

# A platform for determining the losses in the asynchronous machine

Kelly Johana Vargas , Bachelor<sup>1</sup>, Luis David Pabon Fernandez, Master<sup>1</sup>, Edison Andrés Caicedo, Magister<sup>1</sup>,  
Jorge Luis Diaz Rodríguez, Master<sup>3</sup>, and Aldo Pardo García, PhD.

<sup>1</sup> University of Pamplona, Colombia, Kjvp\_21@hotmail.com, {davidpabon, edison.caicedo, jdiazcu, apardo13}@unipamplona.edu.co

*Abstract– The article shows the realization of a platform that allows to determine different electrical parameters in asynchronous machines in dynamic state, is based on the investigation and approach of different control schemes applied to electric induction motors where the motor's own data is required to be applied ; with the approach of methodologies resulting from the selection of indispensable factors in the application of the control in the induction machines, a platform is designed that together with devices and a series of sensors allow to acquire data in a practical way, by means of the NI DAQ card As a fundamental instrument and LabVIEW software in which algorithms are proposed, for this case the work done in monitoring the rotor and stator losses for a three-phase induction motor is exposed.*

*Keywords: platform, Electric machine test, power losses, asynchronous machine,*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Plataforma para determinar las pérdidas en la máquina asíncrona

Kelly Johana Vargas, Bs. , Luis David Pabón Fernández, Ms. , Edison Andrés Caicedo P., Ms.   
Jorge Luis Díaz Rodríguez, Ms. , Aldo Pardo García, PhD. 

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Colombia, Kjvp\_21@hotmail.com, {davidpabon, edison.caicedo, jdiazcu, apardo13}@unipamplona.edu.co

**Resumen**– Este trabajo trata sobre la implementación de una plataforma que permite determinar diferentes parámetros eléctricos en máquinas de inducción trifásica en estado dinámico. Necesarios en la investigación y planteamiento de diferentes esquemas de control aplicados a motores eléctricos donde se requieren estos parámetros. El planteamiento de metodologías resultantes de la selección de factores indispensables en la aplicación del control en las máquinas de inducción. Se diseñó una plataforma que junto con dispositivos y una serie de sensores permiten adquirir datos de manera práctica, utilizando la Tarjeta DAQ NI como instrumento fundamental. Se usa el software LabVIEW® en el cual se programan algoritmos con los que se monitorean en tiempo real las pérdidas de potencia del rotor y estator.

**Palabras clave:** plataforma, pruebas de máquinas eléctricas, pérdidas de potencias, motor de inducción.

## I. INTRODUCCIÓN

Las máquinas asíncronas tienen diferentes aplicaciones en la industria, ya que son simples y fáciles de implementar, en la actualidad existen pruebas básicas en las que se obtienen parámetros por medio de los circuitos equivalentes del motor como lo son las pruebas de aislamiento de las bobinas, medición de resistencia de los devanados, regulación, vacío y cortocircuito [1].

Para realizar estudios especializados en el campo de la ingeniería eléctrica aplicados al control y automatización de motores, se requiere determinar las pérdidas del rotor y estator de las máquinas de inducción aplicando para ello pruebas en estado dinámico según protocolos consignados en la norma IEEE 112 de 2004 [2].

El aporte de esta investigación lo constituye la realización de un hardware y software acompañado de un proceso de análisis que permita determinar las pérdidas de potencia de la máquina de inducción, de manera que se obtenga un instrumento confiable para el desarrollo de las metodologías requeridas en el control y la automatización.

En la actualidad muchos trabajos se han desarrollado relacionados al tema de las máquinas asíncronas y sus pérdidas, se han realizado algunos estudios como el análisis de un motor de inducción de alta velocidad, que tiene en consideración las pérdidas y corriente de entrada de la máquina, de manera que se obtiene una aplicación del sistema husillo [3], también un estudio para mejorar la eficiencia del motor de inducción y la densidad de potencia; donde se

rebobina el devanado del estator de manera que se aumenta el tamaño de la bobina e impulsado por un inversor, mejora la eficiencia y de igual forma que la densidad de potencia, las pruebas se realizaron en motores de 0.75, 2.25 y 3.5 kW [4], de igual forma un trabajo en la comparación de los métodos de pruebas de eficiencia en máquinas de inducción de la norma IEC 60034-2-1 e IEEE 112, dando como resultado al armonización de los estándares armonizando los estándares internacionales [5].

