

TRABAJO PRACTICO DE ELECTRONICA DE POTENCIA

*Tema: Control de Velocidad para motor
de CC Lazo Cerrado*

Integrantes:

Astigarraga, Nicolás Leg: 54.146

Montes, Andrés Leg: 48.135

Segovia, Franco Leg: 60085

Valdez, Carlos Leg: 59845

Curso: 5R1

Año:2019

INTRODUCCIÓN

En el siguiente práctico se realizará la simulación de un driver para motores DC con lazo cerrado. Realizando mediciones, analizando la respuesta del motor frente a diferentes parámetros y extrayendo conclusiones

Enunciado Práctico

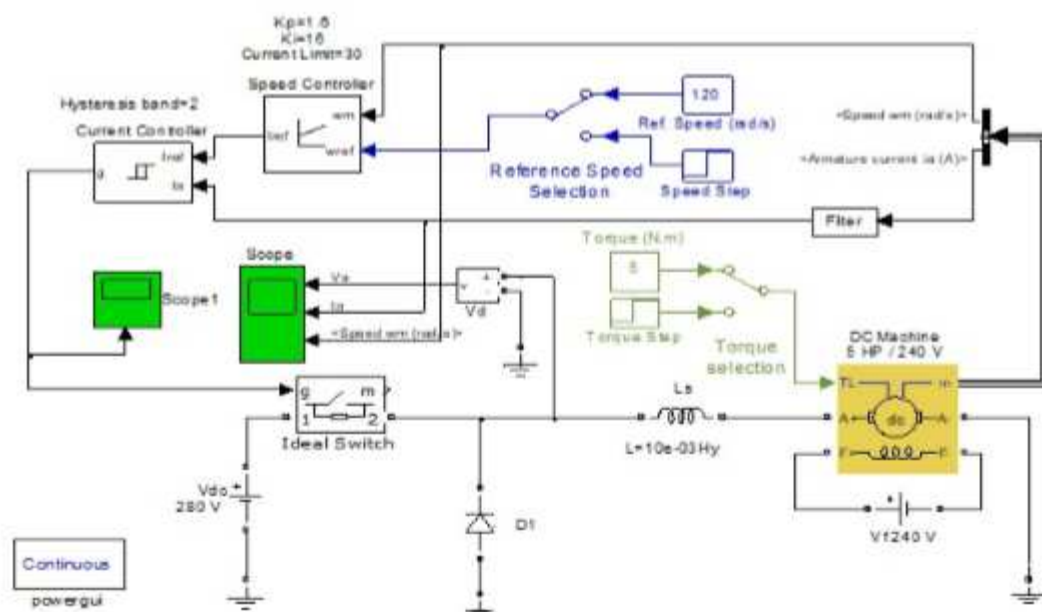


Figura 1: Circuito de simulación

Descripción del circuito

El motor de DC está alimentado por un chopper de DC con MOSFET operando en clase A. La carga mecánica está caracterizada por un escalón de carga T_L , o un valor J_0 . El controlador de corriente de histéresis compara la corriente sensada con una referencia y genera la señal de compuerta del interruptor ideal forzando al motor a seguir la corriente de referencia. El circuito es de lazo cerrado. El lazo de velocidad utiliza un controlador PI que produce la referencia para el lazo de corriente (par). El bloque de Voltage Measurement provee señal para los propósitos de visualización.

Pasos a realizar

Ejecute la simulación (Matlab 7.8 o superior), archivo `power_dcdrive.mdl`. Observe en el osciloscopio la tensión del motor, corriente, velocidad y par.

La referencia de velocidad es un escalón (Reference Speed Selection) que comienza con $\omega_m = 120$ rad/s y en el instante de tiempo (1s) cambia por $\omega_m = 160$ rad/s.

El par cambia con forma de escalón (Torque Step) desde el valor inicial $T_L = 5 \text{ N.m}$ a $T_e = 25 \text{ N.m}$ en 1,5 seg.

Mediciones a realizar

1. Imprima las magnitudes medidas en osciloscopio.
2. Con referencia de velocidad y par jos en 120rad/s y 5Nm respectivamente.
 - a) Mida la constante de tiempo eléctrica del motor.
 - b) Mida la constante de tiempo mecánica del motor.
3. Cambie los parámetros del controlador (speed controller) y busque (prueba y error) la sintonización más óptima, sin cambiar el límite de corriente.
4. Cambie el límite de corriente de 30A a 50A y verique si las constantes de tiempo cambian.

MARCO TEÓRICO

Motores DC

El motor de corriente continua , es una máquina que se encarga de convertir la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento giratorio, debido a la acción magnética que se genera en él. Los métodos de control de la velocidad, por lo general son más simples y menos costosos que los de los propulsores de ca. Los motores de cd juegan un papel importante en las propulsiones industriales modernas. Debido a los conmutadores (escobillas), los motores de cd no son adecuados para aplicaciones de muy alta velocidad y requieren más mantenimiento que los motores de ca. Con los recientes adelantos en la conversión de energía, las técnicas de control y las microcomputadoras, las propulsiones motoras de ca se vuelven cada vez más competitivas en relación con las propulsiones motoras de cd. Aunque la tendencia futura mira hacia las propulsiones de ca, las propulsiones de cd se utilizan actualmente en muchas industrias.

Un motor se compone, principalmente, de 2 partes:

*El estator, que se encarga de generar un soporte mecánico a la maquina y contiene los devanados principales, también conocidos como polos.

