

# Sistema de prueba para caracterización de un generador de imanes permanentes.

A.Gamez-Vargas<sup>1</sup>, V. E. Manqueros-Aviles<sup>1</sup>, M.A. Rios-Favela<sup>1</sup>, C. U. Flores-Prince<sup>1</sup>, J.H. Rivera-Machado<sup>1</sup>

**Resumen**— Se presenta el diseño e implementación de un sistema de pruebas desarrollado para lograr la caracterización de un generador de imanes permanentes, que se pretende usar como generador eólico. El sistema consta de cuatro partes fundamentales: el grupo motor-generador, el variador de velocidad, el control e instrumentación y el banco de carga. El generador se encuentra en una estructura de acero anclada al piso y acoplado a un motor de inducción con el cual se impulsa, el motor es accionado por un variador de velocidad y mediante un PLC y una Interfaz Hombre Maquina (HMI) se controla al variador de velocidad. Así mismo se implementó la instrumentación necesaria para medir las variables de voltaje, corriente y velocidad. Se desarrolló un banco de carga resistivo para lograr las pruebas con carga. Para registrar los datos de las variables se desarrolló un panel en software LabView y una tarjeta arduino como adquisitor de datos.

**Temas claves**— Generador, Imanes permanentes, Variador de velocidad, medición.

This paper present the design and implementation of a test system developed to reach characterization of a permanent magnet generator. This system will be use as Eolic generator. The system consists of four main parts: the engine-generator set, the VSD, control and instrumentation and load bank. The generator is in a steel frame anchored to the floor and coupled to an induction motor which is driven, the motor is driven by a VSD, which in turn is controlled by a PLC and Human Machine Interface (HMI). Also was implemented the instruments to measure voltage, current and speed. A resistive load bank was developing to achieve load testing. To record data variables was designed a panel in LabView and an arduino card was used as adquisitor data.

**Keywords**— Generator, Permanent Magnet, Variable Speed Drive, measurement

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Energía Eólica.

La energía del viento ofrece un importante potencial para el suministro de cantidades sustanciales de electricidad, con problemas menores de polución, al compararse con sus contrapartes convencionales de suministro de electricidad [1]. Los recientes avances tecnológicos en turbinas eólicas de velocidad variable, en electrónica de potencia y en accionamientos de máquinas han hecho de la energía eólica una forma de energía competitiva. [2]

Los sistemas eólicos para pequeña generación de energía eléctrica pueden utilizarse como sistemas autónomos, que a través de un rectificador de corriente se cargan baterías de corriente directa y con ellas se almacena la energía generada para luego ser utilizada, o también directamente se puede después del rectificador de corriente convertir de nuevo a corriente alterna, con una salida en voltaje y corriente igual a los estándares manejados por la red eléctrica [3].

### B. Generador de Imanes Permanentes.

La aplicación más frecuente de las actuales turbinas eólicas es la generación de electricidad. Para esto es indispensable la utilización de un generador eléctrico. Todo tipo de máquinas eléctricas pueden ser utilizadas para la generación de potencia eólica. Factores técnicos y económicos definen qué tipo de maquina deben utilizarse en cada aplicación. Para pequeñas potencias (<20 kW), la simplicidad y bajo costo de los generadores sincrónicos de imán permanente (PMSG) explican su extensa utilización [2].

El generador de imanes permanentes funciona como un generador sincrónico, pero la diferencia se encuentra en que el rotor es la parte externa en donde están ubicados los imanes y el estator en donde se encuentran las bobinas está estacionario en la parte interna. De esta manera se evita utilizar escobillas, además el rotor se puede colocar directamente con el rotor del Eolo-generador y como no se utiliza caja de cambios las aspas se fijan directamente al rotor del generador, evitando así piezas mecánicas que

---

<sup>1</sup> Aron Gamez Vargas (agamez@itslerdo.edu.mx), Víctor Edi Manqueros Aviles, Miguel Ángel Ríos Favela, Carlos Uriel Flores Prince, Jesus Hector Rivera Machado. Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico s/n Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Dgo.

disminuyen la eficiencia global del sistema [3].

