

# **DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN EL ESTATOR DE UN GENERADOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES**

*DEVELOPMENT OF A DIAGNOSIS TEST RIG OF STATOR FAILURES IN A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR*

**José Antonio Álvarez Salas**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México  
*jaas@uaslp.mx*

**Francisco Javier Villalobos Pina**

Tecnológico Nacional de México / IT de Aguascalientes, México  
*francisco.vp@aguascalientes.tecnm.mx*

**Mario Arturo González García**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México  
*mgonzale@uaslp.mx*

**Ricardo Álvarez Salas**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México  
*ralvarez@uaslp.mx*

**José Alejandro Morones Alba**

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México  
*jose.ma@aguascalientes.tecnm.mx*

**Amparo Rodríguez Cobos**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México  
*amparo.rodriguez@uaslp.mx*

**Recepción:** 24/noviembre/2023

**Aceptación:** 26/diciembre/2023

## **Resumen**

En este trabajo se detalla el desarrollo de un banco de pruebas, para el diagnóstico de fallas eléctricas en la armadura de un generador síncrono de imanes permanentes (PMSG, por sus siglas en inglés). El PMSG se modificó en su devanado de estator introduciendo varias derivaciones para tener la capacidad de generar fallas de cortocircuito (c.c.) entre pocas vueltas de manera controlada. Se describe el montaje experimental y un conjunto de pruebas basadas en los voltajes

y las corrientes del generador modificado a diferentes velocidades de operación. Adicionalmente, se realizaron pruebas de resistencias en frío de los devanados con las derivaciones en dos de las fases modificadas del generador para verificar la condición operativa de la máquina. El propósito de analizar el cambio en la resistencia de cada fase ante la presencia de una falla de c.c. validó la correcta modificación de las bobinas con las derivaciones que conforman los devanados de estator del generador. Los registros de las lecturas de las resistencias en frío en presencia del c.c. mostraron la proporcionalidad que guarda con las derivaciones de cada fase modificada. Las fases que no se modificaron mantuvieron su valor de resistencia durante las diferentes conexiones de las derivaciones.

**Palabras Clave:** Banco de pruebas, Cortocircuito, Estator, Fallas, Generador síncrono.

## **Abstract**

*This paper details the development of an electric fault diagnosis test rig based on a permanent magnet synchronous generator (PMSG). The stator winding of the PMSG was modified, introducing several taps to short-circuit the stator coils in a controlled manner. The experimental setup and some tests using the generator voltages and currents at different speeds are described. Cold resistance tests were also carried out on the windings with the derivations in two phases of generator. The purpose of analyzing the change in the resistance of each phase in the presence of a short-circuit fault validated the correct modification of coils with the derivations that make up the stator windings of generator. The records of the cold resistance readings in the presence of short-circuit indicated the proportionality that it maintains with the derivations of each modified phase. The phases that were not modified maintained their resistance value during the different connections of branches.*

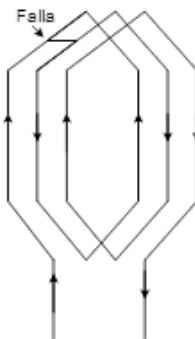
**Keywords:** *Fault, Short-circuit, Stator, Synchronous generator, Test rig.*

## **1. Introducción**

El proceso de deterioro del aislamiento en el devanado del estator de una máquina eléctrica rotatoria (generador o motor) lo ocasiona la combinación de una

sobrecarga térmica, movimiento de las bobinas y contaminación en el devanado. La degradación y envejecimiento del aislamiento del devanado eventualmente conduce a fallas de corto circuito (c.c.) entre vueltas en las cuales circulan grandes corrientes de falla en los lazos que se crean por ésta [Halder, 2020].

En la figura 1 se muestra un esquema que ilustra la presencia de una falla entre vueltas de una misma bobina. Esta falla genera trayectorias paralelas a las vueltas que conforman la bobina, lo que conlleva a la modificación de los parámetros resistivos e inductivos de la fase donde se encuentra la falla. Las dos corrientes, la corriente de la fase y la debida a la falla, producen fuerzas magnetomotrices opuestas, por lo tanto, la falla tiene un efecto acumulativo en las vueltas cercanas a la falla. Por otra parte, cuando un c.c. ocurre, el devanado de la fase tiene menos vueltas y, por lo tanto, menos fuerza magnetomotriz. Además, la fuerza magnetomotriz de la corriente de falla es opuesta a la fuerza magnetomotriz del devanado de la fase [Vilhekar, 2016].



