

Generator and classifier of flicker phenomenon that affects power quality

Edward A. Antolinez Cepeda, Ing.¹, Edison Andrés Caicedo Peñaranda, MSc.¹, Frayn S. Monsalve Pabón, Ing.,

Luis David Pabón Fernández, MSc.¹ and Jorge Luis Díaz Rodríguez, MSc.¹

¹Universidad de Pamplona, Colombia, {edwardantolinezr, edison.caicedo, frayn.monsalve}@unipamplona.edu.co, davidpabon@hotmail.com, jdiazcu@unipamplona.edu.co

Abstract—This paper presents the modeling and simulation of a generator and classifier of the flicker power quality phenomenon, using the IEC 61000-4-15 standard as a reference. The model is compared to the Hioki PW3198 power analyzer. As a result, the observed short-time severity index (Pst) values are related to those expected and stipulated according to the IEC standard, as well as those established by the meter. Finally, a summary of the methodology for its development in accordance with regulations is made, evaluated by comparing the short-time perceptibility index.

Keywords—power quality, modeling, flicker, classifier, simulation.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Generator and classifier of flicker phenomenon that affects power quality

Edward A. Antolinez Cepeda, Ing.¹ , Edison Andrés Caicedo Peñaranda, MSc.¹ , Frayn S. Monsalve Pabón, Ing. ,
Luis David Pabón Fernández, MSc.¹  and Jorge Luis Díaz Rodríguez, MSc.¹ 

¹Universidad de Pamplona, Colombia, {edwardantolinezr, edison.caicedo, frayn.monsalve}@unipamplona.edu.co,
davidpabon@hotmail.com, jdiazcu@unipamplona.edu.co

Abstract—This paper presents the modeling and simulation of a generator and classifier of the flicker power quality phenomenon, using the IEC 61000-4-15 standard as a reference. The model is compared to the Hioki PW3198 power analyzer. As a result, the observed short-time severity index (Pst) values are related to those expected and stipulated according to the IEC standard, as well as those established by the meter. Finally, a summary of the methodology for its development in accordance with regulations is made, evaluated by comparing the short-time perceptibility index.

Keywords—power quality, modeling, flicker, classifier, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

Con la regulación de la energía eléctrica la calidad de la energía se ha convertido en un tema central en el sistema eléctrico [1-3]. Uno de los fenómenos que afecta la calidad de la energía es el flicker. Asimismo, la presencia de cargas industriales en la red como hornos de arco y motores eléctricos aportan en la generación de dicho fenómeno, considerado como uno de los más importantes disturbios [4], [5].

El fenómeno del flicker o parpadeo se comprende como variaciones de luminosidad que son percibidas por el ser humano, debido a cambios en las fuentes lumínicas causadas por fluctuaciones de tensión [6], [7]. Las fluctuaciones de tensión pueden causar problemas médicos [6], [8]. Además, de provocar un mal funcionamiento en los equipos electrónicos. Asimismo, las principales fuentes de parpadeo en el sistema eléctrico son los ciclo-convertidores, soldadores y hornos de arco que presentan corrientes intermitentes y, por lo tanto, fluctuaciones de tensión [9-11].

Por otra parte, la salida de un generador y clasificador de flicker es el índice de severidad de tiempo corto P_{st} como parámetro fundamental para evaluar la irritación percibida [9], [12]. Por lo que se hace indispensable usar herramientas de generación e identificación de estos eventos de calidad de la energía que soporten el desarrollo de estrategias de disminución o mitigación de los mismos [13], [14]. Motivados por la previa discusión, este artículo propone el modelo de un generador y clasificador de flicker; proporcionando una mayor información con respecto a este disturbio de potencia que permita su comprensión y análisis de la forma más adecuada.

II. GENERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FLICKER

El fenómeno flicker se define por el cambio de la forma de onda de tensión en un valor menor al 10 % de su magnitud nominal, lo que provoca una intensidad parpadeante en luminarias. También, se expresa en porcentaje, como la relación entre la fluctuación de tensión y la tensión fundamental como se observa (1) [14].

$$f_v = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_n} * 100. \quad (1)$$

Según la norma IEC 61000-3-3:2013, el parpadeo se puede medir utilizando dos parámetros: el índice de severidad de tiempo corto P_{st} y el índice de tiempo largo P_{lt} .

