



Ingeniería Energética

ISSN: 1815-5901

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Madiedo Comendador, Rolando; Don Quevedo, Roberto
Automatización de los ensayos para determinar regulación de tensión por Potier en máquinas sincrónicas
Ingeniería Energética, vol. XLIII, núm. 1, 2022, Enero-Abril, pp. 71-78
Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329170676007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



APLICACIONES INDUSTRIALES

Automatización de los ensayos para determinar regulación de tensión por Potier en máquinas sincrónicas

Automation of the tests to determine regulation of tension for Potier in synchronous machines

Rolando Madiedo Comendador ^{1,*}, Roberto Don Quevedo ²

¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

²Empresa de Proyectos, Ingeniería y Arquitectura # 11, Camagüey, Cuba.

*Autor de correspondencia: rolandomadiedo@gmail.com

Recibido: 23 de noviembre de 2021

Aprobado: 8 de febrero de 2022

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional 

RESUMEN/ ABSTRACT

Los ensayos que se realizan a máquinas eléctricas necesitan de: toma de datos, su procesamiento y determinación de sus parámetros o comportamientos. Todo eso se puede automatizar, siendo más importante si se trata de procesos repetitivos. En el trabajo se automatizaron los ensayos de circuito abierto, cortocircuito y factor de potencia cero de una máquina sincrónica en lo que respecta a la obtención, introducción a un ordenador y procesamiento de los datos necesarios. Para ello se creó un sencillo hardware para obtener los datos y mediante una tarjeta de adquisición de datos y Lab Window introducirlos a un ordenador y mediante un software implementado en Matlab, determinar la regulación de tensión. En esto último se incluye un procedimiento para, en lugar de utilizar el método gráfico, realizarlo mediante un método analítico. El método empleado puede ser introducido en Laboratorios de Máquina Eléctricas sin la necesidad de cambiar el equipamiento existente.

Palabras clave: Generadores sincrónicos, regulación de tensión, método de Potier.

The tests that are carried out to electric machines need of: taking of data, their prosecution and determination of their parameters or performances. All that you can automate, being more important if it is about repetitive processes. In this work the open circuit, short circuit and zero power factor tests of a synchronous machine were automated in what concerns to obtaining data for determines the generator performance relative to its voltage regulation utilizing Potier method. It utilizes a very simple hardware based on an acquisition card in orde to introduce them to a computer and by means of a software implemented in Matlab, to determine the regulation of voltage. In order to simplify the calculations, an analytic method is used instead of the known graphical method. The proposed method can be introduced in the Electric Machines Laboratories without changing the existent equipment.

Keywords: Synchronous generators, Voltage regulation, Potier Method.

INTRODUCCIÓN

Hoy día, en el mundo la mayor cantidad de energía eléctrica es producida por medio de generadores sincrónicos. Para conocer la eficiencia, magnitudes de sus parámetros y sus características de funcionamiento de cualquier máquina eléctrica, normalmente es necesario someterla a determinados ensayos [1-3].

Cómo citar este artículo:

Rolando Madiedo Comendador, Roberto Don Quevedo. Automatización de los ensayos para determinar regulación de tensión por Potier en máquinas sincrónicas. 2022, vol. 43, n. 1, enero/abril. ISSN:1815-5901. Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

Pero realizarlos, en ocasiones, constituye solo el inicio de un proceso, pues después es necesario el procesamiento de los datos adquiridos, los que pueden ser de forma manual o auxiliándose del software. El desarrollo de la ciencia impone la automatización de los ensayos [4-6] y en ocasiones se usa como herramienta la simulación o modelación [7-8]; también en algunos trabajos se unen y complementan varios de ellos.

Es frecuente que en el procesamiento manual de los datos adquiridos en determinados ensayos se introduzcan errores por ser en ocasiones complejos o engorrosos y en ellos decaiga, como cuestión lógica, la atención que se presta al proceso de su realización. La utilización de software son herramientas extremadamente útil para muchas tareas diarias y es algo indispensable para las que son repetitivas, engorrosas o ambas cosas a la vez.

