

## REVISIÓN CRÍTICA DEL UMBRAL DE PERCEPTIBILIDAD DEL FLICKER

Díez, G.; Eguíluz, L.I.; Mañana, M.; Lavandero, J.C.; Ortiz, A.

Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética

Universidad de Cantabria

### Resumen

La legislación actual en vigor en materia de flicker (parpadeo) establece en su norma UNE EN 50160 que en condiciones normales de operación, la severidad de flicker causada por fluctuaciones de la tensión de suministro no excederá durante el 95% del tiempo en una semana del término de severidad a largo plazo  $P_{lt}=1$ . Dicho umbral fue establecido considerando que una lámpara con filamento de tungsteno de 60W y 240 V, alimentada con una tensión que verifique  $P_{lt}=1$ , produce un parpadeo perceptible al menos por el 50% de la población.

Este trabajo realiza una revisión de dicho umbral, estableciendo como hipótesis de partida la escasa utilización hoy en día de lámparas de incandescencia, especialmente en entornos industriales y de oficinas.

Se propone un equipo electro-óptico que simula el comportamiento del conjunto ojo cerebro humano, así como una metodología para la realización de ensayos que permitan caracterizar el umbral de perceptibilidad de una luminaria genérica.

El sistema y metodología propuesta se aplica a dos tipos de lámparas: incandescente y fluorescente.

**Palabras Clave:** flicker, parpadeo, fluctuación de tensión, calidad de suministro, lámpara incandescente, fluorescente, fotodiodo.

### 1 INTRODUCCIÓN

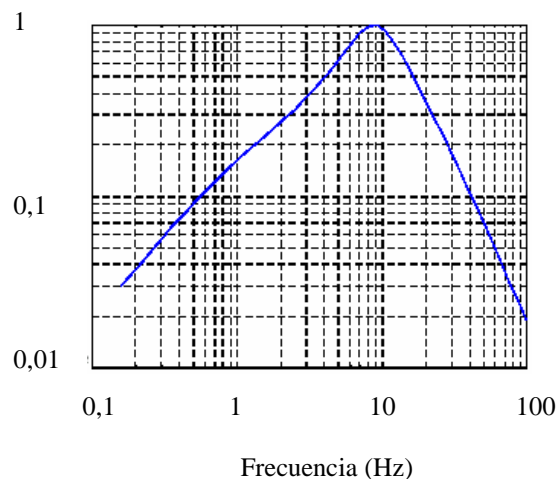
Se define el flicker (parpadeo) como la percepción de la variación de luminosidad de una lámpara debida a una fluctuación de la tensión en la red, provocada a su vez por la variación repetitiva de la potencia consumida por receptores cuya demanda de potencia no es constante en el tiempo: hornos de arco, máquinas de soldadura por resistencia, compresores, laminadoras, molinos trituradores, etc, o bien por la realización de maniobras con cargas importantes: arranque de motores de gran potencia, maniobras escalonadas de baterías de condensadores, etc.

El nivel de flicker depende de la amplitud, frecuencia y duración de la fluctuación de tensión. Hay que reseñar que se trata de fluctuaciones cuya

amplitud no supera la mayoría de las veces el  $\pm 10\%$ , razón por la cual muchos equipos no se ven afectados por ellas, no así algunos receptores, como: lámparas de incandescencia, monitores y receptores de televisión, que presentan una especial sensibilidad a dichas fluctuaciones de la tensión de alimentación. Existen, sin embargo, otras cargas como los tubos fluorescentes sin balastro electrónico, que presentan un nivel de sensibilidad menor.

La frecuencia de parpadeo es apreciable por el sistema humano ojo-cerebro, cuando está comprendida en un rango de frecuencias que se extiende desde 0,5 Hz hasta aproximadamente 25 Hz, con una sensibilidad que es función de la frecuencia [1] y que presenta un máximo, alrededor de los 10 Hz. En algunas ocasiones el rango de frecuencias de parpadeo apreciables pueden llegar hasta los 30 Hz, en función de las condiciones de iluminación del entorno. En la figura 1 se muestra la curva de sensibilidad.

