

# TRABAJO PRACTICO DE ELECTRONICA DE POTENCIA

*Tema: Driver de motor de Inducción*

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 informe se analizará un motor de inducción controlado por un convertidor AC de tipo SPWM de lazo abierto. Se evaluará el comportamiento producido por variaciones de la velocidad de referencia y la carga.

### **Marco teórico**

El principio de funcionamiento de un motor de inducción se basa en aplicar una tensión al estator, que generará una corriente produciendo un campo magnético en el entrehierro e induciendo una corriente en el rotor. Ésta corriente junto con el flujo y el área encerrada por las bobinas del rotor, generan una fuerza magneto motriz y por ende, un torque.

Los motores de CA son más ligeros, económicos y conllevan menor mantenimiento que los de CC. Pero, para variar la velocidad en estos equipos se necesita una electrónica de potencia más cara y compleja.

Para el caso de este motor, el rotor se encuentra desfasado respecto al campo magnético giratorio. El mismo puede ser bobinado con anillos rozantes y escobillas o bien, bobinado en corto circuito conocido como jaula de ardilla. El rotor en jaula de ardilla consiste en una pila de laminados aislados. A través de él, se encuentran insertadas barras de conducción eléctrica en sentido axial, las cuales están en cortocircuito eléctrico en cada extremo del rotor por medio de anillos emulando una jaula.

Aplicando al estator un conjunto de voltajes sinusoidales trifásicos con frecuencia  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ , el resultado será un conjunto equilibrado de corrientes. Esto establece una distribución de densidad de flujo  $B_{ag}$  en el entrehierro que posee amplitud constante y gira a una velocidad constante  $\omega_s$  llamada velocidad síncrona.

La velocidad síncrona en un motor de  $p$  polos alimentada por una frecuencia  $f$  está dada por:

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{p}$$

$$\omega_s = \frac{2\omega}{p} \frac{rad}{S}$$

Esta velocidad se sincroniza con la frecuencia  $f$  de las tensiones y corrientes aplicadas a los bobinados del estator. En términos de rpm la velocidad síncrona es:

$$n_s = \frac{60 \omega_s}{2\pi}$$

Como consecuencia del flujo del entrehierro  $\phi_{ag}$  se induce una fuerza contra electromotriz llamada  $E_{ag}$  en cada fase del estator con la frecuencia  $f$ .

El par torsión en un motor de este tipo, es producido por la interacción del flujo del entrehierro y las corrientes del rotor. Si el rotor gira con la velocidad síncrona, no habrá ningún movimiento relativo entre  $\phi_{ag}$  y el rotor. Esto implica que no habrá voltajes de rotor inducidos, corrientes del rotor ni par de torsión. Con cualquier otra velocidad  $\omega_r$  del rotor en el mismo sentido de la rotación del flujo del entrehierro el motor se desliza respecto del flujo del entrehierro con una velocidad relativa llamada velocidad de deslizamiento  $\omega_{sl}$  donde:

$$\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r$$

Esta velocidad normalizada con respecto a la velocidad síncrona simplemente se llama deslizamiento  $s$ :

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

Por lo tanto la velocidad del flujo del entrehierro respecto del motor se calcula como:

$$\text{Velocidad de deslizamiento} = \omega_{sl} = \omega_s - \omega_r = s\omega_s$$

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La velocidad síncrona del motor varía mediante la alteración de la frecuencia  $f$  de los voltajes aplicados.
- Excepto con valores bajos de  $f$ , el porcentaje de la pérdida de potencia en la resistencia de motor es pequeño, siempre que  $fsl$  sea pequeña. Por tanto, en estado permanente, la frecuencia de deslizamiento  $fsl$  no debe exceder su valor nominal.
- En caso de  $fsl$  pequeñas, excepto con valores bajos de  $f$ , el deslizamiento  $s$  es pequeño y la velocidad del motor varía aproximadamente en forma lineal con la frecuencia  $f$  de los voltajes aplicados.
- Para que la capacidad del par torsión sea igual al par de torsión nominal con cualquier frecuencia,  $\phi_{ag}$  se debe mantener constante e igual a su valor nominal. Esto requiere que  $V_s$  varíe en forma proporcional a  $f$ .

## Descripción del circuito

El circuito es en lazo abierto. El motor de AC está alimentado por un convertidor de AC del tipo SPWM. La carga mecánica está caracterizada por un escalón de carga TL, con un valor inicial de 0Nm, y en 1s pasa a 10Nm.

