

Implementación de una Herramienta Computacional que Simule la Máquina de Inducción Trifásica en el Lenguaje de Programación Python

Juan López, Fausto Valencia, Fabián Pérez
Escuela Politécnica Nacional

Abstract— En este documento se realiza el desarrollo e implementación de una herramienta computacional en el software de programación Python, que permite simular el comportamiento en régimen dinámico y estable de una máquina de inducción. El documento comienza con la descripción del modelo matemático de la máquina de inducción para la simulación, a continuación, describe la filosofía con la cual se desarrolla el algoritmo de programación en Python. Una vez establecido el modelo y el programa, se lo valida mediante una comparación con casos disponibles en la bibliografía, simulados con el software Simulink. Se realizan varias simulaciones de diferentes máquinas de inducción, comparando las corrientes del rotor, estator, torque eléctrico y la velocidad del rotor. Una vez validada la herramienta computacional, se procede a realizar ejercicios de arranque de máquinas de inducción y cortocircuitos trifásicos en bornes. Para finalizar el documento se presentan conclusiones y recomendaciones para el uso y trabajos futuros.

Index Terms— Computer simulation, Induction motors, Python

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica en la industria ha aumentado, desplazando los motores de combustión por máquinas eléctricas. Debido a su bajo costo y mantenimiento, la máquina de inducción se ha convertido en uno de los elementos más importantes en los procesos industriales, por esta razón se espera que, al finalizar esta década, el 70% de los motores en la industria sean motores de inducción [1]. Hoy en día, con la elevada incursión de las energías renovables en la generación de electricidad, no se puede confinar a las máquinas de inducción exclusivamente como motores en la industria, sino que se las debe también considerar como generadores asincrónicos.

A la par de este crecimiento de las máquinas de inducción en la industria y en la generación eléctrica, también se ha producido un avance en el área control industrial y electrónica de potencia, haciendo que cada vez sea más importante la implementación de sistemas de control para este tipo de máquinas [2]. Si bien es cierto que gran parte de las máquinas de inducción se conectan de forma directa a la red, existe un grupo de éstas que lo hace a través de métodos de control, para un sin número de aplicaciones que pueden ir desde bombas de

agua, ventiladores, hasta robótica y vehículos eléctricos [3].

La solución presentada en este artículo se pretende resolver fundamentalmente dos problemas existentes, el primero es brindar una herramienta computacional, implementada en un lenguaje de programación gratuito, que permita simular la máquina de inducción la cual podrá ser utilizada en las diferentes áreas de la ingeniería. El segundo es superar el limitante de la programación por bloques, debido a que esta herramienta está implementada en un lenguaje jerárquico, el cual podrá ser tomado como base para el desarrollo de nuevos modelos como transformadores, generadores sincrónicos entre otros.

II. MODELO MATEMÁTICO DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

Para el modelamiento de la máquina de inducción se considera una máquina trifásica de 3 pares de polos, con devanados de estator y rotor idénticos desfasados 120° , con resistencia R_s y R_r respectivamente, como se muestra en la Fig. 1.

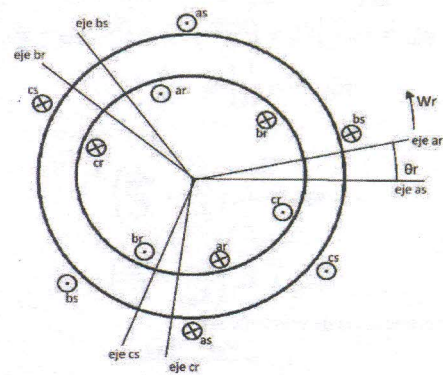


Fig. 1 Representación gráfica de la máquina de inducción [4]

Es importante para el uso del modelo tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. Los bobinados tanto del estator como del rotor sean iguales.

2. El circuito electromagnético sea lineal.
3. El material del entrehierro sea uniforme y no presente saturación.

Para el circuito eléctrico se considera que tanto el devanado del rotor como el del estator se encuentran conectados en Y como se muestra en la Fig. 2. En las siguientes ecuaciones se debe considerar que se utiliza el sufijo “s” para denotar las variables referentes al estator, mientras que el sufijo “r” para representar las variables relacionadas con el rotor.

