Las emisiones conducidas de un grupo de focos LED: no siempre 1+1 suma 2

Francesc Daura, Ingeniero Industrial, experto en compatibilidad electromagnética. Director de LEEDEO / CEMDAL
Raimon Gómez, Ingeniero de Telecomunicaciones, responsable de acreditaciones y homologaciones en LEEDEO / CEMDAL

leedeo ENGINEERING
www.leedeo.es

CEMDAL
www.cemdal.com

Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL. Representante de CFC para España y Portugal.
www.cemdal.com
fdaura@cemdal.com
www.cfcele.com

Autor: Raimon Gómez, Ingeniero de Telecomunicaciones - LEEDEO / CEMDAL

Cuando debemos instalar varios focos led en una instalación de iluminación es conveniente considerar los efectos de la acumulación de focos iguales en una instalación de iluminación. Cada foco led individualmente debe cumplir con la normativa del Marcado CE para poder venderse en el mercado de la UE, pero la instalación completa también debería cumplir con la normativa.

Los equipos de iluminación están afectados por la norma EN 55015 donde se especifican límites de emisión de la tensión perturbadora en el rango de 9 kHz a 30 MHz, pero en este artículo nos centramos en la banda de 150 kHz a 30 MHz, definida en las normas genéricas medidas siguiendo la CISPR 11, 22 o 32. A partir de 150 kHz no existe ninguna diferencia práctica con la Clase B de la CISPR32 y dado que el objetivo de este artículo no es evaluar la conformidad de los focos leds ensayados, se utiliza esta norma por efectos de facilidad práctica.

En este artículo nos centraremos en los efectos de las emisiones conducidas cuando instalamos desde 1 a 10 focos led iguales.

También se comparan dos tipos de foco. El primero es un foco comprado en una tienda con una mejor calidad (embalaje, especificaciones, apariencia, etc) y el segundo es un foco muy barato comprado en China vía internet. Los dos llevan la etiqueta del Marcado CE. El primer foco cumple con los límites de la clase B de las emisiones conducidas sin problema (figura 1).

El foco comprado en China, a pesar de tener el Marcado CE tanto en el embalaje como encima del convertidor, muy probablemente no cumple ya que aparentemente supera los límites de la clase B (figura 2), independientemente de las emisiones en la banda no medida de 9 kHz a 150 kHz. Sería necesario un ensayo completo y con los medios adecuados para asegurar la falta de conformidad, pero los resultados parciales indican con una muy alta probabilidad un resultado negativo.

Efectos

En este artículo nos vamos a centrar en el foco led comprado en China, ya que sus emisiones son considerablemente elevadas y su análisis permite sacar conclusiones. Las pruebas se han realizado con una LISN monofásica de 10 Amperios y un analizador de espectros Rigol DSA815 con una configuración de ensayo ("setup") muy cercana a la requerida por la norma.

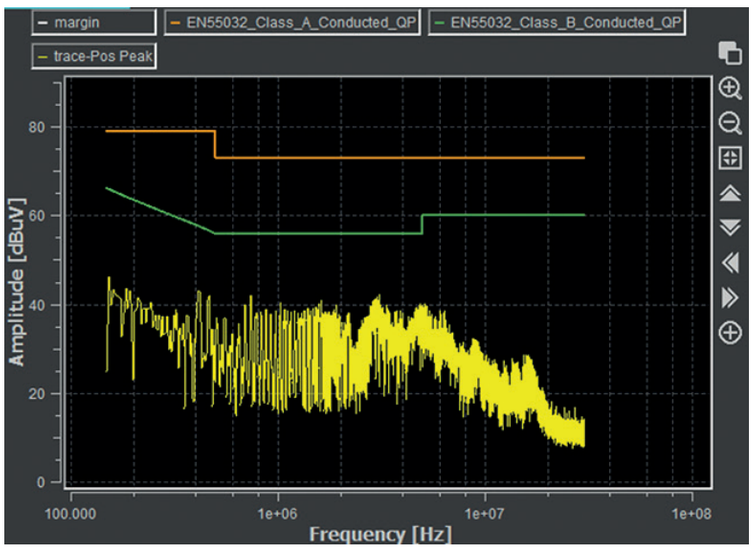

Figura 1. Emisiones conducidas del foco comprado en la tienda. Cumple con los límites de las normas CISPR 11, 22 o 32, clase B (producto doméstico).