Por otro lado, la preparación técnica del personal puede ser suficiente para realizar las pruebas y tomar los datos que arrojan los mismos, pero no para procesarlos manualmente realizando los cálculos matemáticos, gráficos o ambos para determinar magnitudes de parámetros, características de comportamientos, etc.

En el presente trabajo se creó el hardware y software para procesar datos de los ensayos de vacío, cortocircuito y factor de potencia cero en una máquina sincrónica. Siempre constituye un aspecto importante en cualquier software la forma de la entrada de los datos; en este trabajo se ha elaborado un software en programación visual, para acometer esta acción, el que se describe más adelante.

Este trabajo tiene aplicación industrial y docente, es decir, en cualquier centro en que sea necesario realizar y procesar frecuentemente estas pruebas a máquinas sincrónicas, fundamentalmente para uso de profesores que tienen que comprobar resultados de cálculos de un alto número de alumnos que lo hicieron por el método manual como parte de su formación docente o de alumnos que necesitan utilizar los resultados de estos cálculos cuando el objetivo no es aprender a realizarlos manualmente.

Es de señalar que el PROCEDIMIENTO utilizado para usar método analítico en lugar de método gráfico, se puede extender a procesamiento de datos, matemáticos o gráficos, de cualquier equipo: eléctrico, mecánico, etc. En el trabajo se automatizan los ensayos de vacío, cortocircuito y factor de potencia de una máquina sincrónica respecto a obtención, introducción a un ordenador y procesamiento de los datos obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entrada de datos mediante tarjeta de adquisición de datos

Se utilizó una tarjeta de adquisición de datos PCL- 818 y las mediciones se visualizan a través de un programa realizado en lenguaje de programación Lab Window.

Características principales de la tarjeta de adquisición de datos PCL-818

Entre las características de la tarjeta de adquisición de datos podemos citar las siguientes:

Alto comportamiento, alta velocidad, multifunción con ganancia programable para máquinas IBM PC/XT/AT compatibles.

Características principales

1. Entradas analógicas: 16 simple terminal o 8 diferenciales.
2. Modos de disparo: Por programa y por pulso externo.
3. Posee una máxima velocidad de muestreo 100 KHz en modo DMA.
4. Entradas digitales TTL/DTL: 16 canales
5. Salidas digitales TTL/DTL: 16 canales.

Hardware utilizado

Conocidas las características de la tarjeta de adquisición de datos, se debe implementar un hardware que posibilite conocer las magnitudes necesarias para el procesamiento de las mediciones realizadas, o sea la realización de los objetivos planteados. Para la medición de las magnitudes de tensión, corrientes, potencias, velocidades, momentos etc. se debe implementar un esquema que entregue magnitudes de tensión proporcionales a las variables sometidas a medición. Además estas magnitudes de tensión tienen que estar en los rangos señalados de las entradas analógicas de la tarjeta utilizada, esto conlleva el empleo de algunas alternativas. La tarjeta se utilizó en forma Bipolar con un rango de entrada de ± 5 V.

En todas las corridas, para la medición de tensión se utilizaron transformadores de tensión, en tanto que para poder medir corriente se utilizaron resistencias conectadas en los secundarios de transformadores de corrientes. (Ver figura 1).

