



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

Calidad de energía: Medición de parpadeo (*flicker*) en una instalación urbana

Diego M. Ferreyra, Alejandro D. Gudiño,
Mauricio A. Sada

Grupo **GISENER** (Grupo de Investigación Sobre **ENER**gía)

Facultad Regional San Francisco
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.
Argentina

2013

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir la producción cultural y el conocimiento generados por docentes universitarios y autores auspiciados por las universidades, pero que estos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Calidad de energía

Medición de parpadeo (*flicker*) en una instalación urbana

Autores: Diego M. Ferreyra , Alejandro D. Gudiño , Mauricio A. Sada

Resumen

En este trabajo, se describen los resultados de una medición de parpadeo (*flicker*) realizada con un analizador de calidad de energía en un tablero trifásico de la instalación de la facultad. El proceso de medición se extendió por una semana, según lo especificado en la norma EN 50160, y se contemplaron también todas las demás condiciones de medición indicadas en dicha norma. El conocimiento de la relación entre estos valores permite evaluar cuantitativamente la calidad del producto técnico suministrado por la empresa distribuidora de energía, específicamente en lo que respecta a parpadeo, como así también poder evaluar si existe alguna carga contaminante importante en nuestra propia instalación.

Palabras clave

Calidad de energía, características de la tensión suministrada, parpadeo, *flicker*

Objetivos

- Realizar un sondeo de los niveles de parpadeo (*flicker*) presentes en la tensión de suministro de una instalación de baja tensión.
- Proporcionar resultados que puedan ser de utilidad como referencia de calidad de energía para el usuario sobre cuya instalación se realizan las mediciones.
- Presentar un material que pueda servir como introducción a temas de calidad de energía en carreras de grado de Ingeniería.
- Describir pautas que puedan servir como base para trabajos prácticos relacionados con la medición de parámetros de calidad de energía en carreras de grado de Ingeniería.

Introducción

En primer lugar, cabe hacer una acotación relativa a la denominación adoptada para describir este fenómeno: si se tratara con cierta rigurosidad la terminología, “parpadeo” debería denominar específicamente a la impresión de inestabilidad que se percibe en la sensación visual inducida por una fuente de luz cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo. En otras palabras, el término “parpadeo” se debería aplicar solo a las variaciones cíclicas que se producen en la intensidad de la luz emitida por una lámpara debido a fluctuaciones de la tensión que la alimenta.

Sin embargo, a falta de un término más conciso en español, en el ámbito de las redes eléctricas se ha generalizado ampliamente el uso del término “parpadeo” con la acepción de “fluctuaciones rápidas de la tensión de alimentación”, definidas tales fluctuaciones según las especificaciones de la normativa. Además, se utiliza frecuentemente y se reconoce en este ámbito el término en inglés “*flicker*”. Atentos a este detalle, en numerosas ocasiones dentro de este trabajo se agrega dicho término en inglés entre paréntesis a continuación del término en español.

Específicamente, como se explica a continuación, las perturbaciones relacionadas con estas fluctuaciones de tensión se definen en la normativa por las siguientes características:

- amplitud de la variación de la tensión (durante la perturbación, diferencia producida entre los valores de la tensión eficaz máxima y mínima, o entre los valores de la tensión de cresta)
- cantidad de variaciones de tensión a lo largo de una determinada unidad de tiempo
- efectos que se producen a consecuencia de las variaciones de tensión asociadas con las perturbaciones

Orígenes de las fluctuaciones de tensión

El parpadeo (*flicker*) puede ser motivado por perturbaciones introducidas durante la generación, transmisión o distribución de energía, pero que generalmente son provocadas por el uso de grandes cargas fluctuantes, es decir, cargas cuya demanda de potencia activa o reactiva fluctúa rápidamente.

En el caso de cargas fluctuantes de cierta envergadura, la principal causa de tales variaciones de tensión es la variabilidad en el tiempo de la componente reactiva de la potencia de tales cargas. Entre estas cargas están, por ejemplo, los hornos de arco, los motores de laminadoras, grandes bobinadoras, etc.

