

Recibido 29 de agosto de 2022. Aceptado 02 de diciembre de 2022. Publicado 23 de diciembre de 2022.

ISSN: 2448-7775

# Impacto de ráfagas extremas de viento en el convertidor electrónico de potencia de un aerogenerador

GREGORIO MARTÍNEZ REYES<sup>1\*</sup>, EFRAÍN DUEÑAS REYES<sup>1</sup>, EMMANUEL HERNÁNDEZ MAYORAL<sup>2</sup>, CHRISTIAN RENÉ JIMÉNEZ ROMÁN<sup>2</sup>, OMAR RODRIGUEZ RIVERA<sup>2</sup>, CARLOS DAMIÁN AGUILAR GÓMEZ<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad del Istmo, División de estudios de Posgrado, Sto. Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables (IER) Posgrado, Temixco, Morelos, México.

<sup>3</sup>Universidad Politécnica de Chiapas, Energías Renovables, Chiapas, México.

\*Autor de Correspondencia: mrg.23@hotmail.com.

**RESUMEN** En el presente trabajo, se analiza una base de datos de ráfagas de viento del emplazamiento La Ventosa, Oaxaca, en esta investigación se presenta dos taxonomías de ráfagas de viento extremas, la ráfaga extrema de operación (EOG) y la ráfaga extrema coherente (ECG). Se desarrolla un método de detección con la finalidad de determinar las ráfagas de viento extremas de mayor amplitud e intensidad con ayuda del software Matlab-Simulink<sup>®</sup>, para posteriormente modelar y simular en una estructura de un aerogenerador aislado de baja potencia sin control automático mediante el software PSIM, con ello, se analiza el efecto de la amplitud e intensidad de las ráfagas extremas sobre la confiabilidad del convertidor electrónico de potencia, donde la amplitud de la ráfaga de viento resulta ser un parámetro preponderante al ocasionar un impacto negativo en el mismo, sin embargo, la intensidad tiene un impacto mayor que la amplitud.

**PALABRAS CLAVE**— Ráfagas extremas de viento, convertidores electrónicos de potencia, aerogeneradores de baja potencia.

## I. INTRODUCCIÓN

El mundo agregó un récord de 93 GW de capacidad de energía eólica en 2020, liderado por China y Estados Unidos, el resto del mundo comisionó aproximadamente la misma cantidad que en 2019 [1]. Datos obtenidos por la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), demuestran que México es un país con gran aprovechamiento eólico.

Hoy en día los aerogeneradores representan una instalación destacada para generar grandes cantidades de energía limpia y renovable para las redes de servicios públicos. Una turbina eólica es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica, la de eje horizontal (HAWT) y la de eje vertical (VAWT) [2].

Los Generadores Síncronos de Imanes Permanentes (PMSG, por sus siglas en inglés), y los Generadores de Inducción Doblemente Alimentado (DFIG, por sus siglas en inglés), son actualmente los más utilizados en las topologías de los aerogeneradores; sin embargo, el Generador PMSG se destaca la independencia de fuentes externas de energía para excitación, puesto que, la misma es obtenida de los imanes permanentes, asimismo su baja velocidad de operación permite eliminar la necesidad de un tren de engranajes para acoplar la turbina del generador [3].

Las ráfagas extremas de viento son capaces de reducir la confiabilidad del convertidor electrónico de potencia. La ráfaga de viento es un incremento fuerte y repentino de la velocidad del viento en un tiempo corto; asimismo, la velocidad del viento varía con el tiempo y espacio, también depende de las condiciones locales [4], [5], [6], [7].

Las ráfagas de viento son características coherentes, dentro de un campo de viento turbulento que se caracteriza por aumentos de velocidad del viento a corto plazo [8]. Asimismo, se menciona que existe la necesidad de separar los eventos de viento extremos por clases [9].

De acuerdo con los trabajos [4], [5], [10], [11] mencionan cinco tipos de ráfagas de viento:

- Ráfaga Extrema de Operación (EOG).
- Ráfaga Extrema Coherente (ECG).
- Cambio de Dirección Extremo (EDC).
- Ráfaga Extremadamente Coherente con Cambio de Dirección (ECD).
- Cizalladura Extrema del Viento (EWS).

En [4] se menciona cinco métodos de detección ráfagas:

- El incremento de velocidad sobre el umbral.
- Procedimiento Peak-Peak.

- Incremento de velocidad.
- Pico sobre el umbral.
- De correlación.

El objetivo del presente trabajo es determinar el impacto de las ráfagas de viento extremas en el convertidor electrónico de potencia de un aerogenerador de baja potencia, por medio de una base de datos de La Ventosa, ubicada en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, para lograr el objetivo ya mencionado, el trabajo determina la taxonomía de las ráfagas de viento a utilizar, caracterizar las mismas, así como también detectar las ráfagas de viento extremas.

## II. DESARROLLO

Esta investigación se centra en el estudio de dos tipos de ráfagas de viento, en el trabajo [4], describe que la ráfaga extrema de operación (EOG) y la ráfaga extrema coherente (ECG) tiene mucha similitud con la ráfaga de sombrero mexicano y la ráfaga de frente respectivamente. Es por eso, que se analizan dos ráfagas de viento extremas.