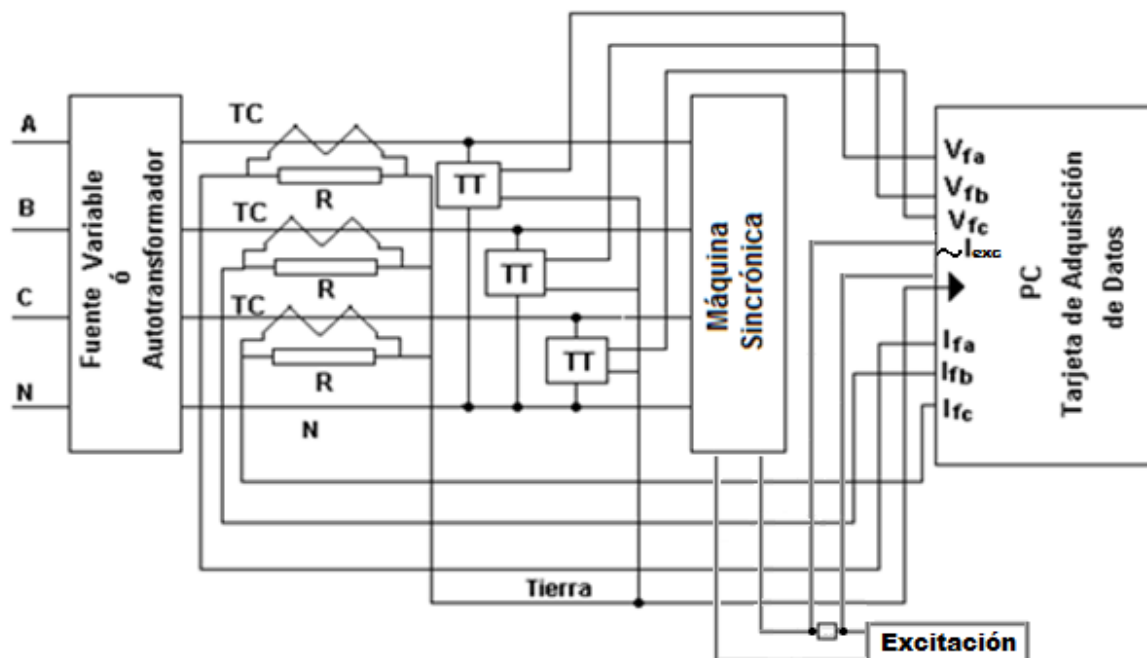


Fig. 1. Hardware utilizado.

Software para procesar los datos de la tarjeta de adquisición de datos

Las mediciones se visualizan a través de un programa realizado en el lenguaje de programación Lab Window.

Para la medición de las magnitudes de tensiones, corrientes, potencias, se debe implementar un esquema que entregue magnitudes de tensiones proporcionales a las variables sometidas a medición. Además estas magnitudes de tensiones tienen que estar en los rangos señalados de las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos empleada, esto conlleva al empleo de algunas alternativas.

La tarjeta se utilizó en forma Bipolar con un rango de entrada de ± 5 V.

En todas las corridas, para la medición de tensión se utilizó un transformador de tensión (220/5 V) que posibilita tener en el secundario valores de tensión menores o iguales que los permitidos; en tanto que para poder medir corriente se utilizó una resistencia conectada en el secundario de los transformadores de corrientes determinando así las magnitudes de tensión entre sus extremos asegurando que la caída de tensión en ella no exceda los valores de tensión permitidos.

Los transformadores de corriente utilizados presentan distintas relaciones de transformación con diferentes valores de entrada y 5 A en la salida para cualquier relación de transformación, las resistencias utilizadas poseen un valor de 1Ω , luego variando la relación de transformación en caso necesario se puede garantizar los requerimientos de las entradas.

En conclusión, variando las relaciones de transformación de los transformadores de corriente y de tensión se pueden ensayar máquinas eléctricas de corriente alterna de diferentes magnitudes de potencia y obtener por el hardware y software desarrollado magnitudes equivalentes de tensión, corriente y potencia.

En la figura 1, se muestra el hardware utilizado.

Es de señalar que el hardware mostrados se puede utilizar en máquinas asíncronas eliminando la señal proporcional a la corriente de excitación.

Medición de Tensión, Corriente y Potencia Activa

Se muestrean las señales con un intervalo de 0.001ms, y seguidamente para la determinación de sus magnitudes efectivas, por definición se emplea la siguiente ecuación (1):

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K V^2 \cdot a} \quad I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K I^2 \cdot a_i} \quad P_a = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K V \cdot I \quad (1)$$

donde:

- K..... Cantidad de mediciones que se toman.
 V..... Tensión instantánea en cada medición (K).
 I..... Corriente instantánea en cada medición (K).
 a..... Relación de transformación del transformador de tensión.

Las mediciones por software, se realizan con ayuda de paneles. Una muestra de ellos se representan a continuación: Ver figura 2.