*El rotor, generalmente tiene forma cilíndrica, también tiene devanados con núcleo, alimentado con corriente continua mediante escobillas.

Driver DC

El driver de un motor es un variador o accionador de motores en general, incluidos los motores de corriente continua, son utilizados en grandes rangos de potencias, desde algunos Watts a cientos

de KW, y aplicaciones de servos de gran precisión a aplicaciones de variadores de velocidad para ajustar la velocidad. En la mayoría de los casos se controla la velocidad, el torque y la posición. En estos casos se requiere de convertidores de potencia como interface entre el motor y la alimentación de energía. Un diagrama en bloques típico del controlador de motores de cd se muestra a continuación.

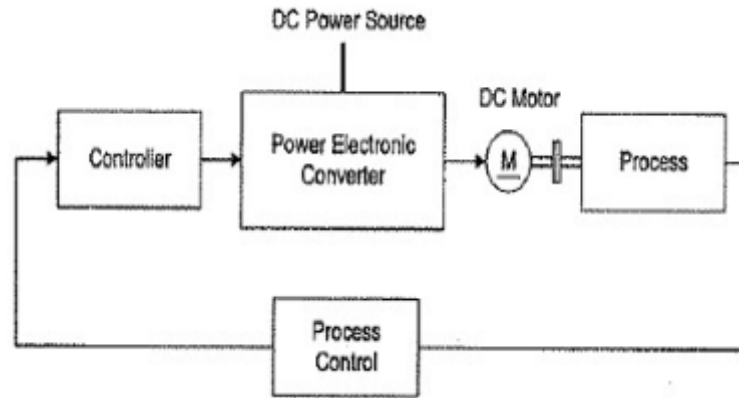


Figura 2: Control de motor de corriente continua. Diagramas en bloques genera

Circuito equivalente de un motor de cc

La Figura 3, ilustra el circuito equivalente de un motor de cc de excitación independiente o separada.

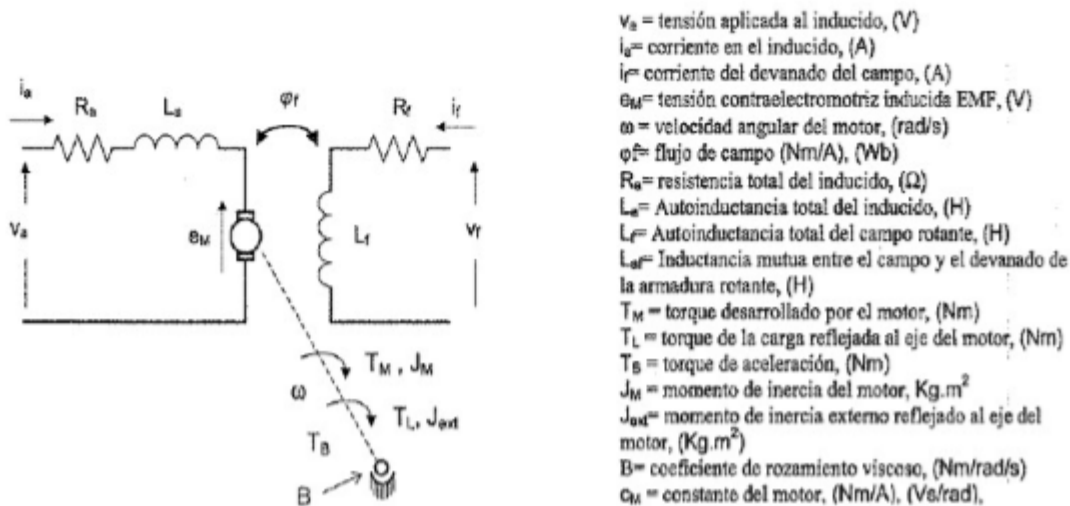


Figura 3: Circuito equivalente de un motor de DC de excitación independiente

El momento de inercia total, reejado al eje del motor, es:

$$JT = JM + J_{ext}$$

El torque depende de la corriente en la armadura y el flujo de campo. El flujo de campo, a su vez, depende de la corriente de campo. Este modo desacoplado provee velocidad y una buena respuesta para el torque y la velocidad. Las ecuaciones que describen las características de un motor de excitación independiente se presentan a continuación:

*Ecuación de tensión de campo: $V_f = R_f I_f L_f \frac{d i_a}{d t}$

*Ecuación de tensión de armadura: $V_a - e_m = R_a I_a + L_a \frac{d i_a}{d t}$

*Tensión contra electromotriz inducida: $e_m = R_{af} I_f \omega = C_M \omega$

*Torque del motor: $T_M = C_M I_a$

*Torque de aceleración: $T_B = J_T \frac{d \omega}{d t} + B \omega$

*Ecuación de torque: $T_M = T_B + T_L$

*Ecuación de potencia: $P_M = I_a e_m = T_M \omega$

Existen dos modos de operación para un motor de corriente continua:

-Control por armadura

-Control por campo

Modos de operación de un motor de CC

Se define el cuadrante de operación para un accionamiento de CC, el plano cuyo eje de abscisa es el torque o el valor medio de la corriente de armadura del motor, y el eje de ordenada es la velocidad del motor, o e_m si está operando por control de armadura, con campo constante.

