

# Control de un circuito eléctrico RC en cascada para acelerador de proyectiles.

DAVALOS GONZALEZ ERICK CHRISTOPHER - 218293765

**Resumen** – En un laboratorio de una pequeña isla se han puesto a investigar sobre la capacidad y factibilidad de incorporar cañones de riel a su comunidad. Al ingeniero eléctrico de turno se le encarga crear un circuito que sea capaz de hacer circular una corriente muy alta por el arreglo inductivo del riel y que el voltaje del capacitor presente las menores variaciones posibles durante la carga y descarga del inductor, el límite de corriente que el laboratorio es capaz de proporcionar al inductor es de 1kA. El circuito debe suministrar corriente al inductor durante medio segundo y tener medio segundo de reposo.

En el siguiente documento se presenta una solución de índole eléctrica para mantener controlado el voltaje de un capacitor mediante un control PI y PID ya que este presentara descargas periódicas mediante un interruptor que conecta y desconecta a un inductor en paralelo al capacitor.

## I. INTRODUCCIÓN

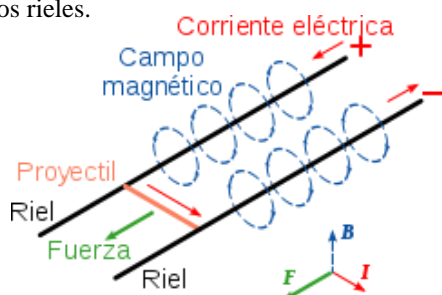
En 1918 el inventor francés Louis Octave Fauchon-Villeplee inventó un cañón eléctrico que tiene un gran parecido con el motor lineal.

Un cañón de riel consiste en dos rieles de metal paralelos conectados a un suministro de corriente eléctrica. Cuando un proyectil conductor es insertado entre los rieles (en el extremo conectado a la fuente de corriente), este completa el circuito.

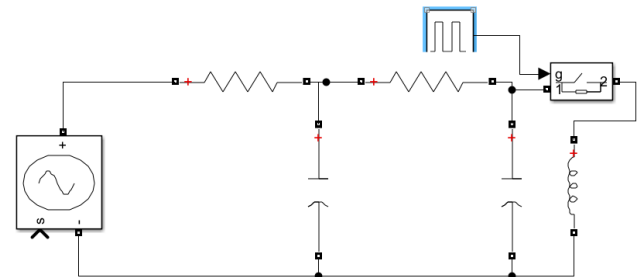
Los electrones fluyen del terminal negativo de la fuente de energía al riel negativo, cruza el proyectil, baja por el riel positivo, y vuelve al suministro de corriente.

Esta corriente transforma al cañón de riel en un electroimán, creando un potente campo magnético alrededor de los rieles hasta la posición del proyectil.

El campo magnético circula alrededor de cada conductor según la regla de la mano derecha. Dado que la corriente está en dirección opuesta a lo largo de cada riel, el campo magnético neto entre los rieles ( $B$ ) es dirigido verticalmente. En combinación con la corriente ( $I$ ) que cruza el proyectil, esto produce una fuerza de Lorentz, que acelera el proyectil a lo largo de los rieles.



Para resolver la problemática planteada en el resumen se propone el siguiente circuito.

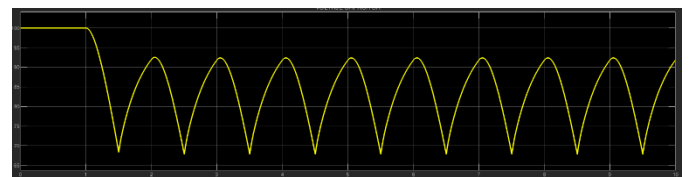


$R1=0.2\text{ohms}$ ,  $R2=0.1\text{ohms}$ ,  $C1=0.5\text{F}$ ,  $C2=1\text{F}$ ,  $I=0.2\text{H}$

Los parámetros del generador de pulsos para abrir y cerrar el switch (Inicio 1 segundo con circuito abierto para cargar el capacitor)

Parameters	
Pulse type:	Time based
Time (t):	Use simulation time
Amplitude:	1
Period (secs):	1
Pulse Width (% of period):	50
Phase delay (secs):	1
<input checked="" type="checkbox"/> Interpret vector parameters as 1-D	

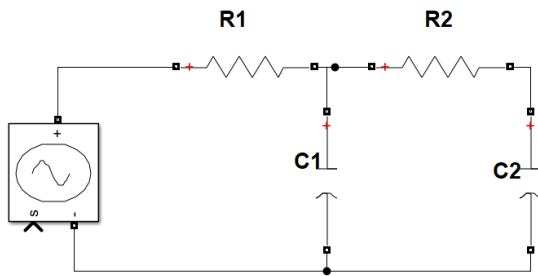
Grafica de voltaje del capacitor C2 con referencia constante



## II. PROCEDIMIENTO

### A. Modelado matemático del circuito eléctrico

El circuito se analizará como un circuito cerrado sin tomar en cuenta la parte del inductor ya que cuando el switch se cierre se comportará como una malla sin resistencia por donde fluirá una alta corriente.