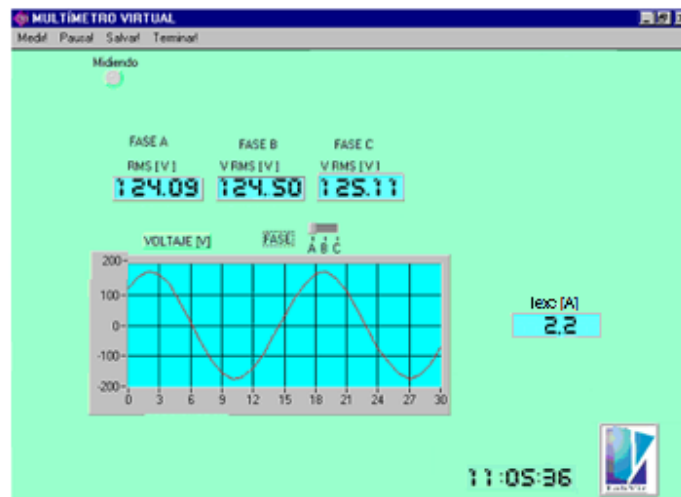


Fig. 2. Ejemplo de Panel utilizado para visualizar magnitudes y para guardar las deseadas.

Una breve explicación del funcionamiento de los paneles mostrados anteriormente en las Fig. 2. se dará a continuación:

Los paneles utilizados, cuentan con una serie de menús que operan de la siguiente forma:

Medir: Al hacer clic en este botón se comenzará a visualizar las mediciones de las magnitudes que aparecen en los paneles.

Pausa: Este menú posibilita al usuario realizar una pausa en el momento deseado.

Salvar: Permite al usuario salvar la medición en un fichero con extensión .txt.

Terminar: Permite al usuario terminar con las mediciones en el panel específico en que se realizan las mediciones.

Todos los paneles poseen en común varios display, los cuales muestran los parámetros sometidos a medición indicados en las figuras. El panel de la máquina trifásica, se diferencia además, porque posee un interruptor encargado de visualizar en los gráficos, la forma de onda de tensión y corriente de la fase según se seleccione en el mismo.

Respecto al software utilizado, es de señalar que en la solución de varios problemas de máquinas eléctricas se utilizan soluciones gráficas, las que presentan grandes desventajas comparadas con las soluciones analíticas.

En este trabajo, cuando se utiliza un método que tradicionalmente emplea soluciones gráficas, esto se convierte a una solución analítica que es más exacta y no necesita instrumentos especiales para darle solución.

Determinación de la regulación de tensión en generadores síncronos por el Método de Potier.

Al analizar el trazado del triángulo de Potier para el cálculo de la regulación de tensión de un generador síncrono, se denota que se pueden sustituir los procesos gráficos por procesos analíticos y obtener, fundamentalmente más exactitud.

El Método de Potier es muy efectivo para el cálculo de la regulación de tensión, fundamentalmente si se trabaja con alternadores síncronos de polos lisos y posee la gran ventaja que se realizan tres pruebas con la máquina en condiciones nominales y con ello se puede calcular la regulación de tensión para cualquier magnitud de potencia y factor de potencia en que se desee calcular la regulación de tensión. Como es conocido, este método necesita la realización a la máquina síncrona de tres ensayos previos, esto es:

- Ensayo de vacío.
- Ensayo de cortocircuito del inducido.
- Ensayo con factor de potencia cero a tensión nominal.

Realizado el ensayo de vacío, la expresión analítica de la curva de saturación es posible obtenerla por cualquier método de los conocidos. Al ser conocida la tensión nominal de la máquina y el valor de la corriente de excitación de la prueba con factor de potencia cero a tensión nominal, tendremos las coordenadas del punto A (Ver figura 3)