En la sub-dirección de investigación y desarrollo tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo se desarrolla actualmente un generador eólico, trabajo que involucra colaboración de las disciplinas de ingeniería mecánica, ingeniería de manufactura, ingeniería eléctrica y electrónica. El proyecto comprende el diseño y construcción de la maquina eléctrica, palas eólicas y transmisión.

La figura 1 muestra el generador de imanes permanentes que se diseñó y construyó para una potencia de 500 watts, cuenta con 24 pares de polos y sus bobinas están conectadas en estrella



Figura 1.- Generador construido en el ITSL.

## II. SISTEMA DE PRUEBA PARA GENERADOR

El sistema de prueba se centra en la impulsión del generador de imanes permanentes por medio de un motor de inducción “General Electric” de 1 H.P. y un variador de velocidad GS3-23P0 Marca “Dura-Pulse” de 3 H.P. La siguiente figura muestra el esquema global del sistema de prueba realizado.

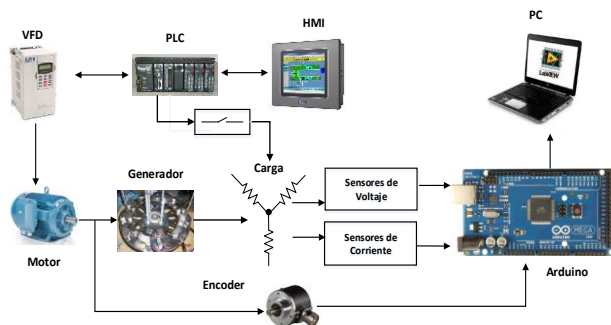


Figura 2. Esquema del sistema implementado.

Mediante una HMI “Wop-2057” de Advantech, se genera una interfaz de usuario con pantallas para accionar las cargas del banco y de monitoreo-control del variador de frecuencia. Se emplea un PLC DL-06 (Koyo-Electronics) para accionar las secciones del banco de cargas mediante relevadores y lograr el control del variador de velocidad por un protocolo de comunicación serial. En el banco de carga trifásico se colocan sensores de voltaje, corriente con el fin de medir y guardar los valores en un sistema de adquisición de datos conformado por una tarjeta Arduino Mega 2560 y una PC con software LabView. Se acoplo un encoder en el eje de giro del grupo motor-generator para medir la velocidad, variable que también se envía al sistema de adquisición.

El motor y el generador de imanes permanentes se encuentran montados y acoplados en una estructura de acero, en la siguiente figura se muestra lo anterior.



Figura 3. Motor-Generador montados en estructura.

La figura 4 muestra el acople mecánico entre los ejes de ambas maquinas.



Figura 4. Conexión mecánica de las maquina eléctricas.

A. Banco de carga.

Se dice que una carga trifásica es equilibrada si la impedancia de la carga de cada fase es la misma. Al igual que los voltajes de la fuente, las impedancias de la carga se pueden configurar en estrella (Y) o en delta ( $\Delta$ ), lo cual da lugar a cuatro posibles conexiones de la fuente a la carga: Y-Y, Y- $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y y  $\Delta$ - $\Delta$  [4]. Para desarrollo del sistema se empleó la conexión mostrada en la siguiente figura.

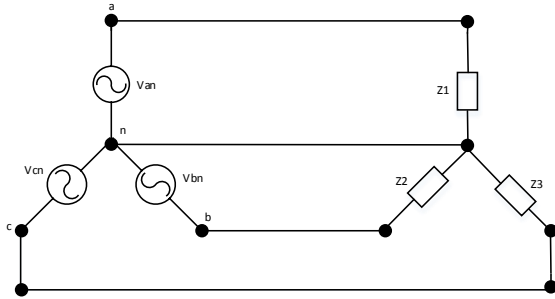


Figura 5. Conexión de carga trifásica balanceada Y-Y.

Se desarrolló un banco de carga trifásico resistivo configurado en estrella, con el fin de realizarle pruebas al generador con carga. Los elementos empleados fueron lámparas incandescentes y resistencias de regadera eléctrica, los cuales se activan mediante relevadores que se conmutan desde del PLC, con el fin de variar la carga al generador. La figura 6 muestra el diagrama esquemático del banco de carga y en la figura 7 muestra la realización del banco de cargas.