Es muy importante observar que las cargas de pequeña potencia, tales como soldadoras, reguladores de potencia, sierras y martillos eléctricos, bombas, compresores, grúas, elevadores, etc., pueden también ser fuentes productoras de parpadeo (*flicker*). De hecho, el simple arranque de cualquier motor de inducción puede clasificarse de ese modo, aunque la transitoriedad de tal fenómeno hace que por lo general no tenga un efecto permanente significativo.

Puede generalizarse diciendo que se trata de cargas con una elevada relación de cambio de potencia con respecto a la capacidad de cortocircuito en el punto de conexión a la red de suministro. Este punto habitualmente se denomina punto de acoplamiento común en el ámbito del estudio de la calidad de energía, al relacionar una carga contaminante con otra sensible.

Efectos de las fluctuaciones de tensión sobre las fuentes de luz

En las fuentes de luz de carácter eléctrico, cualquier variación de la magnitud de la tensión de suministro provoca una alteración de su flujo luminoso. Para expresar de un modo sencillo este efecto, en la literatura se propone (entre otros modelos) un índice que relaciona la variación de amplitud luminosa con la variación de magnitud de tensión aplicada, denominado “factor de ganancia”, es decir:

$$\text{Factor de ganancia} = \frac{\Delta\phi}{\Delta V},$$

donde:

- ϕ : flujo luminoso
- V : tensión eficaz

Para cada lámpara, el factor de ganancia es distinto en función del principio de funcionamiento:

- 3,8 para lámparas incandescentes
- 1,0 para lámparas fluorescentes
- 2,8 para lámparas de vapor de mercurio de alta presión
- 3,3 para lámparas de vapor de sodio a alta presión
- 0,5 para lámparas de vapor de sodio de baja presión

De esta manera, se expresa numéricamente que las fuentes de luz incandescentes son especialmente sensibles a las variaciones de la tensión de alimentación, mientras que las lámparas de vapor de sodio de baja presión resultan ser las más insensibles a tales variaciones. Se pueden caracterizar así las diferentes fuentes de luz de carácter eléctrico en cuanto a su grado de sensibilidad para trasladar las variaciones de tensión a sus variaciones de flujo luminoso.

Efectos fisiológicos de las fluctuaciones de flujo luminoso

El efecto más importante de la variabilidad del flujo luminoso es el fisiológico, porque afecta la ergonomía del entorno de producción, provocando fatiga y reducción del nivel de concentración de los trabajadores. La respuesta de la combinación ojo humano-cerebro tiene características de filtro pasabanda de entre 0,5 Hz y 35 Hz, con una sensibilidad máxima al flujo luminoso a una frecuencia en torno a 8-9 Hz. Los efectos fisiológicos dependen de la amplitud de las variaciones de flujo luminoso, del espectro de frecuencia y de la duración de la perturbación. La respuesta del cerebro al estímulo luminoso tiene una característica inercial con una constante de tiempo de alrededor de 300 ms, es decir que se perciben las variaciones lentas del flujo luminoso mientras que las variaciones rápidas son "suavizadas". Por ejemplo, dos variaciones cortas de flujo luminoso producidas dentro de un intervalo de 300 ms son percibidas como una sola variación.

Debido a que la respuesta al parpadeo (*flicker*) varía de una persona a otra, para la cuantificación del parpadeo en la normativa se adopta un modelo de instrumento normalizado totalmente electrónico que modela la combinación del comportamiento de una fuente de luz de tungsteno con la respuesta humana a tal comportamiento. Inicialmente, los diseños de los instrumentos de medida se basaban en la simple observación del flujo luminoso, pero luego se desarrolló un modelo de la reacción humana (que se manifiesta bajo la forma de incomodidad o molestia) a la fluctuación del flujo luminoso. El modelo se basa como referencia en una lámpara incandescente de filamento de tungsteno de 60 W alimentada con 230 V.

En la Fig. 1, se muestran dos umbrales de sensibilidad de percepción del parpadeo para sendas tensiones nominales de alimentación. El plano de la gráfica se define con el porcentaje de variación de tensión (eje de ordenadas) y de la frecuencia de tal variación (eje de abscisas).