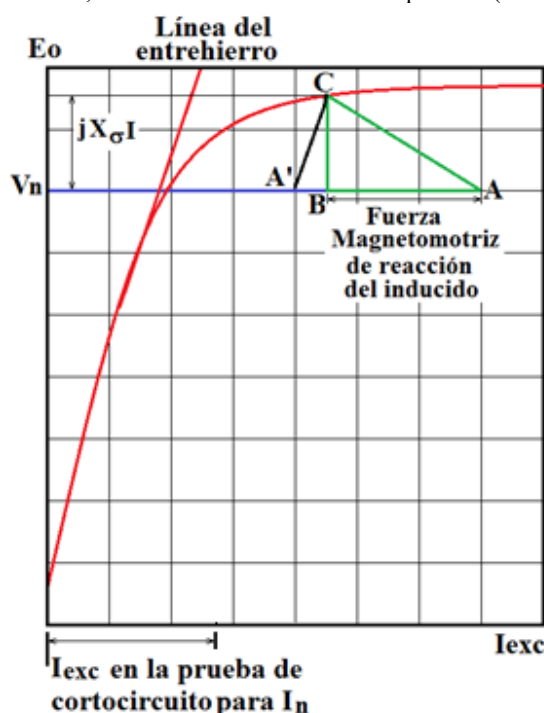


Fig. 3. Triángulo de Potier.

El punto A' tendrá una ordenada igual a la del punto A menos el valor de la corriente de excitación en la prueba de cortocircuito y una abscisa igual a la tensión nominal de la máquina.

Si se conoce la curva de saturación en vacío, es posible determinar la ecuación de la recta del entrehierro y por lo tanto su pendiente.

Se podrá determinar la ecuación de la línea con la pendiente de la recta del entrehierro y que pase por el punto A'. La intersección de esa recta con la curva de saturación en vacío determina el punto C y serán conocidas sus coordenadas.

El punto B tendrá como abscisa la del punto C y la ordenada del punto del punto C.

Los puntos A B C constituyen el triángulo de Potier para condiciones de trabajo nominales del alternador.

La abscisa del punto A menos la abscisa del punto B será la magnitud de la reacción del inducido de la máquina para condición de trabajo nominal y la ordenada del punto C menos la ordenada del punto B será la caída de tensión por la reactancia de dispersión de la máquina trabajado en condiciones nominales.

Para determinar la regulación de tensión de la máquina trabajando con una potencia menor que la nominal se tendrá que tener en cuenta, primeramente que tanto la reacción de armadura como la caída de tensión por reactancia de dispersión son proporcionales a la magnitud de la corriente, por lo que los valores de ambas magnitudes determinadas por el triángulo de Potier se deben multiplicar por el por ciento de la corriente que tiene la máquina respecto a la corriente nominal. Vea figura 4.

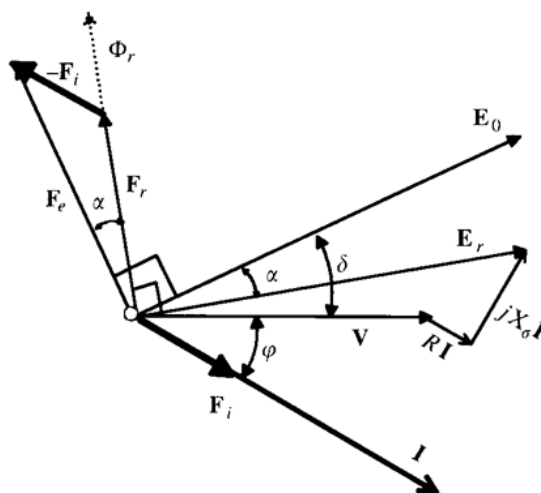


Fig. 4. Diagrama fasorial de la máquina sincrónica.

En la Figura 4:

V – Tensión en los terminales del alternador.

RI – Caída de tensión en la resistencia de armadura (si la resistencia de armadura no es despreciable frente a la reactancia de dispersión).

$jX_\sigma I$ – Caída de tensión en la reactancia de dispersión.

E_r – FEM resultante de la suma vectorial de la tensión terminal y las caídas de tensión por la resistencia de armadura y por reactancia de dispersión.

E_0 – FEM inducida en vacío en el devanado del inducido del alternador.

ϕ – Ángulo de potencia con la máquina trabajando con la potencia y factor de potencia al que se desea calcular la regulación de tensión.

α – Ángulo entre E_r y E_0 .

δ – Ángulo de potencia.

I – Corriente del devanado del inducido que entrega el alternador.

F_i – Fuerza magnetomotriz de reacción del inducido producida por la corriente I (en fase con ella).