De igual forma enfoques de optimización de la eficiencia basados en lógica difusa y algoritmos genéticos (AG). De esta manera se obtiene un mejoramiento en la eficiencia por medio del ajuste de la corriente de magnetización con respecto a la corriente del par, esto para tener pérdidas mínimas totales de cobre y hierro [6]. LA descripción de los diseños de un control de optimización de eficiencia basado en propagación inversa para el accionamiento del motor de inducción, el resultado demuestra el aumento de la eficiencia y mejoramiento de la velocidad [7]. Otros planteamientos como un modelo de cálculo de eficiencia del motor de inducción en toda la región de operación, se deducen nuevos métodos de cálculo de pérdidas de hierro, finalmente el diseño es óptimo para determinar la eficiencia de motores [8] y un diseño de control para minimizar pérdidas de la máquina de inducción, la validez del diseño se prueba por medio de simulación y seguido por método experimental, en el que se logra obtener una óptima propuesta [9].

Como se muestra en los anteriores trabajos descritos, en la actualidad se están realizando muchos estudios que involucran las pérdidas de las máquinas asíncronas, es por esta razón que este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma que permite determinar las pérdidas asociadas a la máquina de inducción, de una manera fácil y sencilla; con el fin de convertirse en un instrumento para ser utilizado en otras investigaciones.

## II. MODELO DINÁMICO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

La máquina de inducción posee diferentes características no necesitan de corriente de campo externa para tener un par de arranque, solo posee devanados de amortiguamiento puesto que la tensión del rotor produce una corriente y un campo magnético los cuales son inducidos en los devanados del rotor, es decir que no requiere estar acoplado físicamente [10].

La forma más adecuada para analizar el modelo de la máquina de inducción es con la aplicación de la transformada  $\alpha\beta\theta$ , la cual consiste una transformada lineal que diagonaliza las matrices circulantes simétricas. Mecánicamente la transformación  $\alpha\beta\theta$  hace referencia a modificar una maquina trifásica en bifásica con los mismos parámetros de potencia mecánica, torque, velocidad y número de polos.

En el siguiente conjunto de ecuaciones se presenta el modelo de la máquina asíncrona para  $n$  pares de polos:

$$\begin{bmatrix} V_{S_d} \\ V_{S_q} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_S + pL_S & 0 & pm_{SR} & 0 \\ 0 & R_S + pL_S & 0 & pm_{SR} \\ pm_{SR} & n\theta m_{SR} & R_R + pL_R & n\theta L_R \\ -n\theta m_{SR} & pm_{SR} & -n\theta L_R & R_R + pL_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S_d} \\ i_{S_q} \\ i_{R_d} \\ i_{R_q} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = nm_{SR}(i_{S_q}i_{R_d} - i_{S_d}i_{R_q}) \quad (2)$$

Siendo:

$$n = \frac{\omega}{\omega_s} \quad (3)$$

Donde:

$\omega$  = Pulsaciones de tensión en la alimentación.

$\omega_s$  = Velocidad síncrona del motor.

Continuando se establece un modelo mediante la transformación de Park para una máquina simétrica con ejes de referencia giratorios con una velocidad cualquiera:

$$\begin{bmatrix} V_{S_d} \\ V_{S_q} \\ V_{R_d} \\ V_{R_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_S + pL_S & -L_S \Psi n & pm_{SR} & -m_{SR} \Psi n \\ L_S \Psi n & R_S + pL_S & m_{SR} \Psi n & pm_{SR} \\ pm_{SR} & -m_{SR}(\Psi - \theta)n & R_R + pL_R & -L_R n(\Psi - \theta) \\ m_{SR}(\Psi - \theta)n & pm_{SR} & L_R n(\Psi - \theta) & R_R + pL_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S_d} \\ i_{S_q} \\ i_{R_d} \\ i_{R_q} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T = nm_{SR}(i_{S_q}i_{R_d} - i_{S_d}i_{R_q}) \quad (5)$$

El modelo de la máquina simétrica planteado anteriormente no se menciona la relación de transformación entre los devanados del rotor y estator. De manera que al implementar parámetros del estator medidos en el estator y de igual formar para el rotor se define un nuevo modelo.

De esta manera las ecuaciones de la máquina pasan a ser expresadas de la siguiente forma [11]:

$$\begin{bmatrix} V_{S_d} \\ V_{S_q} \\ V_{R_d}' \\ V_{R_q}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_S + pL_S & -L_S \Psi n & pm_1 & -m_1 \Psi n \\ L_S \Psi n & R_S + pL_S & m_1 \Psi n & pm_1 \\ pm_1 & -m_1(\Psi - \theta)n & R_R' + pL_R' & -n(\Psi - \theta)L_R' \\ m_1(\Psi - \theta)n & pm_1 & n(\Psi - \theta)L_R' & R_R' + pL_R' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S_d} \\ i_{S_q} \\ i_{R_d}' \\ i_{R_q}' \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$T = nm_1(i_{S_q}i_{R_d}' - i_{S_d}i_{R_q}') \quad (7)$$

Por otra parte, las primeras pérdidas en aparecer en el motor de inducción son  $I^2R$  en los devanados del estator o también denominadas como pérdidas en el cobre del estator, seguido cierta cantidad de potencia se desprende por histéresis y corrientes parásitas en el estator.