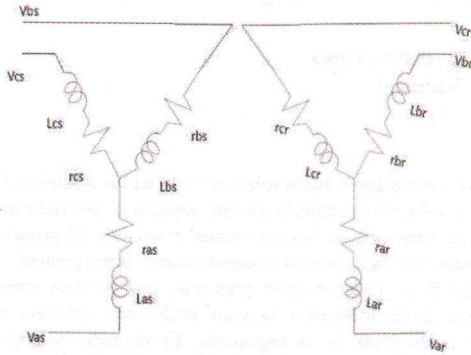


Fig. 2. Diagrama eléctrico del rotor y estator [4]

Tomando las ecuaciones de la máquina de inducción en el sistema de referencias qd0 del capítulo 4 sección 14 de Krause [4].

Para las ecuaciones de flujo tenemos:

$$\begin{aligned} \varphi_{qs} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V_{qs} - \frac{\omega}{\omega_b} \varphi_{ds} + \frac{r_s}{X_{ls}} (\varphi_{mq} - \varphi_{qs}) \right] \\ \varphi_{ds} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V_{ds} + \frac{\omega}{\omega_b} \varphi_{qs} + \frac{r_s}{X_{ls}} (\varphi_{md} - \varphi_{ds}) \right] \\ \varphi_{os} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V_{os} - \frac{r_s}{X_{ls}} (\varphi_{os}) \right] \\ \varphi'_{qr} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V'_{qr} - \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \varphi'_{dr} + \frac{r'_r}{X'_{lr}} (\varphi_{mq} - \varphi'_{qr}) \right] \\ \varphi'_{dr} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V'_{dr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \varphi'_{qr} + \frac{r'_r}{X'_{lr}} (\varphi_{md} - \varphi'_{dr}) \right] \\ \varphi'_{q0} &= \omega_b \frac{1}{dt} \left[V'_{0r} - \frac{r'_r}{X'_{ls}} (\varphi'_{0r}) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\varphi_{mq} = X_m \left(\frac{\varphi_{qs}}{X_{ls}} + \frac{\varphi'_{qr}}{X'_{lr}} \right) \quad (2)$$

$$\varphi_{md} = X_m \left(\frac{\varphi_{ds}}{X_{ls}} + \frac{\varphi'_{dr}}{X'_{lr}} \right)$$

Las ecuaciones de corriente son:

$$\begin{aligned} i_{qs} &= \frac{\varphi_{qs} - \varphi_{mq}}{X_{ls}} \\ i_{ds} &= \frac{\varphi_{ds} - \varphi_{md}}{X_{ls}} \\ i'_{qr} &= \frac{\varphi'_{qr} - \varphi_{mq}}{X'_{lr}} \\ i'_{dr} &= \frac{\varphi'_{dr} - \varphi_{md}}{X'_{lr}} \end{aligned} \quad (3)$$

Para las ecuaciones del torque.

$$T_{em} = \left(\frac{3P}{4\omega_b} \right) (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \quad (4)$$

Como se puede observar de las ecuaciones anteriores existe una correlación entre las variables de flujo lo cual hace que la solución de estas mediante programación lineal jerárquica se torne complicada, siendo esta uno de los desafíos más importantes a resolver dentro de este trabajo. Para esto se utilizó varias estrategias de programación descritas en la sección III de este documento.

III. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA SIMULAR EL MODELO MATEMÁTICO DESCRITO

Para el desarrollo del simulador se ha estructurado el código en tres etapas independientes. Una primera etapa, que permite realizar la adquisición de datos, a la cual se denomina “ingreso de datos”, la segunda etapa, en la cual se resuelve el modelo matemático de la máquina de inducción a la cual se conocerá como “modelo” y, la tercera y última etapa, en la cual se presentarán los resultados ya sea de forma gráfica o en matrices, a esta etapa final se llamará “resultados”. En la Fig. 3 se puede apreciar gráficamente la estructura del simulador mediante un diagrama de bloques. El código es independiente de las demás etapas, de esta manera los cambios realizados en cada una de ellas no serán de mayor influencia en las otras.

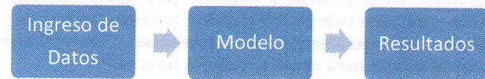


Fig. 3. Filosofía del programa

A. Etapa De Ingreso De Datos

En esta etapa se realiza el ingreso de los valores que caracterizan a la máquina de inducción y a la frecuencia de la red.

Para los valores de resistencia reactancia inductiva del rotor se deben considerar:

- Valores referidos al rotor
- Valores reales en ohmios

B. Etapa Modelo

En esta etapa del programa se definen las ecuaciones de voltaje que permiten realizar la simulación de la máquina de inducción. Para la resolución de estas ecuaciones se usa la función odeint, existente en las librerías de Python, como se observa en la Fig. 4.

i) Definición Del Modelo

En esta función se realiza la definición de las Ecuaciones diferenciales que se resuelven para simular el comportamiento de la máquina de inducción.