## Actividad práctica

### Three-Phase Asynchronous Machine

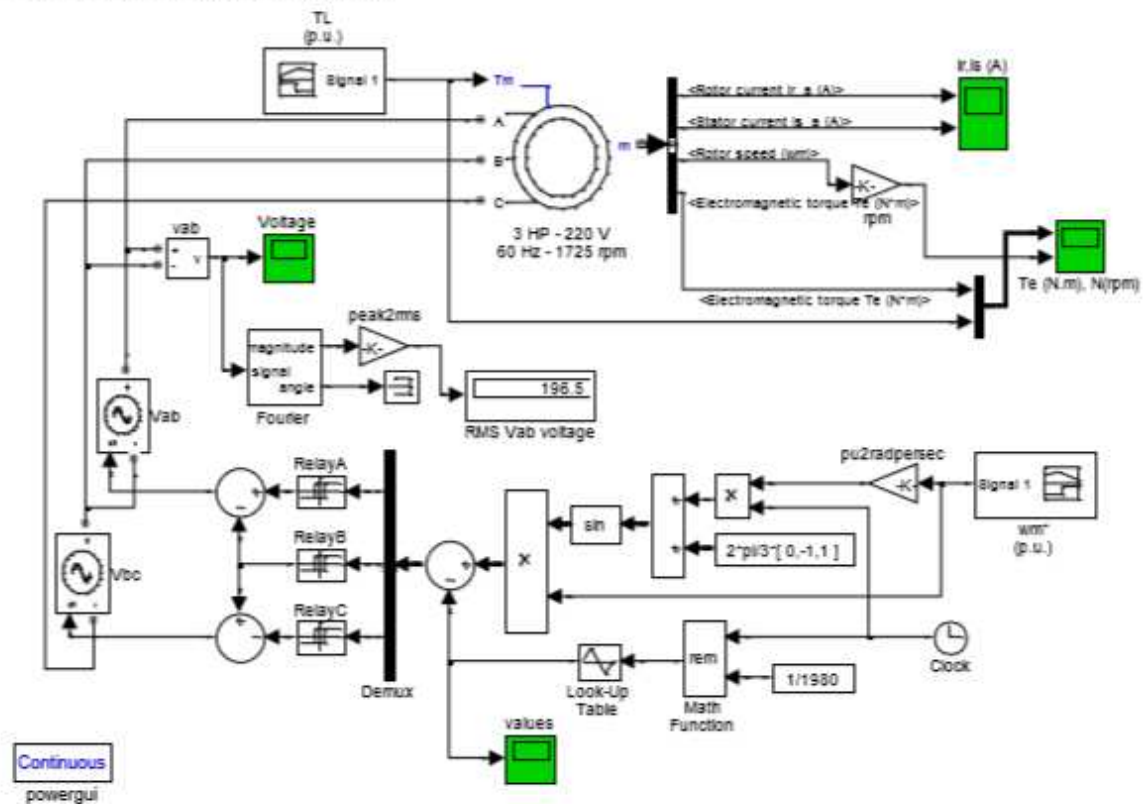


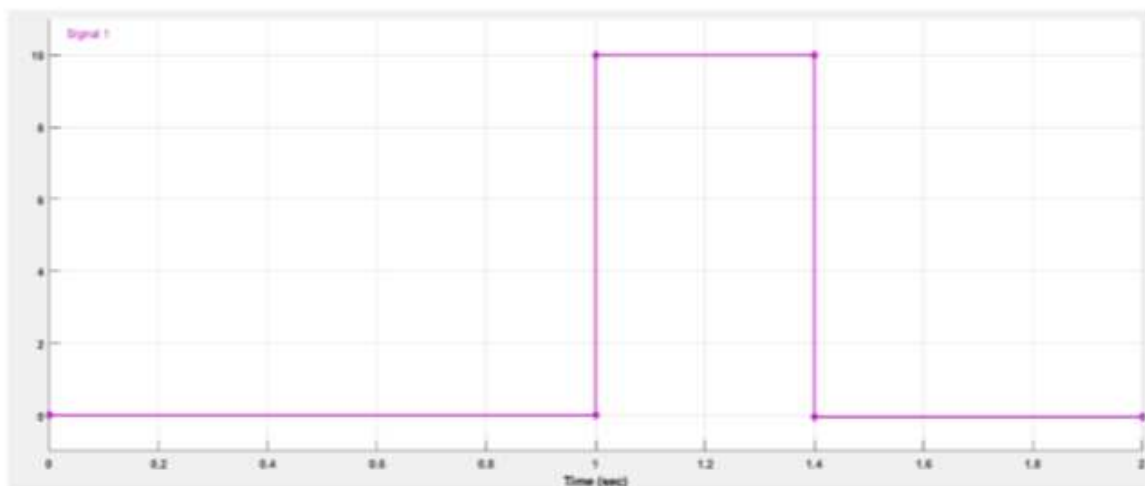
Figura 1: Circuito de Simulación

El circuito simulado consta de una parte de control con un inversor trifásico SPWM, que genera la CA para alimentar el motor, y su aplicación sobre el mismo.

