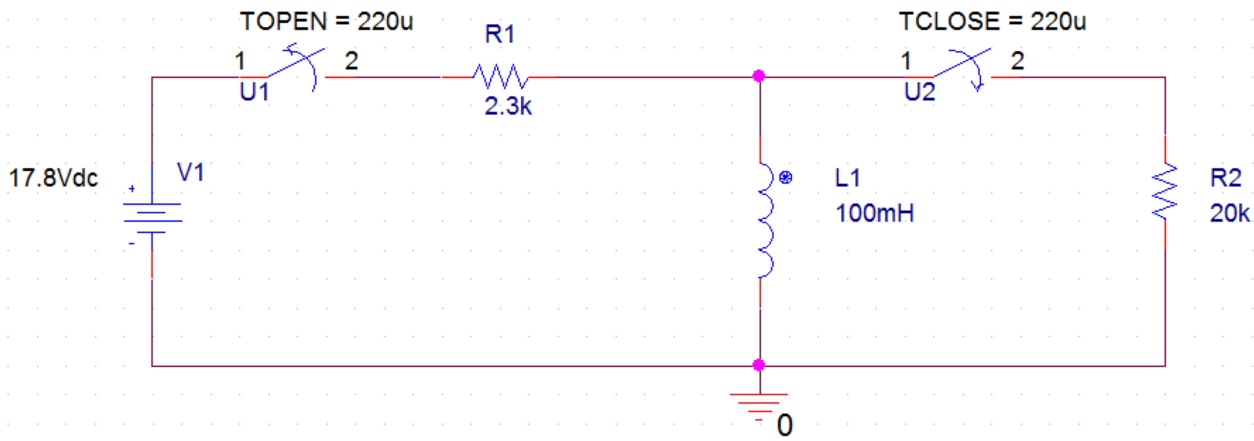
Funcionamiento del inductor en corriente directa

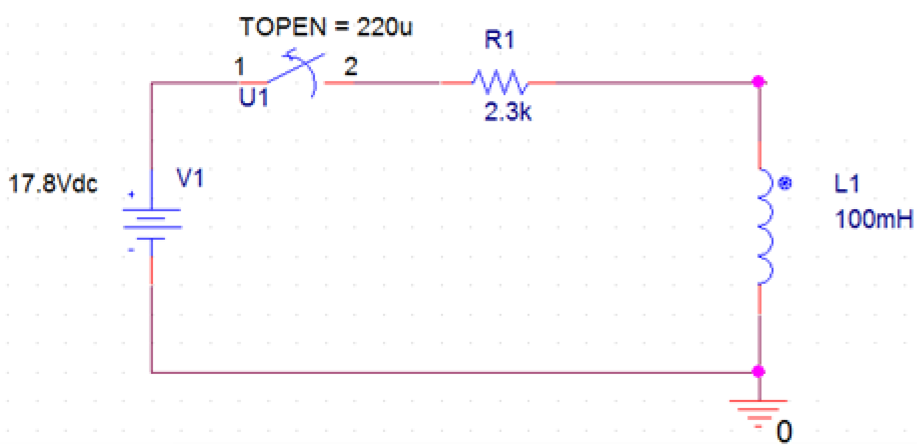
Carga y descarga de un inductor.

Circuito RL: Proceso de carga del inductor

Tomemos este circuito para análisis, para un tiempo que se encuentre entre 0 y $220\mu[s]$ s o sea $0[s] \leq t < 220\mu[s]$ el switch U1 está cerrado y el switch U2 está abierto esto permite cargar el inductor. Cuando $t \geq 220\mu[s]$ se abre el switch U1 y se cierra el switch U2 y el inductor se descarga.



Las ecuaciones de carga son:



- La corriente en el circuito en Ampere se calcula de la siguiente formula

$$I_{CARGA}(t) = I_0 * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) [A]$$

$$I_{CARGA}(t) = \frac{V_0[V]}{R[\Omega]} * \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}\right) [A]$$

- I_0 será la corriente que circula por el circuito, la cual <u>podría</u> **ser** la corriente suministrada por la fuente de alimentación.

- La tensión de la bobina se calcula de la siguiente formula

$$V_L(t) = V_o * e^{-\frac{t}{L/R}} [V]$$

  - La constante de carga tau τ sus unidad es el segundo y se calcula de la siguiente forma

$$\tau[s] = \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

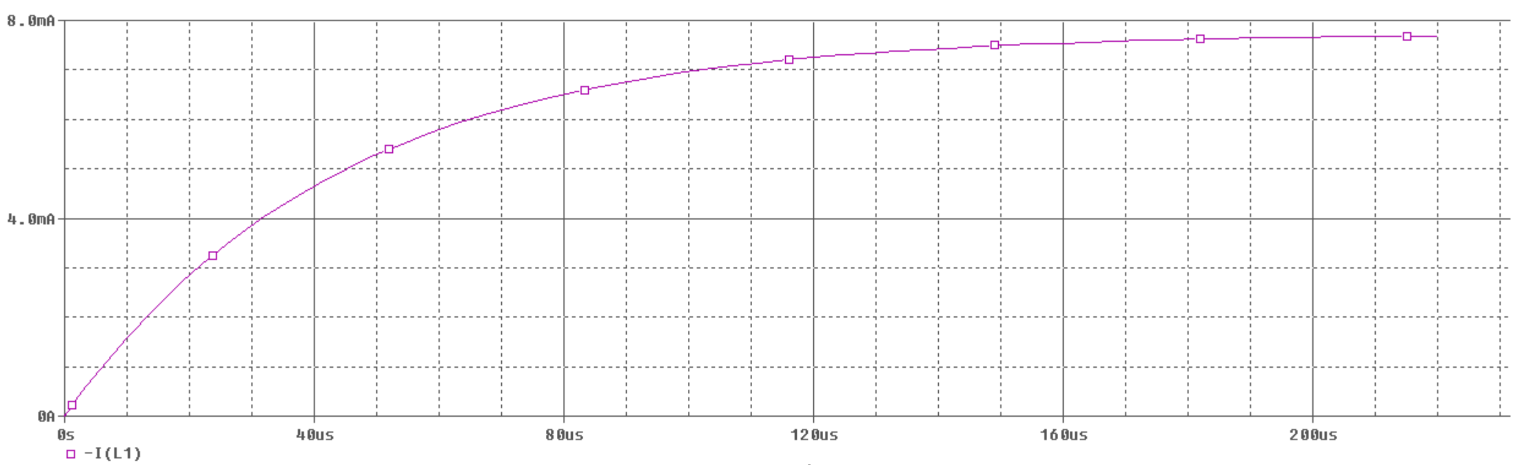
  - En $5 * \tau$ el inductor alcanza su máxima carga y/o su descarga; en la carga la corriente será la máxima, la cual será la que va a pasar por ella.