La potencia se transfiere al rotor de la máquina por medio del entrehierro, a esto se le denomina potencia en el entrehierro, seguido al llegar dicha potencia al rotor se disipa como pérdidas  $I^2R$  o llamadas pérdidas en el cobre del rotor y finalmente la potencia final es la mecánica del motor [12].

### III PARÁMETROS A DETERMINAR

A continuación, se muestran en la fig. 1 el esquema en donde se plantea el flujo de potencia de una máquina de inducción, mostrando las pérdidas que se encuentra en cada una de las fases [12].

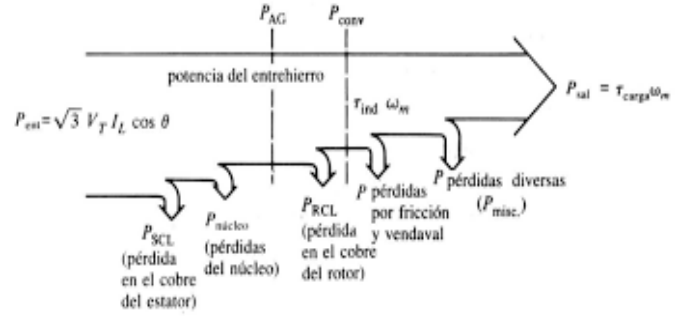


Fig. 1 Flujo de potencia en régimen motor.

Los parámetros a determinar por la plataforma seleccionados son:

- Pérdidas  $I^2R$  del estator.
- Pérdidas  $I^2R$  del rotor.

Estos parámetros son ocasionados por calentamiento resistivo encontrado en los embobinados del estator y rotor [12]. Debido a que se hace necerio el valor de la resistencia tanto del estator como del rotor, se calcula también esta variable por medio de la tensión y corriente en continua para la máquina, según la norma IEEE 112 de 2004 [2].

### IV METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS

En los siguientes esquemas se muestra el proceso de pasos a seguir para determinar las pérdidas en el estator y rotor mediante el uso de la plataforma.

#### A. Cálculo de pérdidas $I^2R$ del estator.

En la fig. 2 se observa la metodología donde se describen los pasos que se realizan en el cálculo de perdidas  $I^2R$  del estator para motores eléctricos de inducción, iniciando con la medida del voltaje y corriente continua para calcular la resistencia del estator, seguido se alimenta el motor con fuente de tensión en corriente alterna y se pone en marcha para tomar la temperatura del dedvanado y corregir por temperatura, finalmente se mide la corriente en alterna y con la resistencia se realiza el cálculo de pérdidas en el estator:

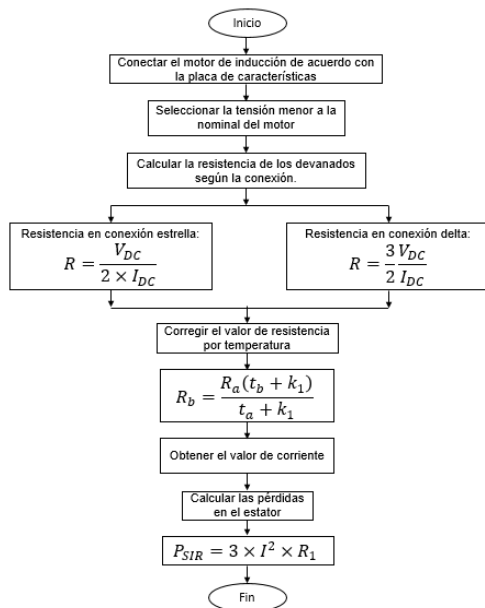


Fig. 2 Esquema de pérdidas I<sup>2</sup>R del estator.

