

## **INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA**

**Freddy Chan Puc**

**Rafael González Plascencia**

*freddy@uqroo.mx*

*gorafael@uqroo.mx*

División de Ciencias e Ingeniería,  
División de Desarrollo Sustentable  
Universidad de Quintana Roo

Boulevard Bahía s/n, esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque,  
Chetumal, Quintana Roo, C.P. 77019

**Carlos Aguilar Castillo**

**Jaime Arau Roffiel**

*aguilar@cenidet.edu.mx*

*jarau@cenidet.edu.mx*

CENIDET, Interior Internado Palmira s/n,  
Cuernavaca, Morelos Apdo. 5-164, C.P. 62050

### **RESUMEN**

Todo equipo alimentado por corriente eléctrica, emite con mayor o menor intensidad una serie de perturbaciones de distintas frecuencias que son susceptibles de interferir a otros dispositivos o equipos, ya sea a través del aire o mediante sus propios conductores. A estas perturbaciones se les denomina Interferencia Electromagnética (EMI por sus siglas en inglés). El problema de las interferencias ha experimentado un crecimiento parejo al de las aplicaciones electrónicas, viéndose agravado por el aumento de la integración en los semiconductores –haciéndolos más susceptibles– y la falta de formación del personal técnico con responsabilidades de diseño. Esta problemática ha despertado en las últimas décadas una enorme preocupación, a nivel usuarios, fabricantes y diseñadores de equipos eléctricos y electrónicos. El artículo presenta un breve panorama del origen de las EMI, su clasificación y normatividad actual, además de procedimientos de medición y ejemplos de los mismos.

Palabras clave: Calidad de la energía eléctrica–señales electrónicas.

## **INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos siglos, la evolución de la energía eléctrica, ha experimentado un gran desarrollo. A comienzos de la década de 1900, expertos en diversos campos lograron considerables avances, sin preocuparse mucho por los efectos negativos de sus innovaciones tecnológicas. De esta manera las consecuencias nocivas del rápido desarrollo se convertirían más tarde en el foco de atención. En las últimas décadas, algunas de estas consecuencias han alcanzado proporciones internacionales haciendo imprescindible su estudio con el objetivo de reducir o eliminar los efectos perturbadores (Keiser, 1987).

Un dispositivo o sistema puede ser considerado compatible desde el punto de vista electromagnético sólo si sus efectos son tolerados por los demás dispositivos operados en el mismo ambiente electromagnético. Para asegurar que esta compatibilidad exista, se ha desarrollado una nueva disciplina en el campo de la Ingeniería: la Compatibilidad Electromagnética (EMC). La EMC es la rama de la Ingeniería Eléctrica que estudia, analiza y resuelve problemas de interacción electromagnética.

En la primera mitad del siglo pasado, las fuentes de perturbaciones electromagnéticas fueron principalmente máquinas controladas por motores, máquinas de soldar y aparatos de conmutación. Sin embargo, con la rápida evolución de los semiconductores de potencia y los convertidores conmutados de potencia, los niveles de interferencia

en la red de alimentación, se han incrementado significativamente en intensidad y frecuencia. Los pronósticos indican que esta tendencia continuará en los próximos años. Por otra parte, a nivel mundial la sociedad está siendo densamente poblada con dispositivos de elevada sensibilidad a las perturbaciones electromagnéticas por lo que la atención a este problema cobrará mayor importancia.

## **ORIGEN DE LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS (EMI)**

Una de las principales fuentes de interferencias en los equipos electrónicos son los fenómenos transitorios y conmutaciones, que tienen lugar en circuitos próximos (Tihanyi, 1995). Dichos fenómenos pueden tener origen de tipo natural, como en el caso de descargas atmosféricas, o ser provocados por dispositivos o sistemas eléctricos de potencia, que manejan tensiones y corrientes relativamente elevadas comparadas con los niveles que emplean los circuitos electrónicos. Algunos de estos sistemas de potencia provocan, incluso en condiciones normales de funcionamiento, cambios bruscos de tensión ( $dv/dt$ ) y de corriente ( $di/dt$ ).