Nivel relativo de sensibilidad



**Fig. 1.** Curva de sensibilidad del conjunto ojo cerebro en función de la frecuencia de flicker.

Las frecuencias de parpadeo muy bajas (por debajo de 0,5 Hz) no son molestas porque el sistema ojo-cerebro es perfectamente capaz de separar los destellos, pero a partir de una cierta frecuencia, que se conoce como frecuencia de fusión, aparece el

fenómeno de flicker causando una sensación muy desagradable a quien lo percibe. Superada una determinada frecuencia de parpadeo, que no tiene un valor fijo, sino que depende de las condiciones ambientales de iluminación, y que está en el entorno de los 30 Hz, la sensación de flicker desaparece y el sistema ojo-cerebro percibe una luz continua.

La sensación de flicker es acumulativa, pudiéndose encontrar en la literatura médica numerosas referencias sobre sus efectos [2]; el más genérico es el cansancio visual y dependiendo de la frecuencia del fenómeno y de la sensibilidad del sujeto que lo percibe, puede ocasionar cefaleas, migrañas, ser causante de estrés y en casos muy extremos, puede dar lugar a crisis convulsivas.

## 2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

El diseño de una instrumentación y una metodología de medida para la caracterización del flicker tiene su origen en un proceso de unificación de criterios que tuvo su culminación con la presentación de una instrumentación de medida en un congreso general de la UIE celebrado en Cannes en 1980.

Posteriormente, la Unión Internacional de Electrotecnia (UIE), elaboró un criterio de medidor de flicker, que más tarde fue adoptado por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y que pretendía estimar el nivel de sensación que experimentaría un observador medio, situado en el punto en que esté el medidor. Para su implementación se desarrolló un algoritmo capaz de traducir la fluctuación eléctrica a "sensación equivalente ojo-cerebro". El resultado de la medida se proporciona en unidades de perceptibilidad (p.u.) estableciéndose un umbral de percepción al que se le adjudica el valor 1, de tal forma que todos los niveles de flicker superiores a 1, se consideran perceptibles, y por tanto, susceptibles de ocasionar molestias.

Las especificaciones funcionales y de diseño del medidor de flicker, quedan recogidas en la norma española UNE-EN 61000-4-15 [3] y en otras publicaciones [4-6].

El nivel de molestia sufrido por los consumidores de energía eléctrica, debido al flicker, depende de la amplitud, duración y frecuencia de repetición de las fluctuaciones de tensión que lo ocasionan. Cuantificar esta clase de perturbaciones en términos de molestia al consumidor supuso una dificultad en el pasado debido a la ausencia de acuerdos en las definiciones. Esta situación ha cambiado a raíz de la aceptación por parte de la CEI de la definición de flicker según la que se establece un Plt=1 como el umbral de flicker perceptible por el 50 % de la población con una onda de 50 Hz, utilizando

lámparas de 60 W, 240 voltios, con filamento de tungsteno [7].

Antes de normalizar las medidas de flicker, se estimó que era necesario calibrar el medidor en términos de la percepción humana del parpadeo y de la magnitud de la molestia, estos parámetros eran muy difíciles de medir, especialmente el último. Para acometer el problema se hicieron una serie de test subjetivos, en una habitación iluminada con 3 lámparas de filamento de tungsteno de 60 W, el mobiliario de la habitación consistía únicamente en sillas y mesas para dos personas y para quien realizaba la prueba. Durante el experimento, la mayor parte del tiempo utilizado por las personas objeto del estudio se invirtió en leer periódicos colocados horizontalmente sobre la mesa frente al sujeto, la iluminación era de 125 lux, valor típico en la mayoría de las casas del Reino Unido (donde tuvo lugar el experimento). En total se hicieron 80 test a 80 personas con estudios, de ambos sexos y con edades comprendidas entre los 17 y los 63 años. Se les sometió a un amplio rango de flickers, desde el parpadeo continuo representativo de un horno de arco, hasta el parpadeo instantáneo y profundo emulando el transitorio de arranque de un motor.

Los sujetos estudiados debían identificar varios niveles, en primer lugar en que momento comenzaba a ser perceptible, seguidamente se incrementaba gradualmente el nivel de modulación, hasta alcanzar los valores que consideraban que serían molestos si ocurriesen en sus casas durante largos periodos.