$$5 * \tau[s] = 5 * \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

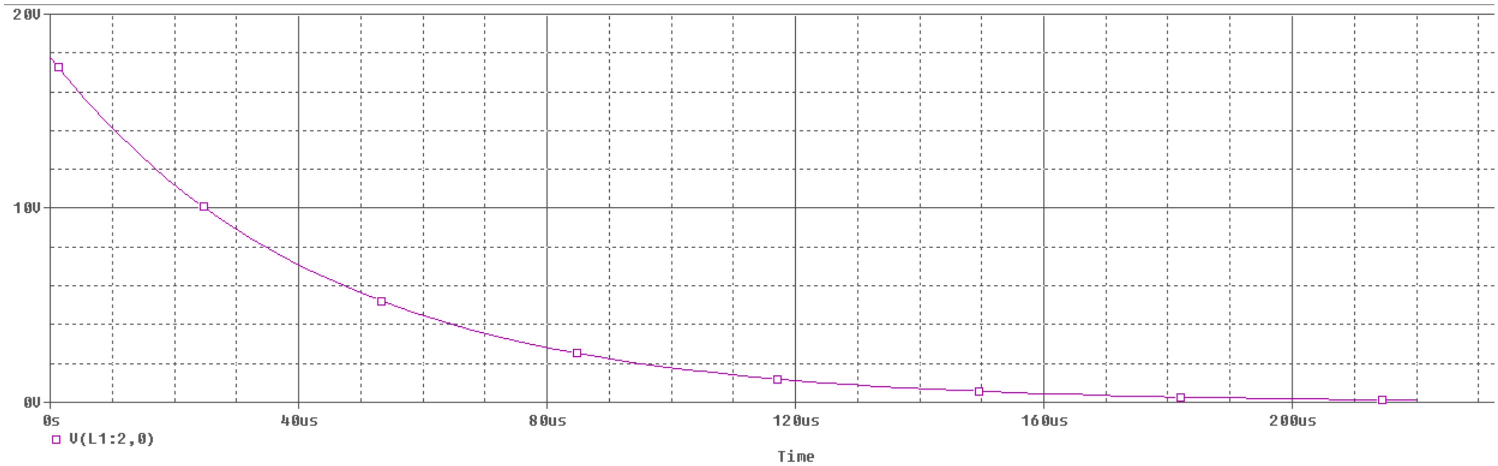
- La tensión sobre la resistencia se calcula de la siguiente formula

$$V_R(t) = V_o * \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}\right) [V]$$

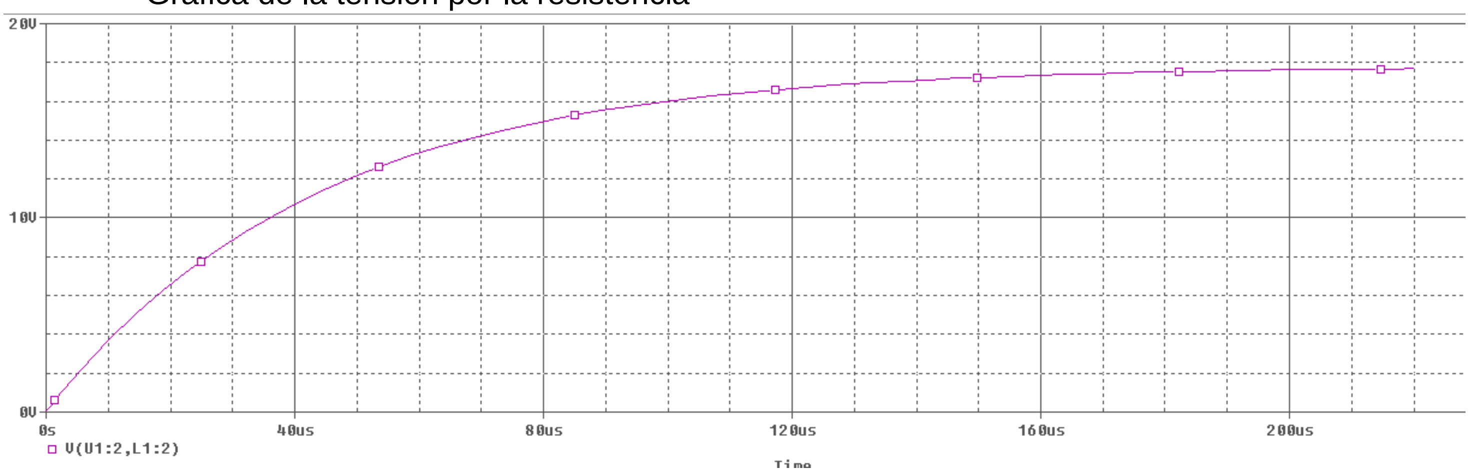
- Grafica de la corriente de carga de un inductor