La ecuación diferencial ordinaria que modela el circuito en cascada es la siguiente:

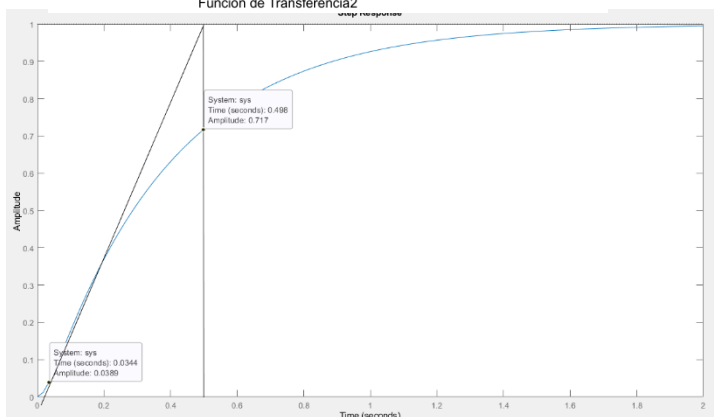
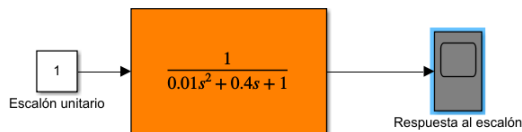
$$v_i(t) = R_1 C_1 R_2 C_2 \frac{d^2 v_{C2}(t)}{dt^2} + R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2 \frac{dv_{C2}(t)}{dt} + v_{C2}(t)$$

Por lo que su función de transferencia sería

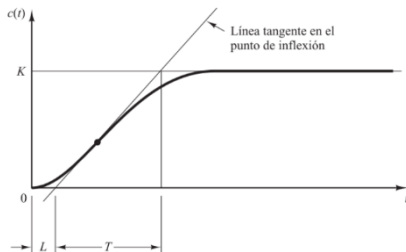
$$H(s) = \left( \frac{1}{(R_1 C_1 R_2 C_2) s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1} \right)$$

$$H(s) = \left( \frac{1}{(0.01) s^2 + (0.4) s + 1} \right)$$

B. Graficar función de transferencia y elegir el método de sintonización



Ya que la función de transferencia respondió de esa forma al escalón unitario se eligió el primer método de Ziegler Nichols



Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tenemos  $L=0.0344$   $T=0.4656$

Calculamos un PI y un PID para nuestro sistema.

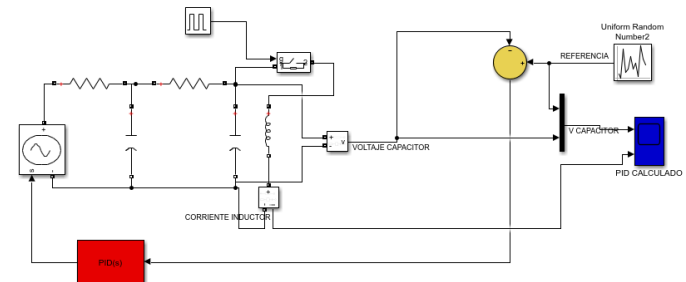
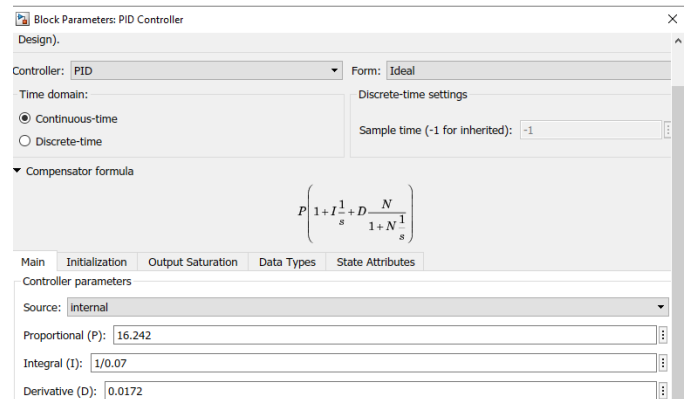
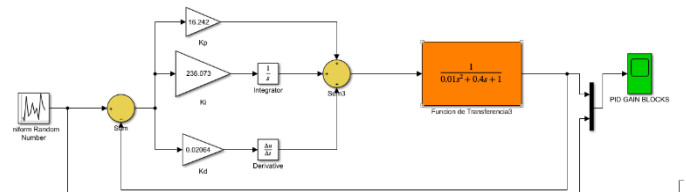
**PID**

