

System development for Calibration of Certification Instruments in Energy Quality with LabVIEW

Desarrollo de Sistema para Calibración de Instrumentos de Certificación en Calidad Energética con LabVIEW

Jaime Jalomo Cuevas¹, Ramón Chávez Bracamontes¹, Juan Francisco Palomino Bernal^{*1}, Roberto Ruiz Aguilar¹, and Ramiro Rodríguez Pérez¹

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán,
Departamento de Eléctrica y Electrónica, Departamento de Ciencias de la Tierra,
Av. Tecnológico 100, Carretera al Fresnito, Ciudad Guzmán, Jal., México, 49100.
roberto6463435@gmail.com, {jaime.jc, ramon.cb, juan.pb, ramiro.rp }@cdguzman.tecnm.mx

Abstract

The present work focuses on the study of disturbances generated by devices such as solar panels or wind turbines, focusing on the Flicker effect. Therefore, different tests are generated to induce the Flicker effect, both physical and digital, using as a meter a block diagram made in LabView software. Subsequently, a code was developed in MATLAB using 2 and 3 variables to produce the grouping of the signals collected, product of the aforementioned effect and without it, thus obtaining, graphically, the required information for its grouping and future developments focused on the Flicker effect reduction. It is important to mention the benefits in energy quality, highlighting energy savings through solar or wind supply.

Keywords— Flicker Effect, Labview, Energy Quality

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el estudio de las perturbaciones generadas por dispositivos como paneles solares o turbinas eólicas, enfocándose en el efecto flicker. Por lo tanto, se generan diferentes pruebas para inducir el efecto flicker, tanto físico como de manera digital, utilizando como medidor un diagrama de bloques elaborado en el software Labview. Posteriormente, se desarrolló una codificación en MATLAB utilizando 2 y 3 variables para producir el agrupamiento de las señales recabadas, producto del

efecto mencionado y sin él, obteniendo así, de manera gráfica, la información necesaria para su agrupamiento y futuros desarrollos enfocados a la aminorización del efecto flicker. Es importante mencionar los beneficios en la calidad de la energía, destacando el ahorro energético mediante el abasto solar o eólico.

Palabras clave— Efecto Flicker, Labview, Calidad de Energía

I. Introducción

La importancia de la calidad energética no se había considerado con un alto grado de interés en México hasta hace poco tiempo, del mismo modo, tampoco las repercusiones causadas en los dispositivos abastecidos de las redes eléctricas, para su correspondiente desempeño al ser utilizados.

Resulta importante mencionar las afectaciones derivadas de las mismas, entre ellas, se pueden encontrar el consumo excesivo de energía eléctrica y el daño que causa a los equipos eléctricos y electrónicos sensibles, lo anterior, debido a la baja eficiencia que reúnen las instalaciones eléctricas [1].

Para garantizar una buena calidad de la energía [2, 3], es necesario llevar a cabo diferentes tipos de mediciones como lo son: el factor de potencia, armónicos, interarmónicos, sags, swells y flicker, por mencionar algunos.

En México existe una Norma Oficial Mexicana equivalente a la internacional IEC 61000-4-15 [4], siendo su equivalente la norma NMX-J-550/4-15-ANCE-2005, donde se establecen principalmente los requerimientos para un medidor de flicker [5, 6] y los procedimientos para su

* Autor de correspondencia

certificación, la cual, será indispensable para el presente trabajo. Enfocado principalmente en una plataforma de calibración de bajo costo desarrollada en LabVIEW utilizando una metodología sencilla pero eficiente que incluye desde simulaciones hasta trabajos desarrollados en laboratorio, con diferentes dispositivos para inducir el efecto flicker y posteriormente, realizar su estudio mediante diferentes pruebas [7], para continuar con una calibración [8] adecuada del programa desarrollado en LabView.

Y adicionalmente, una codificación en MATLAB como aportación para trabajos futuros del presente, relativos a calidad de energía al utilizar 3 variables para la agrupación de señales, con y sin efecto flicker, además de su respectiva agrupación basado en un sistema de bajo costo.