- Grafica de tensión la bobina



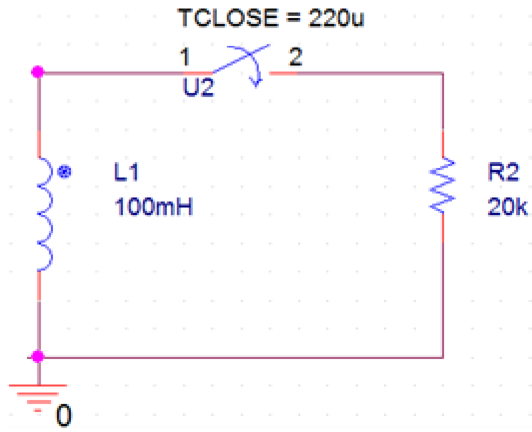
Grafica de la tensión por la resistencia



- El inductor **<u>IDEAL</u>** va a mantener la corriente almacenada de forma infinita.

Circuito RL: Proceso de descarga del inductor

Las ecuaciones de descarga son:



- La corriente del inductor en Ampere se calcula de la siguiente formula

$$I_{DESCARGA}(t) = I_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}[A]$$
$$I_{DESCARGA}(t) = \frac{V_0}{R}e^{-\frac{t}{L/R}}[A]$$

- *I_0 será la corriente que pasa por el inductor, la cual **podría ser** la corriente máxima entregada por la fuente de alimentación o sino la **última corriente almacenada**, la cual no necesariamente sea de la fuente, el tau puede cambiar su valor dado que al descargarse se cambia la conexión de resistencias conectadas con él*

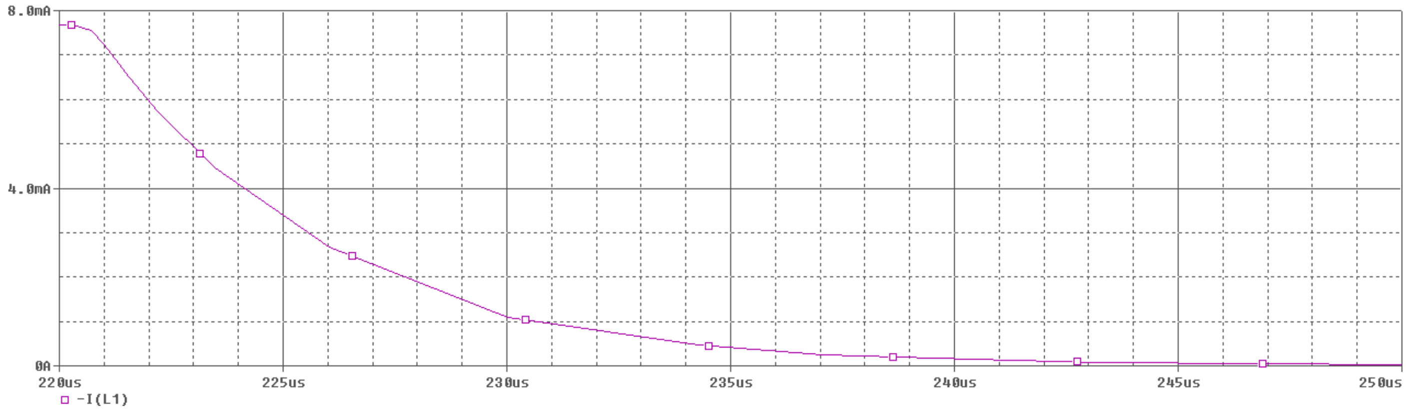
- La tensión sobre el inductor se calcula de la siguiente formula

$$V_L(t) = -V_o * e^{-\frac{t}{L/R}}[V]$$
$$V_L(t) = -I_0 * R * e^{-\frac{t}{L/R}}[V]$$

- La tensión sobre la resistencia de *Descarga* se calcula de la siguiente formula

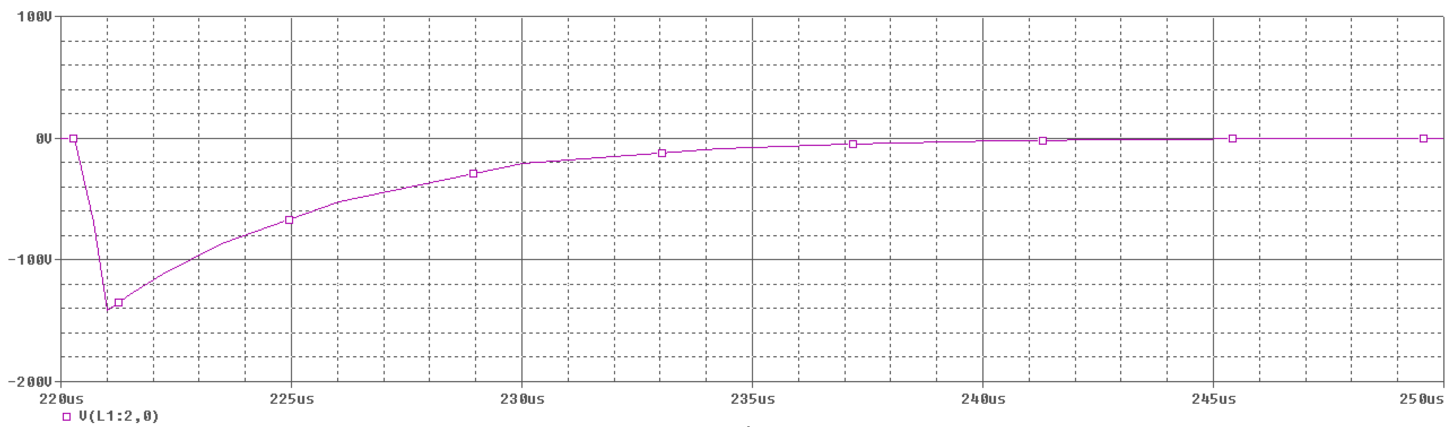
$$V_R(t) = V_L(t) = -V_o * e^{-\frac{t}{L/R}}[V]$$