Los citados transitorios pueden presentarse, ya sea, de forma aleatoria, como en el caso de cortocircuitos, conmutación de relés o descargas atmosféricas; o de forma periódica y repetitiva como en el caso de la conmutación de convertidores estáticos. En ambientes

industriales y domésticos, en la banda de 100 kHz a 300 MHz, la energía puesta en juego por este tipo de fenómenos crece de forma alarmante, pues se duplica aproximadamente en periodos de cada tres años. Esto ocasiona un aumento de lo que se podría llamar *contaminación electromagnética* y compromete seriamente el buen funcionamiento de equipos de radio, televisión, comunicaciones, proceso de datos, control industrial, etc.

#### CLASIFICACIONES DE EMI'S

Si se clasifican según su origen (Ott, 1988), las perturbaciones pueden ser:

**Naturales.** Tales como las producidas por descargas atmosféricas, descargas electrostáticas (ESD), ruido cósmico, radiaciones naturales, etc.

**Provocadas o artificiales.** Cuando se originan como consecuencia del funcionamiento de otros dispositivos o sistemas eléctricos.

Otra clasificación se da en función de la banda de frecuencias de interferencia, ya que la facilidad de propagación depende de dicho parámetro:

**$f < 10$  kHz.** Perturbaciones transmitidas por la red y fuentes de alimentación, cuya propagación se presenta básicamente por conducción.

**10 kHz a 150 kHz.** Debidas a impulsos de intensidad y fenómenos transitorios de tensión producidos por la conmutación de relés, interruptores u otros dispositivos electromecá-

nicos. Su medio de propagación es el acoplamiento.

**150 KHz a 30 MHz.** El origen de éstas es el mismo de la anterior, pero sus medios de propagación son por acoplamiento y por radiación.

**30 MHz a 300 MHz.** Del mismo origen que las anteriores pero el principal medio de propagación es por radiación.

**500 MHz a 18 GHz.** Su origen suelen ser los equipos de comunicaciones o los propios circuitos lógicos de conmutación muy rápida; su medio de propagación es por radiación.

Según la tasa de repetibilidad las perturbaciones pueden clasificarse en:

**Continuas.** Formadas por interferencias aleatorias o impulsos de duración total superior a 2 ms.

**Discontinuas.** Formadas por interferencias aleatorias o impulsos cuya duración total no excede de 200 ms.

Según la propagación y la forma de captación en el circuito afectado se clasifican en dos tipos:

**Interferencias simétricas** o de modo diferencial: son perturbaciones que producen tensiones y/o corrientes diferenciales entre los conductores activos.

**Interferencias asimétricas** o de modo común: las perturbaciones producen tensiones y/o corrientes entre los conductores activos y el conductor de retorno o común.

La interferencia electromagnética se puede dividir en tres categorías de acuerdo a su mecanismo de propagación y captación (Figura 1):

## Interferencia electromagnética

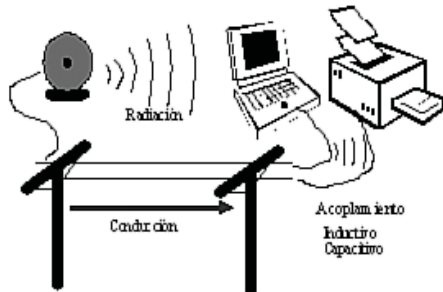


Figura 1. Principales mecanismos de propagación y captación

### Acoplamiento por conducción

Se produce siempre que dos circuitos tienen alguna impedancia común: resistencia de conductores, impedancia reactiva parásita inducida por efectos electrostáticos o magnéticos, bucles de masa, impedancias distribuidas o parásitas.