El P_{st} se mide en intervalos de diez minutos mediante la expresión de la ecuación (2):

$$P_{st} = [K_{0.1}P_{0.1} + K_1P_1 + K_3P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}]^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ son los percentiles respectivos de las mediciones establecidas para la variación de la tensión, filtrada y tratada.

K_n son los coeficientes de ponderación.

La normativa IEC determina las magnitudes establecidas para los coeficientes de ponderación como se muestra en la tabla I:

TABLA I
COEFICIENTES DE PONDERACIÓN PARA EL CÁLCULO DE P_{st} . FUENTE IEC

	61000-3-3:2013.				
	$K_{0.1}$	K_1	K_3	K_{10}	K_{50}
Valor	0,031	0,052	0,065	0,28	0,08

Igualmente, el otro índice de perceptibilidad, que es el de larga duración P_{lt} , se determina con base en las magnitudes obtenidas del P_{st} , como se aprecia en la ecuación (3), en un tiempo de medición de dos horas.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st}^3}{N}}. \quad (3)$$

Para calcular estos indicadores, la normativa IEC-61000-4-15 establece el método para la generación y categorización de flicker según el diagrama de bloques mostrado en la Fig. 1.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

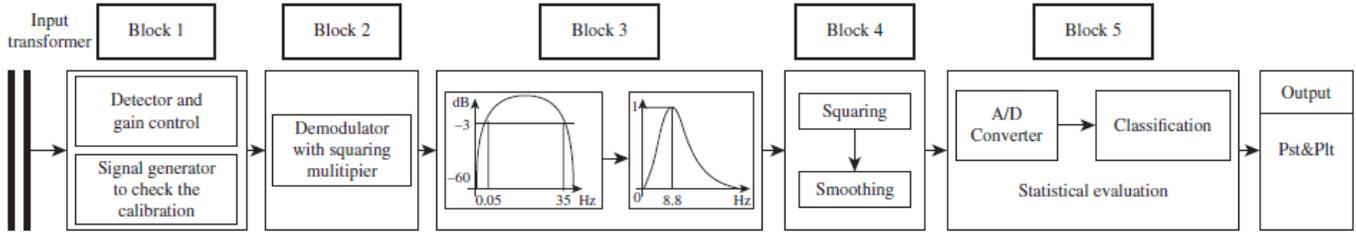


Fig. 1 Diagrama de bloques flickermeter IEC [15]

A. Descripción individual de cada bloque

A continuación, se describen los bloques de la figura 1.

1) Bloque 1

Consiste en un generador de la señal con flicker, adaptador de tensión de entrada, verificador y calibrador, se fundamenta en la ecuación (4) que modela el fenómeno de Flicker.

$$v(t) = \left[1 + \frac{\Delta V}{V} \% * \frac{1}{2} * \sin(\omega_m t) \right]. \quad (4)$$

Donde:

$\frac{\Delta V}{V} \%$ es el porcentaje de cambio de la amplitud de tensión.

ω_m es la pulsación modulante de la amplitud.

Para la generación del fenómeno Flicker se establecen dos señales modulantes, una sinusoidal y otra rectangular, como se aprecia en (5) y (6) respectivamente:

$$v(t) = A * \sin(2\pi\omega_c t) * \left[1 + \frac{\Delta V}{V} \% * \frac{1}{2} * \sin(2\pi\omega_m t) \right], \quad (5)$$

$$v(t) = A * \sin(2\pi\omega_c t) * \left[1 + \frac{\Delta V}{V} \% * \frac{1}{2} * \text{signum}(\sin(2\pi\omega_m t)) \right]. \quad (6)$$

Donde:

A es la tensión máxima.

ω_c es la frecuencia angular.

$\frac{\Delta V}{V} \%$ es la variación de la amplitud de tensión.

Como ejemplo de resultado, en las Fig. 2 y 3 se aprecia la señal con flicker con modulación rectangular y sinusoidal, con magnitud de 230 V, frecuencia de 50 Hz, variación de frecuencia de 8.8 Hz y $\frac{\Delta V}{V} = 10\%$.