- Grafica de corriente de descarga de un inductor

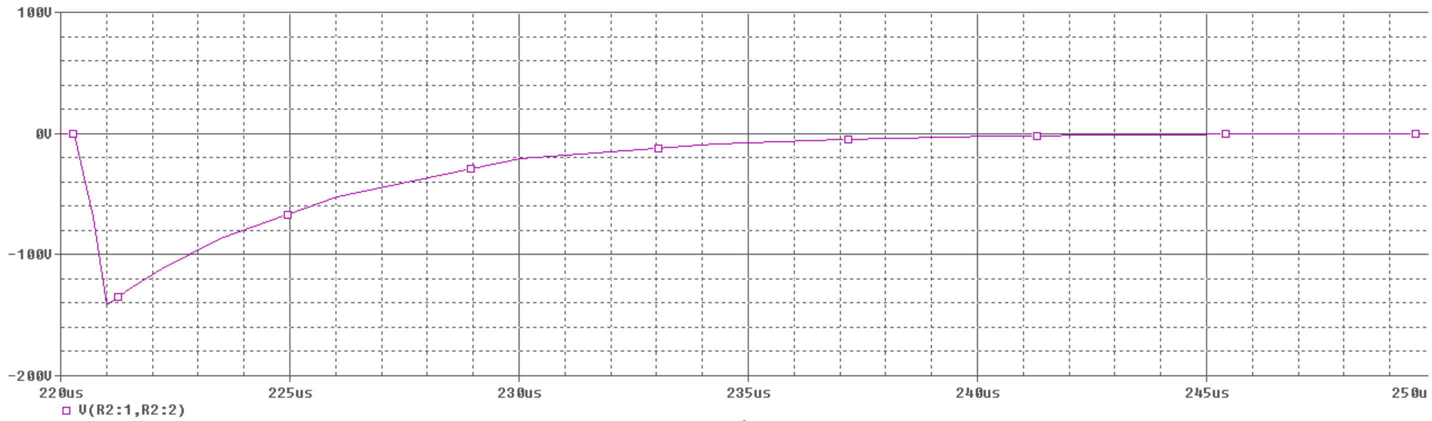


- Grafica de tensión de un inductor

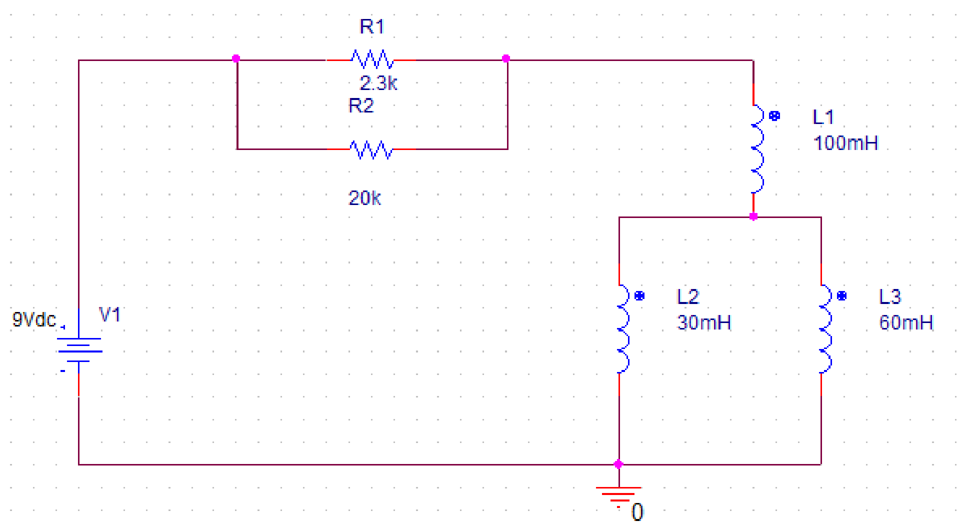
La corriente invierte el sentido de su corriente y por eso la tensión es negativa.



- Grafica de tensión de la resistencia



<u>Como vimos en el apartado del condensador se puede implementar el análisis para circuitos mixtos tanto para las resistencias como para los inductores; con el fin de calcular la resistencia e inductancia equivalente conectada y así calcular el tau total del circuito.</u>



¿Cuanto es el Tau?

Req=R1||R2

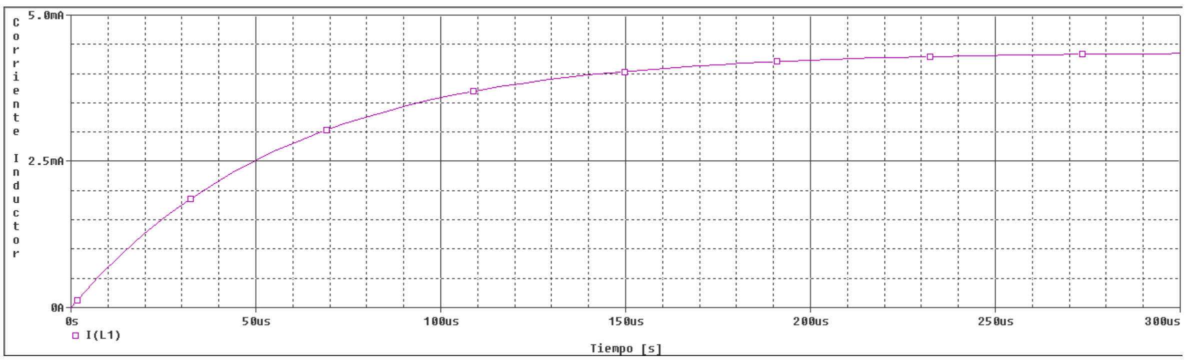
$$R_{eq}[\Omega] = \left(\frac{1}{20k[\Omega]} + \frac{1}{2.3k[\Omega]}\right)^{-1}[\Omega] = 2.06k[\Omega]$$