En la Fig. 1 y Fig. 2 se presentan las ráfagas descritas por la Norma IEC 61400-2 [10], de una manera ideal, sin contemplar condiciones locales.

En la Fig. 3 y Fig. 4 corresponden a las ráfagas descritas en el trabajo [4], de una forma real, ya que dependen de las condiciones locales que afectan el comportamiento de las mismas. Esto, con el fin de observar las similitudes de ambas ráfagas. La ráfaga extrema de operación (EOG) y la ráfaga extrema coherente (ECG), con la ráfaga del sombrero mexicano y la ráfaga de frente.

En el trabajo [4], la ráfaga extrema de operación es una disminución de la velocidad, seguida de una subida pronunciada, después de una caída pronunciada y un aumento de regreso al valor original. La amplitud y duración de la ráfaga, varía con el periodo del retorno. En cambio, la ráfaga extrema coherente, se trata de un cambio sostenido en la velocidad del viento, con una curva en forma de coseno, pero que termina en una velocidad del viento constante que corresponde a un aumento del viento, en comparación con la velocidad del viento antes de la ráfaga.

La Ec. (1) pertenece a la taxonomía de la ráfaga extrema de operación (EOG), donde la velocidad del viento está representada por  $v(t)$ , y la amplitud de la misma viene denotada por  $U_{gust}$ ; La Ec. (2) corresponde a la caracterización de la ráfaga extrema coherente (ECG), donde la velocidad del viento viene representada por  $v(t, z)$  y  $U_{cg}$  denota la amplitud de la misma.

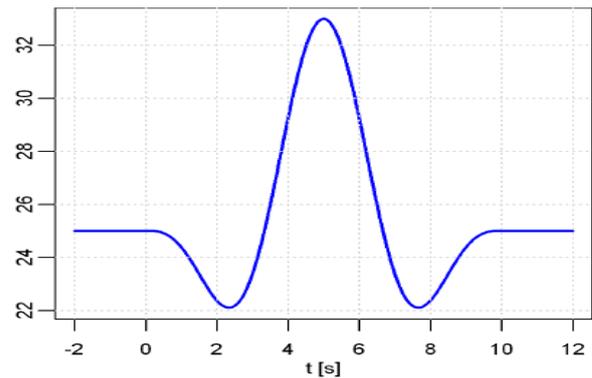


Fig. 1. Ráfaga Extrema de Operación (EOG).

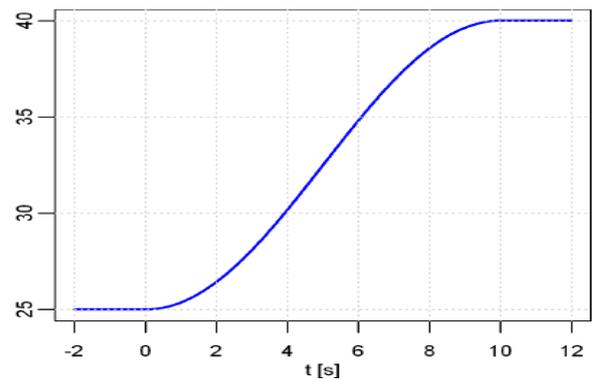


Fig. 2. Ráfaga Extrema Coherente (ECG).

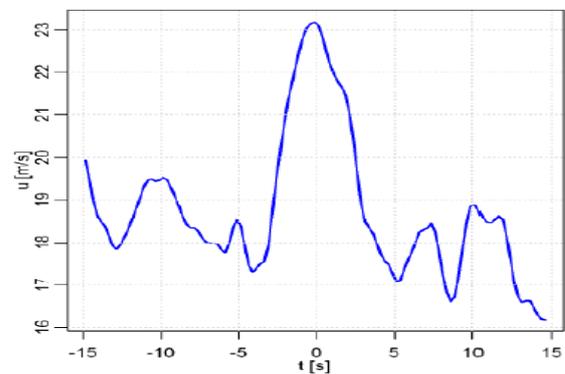


Fig. 3. Ráfaga de sombrero mexicano.

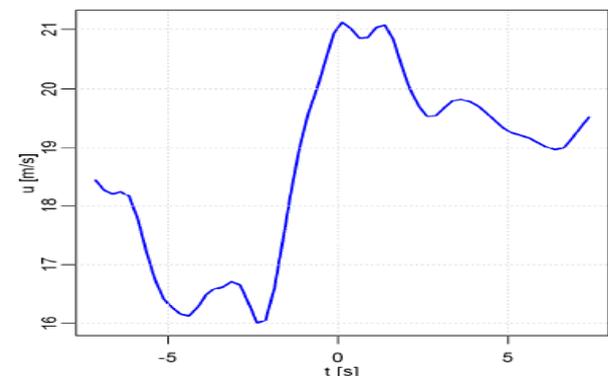


Fig. 4. Ráfaga de Frente.

$$V(t) = \begin{cases} V(z) - 0.37U_{gust} \sin\left(\frac{3\pi t}{T}\right) \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right] \\ V(z) \end{cases} \quad (1)$$

$$V(t, z) = \begin{cases} V(z) \\ V(z)0.5U_{cg} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right] \\ V(z) + U_{cg} \end{cases} \quad (2)$$

donde

$v(t), v(z)$  = velocidad del viento.  
 $U_{gust}$  = Amplitud de la ráfaga EOG.  
 $U_{cg}$  = Amplitud de la ráfaga ECG.