Las Ecuaciones de voltaje para ser utilizadas en el modelo de la máquina de inducción deberán ser previamente llevadas a

un sistema de referencia arbitrario $qd0$. Para esto se ha decidido realizar una simulación estacionaria de la máquina en la cual $w=0$ y el ángulo $\theta = 0$.

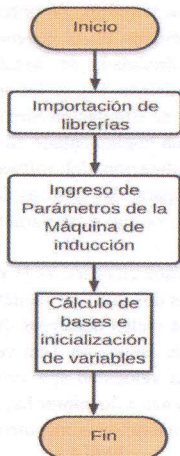


Fig. 4. Diagrama de flujo de la etapa de ingreso de datos

El modelo se debe definir en una función propia, la cual será luego un parámetro de entrada para la función odeint. Las entradas para esta función son el tiempo en el cual se realiza la simulación y un vector con las variables que se desean encontrar, en este caso son los flujos magnéticos de la máquina.

ii) Resolución Del Modelo

Esta función realiza tres procesos importantes dentro del programa: el llamado de la función odeint, el acondicionamiento de resultados y la actualización del vector de condiciones iniciales como se observa en la Fig. 5

La función odeint requiere del tiempo de simulación y del valor de la primera derivada evaluada al inicio del tiempo de simulación (condiciones iniciales), para cada una de las ecuaciones diferenciales.

El paso de integración para el método numérico se ingresa de forma indirecta en el vector de tiempo. Esto se consigue calculando el número de elementos del vector.

Una vez que se ha definido el sistema de ecuaciones, el tiempo y el vector de condiciones iniciales, se debe llamar a la función odeint.

De las ecuaciones de la sección II y como se evidenció en este capítulo, estas deben ser desacopladas intentando obtener ecuaciones independientes. Esto se logra mediante el vector de condiciones iniciales que nos indica el estado anterior de la variable. Realizando estos ajustes a las ecuaciones se obtiene un modelo matemático de la máquina de inducción apto para la simulación en Python.

iii) Cálculo De Variables

En esta etapa se realiza el cálculo de todas las variables de la máquina de inducción. Esto incluye los resultados de las corrientes en el sistema de referencia $qd0$ y su transformación al sistema de referencia abc, el torque electromagnético y la velocidad del rotor como se muestra en la Fig. 6.

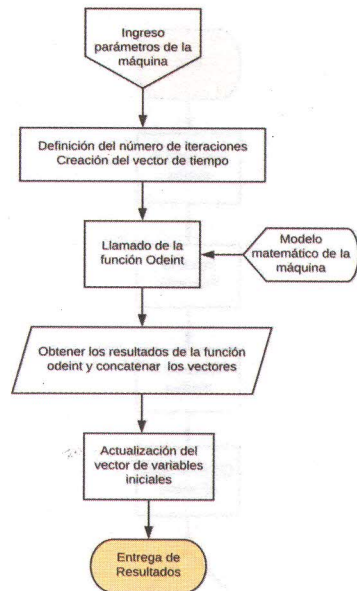


Fig. 5. Diagrama de flujo de la resolución del modelo

C. Etapa De Resultados

En esta etapa se presentan los resultados de la simulación, una vez obtenidos los resultados de los cálculos anteriores, mediante gráficos o en matrices.

D. Diagramas De Flujo General Del Programa

En la Fig. 7 se presenta el diagrama de flujo general del programa, con la finalidad de que el usuario del programa entienda su funcionamiento.