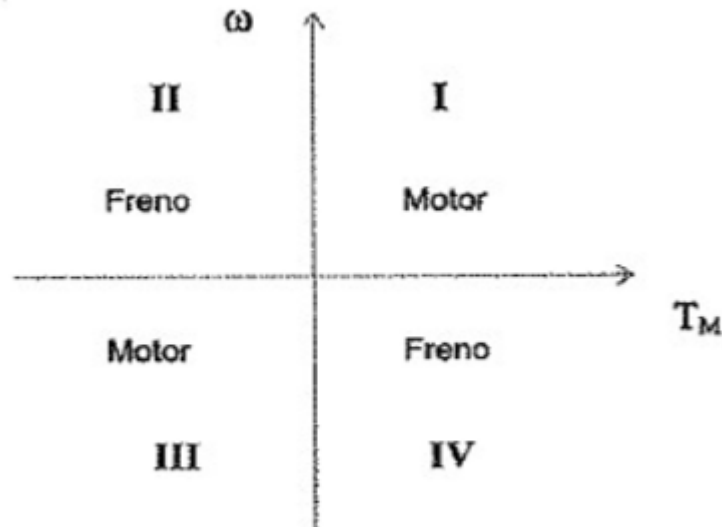


Figura 4: Cuadrantes de operación

En la siguiente tabla se observan los distintos modos de operación.

cuadrante	Torque T_M , o I_A	Velocidad, o e_M	Sentido de rotación	aceleración
I	>0	>0	positivo	positiva
II	<0	>0	positivo	negativa
III	<0	<0	negativo	positiva
IV	>0	<0	negativo	negativa

Figura 5: Cuadrantes de operación

Operación en un solo cuadrante

La Figura 6a, muestra un circuito para operar en un solo cuadrante (también llamado clase A), y cuenta con un transistor y un diodo. El diodo evita que la corriente se corte cuando se bloquea el transistor.

Cuando el transistor se cierra (llave) se cierra, la tensión V_d se aplica a la carga en modo directo, el diodo D queda polarizado en inversa. En este intervalo de tiempo, la corriente aumenta en forma de rampa a través de R_a , L_a y e_M . Cuando la llave se abre, la e_M se aplica a la resistencia

Ra y a la bobina La, ya que el diodo se polariza en directa, evitando así la discontinuidad en la corriente.

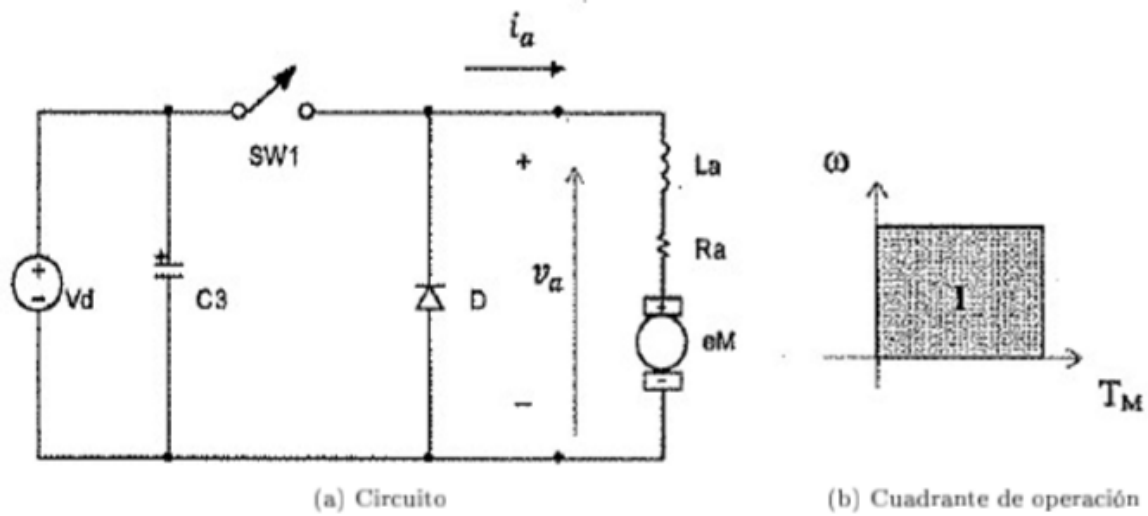


Figura 6: Operación en un cuadrante

Desarrollo de la actividad práctica

A continuación se muestra el circuito a simular:

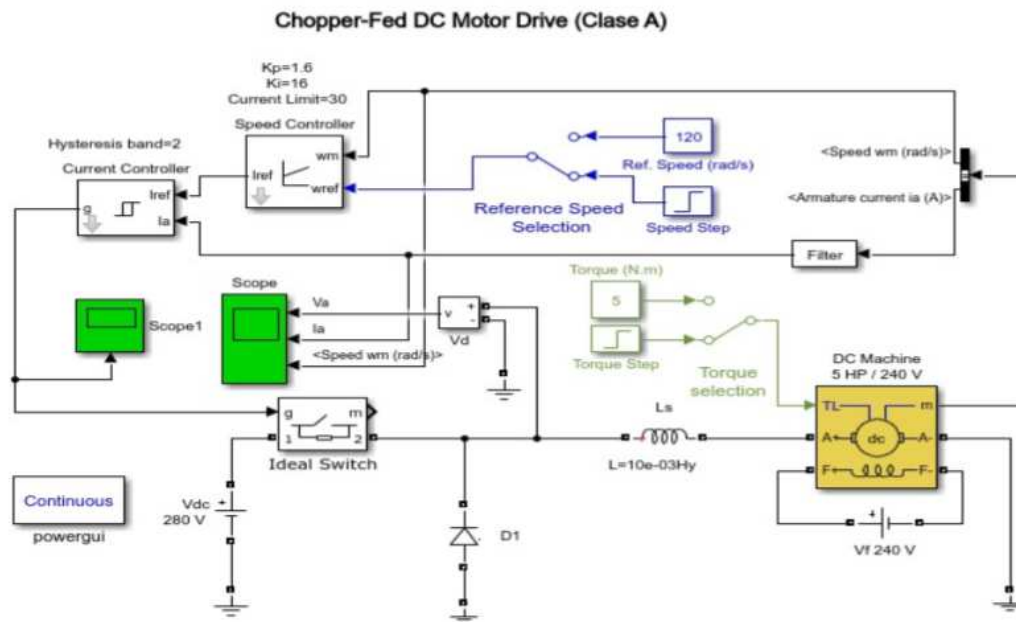


Figura 7: Circuito a simular

La simulación se realiza en Matlab 2017 (SimuLink) y consiste en un lazo cerrado de control para un motor cc controlado por armadura. En un comienzo se establece una velocidad de $\omega_m = 120 \text{ rad/seg}$ y el torque en la carga es de 5 Nm . Al pasar 0.8 segundos, se cambia la velocidad del motor a $\omega_m = 160 \text{ rad/seg}$ mediante el bloque ref. Speed, y para nalizar, el par motor a un valor de 25 Nm en un tiempo $t=1,65 \text{ seg}$.

En la Figura 8, se puede observar la tensión del motor, corriente y velocidad.

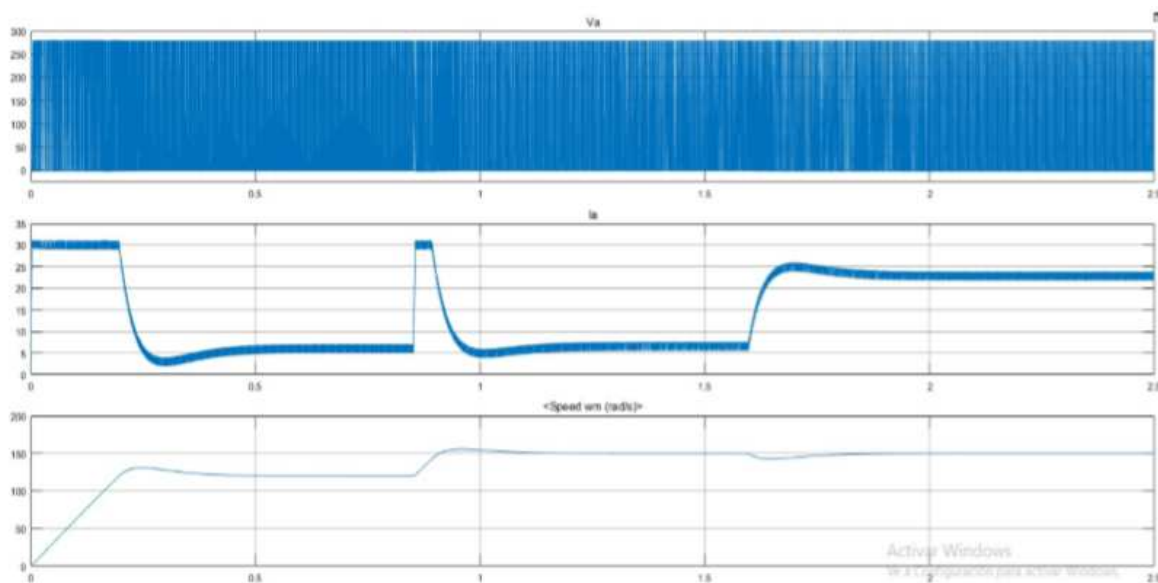


Figura 8: Simulación

Medición de la constante de tiempo eléctrica (τ_e)

La constante de tiempo eléctrica τ_e determina la rapidez en llegar a su valor estacionario la corriente de armadura en respuesta a un cambio en la tensión de armadura, donde la velocidad del motor se considera aproximadamente constante.

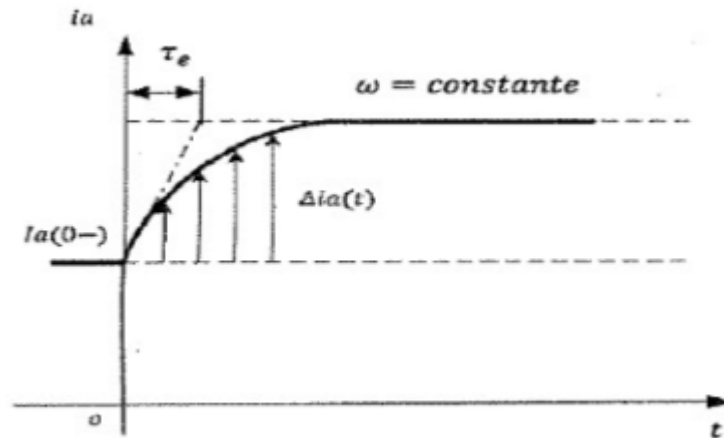


Figura 9: Constante de tiempo eléctrica τ_e

La constante está dada por:

$$T_e = \frac{L_a}{R_a}$$

$$T_e = \frac{10 \text{ mH}}{0,5 \Omega}$$

$$T_e = 20 \text{ ms}$$

L_a : Autoinductancia total del inducido.