Para determinar el impacto de las ráfagas extremas de viento en el convertidor electrónico de potencia de un aerogenerador de baja potencia se lleva a cabo en diferentes etapas, en la primera, consiste en seleccionar los tipos de ráfagas de viento a utilizar en este trabajo, como segunda etapa, proponer un método de detección de ráfagas extremas de viento, posteriormente, definir el criterio con el cual se evalúa el impacto de las ráfagas extremas, después detectar las ráfagas extremas que cumplen el criterio, se determinan las ráfagas EOG y ECG más intensas mediante un proceso de caracterización, y por último, con ayuda del software PSIM modelar y simular las ráfagas de viento extremas en un aerogenerador aislado de baja potencia para obtener los datos deseados, esto con el objetivo de conocer el impacto de las ráfagas extremas de viento.

### A. BASE DE DATOS

La base de datos que se utiliza para el análisis se obtuvo de La Ventosa, ubicada en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, con una frecuencia de muestreo de 1 Hz a una altura de 17.5 m en un periodo de septiembre de 2017 a enero de 2018.

### B. MÉTODO DE DETECCIÓN

El método de detección utilizado en el trabajo de investigación está basado en el método de incremento de velocidad sobre cierto umbral [4], el fundamento del código propuesto, con base en un umbral de la diferencia de velocidades del viento en un movimiento de ventana variable. Este método presenta las siguientes ventajas frente a los demás:

- Detecta ráfagas de cualquier duración y amplitud.
- Utiliza una variable ajustable de diferencia de velocidades de viento.
- Especifica la forma de dos tipos de ráfagas (EOG y ECG).

La [Tabla I](#), muestra la clasificación de los tiempos de evolución de las ráfagas de viento extremas.

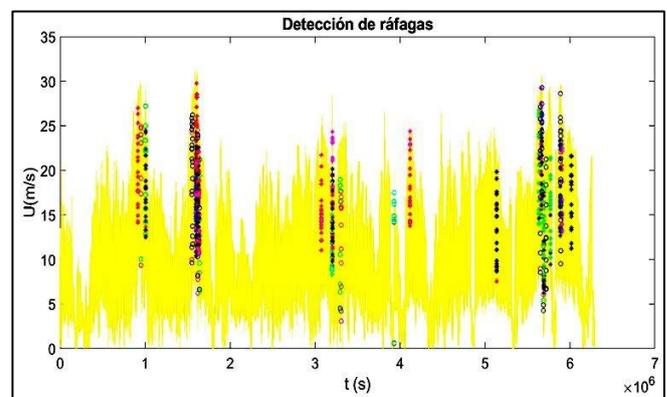
**TABLA I.** CLASIFICACIÓN DE LAS RÁFAGAS.

Clasificación	Ráfagas EOG/ECG
A-Rojo	4 s
B-Cyan	5 s
C-Verde	6 s
D-Amarillo	7 s
E-Azul	8 s
F-Magenta	9 s

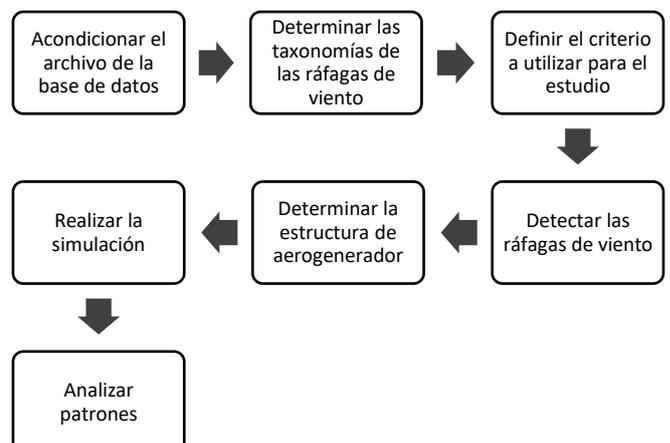
La [Fig. 5](#) presenta todas las ráfagas detectadas en La Ventosa, Oaxaca, por el software Matlab-Simulink®, se observan diferentes colores en las ráfagas, cada color se refiere a un tiempo de evolución de ráfaga, mencionado en la [Tabla I](#).

### C. METODOLOGÍA

La [Fig. 6](#) presenta la metodología de caracterización de las ráfagas de viento extremas de la región del Istmo de Tehuantepec, inicia con el acondicionamiento del archivo de la base de datos en formato txt, así como también se define las taxonomías de las ráfagas a utilizar (Ráfaga extrema de operación y Ráfaga extrema coherente), la selección y detección de ráfagas de viento fue a partir de un criterio que se menciona en la sección del protocolo de pruebas, asimismo se determina la estructura de aerogenerador que se utiliza en el software PSIM para la simulación de las ráfagas en un aerogenerador de baja potencia, para finalmente analizar los patrones y conocer los efectos de las ráfagas.



