

Esquemático

[illegible]

Figura 1: Esquemático PLECS.

Parámetros de simulación

Parámetro	Valor
Resistencia del estator (R_s).	0.861Ω
Pares de polos.	2
Inductancias (L_d y L_q).	2.537 mH
Flujo inducido por los imanes (Φ).	0.0166 Wb
Inercia.	0.001 Nms^2
Coefficiente de Fricción (μ).	0.001 Nms
Voltaje DC <i>link</i> .	24 V
Frecuencia de la <i>carrier</i> .	10 kHz

Tabla 1: Parámetros del motor.

Control de corriente

Las constantes k_p y k_i del controlador se determinan a través de la función de transferencia en lazo cerrado descrito por la ecuación 1[1].

$$G_c(s) = \frac{\alpha}{s + \alpha} = \frac{1}{sT_e + 1}, \quad \alpha = \frac{1}{T_e} \quad (1)$$

En esta expresión T_e corresponde a la constante de tiempo eléctrica, que se relaciona con el tiempo de subida a través de la ecuación 2.

$$t_{re} = T_e \ln(9) \quad (2)$$

Dadas estas expresiones, se tiene que la función de transferencia del controlador corresponde a la ecuación 3.

$$F(s) = \alpha L + \alpha \frac{R}{s} \quad (3)$$

De esta manera, las constantes k_p y k_i son iguales a αL y a αR . Imponiendo $T_e = 10^{-3} s^{-1}$ y sabiendo que $R = 0.861 \Omega$ y $L = 2.537 mH$, se obtienen los valores de la ecuación 4.

$$k_p = 2.537, \quad k_i = 861.3613 \quad (4)$$

A continuación, se valida el desempeño del controlador, graficando las corrientes en el eje directo y en cuadratura en las figuras 2 y 3.

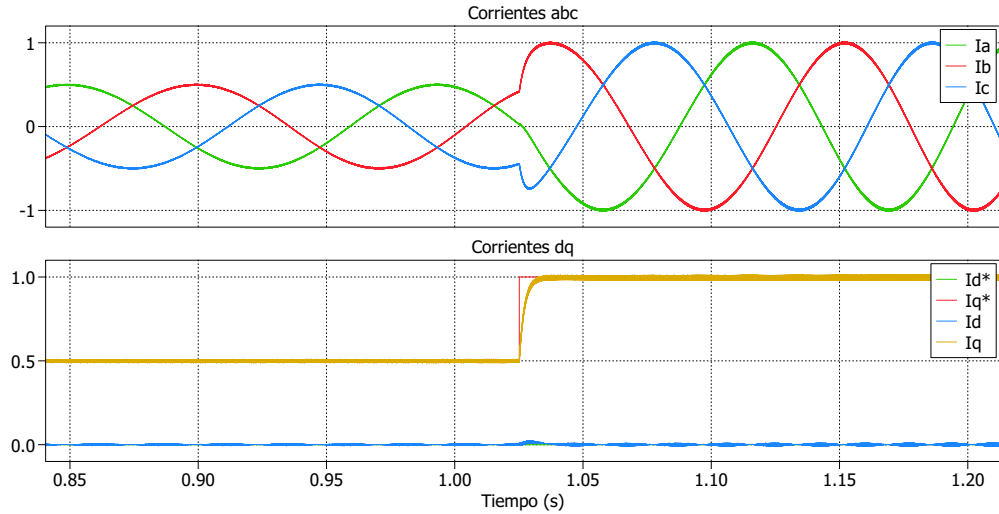


Figura 2: Desempeño controlador de corriente cambiando la referencia de I_q de 0.5A a 1A.