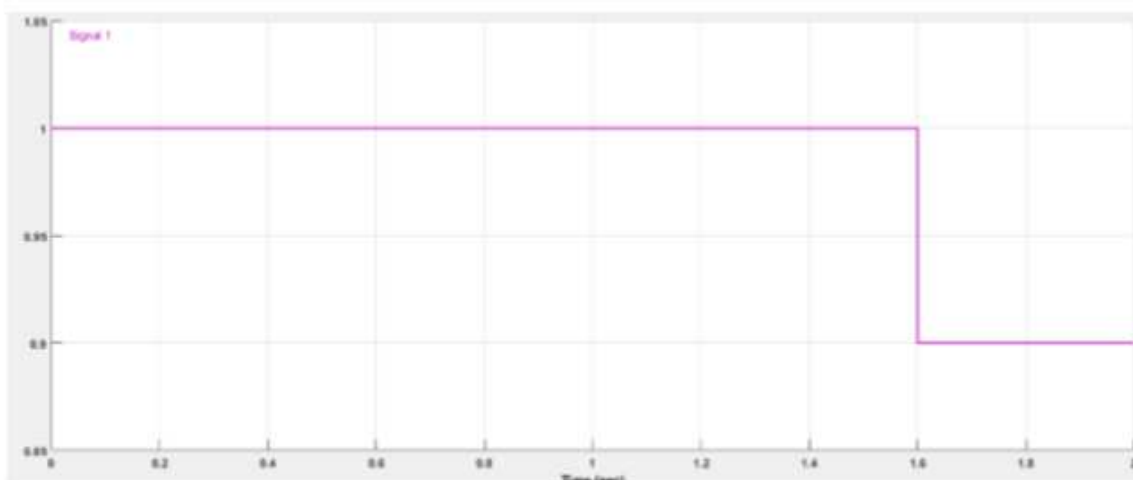
La frecuencia de la onda senoidal se fija en 60 Hz por medio de la ganancia de tensión y la frecuencia de la onda triangular portadora está establecida en 1980 Hz. Obteniendo así, un índice de modulación  $m_f = 1980\text{Hz} / 60\text{Hz} = 33$ .

A la salida el inversor regulará la conmutación para que el motor vea tres ondas senoidales desfasadas 120 grados.

En la entrada  $T_m$  del motor de CA, se tiene un escalón que provee par de carga como indica la figura 2.

Figura 2: Par de carga  $T_m$ 

La tensión  $\omega_m$  de la figura 3 corresponde a la referencia de velocidad que modifica las ondas senoidales que alimentan el motor, es decir, modifica la velocidad de giro del mismo.