F_e – Fuerza magnetomotriz producida por la corriente de excitación (90 grados en adelante respecto a E_0).

F_r – Fuerza magnetomotriz resultante de la suma vectorial de F_e y F_i (90 grados en adelante respecto a E_r).

Φ_r – Flujo producido por la FMM F_r (ambos en fase).

Pero también se tendrá que tener en cuenta que la caída de tensión por reactancia de dispersión y la reacción del inducido son magnitudes vectoriales que dependen del factor de potencia al que trabaje la máquina, si se calcular la regulación de tensión para un factor de potencia diferente al nominal, sobre la base del diagrama fasorial (Ver figura 4), se observa que al determinar el valor de E_r (mediante magnitudes vectoriales) por la ecuación (2):

$$\overline{E_r} = \overline{V} + \overline{X_\sigma I} = V + X_\sigma I \angle 90^\circ \pm \cos^{-1} \phi \quad (2)$$

Se tiene en cuenta el factor de potencia al que se desea calcular la regulación de tensión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados de este trabajo se puede plantear:

- Se logró un hardware extremadamente sencillo y que puede reproducirse en cualquier laboratorio de máquinas eléctricas, pues los elementos de que cuenta son de fácil adquisición.
- Los datos obtenidos en los ensayos se introducen al ordenador mediante una tarjeta de adquisición de datos y del software Lab Windows.

La velocidad de la tarjeta de adquisición de datos no es de mucha importancia, pues en los ensayos que tradicionalmente se les realiza a las máquinas eléctricas la velocidad de cambio de los valores de las magnitudes que se miden es relativamente baja y prácticamente cualquiera de las que existe en el mercado la cumple.

En el trabajo se utilizó el software Lab Windows, pero igual se puede utilizar el software Lab View.

- Se logró en el ensayo realizado que utiliza procedimientos gráficos, convertirlos en procedimientos analíticos, lo que da la posibilidad de obtener resultados más exactos, de forma menos engorrosa y la no necesidad de instrumentos especiales para el procedimiento gráfico.

Al comparar el valor obtenido al calcular la Regulación de Tensión por el Método del triángulo de Potier mediante el procedimiento manual tradicional y mediante la forma planteada en el trabajo, que comprende la forma adquirir los datos de los ensayos, de introducirlos al ordenador y su procesamiento, incluyendo la conversión de métodos gráficos a métodos analíticos se observa la validez del método planteado, además, se debe recordar que en los métodos gráficos son más factibles de cometer errores en ellos que en los métodos analíticos. Ver tabla 1.

Tabla 1.- Resultados obtenidos por el cálculo manual y por el método automatizado.

Forma de cálculo	Valor obtenido [%]
Manual	33,8
Automatizado	32,2

CONCLUSIONES

Se presenta una forma sencilla y económica de lograr un hardware para obtener los datos en cada ensayo.

Se presenta la posibilidad de sustituir el procedimiento gráfico de los datos por procedimientos analíticos.

Los resultados obtenidos con todo lo planteado anteriormente fueron satisfactorios como se observa en la Tabla 1.

Una ventaja de los métodos planteados es que con el proceder y equipamiento utilizado, se pueden acometer un gran número de ensayos de máquinas eléctricas Sincrónicas y Asincrónicas, si no son de una gama muy amplia de potencias y tensión nominal, realizando muy pocas variaciones.