### Acoplamiento por radiación

En este caso, la interferencia electromagnética EMI se propaga a través del aire. Existen dos tipos de EMI radiadas:

*1. Radiación en campo cercano:* en las proximidades de los conductores que los generan, los campos están determinados por las *características de las fuentes emisoras*. De esta manera se tienen dos tipos de campo cercano:

*a) Campo electrostático (acoplamiento capacitivo):* se produce a causa de la capacitancia que existe entre los conductores de un sistema perturbado y la fuente de interferencias. Las capacitancias parásitas son omnipresentes en cualquier sistema de conductores cargados.

*b) Campo magnético (acoplamiento*

*inductivo):* se produce a causa de las inductancias mutuas que existen entre un circuito y la fuente de interferencias. Siempre que existe un conjunto de conductores recorridos por corrientes eléctricas se presenta un fenómeno de inducción magnética entre todos ellos.

*2. Radiación de campo lejano:* lejos de los conductores, los campos están determinados por las *propiedades del medio de propagación*. Sólo se tiene un tipo de campo lejano:

*a) Campo electromagnético.* Todo equipo eléctrico o electrónico produce alguna radiación de energía electromagnética, especialmente si genera algún tipo de arco. La multiplicidad de fuentes y características posibles de interferencias por radiación hacen imprescindible la protección por blindaje de todos aquellos equipos susceptibles.

Este tipo de interferencia es difícil de eliminar ya que cualquier conductor de entrada o salida se comporta como antena receptora; la señal captada aparece entre el conductor y tierra. Se requieren blindajes prácticamente perfectos, cualquier conexión a masa o tierra sólo es efectiva para los componentes más cercanos a ella (Ott, 1988).

## NORMATIVA ACTUAL EN MEDICIONES DE EMI

Actualmente, existe un conjunto de normativas, referentes a las EMI'S generadas por los aparatos en general, que obliga a los fabricantes de equipos electrónicos a minimizar las EMI'S

generadas por sus equipos a los niveles establecidos por estas normativas. Internacionalmente, los siguientes organismos han propuesto normativas ampliamente aceptadas: (1) el Comité Internacional Especial de las Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR), (2) el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), y (3) el Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE). En los Estados Unidos de América las normativas son establecidas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

En los problemas relacionados con las EMI'S, hay dos tipos básicos de normativas (Kodali, 1996; Schaffner; Balcells et al., 1992):

a) Las normas que especifican como se debe proceder para efectuar las medidas y qué características deben de tener los aparatos de medida, con el fin de garantizar la reproductividad de las mismas.

b) Las normativas que establecen los límites máximos permisibles, los cuales generalmente son función del tipo de aplicación para la cual se destina un determinado equipo.

Por ejemplo, la CISPR parte 16 o simplemente CISPR 16 establece los procedimientos que se deben tener en cuenta a la hora de hacer las medidas de las EMI, así como las características que debe tener el voltímetro selectivo (también conocido como receptor EMI), tales como anchos de banda y constantes de tiempo. También especifica cómo debe ser la red artificial. La CISPR parte 11 establece los límites máximos y los métodos de medida de las interferencias elec-

tromagnéticas generadas en alta frecuencia por los aparatos Industriales, Científicos y Médicos (ICM) (con la exclusión de los equipos de diámetro quirúrgica), las cuales son ampliamente aceptadas.

En Alemania el Verband Deutscher Elektrotechniker parte 0871 (VDE 0871) estableció los límites máximos y los métodos de medida de las interferencias electromagnéticas generadas en alta frecuencia por los aparatos industriales, científicos y médicos o aquellos que tengan un propósito análogo. La mención a las normativas VDE no es gratuita; se debe, no solamente a la novedad de éstas en este campo de aplicaciones, sino también al hecho de que son las más estrictas.