II. Diseño de Diagrama y herramientas para el estudio

II.1. Desarrollo del programa para medición en Labview

Para desarrollar las mediciones del valor flicker se decide emplear el programa LabVIEW debido a su practicidad y su compatibilidad con diversas herramientas. Para la transacción de datos de voltaje se utiliza el sensor ZMPT101B, el cual, reduce el voltaje variable de 240V a un voltaje de 0V a 5V, pudiendo ser utilizado por el convertidor analógico-digital del microcontrolador. La placa Ni-DAQ 6009 será indispensable para realizar la actividad mencionada.

Concerniente al medidor flicker, se construye haciendo uso del módulo Control and Design Simulation de LabVIEW, al utilizar funciones de transferencia como lo desarrolló A. Bertola [9] con una frecuencia de muestreo de 1 kHz.

El programa se desempeña de la siguiente manera: antes de ingresar los datos al medidor, pasan por un bloque de escalamiento para, posteriormente, regresar a su valor original y procesarse en los bloques de transferencia mencionados anteriormente, continuando el ciclo de lazo y para repetir la operación mediante el ciclo de control & simulation loop. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del medidor desarrollado en LabVIEW.

Una vez desarrollado el programa de medición de flicker en LabVIEW, se realiza una prueba mediante una conexión a la red eléctrica de una vivienda, para comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta desarrollada en el software LabVIEW. En la Figura 2 se muestra el panel frontal de LabVIEW con las mediciones correspondientes, en donde en el eje "Y" se encuentra la amplitud y en el eje de las "X" el tiempo.

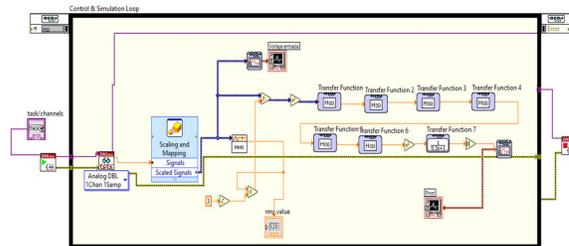


Figura 1: Diagrama de bloques medidor de flicker

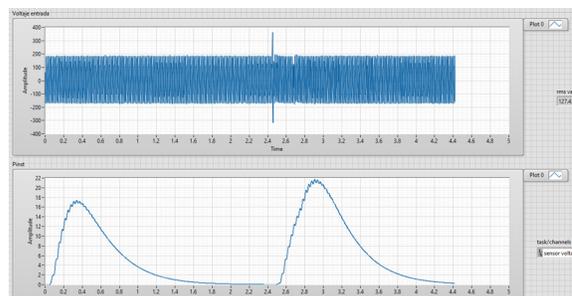


Figura 2: Panel frontal de medidor de flicker en LabVIEW

II.2. Desarrollo y mediciones en generador físico

Para comprobar las simulaciones de sistemas de generación se utiliza un motor de inducción trifásico, el cual, cuenta con un generador de corriente directa acoplado en lugar de un generador de corriente alterna, debido a lo anterior, no fue posible realizar una prueba de sincronización con otro generador, sin embargo, si fue posible realizar la prueba de agregación de cargas utilizando un inversor de voltaje.

En la Figura 3 se muestra el acoplamiento del motor generador para desarrollar pruebas e inducir el efecto flicker y poder apreciar los Pinst (parpadeos instantáneos en picos de lectura en señal) en la red de energía eléctrica suministrada por el motor generador.



Figura 3: Motor generador

En la Figura 4 se muestra el inversor de voltaje marca Steren de 600W. Para controlar la velocidad del motor descrito anteriormente.



Figura 4: Inversor de voltaje Steren

Para la salida de voltaje del generador se utiliza un variador de frecuencia de la marca Micro Drive mostrado en la Figura 5, el cual se utilizará para manipular la frecuencia de la señal a analizar.



Figura 5: Variador de frecuencia Micro Drive

El generador mostrado anteriormente entrega a su salida 90V, resultando en la necesidad de utilizar un divisor de voltaje para poder ser utilizado por el inversor, el circuito utilizado se observa en la Figura 6, el cual fue simulado primeramente en el software de Proteus utilizando dos resistencias: la primera de $10k\Omega$ y la segunda de $2k\Omega$ respectivamente.