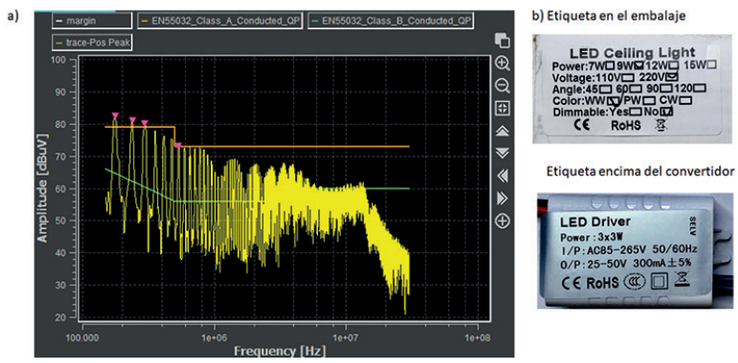

Figura 2. a) Emisiones conducidas del foco comprado en internet. NO cumple con los límites de las normas CISPR 11, 22 o 32, clase B (producto doméstico). Con la medidas de pico tampoco cumple con los límites de la clase A (faltaría comprobarlo después de calcular los cuasi-picos). b) Etiquetas con el Marcado CE, que no cumple, en el embalaje y encima del convertidor.

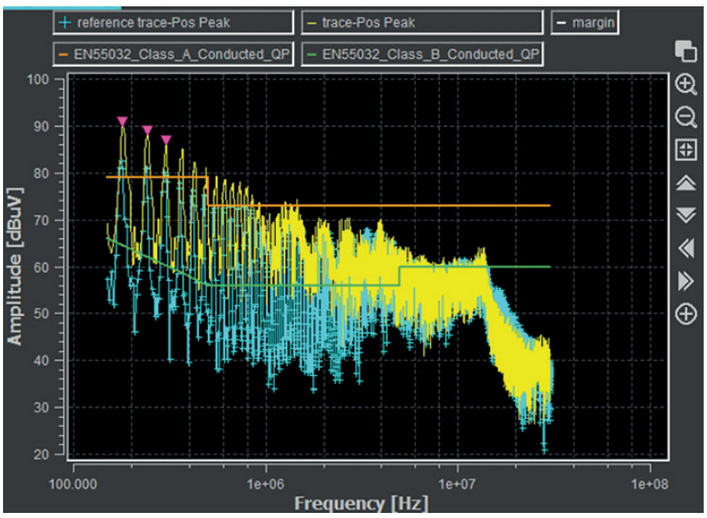

Figura 3. Emisiones de 2 focos (amarillo) y de 1 sólo foco (azul).

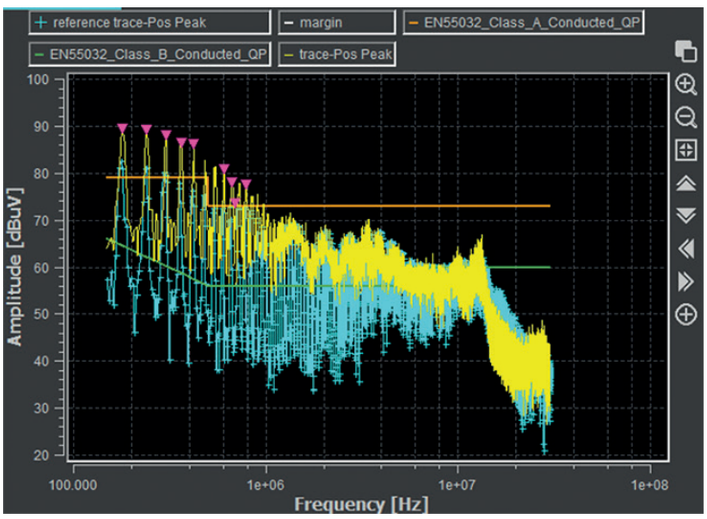

Figura 4. Emisiones de 3 focos (amarillo) y de 1 sólo foco (azul).