R_a : Resistencia total del inducido

Para la medición de la constante de tiempo eléctrica τ_e , se parte de la función de transferencia del motor controlado por armadura:

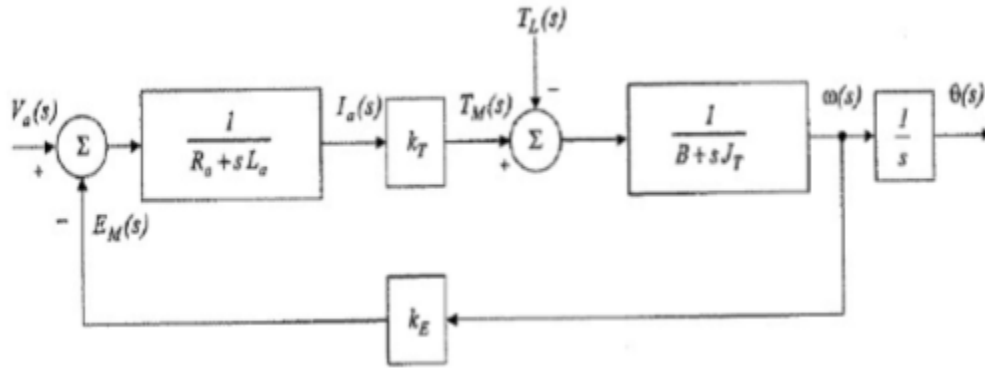
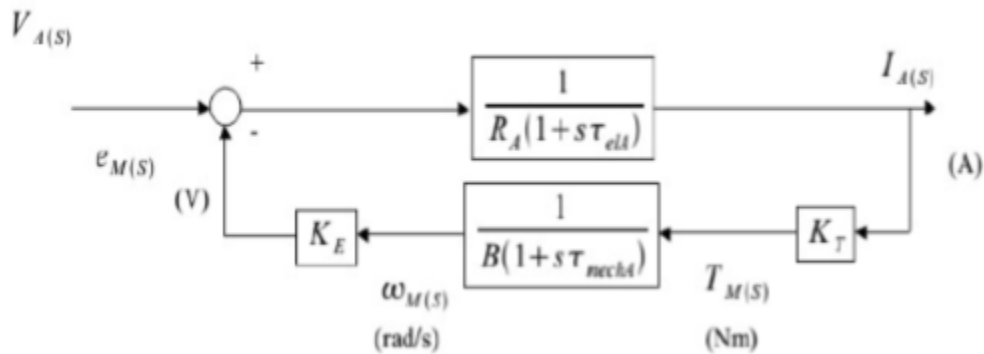


Figura 10: Diagrama en bloques de un motor DC y la carga

Tenemos que llevar la función de transferencia recién mostrada, a la de la Figura 11, considerando que no hay torque de carga. El sistema relaciona la corriente de armadura con la tensión de entrada aplicada. La ganancia de paso directa corresponde a un sistema de primer orden, por lo tanto, si se anula el efecto de la realimentación, se puede medir la constante de tiempo eléctrica del sistema a partir de analizar la respuesta transitoria de la corriente de armadura al aplicar un escalón en la tensión de entrada.

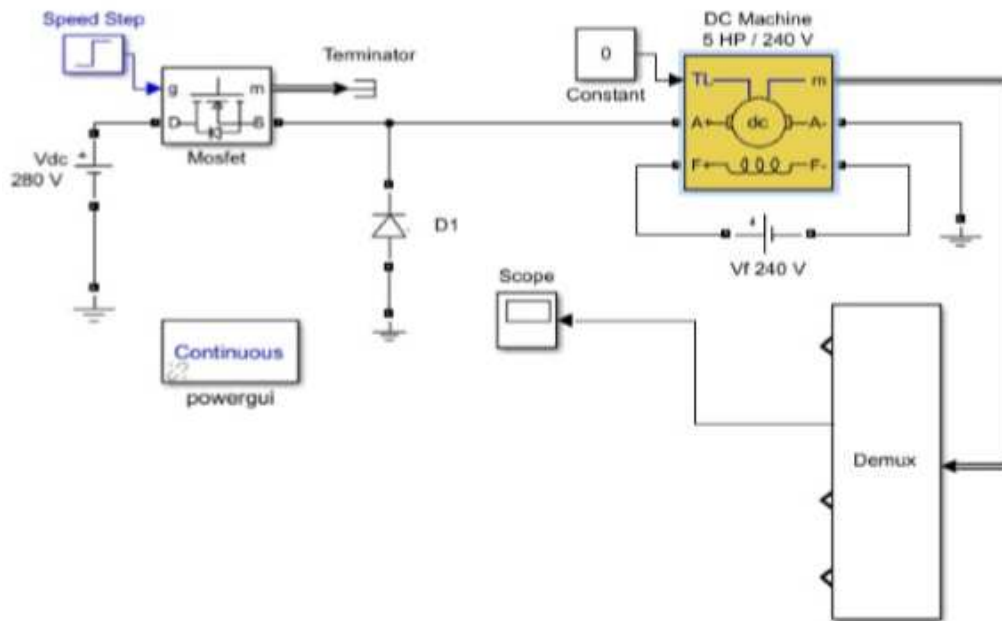
Figura 11: Diagrama en bloques del motor para obtener τ_e

Para obtener la constante τ_e a través de una simulación se aplica:

* El par de carga (T_L) se hace igual a 0.

*Aumentamos el coeficiente de rozamiento $B=2000$ [N.m.s], para que la aceleración del motor sea muy próxima a cero y la velocidad se mantenga en un valor casi constante.