*Fuente: elaboración propia.*

Figura 1 Bobina con algunas vueltas en cortocircuito.

Las fallas en el estator se pueden clasificar de acuerdo con [Kumar, 2019]:

- Fallas en el devanado o bobinas del estator.
- Fallas en las laminaciones del núcleo del estator.

El mayor porcentaje de fallas en el devanado de estator se genera en sus bobinas. Las laminaciones del núcleo del estator sólo se pueden dañar por una reducción en el entrehierro debido a un desbalance mecánico que afecte el espacio entre el rotor y el estator. Las fallas en el devanado o bobinas se clasifican como:

- C.c. en las vueltas de una misma fase.
- C.c. entre dos fases (falla de fase a fase).
- C.c. entre bobinas de la misma fase (falla de bobina a bobina).
- Circuito abierto.
- Bobina aterrizada.

La falla de vuelta a vuelta es el inicio de las otras fallas que se presentan en el devanado. Sin embargo, una falla vuelta a vuelta es difícil de identificar debido a la naturaleza destructiva de las condiciones finales de ésta [Lee, 2019].

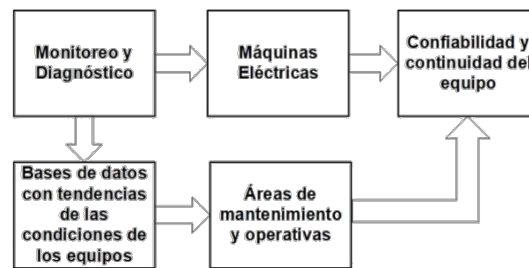
A pesar de que no hay datos experimentales que indican el tiempo que tarda el aislamiento en fallar entre las vueltas de una bobina, es probable que el cambio no sea instantáneo. Por lo que la detección temprana de una falla entre vueltas durante la operación debería eliminar la posibilidad de un daño mayor entre las bobinas adyacentes del devanado de la máquina eléctrica [Penman, 2000].

Por otra parte, el envejecimiento térmico, provoca que el sistema de aislamiento sea vulnerable a otros esfuerzos que contribuyen a la falla en el devanado. Una vez que el sistema de aislamiento se ha dañado no logrará resistir los esfuerzos dieléctricos, mecánicos y ambientales que puedan ocurrir [Jiang, 2009].

El aumento de la temperatura por tiempos prolongados afecta severamente el aislamiento de los devanados de la máquina y, por consiguiente, la reducción de su vida útil. Los PMSGs para aplicaciones en turbinas eólicas y turbinas hidráulicas de baja potencia son máquinas que pueden ser muy compactas y que, generalmente, no utilizan un sistema de ventilación o enfriamiento, además de operar a velocidad variable. En condiciones normales de operación, la alta densidad de potencia de este tipo de máquinas puede provocar un aumento considerable de temperatura en algunos componentes críticos, como los imanes y los devanados [Kumar, 2017].

Se han desarrollado técnicas de diagnóstico para máquinas síncronas operando como motor o generador, diagnosticando la parte eléctrica o mecánica e, inclusive, la presencia de fallas en su convertidor estático [Halder, 2020]. Las fallas incipientes son las más difíciles de detectar, por lo que desarrollar técnicas de diagnóstico eficaces en las máquinas síncronas ha sido una tarea incesante en los últimos años

[Zhang, 2021]. Las técnicas de monitoreo no invasivas no requieren cambio en el diseño del sistema original [Heno, 2014]. Para esta tarea se desarrollan plataformas que permitan monitorear variables como: voltaje, corriente, potencia, flujo magnético, temperatura, vibraciones mecánicas, velocidad, par y señales acústicas entre otras. La información que se obtenga de estas variables una vez procesadas y clasificadas permitirá generar registros con tendencias de la condición de las máquinas eléctricas, como se indica en la figura 2. Con la información sobre la condición de las máquinas el personal operativo tomará las decisiones sobre el nivel de confiabilidad en los equipos que accionan [Gritli, 2017].



*Fuente: elaboración propia.*

Figura 2 Sistema de monitoreo y diagnóstico aplicado a máquinas eléctricas.

La construcción de los bancos de pruebas para el monitoreo y diagnóstico de máquinas eléctricas y sus convertidores, son fundamentales para evaluar las señales eléctricas y/o mecánicas de la máquina que serán procesadas y analizadas por las técnicas de diagnóstico para determinar el nivel de la falla. En general los bancos de pruebas operan bajo escenarios controlados en las mediciones y el procesamiento de sus señales. Las máquinas que se incorporan en los bancos requieren adecuaciones en sus componentes eléctricos o mecánicos que permitan generar una buena aproximación a la falla [Riera-Guasp, 2015].