REFERENCIAS

- [1] MARTÍNEZ Román J. A., *et al.* "Ensayos de máquinas eléctricas". Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2016, 2 ed. [Consultado el 8 octubre 2021] Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZ7oPEyon2AhXVSTABHcsIC9oQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fgdocs.upv.es%2Falfresco%2Fservice%2Fapi%2Fnode%2Fcontent%2Fworkspace%2FSpacesStore%2F85c0f73b-03df-40e1-92c9-86446146aa11%2Ftoc_4109_02_02.pdf%3Fguest%3Dtrue&usq=AOvVaw01GmiuNLXG9OrGPiXbKrdB
- [2] LOZANO Rogado J., *et al.* "Sistema automático de medidas eléctricas y de par en bancos de motores de laboratorio". CEAUTOMATICA. [Consultado el 8 octubre 2021] Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi4kozWyon2AhUfRjABHfC8Cb4QFnoECAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fintranet.ceautomatica.es%2fold%2Factividades%2Fjornadas%2FXXIX%2Fpdf%2F263.pdf&usq=AOvVaw2VbbRQjHnv1-44RHev0zMn](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi4kozWyon2AhUfRjABHfC8Cb4QFnoECAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fintranet.ceautomatica.es%2Fold%2Factividades%2Fjornadas%2FXXIX%2Fpdf%2F263.pdf&usq=AOvVaw2VbbRQjHnv1-44RHev0zMn)
- [3] SERRANO Andrés. "Prácticas de Corriente alterna y máquinas eléctricas con Labview". Universidad de Valladolid, España. [Consultado el 20 septiembre 2021] Disponible en: <https://www.ni.com/es-mx/innovations/case-studies/19/ac-practices-and-electrical-machines-with-labview.html>

- [4] OCHOA Vega M., *et al.* "Automatización y monitorización de una instalación de ensayo de motores". Jornadas de Automática. Valladolid, España, 2017, vol. 38. DOI: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497749.0138> [Consultado el 18 julio 2021] Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi3qp7AzIn2AhXhsDEKH WdhDL4QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fruc.udc.es%2Fdspace%2Fbitstream%2Fhandle%2F2183%2F25949%2F2017_Ochoa_Vega_Automatizacion_y_monitorizacion_de_una_instalacion_de_ensayo_de_motores.pdf&usg=AOvVaw14tKtYK-k8pophO0byyZAK
- [5] AGOTEGARAY J. C., *et al.* "Automatización de un banco de generadores eléctricos para aplicaciones en energía eólica de baja potencia". Revista elektron, Buenos Aires, Argentina, 2020, vol. 10, n. 10, p. 20. [Consultado el 21 junio 2021] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340928848_automatizacion_de_un_banco_de_generadores_electricos_para_aplicaciones_en_energia_eolica_de_baja_potencia
- [6] CÁCERES Chiquillo J. J., *et al.* "Automatización del banco didáctico del laboratorio de Máquinas Eléctricas". Escuela Especializada en Ingeniería (ITCA-FEPADE), El Salvador, 2012. [Consultado el 20 julio 2021] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10972/428>
- [7] FERNÁNDEZ Lukoki SJ, *et al.* "Programa de simulación de Máquinas eléctricas rotatorias en Matlab/simulink". Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2018. [Consultado el 24 septiembre 2021] Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiC-czjz4n2AhWnSTABHkfAWQQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.uclv.edu.cu%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F10007%2F5%25C3%25A9rgio%2520Joelson%2520Fernandes%2520Lukoki.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dn&usg=AOvVaw3y_BaFzjNuXla6d-3f_KwL
- [8] KADYROV I., *et al.* "Automatic Voltage Regulation System Construction for Synchronous generator of a small hydro power plant using thyristor pathogens". E3S Web of Conferences, 2020. [Consultado el 24 septiembre 2021] Disponible en: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/38/e3sconf_hsted2020_01036.pdf
- [9] SPOLJARIC Z., *et al.* "Synchronous Generator Modeling Using Matlab". University of Osijek, Croatia. [Consultado el 10 enero 2021] Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDg9G-0Yn2AhV6TTABHch7A0cQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fbib.irb.hr%2Fdatoteka%2F475823.Final_per-Spoljaric_Miklosevic_Jerkovic-SIP-2010.pdf&usg=AOvVaw2CoVwA-RtR62p9F26YNBfO
- [10] BACHILLER Soler A, *et al.* "Diseño de un banco de ensayos automatizados para motores brushless". Revista Dyna, Universidad de Sevilla, España. Agosto 2011, vol. 86, p. 418-423. [Consultado el 10 enero 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.6036/4019>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Rolando Madiedo Comendador: <https://orcid.org/0000-0002-4381-6590>

Diseño de la investigación, recolección de datos y modelación matemática. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Roberto Don Quevedo: <https://orcid.org/0000-0003-0592-2680>

Recolección de datos y modelación matemática. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.