

SISTEMA DE MEDICIÓN DIDÁCTICA SIMULADORA PARA LA PRÁCTICA EN EL CONJUNTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

¹ Arthur Eugênio Januário Da Silva

² Wesley Pereira Marcos

Como citar este artículo: Januario, A; Pereira, W, (2020) Sistema de medición didáctica simuladora para la práctica en el conjunto de máquinas eléctricas, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

MODELO ABSTRACT:

El sistema de medición didáctico para la práctica en el conjunto de máquinas eléctricas tiene como objetivo facilitar el análisis de los fenómenos eléctricos y posibilitar la aplicación de la metodología de enseñanza-aprendizaje activa en la carrera de Ingeniería Eléctrica. Bajo tal perspectiva, este sistema permite la participación activa de los estudiantes, que anteriormente no tenían esa oportunidad en vista del reducido número de bancos en el laboratorio. Por lo tanto, con el uso de herramientas de software para ingeniería y supuestos teóricos, se realizaron simulaciones que mostraron cuánto más efectivo puede ser el análisis de los resultados cuando se utiliza un sistema de medición en tiempo real. Además, los resultados mostraron que es posible disminuir el tiempo de las prácticas, recolectando los datos con mayor precisión y rapidez. Así, reforzó la hipótesis de que el uso de software de ingeniería y un sistema de medición es capaz de mejorar la comprensión de los fenómenos eléctricos a lo largo del tiempo y posibilita la participación de todos los estudiantes en las clases prácticas. Por tanto, la implementación de un sistema en tiempo real junto con simulaciones en software podría realizarse en clases prácticas en línea con la metodología actual, incorporándose en la estructura de la disciplina con el fin de respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

PALABRAS CLAVE: Banco didáctico. Máquinas eléctricas, Aprendizaje.

SUMARIO:

1. Introducción. 2. Referencial Teórico. 2.1. Maquinas electricas 2.2. Tipos de arrancadores de motor de inducción trifásicos. 2.2.1. Salida directa. 2.2.2. Partido estrella-triángulo. 2.2.3. Compensación de partidos. 2.2.4. Arranque del arrancador suave. 2.3. Modelado de Simulink. 3. Resultados. 4. Conclusión Y Consideraciones Finales. 5. Referencias.

¹ Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil - arthurejs@unipam.edu.br

² Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil - wesleypm@unipam.edu.br

1. INTRODUCCIÓN

El mercado laboral moderno requiere de un nuevo perfil profesional, que esté preparado para hacer frente a la tecnología cada vez más presente, siendo capaz de comprender estos datos, los nuevos equipos y aplicar los conocimientos teóricos obtenidos durante su formación. Por tanto, este trabajo busca estudiar la importancia y las posibles formas de optimizar el aprendizaje activo de los estudiantes de “Ingeniería Eléctrica” durante las clases prácticas de la disciplina “Máquinas Eléctricas”.

Actualmente, en el Laboratorio de Conversión de Energía, en el Centro Universitario de Patos de Minas (UNIPAM), existen tres prácticos bancos para máquinas eléctricas. Para que se lleve a cabo una práctica activa eficaz, donde el propio alumno realiza el experimento y no es solo un observador, lo ideal es la distribución de tres alumnos por banco.

En este sentido, con la disponibilidad limitada de bancas, la mayoría de los estudiantes solo observan las prácticas. Así, un sistema de medición en tiempo real y simulaciones de software permitirían al estudiante participar activamente, explorar y ampliar sus conocimientos.

El método actual de clases prácticas para la disciplina de “Máquinas Eléctricas” se basa en el uso de diversos equipos ampliamente utilizados en el entorno laboral de un ingeniero eléctrico. Entre los equipos utilizados para el monitoreo se encuentran amperímetros y multímetros, utilizados para monitorear fenómenos eléctricos, como voltaje, corriente, potencia, entre otros. Y como el alumno espera ingresar a este mercado laboral, es necesario saber utilizar estas herramientas, por lo tanto, la implementación de un sistema en tiempo real y simulaciones de software debe hacerse fusionando con la metodología actual, incorporándola la estructura de la disciplina para respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

De esta forma, el proceso de enseñanza-aprendizaje se vuelve más fácil. Además, en este método los estudiantes desarrollan la creatividad, la comprensión de los fenómenos físicos y el conocimiento del software de ingeniería. Teniendo en cuenta que con las simulaciones en tiempo real se dejará el mínimo de brechas de aprendizaje, formando un profesional más completo y preparado para los desafíos del mercado laboral en el mundo globalizado.