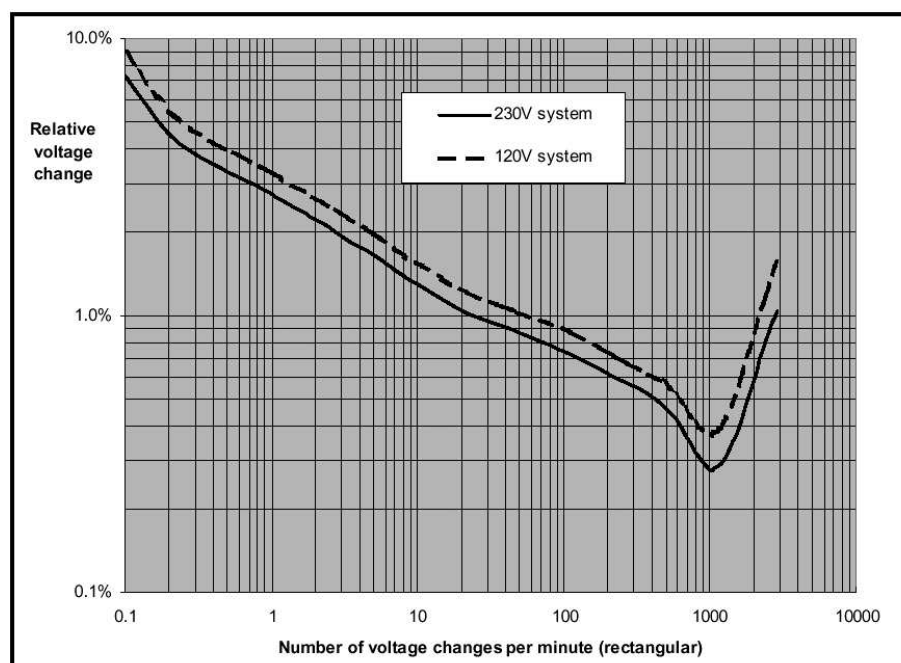


Figura 1: Curvas de umbrales de sensibilidad (curvas de igual severidad de parpadeo (flicker) ante cambios de voltaje en función de la frecuencia, para sistemas de suministro en baja tensión

Cuando el punto definido por la magnitud y la frecuencia de las variaciones queda por encima de la curva umbral de sensibilidad adoptada, es probable que el efecto resulte molesto para la gran mayoría de los observadores humanos. Por el contrario, si el punto está debajo de la curva umbral, lo más probable es que el efecto resulte imperceptible.

Para cada nivel de tensión nominal, corresponde una curva diferente: considerando dos lámparas de la misma potencia, por la que trabaja al nivel de tensión menor (120 V) circula una corriente mayor que en la que trabaja al nivel de tensión mayor (220 V), con lo cual la primera cuenta con una mayor inercia térmica y se ve afectada en menor proporción frente a una misma variación de la tensión nominal.

Para las mediciones realizadas en el presente trabajo, se adopta como aplicable la curva umbral de sensibilidad de 230 V, ya que la tensión nominal de la instalación relevada es de 220 V.

Medida de la severidad del parpadeo (*flicker*) de corta duración

La severidad del parpadeo (*flicker*) se expresa en términos de un índice denominado P_{ST} para períodos de tiempo cortos, y de otro denominado P_{LT} para períodos de tiempo largos. Como se anticipaba en el punto anterior, se ha normalizado un modelo para describir la combinación del comportamiento de una fuente de luz más la respuesta humana a tal comportamiento

El modelo resultante como instrumento de medida normalizado es totalmente electrónico, de manera tal que solo se miden las fluctuaciones de la tensión y a partir de ellas se utiliza una simulación de la respuesta de la fuente de luz combinada con la reacción humana para generar una denominada señal de severidad de parpadeo.

De esta señal calculada, que podríamos denominar “ficticia”, se hace un análisis estadístico del cual se derivan dos resultados, según la duración del período de medición. Para períodos de medición de diez minutos, se describe la severidad del parpadeo de corta duración con el índice P_{ST} , y para describir la severidad del parpadeo de larga duración se utiliza el índice P_{LT} ; que es una media continua de los valores de P_{ST} a lo largo de una ventana de tiempo de dos horas.