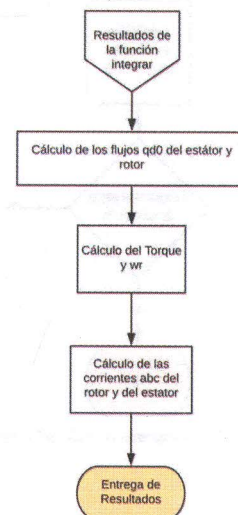


Fig. 6. Diagrama de flujo del cálculo de las variables

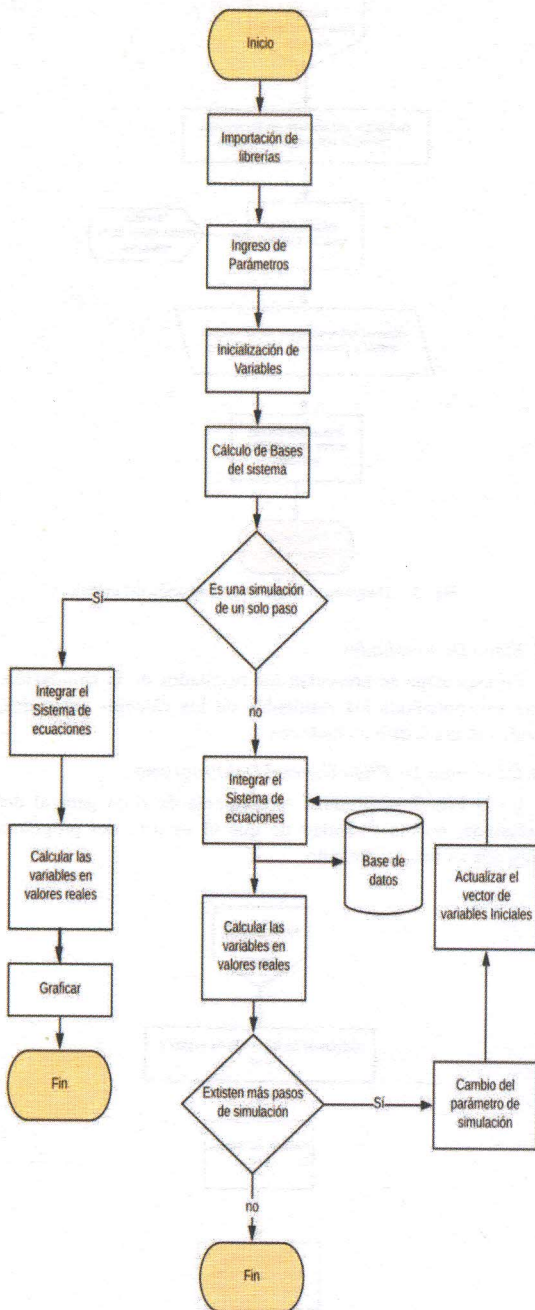


Fig. 7. Diagrama de flujo del programa

IV. VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL IMPLEMENTADA EN PYTHON

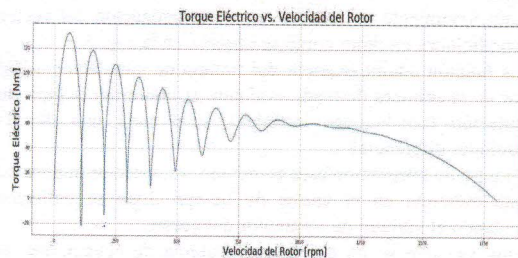
Se realiza la comparación de los resultados obtenidos en el software de simulación Simulink, proporcionado por Matlab, y el programa implementado en el lenguaje de programación Python. Con esta finalidad, se toman ejercicios de la bibliografía técnica existente [4], se los simula tomando como referencia el software de simulación Simulink y también se los simula con el programa implementado en Python.

Para realizar la validación del software de programación implementado se comparan las gráficas del torque eléctrico vs la velocidad del rotor, ya que estas variables son dependientes de la corriente.

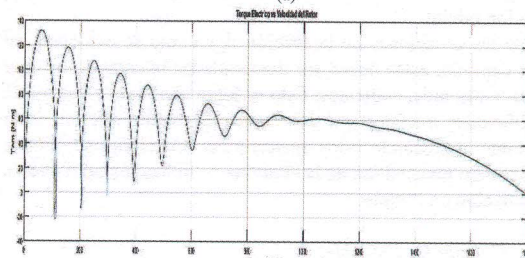
En la Fig. 8 del torque eléctrico vs la velocidad del rotor se puede apreciar que las dos gráficas oscilan de la misma forma. Se observa que en los ciclos negativos de las gráficas existen los mismos detalles de oscilación. Una vez que la máquina de inducción alcanza una velocidad aproximada de 1000 rpm, el torque eléctrico comienza a disminuir hasta llegar a un valor de cero a la velocidad nominal de la máquina.

TABLA I
PARÁMETROS DE LAS MAQUINAS DE INDUCCIÓN

Parámetro	Valor				Unidades
Voltaje	220	460	2300	2300	V
Potencia	3	50	500	2250	hp
Rr	0.44	0.09	0.26	0.03	Ω
Rs	0.82	0.23	0.19	0.02	Ω
Xls	0.75	0.3	1.21	0.23	Ω
Xlr	0.75	0.3	1.21	0.23	Ω
Xm	26.1	13.1	54	13	Ω
vJ	0.09	1.66	11.1	63.9	kgm ²



(a)



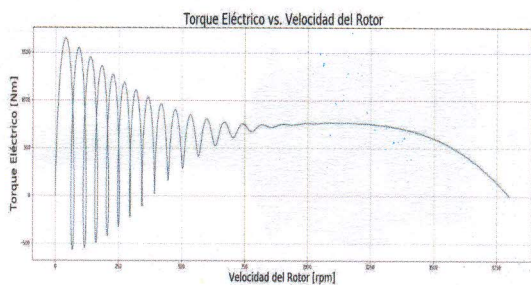
(b)

Fig. 8. Torque eléctrico vs velocidad del rotor de la máquina de 3 hp: (a) Simulación en Python, (b) Simulación en Simulink.