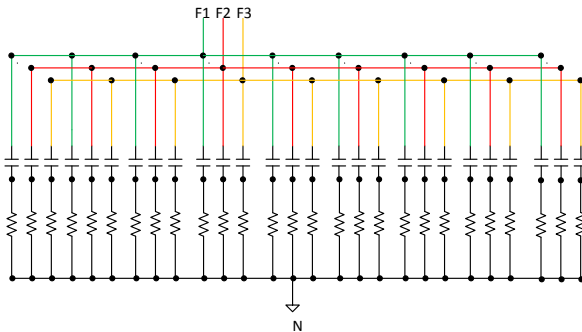


Figura 6. Conexión del banco de cargas.

Mediante nueve relevadores (de cuatro polos) se manejan las cargas, dado que el generador es de tres fases se emplean solo tres polos (uno por fase), al conmutar cada uno de ellos, la resistencia equivalente disminuye ya que por fase se realiza un paralelamiento.



Figura 7. Banco de carga.

B. Control

Para operación del sistema se construyó un tablero de control en el cual se monta al variador de velocidad, el PLC, Transformador y fuente de control (figura 8).



Figura 8. Tablero de control.

El enlace de comunicación entre los dispositivos de control se realizó según el esquema de la figura 9.



Figura 9. Enlace de dispositivos de control.

El PLC cuenta con dos puertos de comunicación serial. Mediante el COM1 se realiza el enlace, por protocolo RS-232, con el puerto (también COM1) del panel táctil y por el COM2, se comunica al variador de velocidad por protocolo Modbus RS-485[5, 6, 7]. El programa del PLC se encarga de leer y escribir variables en la HMI y en el variador de frecuencia por sus respectivos protocolos de

comunicación así como de disparar las cargas. En la figura 10 se muestra parte del programa en escalera desarrollado para el PLC DL06.



Figura 10. Programa en escalera del PLC.

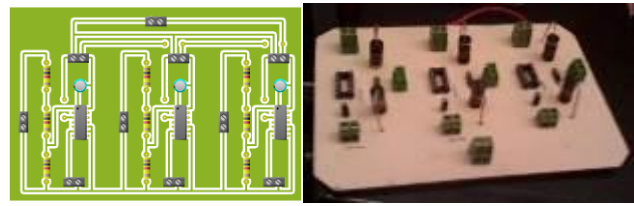
Se elaboraron en el panel táctil pantallas de menú de navegación, monitoreo de las variables que entrega el variador y el control de cargas. La figura 11 muestra las pantallas desarrolladas para la interfaz de usuario.



Figura 11. Pantallas de navegación y control de la HMI.

C. Medición de variables

Las variables instrumentadas en esta etapa, para el sistema, fueron voltajes-corriente de fase y velocidad de giro del eje. Para medición de voltaje se emplearon divisores de tensión y el circuito integrado AD536 de Analog Devices, el cual es un convertidor de valor RMS-verdadero a voltaje de C.D. [8]. La figura 12 muestra el diseño (a) y construcción (b) de la placa para medición de voltajes, en ella se integraron los divisores de tensión y el arreglo necesario para el funcionamiento del circuito integrado AD596.



a) Diseño de PCB b) tarjeta construida

Figura 12. Circuitería para medición de voltaje.

Para la medición de corriente se empleó el sensor de efecto hall CSLA2CD (figura 13) de honeywell [9]. Se diseñó e implemento la circuitería de acondicionamiento necesaria para acoplar las señales de salida de los sensores a la etapa de adquisición.

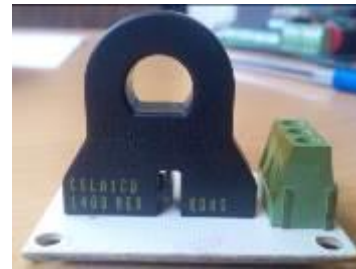


Figura 13. Sensor de corriente.