En [Gyftakis, 2023] se analiza un generador síncrono de imanes permanentes con devanados concentrados, en el que a través de un modelo y un banco de pruebas se detecta la desmagnetización en los imanes de la máquina. Por medio del monitoreo de las corrientes transitorias del generador, a través de un procesamiento de las señales en tiempo-frecuencia se diagnostica la desmagnetización en la máquina.

En [Wang, 2020], se describe un banco de pruebas para una máquina síncrona de imanes permanentes para el diagnóstico de fallas mecánicas en rodamientos. A través de vibraciones mecánicas y la medición complementaria de las corrientes, se generan señales características que son clasificadas con una red neuronal que determina la severidad de la falla en los rodamientos.

En [Kia, 2014] se desarrolló un banco de pruebas para diagnosticar fallas eléctricas en aerogeneradores. A partir de un sistema de adquisición en tiempo real y por medio de un prototipo de un generador de inducción doblemente alimentado, se procesan señales de corriente para diagnosticar la presencia de cortocircuitos entre vueltas del devanado de estator.

Dentro de las técnicas de diagnóstico aplicadas a máquinas eléctricas se encuentra la estimación paramétrica, la cual permite determinar el valor de los parámetros eléctricos y mecánicos del motor o generador. La estimación de parámetros se puede implementar mientras la máquina está conectada a la alimentación o totalmente desconectada de ésta. Este enfoque permite dar una valoración de los parámetros, los cuales pueden constituir un primer indicativo de la condición de la máquina. Estas técnicas de monitoreo y diagnóstico se han combinado con técnicas de predicción o control dependiendo de la aplicación o tipo de máquina que se opere [Liu, 2013]. En este trabajo se describe el desarrollo de una plataforma experimental basada en un PMSG, el cual se modificó en su estator para producir fallas de c.c. entre vueltas de sus fases. Por medio de la medición de la resistencia en frío para varias configuraciones del devanado, utilizando ciertas derivaciones de éste, se valora la condición del generador una vez modificado, como primera etapa en la conformación del banco de pruebas.

## **2. Métodos**

Para el desarrollo y construcción del banco de pruebas para el diagnóstico de fallas eléctricas basado en un PMSG se realizaron las siguientes actividades:

- Montaje y fijación del PMSG y motor de c.d. (motor primario).
- Acoplamiento de las dos máquinas mediante bandas y poleas, para el accionamiento electromecánico.

- Interconexión de un convertidor de c.d.-c.d. con el motor de c.d. para controlar la velocidad.
- Modificación del devanado de estator del PMSG.
- Análisis de las formas de onda del PMSG una vez modificado.
- Pruebas de resistencia en frío en las fases del PMSG, utilizando las derivaciones del devanado del estator que permiten producir c.c.

Los valores nominales del PMSG se indican en la tabla 1 y los datos de construcción de la estructura del devanado de estator en la tabla 2. Estos valores fueron obtenidos una vez que inició el proceso de modificación del devanado de estator [Ortiz, 2021].

Tabla 1 Valores nominales del PMSG.

Potencia (W)	Voltaje (V)	Conexión trifásica	Velocidad (rpm)	Tipo
400	12	Y	400	imán permanente

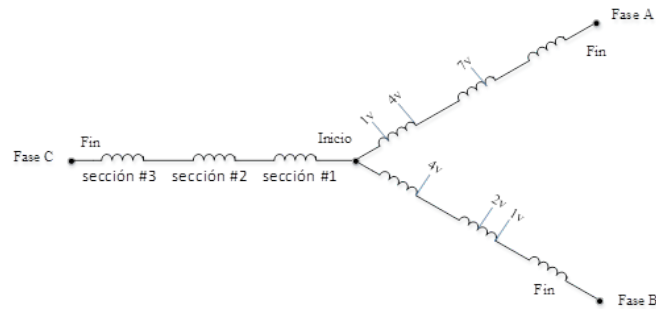
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2 Valores de la estructura del devanado de estator.

número de ranuras	Paso de bobina (ranuras)	número de bobinas/fase	número de vueltas/bobina	Calibre de conductor	Tipo de devanado
36	4	12	18	19	ondulado/doble capa

Fuente: elaboración propia.