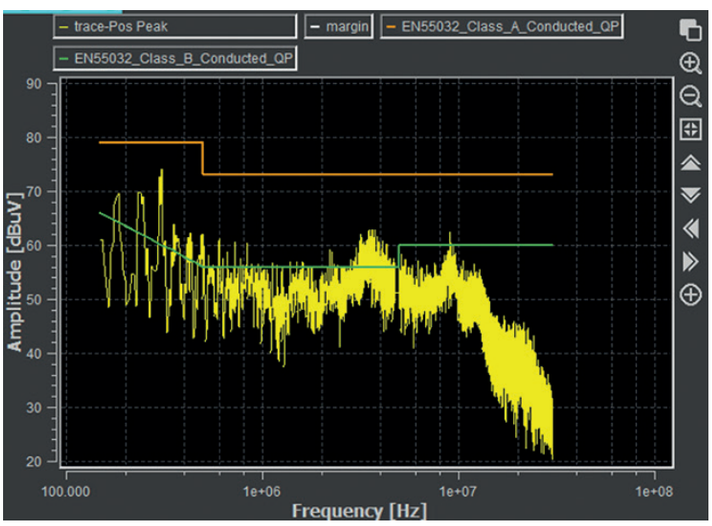

Figura 5. Emisiones de 10 focos simultáneos tras 15 minutos de funcionamiento.

El objetivo no ha sido realizar ensayos de certificación ya que los instrumentos usados son equipos de pre-certificación y aquí se pretende ilustrar otro efecto. El objetivo ha sido investigar y sacar conclusiones sobre las emisiones conducidas de un grupo de focos led.

Se han realizado tres series de medidas, una primera conectando de 1 a 4 focos (número creciente de focos), la segunda de 10 a 1 foco (número decreciente de focos) y la tercera de 1 a 3 focos (número creciente). La diferente forma de conectar los focos no es despreciable vistos los resultados obtenidos, como se mostrará más adelante.

En la primera serie de medidas se ha analizado una primera unidad de este foco led y posteriormente se han añadido una segunda y una tercera unidad. Los focos se han apagado entre medidas para realizar la conexión de la nueva unidad, por lo que no se ha alcanzado la estabilidad térmica antes de realizar las medidas.

Estas pruebas han mostrado el efecto inicialmente esperado de aumento de las emisiones a medida que aumentaba el número de unidades conectadas, como se puede ver en las figuras 3 y 4. En la figura 3, con dos focos, se aprecia claramente como la segunda unidad aumenta unos 6 dB el valor de los picos en la banda de 150 kHz a 1 MHz.

La figura 4, con 3 focos, ya no muestra un nuevo aumento apreciable del valor de los picos cercanos a los 150 kHz pero, en cambio, se detecta un aumento del valor de los picos cercanos al escalón del límite. Este comportamiento no esperado alerta de la presencia del factor no controlado relacionado con la temperatura, con consecuencias en el nivel de las emisiones conducidas.

Uno de los efectos que se han observado durante la sesión de medidas es que el aumento de la temperatura provoca una cierta reducción en las emisiones, lo que nos indica que es necesario tener en cuenta que hay sistemas que necesitan un tiempo transitorio de estabilización hasta llegar a su régimen permanente.

En este caso, el régimen transitorio se debe a la temperatura alcanzada por los componentes, pero en otros equipos puede ser otro tipo de fenómenos.