$$K_p = 1.2 \left( \frac{0.4656}{0.0344} \right) = 16.242, \quad T_d = 0.5(0.0344) = 0.0172$$

$$T_i = 2(0.0344) = 0.07$$

$$K_i = \frac{1.2(0.4656)}{2(0.0344)^2 * s} = 236.073 \frac{1}{s}$$

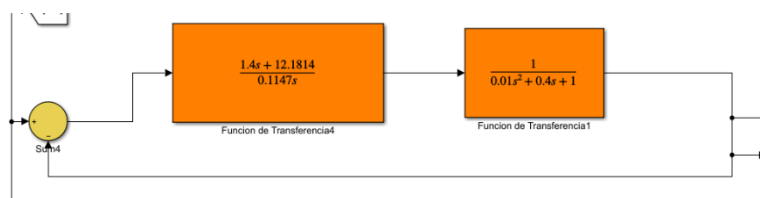
$$K_d = 1.2(0.5)(0.0344 * s) = 0.02064$$

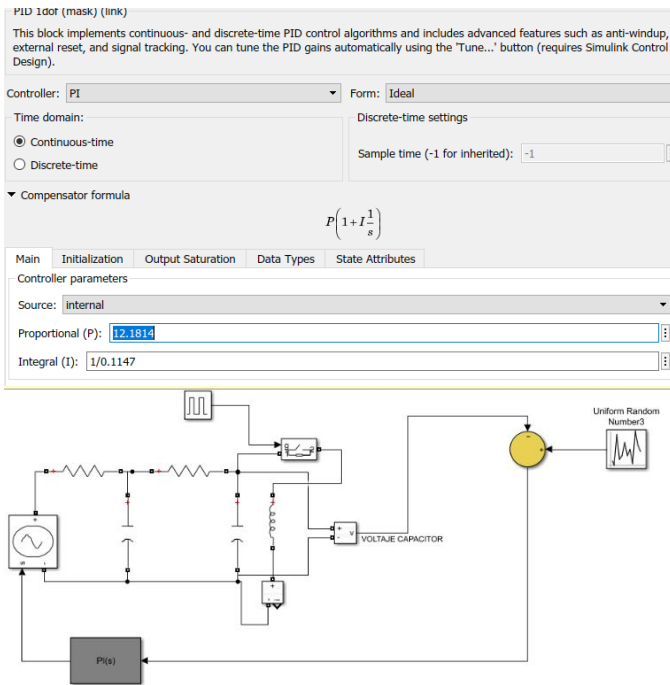


**PI**

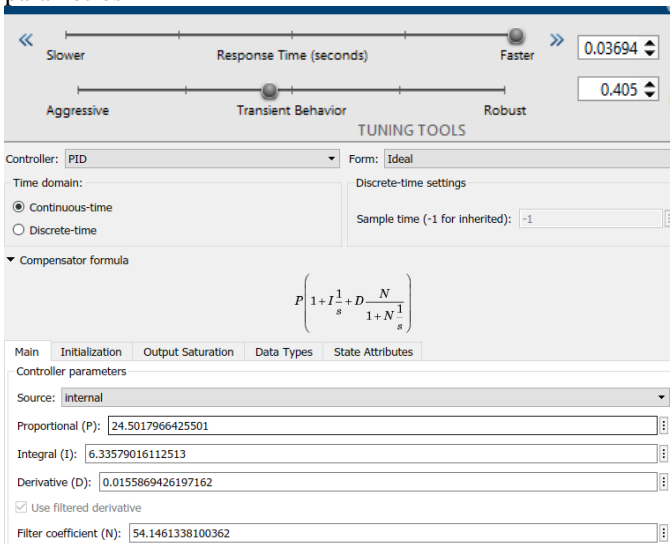
$$K_p = 0.9 \left( \frac{0.4656}{0.0344} \right) = 12.1814, \quad T_i = \frac{(0.0344)}{0.3} = 0.1147$$

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$





Para comparar los dos controles calculados se sintoniza un PID con la función TUNE de Matlab, se obtienen los siguientes parámetros