El PMSG cuenta con derivaciones en dos de las tres fases del devanado de estator, como se indica en la figura 3. Para reproducir los c.c. momentáneos entre vueltas de una de las bobinas que pertenecen a esa fase, se construyeron tres secciones de bobinas en cada fase del generador. Del total de 12 bobinas de 18 vueltas por fase se dividieron en 4 bobinas por sección. Considerando el total de vueltas de cada una de las fases, el mínimo porcentaje de falla es de 0.46% y el máximo es de 3.24%, respecto al total de las vueltas de la fase. En la tabla 3 se indican las derivaciones por fase y el número de vueltas que se puede poner en c.c. con la derivación. A partir de estas configuraciones se puede realizar una combinación en cada bobina de la misma fase o entre fases para generar fallas en el PMSG que modifiquen las señales de voltaje y corriente. La fase C no tiene derivaciones.



Fuente: elaboración propia.

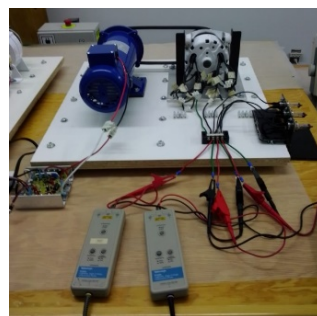
Figura 3 Estructura del devanado de estator del PMSG con las derivaciones en las fases.

Tabla 3 Derivaciones en las fases del PMSG.

Fase	Número de derivación	Número de vueltas c.c.	Fase	Número de derivación	Número de vueltas c.c.
A	1	1	B	1	1
	2	1		2	1
	3	4		3	2
	4	4		4	2
	5	7		5	4
	6	7		6	4

Fuente: elaboración propia.

Para realizar las pruebas de voltaje y corriente en el PMSG, se le acopló un motor de c.d. a través de una banda y dos poleas. La figura 4 muestra el acoplamiento del sistema generador-motor. Estas pruebas se realizaron antes de la modificación del generador y una vez modificado, con el propósito de verificar que el rebobinado del devanado de estator haya quedado construido correctamente.



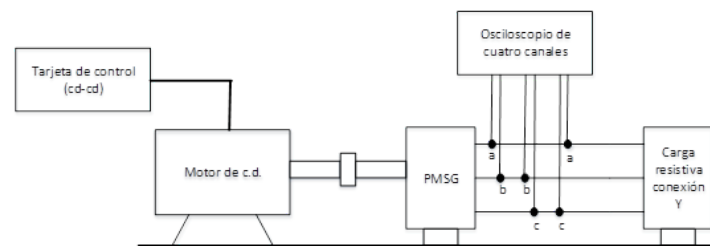
Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Montaje experimental.

La adquisición de las señales de voltaje y corriente se realizó con un osciloscopio de cuatro canales, con tres sondas diferenciales de voltaje y una sonda de corriente.



La velocidad del motor de c.d. se modificó con la tarjeta de control con lo que, a su vez, se modificó la velocidad del PMSG. La figura 5 presenta el diagrama de bloques de los elementos empleados en las pruebas del PMSG, que se muestran en el montaje experimental (Figura 4). El devanado de estator del generador se encuentra conectado en estrella, así como la carga resistiva. Las resistencias empleadas en cada una de las fases del generador tienen un valor nominal de:  $1 \Omega @ 400 \text{ W}$ .



Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Diagrama a bloques del montaje experimental.

Dentro de las pruebas adicionales a realizar en el generador, se procedió con las mediciones de resistencia en frío de fase a neutro y de fase a fase. En la tabla 4 se indican las mediciones en condiciones simétricas de las resistencias del PMSG.

Tabla 4 Resistencias en las terminales del PMSG.

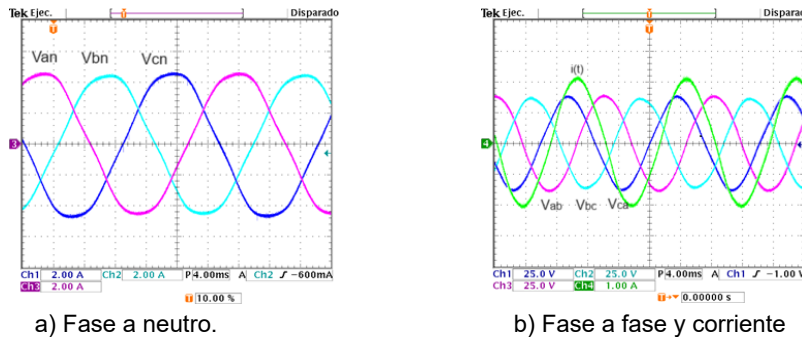
Valores de resistencias de fase ( $\Omega$ )		Valores de resistencias de fase a fase ( $\Omega$ )	
Fase A	1.0	Fases A-B	1.8
Fase B	1.0	Fases B-C	1.8
Fase C	1.0	Fases C-A	1.8

Fuente: elaboración propia.