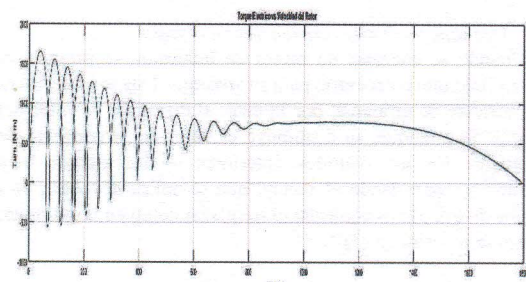
En la Fig. 9 del torque eléctrico vs la velocidad del rotor, se observa que las dos gráficas oscilan de la misma forma; si se observan los ciclos negativos de las gráficas se aprecia que existen los mismos detalles de oscilación. Una vez que la máquina de inducción alcanza una velocidad aproximada de 900 rpm, el torque eléctrico comienza a disminuir hasta llegar a un valor de cero a la velocidad nominal de la máquina.

En la Fig. 10 del torque eléctrico vs la velocidad del rotor, se puede apreciar que las dos gráficas oscilan de la misma forma. Una vez que la máquina de inducción alcanza una velocidad aproximada de 400 rpm, el torque eléctrico comienza a aumentar hasta llegar a un valor de 4000 Nm con una velocidad de 1800 rpm; una vez llegado a este valor el torque comienza a disminuir hasta llegar a cero, sin embargo, antes de llegar a cero el torque fluctúa circularmente sobre este valor a la velocidad nominal de la máquina.

En la Fig. 11 del torque eléctrico versus la velocidad del rotor se puede apreciar que las dos gráficas oscilan de la misma forma. Una vez que la máquina de inducción alcanza una velocidad aproximada de 400 rpm, el torque eléctrico comienza a aumentar hasta llegar a un valor de 2500 Nm con una velocidad de 1700 rpm aproximadamente; una vez llegado a este valor el torque comienza a disminuir hasta llegar a cero, sin embargo, antes de llegar a cero el torque fluctúa circularmente a la velocidad nominal de la máquina.

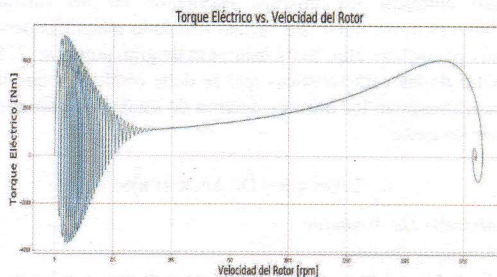


(a)

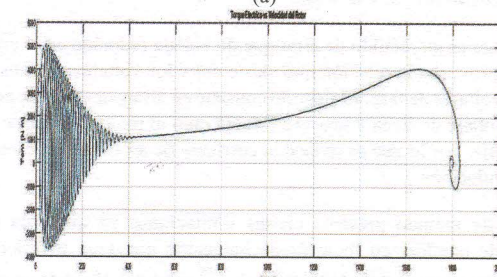


(b)

Fig. 9. Torque eléctrico vs velocidad del rotor de la máquina de 50 hp: (a) Simulación en Python, (b) Simulación en Simulink.

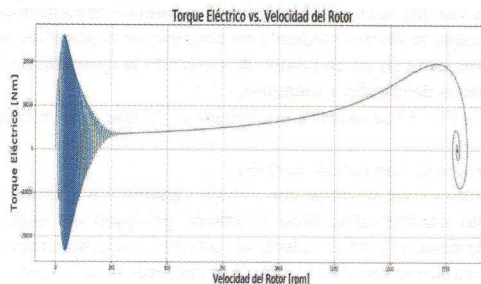


(a)

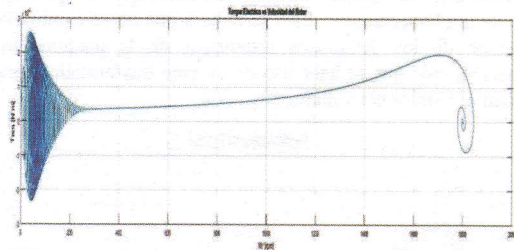


(b)

Fig. 10. Torque eléctrico vs velocidad del rotor de la máquina de 500 hp, (a) Simulación en Python, (b) Simulación en Simulink.