### C. Resultados

En la siguiente imagen se muestran los bloques de la función de transferencia sin control, con un control PID y con un PI que se calcularon mediante el primer método de la regla de sintonización de Ziegler Nichols

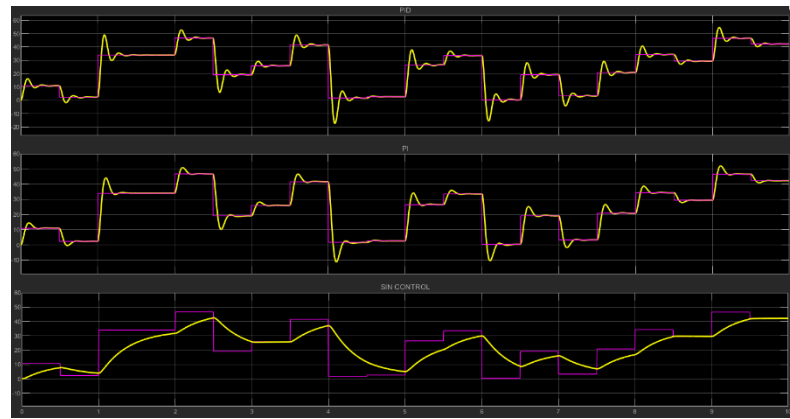


Ilustración 1 - Funciones de transferencia

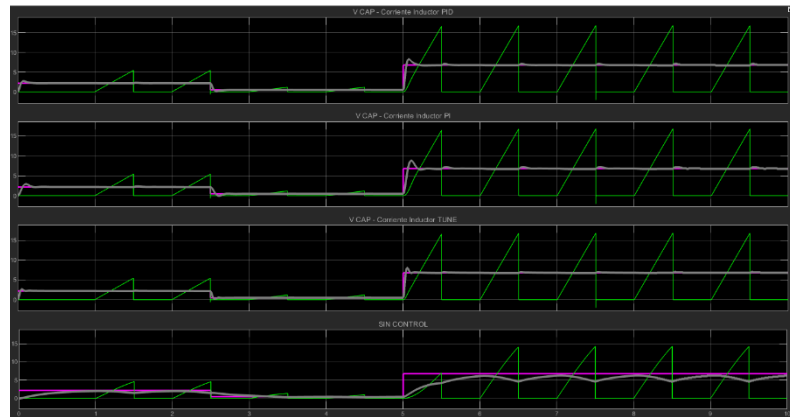


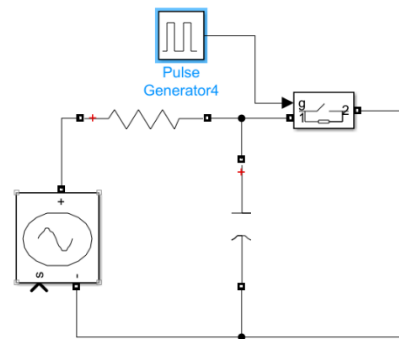
Ilustración 2 - Circuito Simulink - Calculado, TUNE y sin control

En color verde se muestra la corriente, en gris el voltaje del capacitor y en rosa la referencia utilizada.

### D. Conclusion

En la elaboración me encontré con par de problemas de planteamiento.

Primero planteé el circuito de esta forma



Suponiendo que no existe el interruptor se analizó el circuito RLC completo para obtener la función de transferencia la cual fue de la forma

$$H(s) = \frac{s}{s^2 + s + 1}$$

Su denominador tiene raíces imaginarias conjugadas. Cuando el interruptor se acciona y se cierra el circuito, en corriente directa una bobina ideal se comporta como un cortocircuito, esto quiere decir que toda la corriente pasa por el inductor.

Por la definición de la inductancia

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

Vemos que para que la corriente que pasa por el inductor se detenga necesitamos una tensión infinita por esta razón es que sigue circulando corriente a través de esta “capacitancia parasita” que se generó. Esto provoca oscilaciones.

Intenté hacerlo con el método de respuesta a frecuencia del libro de Ogata, pero no conseguí buenos resultados.

Es por eso por lo que no supe ni sé si existe manera de hacer algo así.

De las gráficas podemos observar que el control ayuda a tener un pico máximo de corriente mayor a comparación de un circuito sin control. También con la ventaja de un voltaje casi constante en el capacitor de salida por lo que puede traducirse como un control confiable.

El control automático tiene infinidad de aplicaciones en la vida diaria y representa un gran avance tecnológico el cual junto con otras disciplinas nos ayudará a llegar más allá de nuestra imaginación.