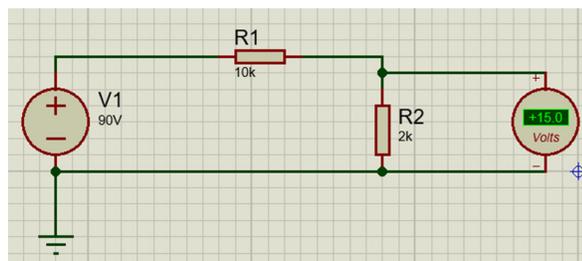


Figura 6: Divisor de voltaje

Al utilizar el conjunto del generador/inversor, utilizando el medidor flicker desarrollado en LabVIEW, se capta un nivel considerable de Pinst, como se muestra en la Figura 7.

En la Figura 8 se muestra una medición realizada a la señal en un toma de corriente común. Es posible realizar una comparativa con la señal mostrada en la Figura 7 al

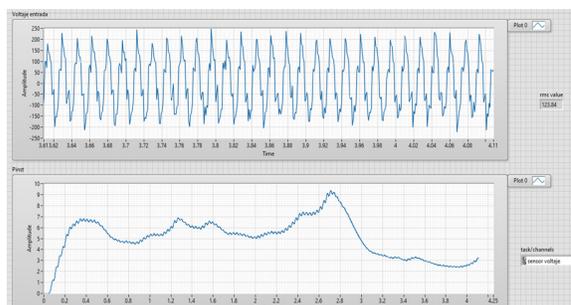


Figura 7: Pinst de generador-inversor

apreciar la forma de onda se puede entender el cambio considerable en la misma y con ello, el Vrms (siglas en inglés de voltaje de raíz cuadrática media), por lo que la Pinst se incrementa, independientemente de presentarse un parpadeo detectable por el ojo humano.

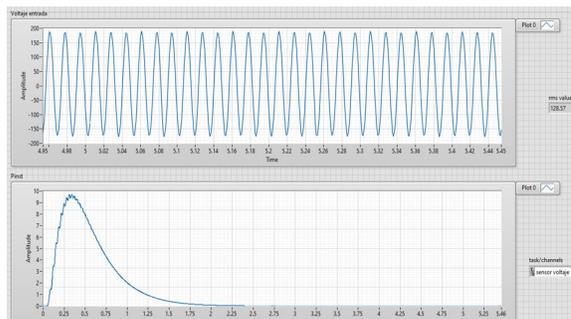


Figura 8: Pinst en un toma corrientes

Continuando con el análisis descrito hasta el momento, también se utilizó un analizador de redes de la marca MyeBOX para realizar la medición al mismo sistema, aunque este dispositivo lo expresa en el término “Pst” y no “Pinst”, debido a que no cuenta con la función descrita, obteniendo un resultado no muy cercano al producido con el medidor desarrollado en LabVIEW, deduciendo que alguno de los dos dispositivos necesita una calibración. La medición descrita se muestra en la Figura 9.

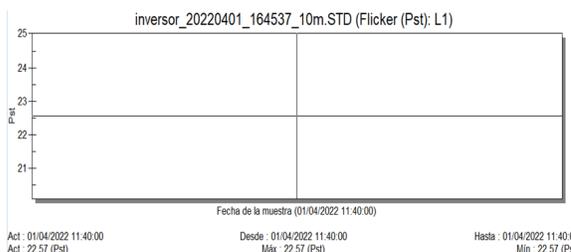


Figura 9: Medición de Flicker Pst del inversor del sistema generador inversor

II.3. Alternancia de fuentes de voltaje

Otra metodología utilizada para la generación del efecto flicker es mediante la alternancia entre dos fuentes de voltaje, en este desarrollo se utiliza una fuente de voltaje alterna, marca Agilent, y el suministro de voltaje del laboratorio donde se realiza el presente trabajo, en donde, para alimentar una lámpara convencional y su correspondiente intercalamiento, se utilizan dos relevadores de estado sólido. Lo anterior puede apreciarse en la Figura 10.

