_3 = (I_1 - I_2) R_3$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_1 R_3 - I_2 R_3$$

$$V_1 = I_1 (R_1 + R_2 + R_3) - I_2 (R_3) \quad 1)$$

Malla 2

LVK:

$$-V_{R4} - V_{R5} + V_{R3} - V_2 = 0$$

Ohm:

$$V_{R4} = I_2 R_4$$

$$V_{R5} = I_2 R_5$$

$$V_{R4} + V_{R5} - V_{R3} + V_2 = 0$$

$$-V_2 = I_2 R_4 + I_2 R_3 - I_1 R_3 + I_2 R_3$$

$$-V_2 = I_2 (R_3 + R_4 + R_5) - I_1 R_3 \quad 2)$$

En forma matricial:

$$[R][I] = [V]$$

Matriz
Resistencia

Vector Columna
de las variables
del método

Vector Columna
de las fuentes de
voltaje

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_3 + R_4 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{bmatrix}$$

Si solo existieran fuentes independientes de voltaje existirá simetría con respecto a la diagonal principal en la matriz resistencia.

En forma Directa

Una vez asignadas las corrientes a las mallas se plantean en cada una de las ecuaciones de voltaje de acuerdo a la siguiente regla:

- 1.- De un lado de la ecuación escribimos la suma algebraica de las fuentes de voltaje conectadas a la malla en que estamos trabajando respetando el signo de la fuente si la corriente de la malla atraviesa de negativo a positivo y cambiándole el signo si la atraviesa de positivo a negativo.
- 2.- Del otro lado de la ecuación hay dos clases de términos:
 - a) El término llamado propio es igual al producto de la corriente asignada a la malla que estamos trabajando por la suma de las resistencias conectadas a dicha malla. Este término lleva signo positivo.
 - b) Los términos mutuos que son iguales al producto de corriente asignada a otra malla adjunta (vecina) y la malla en que estamos trabajando. Este término lleva signo negativo si las dos corrientes que la atraviesan son de direcciones opuestas y lleva signo positivo si las dos corrientes que la atraviesan son de direcciones iguales.

Del problema anterior:

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2(R_3) \\ -V_2 &= I_2(R_3 + R_4 + R_5) - I_1(R_3) \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_3 + R_4 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{bmatrix}$$

Si existiera una fuente de corriente (independiente ó controlada) en medio de dos mallas se forma lo que se conoce con el nombre de súper malla la cual necesita dos ecuaciones para resolver.

1.- Ecuación de la súper malla

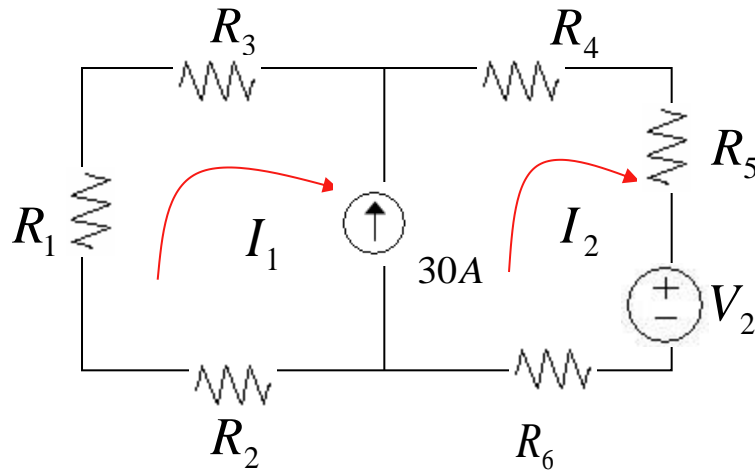
Es igual a la diferencia de corrientes con la que está involucrada la fuente de corriente.

2.- Ecuación Auxiliar

Se forma haciendo cero a la fuente de corriente, es decir poniéndola en circuito abierto y luego se trabaja de acuerdo al procedimiento descrito en la regla anterior.

Todos los elementos pasivos deben estar en ohmios.

Ejemplo # 6:



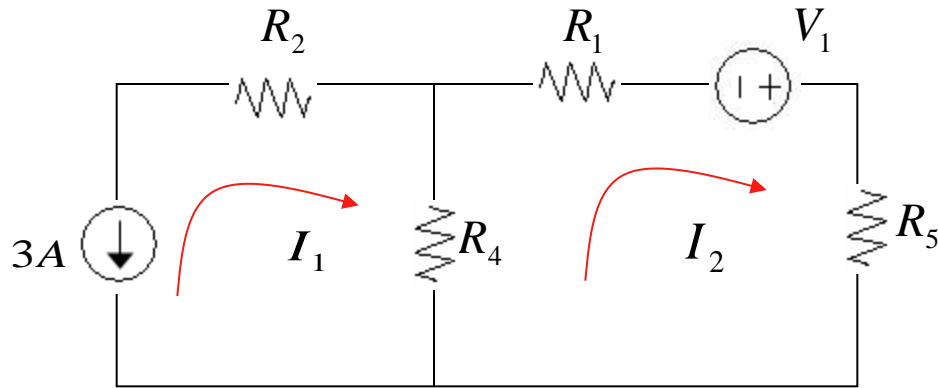
Ecuación de súper malla

$$30 = I_2 - I_1$$

Ecuación Auxiliar

$$-V_2 = I_1(R_1 + R_2 + R_3) + I_2(R_4 + R_5 + R_6)$$

Ejemplo # 7:



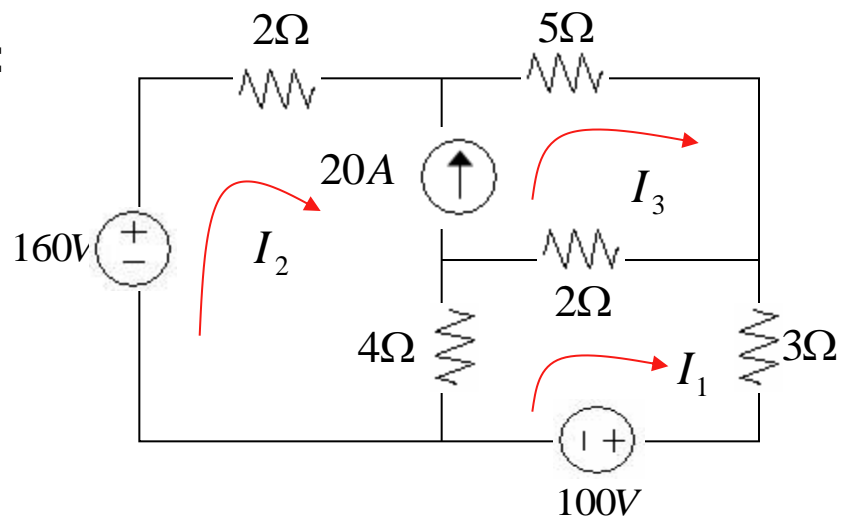
Cuando está la fuente en la periferia sólo se hace la ecuación de la súper malla

Ecuación de súper malla $I_1 = -3A$

MALLA 2 $V_1 = -I_1(R_4) + I_2(R_1 + R_4 + R_5)$

$$\begin{bmatrix} -3 & 0 \\ -R_4 & R_1 + R_4 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_1 \end{bmatrix}$$

Ejm:



Ejercicio 19:

Malla 1

$$-100 = I_1(4 + 3 + 2) - I_2(4) - I_3(2)$$

$$-100 = 9I_1 - 4I_2 - 2I_3 \quad 1)$$

Malla 2 y Malla 3 → Súper Malla 1

Ecuación de SM1

$$20 = I_3 - I_2 \quad 2)$$

Ecuación Auxiliar

$$160 = I_2(2 + 4) + I_3(5 + 2) - I_1(2 + 4)$$

$$160 = -6I_1 + 6I_2 + 7I_3 \quad 3)$$

SOLUCION Ejercicio 19:

a) Matriz Resistencia

$$\begin{bmatrix} 9 & -4 & -2 \\ 0 & -1 & 1 \\ -6 & 6 & 7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -100 \\ 20 \\ 160 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= -8,15A \\ I_2 &= -2,22 A \\ I_3 &= 17,78 A \end{aligned}$$

b) Potencia en los elementos activos OJO REEMPLAZO INCORRECTO

$$P_{160V} = 160I_2$$

$$P_{160V} = 160(-2)$$

$$P_{160V} = -320$$

$$P_{160V} = 320W \quad \text{consume}$$

$$P_{100V} = (100V)(-I_1)$$

$$P_{100V} = 100(8)$$

$$P_{100V} = 800 W$$

$$P_{20A} = V_{f1}(20A)$$

LVK:

$$160 - 2I_2 - V_{f1} - 4(I_2 - I_1) = 0$$

$$V_{f1} = 160 + 4I_1 - 6I_2$$

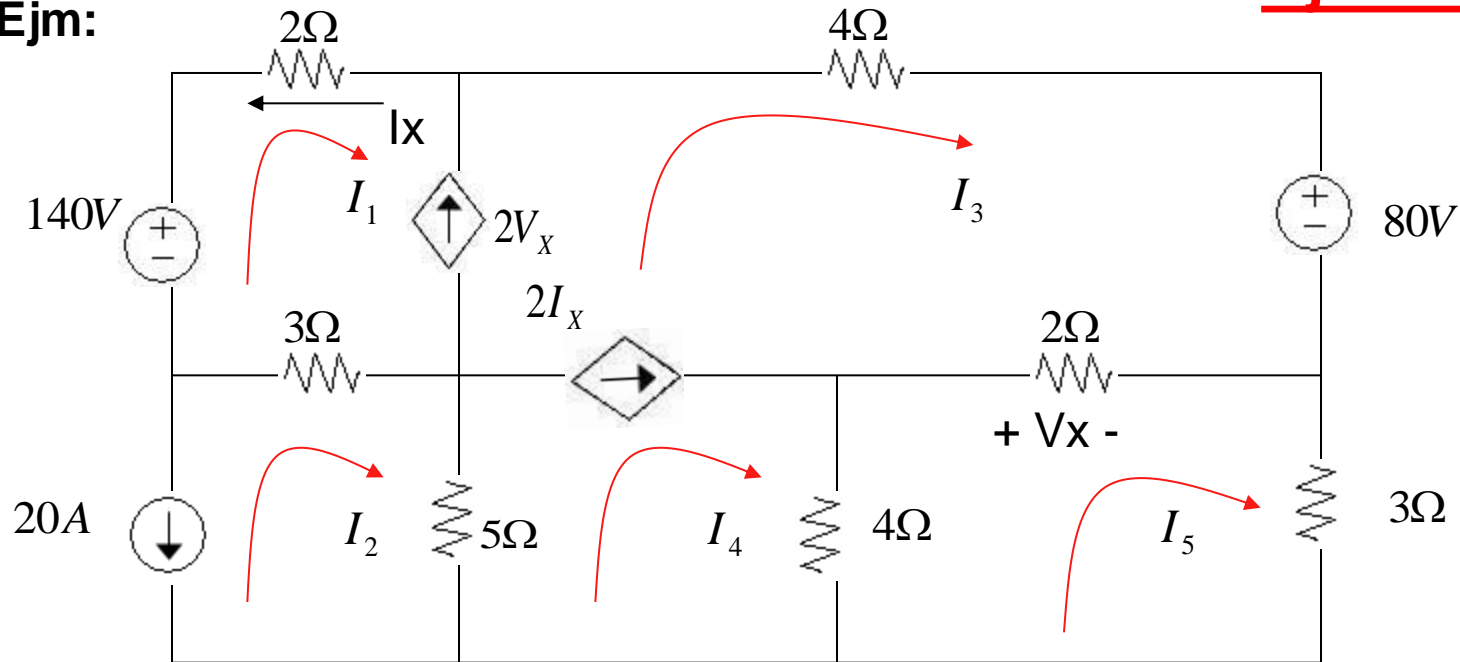
$$P_{20A} = 80I_1 - 120I_2 + 3200$$

$$P_{20A} = 80(-8) - 120(-2) + 3200$$

$$P_{20A} = 2800 W$$

Ejercicio 20:

Ejm:



Respetando las corrientes de mallas asignadas.

Determinar:

- Potencias asociadas con las fuentes controladas.
- Potencia en la resistencia de 5 ohmios.

Nota: Todos los elementos pasivos están en ohmios.

SOLUCION Ejercicio 20

Malla 1, Malla 3 y Malla 4 \rightarrow SM1

Ecuaciones de SM1

$$2V_X = I_3 - I_1$$

$$\text{pero: } V_X = 2I_5 - 2I_3$$

$$4I_5 - 4I_3 = I_3 - I_1$$

$$I_1 - 5I_3 + 4I_5 = 0 \quad 1)$$

$$2I_X = I_4 - I_3$$

$$\text{pero: } I_X = -I_1$$

$$2I_1 - I_3 + I_4 = 0 \quad 2)$$

Ecuación Auxiliar

$$140 - 80 = I_1(2 + 3) + I_3(4 + 2) + I_4(5 + 4) - I_2(3 + 5) - I_5(2 + 4)$$

$$60 = 5I_1 - 8I_2 + 6I_3 + 9I_4 - 6I_5 \quad 3)$$

Malla 2 \rightarrow SM2

$$I_2 = -20A \quad 4)$$

Malla 5

$$0 = -2I_3 - 4I_4 + 9I_5 \quad 5)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -5 & 0 & 4 \\ 2 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 5 & -8 & 6 & 9 & -6 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & -4 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 60 \\ 20 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{2Vx} = V_{f1}(2V_X)$$

LVK:

$$140 - 2I_1 - V_{f1} - 3I_1 + 3I_2 = 0$$

$$V_{f1} = 140 - 5I_1 + 3I_2$$

$$P_{2Vx} = (140 - 5I_1 + 3I_2)(4I_5 - 4I_3)W \text{ R//}$$

$$P_{2Ix} = V_{f2}(2I_X)$$

LVK:

$$5(I_2 - I_4) + V_{f2} - 4(I_4 - I_5) = 0$$

$$V_{f2} = -5I_2 + 5I_4 + 4I_4 - 4I_5$$

$$V_{f2} = -5I_2 + 9I_4 - 4I_5$$

$$P_{2Ix} = (-5I_2 + 9I_4 - 4I_5)(-2I_1)W \text{ R//}$$

$$P_{2\Omega} = I^2 R$$

$$P_{2\Omega} = (I_2 - I_4)^2 (5) \text{ R//}$$