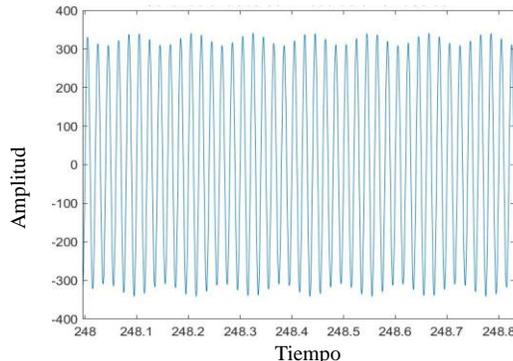


Fig. 2 Señal con modulación sinusoidal.

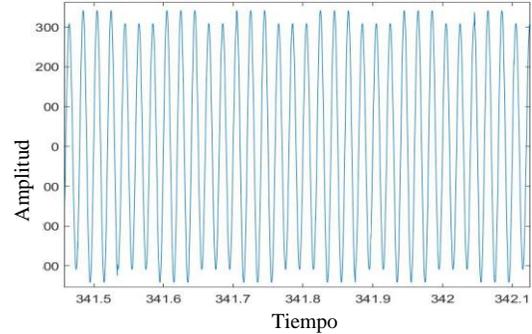


Fig. 3 Señal con modulación rectangular.

Posteriormente a la generación de las señales se normaliza la de entrada, con el objetivo de asegurar una magnitud fija máxima en por unidad independientemente de la misma; en la Fig. 4 se aprecia el resultado de la normalización.

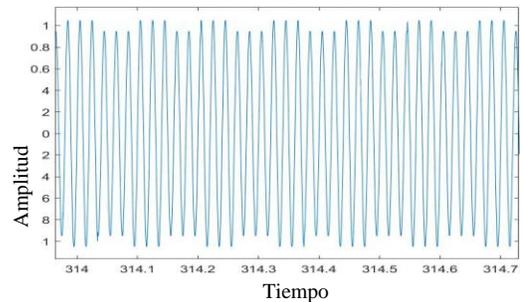


Fig. 4 Señal de entrada normalizada.

2) Bloque 2

Es el Demodulador Cuadrático, este es el encargado de representar el Flicker en una luminaria, frente a alteraciones de la tensión de entrada. La metodología recomendada esta dada por la norma IEC 61000-4-15, en la cual se fundamenta que la señal normalizada se debe elevar al cuadrado para recuperar la magnitud de la fluctuación de tensión, con el objetivo de cuantificar las mismas en la intensidad de flujo luminoso [16][17].

El comportamiento de una luminaria ante variaciones de tensión se establece mediante la ecuación (7):

$$G(fM) = \frac{K}{\sqrt{1 + (2\pi fMT)^2}}. \quad (7)$$

Donde:

K es el factor de ganancia.

T es la constante de tiempo de las luminarias.

Como resultado, en las Fig. 5 y 6 se muestra la salida del bloque 2; para la señal de ejemplo, con magnitud de 230 V, 50 Hz, variaciones de frecuencia de 8.8 Hz y $\Delta V/V=10\%$.

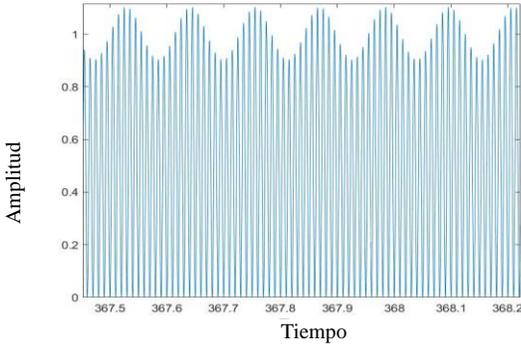


Fig. 5 Señal sinusoidal demodulada.

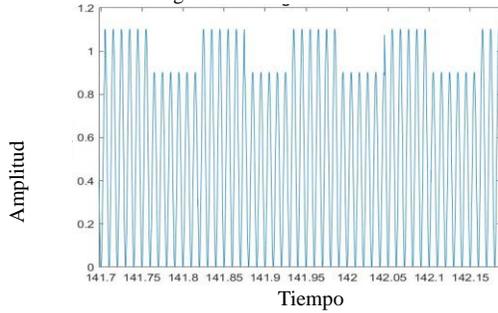


Fig. 6 Señal rectangular demodulada.

3) Bloque 3

Son los filtros de ponderación: donde se simula la conexión luminaria-ojo humano en presencia de variaciones de tensión. Se compone de dos filtros en cascada: el primer filtro pasa banda elimina la componente de corriente continua y las frecuencias afuera de la banda, con esto se reduce frecuencias no sensibles a la vista humana de acuerdo a la norma IEC 61000-4-15. Ejemplos de la salida del bloque se muestran en las siguientes figuras.