Un estudio comparativo entre los métodos de enseñanza utilizados en los laboratorios de “Máquinas Eléctricas”, realizado por Macieira (2016) y el artículo “Enseñanza de la Ingeniería: Enfoque por Complejidad” de Cunha (2015), sirvió como parámetro para discutir y analizar las prácticas en laboratorio. Y se observa que, con la implementación de un sistema de medición en tiempo real, sería posible disminuir el tiempo de realización de las prácticas, ya que los datos se recolectarían de manera más fácil y rápida, lo que reduce el tiempo dedicado a la recolección de datos. prácticas realizadas.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es generar resultados y propuestas que puedan ayudar a la institución, coordinadores de cursos y otros interesados en contribuir al desarrollo de prácticas de laboratorio en esta disciplina. Además, se propone un método que contribuye al proceso de aprendizaje de los estudiantes, reduciendo el tiempo de las prácticas, mejorando la visualización de fenómenos eléctricos en tiempo real, ayudando en la comprensión teórica de la materia, lo que posibilita la ocurrencia de un mayor número de clases prácticas y / o la participación activa de todos los alumnos.

2. MÉTODO

El método utilizado para corroborar la hipótesis de que un sistema de medidas en tiempo real puede mejorar la comprensión del tema de las máquinas eléctricas, debido a la Pandemia de COVID-19, fue la simulación de arranques en motores de inducción de Simulink. El propósito de la simulación en Simulink es demostrar el comportamiento de diversos fenómenos eléctricos, como corriente, voltaje, velocidad del eje del motor, entre otros, de manera que se pueda evaluar el comportamiento de estos datos, facilitando la comprensión para una mejor fijación del tema. Por tanto, la metodología se llevó a cabo en 4 etapas:

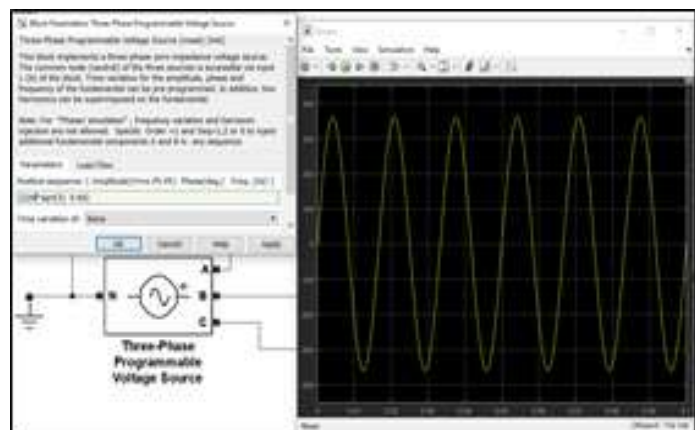
- 1ª etapa: Se estableció qué juegos se simularían en Simulink;
- 2ª etapa: El esquema se programó en Simulink;
- 3ª etapa: Comparación de los datos encontrados;
- 4º paso: Basado en lo que se vio en las simulaciones,

2.1 Estrategias metodológicas

A modo de ejemplo, se realizaron simulaciones siguiendo los modelos de salida de Brito (2017) utilizando el software simulink, con el fin de demostrar cómo se visualizarán los parámetros del motor. Para las simulaciones se eligieron los partidos, directo, estrella triangular y compensador; en la modelización se utilizaron fuentes de tensión, medidores de corriente y tensión, una constante indicadora de la carga acoplada al eje del motor y un motor de inducción trifásico, tipo jaula de ardilla.

Como fuente, se utilizó una fuente de voltaje trifásica programada, que indica el valor en rms, pero el valor que proporciona la fuente es el valor pico que es $V\sqrt{2}$. Para la simulación se desea que la fuente tenga voltaje para el motor conectado en estrella, por lo que el valor que se debe establecer para el voltaje es $220\sqrt{3} = 381.05V$, como se puede ver en la gráfica de la Figura 8.

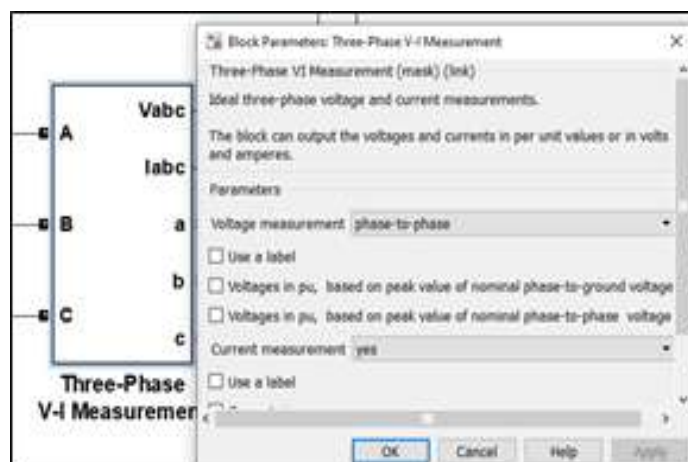
Figura 8 - Fuente de voltaje trifásica programable



Fuente: Matlab Simulink

Para la medición se utilizó un medidor trifásico, que se puede utilizar para realizar mediciones de voltaje de línea o fase y corrientes de fase. El voltaje se puede leer de fase a tierra o de fase a fase, para el trabajo, la medición se realizó entre fase y fase, lo cual se muestra en la Figura 9.