En la práctica, después de haberse recogido muestras de la señal de severidad de parpadeo durante diez minutos, se establecen los umbrales que corresponden a los percentiles, es decir, aquellos que se han superado durante el 0,1 %, 1 %, 3 %, 10 % y 50 % del tiempo de observación. En las expresiones siguientes, estos percentiles se denotan como $P_{0.1}$, P_1 , P_3 , etc., mientras que los subíndices “s” (p. ej. P_{1s} , P_{3s}) indican que se ha aplicado la media según las fórmulas siguientes:

$$P_{1s} = \frac{P_{0.7} + P_1 + P_{13}}{3}$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2.2} + P_3 + P_4}{3}$$

$$P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}$$

$$P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}$$

El P_{ST} se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$P_{ST} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}}$$

Los valores de P_{ST} se utilizan para calcular P_{LT} para períodos de observación más largos por medio de la siguiente expresión:

$$P_{LT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_{STi}^3}{N}}$$

Donde N es la cantidad de períodos para el cálculo de PST contenidos en el tiempo de observación para el cálculo de PLT, es decir, serían necesarias 12 determinaciones de PST, de 10 minutos, para calcular el PLT durante 2 horas.

Límites normalizados para la severidad de parpadeo (*flicker*)

Según la norma IEC 61000-3-3:1995¹:

- El índice de severidad del parpadeo de la luz de corta duración debe ser $P_{ST} \leq 1,0$.
- El índice de severidad del parpadeo de la luz de larga duración debe ser $P_{LT} \leq 0,65$.

Según la norma EN 50160:1999²:

- El índice de severidad del parpadeo de la luz de larga duración debe ser $P_{LT} \leq 1,0$ en el 95 % del periodo de medición (una semana).
- El índice de severidad del parpadeo de la luz de corta duración, P_{ST} , no se tiene en cuenta.

Según la resolución nro. 184/2000 del ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad):

- El índice de severidad del parpadeo de la luz de corta duración debe ser $P_{ST} \leq 1.0$ en el 95 % del periodo de medición (una semana).

Reducción del parpadeo (*flicker*)

Cuando la severidad de parpadeo en una instalación supera los límites admisibles estipulados en la normativa, o al menos adquiere valores preocupantes, resulta deseable reducir la amplitud de las fluctuaciones rápidas de tensión asociadas. Tal reducción se puede limitar por medio de diversas estrategias, que pueden agruparse en dos grandes familias:

- Aumento de la potencia de cortocircuito (con relación a la potencia de carga) en el punto de conexión al cual está acoplada una carga fluctuante. En la práctica, esto significa:
 - conectar la carga a un nivel de tensión nominal más alto;
 - alimentar este tipo de cargas a través de líneas independientes, dedicadas;
 - aumentar la potencia nominal del transformador que alimenta a la carga fluctuante;
 - separar las líneas de alimentación de las cargas fluctuantes de las que alimentan a cargas sensibles mediante su conexión a arrollamientos separados del secundario de un transformador de tres arrollamientos;
 - instalar condensadores en serie (lo cual implica precauciones en su dimensionamiento para evitar inconvenientes durante transitorios, como los cortocircuitos en el sistema).
- Reducción de las variaciones del flujo de potencia reactiva en el sistema por medio de la instalación de compensadores/estabilizadores dinámicos, basados en electrónica de potencia.

¹ El 14 de mayo de 2013, la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional, *International Electrotechnical Commission*) lanzó una 3.º edición de esta parte 3 de la norma, de la cual no se dispone aún al término de la redacción del presente material. Resta corroborar si se ha realizado algún cambio en esta especificación concreta.

² El 30 de julio de 2010, el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*) lanzó una edición 2010 de esta norma, de la cual no se dispone aún al término de la redacción del presente material. Resta corroborar si se ha realizado algún cambio en esta especificación concreta.