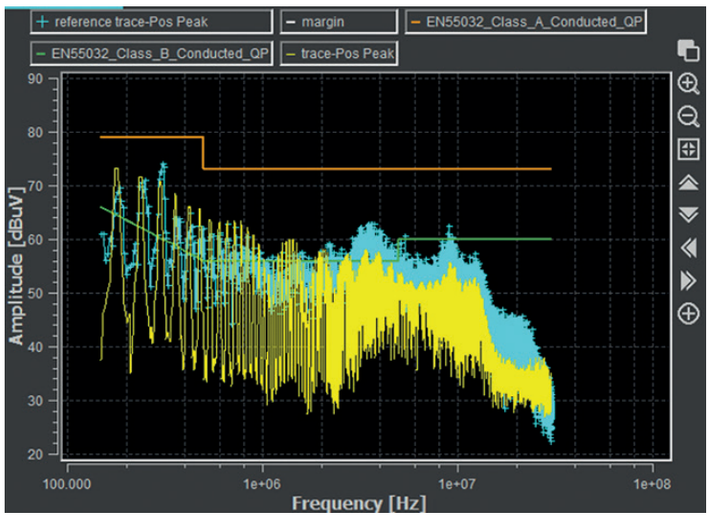

Figura 6. Emisiones de 1 foco (amarillo) comparado con 10 focos (azul).

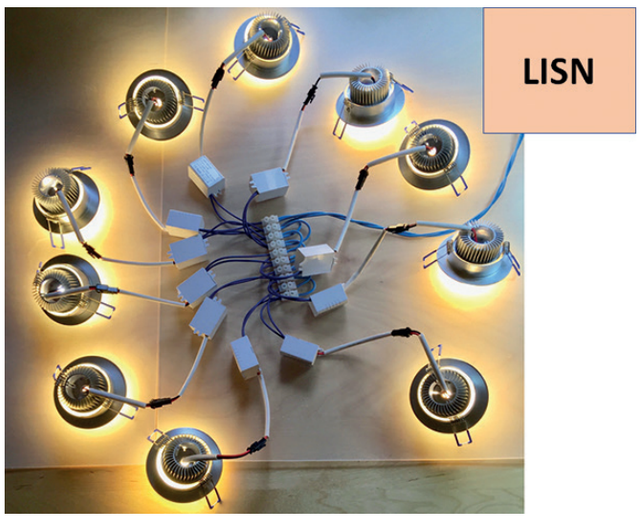

Figura 7. Fotografía de los 10 focos de China conectados en paralelo para realizar la medida de emisiones conducidas usando la LISN.

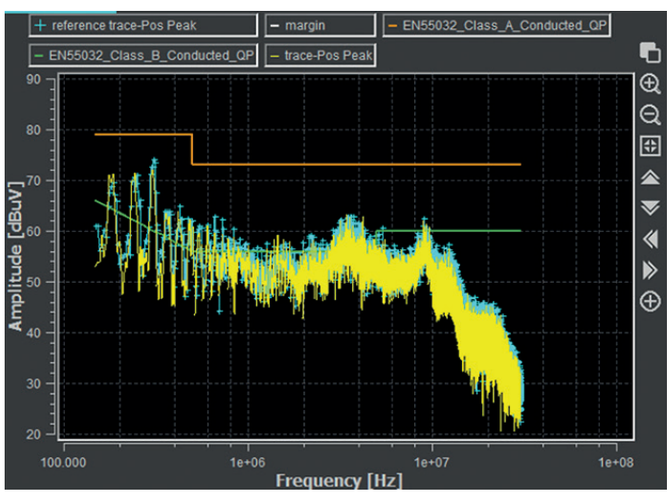

Figura 8. Emisiones de 9 focos (amarillo) comparado con 10 focos (azul).