Se emplearon tres sensores como el anterior para cada una de las fases, la figura 14 muestra la disposición de los sensores, la figura 15 muestra el montaje de los sensores y las tarjetas de acondicionamiento de señal.

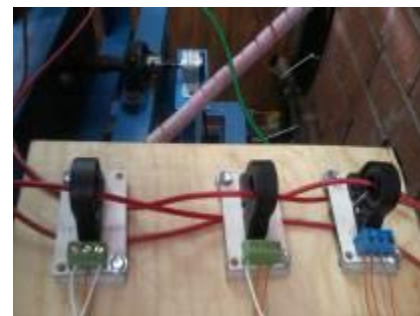


Figura 14. Sensores de corriente instalados.



Figura 15. Acondicionamiento de señal de las corrientes.

Para la medición de velocidad se empleo un encoder E40S6-1000-3-T-24 de la marca autonics de 1000 pulsos por revolución, el cual se acoplo mecanicamente al eje de rotacion de las maquinas. Puesto que el encoder opera con voltaes de 12-30 Vcd se implemento una etapa adecuadora de pulsos para reducir el voltaje de los puslos de doce a cinco volts con el cual opera la tarjeta arduino. La figura 16 muestra el acoplamiento mecanico del encoder.



Figura 16. Montaje de encoder.

Finalmente se desarrolló una interfaz visual en el software LabView donde se monitorean y registran las variables las figuras 17 y 18 muestran el panel y una parte del código desarrollado respectivamente.



Figura 17. Panel para medicion de variables.

Se observa en la parte superior izquierda al medidor analogo de velocidad en RPM, en seguida se observan tres medidores analogos de corriente (uno para cada fase) y tres medidores analogicos finales para mostrar las lecturas de los voltajes de fase.

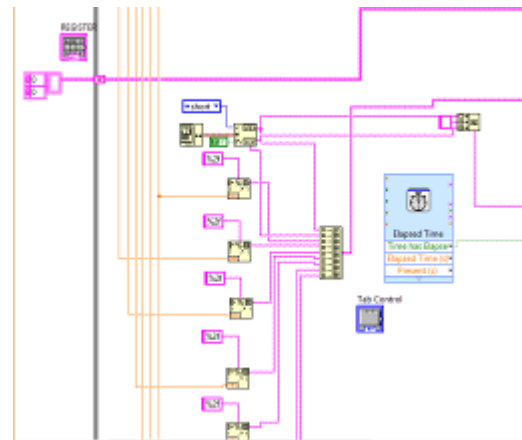


Figura 18.Codigo en LabView para medicion y registro de variables.

#### D. Resultados Obtenidos.

Se Realizaron diversas pruebas de funcionamiento del sistema a diferentes velocidades del generador con carga y sin carga. Las figuras 19 y 20 muestran la operación del sistema con carga, ya que se tiene indicación de los medidores analógicos de corriente, lo cual para la etapa del desarrollo del sistema, se evidencia y valida el correcto funcionamiento de los sensores y circuitería de medición de las variables. La figura 20 muestra el registro y almacenamiento de variables en tablas para el posterior análisis de los datos.



Figura 19. Funcioanamiento del panel de medicion.

T	ENPC	FECHA	TALCOMETRO	COBENTE 1	COBENTE 2	COBENTE 3	VOLTAGE 1	VOLTAGE 2	VOLTAGE 3
08/12/2014	05:30:14 a.m.	322.341938	3.97834	3.97834	3.97834	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:35:27 a.m.	322.341938	3.97834	3.97834	3.97834	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:38:27 a.m.	322.341938	3.97834	3.97834	3.97834	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:29 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:43 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:45 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:50 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:59 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:59 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:39:59 a.m.	322.341938	6.17629	6.17629	6.17629	24.262913	33.338434	33.338434	
08/12/2014	05:36:12 a.m.	322.341938	3.94835	3.94835	3.94835	18.948867	33.715237	33.715237	
08/12/2014	05:36:17 a.m.	322.341938	3.29068	3.29068	3.29068	18.948867	33.715237	33.715237	
08/12/2014	05:36:27 a.m.	322.341938	4.15935	4.15935	4.15935	42.000000	40.000000	40.000000	
08/12/2014	05:36:27 a.m.	322.341938	0.00000	0.00000	0.00000	42.000000	40.000000	40.000000	
08/12/2014	05:36:27 a.m.	322.341938	0.00000	0.00000	0.00000	42.000000	40.000000	40.000000	
08/12/2014	05:36:27 a.m.	322.341938	0.00000	0.00000	0.00000	42.000000	40.000000	40.000000	
08/12/2014	05:36:27 a.m.	322.341938	0.00000	0.00000	0.00000	42.000000	40.000000	40.000000	