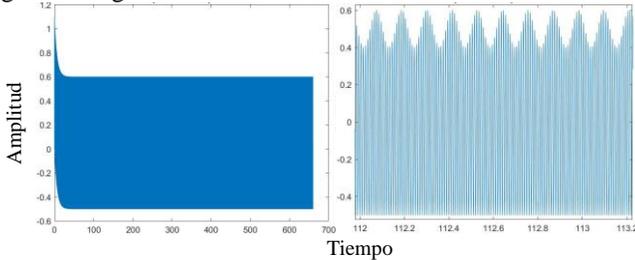


Fig. 7 Respuesta filtro pasa alto, señal sinusoidal.

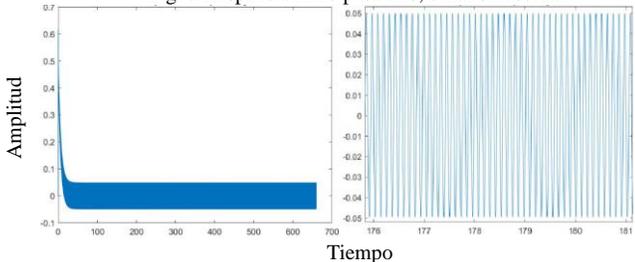


Fig. 8 Respuesta filtro pasa bajo, señal sinusoidal.

El segundo filtro de ponderación, simula la respuesta en frecuencia del ojo humano, frente a la presencia de variaciones en la intensidad de la luminaria. La norma IEC 61000-4-15 establece la función de transferencia según la ecuación (8), los parámetros correspondientes se muestran en la tabla II.

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right)}. \quad (8)$$

TABLA II
PARÁMETROS DE LAS VARIABLES DE FILTRO DE PONDERACIÓN [18].

Variable	Lámpara	
	230 V/60 W	120 V/60 W
k	1.75	1.64
λ	$2\pi*4.06$	$2\pi*4.17$
ω_1	$2\pi*9.15$	$2\pi*9.08$
ω_2	$2\pi*2.28$	$2\pi*2.94$
ω_3	$2\pi*1.22$	$2\pi*1.39$
ω_4	$2\pi*21.9$	$2\pi*17.32$

La salida del filtro de ponderación, para la señal tratada como ejemplo, se presenta en la Fig. 9.

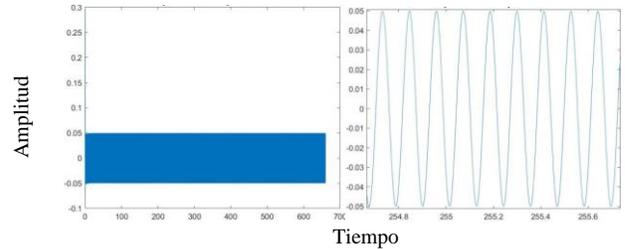


Fig. 9 Respuesta filtro de ponderación.

4) Bloque 4

Este bloque hace las funciones de multiplicador cuadrático y aislamiento, se encarga de simular la conexión ojo humano-cerebro. Como primera medida, con el objetivo de exponer la conducta no lineal de la percepción conjunta, se efectúa la multiplicación cuadrática de la señal. Posteriormente, con la finalidad de modelar el efecto de la memoria del cerebro, se crea un filtro de primer orden que modela la misma. Por lo tanto, a la salida del bloque se obtiene el nivel de Flicker instantáneo [19].

Por otra parte, el filtro de primer orden, conforme al tiempo que emplea en transferir la información, en la conexión ojo humano-cerebro, cuenta con una constante de tiempo equivalente; su función de transferencia se aprecia en (9).

$$F(s) = \frac{1}{1 + Ts}. \quad (9)$$

El factor de ponderación se fundamenta en la normativa IEC 61000-4-15, que expresa que inmediatamente se filtra la señal, se realiza la multiplicación por una constante, que depende de la magnitud de tensión y frecuencia de la señal como se aprecia en la tabla III.

TABLA III
FACTOR DE PONDERACIÓN [16].

K230V, 50 Hz	K230V, 60 Hz	K120V, 50 Hz	K120V, 60 Hz
1211002	1177504	1170233	1238298

Además, debido al transitorio de arranque, se debe exceptuar del último filtro los cincuenta segundos iniciales y los diez segundos finales, de la señal de *flicker* instantáneo, en el análisis estadístico.