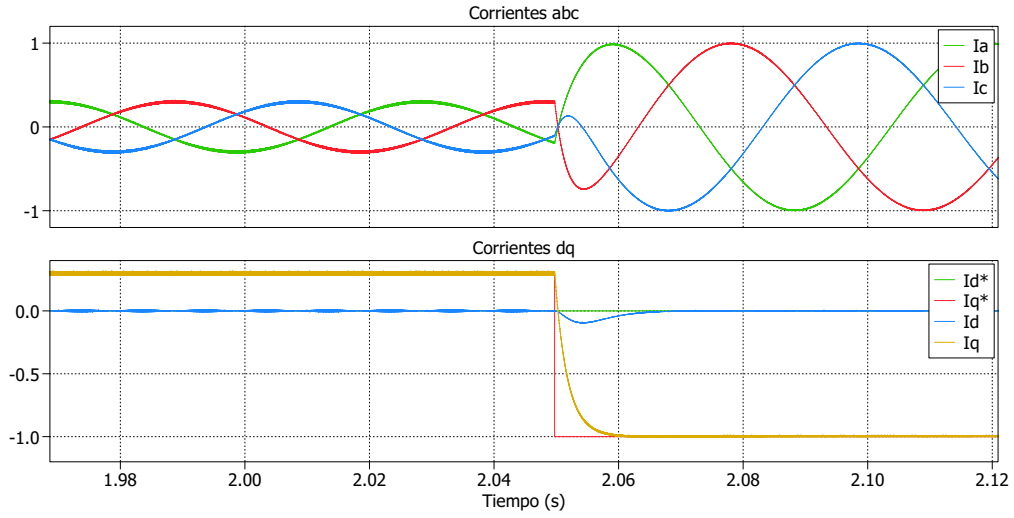


Figura 3: Desempeño controlador de corriente cambiando la referencia de I_q de 0.5A a -1A.

Control de velocidad

Las constantes k_p , k_i y k_d , se determinan a través de los siguientes pasos[1]:

1. Setear k_p , k_i y k_d en cero.
2. Incrementar k_p hasta que la respuesta a un escalón empieza a oscilar.
3. Incrementar k_d hasta que la oscilación se detenga.
4. Repetir los pasos 2 y 3 hasta que la oscilación no se detenga al modificar por medio k_d .
5. Setear los últimos valores estables de k_p y k_d .
6. Incrementar k_i hasta que el error en estado estacionario desaparezca lo suficientemente rápido para eliminar la oscilación.

De esta manera, las constantes del controlador se presentan en la ecuación 5.

$$\boxed{k_p = 0.01, k_i = 0.001, k_d = 0.0001} \quad (5)$$

A continuación, se valida el desempeño del controlador, graficando la velocidad en función del tiempo en las figuras 4, 5 y 6.

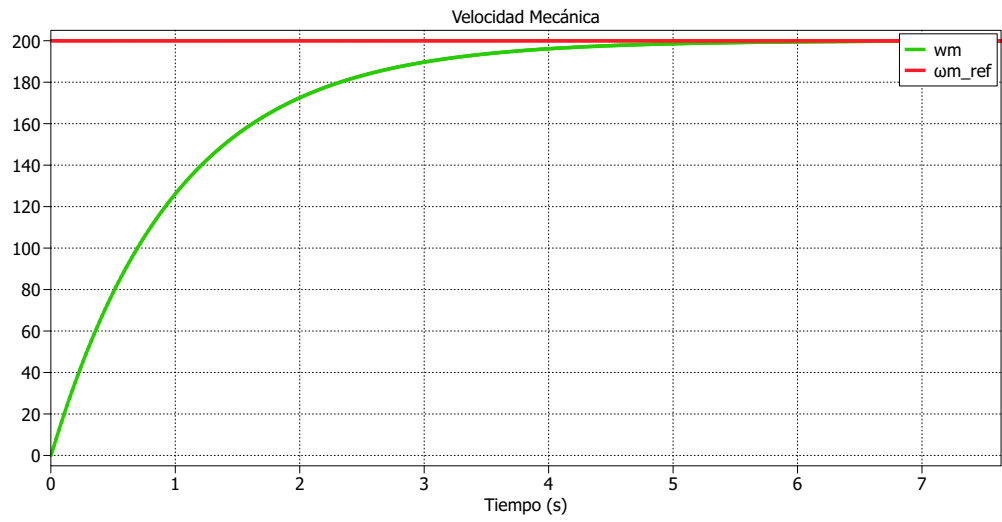


Figura 4: Desempeño controlador de velocidad imponiendo una referencia de $\omega_m = 300$ rad/s.