$$L_x[\mathrm{H}] = \left(\frac{1}{30m[\mathrm{H}]} + \frac{1}{60m[\mathrm{H}]}\right)^{-1}[\mathrm{H}] = 20m[\mathrm{H}]$$

$$L_{eq}[\mathrm{H}] = 100m[\mathrm{H}] + 20m[\mathrm{H}] = 120m[\mathrm{H}]$$

$$\tau[s] = \frac{120m[\mathrm{H}]}{2.06k[\Omega]} = 58.17\mu[s]$$

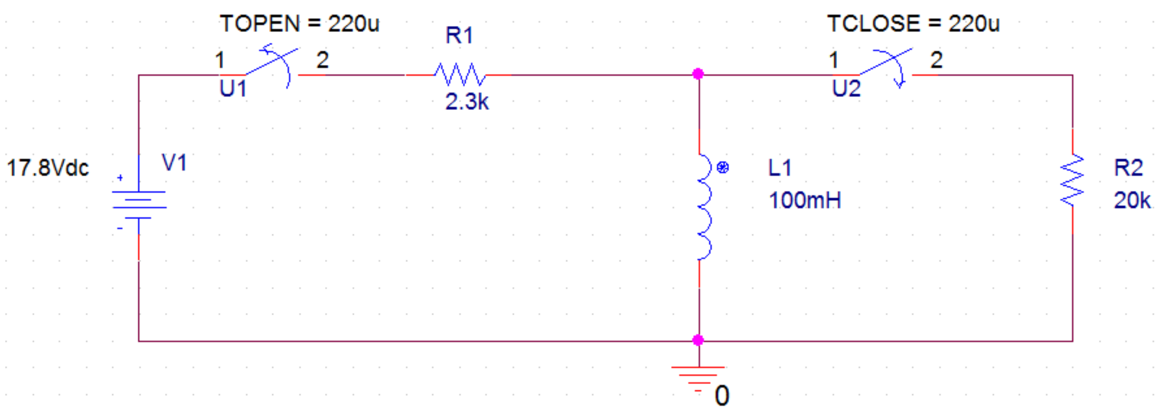
Graficando la carga del inductor



Carga y descarga de un inductor.

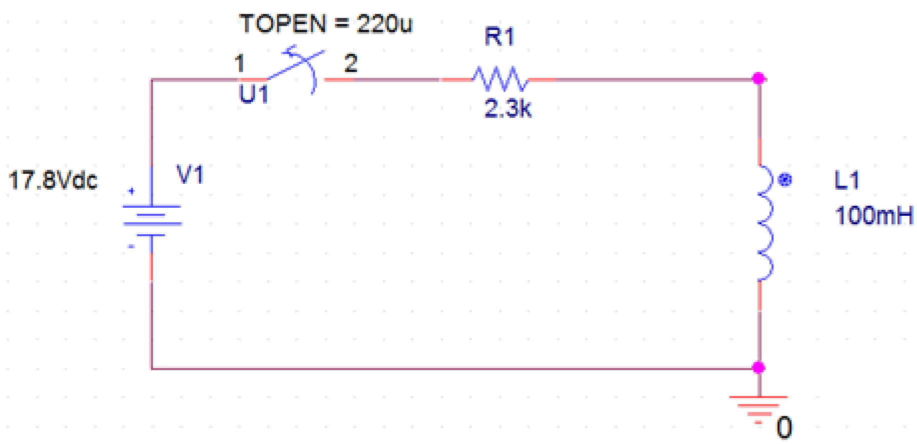
Se va a analizar el siguiente circuito:

- ✓ El switch U1 en tiempo $0[s] \leq t < 220\mu[s]$ está cerrado.
- ✓ El switch U2 en tiempo $0[s] \leq t < 220\mu[s]$ está abierto.
- ✓ El switch U1 en tiempo $t \geq 220\mu[s]$ se abre.
- ✓ El switch U2 en tiempo $t \geq 220\mu[s]$ se cierra.



3) Carga de un inductor.

Analizando $0[s] \leq t < 220\mu[s]$ tenemos este circuito



Calculemos el tau τ

$$\tau[s] = \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

$$\tau[s] = \frac{100m[H]}{2.3K[\Omega]} = 43.478\mu[s]$$

En cinco taus se alcanza la máxima tensión, la cual es

$$5\tau[s] = 5 * \frac{L[H]}{R[\Omega]} = 5 * \frac{100m[H]}{2.3K[\Omega]} = 217.39\mu[s]$$

La ecuación de carga

$$I_{CARGA}(t) = I_0 * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)[A]$$

$$I_{CARGA}(t) = \frac{V_0[V]}{R[\Omega]} * \left(1 - e^{-\frac{t}{L/_R}}\right)[A]$$

$$I_{CARGA}(t) = \frac{17.8[V]}{2.3k[\Omega]} * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$$

$$I_{CARGA}(t) = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$$

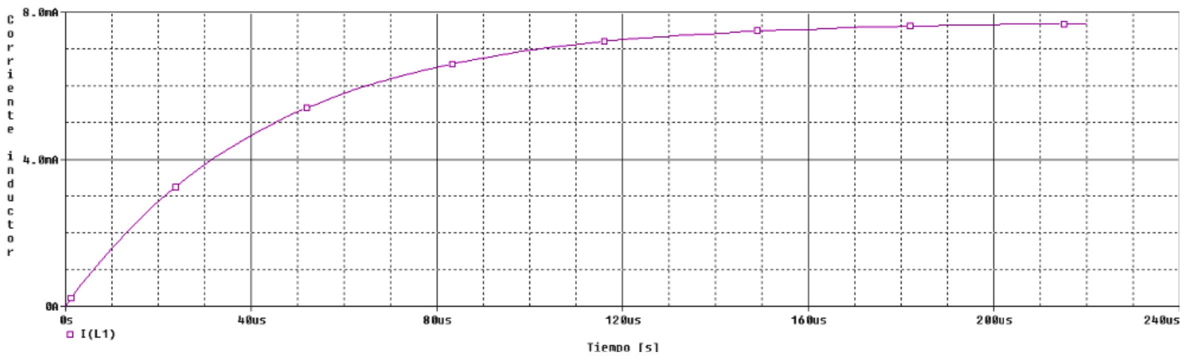
I_0 es la máxima corriente que va a pasar por el inductor, la cual será la corriente generada por la fuente.