Como resultado, en la Fig. 10 se muestra la señal de salida normalizada a un Flicker instantáneo cercano a la unidad, con magnitudes de 230 V, 50 Hz, variaciones de frecuencia de 8,8 Hz y $\frac{\Delta V}{V}=0.196\%$.

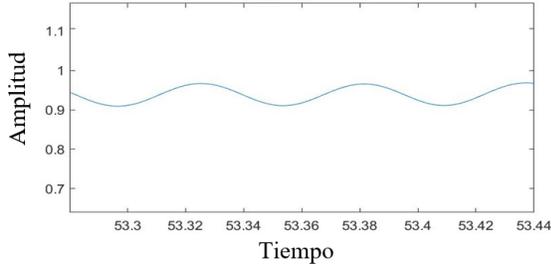


Fig. 10 Flicker instantáneo.

5) Bloque 5

Se encarga del Análisis Estadístico, en donde realiza se un estudio sobre el *flicker* instantáneo

En el primer paso, se eliminan los datos de los cincuenta segundos iniciales y diez segundos finales de la medición. En el segundo paso, se aprecia la magnitud máxima y mínima de la señal de Flicker instantáneo como se aprecia en la Fig. 11.

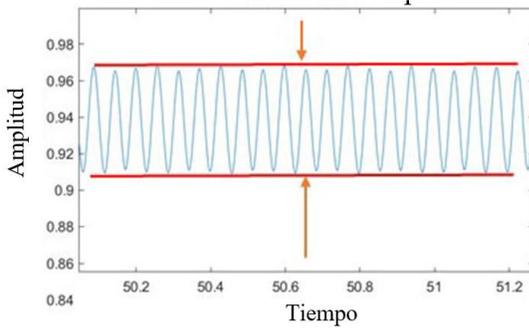


Fig. 11. Pasos 1 y 2; cálculo de P_{st} y P_{lt} .

En el tercer paso, se determina la diferencia entre la magnitud mayor y menor de la señal, luego, la misma se divide en el total de clases a examinar.

En el cuarto paso, se determina el intervalo total de tiempo para todas las clases con relación a la magnitud, luego, se logra la función de densidad de probabilidad y probabilidad acumulada como se aprecia en la Fig. 12.

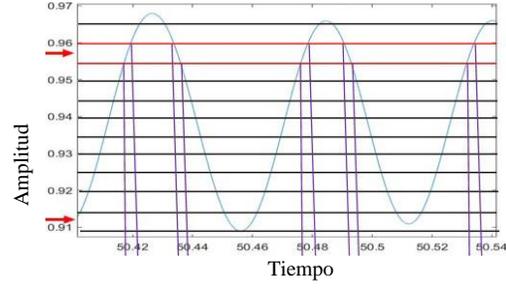


Fig. 12 Pasos 3 y 4; cálculo de P_{st} y P_{lt} .

La figura anterior, es una muestra del tercer y cuarto paso, en donde la densidad de probabilidad de las clases se determina mediante la expresión (10).

$$D.P.class_i = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{tiempototal} * 100. \quad (10)$$

Asimismo, para determinar las funciones de densidad se extraen los datos que expresan una magnitud de $P_{st} = 1$ mediante tabla, en este caso para la señal analizada se muestran los resultados en la fig. 13.

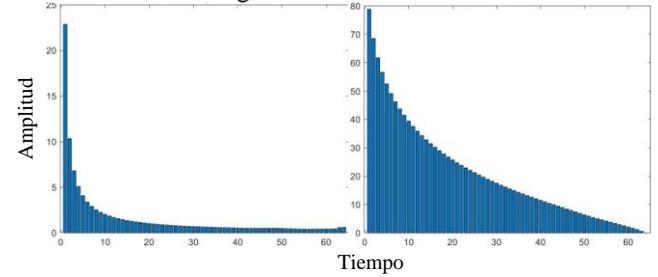


Fig. 13 Función de densidad de probabilidad y probabilidad acumulada respectivamente.

La función de densidad de probabilidad establece la probabilidad relativa en la que la variable toma una magnitud específica. Asimismo, la función de probabilidad acumulada determina la probabilidad de una magnitud dada en cada clase como se aprecia en (11).

$$CPFclass_i = 100 - CDF_i. \quad (11)$$

Donde:

$CPFclass_i$ es la función de probabilidad acumulada.