### B. Cálculo de pérdidas I<sup>2</sup>R del rotor.

Para el cálculo de pérdidas en el rotor se requiere el cálculo de la resistencia, se plantea el procedimiento con base en la corriente y la tensión en continua, seguido con el motor alimentado con tensión en corriente alterna se registra el valor de la temperatura del devanado, para finalizar junto con la medida de corriente se realiza el cálculo de las pérdidas como se muestra en la fig. 3 donde se plantea la metodología aplicada para el cálculo de pérdidas del rotor:

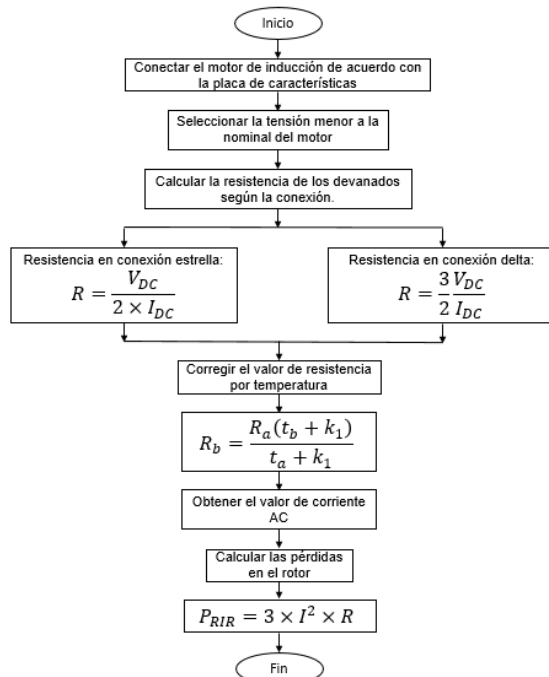


Fig. 3 Esquema de pérdidas I<sup>2</sup>R del rotor.

## V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA

La plataforma se diseña por medio del software AutoCAD en donde se planea el área necesaria para la instalación de dispositivos, dos compartimentos, uno para guardar motores y otro para ubicación de computador, equipos de medidas, rieles para anclaje de motores de diferentes tamaños, bornes de conexiones para cada elemento y nombres de los elementos.

En la construcción del módulo se emplearon láminas de hierro, cortadas y soldadas con las medidas especificadas en el diseño, el ensamble de cada una de las partes tuvo un tiempo de cuatro meses, incluyendo las perforaciones necesarias para la instalación de dispositivos, conductores, llantas y riel para anclaje de motores. Finalmente, se seleccionaron dos tonos el gris y un verde azulado para pintar.

Los dispositivos implementados en la plataforma para el control de velocidad son los variadores de frecuencia ACS 800 ABB [13] y el ACS 140 ABB [14], para realizar las medidas de temperatura se tiene la pistola de calor Fluke 566 [15], los valores de corriente son tomados por medio de tres sondas de corriente modelo SL261[16], el voltaje en corriente continua es medido con la diferencial de tensión DP120 FLUKE [17] y en corriente alterna tres sensores de voltaje contruidos con relación 480/10V, para el control de alimentación se usaron dos contactores marca CHINT [18] uno con relé térmico regulable, a estos contactores se les interrumpe una de las fases con la tarjeta relé RL4 [19], también se incorpora un encoder como sensor de velocidad modelo 715 [20] y un sensor de par TRH 300 de FLUKER [21], la adquisición de datos de los anteriores dispositivos se realiza por medio de la tarjeta de adquisición de datos USB-6211 de National Instruments [22]; con un computador como interfaz gráfica y el software labVIEW<sup>®</sup> para los algoritmos para determinar los parámetros seleccionados. En la fig. 4 se observa el diagrama de bloques con cada uno de los instrumentos usados en la plataforma:

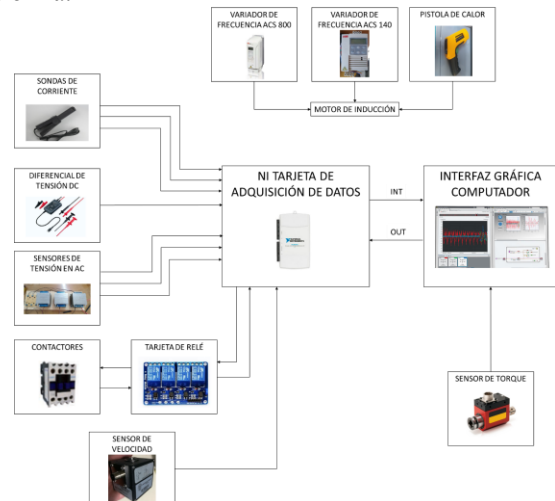


Fig. 4 Diagrama de bloques de sensores y elementos de medida.

Además de los anteriores elementos se instalaron dos pulsadores y luces piloto.

## 6. ALGORITMOS

A continuación, se muestran la programación realizada para la determinación de cada uno de los parámetros eléctricos seleccionados de la máquina asíncrona, los algoritmos se elaboraron en el software LabVIEW®, el programa cuenta con dos ventanas una donde se incluyen los diagramas de bloques y otra del panel frontal, en esta última se observa las ondas, indicadores, registro y operaciones.