### 3. Resultados

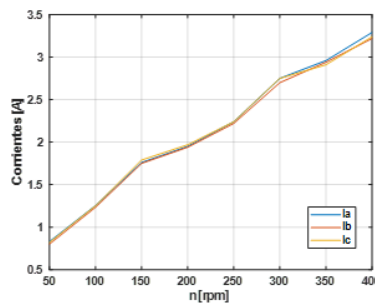
Una vez modificado el devanado de estator del PMSG, se procedió a realizar pruebas de voltaje y corriente para verificar la condición electromagnética de la máquina. Debido a que el PMSG fue modificado en la unión de las fases, se pudo tener acceso al neutro para realizar mediciones de fase. La figura 6a muestra los voltajes de fase del PMSG a la velocidad de 400 rpm. Los voltajes fase a neutro se encuentran equilibrados. La figura 6b muestra los voltajes fase a fase del generador y una señal de corriente del PMSG. Existe un equilibrio en las señales medidas.

Generalmente el PMSG opera a diferentes velocidades, ya que se utiliza como aerogenerador o en turbinas hidráulicas donde su velocidad es variable. Se realizaron pruebas de corriente en diferentes velocidades como se indica en figura 7. En estas mediciones se observa un equilibrio entre las corrientes medidas.



Fuente: elaboración propia.

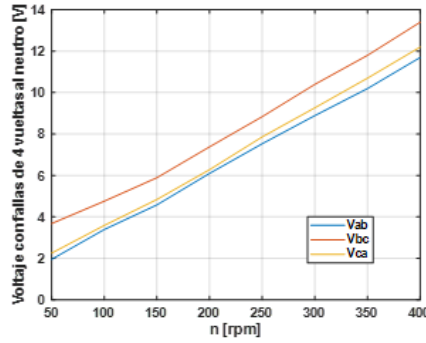
Figura 6 Voltajes del PMSG.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Corrientes del PMSG a velocidad variable.

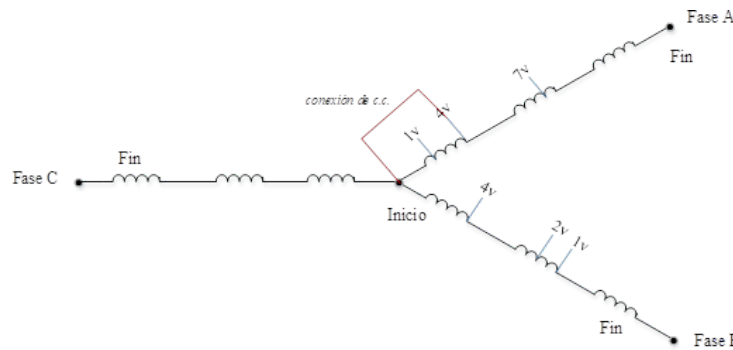
Cuando ocurre un c.c. en un cierto número de vueltas en una fase, se produce un desbalance en los voltajes de fases del PMSG ocasionando que las amplitudes cambien. En la figura 8 se muestra el comportamiento de los voltajes ante diferentes cambios de velocidad con una falla de cuatro vueltas al inicio de la fase A, dos tensiones se modifican al tener de forma compartida la fase A. En la etapa de pruebas al PMSG, se procedió a la medición de la resistencia en frío en las terminales del generador realizando diversas combinaciones con las derivaciones de las fases A y B del devanado de estator. Como referencia se toman los valores en condiciones simétricas de la tabla 4, para verificar el comportamiento ante la presencia del incremento o decremento de las vueltas en c.c. de la fase.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Voltajes fase a fase del PMSG con una falla de cuatro vueltas de la fase A.

La figura 9 muestra la estructura del devanado con un c.c. entre el inicio de la fase y la derivación de cuatro vueltas. Las combinaciones del número de vueltas que se podrían tener al poner en c.c. cada derivación con el inicio de la fase, tabla 5.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Devanado de estator con vueltas en c.c. con respecto al inicio de la fase A.

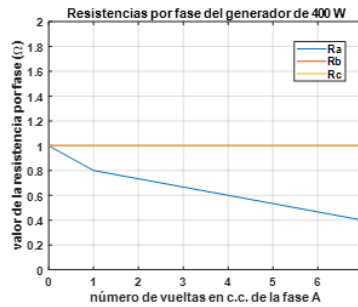
Tabla 5 Número de vueltas en c.c. de la fase A.