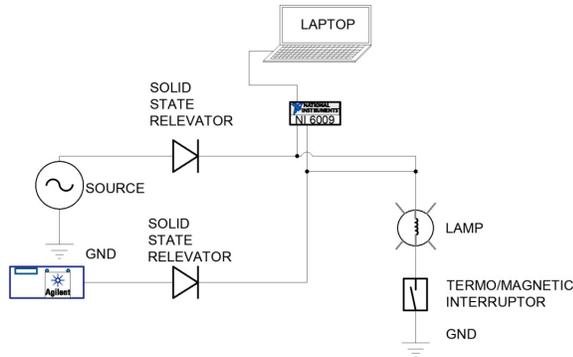


Figura 10: Relevadores utilizados en el intercalado de fuentes

Es importante mencionar que fue desarrollado un programa adicional realizado en LabVIEW para controlar el sistema de dos fuentes por la tarjeta NI 6009, para lograr incentivar el efecto flicker en el sistema descrito y poder analizar las lecturas posteriormente, el programa para realizar el control de intercalado de fuentes es apreciable en la Figura 11.

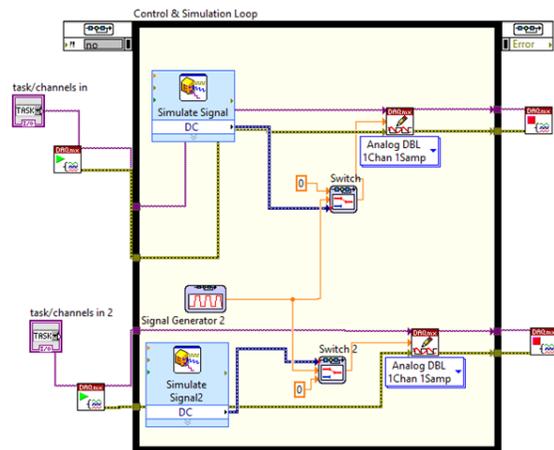


Figura 11: Programa para intercalado de fuentes de voltaje

Mediante el programa realizado es posible modificar la frecuencia de intercalado entre las dos fuentes. Aumentando o disminuyendo el voltaje de la fuente Agilent

se produce la modulación de amplitud y al conocer el voltaje de las fuentes se puede calcular el porcentaje de modulación, para adicionalmente y al poseer ese porcentaje con la frecuencia de intercalado, es posible realizar una estimación del Pinst, para realizar posteriormente una calibración del programa denominado “medidor flicker” desarrollado en LabVIEW, utilizando la norma IEC 61000-4-15.

Después de ejecutar las pruebas descritas, resulta precedente apreciar la limitación en la velocidad de intercalado entre las fuentes, debido a que, aunque se establecieran las fuentes al mismo voltaje, continuaba observándose un parpadeo, por lo que la calibración no sería de mucha precisión, optando por usar este método en simulación y calibrar el medidor de flicker (desarrollado en la Figura 1) en LabVIEW. En la Figura 12 se muestra la señal obtenida en el intercalado de fuentes.

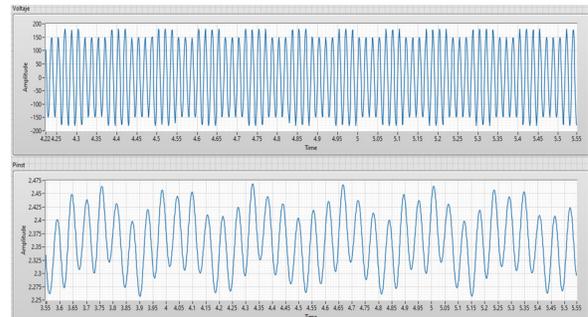


Figura 12: Señal de intercalado de fuentes

III. Prueba del Medidor Flicker

Continuando con las pruebas del medidor flicker, resulta necesario desempeñar la toma de señales del mismo utilizando una metodología comparativa, con referencia en la tabla que se encuentra en el estándar IEC 61000-4-15. En el tabulador mencionado se utilizan distintos valores de porcentaje de modulación de amplitud “M” y también diferentes frecuencias. Todos los valores deberían de producir un resultado de Pinst de entre $1 \pm 8\%$. Por lo cual se utiliza el método de intercalado de fuentes y se prueba el medidor de flicker en simulación.

En el primer desarrollo todos los valores de Pinst resultaron muy por debajo del valor esperado, optando por la elaboración de un escalamiento en el resultado para incentivar el acercamiento al valor deseado. Se decide escalar el resultado y adaptarlo para obtener por lo menos un valor dentro del rango permitido. Sin embargo, todos los demás valores resultaron erróneos, por lo que se requiere validar si el error se encuentra en el medidor de flicker o en el método de modulación utilizado. En la Tabla 1 se muestran los valores de Pinst obtenidos.