Note que estamos trabajando en μs si graficamos entre $0[s] \leq t < 220\mu[s]$ el condensador estar cargado por que se sobrepasó los 5 tau.

Calculando los puntos para realizar la grafica

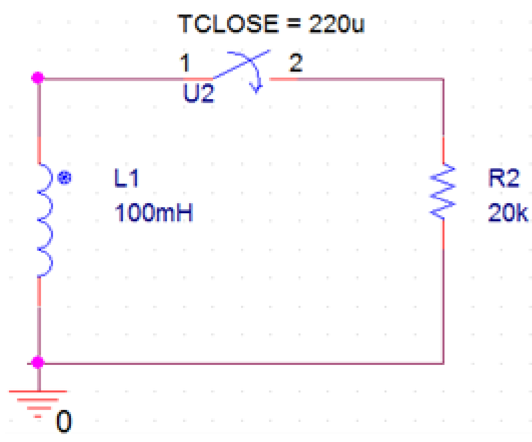
t[s]	I carga [A]	Tau
$\mathbf{0}$	$0 = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$	-
$\mathbf{5\mu}$	$840.73\mu = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{5\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{10\mu}$	$1.59m = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{10\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{20\mu}$	$2.85m = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{20\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{43.478\mu}$	$4.892m = 7.739m * \left(1 - e^{-\frac{30\mu}{43.478\mu}}\right)$	1
$\mathbf{86.956\mu}$	6.69m	2
$\mathbf{130.43\mu}$	7.35m	3
$\mathbf{173.91\mu}$	7.587m	4
$\mathbf{217.39\mu}$	7.686m	5 inductor ya alcanzo la máxima carga
$\mathbf{220\mu}$	7.69m	-

Utilizando software de simulación Orcad Pspice la gráfica es la siguiente



4) Descarga de un inductor.

Analizando $t \geq 220\mu[s]$ tenemos este circuito



Calculemos el ***<u>Nuevo</u>*** tau τ

$$\tau[s] = \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

$$\tau[s] = \frac{100m[H]}{20k[\Omega]} = 5\mu[s]$$

En cinco taus se alcanza la máxima tensión, la cual es

$$5 * \tau[s] = 5 * \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

$$5\tau[s] = 5 * \frac{100m[H]}{20k[\Omega]} = 25\mu[s]$$

La ecuación de descarga

$$I_{DESCARGA}(t) = I_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}[A]$$
$$I_{DESCARGA}(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{L/R}}[A]$$
$$I_{DESCARGA}(t) = 7.69m * e^{-\frac{t}{5\mu}}[A]$$

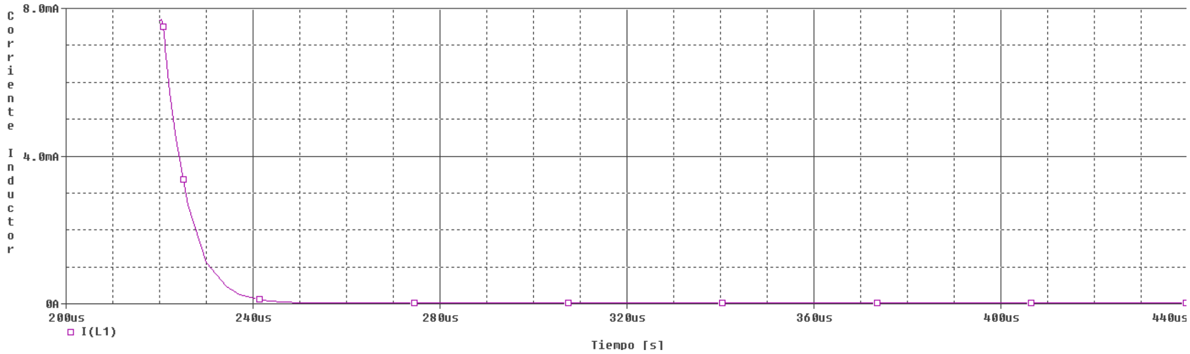
¡Ojo!! I_0 es la máxima tensión almacenada en $t = 220\mu[s]$.

Para obtener los datos de la gráfica se inicia en $t = 0[s]$ y no $t = 220\mu[s]$, esto se da por que la ecuación si se evalúa en $t = 220\mu[s]$, el inductor ya sobre paso los 5 tau para descargarse, vamos a ver esto en la gráfica.