CDF_i es la función de densidad acumulada.

La función de densidad acumulada se establece en (12):

$$CDF_i = D.P.class_i + CDF_{i-1}. \quad (12)$$

Donde:

$D.P.class_i$ es la densidad de probabilidad.

Este cálculo resulta en la función de probabilidad acumulada, utilizada en la determinación de los percentiles correspondientes en la cuantificación P_{st} .

En el quinto paso, se debe tener en consideración el total de muestras que concuerdan con el tiempo establecido en cada clase, para determinar los percentiles 0.1, 1, 3, 10 y 50; donde se evidencie la cantidad de muestras en cada clase y las acumuladas, como se puede observar en la tabla IV.

TABLA IV
DATOS AGRUPADOS, CÁLCULO DE PERCENTILES.

Clase	Frecuencia	Frecuencia Acumulada
	f	F
1	$f_1 = \frac{\text{Tiempototalclase1}}{\text{Periododemuestreo}}$	f_1
2	$f_2 = \frac{\text{Tiempototalclase2}}{\text{Periododemuestreo}}$	$f_1 + f_2$
n	$f_n = \frac{\text{Tiempototalclase n}}{\text{Periododemuestreo}}$	$f_1 + f_2 + \dots + f_n$

En el último paso, una vez obtenidos los datos agrupados, se calculan los percentiles, para esto se recurre a la estadística de datos agrupados. Una vez obtenidos los percentiles, se determinan P_{st} y P_{lt} .

III. SIMULACIÓN

Se muestra en la Fig. 14, de forma general, el diagrama de bloques para el proceso de simulación del generador y clasificador de flicker, en donde se implementaron cada uno de los bloques descritos anteriormente.

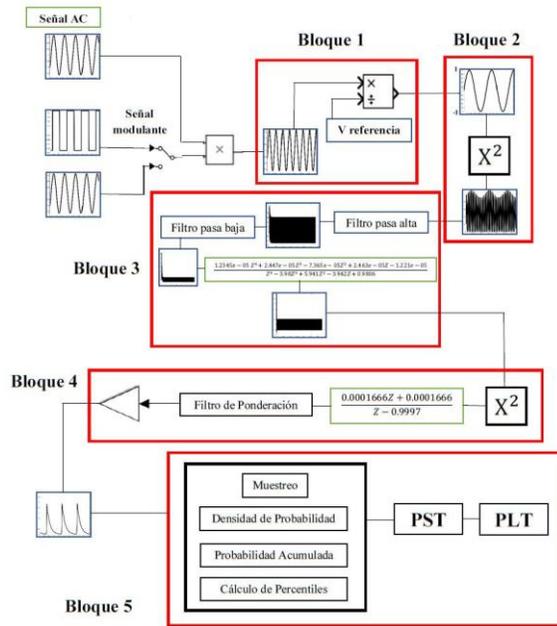


Fig. 14 Diagrama de bloques generador y clasificador de flicker.

III. VERIFICACIÓN

La norma IEC 61000-4-15 establece referencias de prueba en la calibración de equipos y simuladores de flicker; para lo que se establece un examen estadístico en el parpadeo instantáneo, que conlleva a una determinada magnitud de P_{st} . Como resultado, en la tabla V se aprecian las magnitudes de cambio por minuto (cpm) y variación de tensión con un P_{st} próximo a la unidad. Asimismo, la normativa determina la prueba apropiada en la evaluación del clasificador de flicker.

TABLA V

VALORES CPM Y FLUCTUACIÓN DE TENSIÓN PARA UN P_{st} CERCANO A LA UNIDAD [17].

cpm	Respuesta P_{st}			
	120/50 Hz	120/60 Hz	230/50 Hz	230/60 Hz
7	1,694	1,694	1,45	1,45
39	1,045	1,04	0,894	0,895
110	0,844	0,844	0,722	0,723
1620	0,545	0,548	0,407	0,409
4000	3,426	NA	2,343	NA
4800	NA	4,837	NA	3,263

En la tabla VI se aprecian los datos de P_{st} obtenidos con el clasificador; basados en las magnitudes establecidas en la tabla anterior para un $P_{st} = 1$.