Los resultados de estos test [8] se utilizaron para crear dos parámetros de cuantificación del nivel de flicker, que fueron el Pst y el Plt. Usando el flickermeter se hicieron series de medidas en aquellos lugares que reunían las condiciones para que pudiera haber flicker; estas medidas permitieron establecer los valores máximos permitidos para el Pst y el Plt, que se recogen en la tabla I.

**Tabla I.** Valores de referencia para el Pst y Plt [8].

Nivel de tensión	Valores máximos
$\leq 132$ kV	Pst=1,25 Plt=1
$> 132$ kV	Pst=1 Plt=0,8

La limitación más importante que presenta la normativa reside en su incapacidad para valorar el nivel de molestia del flicker cuando la luminaria no es del tipo descrito anteriormente. La reducción sucesiva de la utilización de lámparas de incandescencia ha motivado la necesidad de revisar una normativa que no se ajusta a la tecnología actual.

### 3 PLATAFORMA DE ENSAYO

La plataforma de ensayo está constituida por tres elementos básicos:

1. Sistema generador de flicker + luminaria.
2. Medidor de flicker según la norma UNE EN 61000-4-15.
3. Transductor óptico/eléctrico + sistema de adquisición de datos para simular el comportamiento del conjunto ojo cerebro humano.

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques de la plataforma de ensayo.

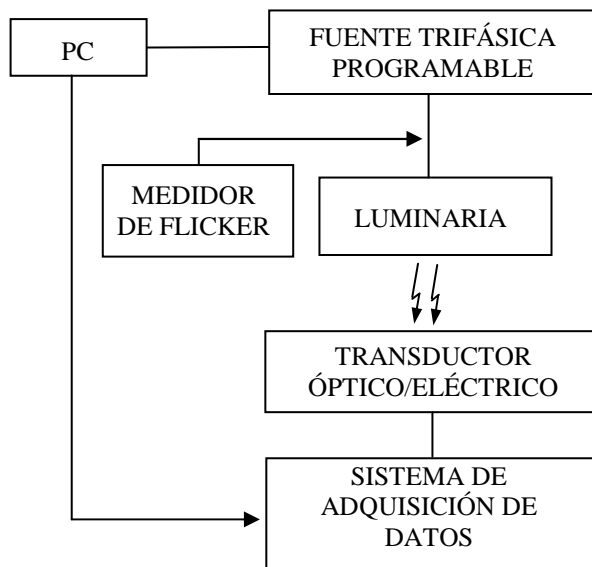


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema de ensayo.

El sistema generador de flicker está formado por una fuente trifásica programable HP6834B [9] que permite generar formas de onda arbitrarias con una potencia de hasta 1500 VA por fase o 4500 VA en el caso de generación monofásica. El control de la fuente se realiza con un PC conectado a la fuente mediante un interfaz GPIB.

De la tensión generada se obtienen los parámetros básicos (Pst y Plt) mediante un medidor de flicker desarrollado en el Departamento [5]. Al mismo tiempo, la tensión generada se utiliza para alimentar una luminaria, cuya intensidad luminosa es captada mediante un transductor óptico/eléctrico que presenta una respuesta en frecuencia similar a la del ojo humano.

### 4 METODOLOGÍA

La metodología planteada para llevar a cabo los ensayos es la siguiente:

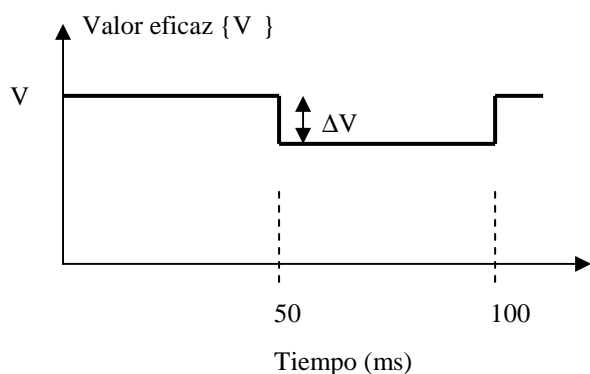
1. Definir la forma de onda a generar en función de la frecuencia del flicker y del nivel de modulación.
2. Aplicar la tensión sobre la luminaria a ensayar.
3. Registrar los niveles de flicker a corto (Pst) y largo plazo (Plt).
4. Registrar la evolución instantánea de la intensidad luminosa captada por el sensor óptico/eléctrico.
5. Obtener la distribución frecuencial de la señal registrada en el apartado (4).