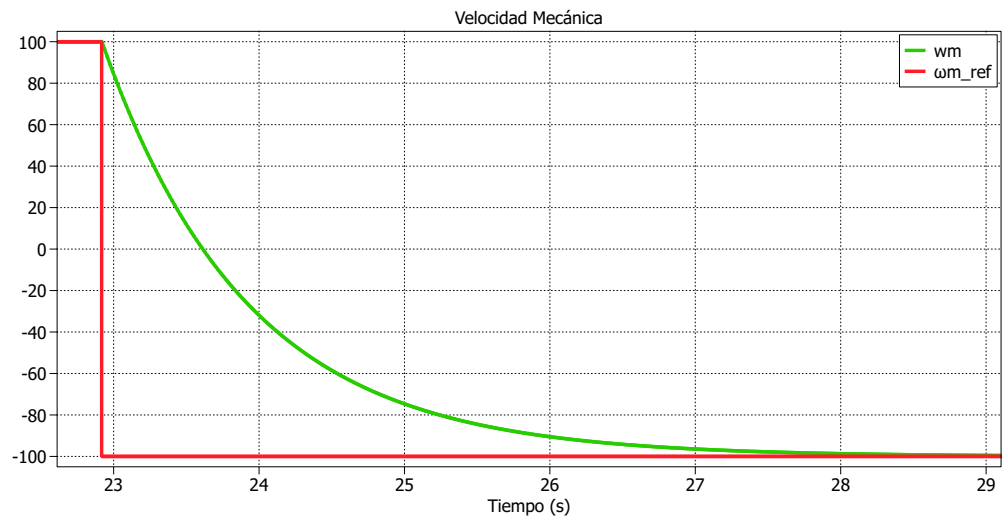


Figura 5: Desempeño controlador de velocidad cambiando la referencia de $\omega_m = 100$ rad/s a $\omega_m = -100$ rad/s.

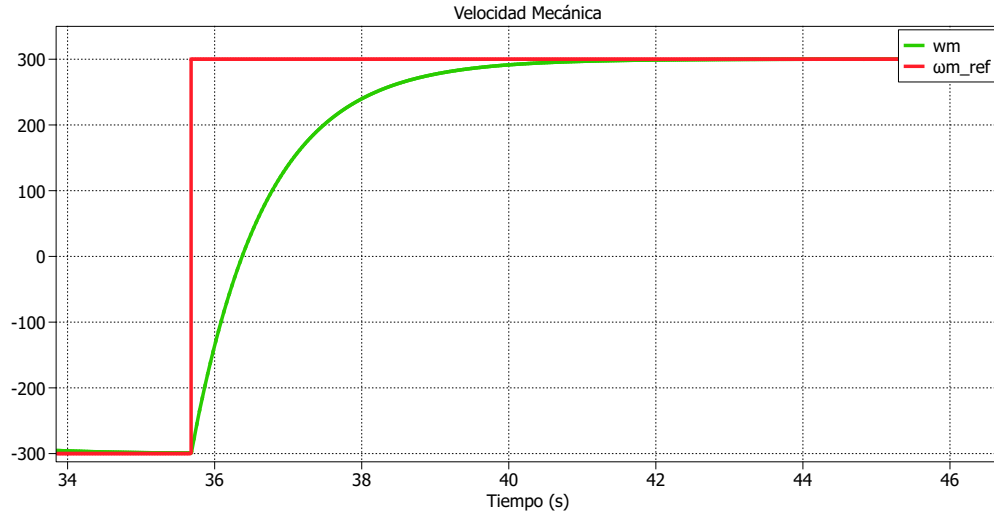


Figura 6: Desempeño controlador de velocidad cambiando la referencia de $\omega_m = -300 \text{ rad/s}$ a $\omega_m = 300 \text{ rad/s}$.

Cabe destacar que, a pesar de que las velocidades convergen adecuadamente a las referencias, las corrientes alcanzan valores muy altos cuando los cambios de referencia son muy grandes. Por ello, se propone configurar el *Anti-Windup* del bloque **PID Controller** con un límite inferior y superior de -2A y 2A respectivamente. De esta manera, no se excede la corriente máxima de las fuentes de poder.

Las figuras 7, 8 y 9 validan el desempeño del controlador, sin embargo, la inclusión del *Anti-Windup*, genera respuestas más lentas cuando los cambios de referencia son más bruscos. Esto se debe a que alcanzar las velocidades de referencia rápidamente exige corrientes de referencia altas, las cuales no son permitidas por el *anti-windup*.

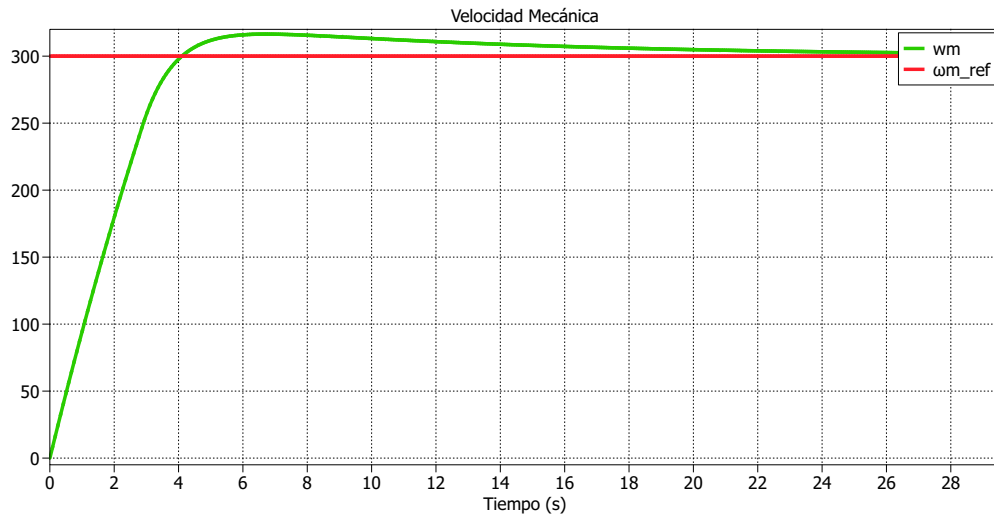


Figura 7: Desempeño controlador de velocidad imponiendo una referencia de $\omega_m = 300 \text{ rad/s}$ con *anti-windup*.