A continuación se muestra el circuito que usamos para calcular la constante:

Figura 12: Circuito para calcular τ_e

En la Figura 13 se puede observar como es la respuesta de la corriente de armadura.

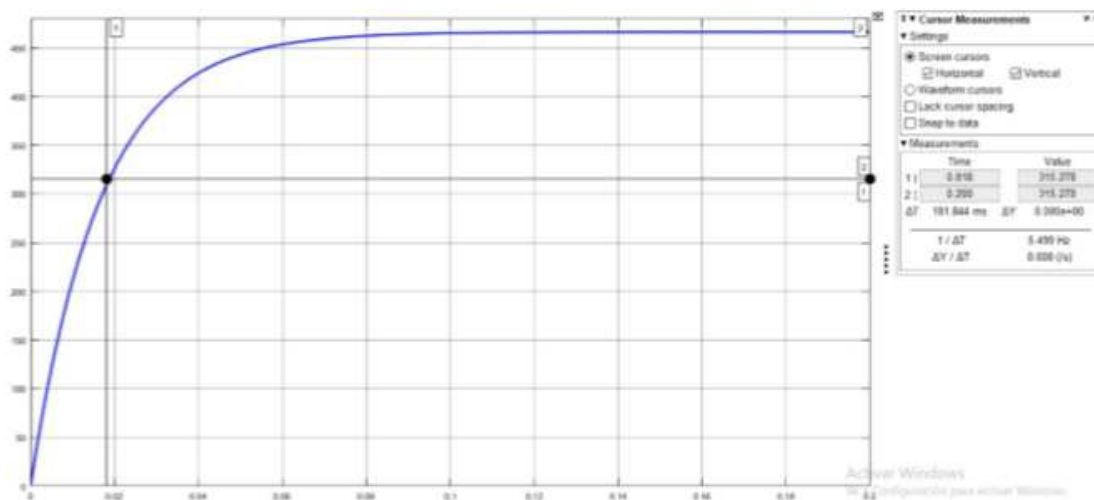


Figura 13: Corriente en la armadura

La constante de tiempo eléctrica se mide cuando la corriente de armadura llega al 60% de su valor nominal aproximadamente. Como vemos, el resultado de τ_e obtenido gráficamente da aproximadamente el cálculo teórico, $\tau_e \approx 20\text{ms}$

Medición de la constante de tiempo mecánica (τ_m)

La constante de tiempo mecánica determina cuan rápido llega la velocidad ω_m a su valor estacionario, en respuesta a un cambio de la tensión de armadura, considerando a la constante de tiempo eléctrica despreciable, y, por ende, la corriente de armadura puede cambiar instantáneamente.

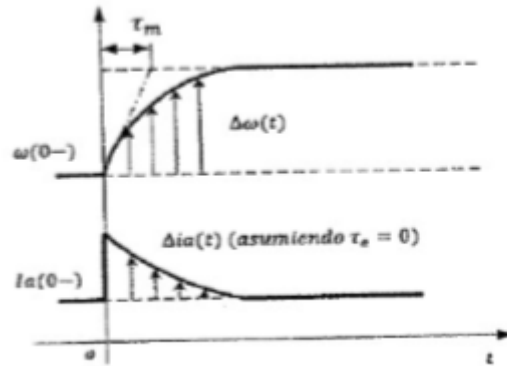


Figura 14: Constante de tiempo mecánica τ_m

Se puede calcular la constante de tiempo mecánica de forma teórica, con la siguiente formula:

$$T_e = \frac{J_T}{B}$$

$$T_e = \frac{0,05}{0,02}$$

$$T_e = 2,5 \text{ Seg}$$

* JT: Momento de inercia total reflejado al motor.

* B: Coeficiente de rozamiento viscoso.

Para calcular la constante de tiempo mecánica, se tiene que re-ordenar el sistema, como se muestra en la Figura 15, considerando la tensión de entrada (V_a) como nula.



Figura 15: Diagrama en bloques del motor para calcular τ_m

Donde se coloca como entrada el torque de carga y como salida la velocidad del motor. Al igual que el caso anterior la ganancia de lazo directo corresponde a un sistema de primer orden. Para anular el efecto de la realimentación se coloca una resistencia de gran valor en serie con el circuito de armadura, lo que equivale a dejar el circuito abierto. Se coloca un escalón de torque negativo y se observa que sucede con la velocidad.

A continuación se muestra el circuito a simular:

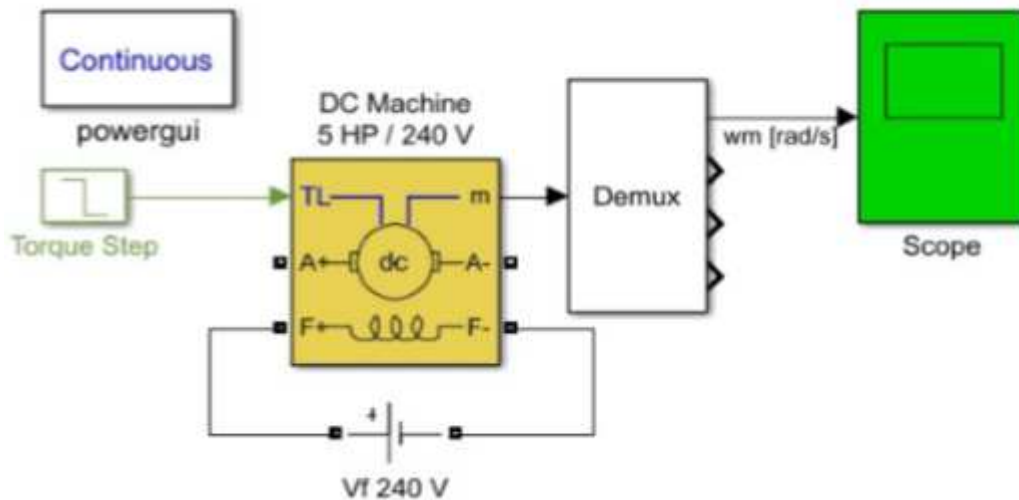


Figura 16: Circuito para calcular τ_m

En la Figura 17, se observa la simulación obtenida.