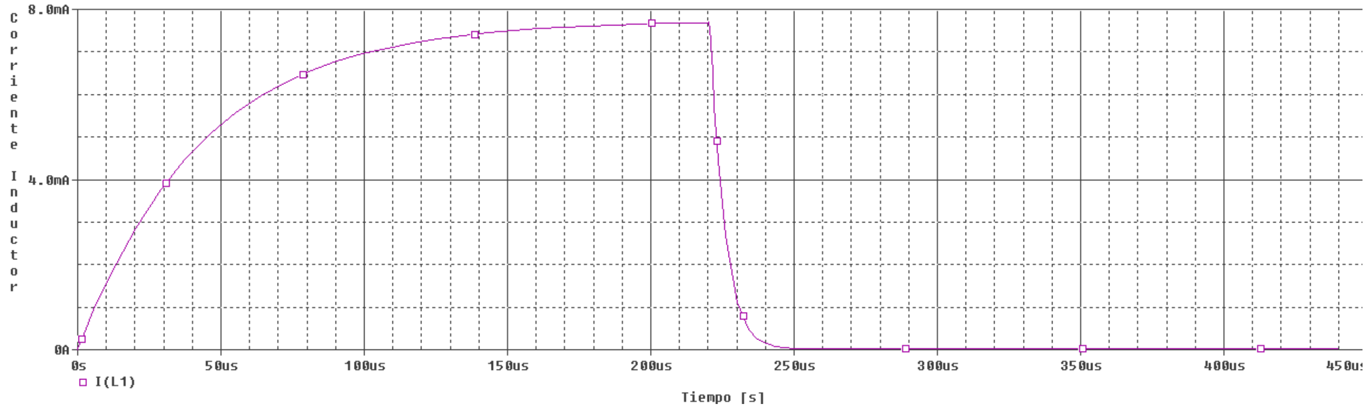
Calculando los puntos para realizar la grafica

t[s]	V carga [V]	Tau
0	$7.69m = 7.69m * e^{-\frac{0}{5\mu}}$	-
$500n$	$6.958m = 7.69m * e^{-\frac{500n}{15\mu}}$	-
1μ	$6.29m = 7.69m * e^{-\frac{5\mu}{15\mu}}$	-
5μ	$2.28m = 7.69m * e^{-\frac{5\mu}{15\mu}}$	1
10μ	1.04m	2
15μ	382.86μ	3
20μ	140.84μ	4
25μ	51.81μ	5 inductor ya descargo

Graficando los puntos, note que no se graficó en $t = 0s$, sino en $t = 220\mu s$, por lo cual se desplazó la gráfica, al tiempo que se comenzó a descarga.



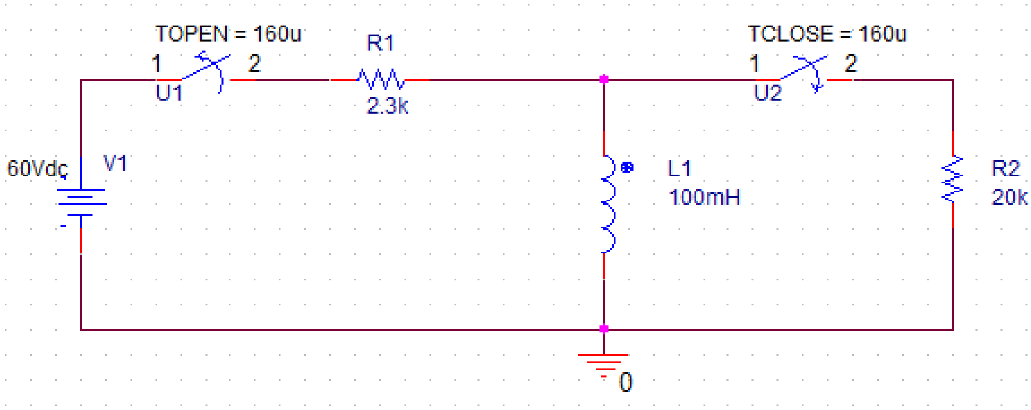
Por lo tanto, la gráfica de carga y descarga es:



Carga y descarga de un condensador antes que alcance los 5 tau de carga

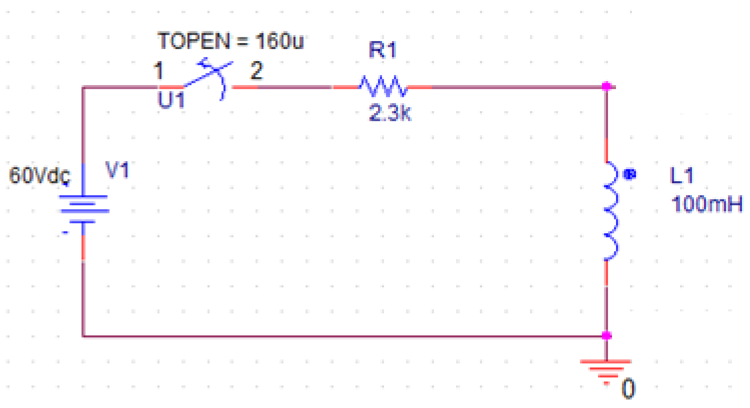
Se va a analizar el siguiente circuito:

- ✓ El switch U1 en tiempo $0[s] \leq t < 160\mu[s]$ está cerrado.
- ✓ El switch U2 en tiempo $0[s] \leq t < 160\mu[s]$ está abierto.
- ✓ El switch U1 en tiempo $t \geq 160\mu[s]$ se abre.
- ✓ El switch U2 en tiempo $t \geq 160\mu[s]$ se cierra.



5) Carga de un condensador.