Tabla 1: Valores de Pinst obtenidos en prueba de modulación

120V / 60 Hz	IEC 61000-4-15 (Sinusoidal)		IEC 61000-4-15 (Rectangular)	
	$\Delta U/U$ %	Pinst, Max	$\Delta U/U$ %	Pinst,Max
0.5	2.453	30	0.598	1.87
1.5	1.126	10.75	N/A	
3.5	N/A		0.408	1.02
8.8	0.321	0.771	0.525	0.481
18	N/A		0.626	10.52
20	0.977	1.155	N/A	
22	N/A		0.851	0.143
25.5	N/A		1.072	0.28
33.33	2.57	0.212	1.823	0.1075
37	N/A		1.304	0.377
40	4.393	1.038E^-5	3.451	6.52E^-6

Para obtener la modulación exacta requerida y asegurar una calibración conforme a la Norma IEC 61000-4-15, es necesario mantener fija una de las fuentes de voltaje y la otra disminuirla o aumentarla como método alternativo para obtener la diferencia de voltaje ΔV y así se pueda inducir un valor igual al voltaje promedio del ΔV , multiplicado por el porcentaje de modulación M, para simplificar el proceso se utilizó el Software Excel, donde es posible mediante fórmulas simplificar el proceso, los resultados del proceso descritos se muestran en la Figura 13.

Vp	ΔV	M	Vpp	Vpp2	Vpp fijo
166.048259	7.2946	4.393	169.695509	162.401009	
166.050535	7.2947	4.393	169.697835	162.403235	
166.052811	7.2948	4.393	169.700161	162.405461	
166.055088	7.2949	4.393	169.702488	162.407688	
166.057364	7.295	4.393	169.704814	162.409914	169.704
166.05964	7.2951	4.393	169.70714	162.41214	
166.061917	7.2952	4.393	169.709467	162.414367	
166.064193	7.2953	4.393	169.711793	162.416593	
166.066469	7.2954	4.393	169.714119	162.418819	
166.068746	7.2955	4.393	169.716446	162.421046	
166.071022	7.2955	4.393	169.718772	162.423272	
166.073298	7.2956	4.393	169.721098	162.425498	
166.075575	7.2957	4.393	169.723425	162.427725	
166.077851	7.2958	4.393	169.725751	162.429951	
166.080127	7.2959	4.393	169.728077	162.432177	
166.082404	7.296	4.393	169.730404	162.434404	
166.08468	7.2961	4.393	169.73273	162.43663	
166.086957	7.2962	4.393	169.735057	162.438857	

Figura 13: Proceso de obtención de Modulación en Excel

El valor que se está modificando es el correspondiente al ΔV , para obtener de esta manera el valor exacto de la fuente de voltaje 2. En la Tabla 2 se muestra el voltaje de la fuente 2, correspondiente a cada porcentaje de modulación.

III.1. Ajuste del medidor Flicker en LabVIEW

Anteriormente, se probó el medidor de flicker usando el procedimiento establecido en el estándar IEC 61000-4-15, derivado de eso, se llena la Tabla 1, en la cual se

Tabla 2: Voltajes de fuente 2 correspondientes a M

Frecuencia Hz	Modulación senoidal		Modulación cuadrada	
	M	V Fuente 2	M	V Fuente 2
0.5	2.453	165.591618	0.598	168.692258
1.5	1.126	167.803911		
3.5			0.408	169.013087
8.8	0.321	169.161082	0.525	169.276918
18			0.626	168.645084
20	0.977	168.054145		
22			0.851	168.266864
25.5			1.072	167.894675
33.33	2.57	165.397943	1.823	166.638266
37			1.304	167.50568
40	4.393	162.409135	3.451	163.947268

observó un nivel alto de error, por lo cual es necesario verificar si el error se encuentra en el medidor o en el método de prueba, después, se realizaron pruebas con el método de modulación clásico, pero el error se incrementó, por lo que se decide realizar algunos ajustes al medidor. Los ajustes mencionados constan en retirar el escalamiento y en su lugar, incluir una función de transferencia adicional con un bloque de valor absoluto, después se realizaron pruebas con diferentes valores en las fuentes con el programa mencionado para realizar el llenado de los tabuladores y obtener resultados benéficos al estudio mediante una metodología comparativa, utilizando el programa desarrollado en LabVIEW apreciable en la Figura 14, junto a un bloque de valor absoluto.