**Fig. 5.** Ráfagas detectadas en Matlab.



**Fig. 6.** Metodología de caracterización.

#### D. SIMULACIÓN

En este apartado se utiliza el software PSIM, en donde se desarrolla dos modelos de ráfagas de viento extremas (EOG y ECG) con base en los trabajos [4], [10] y la Ec. (1) y la Ec. (2), para simular las ráfagas detectadas con el método mencionado en la sección B. Fue un proceso de implementar los doce modelos elegidos en la detección de ráfagas de viento extremas, con la finalidad de conocer y obtener su impacto en el convertidor electrónico de potencia y de esta manera analizar los patrones encontrados.

Se utiliza los parámetros del rotor eólico y del generador PMSG de 222 W, obtenidos del trabajo [12], para realizar la simulación en PSIM. La Tabla II presenta los parámetros del generador de imanes permanentes y la Tabla III muestra los valores de la turbina eólica que son utilizados para la simulación en PSIM.

En la Fig. 7 se presenta la estructura de la simulación en el software PSIM de un aerogenerador aislado, el cual se compone de un rotor eólico, un generador de imanes permanentes, un convertidor electrónico de potencia espalda con espalda de dos niveles de escala completa, además de que no se aplica una estrategia de control, es decir, se encuentra en lazo abierto.

#### E. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para realizar las pruebas del trabajo, con ayuda del código detector se seleccionan doce ráfagas extremas, seis ráfagas EOG y seis ECG. Se aplica una clasificación en altas, medias y bajas, estas ráfagas detectadas cumplen con una condición establecida a criterio propio para llevar a cabo una comparación idónea entre la amplitud e intensidad de las ráfagas extremas máximas.

La condición consiste que cada par de ráfagas de acuerdo con su clasificación, una de las seleccionadas debe tener mayor amplitud, pero menor intensidad que la otra, por su parte la otra ráfaga que completa el par debe presentar una mayor intensidad, pero menor amplitud, esto con el fin de conocer si la amplitud o intensidad causan un mayor impacto negativo en el convertidor electrónico de potencia.

En el trabajo [5], define el parámetro de la amplitud como el punto más alto más alto de la velocidad del viento, menos el punto más bajo de la velocidad del viento en m/s. Por su parte, la intensidad de la misma está definida como la amplitud sobre el tiempo de evolución de la ráfaga, presentada en la Ec. (3).

$$I = \frac{A}{t} \quad (3)$$

Las ráfagas extremas de operación detectadas en el periodo de estudio se encuentran en el rango de 9.5 m/s a 12.1 m/s, siendo la ráfaga de viento extrema máxima detectada de 12.1 m/s. En cambio, las ráfagas extremas coherentes detectadas, se localizan en el rango de 14.3 m/s a 18.5 m/s, siendo la ráfaga de viento extrema máxima detectada de 18.5 m/s. En la Fig. 8 y Fig. 9 se presentan las ráfagas EOG y ECG más intensas detectadas durante el periodo. Se observa que ambas ráfagas están pintadas en color magenta, de acuerdo con la Tabla I, son ráfagas extremas de viento con un tiempo de evolución de 9 s.

TABLA II. PARÁMETROS DEL PMSG DE 222 W.

Parámetros	Generador PMSG 222 W
Resistencia del estator	2.6 Ω
Inductancia en d	1.6 mH
Inductancia en q	1.6 mH
Constante de fuerza	88
Número de polos	12
Momento de inercia	0.0001 N.m
Constante de tiempo mecánica	0.8 s

TABLA III. PARÁMETROS DE LA TURBINA EÓLICA.

Parámetros	Turbina eólica
Velocidad nominal	10 m/s
Velocidad angular	1013 rpm
Velocidad inicial de rotación	10 rpm
Momento de inercia	0.006 N.m

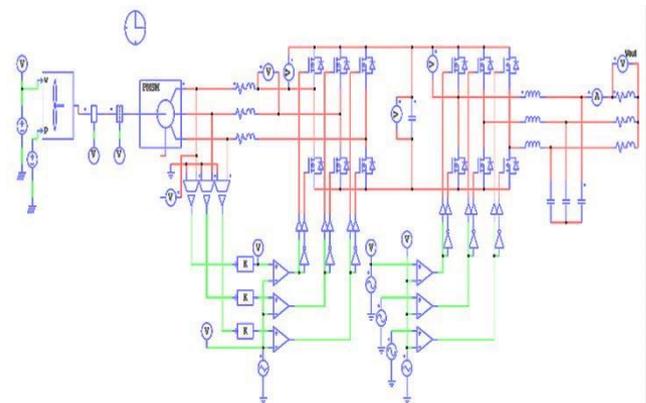


Fig. 7. Metodología de caracterización.