Las medidas de 10 focos a 1 foco LED

Una vez confirmado este efecto térmico se ha replanteado la secuencia de las medidas a realizar para eliminar esta variabilidad y sacar conclusiones erróneas. En la segunda serie de medidas se han conectado los 10 focos a la vez y se han dejado estabilizar térmicamente durante, al menos, 15 minutos antes de realizar la primera medida. Para evitar que la desconexión temporal de cada unidad tuviera algún efecto en la estabilidad térmica, se ha optado por desconectar los focos cortando uno de los cables de alimentación individualmente, de forma que el resto de los focos no se apagaran y mantuvieran su estabilidad térmica. La grafica de las emisiones de los 10 focos medidos simultáneamente se ha dejado como referencia para el resto de las medidas, pasando de ser la traza amarilla en la figura 5 a ser la traza azul en el resto de las figuras (6 y 8).

La primera sorpresa ha sido ver como se ha reducido de forma muy notable el valor de los picos obtenidos durante la primera serie de medidas de la con el orden ascendente de 1 a 4 focos y los picos medidos en la segunda serie con los 10 focos estabilizados térmicamente. La figura 6 muestra las emisiones conducidas para 1 foco (línea amarilla) comparada con las emisiones de los 10 focos conectados a la vez (línea azul) después de dejarlos estabilizar térmicamente. La figura 7 muestra la fotografía de los 10 focos de China conectados todos en paralelo con la LISN.

Vemos claramente en la anterior figura 6 (1 sólo foco frente a los 10 focos iniciales) que las emisiones se mantienen aproximadamente iguales en valor de pico máximo y no se produce el efecto aditivo esperado que en la primera serie sí se pudo medir. La figura 8 muestra las medidas comparadas para 9 focos (línea amarilla) y para 10 focos (línea azul). Tanto para 10, 9 o únicamente 1 foco, el valor de los picos de menor frecuencia se mantiene aproximadamente igual, aunque sí que se observa una disminución de las emisiones en las frecuencias más altas. La disminución de las emisiones en la parte alta

del espectro medido era esperada, pero el comportamiento en la banda baja (150 kHz hasta 3 MHz) no se corresponde con los resultados esperados con lo visto por la primera serie de medidas. Hay que indicar que un resultado en el que cada unidad añadida comportara un aumento de 6 dB en las emisiones no hubiera sido realista. Se esperaba un aumento importante de las emisiones con pocas unidades, de 1 a 2 y de 2 a 3, pero un aumento cada vez menor hasta ser casi inapreciable a medida que aumentara el número de focos ensayados simultáneamente.

¿Qué ha pasado? ¿Cómo se pueden explicar estos resultados? Parece que uno más uno ya no suma dos. Si analizamos cuidadosamente la anterior figura 6, en la que se comparan las emisiones de 1 y 10 focos, vemos como se aprecia una reducción real de las emisiones en la banda de alta frecuencia. El valor máximo de los picos a baja frecuencia no presenta una disminución apreciable en el valor de pico máximo, pero sí que apreciamos que son picos más estrechos y más diferenciados. La traza amarilla presenta una excursión vertical mucho mayor que la traza azul, especialmente en las zonas que hay entre dos picos adyacentes. Los picos son mucho más diferenciados, es decir, se identifican como picos de forma mucho más sencilla. Es muy importante recordar que estas medidas se han realizado con un detector de pico (o envolvente) y no con el detector de Quasi-pico (Qp) o Average (Av, promedio) utilizados en medidas normativas.