### 5 RESULTADOS

El sistema y metodología propuestos se han aplicado a dos luminarias (lámpara incandescente y fluorescente) alimentadas mediante una tensión distorsionada mediante flicker de tipo almenado. En la figura 3 se muestra la evolución del valor eficaz de la tensión de alimentación. Como puede observarse, se ha seleccionado una frecuencia de 10 Hz para la señal moduladora, ya que es en ésta frecuencia en la que existe una mayor sensibilidad. En la tabla II se resumen los resultados del ensayo, que muestran la relación entre la amplitud de la componente de 10 Hz y la fundamental en función del índice de modulación  $\Delta V_N$  para los dos tipos de lámparas.

Tabla II. Relación entre la componente de 10 Hz y la componente fundamental en función del índice de modulación.

$\Delta V_N$	Incandescente	Fluorescente
	V10Hz/V100Hz	V10Hz/V100Hz
0	0,0011	0,0275
1	0,0905	0,0218
2	0,1847	0,0345
3	0,3262	0,0714
4	0,4123	0,0872
5	0,5099	0,1097
6	0,6125	0,1272
7	0,6996	0,1405
8	0,8604	0,1725



**Fig. 3.** Evolución del valor eficaz de la tensión en la carga con flicker almenado de profundidad  $\Delta V_N$ .

## 6 CONCLUSIONES

A pesar de que no todos los equipos conectados a la red responden por igual a este tipo de perturbación, se ha observado que algunos tipos de luminarias son especialmente sensibles. En especial, las lámparas de incandescencia, al tener una constante térmica de los filamentos (de wolframio o tungsteno) muy pequeña, responden rápidamente a variaciones en su tensión de alimentación, por lo que son muy sensibles a pequeñas variaciones de tensión repetidas.

Los tubos fluorescentes, necesitan fluctuaciones de un orden cuatro veces superior en magnitud que las requeridas por las lámparas de incandescencia, para que sea observable la variación del flujo luminoso. Esta mayor inmunidad puede estar justificada por la remanencia que tiene la capa fluorescente.

El sistema de ensayo y la metodología propuesta pueden ser utilizados como herramienta para definir los niveles de perceptibilidad adecuados para cada tipo de lámpara.

## Referencias

- [1] UNE-EN 61000-3-3. (1997) Compatibilidad electromagnética (CEM); Límites; Limitación de las Fluctuaciones de Tensión y del Flicker en las Redes de Baja Tensión Para los Equipos con Corriente de Entrada  $\leq 16$  A.
- [2] José Luis Munoa Roiz. (1998) "Estrés y Visión", Ponencia Oficial del XII Congreso de la Sociedad Ergofoftalmológica Española.
- [3] UNE-EN 61000-4-15. (1999) Compatibilidad electromagnética (CEM); Técnicas De Ensayo

y Medida; Medidor de Flicker. Especificaciones Funcionales y de Diseño.

- [4] J. L. Gutierrez Iglesias. (1982) "Medidores de Flicker: Presente y Futuro", Energía, Vol. 8., pp. 109-118.
- [5] M. Mañana. (2000). Aportaciones a la representación, detección y clasificación de perturbaciones conducidas en sistemas eléctricos de potencia. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.
- [6] H. Amarís, R. Del Rio, C. Vilar y J. Usaola. (2000) "Técnicas de Medida de las Fluctuaciones de Tensión", Energía, Vol. 26, pp. 127-132.
- [7] Norma UNE EN 50160 (2001). Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.
- [8] G.C. Cornfield. (1988) "Definition And Measurement Of Voltage Flicker", IEE Colloquium on Electronics in Power Systems Measurement. Digest No. 54. pp 4/1-4. London.
- [9] HP 6834B (1996). User's Guide.