Finalmente cabe destacar que hoy en día en la Unión Europea (UE), el órgano responsable del establecimiento de normativas en compatibilidad electromagnética, es el CENELEC. Las normativas del CENELEC que llevan la denominación EN 550 NN, son equivalentes a aquellas publicadas por el CISPR, teniendo la siguiente correlación: EN 550 NN equivale a la CISPR NN.

Luego, por ejemplo, las normativas EN 55016 Y EN 55011 son equivalentes a las normativas CISPR 16 y CISPR 11 respectivamente.

### **Límites de las interferencias**

En la Figura 2 están representados los límites máximos establecidos para las EMI'S conducidas por las siguientes normativas: a) VDE 0871, b) FCC parte 15 y c) CISPR parte 11. La normativa VDE 0871 ofrece tres catego-

## Interferencia electromagnética

rías distintas A, B y C. En la normativa FCC 15, se distinguen dos categorías distintas: la clase A delimita las interferencias conducidas generadas en los entornos comercial, industrial y de negocios, mientras la clase B limita las interferencias conducidas para el en-

torno residencial. Como último ejemplo se puede mencionar la normativa CISPR 11, la cual también presenta dos categorías distintas de límites: la clase A establece los límites máximos admisibles para los hornos de microondas con potencia en alta frecuencia igual o menor a 5 kW y la clase B establece los límites máximos para los demás equipos médicos, científicos e industriales.

Como se puede comprobar la normativa VDE 0871 comprende un amplio rango de frecuencias de 10 kHz a 30 MHz, mientras que las normativas propuestas por el FCC y por el CISPR presentan un rango más reducido, en relación con esta última, de 450 kHz a 30 MHz y 150 kHz a 30 MHz respectivamente. Los límites también son diferentes, ya que los límites propuestos por el VDE 0871 son más estrictos que aquellos propuestos por el FCC 15 y por el CISPR 11. Por esta razón, si un determinado equipo cumplió con los límites propuestos por la normativa VDE 0871, cumplirá las demás normas. Cabe resaltar que los límites propuestos por el VDE no son aplicables solamente en Alemania, sino a muchos otros países, que a través de sus agencias correspondientes, adoptan estas normativas.

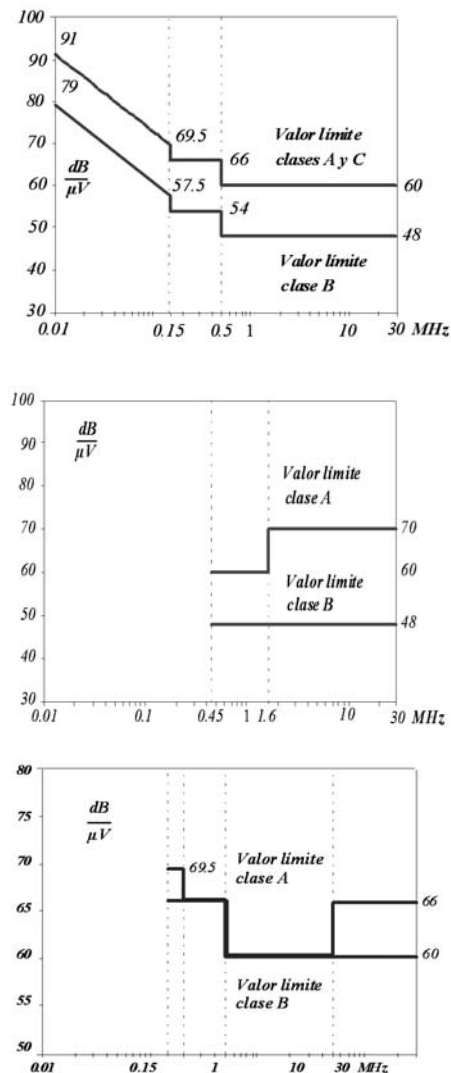


Figura 2. Valores límites para las interferencias conducidas propuestas por: a) VDE 0871; b) FCC 15 y c) CISPR 11.

## PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA

Las agencias CISPR, CENELEC, VDE y FCC, presentan requisitos similares en lo que se refiere a las medidas de las interferencias conducidas.

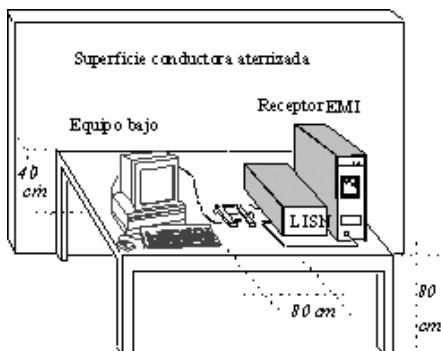


Figura 3. Procedimientos de medidas de las EMI conducidas.

En la Figura 3 se intenta dar una representación gráfica de los procedimientos de medida de las EMI'S de forma resumida.

El equipo bajo prueba (EUT Equipment Under Test), se debe encontrar emplazado a 40 cm de una superficie conductora que tenga una dimensión mínima de  $2\text{ m}^2$ , la cual debe estar puesta a tierra. Esta superficie puede ser una pared de metal, como una de las paredes de una sala apantallada. La red artificial (LISN, Line Impedance Stabilizing Network) o cualquier otra superficie conductora debe ser emplazada a una distancia superior a 80 cm del EUT. Los cables de alimentación del aparato bajo prueba que tengan una longitud superior a 1 m, deben ser doblados y acondicionados en un fajo con una longitud entre 30 y 40 cm de largo. La mesa de prueba donde se encuentran el EUT, la red artificial y el receptor EMI deben tener superficies no conductoras. De una forma resumida, éstas son las condiciones generales para las pruebas de las EMI'S conducidas.

Uno de los ambientes más comu-

nes, en el cual las medidas de interferencia radiadas son realizadas se denomina *campo abierto* o en terminología anglosajona: *open area test site*, por ser el lugar más parecido al que se adopta en las condiciones ideales del análisis teórico. Este entorno es usado principalmente para medidas de las EMI'S radiadas por los aparatos de uso comercial.

Asimismo, algunos productos militares, especialmente aquellos que ocupan un gran espacio como los vehículos o aviones, también pueden ser sometidos a pruebas de las EMI'S radiadas en el campo abierto. El sitio donde se realizan las pruebas no debe contener objetos reflectores en la mayor área posible. Como ejemplo, un área de prueba aceptable como campo abierto, sería aquella que estuviera libre de objetos reflectores dentro del perímetro de una elipse, donde el eje mayor tiene una longitud del doble de la distancia entre la antena y el EUT, y el eje menor es  $\sqrt{3}$  veces esta distancia. En la Figura 4 se encuentran representadas gráficamente estas especificaciones.

El equipo bajo prueba y los aparatos de medida son instalados en cada

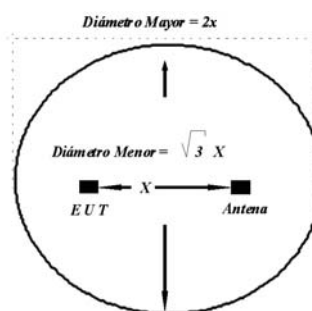


Figura 4. Especificaciones para campo abierto.

### *Interferencia electromagnética*

foco de la elipse. Las normas establecen que entre el emisor y el receptor se coloque un plano de tierra constituido por una placa metálica que sobrepase por lo menos un metro el perímetro del aparato en ensayo, y en el otro extremo sobrepase igualmente 1 m a la antena de medida y su soporte.

Con esto se garantiza una conductividad mínima y una uniformidad independiente de la naturaleza del terreno. Por ello la placa metálica no deberá tener cortes ni perforaciones que sobrepasen 0.1 veces la longitud de onda de la mayor frecuencia a medir. Idealmente, la repetibilidad de los ensayos está asegurada al utilizarse un plano de tierra metálico, y a la ausencia de objetos reflectores en el campo abierto, siempre que en éste no haya ruido ambiente.