TABLA VI
EVALUACIÓN VALORES $P_{st} = 1$.

cpm	Respuesta P_{st}			
	120/50 Hz	120/60 Hz	230/50 Hz	230/60 Hz
7	0.8441	0.8702	0.9187	0.9075
39	0.9667	0.9917	0.9796	0.9688
110	0.9700	1.0000	0.9830	0.9726
1620	0.9710	1.0000	0.9859	0.9735
4000	0.9896	NA	1.0038	NA
4800	NA	1,0221	NA	0.9936

Como se aprecia en la tabla anterior, los datos obtenidos de P_{st} cambian en referencia a bajas frecuencias. Por lo que se establece que se obtiene un mejor desempeño en frecuencias desde 0.1 Hz, logrando una validez del 100 % entre los límites de 0.92 Hz y 13.5 Hz para tensiones de 120V/60 Hz.

A continuación, en la tabla VII se aprecia un contraste entre el clasificador de flicker modelado y el equipo de analizador de calidad de la energía Hioki PW3198; el indicador a contrastar es la magnitud de P_{st} en dependencia de la variación de tensión y frecuencia de la señal a 230 V/50 Hz [16].

TABLA VII
COMPARACIÓN P_{st} .

Fluctuaciones rectangulares 230 V/50 Hz				
Fluctuación V(%)	Fm (Hz)	P_{st} esperado	P_{st} Hioki	P_{st} modelado
1	0.5	1.23	1.32	1.1947
2	0.5	2.46	2.42	2.3893
1	2.0	1.76	1.70	1.7094
2	8.0	7.04	7.05	7.0207

Como se aprecia en la tabla anterior, las magnitudes de P_{st} resultantes se relacionan con los datos previstos por la normativa, y con los establecidos por el analizador. De igual forma, se aprecia la incidencia que tiene la variación de tensión, al aumentar del 1 % al 2 %, en el incremento del P_{st} .

Continuando con la validación, las magnitudes de $P_{st} = 1$ se establecen como base de comparación para una señal de 120 V, como se aprecia en la tabla VIII.

TABLA VIII
PRUEBA DE EFECTIVIDAD BASADA EN $P_{st} = 1$.

cpm	f	Mod	P_{st}	cpm	f	Mod	P_{st}
7	0.06	1.69	0.87	585	4.88	0.50	1.00
10	0.08	1.50	0.94	682	5.68	0.44	1.00
22	0.18	1.19	0.99	796	6.63	0.39	1.00
38	0.40	1.00	0.99	1020	8.50	0.35	0.99
39	0.32	1.04	0.99	1055	8.79	0.35	0.99
68	0.57	0.94	0.99	1200	10.00	0.37	0.99
110	0.92	0.84	0.99	1390	11.58	0.44	1.00
176	1.47	0.74	0.99	1620	13.50	0.55	0.99
273	2.28	0.65	0.99	2400	20.00	1.05	1.00
375	3.12	0.59	1.00	2875	23.96	1.49	0.99
480	4.00	0.56	1.00				

En la tabla anterior, se aprecia la prueba del clasificador conforme al $P_{st} = 1$ modelado, como se aprecia, la magnitud promedio determinada de P_{st} coincide con magnitudes próximas a la unidad; validando la metodología implementada.

IV. CONCLUSIONES

El modelo del generador y clasificador de *flicker*, presentado en este artículo, se establece según la metodología sugerida por la normativa IEC. El modelo se evalúa mediante la comparación de P_{st} , con los patrones de referencia de la norma y con un analizador real, permitiendo validar el funcionamiento.

En dependencia del tipo de dispositivo *flicker* que se desee desarrollar, las clases elegidas en el bloque estadístico, impactan directamente en la magnitud del P_{st} . Por otra parte, en presencia de indicadores de variaciones de tensión y frecuencias modulantes, la salida del bloque 4 podría ser constante; desencadenando errores en la clasificación.

Con la conexión establecida entre el factor *flicker*, la frecuencia de modulación y el factor de multiplicación, se valida con los indicadores específicos presentados el excelente desempeño del sistema.

La sensación de parpadeo, según la normativa, cambia debido a las particularidades morfológicas del ser humano frente al fenómeno, debido a esto, los parámetros utilizados como fluctuación de tensión y frecuencia modulante, no tendrán el mismo grado de incidencia para todas las personas.