### A Algoritmo para el cálculo de pérdida $I^2R$ del estator

En los siguientes diagramas de la fig. 5 se muestra la captura de voltaje, corriente en alterna y continua, a cada una de estas señales se les aplica filtros para mejorar la forma de onda, también se agregan tres bloques para pasar de valor instantáneo adquirido a valor rms. Por otra parte, se plantea el cálculo de resistencia del estator para las conexiones estrella o delta del motor de inducción.

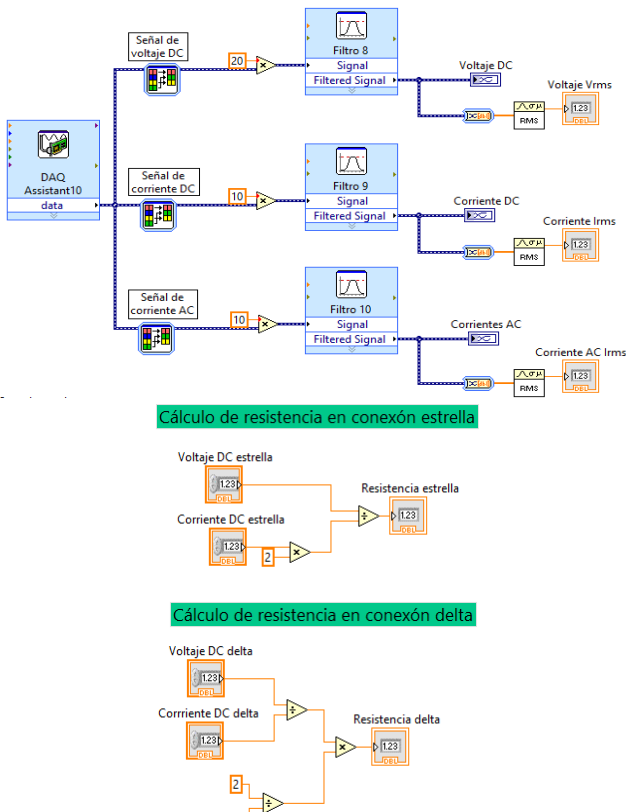


Fig. 5 Algoritmo para el cálculo de  $I^2R$  captura de datos y cálculo de resistencia.

Para continuar con la programación en la fig. 5 se plantea el cálculo de corrección de la resistencia por temperatura, la cual se hace necesario de los valores de temperatura ambiente y la del estator cuando la máquina entra en funcionamiento. Así mismo se muestra el cálculo de pérdidas planteando las fórmulas de corriente en funcionamiento al cuadrado por la resistencia corregida por temperatura.

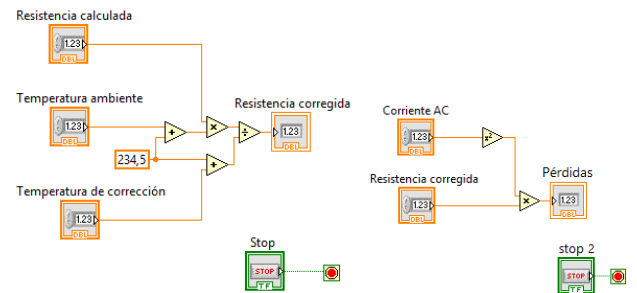


Fig. 6 Algoritmo para la corrección de resistencia y cálculo de pérdidas  $I^2R$  del estator.

En el panel frontal se muestran las ondas de voltaje y corriente en alterna y continua de los valores adquiridos con respecto al tiempo de duración de la prueba, cada gráfica cuenta con indicadores de los valores rms como se puede observar en la figura 7.



Fig. 7 Panel frontal de las gráficas para el cálculo de pérdidas del estator.

Por otra parte, en el panel frontal fig. 8 también se encuentra el espacio para digitar los valores de corriente y voltaje en continua para el cálculo de resistencia según como se conecte el motor de inducción, se muestran el sitio de ingresar la temperatura ambiente y de funcionamiento, junto con la resistencia de manera que se obtenga el dato de resistencia del estator corregida por temperatura, finalmente el cálculo de pérdidas el cual depende del valor corregido de resistencia y corriente alterna del sistema.

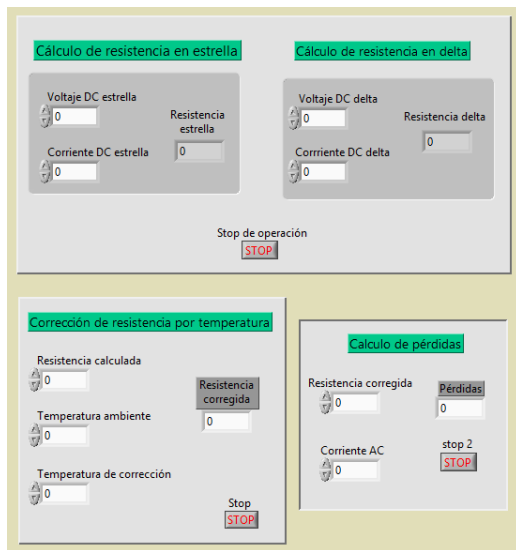


Fig. 8 Panel frontal para la determinación de pérdidas  $I^2R$ .