(a)



(b)

Fig. 11. Torque eléctrico vs velocidad del rotor de la máquina de 2250 hp. (a) Simulación en Python, (b) Simulación en Simulink.

De las Fig. 9 a 11 para las 4 máquinas de inducción propuestas en [4], se puede concluir que el algoritmo implementado en el lenguaje de programación Python y el programa obtenido en el software de simulación Simulink de

Matlab entregan los mismos resultados en las mismas condiciones. Cabe notar que se han simulado máquinas desde de baja potencias - 3hp, hasta máquinas de gran potencia 2250 hp. Otra de las características que se debe resaltar es que las gráficas presentan los mismos detalles de oscilación para cada uno de los casos.

V. EJERCICIOS DE APLICACIÓN

A. Métodos De Arranque

1) Arranque directo

En la Fig. 12 se muestra la corriente en la fase a del estator.

2) Arranque estrella delta

Este es un método de arranque de voltaje reducido en el cual se aprovecha la relación que existe entre los voltajes de línea y los voltajes de fase. El método consiste en arrancar el motor con su voltaje de línea y una vez estabilizado el motor, se aplica el voltaje, por lo que se reduce la corriente de arranque del motor de inducción.

Este método presenta ciertas limitaciones ya que sólo se puede emplear en motores de inducción que sean trifásicos, porque se aprovecha la relación de $\sqrt{3}$ entre el voltaje de fase y el voltaje de línea. Además, el motor de inducción debe estar diseñado para trabajar en configuración delta. La mayor limitación que presenta este método es la necesidad de tener acceso a los 6 terminales de los bobinados del estator.

Una vez que se cumplen con todas las condiciones anteriores, el arranque se realiza mediante un conjunto de contactores que permiten cambiar en un tiempo determinado la conexión de los devanados de estrella a triángulo.

En la Fig. 13 se muestra la corriente en la fase a del estator.

3) Arranque con voltaje variable

El método de arranque con voltaje variable o por medio de un auto transformador, tiene el mismo principio del método estrella delta, el cual es reducir el voltaje al inicio del arranque y de esta forma reducir el valor de la corriente de arranque.

Una de las ventajas de este método con respecto al método anterior es que no existen limitaciones o condiciones necesarias para su implementación. Esto se debe a que no se cambia la conexión de los devanados estáticos de la máquina de inducción, sino que se hace uso de un auto transformador para realizar el control del voltaje.

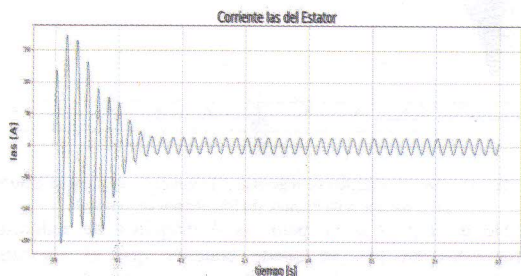


Fig. 12. Corriente de la fase a del estator para el arranque directo.

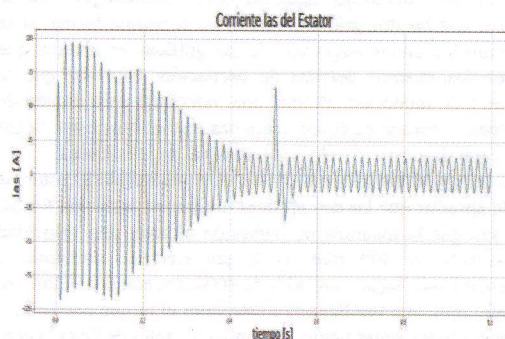


Fig. 13. Corriente de la fase a del estator para el arranque estrella-delta.

La metodología implementada para este arranque es la siguiente: se aplica el 30% del voltaje nominal al inicio del arranque, una vez estabilizado el motor de inducción se realiza un incremento de 10% en el valor del voltaje, se espera que la máquina se estabilice nuevamente y se repite el proceso hasta llegar a un valor nominal de voltaje.

Para este arranque se ingresó el siguiente vector de pasos: [0.3, 0.5, 0.03, 0.03, 0.05, 0.05, 0.01, 1]. En la Fig. 14 se muestra la corriente en la fase a del estator.