0	Sin c.c.	0 vueltas
1	c.c. 1v-inicio	1 vuelta
2	c.c. 4v- inicio	4 vueltas
3	c.c. 7v-inicio	7 vueltas

Fuente: elaboración propia.

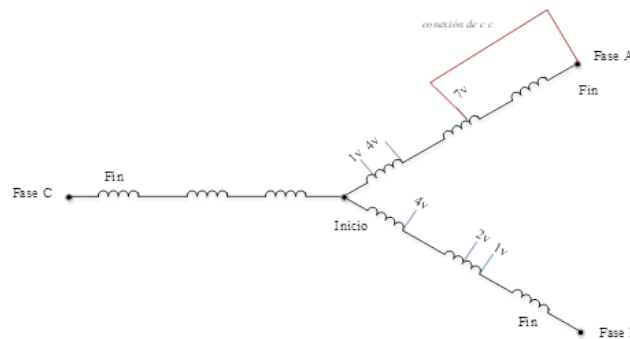
La figura 10 muestra las gráficas de los valores de las resistencias por fase, las cuales descienden a medida que el número de vueltas en c.c. se incrementa. La estructura del devanado con un c.c. entre el final de la fase y la derivación de 7 vueltas, figura 11. La figura 12 muestra el comportamiento de la resistencia de las fases al combinar las tres derivaciones que tiene la fase A. Se puede observar que

a medida que la derivación utilizada en el c.c. está más cerca del extremo, la resistencia aumenta; ya que con respecto al final de la fase el número de vueltas que se ven involucradas en el c.c. va disminuyendo. Esto es, la derivación de una vuelta conduce a una mayor cantidad de vueltas en c.c. que la derivación de siete vueltas con respecto al final de la fase A.



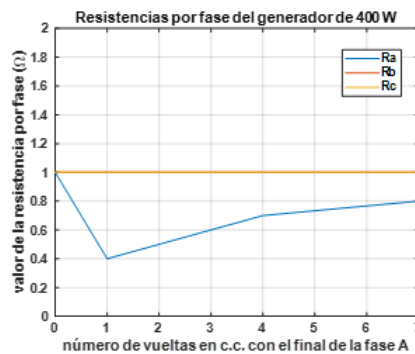
Fuente: elaboración propia.

Figura 10 Medición de las resistencias con vueltas en c.c. respecto al inicio de la fase A.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11 Devanado de estator con vueltas en c.c. con respecto al final de la fase A.



Fuente: elaboración propia.

Figura 12 Medición de las resistencias con vueltas en c.c. respecto al final de la fase A.

En la figura 13 se muestra la estructura del devanado con un c.c. entre derivaciones de la misma fase. La combinación entre estas derivaciones puede aportar menor número de vueltas al c.c. de la fase. En la figura 14 se presentan las gráficas del cambio de las resistencias de fases en el PMSG. La posibilidad que se pudieran generar fallas en los devanados de una fase es mayor cuando se ponen en c.c. vueltas internas del generador. El comportamiento sigue siendo descendente ante la combinación de las derivaciones de la fase A.

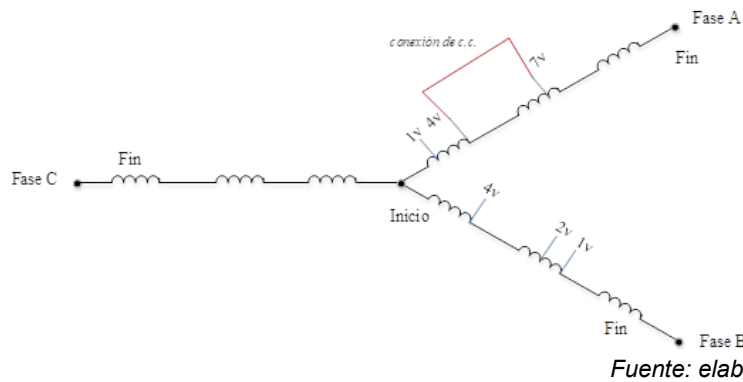
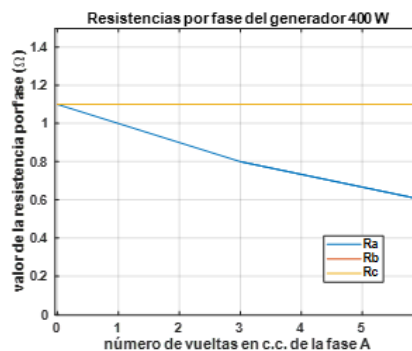


Figura 13 Devanado de estator con vueltas en c.c. entre las derivaciones de la fase A.