### B Algoritmo para el cálculo de pérdidas $I^2R$ del rotor

En la fig. 9 se muestra el diagrama de bloques para capturar las señales de voltaje y corriente en continua, también para la corriente alterna del sistema, a estas ondas se les acoplan filtros mejorando la forma de onda final, también se les aplican tres bloques para convertir el dato instantáneo de la medida en valores efectivos o rms, también se muestran las operaciones para el cálculo de resistencia del rotor de acuerdo a la conexión de la máquina asíncrona.

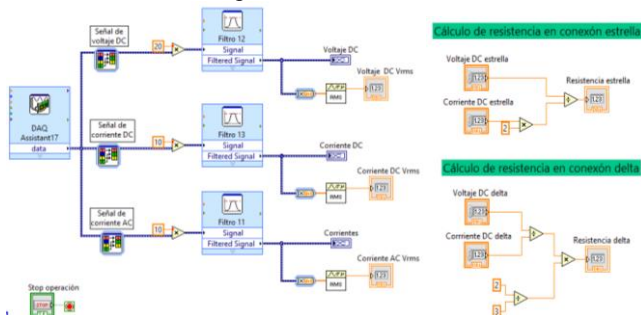


Fig. 9 Captura de datos y cálculo de resistencia para pérdidas en el rotor.

Para finalizar el algoritmo se plantean los cálculos para la corrección de la resistencia del rotor por temperatura, esta depende de los valores de temperatura ambiente y en funcionamiento del motor de inducción, también el cálculo de las pérdidas en el rotor, en el cual interfieren la corriente en alterna y la resistencia corregida del rotor, como se muestra en la fig. 10.

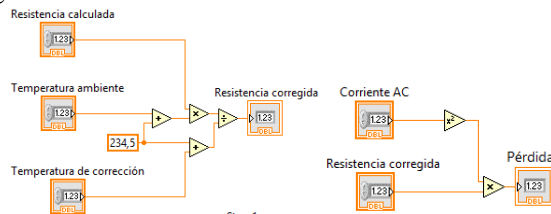


Fig. 10 Algoritmo para corrección de resistencia y pérdidas  $I^2R$  del rotor.

Las gráficas de voltaje y corriente en continua, también de corriente en alterna todas las gráficas se realizan con los valores medidos en relación con el tiempo de duración de la prueba, cuentan con indicadores del valor rms de cada una como se muestra en la Figura 7.

Para terminal la prueba en el panel frontal Figura 11 también se muestran espacios para el ingreso de datos como lo son el voltaje y corriente en continua para obtener el valor de la resistencia dependiendo de la conexión del motor, la temperatura ambiente y de funcionamiento para la corrección de la resistencia por temperatura y finalmente el cálculo de pérdidas del rotor estas depende del valor corregido de resistencia y la corriente alterna de la máquina de inducción en funcionamiento.

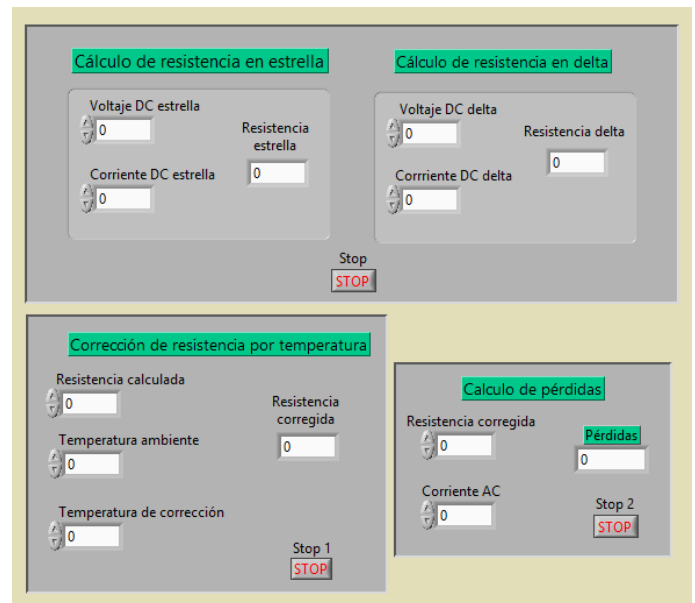


Fig. 11 Panel frontal para el cálculo de pérdidas  $I^2R$  del rotor.

## VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron pruebas de funcionamiento para la plataforma de la siguiente manera:

### A Prueba de cálculo de pérdidas $I^2R$ del estator

En cuanto al cálculo de pérdidas  $I^2R$  se utilizó un motor de inducción, sonda de corriente, diferencial de tensión DC, fuente de tensión en corriente alterna y continua, pistola laser de temperatura y cables de conexión. Ahora bien, para iniciar la prueba se conecta el estator en estrella, se conecta la fuente de tensión en corriente continua en un devanado de la máquina con un valor inicial de cero.

Se pulsa el inicio del programa y se varía el valor de tensión de alimentación captando el valor de corriente, hasta que el valor de corriente sea menor al dato de corriente proporcionado en la placa de características de la máquina,

con la alimentación seleccionada se registra el valor de corriente y tensión para el cálculo de la resistencia del estator, como se muestra en la fig. 12.

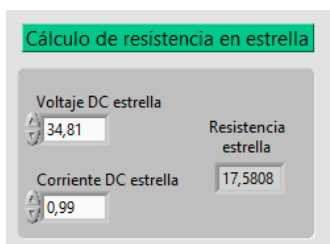


Fig. 12 Cálculo de resistencia en estrella para pérdidas del estator.

Seguido se desconecta la fuente de tensión en continua, para continuar con la prueba se conecta la máquina el rotor en cortocircuito y el estator en estrella, se alimenta la bobina de un contactor y se interrumpe una de las fases por medio de la tarjeta de relé de manera que se controle la alimentación del motor. Con la pistola laser se registra el valor de la temperatura ambiente y del estator, en este caso se tiene 17.2 °C y 22.8 °C respectivamente, con el valor ya calculado de resistencia se procede a digitar los valores para el cálculo como se muestra en la fig. 13.

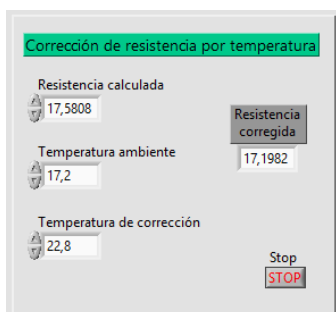


Fig. 13 Corrección de resistencia por temperatura.

Finalmente se conecta la sonda de corriente y se registra el valor para el cálculo de las pérdidas del estator, como se muestra en la fig. 14.

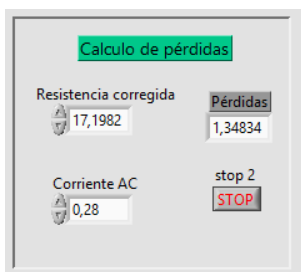


Fig. 14 Pérdidas I<sup>2</sup>R del estator.

### B Prueba cálculo de pérdidas I<sup>2</sup>R del rotor.

En relación con la prueba del cálculo de pérdidas I<sup>2</sup>R del rotor se necesitan los instrumentos como lo son la fuente de tensión en corriente continua y alterna, pistola laser de temperatura, sonda de corriente, sensor de tensión en corriente alterna, diferencial de tensión en DC y cables de conexión.

Para iniciar con la prueba se cortocircuita el rotor del motor, seguido se alimentan dos bornes con fuente de tensión en continua.

Se conecta la sonda de corriente y el diferencial de tensión en DC, después se copia el programa adquiriendo voltaje y corriente del rotor, de manera que con dichos valores se calcula el valor de resistencia del rotor como se muestra en la fig. 15:

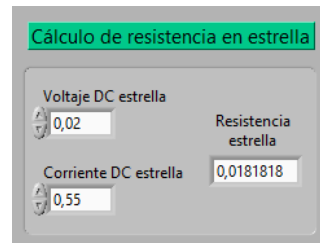


Fig. 15 Cálculo de resistencia en estrella para pérdidas del rotor.

Continuando con la prueba se desconecta la fuente de alimentación y se procede a conectar el motor de inducción el estator en estrella y el rotor se deja como estaba conectado (en cortocircuito). La alimentación del motor se controla por medio de la interrupción de la una de las fases de la bobina del contactor, se procede a dar inicio al programa y con ello se permite la alimentación del motor, de esta manera se registra el valor de temperatura del devanado del rotor con la pistola laser y la temperatura ambiente para el caso en mención se tiene 23.1 °C y 17.6 °C respectivamente. Con el valor de resistencia calculado y las temperaturas medidas se procede a digitar los valores para realizar la corrección por temperatura, como se muestra en la fig. 16.