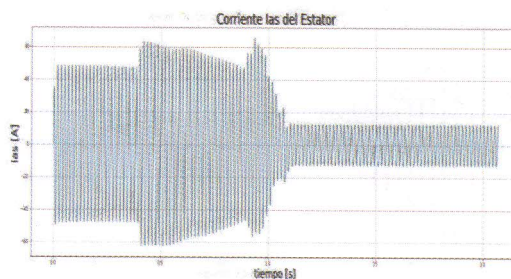


Fig. 14. Corriente I de la fase a del estator para el arranque con voltaje variable.

4) Arranque mediante resistencias en el rotor

Cuando se energiza un motor de inducción se produce el torque máximo o necesario para su arranque. Este torque genera la corriente de arranque, por lo cual, al disminuir el valor del torque de arranque, se disminuye el valor de la corriente de arranque. En los métodos anteriores se ha logrado esta reducción controlando el voltaje que se aplica al motor, otra forma de hacerlo es controlar el desplazamiento en la máquina, como se muestra en (5).

$$R_r = \frac{\sqrt{r_{th}^2 + (x_{th} + (x_{th} + X_{ls})^2)}}{s_{max}} \quad (5)$$

Para obtener el desplazamiento máximo de (5), es necesario utilizar (6), que permite determinar la inductancia y la resistencia de Thévenin.

$$Z_{th} = \frac{jX_m(R_s + jX_{ls})}{R_s + j(X_{ls} + X_m)} \quad (6)$$

De (5), se puede determinar el valor de la resistencia del rotor al cual se produce el deslizamiento máximo. La metodología aplicada consiste en conectar un grupo de resistencias en serie a los bobinados del rotor, se arranca el motor con un valor de resistencia que produzca un desplazamiento máximo de 0.8 y una vez estabilizada la máquina se cierra un contactor cortocircuitando una parte del grupo de resistencias, de tal forma que ahora el desplazamiento máximo tenga un valor de 0.4. Al igual que en el paso anterior, una vez estabilizada la máquina se cortocircuita todo el grupo de resistencias y se opera con el motor en condiciones normales.

En la Fig. 15 se presenta la corriente la fase *a* del estator.

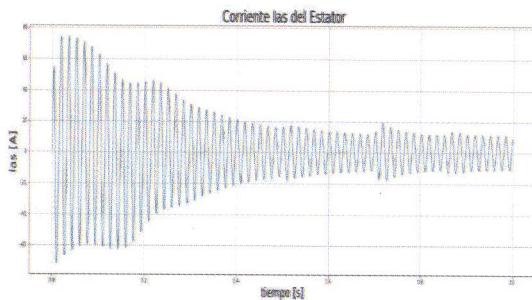


Fig. 15. Corriente de la fase *a* del estator

B. Cortocircuito trifásico en terminales

El comportamiento dinámico de un motor de inducción ante un cortocircuito trifásico en los terminales de la máquina se presentará en esta sección. Para esta simulación se emplearán las máquinas trifásicas de 3 hp y 2250 hp, las cuales inicialmente estarán operando en condiciones normales, a plena carga; es decir, con un torque igual al de base.

La simulación de una falla trifásica en los terminales del motor de inducción se realizó configurando los voltajes V_a , V_b , V_c con un valor de cero voltios; se esperó una décima de segundo (aproximadamente 6 ciclos) luego de lo cual se restauraron los voltajes.

Para la simulación de los cortocircuitos trifásicos se toma como referencia la corriente de la fase *a* del motor; una vez que la corriente pase, aproximadamente, por cero. Se realiza el cambio de voltaje con una duración de una décima de segundo; luego se restablecen los voltajes al valor nominal.

1) Máquina de 3 hp

En la Fig. 16 se puede observar que la corriente de la fase *a* es sinusoidal, con una frecuencia de 60 Hz. En condiciones normales, una vez que esta corriente cruza por cero, se produce el cortocircuito, el cual alcanza una corriente de 99 A. Luego, esta corriente disminuye hasta llegar a cero y la máquina vuelve a sus valores nominales de voltaje, lo cual produce un nuevo pico de 100 A; la máquina oscila y no pierde estabilidad.

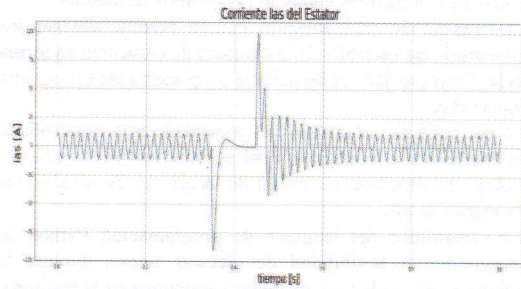


Fig. 16. Corriente de la fase *a* del estator

2) Máquina de 2250 hp

En la Fig. 17 se observa que la corriente de la máquina de 2250 hp no llega a un valor de cero antes de que la falla sea despejada, sino que oscila durante toda la simulación. Se puede también apreciar que, al despejar la falla, esta comienza a arrancar con un valor pico muy cercano al valor de cortocircuito.