Figura 3: Tensión  $\omega_m$ 

## ***Mediciones efectuadas***

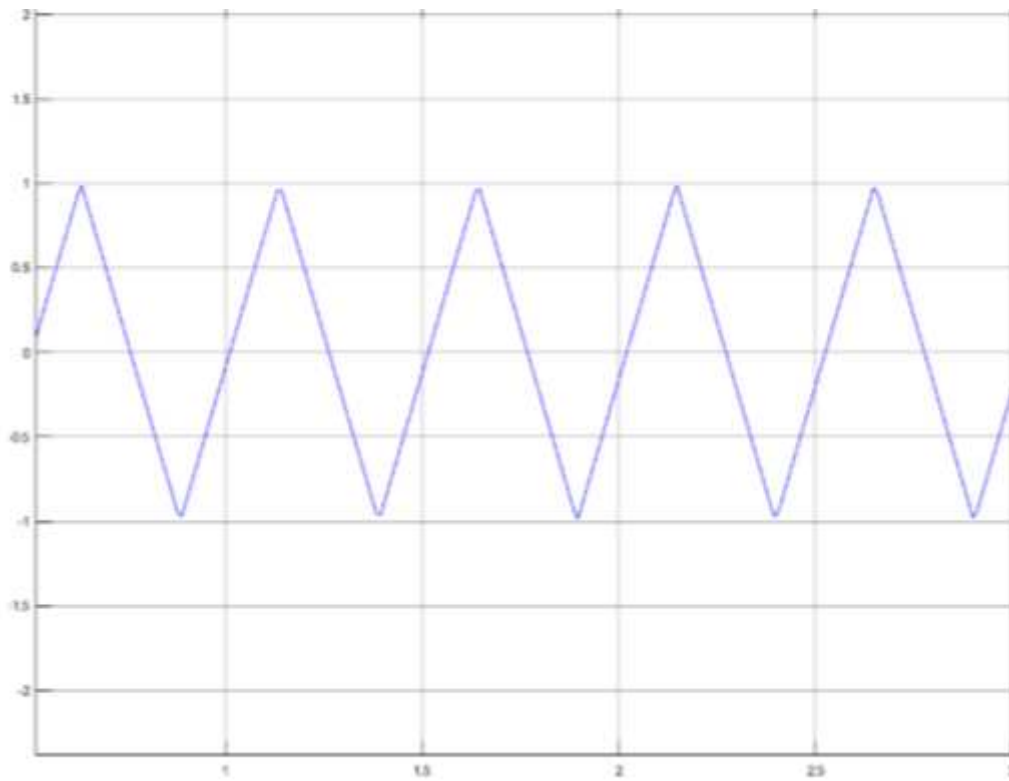


Figura 4: Señal triangular portadora del SPWM

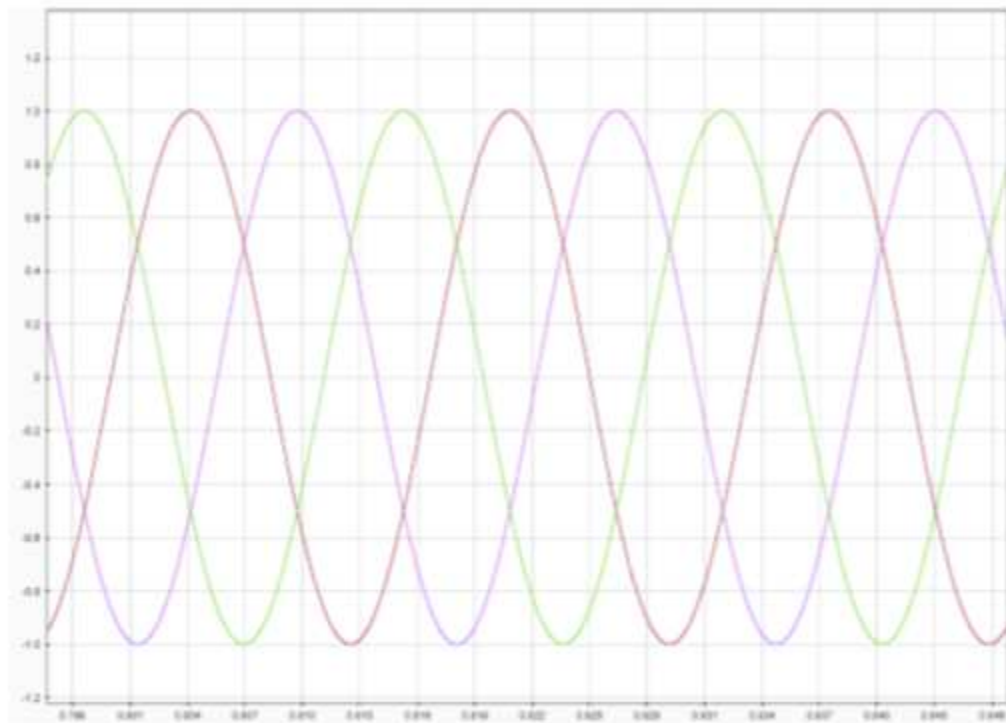


Figura 5: Señal de referencia del SPWM

En la figura 6 se observa la tensión de línea Vab que representa una de las salidas del inversor.

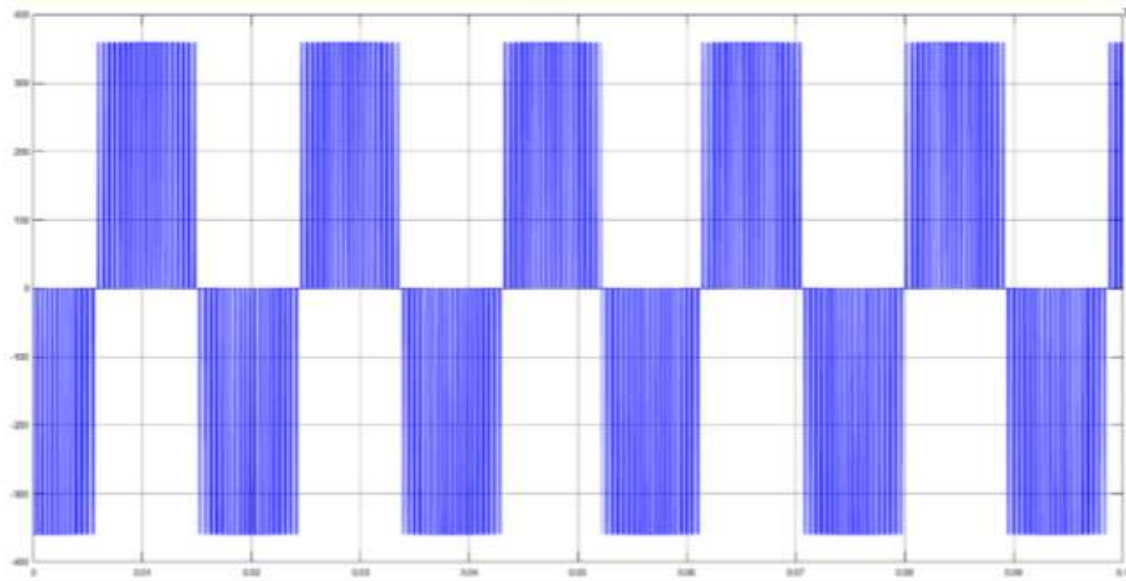


Figura 6: Tensión Vab

Analizando la salida del motor se obtuvieron las siguientes gráficas:

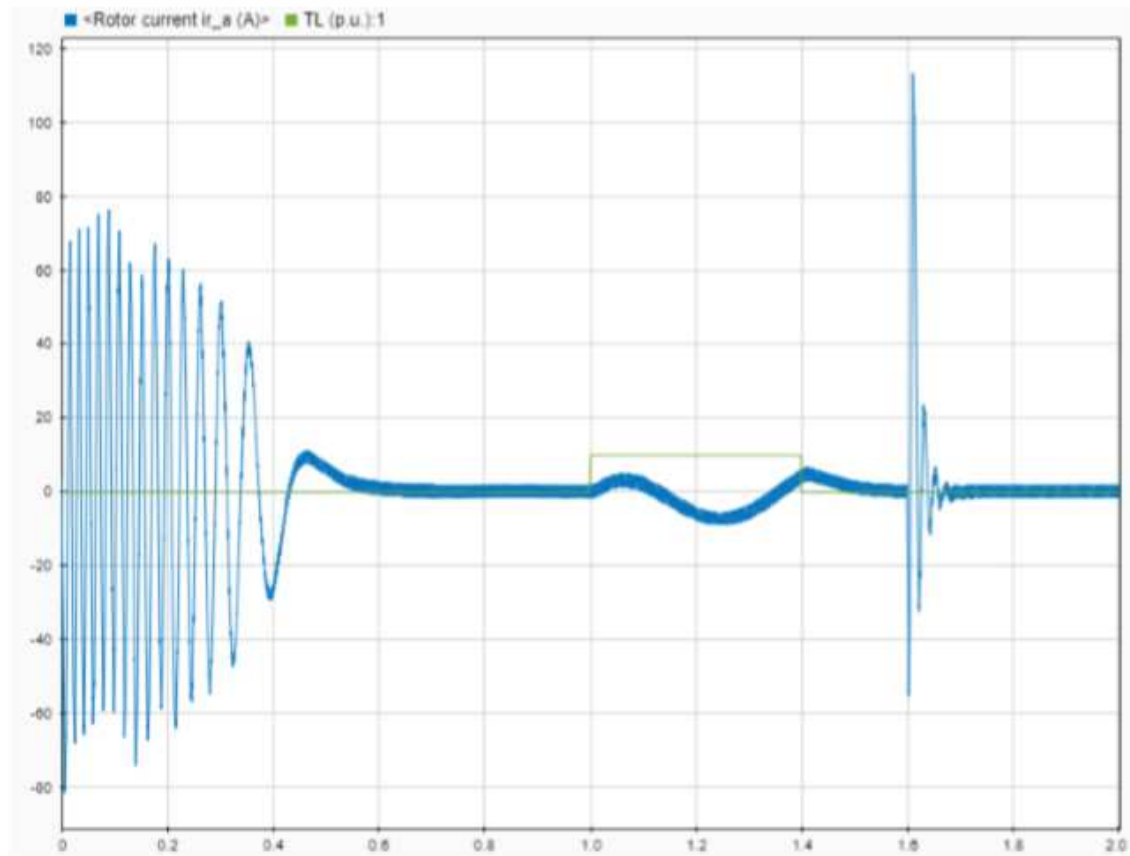


Figura 7: Corriente de rotor



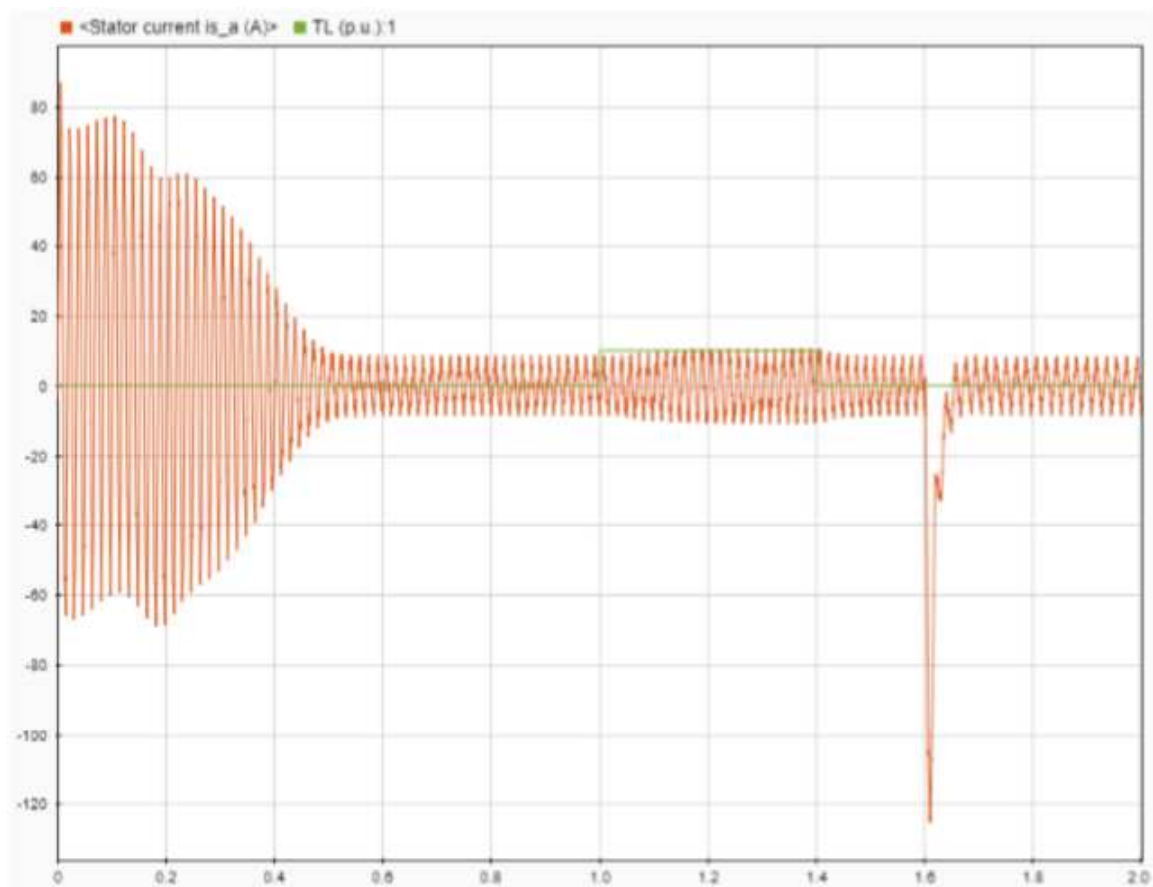


Figura 8: Corriente de Estator

El trazo en verde de la figuras 7 y 8 corresponde al par de carga  $T_m$ . Las notorias variaciones que ocurren en  $t = 1.6$  s se deben al escalón negativo de la tensión  $\omega_m$  (figura 3).