Figura 9- Medidor Trifásico



Fuente: Matlab Simulink

El motor elegido, entre las diversas opciones de modelado, fue un motor de inducción trifásico, con rotor de jaula de ardilla, representado en la Figura 10, donde la primera línea de parámetros se refiere a la potencia, voltaje y frecuencia, donde la potencia inicial es 3HP o 3x746W, el voltaje es 220V y la frecuencia 60Hz. El resto de parámetros, como la resistencia del rotor y los devanados del estator, la inductancia del estator y del rotor, la inercia, entre otros, fueron llenados según valores previamente establecidos por el software.

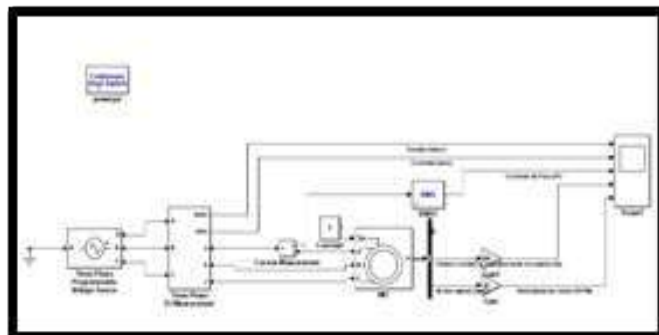
Figura 10- Configuración del motor



Fuente: Matlab Simulink

Al arrancar directamente, el motor se conecta directamente a la red y, por tanto, es el método de arranque más sencillo. Así, la simulación de este emparejamiento consistió básicamente en la fuente de voltaje, un medidor de voltaje y corriente, un motor trifásico y un bloque para medir señales, como se ve en la Figura 11.

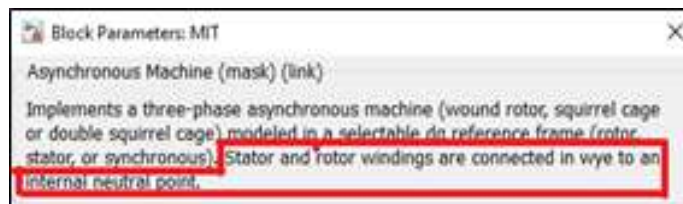
Figura 11- Esquema de inicio directo



Fuente: Matlab Simulink

A partir de esto se realizó el inicio estrella-triángulo, siendo simulado con una fuente programable, se alteró su amplitud de fase en un tiempo predeterminado, imitando un inicio estrella-triángulo. Esto se debe a que el MIT disponible en el simulink tiene sus contactos internos conectados a un neutro, por lo que siempre está conectado en la configuración de estrella, como se puede ver en la Figura 12.

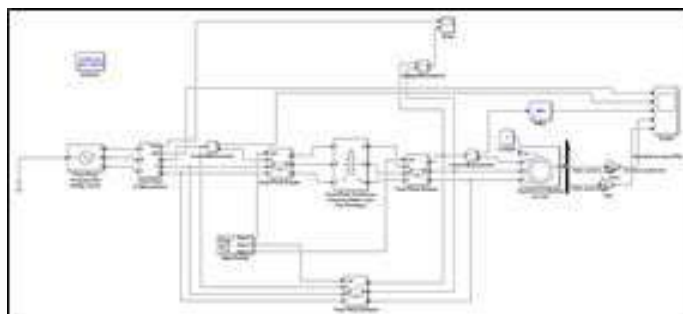
Figura 12 - Parámetro del bloque del motor de inducción



Fuente: Matlab Simulink

En el arrancador compensador, su principio es similar al del arrancador estrella-triángulo, ya que disminuye la tensión en el arrancador, por lo que la corriente disminuye proporcionalmente. El esquema está hecho a partir del esquema de arranque directo, pero se agregan contactores, control de señal y el transformador como se ve en la Figura 13.