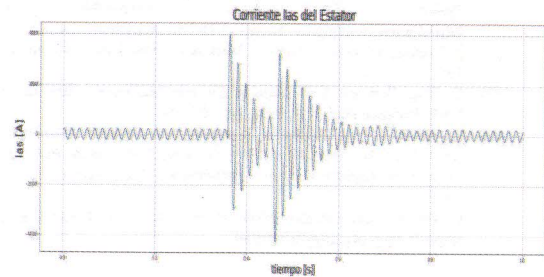


Fig. 17. Corriente de la fase *a* del estator

VI. CONCLUSIONES

Se implementó una herramienta computacional, en el lenguaje de programación Python, que simula el comportamiento de una máquina de inducción mediante la resolución de las ecuaciones diferenciales en el tiempo.

La herramienta computacional implementada es capaz de obtener los diferentes valores de varias variables de la máquina de inducción en el tiempo, tanto del estator como del rotor; estas variables son el resultado de la solución en el tiempo de las ecuaciones diferenciales de la máquina.

Se logró simular el comportamiento dinámico de una máquina de inducción en el dominio del tiempo; esto se logró mediante una simulación por tramos de tiempo haciendo uso del vector de condiciones iniciales. Esta última parte es compleja de implementar en Simulink, lo cual resalta la simplicidad y conveniencia de usar el programa desarrollado en este trabajo de titulación.

En base al software de simulación Simulink, de Matlab, se pudo validar la herramienta computacional implementada. Se realizaron varios ejercicios comparando los dos simuladores; contrastando las gráficas obtenidas entre estos se pudo concluir

que los dos simuladores entregan los mismos resultados.

El lenguaje de programación Python permite obtener los resultados de las variables de la máquina de inducción en forma directa. Éstas pueden ser fácilmente acopladas a otro programa o importadas.

La herramienta computacional presentada está desarrollada bajo una filosofía modular la cual permite realizar cambios a una etapa del programa sin influir de forma significativa, en las otras etapas de este.

La versatilidad del lenguaje de programación Python se evidencia en la posibilidad de ejecutar bucles durante la simulación con el objetivo de variar parámetros de la máquina, con los cuales se pueden realizar un sin número de aplicaciones o investigaciones



Fabián Pérez Yauli, nació en Ambato-Ecuador. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador en 2004. En 2012 obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional de San Juan, San Juan-Argentina, con una beca otorgada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Actualmente es profesor titular a tiempo completo en la Escuela Politécnica Nacional. Su rama de investigación incluye protecciones de sistemas de potencia y procesamiento de señales

REFERENCIAS

- [1]. O. Ruiz, y J Manuel. (2017, agosto). *Modelado Y Simulación De Máquinas De Inducción Simétricas*. [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/trabajodetitulacions/abreproy/4943>
- [2]. J. Vidal, *Estudio del Modelo Matemático del Motor de Inducción Trifásico*, España, 2009, pp. 8-48.
- [3]. R. Haltraman. (2011, noviembre 13). *Learning to Program with Python*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.uky.edu/~keen/115/Haltermanpythonbook.pdf>
- [4]. P. Krause, *Analysis of Electric Machinery*. New York, 1995, pp.109-190.
- [5]. C. Ong, *Dynamic Simulation of Electric Machinery*, New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 1998, pp. 167-258.
- [6]. L. Simón y J. M., Monzón, *Modelado del Régimen Dinámico y Análisis de Sensibilidad de una Máquina Trifásica de Inducción Magnética*, España: Canarias, Información Tecnológica, Vol. 21, 2010.
- [7]. G. Van Rossum. (octubre, 2009). *Python*. [En línea]. Disponible en: <http://Python.org.ar/pyar/tutorial>



Juan José López Suárez, nacido en Quito-Ecuador. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador en 2018. Su rama de investigación son las máquinas eléctricas.



Fausto Valencia. - Obtuvo su título de Ingeniero Eléctrico y de Magíster en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en 1999 y 2013 respectivamente. Es profesor a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y al momento se encuentra cursando los estudios en el Programa Doctoral de Ingeniería Eléctrica en la misma universidad. Sus campos de interés son el alto voltaje, transitorios en sistemas de potencia y la aplicación de modelos de campos electromagnéticos en Ingeniería Eléctrica.

38