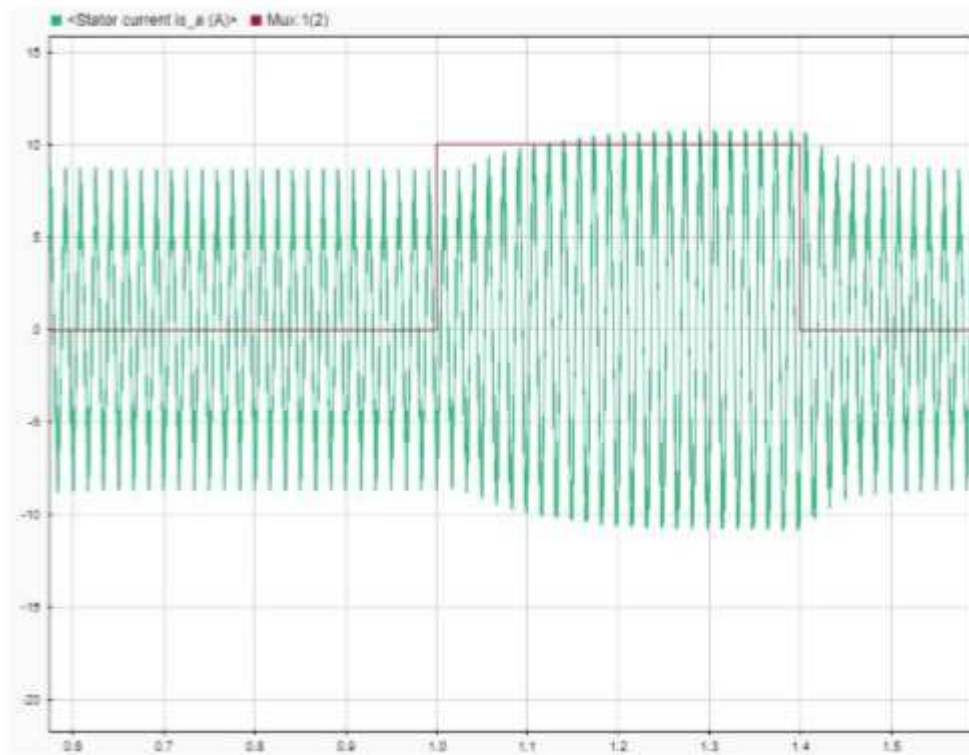


Figura 9: Zoom corriente de estator

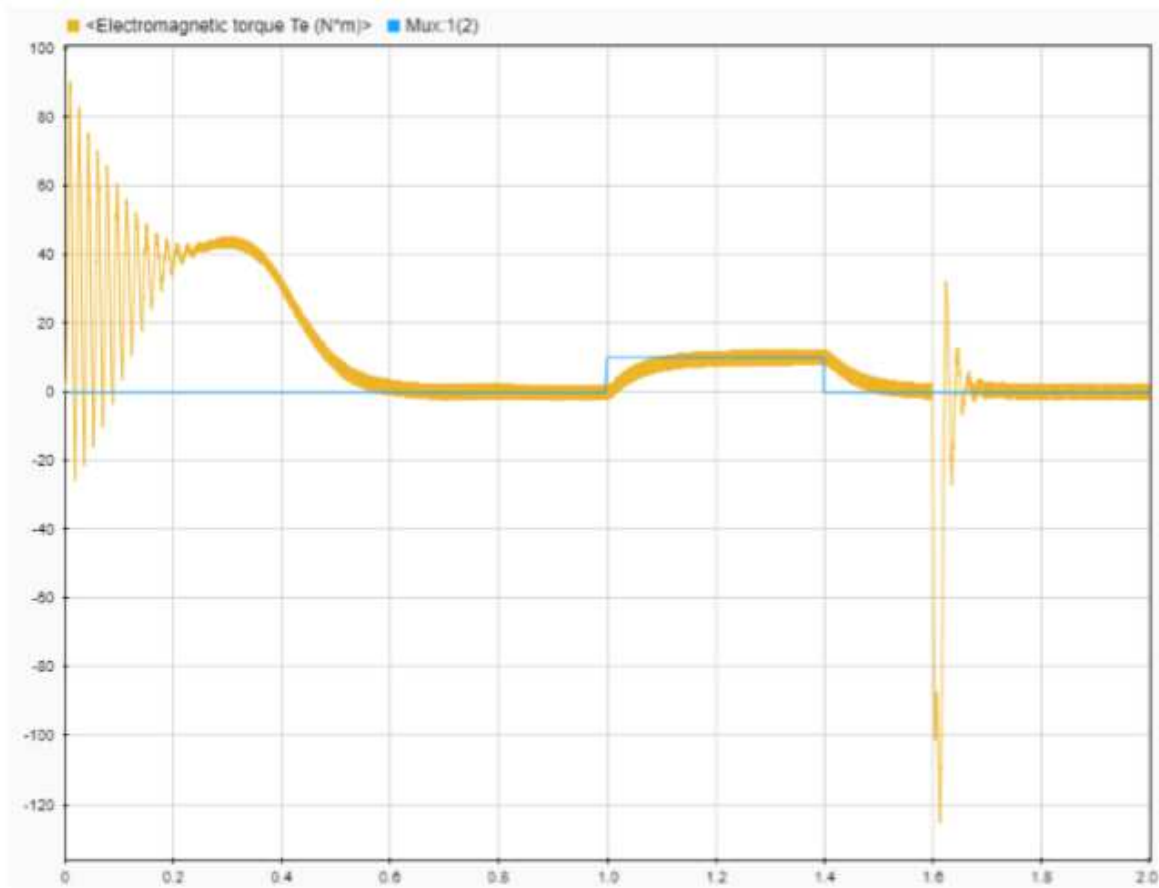


Figura 10: Torque del motor

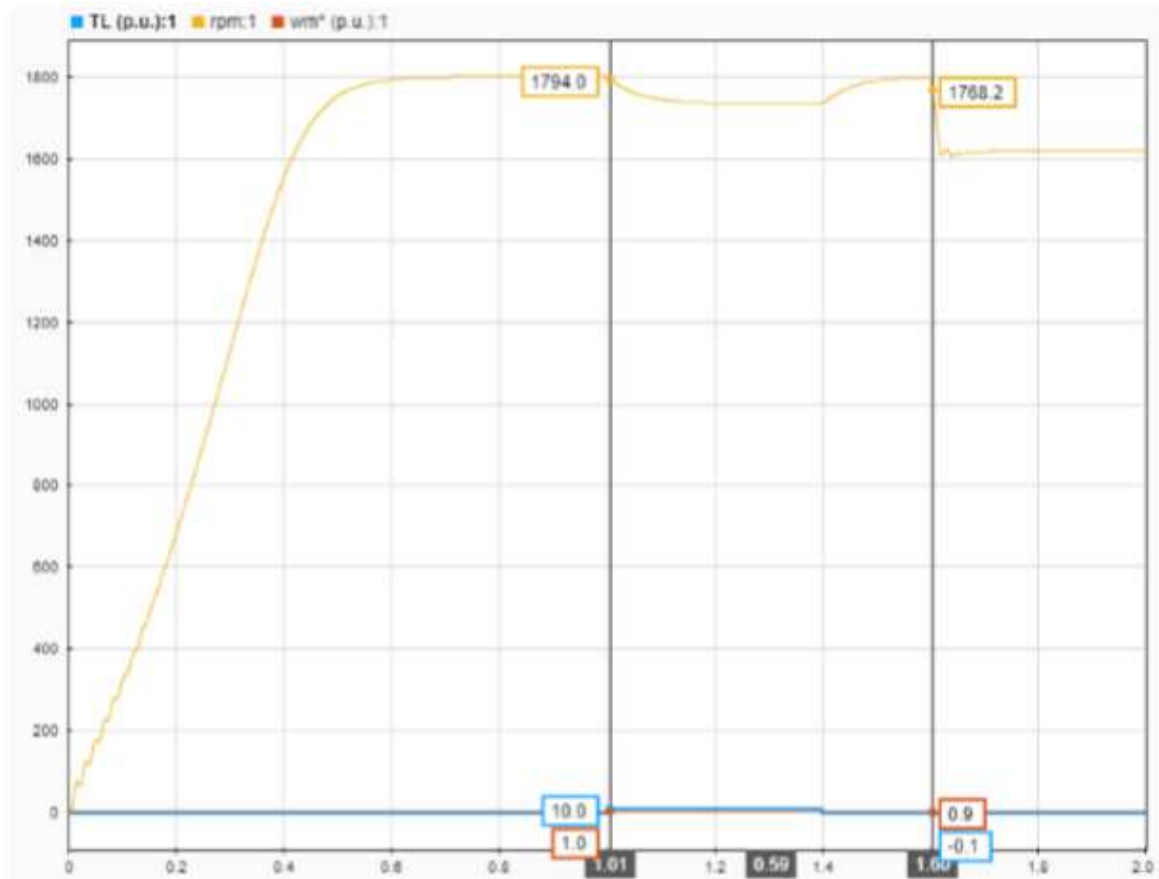


Figura 11: Velocidad del rotor

## Interpretación de resultados

Al iniciar la simulación se presentan oscilaciones en las figuras 7, 8 y 10 que se deben a que al momento de arranque, estos motores deben vencer la inercia del rotor que se encuentra parado. Luego de esto el motor permanece en régimen permanente. El par del motor es nulo dado que  $TL = 0$  Nm.