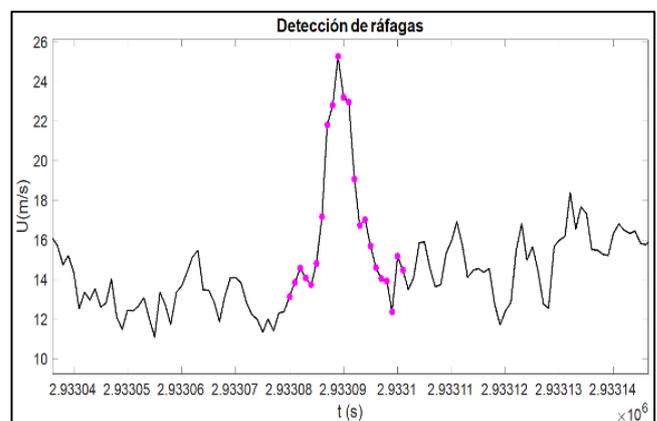


Fig. 8. Ráfaga extrema de operación máxima.

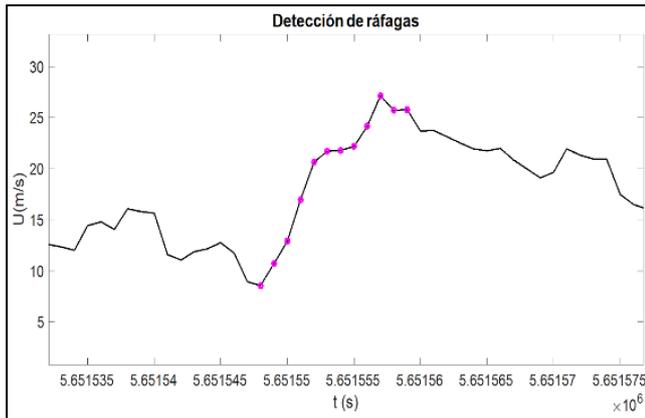


Fig. 9. Ráfaga extrema coherente máxima.

Se realizan cuatro pruebas en PSIM, que son las siguientes:

- Potencia en una línea que ingresa al convertidor del lado de la máquina.
- Voltaje Drenaje-Fuente de un interruptor de potencia.
- Corriente en un interruptor de potencia de lado de la máquina.
- Corriente en un interruptor de potencia de lado de la red.

Se presenta la clasificación de las ráfagas extremas de viento detectadas en la [Tabla IV](#).

### III. RESULTADOS

En las [Tablas V-VII](#), se presentan los datos de las ráfagas EOG obtenidos en la simulación dado la clasificación de altas, medias y bajas. Es importante mencionar que los datos obtenidos son los valores picos de las variables de interés del convertidor electrónico de potencia en simulación.

La [Fig.10](#), [Fig. 11](#), [Fig. 12](#), [Fig. 13](#), corresponden a las ráfagas EOG, en las cuatro gráficas respetan un patrón, el cual es que la intensidad resulta ser más preponderante en las ráfagas altas y medias, por el contrario, la amplitud resulta ser más preponderante en las ráfagas bajas.

**TABLA IV.** RANGOS DE AMPLITUDES DE LAS RÁFAGAS DETECTADAS.

Clasificación	Ráfagas EOG m/s	Ráfagas ECG m/s
Altas	11.4-12.1	16.6-18.5
Medias	10.3-11.0	16.0-16.4
Bajas	9.5-10.0	14.3-14.8

**TABLA V.** RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE RÁFAGAS EOG ALTAS.

Datos	10 m/s	Amp 12.1 m/s Int 1.34 m/s <sup>2</sup>	Amp 11.4 m/s Int 1.42 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	6.8 kW	9.1 kW
Voltaje	130 V	377.5 V	414.7 V
Corriente M	6.16 A	46.5 A	51.3 A
Corriente R	10.8 A	36.1 A	46.3 A

**TABLA VI.** RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE RÁFAGAS EOG MEDIAS.

Datos	10 m/s	Amp 11.0 m/s Int 1.22 m/s <sup>2</sup>	Amp 10.3 m/s Int 1.7 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	4.9 kW	7.8 kW
Voltaje	130 V	340.0 V	384.7 V
Corriente M	6.16 A	34.9 A	48.5 A
Corriente R	10.8 A	32.5 A	40.0 A

**TABLA VII.** RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE RÁFAGAS EOG BAJAS.

Datos	10 m/s	Amp 10.0 m/s Int 1.1 m/s <sup>2</sup>	Amp 9.5 m/s Int 1.9 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	4.5 kW	2.5 kW
Voltaje	130 V	346.9 V	284.0 V
Corriente M	6.16 A	32.0 A	21.2 A
Corriente R	10.8 A	30.6 A	21.5 A

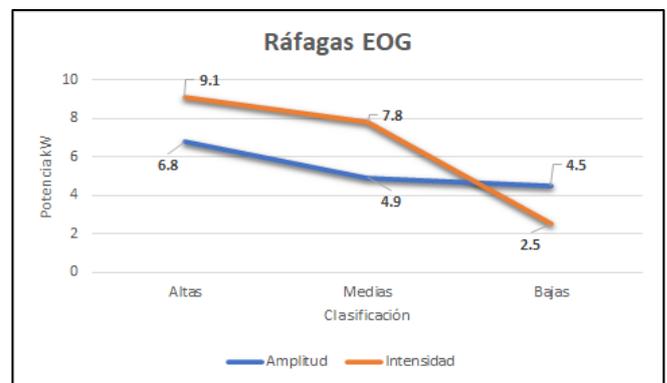


Fig. 10. Gráfica de potencia en la ráfaga EOG.