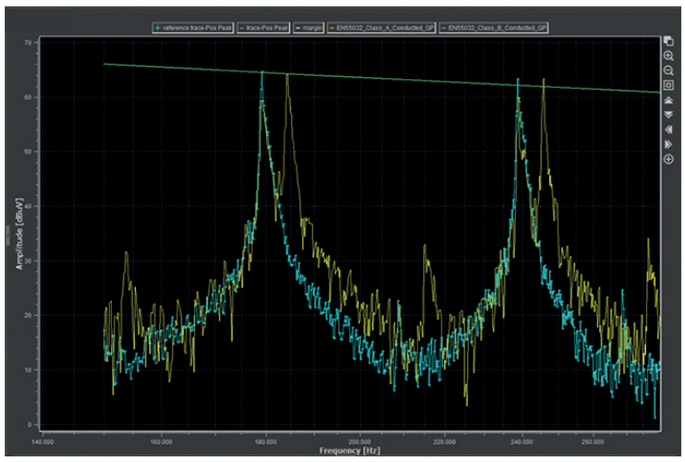

Figura 9. Emisiones de 2 focos (amarillo) y 1 focos (azul) con 200 Hz de filtro de medida (RBW). Destacar que la diferencia de frecuencia entre los picos es de unos 10 kHz.

Figura 10. Emisiones de 3 focos (amarillo) y 2 focos (azul) con 200 Hz de filtro de medida (RBW).

Mayor resolución espectral

Es necesario disponer de mayor resolución espectral en el analizador de espectros para poder investigar el motivo por el que los picos se hacen más estrechos en lugar de más bajos a medida que se reduce el número de focos conectados. Ahora nos centramos únicamente en la banda de 150 kHz a 1 MHz, ya que es la banda donde se produce este efecto. Aunque la familia de normas CISPR 16 define que el filtro de medida a utilizar en el analizador de espectros entre 150 kHz y 1 MHz es de 9 kHz, se decide optar por el filtro inmediatamente inferior de 200 Hz. Este filtro se utiliza para medidas entre 9 kHz y 150 kHz en ensayos normativos, pero es una opción inteligente utilizarlo fuera de su banda "oficial" de utilización si con esto vamos a obtener información que nos permita entender mejor las emisiones del equipo ensayado.

Se ha realizado una tercera serie de medidas (de 1 a 3 focos) utilizando el filtro de 200 Hz midiendo únicamente entre 150 kHz y 1 MHz. Se ha medido en primer lugar un solo foco que se ha desconectado de la alimentación para añadir un segundo foco, es decir, se han añadido unidades sin dejar estabilizar térmicamente los focos, como en la primera serie. El objetivo de esta tercera serie de medidas es conocer mejor el origen de las emisiones y dejar de lado el efecto térmico que ya se conoce.

Se ha utilizado también el detector de pico y los resultados los podemos observar en las figuras 9 y 10. Al utilizar una mayor resolución frecuencial se puede apreciar claramente que, donde antes veíamos un pico "ancho" (con el filtro de 9 kHz) ahora vemos tantos picos estrechos como focos hay conectados. En la figura 9 se aprecian 2 picos muy próximos bien diferenciados y en la figura 10 tres picos muy próximos equiespaciados, tantos como focos ensayados. Estos picos presentan una amplitud máxima de pico máximo muy similar.

Estas figuras nos muestran claramente como cada foco conmuta a una frecuencia ligeramente diferente (unos 10 kHz de diferencia cada uno) y, por tanto, las conmutaciones se producen en instantes diferentes. No están sincronizadas y la diferencia

en la frecuencia de los picos de conmutación es de aproximadamente el ancho de banda del filtro de medida utilizado en las primeras series: 9 kHz frente a unos 10 kHz.

También se aprecia claramente como a medida que se incrementa el número de unidades, el ancho de la base del pico va aumentando, lo que ya habíamos visto en las medidas anteriores. A medida que se van añadiendo focos, al disponer cada uno de una frecuencia de conmutación diferente, en lugar de sumarse en valor de amplitud (eje vertical) se suman en ancho de banda (eje horizontal). La casualidad ha hecho que la diferencia observada entre frecuencias de conmutación coincida o esté muy cerca del ancho de banda de medida de los 9 kHz, lo que ha contribuido a una mayor dispersión de las emisiones. Si las diferencias hubieran sido menores (2-4 kHz) seguramente no se hubiera observado una dispersión tan grande de las emisiones.