Al aplicarse una carga de  $TL = 10$  Nm luego de 1s, la velocidad desciende y el torque aumenta debido a que el sistema es de lazo abierto y la potencia es constante. Analizando la corriente de rotor al aplicarse esta carga disminuye. Por otro lado, la corriente de estator aumenta como se puede observar en la figura 9. Estos cambios se dan en el tiempo en que la carga aumenta, al volver a 0 en  $t = 1.4$ s el motor vuelve a sus condiciones iniciales.

De acuerdo a la figura 3, la velocidad nominal en  $t = 1.6$ s disminuye de 1 a 0.9. Esto genera un par motor negativo, frenando el motor hasta llegar al nuevo régimen. Esta velocidad también aumenta la corriente del rotor. Con respecto a la corriente de estator, disminuye.

Analizando  $V_{ab}$ , se obtiene gracias a la conmutación del inversor SPWM. Esta señal alimenta al motor de manera que su frecuencia variará la velocidad. Elevar la frecuencia aumentará la velocidad del motor.

Para poder apreciar mejor los cambios, se modificó la señal de la velocidad  $\omega_m$  de la siguiente manera:

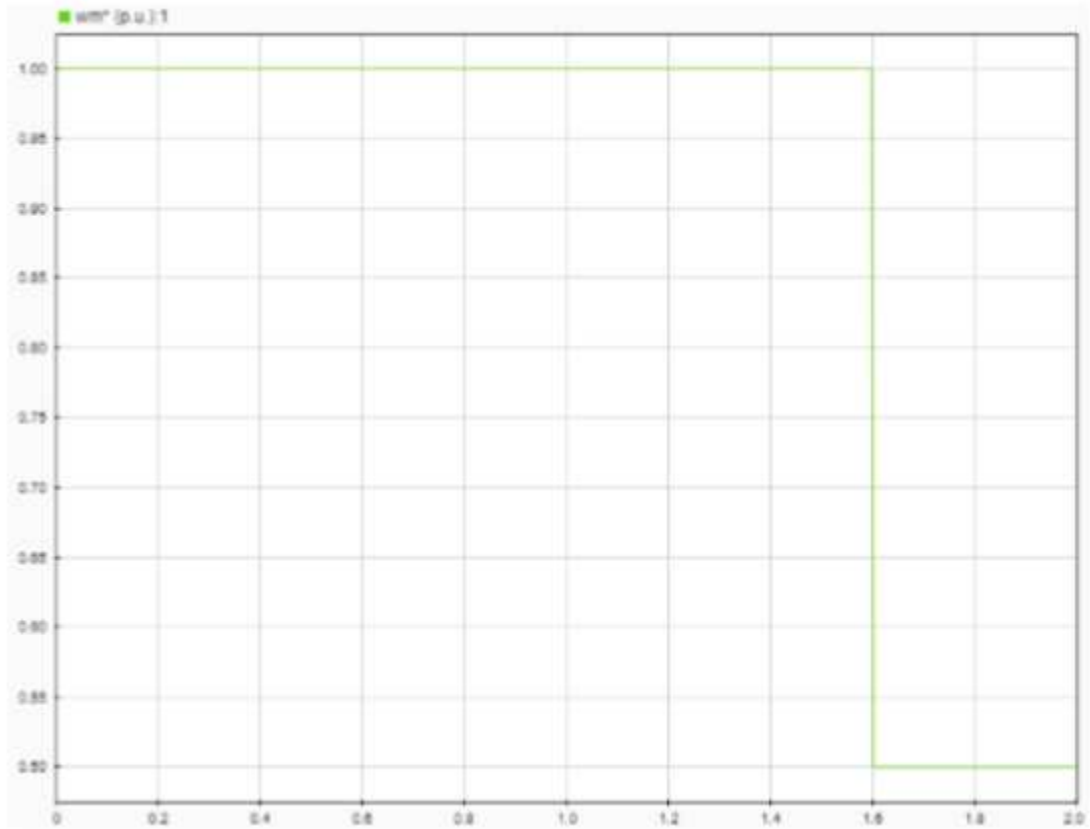


Figura 12: Tensión  $\omega_m$



Figura 13: Variación de Vab

Se puede observar que al disminuir la velocidad de referencia en  $t = 1.6s$ , la frecuencia disminuye. Cabe aclarar que como el sistema es de lazo abierto, los cambios en la carga no modifican Vab.

## Conclusión

Con respecto al modo de arranque, el par de arranque y el inversor provocan un arranque suave debido a una velocidad de referencia inicial. Las corrientes elevadas en el rotor y estator del motor se deben a la inductancia propia de los bobinados. Luego de que se vence la inercia inicial del motor, la aceleración permanece casi constante hasta alcanzar la velocidad de régimen.

Analizando la ecuación  $T_e = T_L + J \frac{d\omega_n}{dt}$ , el par motor es igual al par carga más la variación de inercia total del motor por la aceleración angular que debe adquirir el mismo. En la figura 10 vemos como esta ecuación se cumple ya que el par desarrollado se incrementa cuando lo hace el par de carga. En estado permanente  $T_e = T_L$  ya que la aceleración se hace nula.

Cuando la velocidad del motor aumenta, su torque aumentará produciendo una aceleración que lleve al motor la nueva velocidad. Si la velocidad disminuye, se produce un par negativo de torque, es decir, un par que desacelera al motor para bajar la velocidad del mismo.