Mediciones realizadas

Para la medición, se utilizó un analizador de calidad de potencia marca METREL, modelo Power Quality Analyser-Plus MI 2292, de 0,1 V de resolución y precisión igual a $\pm 0,5\%$ de la lectura ± 2 dígitos para las mediciones de tensión. Los datos se registraron durante un período de una semana y posteriormente se descargaron y procesaron externamente en una PC. Finalmente, se procedió a graficar los datos y a compararlos con los límites estipulados. Junto con la medición de flicker, se registraron los valores de la tensión y la distorsión armónica para las tres fases, así como también la frecuencia del sistema.

La medición se realizó según lo especificado en la norma EN 50160, “*Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*”, a fin de comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en ella. La siguiente es la especificación más importante de dicha norma que se aplica a este trabajo:

- *Durante el período de una semana, en condiciones normales de explotación, en el 95 % de los casos, el valor del índice de severidad del parpadeo de la luz de larga duración debe ser menor a 1 ($P_{LT} \leq 1,0$). Mientras que el valor del índice de severidad del parpadeo de la luz de corta duración es P_{ST} y no es tenido en cuenta.*

La medición se realizó entre el lunes 8 de abril de 2013 a las 0.00 h y el lunes 15 de abril de 2013 a las 0.00 h, con períodos de integración de 10 minutos, según lo especificado en la norma de referencia. El instrumento se conectó con 4 puntas de medición, una por cada una de las tres líneas y la restante para el neutro, de modo que se midieron los valores de las tensiones de fase. La medición se hizo en un tablero trifásico de baja tensión disponible en el laboratorio de Electromecánica de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional.

En la Fig. 2, se muestra la evolución en el tiempo de los valores de severidad de parpadeo (*flicker*) de corta duración y de larga duración en cada una de las tres fases de la instalación.

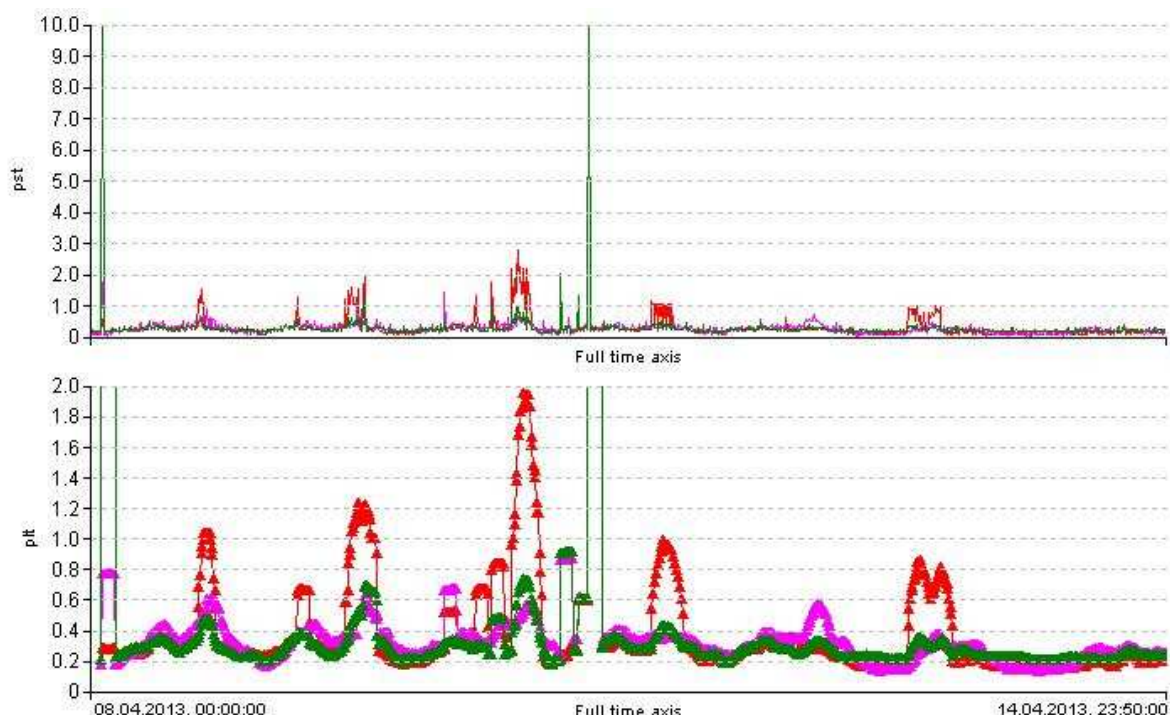


Figura 2. Evolución del P_{ST} y P_{LT} en las tres líneas durante los 7 días de medición