Una completa investigación de la radiación emitida por una determinada fuente, requiere un conjunto de medidas a diversas distancias de la misma. Las distancias preferidas para estas medidas son: 3 m, 10 m, 30 m, 100 m, etc.

#### **Instrumentos de medida**

A fin de atender las especificaciones contenidas en la normativa CISPR 16, un receptor EMI debe incluir un filtro selectivo, un detector de envolvente, un detector de valores pico y un voltímetro, los cuales a su vez tienen todas sus características tales como anchos de banda y constantes de tiempo perfectamente especificadas.

Las medidas de las emisiones requieren un receptor sintonizable. El analizador del espectro es un equipa-

miento perfecto para ello. Sin embargo, la mayoría de los analizadores del espectro no incorporan el detector de valores pico ni los filtros adecuados. La red artificial (arreglos de impedancias) también está perfectamente descrita en la CISPR 16. La red artificial es necesaria para simular una impedancia conocida en altas frecuencias en los terminales del equipo bajo prueba y para aislar estos de las interferencias externas procedentes de la red de distribución. La impedancia de la red artificial, medida entre la tierra y cada terminal del equipo bajo prueba, se debe mantener invariable, e independiente de la carga conectada a sus terminales de alimentación (incluyendo corto circuito). También debe hacerlo con respecto al receptor EMI conectado o con respecto a una impedancia equivalente conectada a sus terminales de salida. La red artificial debe presentar la mínima caída de tensión a la frecuencia de red de distribución y en ningún caso la tensión aplicada al equipo bajo prueba puede ser inferior a 95% de su valor nominal. Variaciones en la temperatura de operación o en el valor máximo instantáneo de la corriente de entrada, no deben provocar variaciones en la impedancia característica de la red artificial superiores a tolerancia especificada.

Esta red artificial es válida para aplicaciones monofásicas de alterna y para aplicaciones en corriente continua. Puede ser aplicada en el rango de frecuencias comprendido entre 0.01 y 30 MHz, para corrientes inferiores a 100 A.

Tensiones interferentes producidas



por otros aparatos, presentes en la red de distribución, deben ser atenuadas a un nivel a 20 dB por debajo del menor valor de interferencia, que se quiera medir, so pena de no ser medible. Por ello la red artificial incorpora un filtro de entrada.

El valor de la interferencia presente en la red de distribución debe ser medida con el aparato bajo prueba conectado físicamente a la red artificial, pero sin estar en funcionamiento. En caso de que esta condición no pueda ser satisfecha, es posible adicionar un filtro suplementario externo. También puede ser necesario hacer las medidas en un ambiente apantallado. La red artificial y el filtro deben estar encerrados en una caja metálica directamente conectados a la tierra del sistema de medida.

### PRUEBAS EXPERIMENTALES EN APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS

Para las pruebas experimentales se utilizó un analizador de EMC HP8591EM con un espectro de frecuencia de 150 kHz-30 MHz, también se utilizó una red artificial (LISN) EMCO3810/2 de 110Vca, 10 A y con un rango de frecuencia de 9 kHz-30 MHz. Este analizador se programa mediante una tarjeta de límites y factores de configuración (ROM), con la cual se establece la norma a utilizar y automáticamente se compara la medición con los límites establecidos por la norma seleccionada.

Se realizaron mediciones de EMI

conducidas y radiadas de campo cercano en aparatos típicos tales como licuadora, taladro, ventilador, CPU. En la Figura 5 se muestra el ruido ambiental conducido en la red de alimentación, se observa que la magnitud de las EMI conducidas no sobrepasan la norma (en este caso se usó la EN014).