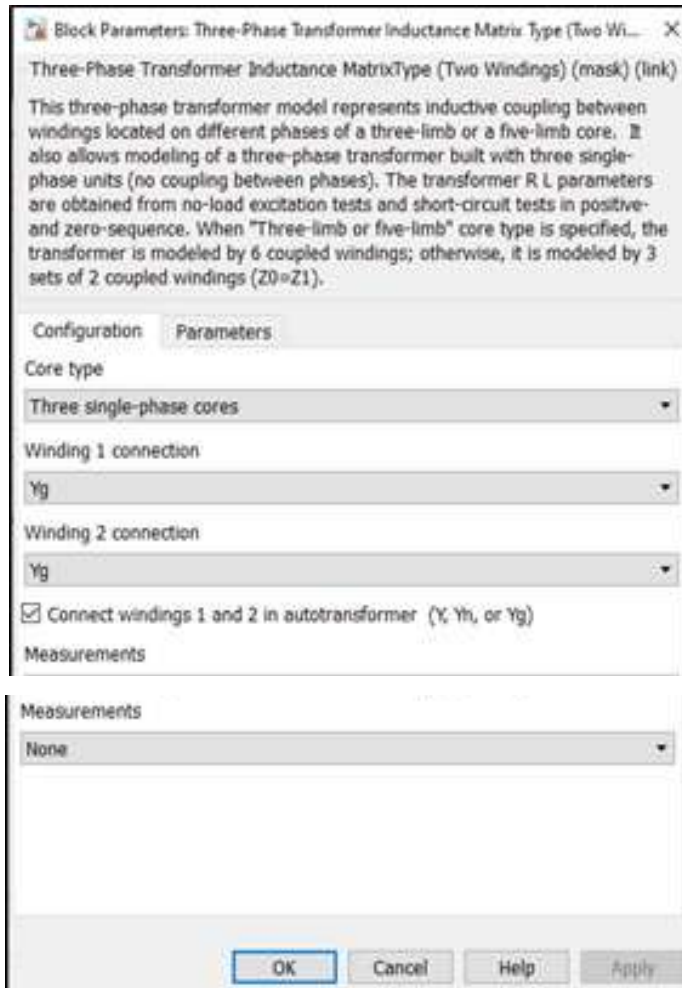
Figura 13- Esquema de salida de compensación



Fuente: Matlab Simulink

En el esquema se utilizó un autotransformador, mientras que en el simulink se eligió un transformador trifásico con dos devanados. Y también se optó por utilizar la opción de conectar como autotransformador, como se puede apreciar en la Figura 14, para bajar la tensión de alimentación del motor al 50% de la tensión nominal hasta alcanzar un valor cercano a la nominal.

Figura 14 - Parámetros del autotransformador



Fuente: Matlab Simulink

2.1.2 PROCEDIMIENTO

Una vez que los esquemas están listos, observamos el comportamiento de las variables del motor, como voltaje, corriente, corriente pico, velocidad del motor y la corriente en el estator. También se realizó una comparación de las corrientes de arranque de los 3 arranques, lo que facilita ver cómo se comporta la corriente de pico en cada arranque.

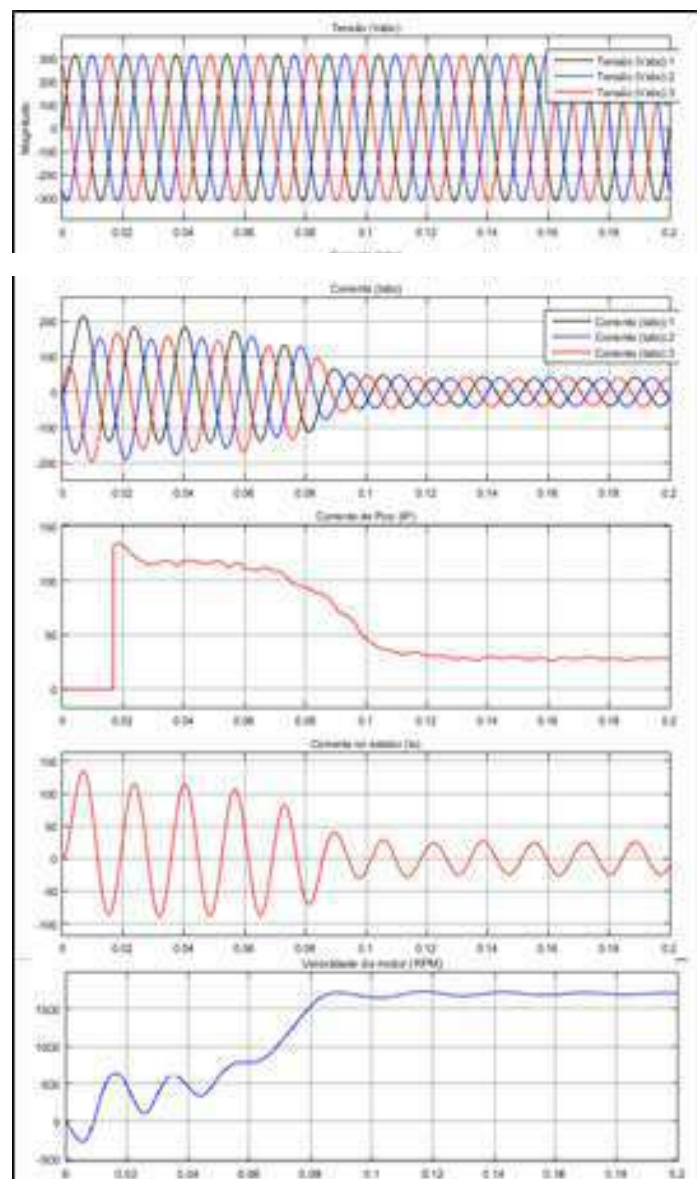
Posteriormente, se realizaron simulaciones con arranques directos, para motores de 1HP, 5HP y 10HP siguiendo el modelo presentado por Rossetto (2015), donde se investigó el hundimiento de tensión, con el fin de establecer si ese motor puede conectarse directamente a la red o si necesita un comienzo suave.