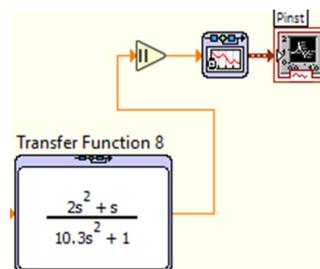


Figura 14: Función de transferencia agregada al medidor

Después de algunas pruebas con diferentes valores en las fuentes, se llena nuevamente la tabla obteniéndose mejores resultados, mostrados en la Tabla 3.

En la Figura 15 se muestra la simulación de una de las pruebas, como se puede observar, el valor máximo de la Pinst es muy cercano a uno, además, en cada una de las pruebas se obtiene un resultado similar. El valor RMS (siglas en inglés de raíz cuadrática media) de la fuente 1, se mantuvo siempre fijo en un valor de 120, para poder asegurar una correcta modulación con un tiempo de muestreo de 1×10^{-3} (0.001 segundos).

Desprendido de lo anterior, es posible observar que la Pinst cae a 0 y después regresa, esto podría afectar en caso de una medición Pst (siglas en inglés de parpadeo

Tabla 3: Valores de Pinst obtenidos en prueba de modulación después de calibración

120V / 60 Hz F	IEC 61000-4-15 (Sinusoidal)		IEC 61000-4-15 (Rectangular)	
	$\Delta U/U$ %	Pinst, Max	$\Delta U/U$ %	Pinst, Min
0.5	2.453	0.99785	0.598	1.003
1.5	1.126	1.0035	N/A	
3.5	N/A		0.408	1.0075
8.8	0.321	0.9981	0.525	1.006
18	N/A		0.626	1.004
20	0.977	0.98981	N/A	
22	N/A		0.851	1.0185
25.5	N/A		1.072	1.0253
33.33	2.57	0.9548	1.823	1.039
37	N/A		1.304	1.0238
40	4.393	0.9386	3.451	1.0568

flicker en periodos cortos de tiempo) o Plt (siglas en inglés de parpadeo flicker en periodos largos de tiempo), por lo que habrá que modificarse en trabajos posteriores, pero para el presente estudio enfocado en pruebas de Pinst funciona correctamente.

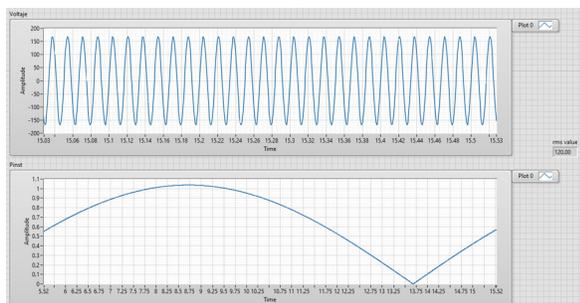


Figura 15: Pinst después de ajuste

Los últimos valores de Pinst registrados en cada uno de los espacios de la tabla se encuentran dentro del rango permitido por la norma IEC 61000-4-15, entre los valores de $1 \pm 8\%$, garantizando una calibración dentro de los parámetros de la norma, validando esta prueba en el medidor desarrollado en el presente trabajo, los valores se muestran en las columnas de Pinst, Max y Pinst, Min, correspondientes a la Tabla 3 identificándolos como permitidos.

IV. Resultados

Después de realizarse las simulaciones y obtener resultados favorables, se aplicó una prueba de medición de voltaje real en el sistema eléctrico de una casa bajo el supuesto de la inexistencia del efecto flicker en la red doméstica, para realizar una verificación del funcionamiento aplicando las modificaciones realizadas al medidor flicker desarrollado en LabVIEW, es posible apreciar

en la Figura 16 la medición de voltaje de la señal.

En la Figura 16 se observa un Pinst máximo de aproximadamente 0.52, obteniendo una medición correcta según estándares de la norma IEC 61000-4-15, lo anterior se puede afirmar debido a la inexistencia de una modulación y es más baja la lectura que las mediciones registradas en la Tabla 3, comprobando así el presente trabajo.