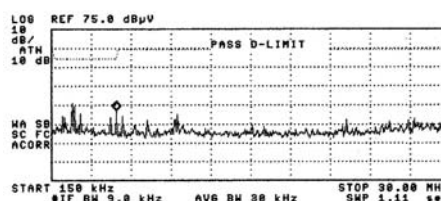


Figura 5. Ruido ambiental conducido en la red de alimentación.

Al conectar en la misma red de alimentación, un CPU se observa una contaminación en la red de alimentación (Figura 6), sin embargo en este caso los niveles alcanzados por las perturbaciones no sobrepasan los establecidos por la norma. Esto se debe a que los CPU cuentan con filtros (núcleos de ferrita) colocados en sus terminales de entrada los cuales tienen la función de reducir los niveles de las perturbaciones conducidas tanto en emisión como en absorción.

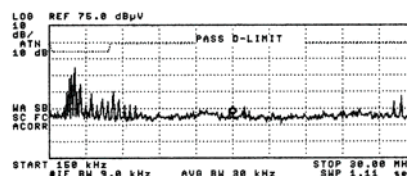


Figura 6. EMI conducida de un CPU.

Del mismo modo al conectar en la misma red de alimentación, un taladro

## Interferencia electromagnética

operado a alta velocidad, se observa una generación mayor de disturbios en la misma que en el caso de un CPU (Figura 7). En este caso los niveles alcanzados por las perturbaciones sobrepasan los establecidos por la norma (cabe señalar que este equipo no incluye filtrado de EMI conducidas).

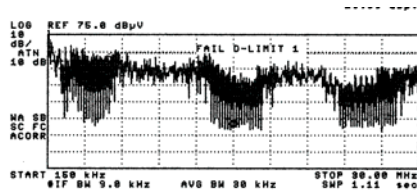


Figura 7. EMI conducida de taladro a 15 mil RPM.

En la Figura 8 se muestra el *ruido ambiental radiado* de campo cercano en la red de alimentación; se observa que la magnitud de las EMI radiadas en el ambiente no sobrepasa la norma.

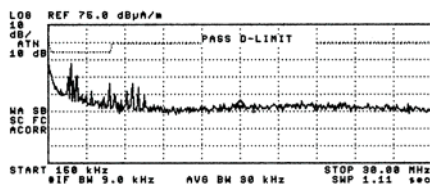


Figura 8. Ruido ambiental radiado en la red de alimentación

En el caso de las EMI'S radiadas se utilizó una punta de prueba de campo cerrado Close Field Probe HP11941A con un rango de frecuencia de 9kHz-30 MHz y el HP11941A con un rango de frecuencia de 30 MHz-1 GHz. También se empleó un amplificador *Sonoma Instruments* con un rango de frecuencia de 9 kHz-1 GHz, así como un limitador de transitorios.

Un CPU encendido genera una cantidad de EMI radiada que sobrepasa de manera marginal los límites establecidos por la norma, lo cual se observa en la Figura 9.

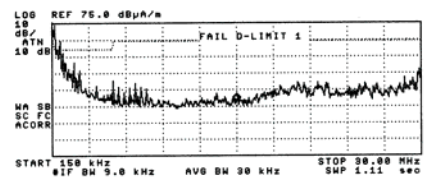


Figura 9. EMI radiada de un CPU.

Por otro lado al conectar un taladro operado a alta velocidad en la red de alimentación se observa bajos niveles de radiación (Figura 10) que no sobrepasa los niveles establecidos por la norma.

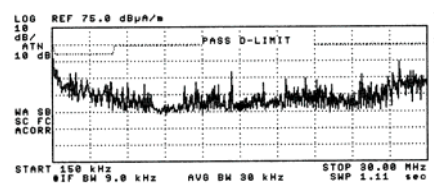


Figura 10. EMI radiada de un taladro a 15 mil RPM.

Si se aumenta la velocidad del taladro las perturbaciones se incrementan sobrepasando los niveles permitidos tal como se observa en la Figura 11.