La caída de voltaje no debe exceder el 10% del voltaje nominal de la red, si esta caída es mayor al 10%, entonces el motor no debe romperse directamente, ya que causa daños al motor y a la empresa, interrumpiendo el proceso de producción,

como el desempeño de los dispositivos de protección contra subtensión, pérdida de programación de PLC (controladores lógicos programables), variación en la velocidad del variador, entre otros. Con el fin de acostumbrar al estudiante de ingeniería eléctrica a las asignaturas teóricamente tratadas en la asignatura de "Máquinas Eléctricas", disciplina de suma importancia en la carrera de ingeniería eléctrica, se desarrolló este trabajo. Con él, se buscó analizar artículos, la estructura disciplinaria de la asignatura y simular conexiones de motores en los bancos de prácticas, con el fin de corroborar con la implementación de un sistema de medición en tiempo real en el laboratorio de conversión de energía, del Centro Universitario de Patos de Minas Gerais (UNIPAM).

En el arranque directo, utilizando el bloque de medición de señal (Bus Selector), se miden las tensiones y corrientes rezagadas en 120° , la corriente de pico, la corriente del estator y la velocidad (RPM) después del arranque del motor, y es posible observar que con la carga establecida de 7 Tm, la corriente del motor aumenta a ~ 130 A y se estabiliza ~ 30 A, con una relación I_p / I_n de 4.3x, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15- Parámetros de medición: arranque directo

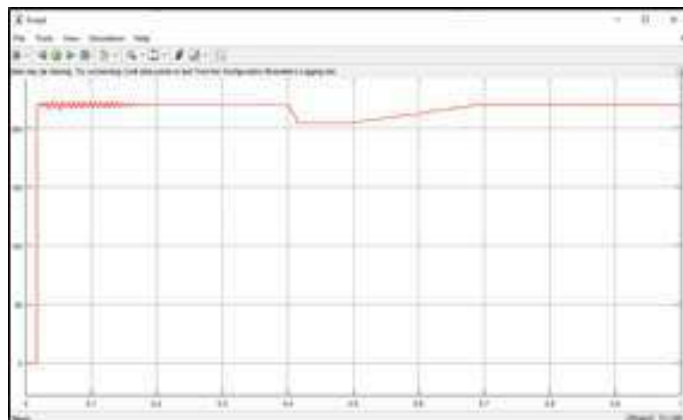


Fuente: Matlab Simulink

3. RESULTADOS

Solo con estos parámetros ya es posible entender por qué la importancia de un sistema de medición, ya que facilita la visualización del comportamiento de los fenómenos presentes en el juego, haciendo que el alumno tenga una mejor comprensión, facilitando así el aprendizaje. Para la simulación de hundimiento, utilizando una carga con un par de 3 Nm, primero se hizo analizando un motor de 1 HP, poniendo un temporizador en el motor luego de 0.4 segundos, se puede ver en la figura 16 una caída de voltaje a aproximadamente 205V, lo que indica una disminución de $220-205 = 15\text{V}$, es decir, $15/220 = 6.8\%$ siendo menos del 10%, por lo que con un motor de 1 HP se indica el arranque directo.