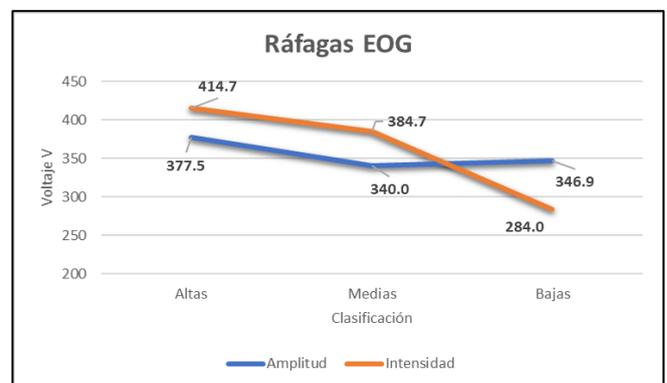


Fig. 11. Gráfica de voltaje en la ráfaga EOG.

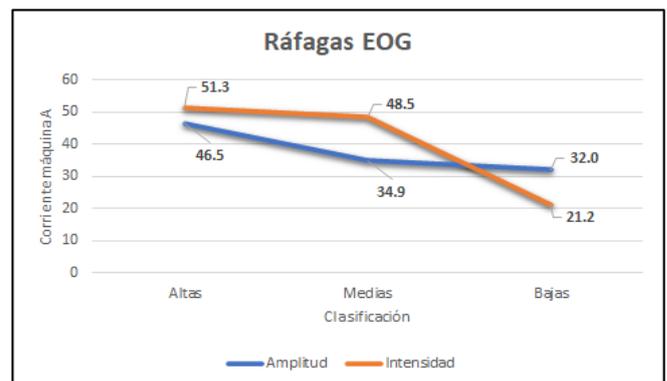


Fig. 12. Gráfica de corriente máquina en la ráfaga EOG.

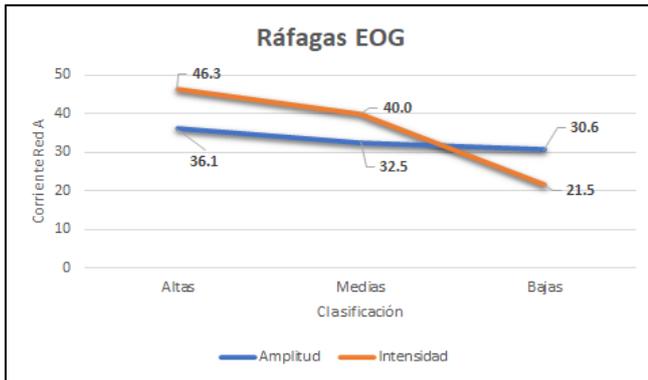


Fig. 13. Gráfica de corriente red en la ráfaga EOG.

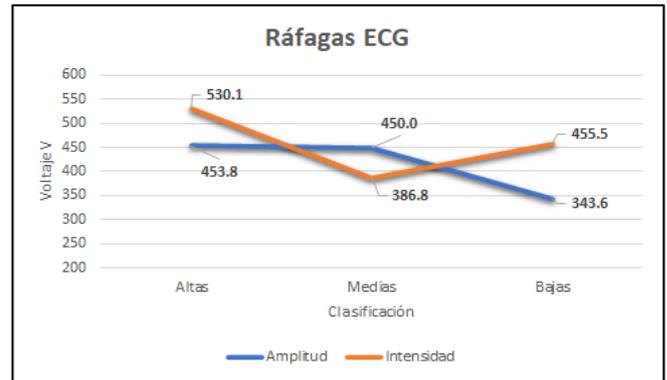


Fig. 15. Gráfica de voltaje en la ráfaga ECG.

En las Tablas VIII-X, se presentan los datos de las ráfagas extremas coherentes obtenidos de la simulación. La Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17, las cuatro gráficas respetan un patrón, el cual es que la intensidad resulta ser más preponderante en las ráfagas altas y bajas, por el contrario, la amplitud resulta ser más preponderante en las ráfagas medias.

TABLA VIII. RESULTADOS CLASIFICACIÓN ALTAS RÁFAGAS ECG.