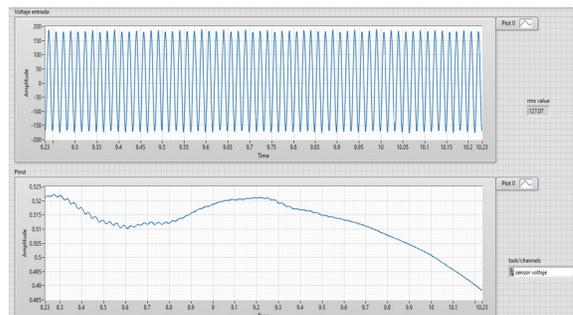


Figura 16: Señal de Pinst de sistema físico después de modificar el medidor

Posteriormente se hizo una prueba agregando una carga después de la calibración mencionada anteriormente, los resultados son apreciables en la Figura 17. Para validar como un segundo método de prueba a la calibración realizada al programa desarrollado en LabVIEW del medidor flicker.

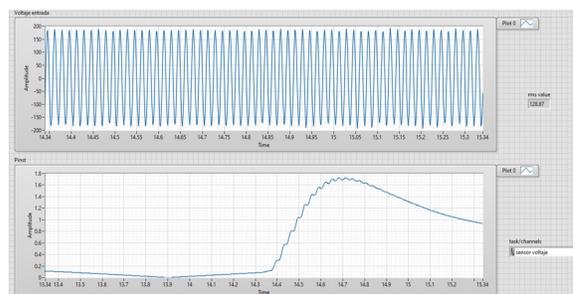


Figura 17: Adición de carga a un sistema después de ajuste del medidor

Como un tercer análisis de prueba se aplicó el programa de medidor flicker con un inversor, mostrado en la Figura 18, obteniendo valores de Pinst por debajo del 3%, siendo lo anterior un valor aceptable dentro del estándar de la norma IEC 61000-4-15.

V. Conclusiones

Adicionalmente se realizó un programa para clasificar señales con y sin efecto flicker, utilizando técnicas de agrupamiento en el programa MATLAB bajo la metodología difusa, obteniendo las señales con ayuda de la tarjeta

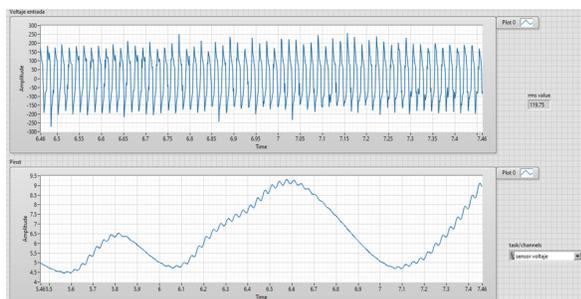


Figura 18: Medición de Pinst en inversor después de la calibración del medidor flicker

NI-6009 y el sensor de voltaje ZMPT101B, primeramente, se obtienen 50 muestras directamente del tomacorriente del laboratorio. Para una mayor apreciación del código mencionado, se anexa un enlace abierto de google drive con acceso al público en general ingresando al vínculo mostrado a continuación:

<https://drive.google.com/drive/folders/1m7QQYgHr-tf2xwHTkTKxy2P1yfGoamYq?usp=sharing>

Al ingresar al vínculo mostrado en la parte superior, podemos observar las variables en las que se basa, siendo un grupo el voltaje RMS y la energía, al hacerlo de esta manera se obtiene una gráfica en 2 dimensiones debido a que son 2 variables las que se consideran.

En la Figura 19 se muestra la gráfica de dos dimensiones en la que los círculos de color rojo se agrupan entre sí en un extremo, indicando que son las señales que contienen flicker, y en otro extremo se agrupan señales de color verde indicando que son las señales que no contienen efecto flicker.

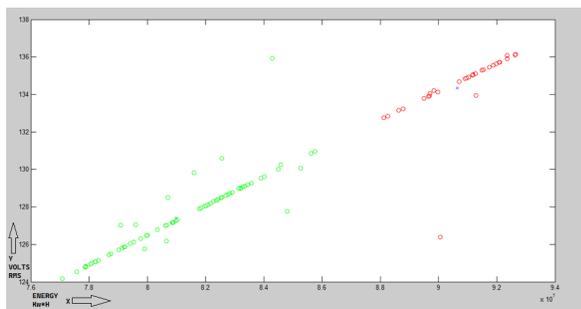


Figura 19: Gráfica de señales agrupadas con y sin flicker en 2 dimensiones

Aunque es notable la separación entre los dos grupos de señales, se intuye que podría mejorarse el mismo agregando una tercera variable a considerar, la tercera variable ingresada fue el promedio de los valores pico. El resultado de agregar la tercera variable se muestra en la Figura 20, donde se observa una mayor distancia entre

los dos grupos de señales.