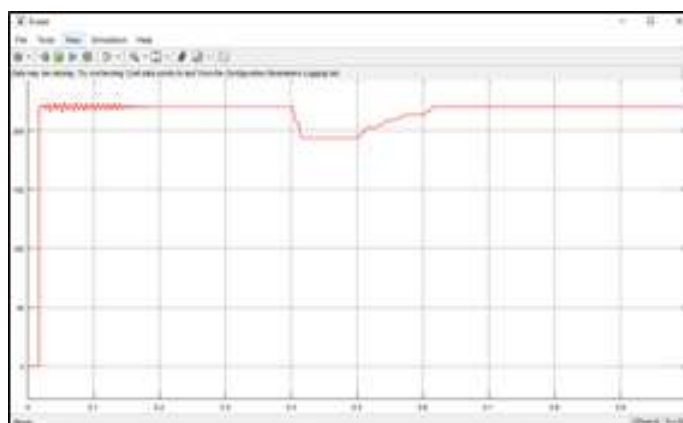
Figura 16 - Caída de tensión con motor de 1 HP



Fuente: Matlab Simulink

El resultado de la caída de voltaje en el motor de inducción de potencia de 5HP como se muestra en la figura 17, indica una caída de voltaje RMS a aproximadamente 189 V, lo que causa una caída de $220-189 = 31\text{V}$, es decir, $31/220 = 14.09\%$, siendo mayor que el valor indicado del 10% de la tensión nominal, por lo tanto, no se indica que el motor se arranque directamente.

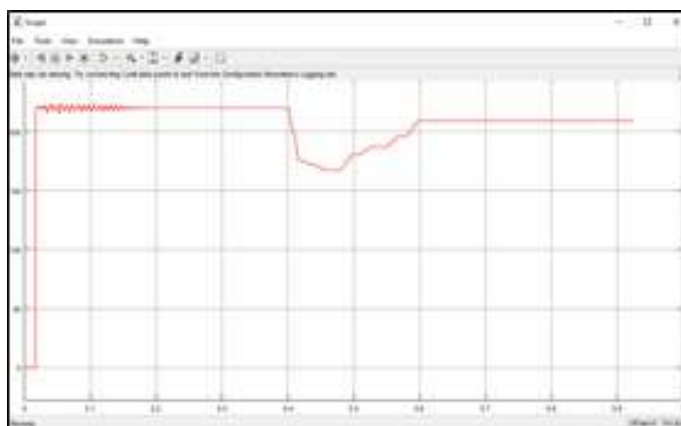
Figura 17- Disipador de voltaje con motor de 5HP



Fuente: Matlab Simulink

El motor de inducción de 10HP, resultado del descenso de voltaje, indica una caída de voltaje RMS a aproximadamente 171V, como se puede ver en la figura 18, provocando una caída de $220-171 = 48\text{V}$, es decir, $48/220 = 22.27\%$, siendo muy superior al valor indicado del 10% de la tensión nominal, además cuando llega a la tensión máxima se mantiene por debajo de la nominal en torno a los 210V, lo que provoca un mayor daño a la vida del motor, por lo que, no se recomienda arrancar el motor directamente.

Figura 18- Afundamento de tensão com motor de 10HP



Fuente: Matlab Simulink

Luego de ejecutar los arranques directos, fue posible observar la tensión de hundimiento de los motores de inducción con potencias de 1 HP, 5 HP y 10 HP. Con esto, pudimos establecer cuál de estos motores se puede arrancar directamente conectado a la red o necesita algún dispositivo o modelo de arrancador suave, como estrella triangular, compensador o arrancadores suaves.

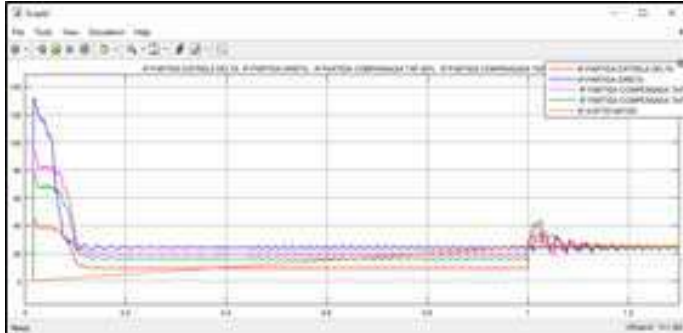
- 1 HP donde $\Delta V = 6.8\% < 10\%$, se puede romper directamente conectado a la red;
- 5 CV donde $\Delta V = 14.09\% > 10\%$, no es recomendable arrancar el motor directamente;

- 10 CV donde $\Delta V = 22.27\% > 10\%$, no es aconsejable arrancar el motor directamente;

El voltaje de descenso ocurre principalmente debido a la alta corriente de arranque cuando el motor está conectado directamente a la red, por lo que podemos usar arranques suaves para disminuir este pico de corriente. Con la ayuda del simulink, es posible comparar la corriente máxima de los distintos arranques, como arranque directo, arranque estrella-triángulo, arranque compensador y arranque suave. A partir de esto, se comparó la corriente pico de los siguientes arranques, arranque directo, arranque estrella-triángulo, arranque compensado con TAP 80%, arranque compensado con TAP 50% y arranque con arranque suave, como se puede ver en la figura 19.