Datos	10 m/s	Amp 18.5 m/s Int 2.05 m/s <sup>2</sup>	Amp 16.6 m/s Int 2.07 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	13.6 kW	20.1 kW
Voltaje	130 V	453.8 V	530.1 V
Corriente M	6.16 A	75.8 A	84.4 A
Corriente R	10.8 A	45.1 A	59.7 A

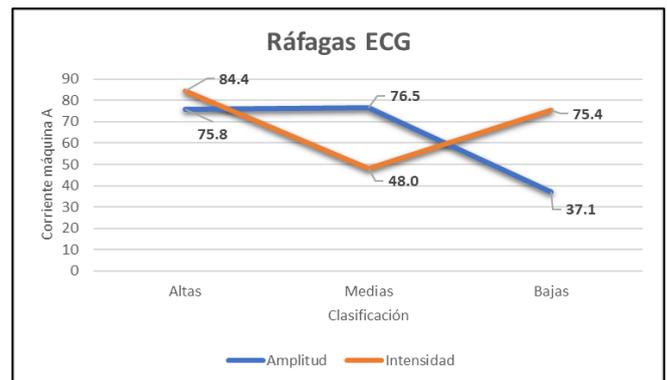


Fig. 16. Gráfica de corriente máquina en la ráfaga ECG.

TABLA IX. RESULTADOS CLASIFICACIÓN MEDIAS RÁFAGAS ECG.

Datos	10 m/s	Amp 16.4 m/s Int 2.05 m/s <sup>2</sup>	Amp 16.0 m/s Int 3.2 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	13.8 kW	7.6 kW
Voltaje	130 V	450.0 V	386.8 V
Corriente M	6.16 A	76.5 A	48.0 A
Corriente R	10.8 A	43.6 A	39.4 A

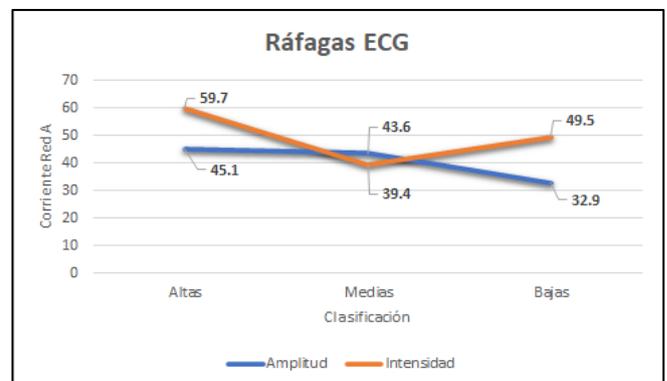


Fig. 17. Gráfica de corriente red en la ráfaga ECG.

TABLA X. RESULTADOS CLASIFICACIÓN BAJAS RÁFAGAS ECG.

Datos	10 m/s	Amp 14.8m/s Int 1.64 m/s <sup>2</sup>	Amp 14.3 m/s Int 2.38 m/s <sup>2</sup>
Potencia	0.356 kW	5.4 kW	14.0 kW
Voltaje	130 V	343.6 V	455.5 V
Corriente M	6.16 A	37.1 A	75.4 A
Corriente R	10.8 A	32.9 A	49.5 A

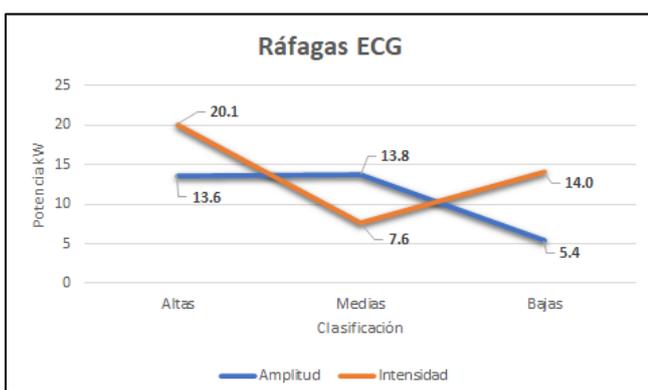


Fig. 14. Gráfica de potencia en la ráfaga ECG.

#### IV. CONCLUSIONES

En este documento, se estudian dos tipos de ráfagas de viento extremas en el convertidor electrónico de potencia, la Ráfaga Extrema de Operación (EOG) y la Ráfaga Extrema Coherente (ECG), estas últimas constituyen el 91% de las ráfagas detectadas de la base de datos. Asimismo, el método de detección de ráfagas de viento propuesto es capaz de detectar cualquier amplitud de cada una de ellas, definiendo el tiempo de evolución de la ráfaga a considerar. Las ráfagas de viento extremas producen parpadeos eléctricos, aumentos en la frecuencia del voltaje línea a línea producido por el generador eléctrico, así como inter-armónicos en el bus de cd del convertidor back-to-back, lo anterior contribuye a una falla prematura del convertidor. Para finalizar, la intensidad

de la ráfaga de viento resultó ser el parámetro más relevante comparado con la amplitud de la misma, en cuanto a la confiabilidad del convertidor de potencia.

## AGRADECIMIENTOS

La Universidad del Istmo agradece al proyecto 272063 "Fortalecimiento del campo de la energía eólica en el programa de Doctorado en Ingeniería campo de conocimiento en Energía, con sede en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México" por las facilidades brindadas.