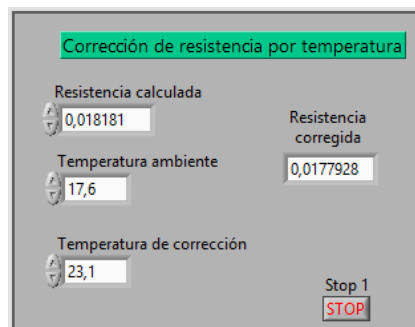


Fig. 16. Corrección de resistencia por temperatura para pérdidas en el rotor.

Finalmente se conecta la sonda de corriente y se registra el valor de intensidad, con esto se calculan las pérdidas del rotor en el motor de inducción, como se observa en la figura 17.

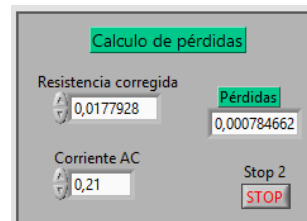


Fig. 17 Cálculo de pérdidas en el rotor.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la implementación mostrada se puede concluir que la plataforma en si misma es un instrumento fácil y sencillo para determinar las pérdidas asociadas al estator y rotor de la máquina de inducción, convirtiéndose en una herramienta valiosa para la realización de otras investigaciones en el campo de la eficiencia y rendimiento de la máquina.

Es importante la determinación de las pérdidas ya que con el monitoreo de las mismas se obtiene la eficiencia y se puede llegar a mejorar funcionamiento del motor de inducción.

La plataforma en conjunto con los elementos instalados es un mecanismo útil en el ámbito académico, ya que permite adquirir diferentes parámetros propios de las máquinas asíncronas.

Las resistencias calculadas de los devanados del estator y rotor, se plantean de una manera sencilla con la medida de corriente y tensión en corriente continua.

La corrección por temperatura se hace necesaria ya que permite evitar sobre calentamiento en los devanados del rotor y estator, así mejorar el funcionamiento de las máquinas asíncronas.

## REFERENCIAS

- [1] J. Mora, Máquinas Eléctricas. 5ta Ed., España, 2003.
- [2] IEEE, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, vol. 2004, no. November, 2004.
- [3] D. Kim, D. Hong, J. Choi, Y. Chun, B. Woo, and D. Koo, "An Analytical Approach for a High Speed and High Efficiency Induction Motor Considering Magnetic and Mechanical Problems," IEEE Trans. Magn., vol. 49, no. 5, pp. 2319–2322, 2013.
- [4] P. Lumyong and P. Sarikprueck, "A Study on Induction Motor Efficiency Improvement for Implementing in Electric Vehicle," in 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2018, pp. 616–619.
- [5] S. Deda and J. A. de Kock, "Induction motor efficiency test methods: A comparison of standards," in 2017 International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2017, pp. 1–6.
- [6] Z. Rouabah, F. Zidani, and B. Abdelhadi, "Efficiency optimization of induction motor drive using fuzzy logic and genetic algorithms," in 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2008, pp. 737–742.
- [7] A. H. M. Yatim and W. M. Utomo, "Efficiency Optimization of Variable Speed Induction Motor Drive Using Online Backpropagation," in 2006 IEEE International Power and Energy Conference, 2006, pp. 441–446.
- [8] C. Shumei, L. Chen, and S. liwei, "Study on efficiency calculation model of induction motors for electric vehicles," in 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008, pp. 1–5.
- [9] R. Abdelati and M. F. Mimouni, "Optimal control strategy of an induction motor for loss minimization using Pontryaguin principle," Eur. J. Control, 2019.
- [10] I. Barbi, Teoria Fundamental do motor de indução, UFSC, Ed. UFSC, Florianópolis, 1985.
- [11] P. Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control," Monogr. Electron. Eng. Oxford Univ. Press. USA, vol. 1., p. 768, 1998.
- [12] S. J. Chapman, "Máquinas eléctricas." 2000.
- [13] M. De Firmware, "Manual de Firmware Programa de Control Standard 7.x do ACS800," vol. 1.
- [14] ABB, "Catálogo técnico," p. 98.
- [15] T. Data, "Thermometers," no. 568, pp. 566–568.
- [16] I. A. Vargas et al., "Sensores De Corriente," no. 800, pp. 1–6, 2016.
- [17] U. Dp, E. Wa, M. Dp, and A. Dp, "DP120."
- [18] D. industrial & construcción H. Ltda., "Catalogo de Productos," p. 92.
- [19] R. T. Ii and R. T. Iii, "Información técnica FINDER."
- [20] T. O. I. Cube, V. H. Styles, C. P. Width, C. Applications, and P. Control, "Model 715 -," pp. 10–13.