El El arrancador triangular en estrella y arrancadores suaves se simularon con una fuente de voltaje trifásica programable, ya que el MIT disponible en el simulink tiene sus contactos internos conectados a un neutro. Por lo tanto, siempre está encendido en la configuración de estrella.

Figura 19- Comparación de la corriente de pico de los diferentes arranques



Fuente: Matlab Simulink

Al comparar las corrientes de pico de los arranques simulados, es fácil comprender el comportamiento de la corriente de pico de todos ellos. Es posible observar que la corriente de arranque directo tiene el pico más alto y alcanza la corriente nominal más rápida, mientras que los arranques con el pico más bajo tardan un poco más en alcanzar la corriente nominal. También notamos que los arrancadores estrella-triángulo, compensados con TAP en 80% y 50%, tienen un pico de corriente más bajo, pero tienen otro pico a 1 segundo, cuando están conectados directamente a la red.

A diferencia de otros arrancadores, al arrancar con arrancador suave la corriente tiene un comportamiento diferente, al ser un dispositivo electrónico, controla el voltaje con un puente tiristorizado, haciendo que la conmutación de voltaje esté cada vez más disponible, teniendo un arranque seguro y suave, sin la existencia de un pico de corriente.

Además de este tipo de simulación, también es posible modelar otros métodos, como convertidores de frecuencia, obtención de curvas de potencia, velocidad, corriente, voltaje, entre otros. Como se ve en la simulación, el uso de un sistema de medición y tiempo real beneficia la realización de clases prácticas y facilita la comprensión de los fenómenos eléctricos.

Un banco de prácticas bien equipado, monitorizado y con un buen software de simulación no garantiza un alto nivel de aprendizaje, pero agudiza al alumno a buscar formas de dedicarse al conocimiento en diversos aspectos científicos. Además, hay que combinar diferentes métodos y enfoques y no tratar el aprendizaje de forma sencilla y acabar utilizando una metodología estática, ya que esto puede perjudicar la construcción profesional del alumno. Al combinar nuevos enfoques prácticos, el docente llena los vacíos en el desarrollo de los estudiantes, capacitando a los estudiantes que tienden a tener una ventaja positiva en el mercado laboral como ingenieros (MACIEIRA, 2016).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El método actual de clases prácticas para la disciplina de "Máquinas Eléctricas" se basa en el uso de diversos equipos ampliamente utilizados en el entorno laboral de un ingeniero eléctrico. Y como el estudiante espera ingresar a este mercado laboral, es necesario tener conocimientos de cómo utilizar estas herramientas. Así, la implementación de un sistema en tiempo real en conjunto con simulaciones de software fusionándose con la metodología actual, incorporándose a la estructura de la disciplina con el fin de respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

Así, parece que es necesario hacer del alumno el centro de actividades, siendo parte activa de las prácticas que se realizan en la disciplina de "Máquinas Eléctricas". Con la implementación de un sistema de medición en tiempo real, sería posible que todos los estudiantes practiquen, y no solo desde la perspectiva de un observador, porque el laboratorio es donde se lleva a cabo la simulación de puntos muertos encontrados en la vida profesional, y por eso es El trabajo activo del estudiante es importante porque afecta el proceso de construcción de un ingeniero.

Se espera que este trabajo, aunque no dé una respuesta definitiva de forma directa, en forma de proyecto práctico para la disciplina en el laboratorio de "Máquinas Eléctricas", pueda ayudar a la institución, coordinadores de curso y otros interesados en contribuir al desarrollo de prácticas de laboratorio en esta disciplina. Como posibles propuestas de continuidad, se podría realizar un prototipo de un sistema de medición en tiempo real en uno de los bancos existentes en el laboratorio, utilizando el software de ingeniería LabVIEW y un dispositivo de adquisición de datos DAQ. Otra propuesta interesante serían las visitas a universidades de otras ciudades o estados, para comparar metodologías y tecnologías utilizadas en esta disciplina, realizando un análisis de las similitudes y diferencias encontradas en las distintas instituciones. Y finalmente, la elaboración estructurada de actividades en laboratorio para que sea posible conciliar el proyecto de medición en tiempo real, con la metodología actual aplicada en la disciplina "Máquinas Eléctricas".