Tanto en la gráfica de P_{LT} como en la de P_{ST} , hay dos momentos en los cuales los valores superan la escala de la gráfica. Esto se explica analizando la Fig. 3, en donde los valores mínimos de tensión, nos indican: en el primer caso, una reducción de la tensión suministrada en dos de las líneas, mientras que en el segundo caso, se registra un corte total del suministro.

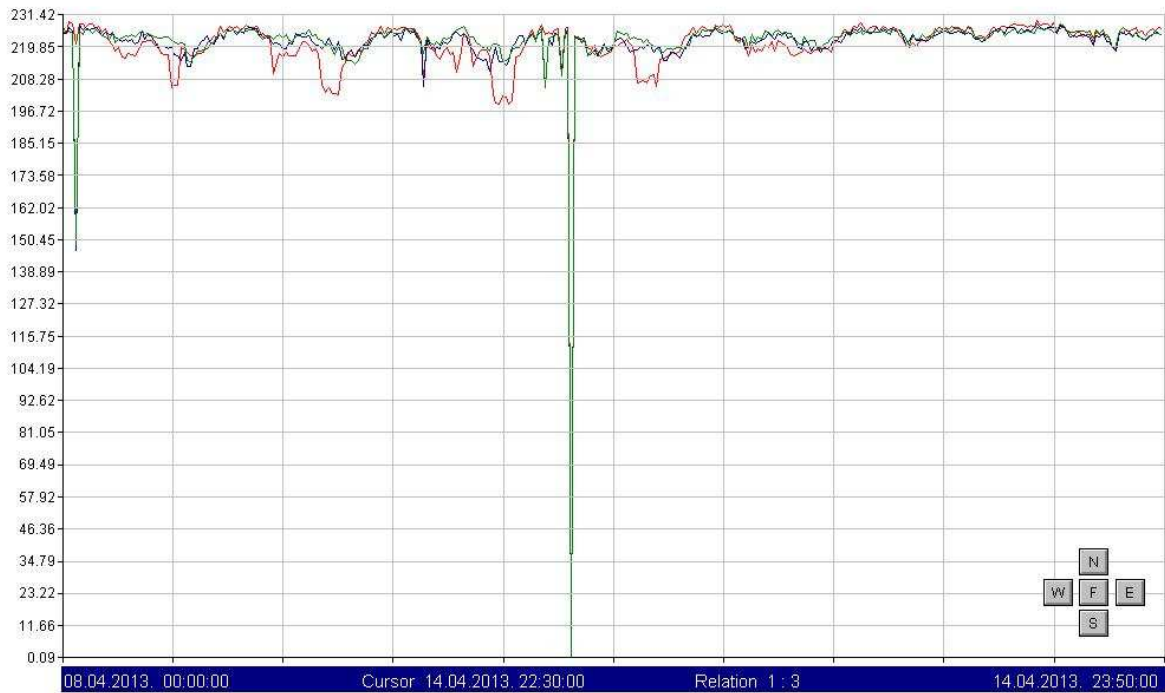


Figura 3. Tensiones mínimas de las tres líneas en el periodo de medición.