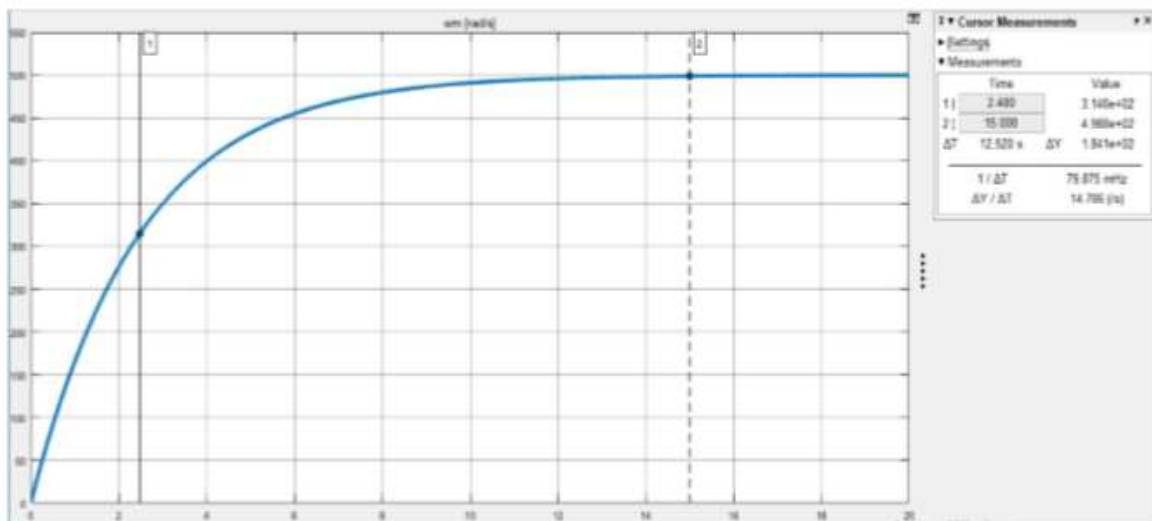


Figura 17: Simulación para obtener τ_m

La velocidad final es de 500 rad/s. Para calcular la constante, hay que observar en cuanto tiempo llega el sistema al 63% de este valor (315 rad/s). Entonces, como se puede ver en la Figura 4.11, la constante de tiempo mecánica es: $\tau_m \approx 2,55$

Sintonización del controlador

La constante de proporcionalidad K_p y la constante de integración K_i se deben ajustar en el controlador para obtener los valores óptimos de sintonización. Este proceso es a prueba y error, buscando que el motor tenga una respuesta mas rápida y un sobreimpulso pequeño. Hicimos distintas pruebas y los valores que mejor respuesta daban son:

$$K_p = 22$$

$$K_i = 30$$

En la Figura 18, se observa la simulación con el K_p y K_i ajustados.

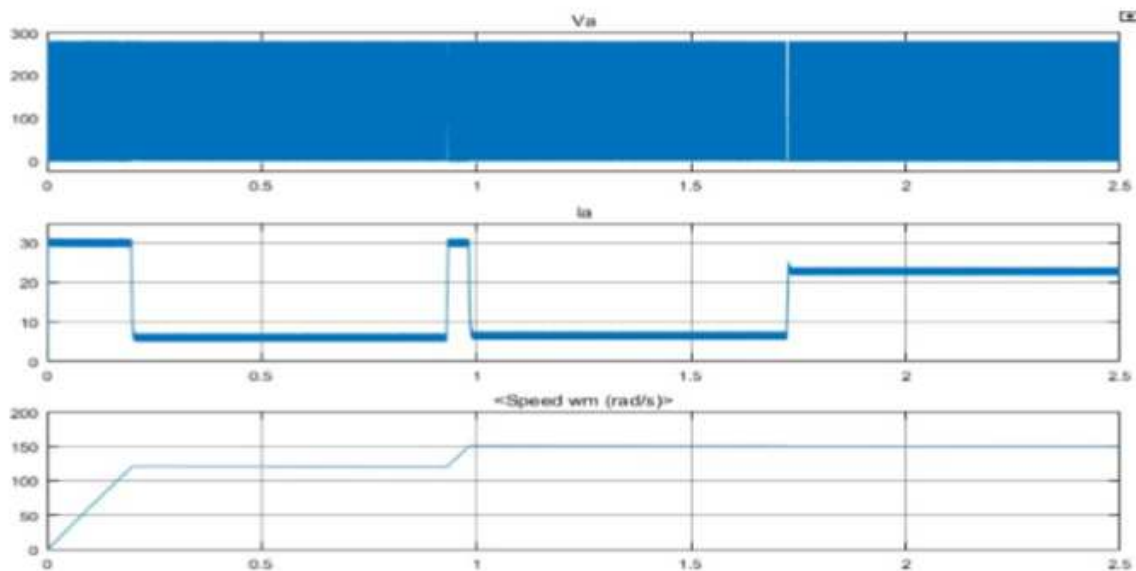


Figura 18: Sintonización óptima del controlador

Cambio en el límite de corriente

En este último punto práctico, cambiamos el límite de corriente, de 30A a 50A. Con este cambio, notamos un aumento en la velocidad de la respuesta mecánica del sistema, ya que al aumentar el consumo de corriente, se incrementa el torque del motor y, por lo tanto, llega a su velocidad de referencia mas rápidamente. Como aumenta la velocidad, la constante de tiempo mecánica disminuye, mientras que la constante de tiempo eléctrica no varia. En la siguiente imagen, vemos lo antes mencionado.