## REFERENCIAS

- [1] G. Barbose, "U.S. Renewables Portfolio Standards 2021 Status Update: Early Release", Office of Scientific and Technical Information (OSTI), febrero de 2021. Disponible: <https://doi.org/10.2172/1767987>
- [2] V. Chenniappan y P. Balakrishnan, "Container wind energy for wind turbines", en 2017 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), Coimbatore, 5–7 de enero de 2017. IEEE. Disponible: <https://doi.org/10.1109/iccci.2017.8117804>
- [3] V. Meenakshi y S. Paramasivam, "Comparasion of PMSG and DFIG in Wind Turbine and Implementation of SVPWM Schemes of Inverter", January 2016.
- [4] E. Branlard, "Wind energy: On the statistics of gusts and their propagation through a wind farm". The Netherlands, February 2009.
- [5] G. Martínez, "Análisis del efecto de las ráfagas de viento sobre el convertidor electrónico de un aerogenerador," Tesis de Ingeniería, Universidad del Istmo, Sto. Domingo Tehuantepec, Oaxaca, 2021.
- [6] K. Zhou, N. Cherukuru, X. Sun y R. Calhoun, "Wind Gust Detection and Impact Prediction for Wind Turbines", Remote Sensing, vol. 10, n.º 4, p. 514, marzo de 2018. Disponible: <https://doi.org/10.3390/rs10040514>
- [7] L. Pop, Z. Sokol y D. Hanslian, "Un nuevo método para estimar la velocidad máxima de ráfagas de viento con un período de retorno dado y una alta resolución de área", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, volumen 158, p. 51–60, octubre. 2016. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.09.005>
- [8] W. Hu, F. Letson, R. J. Barthelmie y S. C. Pryor, "Wind Gust Characterization at Wind Turbine Relevant Heights in Moderately Complex Terrain", Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 57, n.º 7, pp. 1459–1476, julio de 2018. Disponible: <https://doi.org/10.1175/jamc-d-18-0040.1>
- [9] M. B. Vallis, A. M. Loredou-Souza, V. Ferreira and E. d. L. Nascimento, "Clasificación e identificación de eventos de vientos extremos sinópticos y no sinópticos a partir de observaciones de superficie en América del Sur", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.193, p. 103963, oct. 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.103963>
- [10] International Standard Norme Internationale, IEC 61400-2, 2013.
- [11] O. Noureldeen y A. Rashad, "Modeling and investigation of Gulf El-Zayt wind farm for stability studying during extreme gust wind occurrence", Ain Shams Engineering Journal, vol. 5, n.º 1, pp. 137–148, marzo de 2014. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.09.011>
- [12] D.R. López y J. A. Pineda, "Análisis, simulación, diseño e implementación de un controlador para el seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT) en un aerogenerador de baja potencia (SWT) en aplicaciones aisladas a la red eléctrica," Tesis de Maestría, Energías Renovables, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, Chihuahua, 2012.

## BIOGRAFÍAS



**GREGORIO MARTÍNEZ REYES** Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial (2016-2021) por la Universidad del Istmo. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias en Energía Eólica en la Universidad del Istmo, perteneciente al PNPC en el estado de Oaxaca. Sus áreas de investigación son la energía eólica, los efectos de las ráfagas de viento en el convertidor electrónico de potencia en aerogeneradores.



**EFRÁIN DUEÑAS REYES** Maestro en Ciencias, con la Especialidad en Electrónica de Potencia, por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Ingeniero en Electrónica con Especialidad en Instrumentación y Control por el Tecnológico de Orizaba. Actualmente estudia el Doctorado en el área de energía en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Autónoma de México. Sus áreas de interés son los convertidores electrónicos de potencia aplicados a aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, calidad de la energía.



**EMMANUEL HERNÁNDEZ MAYORAL** Obtuvo el grado de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Morelia en el año 2010 y 2015, respectivamente. Trabajó como profesor-investigador en la Universidad del Istmo en Oaxaca, México. Actualmente es Cátedra-CONACyT adscrito al Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Sus principales líneas de investigación son el análisis de la Calidad de la Energía en la Interconexión de Parques Eólicos a la Red Eléctrica y a las Microrredes Eléctricas Inteligentes.



**CHRISTIAN RENÉ JIMÉNEZ ROMÁN** Obtuvo el grado en Ingeniería en Energías Renovables por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas en el 2016. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Energía Eólica por la Universidad del Istmo en el 2019. Actualmente es doctorante en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sus principales líneas de investigación están relacionados a la energía eólica, calidad de la energía, electrónica de potencia y microrredes eléctricas.



**OMAR RODRÍGUEZ RIVERA** Máster en Ingeniería en Energía, por el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Autónoma de México e Ingeniero Mecánico Electricista, por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Ciudad de México, con más de 9 años de experiencia en el sector eléctrico público y privado en el área de diseño e implementación de redes eléctricas aéreas y subterráneas.



**CARLOS DAMIÁN AGUILAR GÓMEZ** Recibió el grado de Ingeniero en Energía en la Universidad Politécnica de Chiapas. Actualmente cursa la Maestría en Energías Renovables en la Universidad Politécnica de Chiapas, en la línea de investigación en microrredes eléctricas, su interés se centra en la inyección de recursos renovables en microrredes.