En el bloque estadístico del clasificador, se utilizan distintas técnicas de reconocimiento, procesamiento y extracción de señales; por lo tanto, en trabajos futuros se podría experimentar con técnicas avanzadas como inteligencia artificial o redes neuronales.

Como continuación del presente trabajo se plantea la implementación de un dispositivo de bajo costo y llevar a cabo investigaciones sobre el impacto del fenómeno en distintas clases de luminarias y la repercusión en la sensación humana.

REFERENCIAS

- [1] J. Li, D. Hong, H. Lin, C. Liang, W. Yao, H. Zhong, and Y. Xu, "A generic flicker measurement method based on feature sequence reconstruction," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2023.
- [2] M. Maksić, I. Papič, and B. Blažič, "Simple continuous assessment of transmission-network flicker levels caused by multiple sources," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 6, pp. 2546–2552, 2015.
- [3] H. Shu and Y. Wang, "Detection of voltage flicker based on mathematical morphology filter and teager energy operator," in *2006 International Conference on Power System Technology*. IEEE, 2006, pp. 1–6.
- [4] S. Lodetti, I. Azcarate, J. Gutiérrez, L. Leturiondo, K. Redondo, P. Sáiz, J. Melero, and J. Bruna, "Flicker of modern lighting technologies due to rapid voltage changes," *Energies*, vol. 12, no. 5, 2019.
- [5] V. Bećirović, B. Nikolić, I. Turković, and I. Pavić, "The development of flickermeter according to standard IEC 61000-4-15 and modeling consumers which produce flickers in the power network," in *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*. IEEE, 2012, pp. 1012–1016.
- [6] A. Saadat, R.-A. Hooshmand, and M. Tadayon, "Flicker propagation pricing in power systems using a new short-circuit-based method for determining the flicker transfer coefficient," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1–9, 2020.
- [7] Y. Chen, G. Chang, and S. Lin, "A digital implementation of IEC 61000-4-15 flickermeter," in *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*. IEEE, 2015, pp. 1–5.
- [8] P. Clarkson and P. Wright, "Sensitivity analysis of flickermeter implementations to waveforms for testing to the requirements of IEC 61000-4-15," *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 125–135, 2010.
- [9] M. Turkuzan and O. Salor, "Illumination based flickermeter designed for flicker analysis of electric arc furnace plants," in *2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*. IEEE, 2016, pp. 1–8.
- [10] W. Yufei, H. Xue, and Y. Xiao, "Assess of the flicker caused by electric arc furnace using simulation method," in *International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. Springer, 2011, pp. 128–134.
- [11] P. Ranganathan and R. Kavasseri, "Flickermeter design: An improved method to evaluate short term flicker severity index (pst) using walsh ha-damard transform (wht)," in *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. IEEE, 2010, pp. 1–7.
- [12] D. Geiger, M. Arechavaleta, M. Halpin, and M. Tremblay, "Evaluating alternatives to voltage fluctuation and flicker measurements based on IEC standard 61000-4-15," in *2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*. IEEE, 2016, pp. 53–57.
- [13] S. Abulanwar, A. Ghanem, M. Rizk, and W. Hu, "A proposed flicker mitigation scheme of dfig in weak distribution networks," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, no. 2, pp. 677–687, 2019.
- [14] M. Sánchez, "Calidad de la energía eléctrica," *Instituto Tecnológico de Puebla, México*, 2009.
- [15] X. Wu, M. Tian, Y. Zhu, Q. Zhao, and F. Liu, "A hybrid time and frequency domain digital implementation of flickermeter based on mirror image extension," *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, vol. 14, no. 7, pp. 982–989, 2019.
- [16] J. Pizzani and A. Rodríguez, "Desarrollo de un sistema configurable para la medición de flicker y fluctuaciones de tensión," 2019.
- [17] "IEC 61000-4-15:2010," *Iec.ch*. [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/publication/4173>. [Consultado: 28-ene-2024].
- [18] H. Li, Y. Song, M. Zhu, and Y. Jiao, "Experimental interharmonic sensitivity evaluation of led lamps based on the luminous flux flicker model," *Energies*, vol. 15, no. 9, 2022.
- [19] D. Montoya and C. Regoli, "Modelado y simulación del medidor de la sensación instantánea de flicker del flickermetro de la norma IEC-61000-4-15 mediante redes neuronales," *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 13, no. 51, pp. 137–142, 2009.