Analizando $0[s] \leq t < 160\mu[s]$ tenemos este circuito



Calculemos el tau τ

$$\tau[s] = \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

$$\tau[s] = \frac{100m[H]}{2.3k[\Omega]} = 43.478\mu[s]$$

En cinco taus se alcanza la máxima tensión, la cual es

$$5 * \tau[s] = 5 * \frac{L[H]}{R[\Omega]} = 5 * \frac{100m[H]}{2.3k[\Omega]} = 43.478\mu[s]$$

<u>Note que, a los 5 tau, el inductor se carga completamente, pero vea que los switch se abre en 160us, por lo que el tiempo no llega a los 5 tau.</u>

La ecuación de carga

$$I_{CARGA}(t) = I_0 * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)[A]$$

$$I_{CARGA}(t) = \frac{V_0[V]}{[\Omega]} * \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}\right)[A]$$

$$I_{CARGA}(t) = \frac{60[V]}{2.3k[\Omega]} * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$$

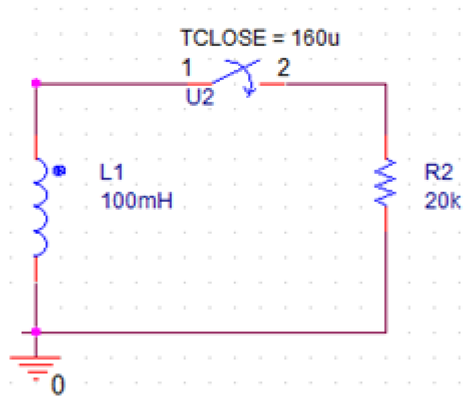
$$I_{CARGA}(t) = 26.08m * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$$

Calculando los puntos para realizar la grafica

t[s]	I carga [A]	Tau
$\mathbf{0}$	$0 = 26.08m * \left(1 - e^{-\frac{t}{43.478\mu}}\right)[A]$	-
$\mathbf{5\mu}$	$2.83m = 26.08m * \left(1 - e^{-\frac{5\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{10\mu}$	$5.35m = 26.08m * \left(1 - e^{-\frac{10\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{20\mu}$	$9.61m = 26.08m * \left(1 - e^{-\frac{20\mu}{43.478\mu}}\right)$	-
$\mathbf{30\mu}$	$12.99m = 26.088m * \left(1 - e^{-\frac{30\mu}{43.478\mu}}\right)$	1
$\mathbf{60\mu}$	19.51m	2
$\mathbf{120\mu}$	24.42m	3
$\mathbf{160\mu}$	25.42m	

6) Descarga de un condensador.

Analizando $t \geq 160\mu[s]$ tenemos este circuito



Calculemos el ***Nuevo*** tau τ

$$\tau[s] = \frac{L[H]}{R[\Omega]}$$

$$\tau[s] = \frac{100m[H]}{20k[\Omega]} = 5\mu[s]$$

En cinco taus se alcanza la máxima tensión, la cual es

$$5 * \tau[s] = 5 * \frac{L[H]}{R[\Omega]} = 5 * \frac{100m[H]}{20k[\Omega]} = 25\mu[s]$$

La ecuación de descarga

$$I_{DESCARGA}(t) = I_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}[A]$$

$$I_{DESCARGA}(t) = \frac{V_0[V]}{[\Omega]} e^{-\frac{t}{L/R}}[A]$$

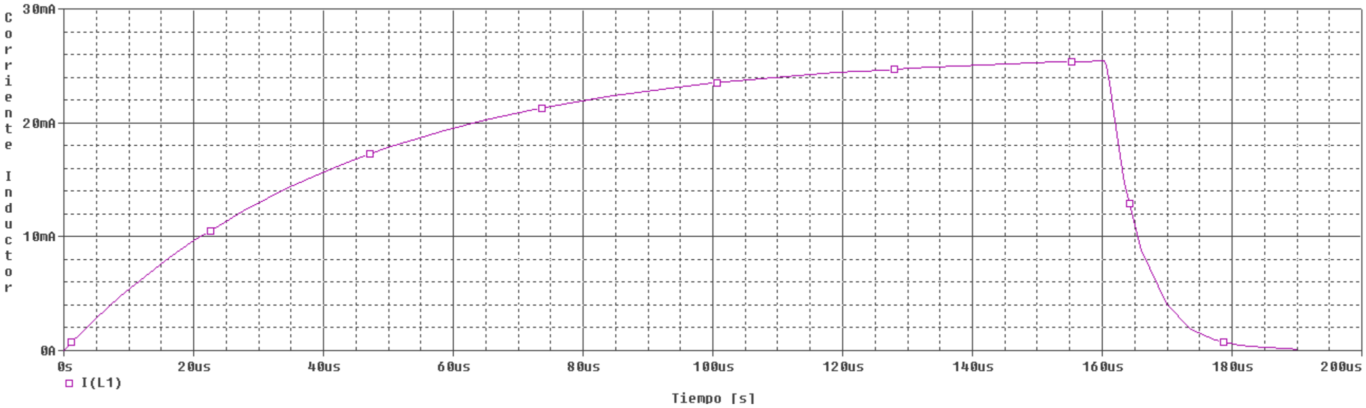
$$I_{DESCARGA}(t) = 25.42m * e^{-\frac{t}{5\mu}}[A]$$

<u>¡Ojo!! I_o es la máxima tensión almacenada en $t = 160us$. Y no los 26.08mA de la fuente</u>

Calculando los puntos para realizar la grafica

t[s]	I carga [A]	Tau
0	$25.42m = 25.42m * e^{-\frac{0}{5\mu}}$	-
$\boldsymbol{500n}$	$23m = 25.42m * e^{-\frac{500n}{15\mu}}$	-
$\boldsymbol{1\mu}$	$20.81m = 25.42m * e^{-\frac{5\mu}{15\mu}}$	-
$\boldsymbol{5\mu}$	$9.35m = 25.42m * e^{-\frac{5\mu}{15\mu}}$	1
$\boldsymbol{10\mu}$	3.44m	2
$\boldsymbol{15\mu}$	1.265m	3
$\boldsymbol{20\mu}$	465.55μ	4
$\boldsymbol{25\mu}$	171.27μ	5 inductor ya descargo

Por lo tanto, la gráfica de carga y descarga seria la siguiente imagen, note que nunca se alcanza la corriente entregada por la **<u>fuente</u>**.


Corriente Inductor
30mA
20mA
10mA
0A
0s
20us
40us
60us
80us
100us
120us
140us
160us
180us
200us
I(L1)
Tiempo [s]