La conclusión es que, de forma casual, la falta de sincronismo y de precisión en la frecuencia de conmutación de los focos han contribuido a no incrementar las emisiones a medida que ha aumentado el número de focos medidos. En estas condiciones, el resultado obtenido depende del número de unidades conectadas y de las frecuencias de conmutación y sincronismo de las unidades seleccionadas. Al medir 3 unidades escogidas con 3 frecuencias de conmutación separadas 10 kHz vamos a tener un resultado muy diferente que si las 3 unidades escogidas conmutan a la misma frecuencia (o muy similar). Además, se debe sumar el efecto de la sincronización de las conmutaciones en tiempo. Aunque dos fuentes de ruido conmuten a la misma frecuencia pueden estar desfasadas, ya que cada electrónica empieza a conmutar en un instante de tiempo diferente. La falta de sincronismo entre los focos es la clave para que sus emisiones sean más anchas en espectro ocupado en lugar de sumarse en amplitud.

Este caso recuerda al comportamiento de los osciladores conocidos como "Spread Spectrum". La variación y la falta de sincronismo en ese caso es forzada por el propio oscilador, porque el efecto buscado es justamente el de distribuir la energía en un ancho de banda mayor para reducir su amplitud.

Ahora tenemos una idea mucho más clara de los procesos generadores de ruido involucrados en el sistema de 10 focos que se ha medido. Y este conocimiento se ha adquirido porque nos hemos desviado del método de ensayo puramente normativo al utilizar un filtro con un ancho de banda menor. A veces es necesario salirse del ensayo normativo para comprender mejor el funcionamiento del equipo que se está probando, sacar conclusiones y actuar en consecuencia. No hay que descartar nunca realizar un análisis detallado de las emisiones de un equipo en aquellas frecuencias problemáticas con variantes no normativas del ensayo.

Volvamos ahora a la serie de ensayos realizada anteriormente. Se han conectado 10 unidades en un instante concreto, por lo que cada uno de los focos presenta su propia frecuencia de conmutación y una sincronización concreta (instante en que cada foco realiza la conmutación). Al no desconectar los focos para retirar una unidad, no se ha variado la distribución frecuencial / temporal de las conmutaciones de los focos restantes. Además, y por casualidad, el salto entre frecuencias de conmutación es de unos 10 kHz, muy similar al ancho de banda de medida utilizado de 9 kHz. Teniendo en cuenta todos estos factores ahora se entiende mejor porqué las medidas se han mantenido en amplitud y ha variado en ancho espectral.

El peor caso y la distribución aleatoria

La primera serie de medidas se ha realizado desconectando y volviendo a conectar los focos entre medidas. Cada vez que se han conectado los focos de nuevo se ha obtenido una distribución de instantes de conmutación diferente (focos no sincronizados), por casualidad aleatoria. Si se escogen dos unidades que conmutan a la misma frecuencia y se sincronizan en el tiempo (además de no estar estabilizadas térmicamente) pueden dar como resultado el peor de los casos posibles: la máxima suma de emisiones. En el caso de pasar de 1 a 2 focos con las frecuencias de los picos sincronizadas por casualidad, la diferencia es de 6 dB como máximo, al doblar el nivel de emisión en cada frecuencia. Para pasar de 2 a 3 focos también se han desconectado los focos por lo que, al volver a conectarlos, aunque dos de los focos tuvieran la misma frecuencia de conmutación podían no estar sincronizados como en la primera vez. Pero el tercer foco podía conmutar o no a la misma frecuencia y estar sincronizado o no. Es decir, que en una situación como ésta tenemos una distribución pseudo aleatoria para cada conexión a la red.

El efecto del detector

El filtro utilizado para todas estas medidas ha sido el detector de pico, también conocido como detector de envolvente. El valor mostrado depende del valor instantáneo máximo, aunque su duración sea muy corta. No mide la energía, mide solamente la amplitud. Las medidas de certificación se deben realizar con detectores de Quasi-pico (Qp) y de Average (Av). Estos detectores no son tan sensibles al valor instantáneo; son más sensibles al valor de la energía de la señal medida. El valor resultante no depende de la sincronización.