REFERENCIAS

- BERTULUCCI, C. S. Motor CC: Descubre cómo funciona y cómo especificarlo. Disponible en: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Consultado: 19/02/2020.
- BIANCHINI, D; GOMES, F. D. La enseñanza de la ingeniería a través de laboratorios virtuales de electrónica: una reflexión entre el montaje en el protoboard y la simulación. COBENGE, Campinas, 2006.
- BRITO, E. L. Modelado de métodos de salida del MIT usando matlab / simulink. Brasília: UNB, 2017.
CAETANO, S. A. A. Montaje de banco dinamométrico para evaluar el comportamiento de propulsores de aerogeneradores o hidrocineéticos, Brasília, 2016.
- CHAPMAN S. J. Fundamentos de máquinas eléctricas: 5. Ed. São Paulo: Ltda, 2013.
- COELHO, J. P. Introducción a las aplicaciones de Simulink en ingeniería. Braganza, 2017.
- COSTA, M. H. F. Análisis comparativo del uso de dos equipos para arranque directo de motores eléctricos trifásicos de inducción de rotor de jaula de ardilla: convertidores de frecuencia x interruptores de arranque estáticos (arranque suave), Belo Horizonte, 2014.
- CRISTIANE, T. S. L.; CÉLIA R. T. M. Procedimientos metodológicos en la construcción del conocimiento científico: investigación bibliográfica. Florianópolis, 2007.
CUNHA, F. M. ENSEÑANZA DE INGENIERÍA: Enfoque de la complejidad. São Paulo, 2015.
- CREDER, H. Instalaciones eléctricas. Río de Janeiro: Libros técnicos y científicos, 1995.
- FITZGERALD, A. E.; JR, C. K.; UMANS, S. Máquinas eléctricas: Con introducción a la electrónica de potencia. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- FRANCISCO, A. M. S. Motores de inducción trifásicos. Disponible en: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpe/maquinas%20el%C3%A9ctricas%202/aulas%20te%C3%B3ricas/Motores_inducao_tri.pdf>. Consultado el: 20/02/2020.
- HENRIQUE, L. S. M. C. Sistema de monitorización mediante haz de luz. Brasília, 2008.
- Motores HONDA, F. DC: Guía rápida para especificaciones precisas. Disponible en: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrif/Motores_CC_ind1.pdf>. Consultado: 19/02/2020.
- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIA. Los principales tipos de sensores y sus aplicaciones en la industria. Disponible en: <<https://www.rtiautomacao.com.br/os-principais-tipos-de-sensores-e-suas-aplicacoes-na-industria/>>. Consultado: 03/06/2020.
- KIRK, E. V. Introducción a la Ingeniería. Libros técnicos y científicos, Río de Janeiro, 1979.
- KOSOW, I. L. Máquinas eléctricas y transformadores. Río de Janeiro: Globo, 2000.
- LEÃO, F.B. Máquinas sincrónicas, 2016. FEIS-UNESP. Disponible en: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/slides-2016-cap5_eletrotecnica_fabioleao.pdf> consultado el: 20/02/2020.
- ELTON, L.L.A. COMMANDO ELÉTRICOS-PARTIDAS, 2014, Actas del XII Encuentro Científico Cultural Interinstitucional.
FRANCHI, C. M. Accionamientos eléctricos, Editora Érica Ltda, São Paulo, 2008.
- LOISELLE, R.; XU, Z.; VOLOH, I. Monitorización esencial de la salud del motor. Conferencia del Comité de la Industria Química y del Petróleo de IEEE, p. 1-5, Houston, TX, EE. UU., 2015.
- MACIEIRA, K. Estudio comparativo entre los métodos de enseñanza utilizados en los laboratorios de maquinaria eléctrica. Belo Horizonte: CEFET, 2016.
MAMEDE, F.J. Instalaciones eléctricas industriales. 6. ed. Río de Janeiro: Libros técnicos y científicos, 2001.
- MORAES, C.C. Ingeniería en automatización industrial. 2ª ed. Río de Janeiro: LTC, 2012.
- INSTRUMENTOS NACIONALES. Adquisición de datos. Disponible en: <<https://www.ni.com/data-acquisition/en/>>. Consultado: 27/02/2020.
INSTRUMENTOS NACIONALES. Qué es LabVIEW. Disponible en: <<https://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>>. Consultado el: 20/02/2020.
PEKELMAN, H; JR, A. G. La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería mecánica. COBENGE, Consolação, 2004.
ROSA, A.S. Simulación de un arrancador suave para impulsar motores de inducción, Goiânia, 2003.
- ROSSETO, R.G. Modelado computacional en simulink para análisis en el arranque directo de motores de inducción trifásicos. IFSP, 2015.
- TEIXEIRA, A. Aplicabilidad y diferencias entre convertidores y convertidores de frecuencia en plantas industriales con control de velocidad, Belo Horizonte, 2014.
- VILLAR, G, J. V. Generadores y motores DC (máquinas de corriente continua), Mossoró, 2006.
- GUDWIN, R. Aprendizaje activo. Disponible en: <<http://faculty.dca.fee.unicamp.br/gudwin/activelearning>> Consultado el: 26/08/2020