*Fuente: elaboración propia.*

Figura 14 Medición de las resistencias con c.c. entre las derivaciones de la fase A.

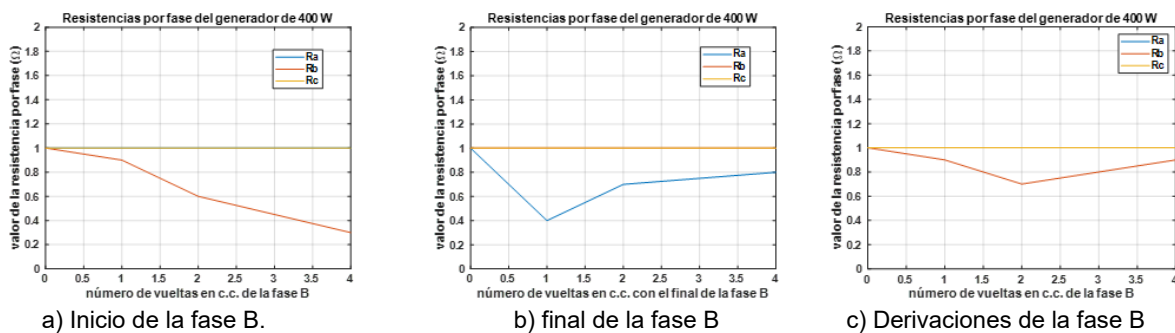
En la tabla 6 se presenta el número de vueltas que se tendría en c.c. de la fase B con el inicio de la fase. En esta fase se genera una combinación de diferentes números de vueltas en sus derivaciones, tratando de que fueran representativas para toda la máquina. La sensibilidad en una técnica de diagnóstico en las máquinas eléctricas implica detectar la falla más incipiente, y eso ocurre en la parte eléctrica del devanado cuando existen pocas vueltas en c.c.

Tabla 6 Número de vueltas en c.c. de la fase B.

Fase B		
0	Sin c.c.	0 vueltas
1	c.c. 1v-neutro	1 vuelta
2	c.c. 2v- neutro	2 vueltas
3	c.c. 4v-neutro	4 vueltas

Fuente: elaboración propia.

En las gráficas de la figura 15 se repitieron las mediciones de las resistencias en frío de la fase B. Se consideran las combinaciones del inicio y final de la fase, en donde se aportan mayor cantidad de vueltas al c.c., así como la combinación entre derivaciones internas de la fase B aquí se tiene menor número de vueltas en c.c.



Fuente: elaboración propia.

Figura 15 Medición de las resistencias con vueltas en cc.

Como se puede observar el resultado es similar a las mediciones de la fase A, se presenta el efecto descendente al inicio de la fase, ascendente al final de la fase y combinado entre las derivaciones de la fase. La diferencia entre estos casos radicó en la posición que quedaron las derivaciones en las secciones de la fase B.

#### 4. Discusión

En este trabajo se desarrolló un banco de pruebas para el diagnóstico de fallas eléctricas basado en un PMSG con derivaciones en el devanado del estator por medio de c.c. entre espiras en las fases de la máquina. Los voltajes inducidos del PMSG permitieron identificar el balance electromagnético entre las fases de la máquina una vez modificada. Las mediciones de las corrientes posibilitaron identificar el balance eléctrico que existe entre las fases del devanado de estator y

la carga. Durante el montaje y pruebas al sistema generador-motor, el acoplamiento mecánico permitió evitar un desequilibrio en los voltajes inducidos en el PMSG, para lo cual se realizaron diversas pruebas de acoplamiento entre las máquinas con diferentes tipos bandas y poleas.

En esta primera etapa en la construcción del banco de pruebas para el diagnóstico de fallas, las pruebas a diferentes valores de velocidad validaron la operatividad del generador, ya que típicamente en las aplicaciones del PMSG en generación eólica, hidráulica o marítima se pueden considerar diferentes regímenes de operación de velocidad. La consideración anterior valora la integración y funcionalidad del banco de pruebas para ser utilizadas con alguna técnica de procesamiento de señales empleando las señales de voltaje, corriente, flujo del PMSG, para el diagnóstico de fallas eléctricas.