En la Fig. 4, se muestra un resumen de todos los parámetros medidos:

- el apartamiento de las tres tensiones con respecto a su valor nominal (U1, U2 y U3)
- la distorsión armónica o THD (*Total Harmonic Distortion*) en cada fase (H1, H2 y H3)
- la severidad de parpadeo (flicker) en cada una de las fases (FLK1, FLK2, FLK3)
- el grado de apartamiento de la frecuencia del sistema con respecto a su valor nominal

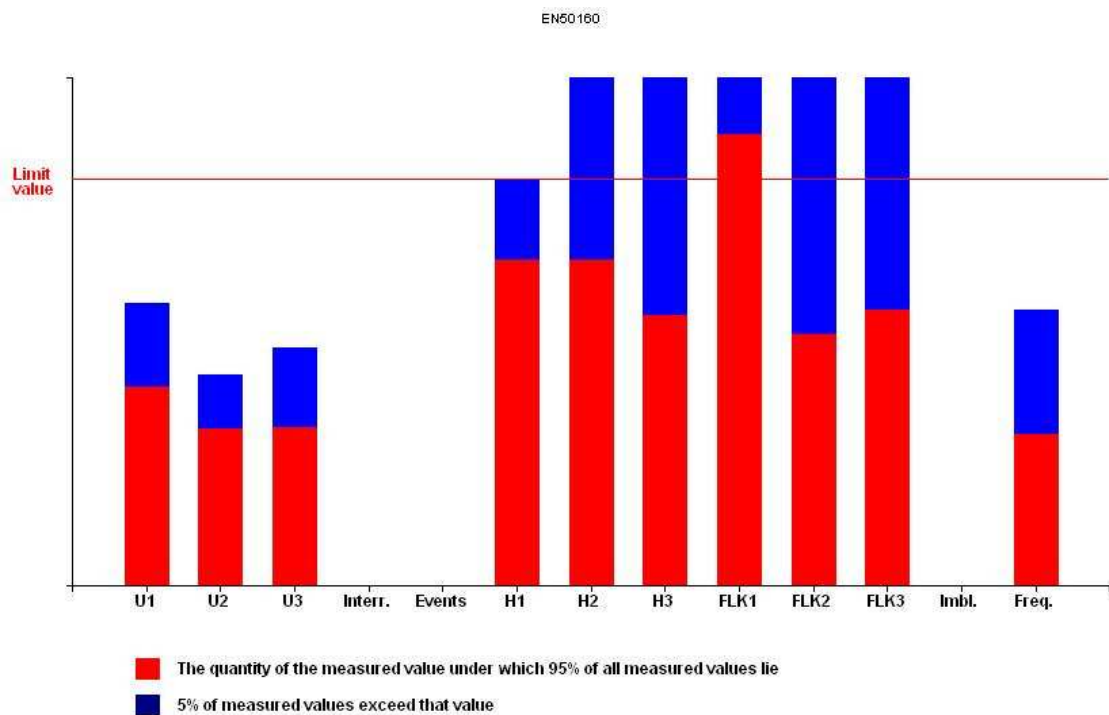


Figura 4. Evaluación de tensiones, distorsión armónica, severidad de parpadeo (flicker) y frecuencia. Los segmentos rojos corresponden al percentil 95 y los azules, a las mediciones restantes.

Dado que, en la Fig. 4, los valores se grafican en valores relativos, el límite (“Limit”) se traza a un mismo nivel del 100 %. De esta manera, se comprueba comparativamente en cuáles líneas el parpadeo (u otro parámetro) puede estar más cerca de superar los límites especificados.

Como se puede observar en la Fig. 5, el valor de P_{LT} para la línea 1 (FLK1 = 1,11) supera el límite establecido por la norma ($P_{LT} \leq 1$). En la misma figura, se incluyen también límites y valores máximos de otros parámetros de calidad de energía.

Parameter	Unit	Limit	Max value			95% value		
			L1	L2 / tot	L3	L1	L2 / tot	L3
Voltage variations		230.00V +/- 10%						
Maximum	% Un	+ 10	2.01	1.76	2.16	-4.69	-5.03	-5.67
Minimum	% Un	- 10	-6.97	-5.23	-5.87	-4.97	-3.87	-3.91
Interruptions	Number	100	-	-	-	-	-	-
Events	Number	100	-	-	-	-	-	-
Flicker Plt	Plt	1.00	4.37	4.37	4.37	1.11	0.62	0.68
Frequency 95%		50Hz +/- 1%						
Maximum	%	+ 1		0.68			-0.03	
Minimum	%	- 1		-0.60			-0.21	

Figura 5. Tabla de valores extraída del software PowerLink.