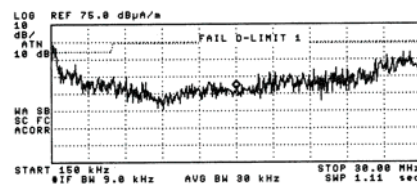


Figura 11. EMI radiada de un taladro a 30 mil RPM.

En la Figura 12 se observa el efecto de conectar simultáneamente un taladro operado a 15 mil rpm y un CPU el efecto aditivo de las EMI produce que las perturbaciones se incrementen sobrepasando los niveles permitidos.

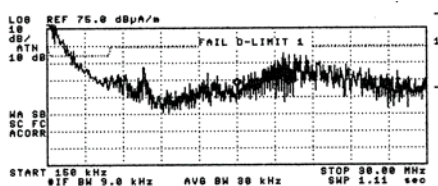


Figura 12. EMI radiadas por CPU y taladro.

Estos ejemplos sencillos con equipos comunes en el hogar, muestran claramente la contaminación generada en la red provocando los problemas descritos con anterioridad.

## CONCLUSIONES

La relativa novedad del tema, la diversidad de grupos de trabajo que han intervenido en la elaboración de normativas para la regulación de las EMI'S y los continuos avances en los diversos campos de la electrónica, hacen que las normas actuales consideradas de forma aislada resulten incompletas para cumplir todo el campo de las interferencias y compatibilidad electromagnética, y en su conjunto resulten poco unificadas y muy dispersas, convirtiéndose en verdadera pesadilla para el diseñador y el usuario. No obstante, por sus efectos al diseñar, experimentar e implantar, y a la

confusa cantidad de normas que regulan este aspecto, por el momento se debe aprender a convivir con ellos y orientar con mayor fuerza los estudios encaminados a resolver el problema que cada vez es mayor.

Con el objetivo de medir el nivel de perturbaciones simétricas y asimétricas conducidas por cables de alimentación y señal, se implementó un banco de pruebas para las mediciones de interferencias conducidas y radiadas (en campo cercano), de acuerdo a la norma CISPR y VDE. La medición de las tensiones de EMI en los cables se realiza mediante un adaptador de impedancias estándar, conocido como LISN y un medidor de EMI. Estas mediciones se realizan generalmente en una banda de frecuencias que va de 10 kHz a 30 MHz. Se fabricó un banco de madera (2.4 m x 1.5 m x 80 cm) el cual no debe tener ninguna pieza metálica (sin clavos); por otro lado se construyó un plano conductor de hojas de aluminio con dimensiones de 2 m x 2 m el cual se conecta a la tierra física de la red. Sobre este banco de madera se ubicaron tanto el equipo de medición, la red artificial (LISN), así como el equipo bajo prueba (EUT). Se observó en las mediciones realizadas que en muchos casos la contaminación de EMI es tal que sobrepasa los límites establecidos por las normativas internacionales, ya que estos estándares aún no se aplican en países como México, donde todavía se permite el uso de equipos contaminantes del ambiente electromagnético.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Keiser, B. 1987, *Principles of Electromagnetic Compatibility*, Artech House Publishers, Norwood, MA United States of America.
- Tihanyi, L. 1995, *Electromagnetic Compatibility in Power Electronics*, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom.
- Ott, H. 1998, *Noise Reduction Techniques in Electroonic Systems*, Second edition, Wiley-Interscience, John Wiley & Son, New York, United States of America.
- Kodali, P. 1996, *Engineering Electromagnetic Compatibility: Principles, Measurements, and Technologies*, Institute of Electrical & Electronics Enginee.
- Schaffner, *Electromagnetic Compatibility: Interference, Suppression and Simulation*.
- Balcells, J., Daura, F., Esparza, R., Payas, R., 1992, *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*, Alfaomega-Marcombo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradecen al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) las facilidades para la realización de estas mediciones.