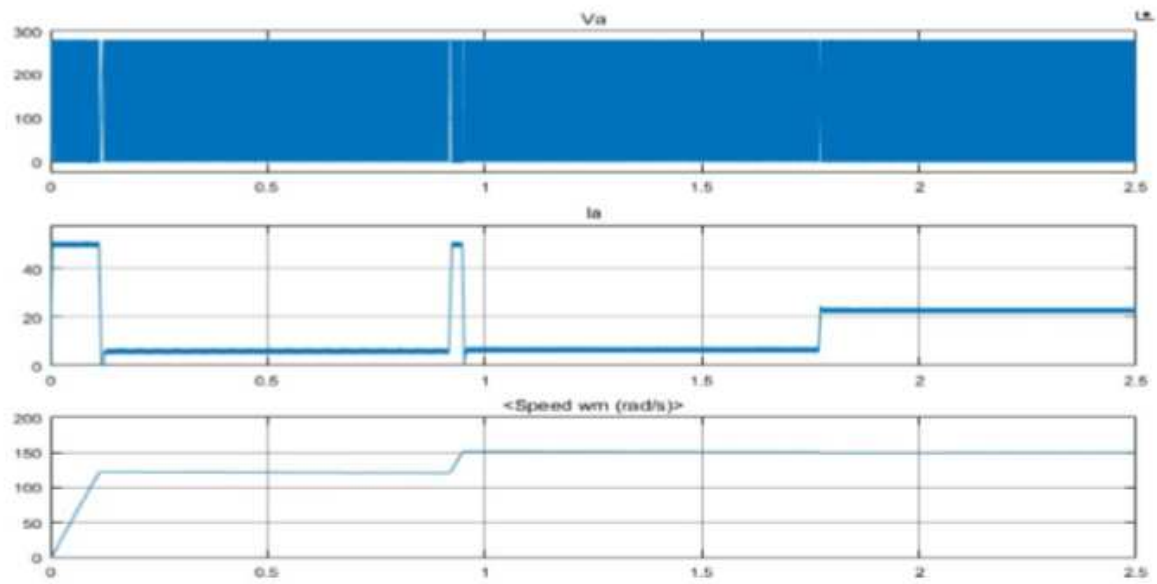


Figura 19: Simulación con limite de corriente = 50A.

CONCLUSIÓN

Como conclusión podemos decir que las constantes eléctricas son independientes entre si. La constante de tiempo eléctrica depende directamente de las características eléctricas del motor (como resistencia e inductancia de la armadura), mientras que la constante de tiempo mecánica depende de factores propios del motor, como momento de inercia, fricción viscosa B y de la carga. También pudimos comprobar que el calculo teórico de las 2 constantes se asemeja bastante a los resultados de las 2 constantes obtenidas mediante la simulación. Acerca de la ecuación general de par $T_e = T_L + J \frac{d\omega}{dt}$, podemos decir que el torque eléctrico es igual al torque que produce la carga en el eje del motor, mas el momento de inercia por la aceleración angular, es decir, que si variamos la velocidad varia el par eléctrico. También podemos decir que cuando la velocidad de giro del motor se estabiliza, osea cuando $\frac{d\omega}{dt} = 0$, el torque del motor se iguala con el torque de la carga. En cuanto al controlador, en los sistemas de control de motores de CC se utilizar mayoritariamente un controlador PI, que entrega una corriente de salida proporcional al error de entrada. El error de entrada es la diferencia entre la velocidad del motor y a la velocidad de referencia del controlador. También dedujimos que la correcta elección de sus ganancias Kp y Ki mejoraran la respuesta del sistema, como pudimos comprobar durante el practico. A cerca de la inuencia del límite de corriente podemos decir que, al arrancar, el motor demanda mucha mas corriente que al alcanzar el régimen permanente, esto se debe a que al arrancar, el torque del motor debe superar al torque de la carga mas el rozamiento. Una vez superado este momento, el motor se comienza a acelerar hasta llegar a su velocidad de régimen permanente. Cuando aumentamos ese limite de corriente, se superan los valores estacionario mas rápido, debido a que el motor tiene mas energía, lo que le permite llegar al estado de régimen permanente rápidamente. Igualmente, este limite de corriente actuá como una protección para el sistema, ya que esa demanda excesiva de corriente genera picos muy grandes que pueden deteriorar partes del sistema, como los devanados del motor, los dispositivos de potencia, etc. También nos gustaría recalcar que nos pareció interesante usar la herramienta de simulación SimuLink ya que no habíamos tenido la oportunidad de utilizarla antes, y nos pareció una herramienta muy potente para realizar los diagramas en bloques, y los análisis que ellos conllevan.