Dados los resultados obtenidos en la línea 1, donde la severidad de parpadeo superó el límite admisible, se indagó la situación de la instalación sobre el cual se realizaron las mediciones: se constató que la iluminación artificial se produce íntegramente por medio de tubos fluorescentes, específicamente con balastos electrónicos.

Como se explicó en este trabajo, este tipo de luminarias son bastante insensibles al fenómeno de parpadeo, y con más razón con el aditamento de balastos electrónicos, que modifican su principio de funcionamiento original.

Esto posiblemente constituya una explicación plausible de que no se produzcan quejas por parte de los usuarios con respecto a fenómenos de parpadeo en esta instalación. Como causa posible de los valores elevados de severidad de parpadeo, se registra la presencia de un compresor que puede haber sido accionado durante el período de medición, así como el uso de algún herramental eléctrico de mantenimiento debido a tareas que se llevaron a cabo en las inmediaciones de la instalación durante el período de medición.

Discusión y conclusiones

Con los resultados de esta medición, y en función de lo expuesto en el resto del trabajo a partir del análisis de la literatura, se puede concluir lo siguiente:

- En las líneas 2 y 3, el percentil 95 del valor de parpadeo (*flicker*), medido en P_{LT} , se mantiene por debajo del límite máximo establecido por la norma EN 50160. Esto puede parafrasearse diciendo que el 95 % de las mediciones no supera dicho límite. Esto no implica que en el 5 % restante de las mediciones no se supere dicho valor límite, pero tal exceso en el comportamiento del sistema está contemplado estadísticamente en la normativa aplicable.
- Por el contrario, en la línea 1, el percentil 95 del valor de parpadeo (*flicker*), medido en P_{LT} , supera el límite máximo establecido por la norma EN 50160. En otras palabras, más del 5 % de las mediciones superan dicho límite.

- A partir de una sutil indagación entre los usuarios de la instalación y una observación directa del comportamiento de las luminarias, se puede afirmar que no se observan variaciones notorias en el nivel de iluminación que puedan responder al fenómeno de parpadeo (*flicker*). El hecho de que la severidad de parpadeo en la línea 1 supere el límite máximo admisible no parece impactar negativamente sobre las luminarias de la instalación en cuestión, muy posiblemente debido a su principio de funcionamiento (fluorescentes con balasto electrónico), que las hace algo menos susceptibles que otras fuentes de luz de “copiar” en su flujo luminoso las variaciones de la tensión de alimentación características del fenómeno de parpadeo (*flicker*).

Los resultados están restringidos a las condiciones de medición ya enumeradas, de las cuales se destaca el hecho de que el instrumento no se instaló exactamente en el punto de alimentación de la instalación por parte de la empresa distribuidora de energía, sino que se ha tomado la medición dentro de la instalación misma. Es razonable esperar que los niveles de parpadeo en el punto de acoplamiento común sean aún menores que los medidos puertas adentro de la instalación.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal del IPSEP (Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) por brindar material y asesoramiento para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] J. C. Gómez Targarona, Calidad de Potencia: para usuarios y empresas eléctricas, Buenos Aires (Argentina), Edigar, 2005
- [2] Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución, norma EN 50160:1999 (extractos tomados de [3])
- [3] Modern Power Quality Measurement Techniques, cód. 20-750-592, Metrel, Ljubljanska (Eslovenia), 2003
- [4] IEC 61000-3-3:1995, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current $\leq 16A$ (extractos tomados de [6])
- [5] Prof. Zbigniew Hanzelka, Dr. Eng. Andrzej Bien; Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: Perturbaciones de Tensión Parpadeo, Abril 2006, <http://www.leonardo-energy.org.br/es/biblioteca-virtual/capitulo-18-perturbaciones-de-tension-parpadeo/>
- [6] Prof. Zbigniew Hanzelka, Dr. Eng. Andrzej Bien; Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: Perturbaciones de Tensión Medida de Parpadeo, Octubre 2005, <http://www.leonardo-energy.org.br/es/biblioteca-virtual/capitulo-21-perturbaciones-de-tension-medida-de-parpadeo/>
- [7] ENRE N° 184/2000, Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico - Etapa 2