El efecto del filtro de red

En cualquier caso, se ha podido comprobar que las emisiones conducidas son elevadas y probablemente superiores a la Clase B requerida para el Marcado CE de este tipo de producto. Una posible solución consiste en añadir a la instalación de iluminación un filtro de red que disminuya las emisiones, tanto para un foco como para el conjunto de los 10 focos.

Si usamos un filtro de red podemos reducir las emisiones conducidas. Hemos usado en este caso el filtro EMIKON EMK 610-10 (intensidad de 10A) de dos etapas con dos choques en modo común, tres condensadores tipo "X" de 100 nF y dos condensadores tipo "Y" de 3,3 nF. Se ha usado este modelo por disponer de una unidad en el momento de realizar las medidas. Es evidente que se podría optimizar el filtro a utilizar, pero no es el objeto de este artículo. Simplemente se ha buscado ilustrar el efecto de añadir un filtro de red.

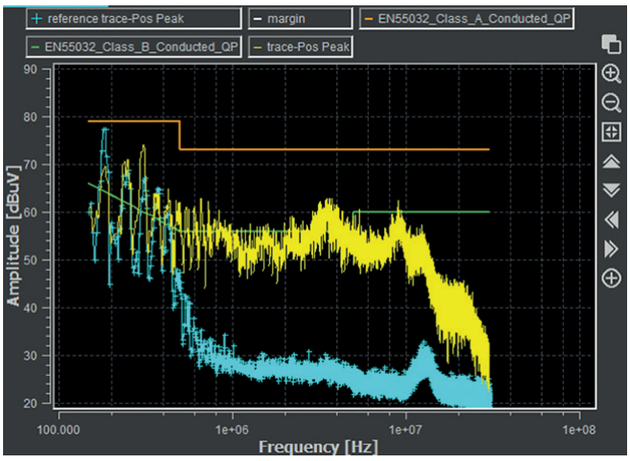

Figura 11. Efecto del filtro de red (azul) en la medida de 1 foco (amarillo).

La reducción es espectacular pero un buen filtro no siempre soluciona un mal diseño y un buen diseño es siempre la mejor solución.

En la figura 11 se muestra la diferencia entre las emisiones de un solo foco con y sin filtro. Observamos que los picos de menor frecuencia son los que más cuesta atenuar y que el ruido por encima de los 300 MHz puede quedar atenuado unos 20 o 30 dB. Muy probablemente, la presencia del filtro insertado para reducir las emisiones conducidas tendrá un efecto también beneficioso en emisiones radiadas.

Conclusiones

Como hemos comprobado, la calidad de un producto puede estar comprometida por la falta de suficiente nivel de filtrado interno o por un diseño mal realizado. Este nivel de filtrado se debe decidir durante la fase de diseño del producto y tiene como objetivo cumplir con los límites correspondientes impuestos por la norma aplicable. Es evidente que un mejor filtro también tiene en cierta forma un mayor coste.

La acumulación de focos en una instalación de iluminación no necesariamente implica un aumento proporcional de emisiones conducidas.

Para investigar el origen de un problema de compatibilidad electromagnética (emisiones o inmunidad), a veces, es práctico y necesario desviarse de la norma y cambiar algunos parámetros en los instrumentos de medida, como en nuestro caso los filtros del analizador de espectros.

Se ha comprobado que se debe tener en cuenta el régimen transitorio de algunos parámetros del producto que se está midiendo, porque pueden influir en los resultados de las medidas. Un parámetro a considerar por ejemplo es la estabilidad térmica del equipo.

No podemos asegurar de antemano el resultado de un equipo o instalación sin medir. A menudo el resultado es inesperado y debemos cambiar la forma de realizar la medida para poder justificar correctamente el resultado.

REFERENCIAS

Normas CISPR 11, CISPR 16, CISPR 22 y CISPR 32.