Figura 20. Registro de variables en LabView.

En la figura 21 se muestra el funcionamiento del banco de cargas mediante el control establecido en el PLC.



Figura 21. Encendido de cargas.

En conclusion se tiene desarrollado un sistema de monitorero y control con el cual se pretende caracterizar al generador de imanes permanentes, faltando por medir el torque para asi tener un conocimiento mas amplio de la maquina. Dicha medicion se instrumentara en una etapa posterior a este proyecto.

### III. REFERENCIAS

- [1] Pinilla A. (2008) "El poder del viento-Wind Power," *Revista de ingeniería Universidad de los Andes*, pp. 64-69.
- [2] Lopez M, Vannier J.C., Sadarnac, (2007) "Sistemas de conversión de energía eólica control y diseño", Disponible en : <https://hal-supelec.archives-ouvertes.fr/hal-00243098>
- [3] Pinilla A., Ramirez, O. R., "Caracterización y optimización de un generador de imanes permanentes y flujo radial para un sistema eólico ", pp. 1-11
- [4] Bahgs, E. G, Huseyin R.H (2003). *Maquinas Eléctricas y Transformadores*, 3ª ed . Oxford University Press, pp 23-26.
- [5] The DL05 & DL06 Family of Products, consultado el 10 de Octubre del 2010 <http://www.automationdirect.com/static/specs/dl0506select.pdf>
- [6] Manual del Variador de frecuencia DURAPULSE capitulo 1, consultado el 24 de Octubre del 2010 <http://www.automationdirect.com/static/manuals/gs3msp/ch1.pdf>
- [7] Introducción a HMI, consultado el 24 de Octubre del 2010 <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

[8] AD536, Analg-Devices Data Sheet, integrated circuit True RMS to DC converter, Rev. F, pp 1-14

[9] Solid state sensors, current sensors, CS series Honeywell Inc. sensing and control.

### IV. BIOGRAFÍA



**M. C. Aron Gámez Vargas:** nació en Torreón Coahuila en 1981. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2004. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2006. Actualmente es profesor del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, sus áreas de interés es el desarrollo de proyectos a la industria privada, electrónica de potencia, control aplicado, redes eléctricas industriales y procesamiento digital de señales. E-mail: [agamez@itslerdo.edu.mx](mailto:agamez@itslerdo.edu.mx)



**M.C. Víctor Edi Manqueros Avilés:** nació en la ciudad de Durango, Durango en 1976. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001. Obtuvo el grado de Maestro en ciencias por parte del Instituto Tecnológico de Durango y la Universidad Autónoma de Chapingo en el año de 2006. Actualmente es Docente-Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la división de ingeniería electrónica y la subdirección de investigación y desarrollo tecnológico. Sus áreas de interés son automatización, robótica.



**Miguel Ángel Ríos Favela:** nacido en Gómez Palacio, Durango, el 16 de mayo de 1977. Se graduó del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica. Estudió la Maestría en Administración en la Universidad Autónoma de la Laguna, en Torreón, Coahuila, titulándose en 2005. Él es docente investigador en la División de Ingeniería Electrónica y de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en Ciudad Lerdo, Durango, México y ha laborado en la industria para diversas empresas. Sus áreas de interés son: Domótica, Desarrollo Tecnológico Industrial, Gestión de la innovación y emprendimiento. El M. A. Ríos pertenece a la IEEE, la ISA y a la Sociedad Matemática Mexicana, y cuenta con el reconocimiento al perfil deseable por parte de PROMEP.