La medición de la resistencia en frío proporcionó un buen indicativo de la existencia de fallas de c.c. en pocas vueltas del devanado de estator del PMSG. El valor de la resistencia de fase evidencia la sensibilidad que aporta el c.c. de una o dos vueltas para la identificación de la falla en el generador en su devanado del estator.

## **5. Conclusiones**

Se logró implementar un banco de pruebas para el diagnóstico de fallas eléctricas incipientes basado en un PMSG en una primera etapa. Las pruebas operativas realizadas al PMSG indicaron que se encuentra en condiciones adecuadas para realizar un procesamiento de las señales de corriente que permitan el diagnóstico de fallas en el estator. Dado que este tipo de fallas incipientes son más difíciles de monitorear y representan la etapa temprana de una falla mayor, habrá que desarrollar las técnicas que procesen las señales de voltaje o corriente incluyendo cambios de velocidad.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Gritli, Y., Bellini, A., Rossi, C., Casadei, D., Filippetti, F. and Capolino, G. Condition monitoring of mechanical faults in induction machines from electrical signatures: Review of different techniques. Proceedings of the IEEE

- 11th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, (SDEMPED 2017). 77-84, 2017.
- [2] Gyftakis, K. N., Garcia-Calva, T. A., Skarmoutsos, G. A., Morinigo-Sotelo, D., Mueller, M. and Romero-Troncoso, R. Demagnetization Monitoring and Identification in PM Generators with Concentrated Windings During Transient Conditions. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 59, no. 2. 1510-1518, 2023.
- [3] Halder, S., Bhat, S., Bhaumik, C., and Rakshit, R. Stator Inter-Turn Fault Diagnosis in Permanent Magnet Synchronous Motor. *IEEE First International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC)*. 1-6, 2020.
- [4] Henao, H., Capolino, G.A., Fernandez-Cabanas, M., Filippetti, F., Bruzzese, C., Strangas, E., Pusca, R., Estima, J., Riera-Guasp, M. and Hedayati-Kia, S. Trends in fault diagnosis for electrical machines: A review of diagnostic techniques. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol 8, no. 2. 31-42, 2014.
- [5] Jiang, D., Huang, Q., and Hong, L. Test system of a small wind turbine under laboratory conditions. *World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference*. 1-4, 2009.
- [6] Kia, S. H., Henao, H., and Capolino, G. -A. Development of a test bench dedicated to condition monitoring of wind turbines. *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 2044-2049. 2014.
- [7] Kumar, S. et al. A Comprehensive Review of Condition Based Prognostic Maintenance (CBPM) for Induction Motor, vol. 7. 90690–90704, 2019.
- [8] Kumar, R., Singh, A. K., and Srivastava, R. K. Thermal modelling of dual-stator five-phase permanent magnet synchronous generator. *IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India)*. 344-350, 2017.
- [9] Lee, S. and Hur J. Simplified Equivalent Model of PMSM With Inter-Turn Fault. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 3. 2629-2636. 2019.
- [10] Liu, K. Z., Zhu, Q. and Stone, D. A. Parameter Estimation for Condition Monitoring of PMSM Stator Winding and Rotor Permanent Magnets. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 12. 5902-5913, 2013.



- [11] Ortiz Medina, R. A. Diagnóstico de fallas eléctricas en el estator de máquinas eléctricas de aerogeneradores. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Instituto Tecnológico de Aguascalientes. 34-40, 2021.
- [12] Penman, J. The Detection of Inter-turn short circuits in the stator windings of operating motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 47, no. 5. 1078–1084, 2000.
- [13] Riera-Guasp, M, Antonino-Daviu, J. and Capolino, G. A. Advances in electrical machine, power electronic, and drive condition monitoring and fault detection: State of the art. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol 62, no 3. 1769-1775, 2015.
- [14] Vilhekar, T. G., Ballal, M. S., and Suryawanshi, H. M. Application of double Park's vector approach for detection of inter-turn fault in induction motor. *Int. Conf. Cond. Assess. Tech. Electr. Syst, (CATCON)*. 173–178, 2016.
- [15] Wang, X., Guo, J. and Lu, S. A Two-Step Method for PMSG Bearing Fault Recognition under Varying Speed Condition. *Proceedings of the 32nd Chinese Control and Decision Conference, (CCDC 2020)*. 5102-5106, 2020.
- [16] Zhang, J., Xu, Z., Wang, J., Zhao J., Din, Z. Detection and Discrimination of Incipient Stator Faults for Inverter-Fed Permanent Magnet Synchronous Machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 8. 7505-7515, 2021.