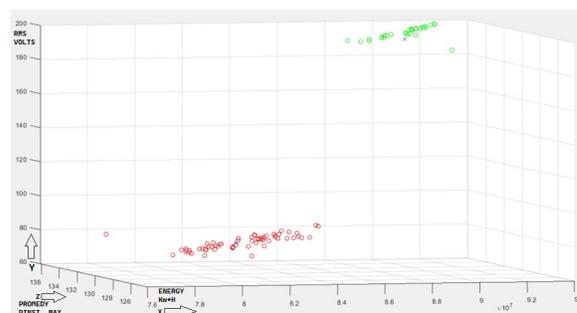


Figura 20: Clasificación de señales con y sin flicker

Este método podría ser de gran utilidad e incluso detectar anomalías que un medidor clásico no detecta, se puede aumentar o disminuir las señales según se requiera y se podría probar con otro tipo de fallas. Después de realizar el presente estudio y analizando los resultados, puede deducirse benéfico para temas de calidad de energía y consecuentemente, ahorro de energía, al implementarlo de una manera adecuada como trabajo futuro el desarrollo de un modelo industrial en el software Solid-Works para integrar el sistema desarrollado, aumentando significativamente su portabilidad e implementarlo en una red donde se presente el efecto flicker.

Es importante concluir que el área de la calidad de la energía es amplio, por lo que se requiere de múltiples procedimientos para verificar completamente un instrumento, por lo anterior, se sugieren algunas actividades adicionales para continuar con el presente trabajo.

1. Agregar al medidor de flicker implementado un bloque para la medición de flicker Pst y otro más para flicker PIt.
2. Realizar pruebas con paneles solares y generadores eólicos para estudiar el comportamiento del efecto en esos sistemas.
3. Utilizar metodologías neuronales para el reconocimiento de patrones en el efecto flicker y poder realizar calibraciones utilizando el código desarrollado en MATLAB, mostrado en el enlace de Google Drive.
4. Automatizar el proceso de prueba de porcentaje de modulación y de ser posible de manera remota.

Agradecimientos

Dirigidos al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, por el apoyo brindado abarcando desde materiales, herramientas y equipo, necesarios para el desarrollo del presente estudio, ya que sin el apoyo de la institución no hubiese sido posible obtener el presente estudio y los resultados presentados.

Referencias

- [1] Alexander Kusko. *Power quality in electrical systems*. McGraw-Hill Education, 2007.
- [2] Miguel A Sánchez. «Calidad de la energía eléctrica». En: *Instituto Tecnológico de Puebla, México* (2009), págs. 696-703.
- [3] Angelo Baggini. *Handbook of power quality*. John Wiley & Sons, 2008.
- [4] Electromagnetic Compatibility. «Part 4–15: Testing and Measurement Techniques—Flickermeter—Functional and Design Specifications». En: *IEC Standard* (2010), págs. 61000-4.
- [5] Guglielmo Frigo. «Design of a High-Accuracy and Traceable Reference Instrument for Flickermeter Certification». En: *2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. IEEE. 2021, págs. 1-6.
- [6] Charles Ané, Jean-Pierre Braun y Christian Messter. «Establishing traceability for flickermeters». En: *2018 First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet)*. IEEE. 2018, págs. 1-5.
- [7] Jan Šlezinger y Jiří Drápela. «Preliminary results of selected flicker meters tests for compliance with second edition of IEC 61000-4-15». En: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering*. 2011.
- [8] Antonio Creus Solé. *Instrumentos industriales: Su ajuste y calibración*. Marcombo, 2009.
- [9] A Bertola et al. «A Matlab-Simulink flickermeter model for power quality studies». En: *2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power (IEEE Cat. No. 04EX951)*. IEEE. 2004, págs. 734-738.