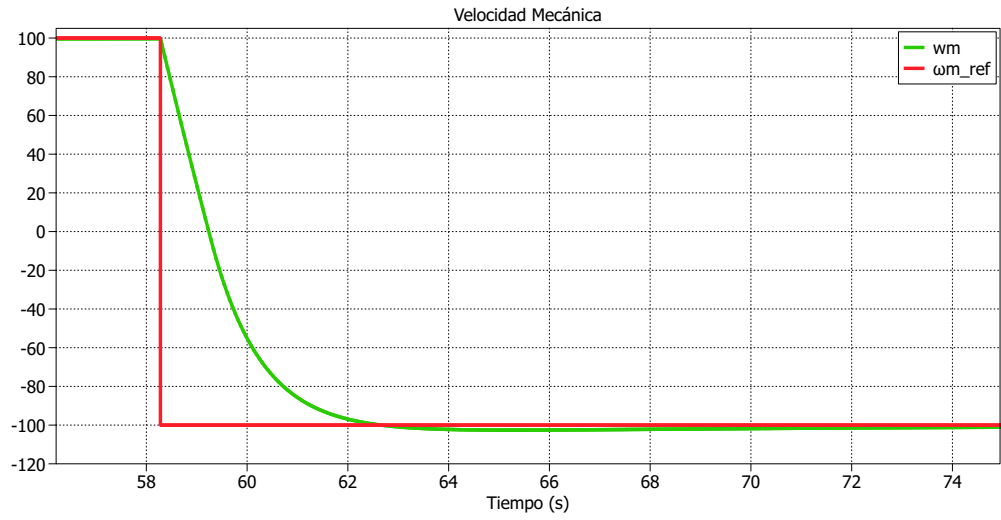


Figura 8: Desempeño controlador de velocidad cambiando la referencia de $\omega_m = 100$ rad/s a $\omega_m = -100$ rad/s con *anti-windup*.

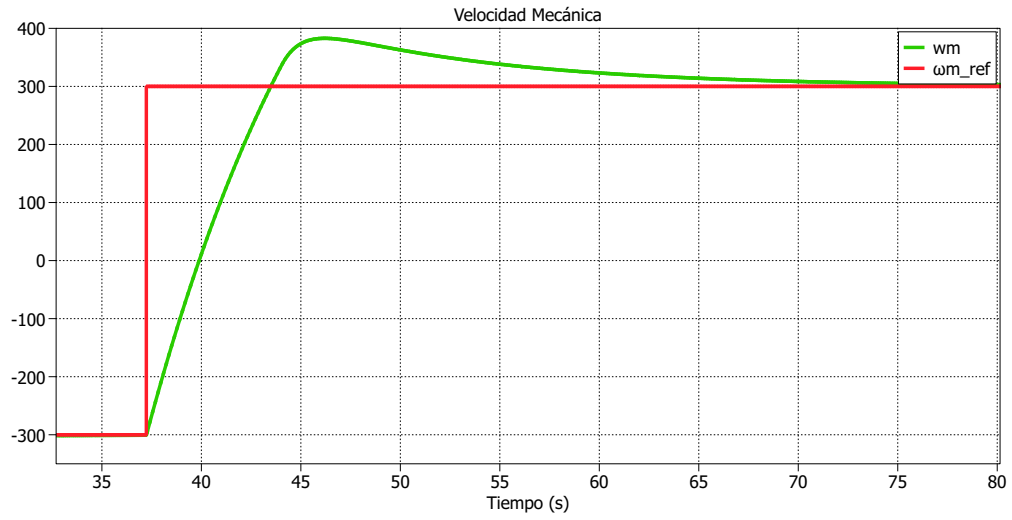


Figura 9: Desempeño controlador de velocidad cambiando la referencia de $\omega_m = -300$ rad/s a $\omega_m = 300$ rad/s con *anti-windup*.

Bibliografía

- [1] Michael Marne. “Model Based Control of PMSM using Field Oriented Control”. Master’s thesis. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2019.