

¿Por qué hay diferencias de medida entre laboratorios?

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



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

Las regulaciones y normas de compatibilidad electromagnética (CEM) están establecidas en todo el mundo para ofrecer una mayor confiabilidad y seguridad a los usuarios de los equipos eléctricos y electrónicos. Para garantizar el cumplimiento de estas regulaciones y normas, muchas empresas emplean los servicios de un laboratorio externo para realizar las pruebas de cumplimiento reales requeridas para la certificación de CEM y ser conforme con las normas. En Europa los productos deben ser conformes con la directiva de CEM 2014/30/UE.

Las pruebas de conformidad requieren métodos, equipos y sitios de medición que cumplan con las normas internacionales. Las pruebas de cumplimiento se realizan comúnmente como parte de la certificación del diseño, antes de iniciar la producción de un nuevo producto. La realización de estas pruebas requiere mucho tiempo y dinero. Un fallo de CEM en la etapa de desarrollo de un nuevo producto puede causar costosos retrasos en el diseño y en su introducción en el mercado. Se debe evitar fallar cuando se va al laboratorio al final del proceso de desarrollo. Para ello es recomendable tener un plan de pruebas desde el inicio del diseño del nuevo producto para tener en cuenta las normas a cumplir durante la fase de diseño.

Según las estadísticas de los laboratorios de CEM, fallan un 50% de los nuevos productos que llegan al laboratorio. Una de las pruebas de CEM más críticas es la prueba de las emisiones radiadas. Del 50% de los nuevos productos que fallan, un mínimo del 70% fallan debido a las emisiones radiadas, al superar los límites establecidos en la norma seleccionada. El término "emisiones radiadas" se refiere a la liberación intencional y no intencional de energía electromagnética desde un dispositivo electrónico. Para asegurar

que el nuevo producto no tiene este problema, se realiza una prueba de emisiones radiadas para garantizar que las emisiones que emanan desde el producto cumplen con los límites aplicables. También se puede tener problemas debidos a las emisiones conducidas, pero con menor probabilidad de fallo en comparación con las emisiones radiadas. El término "emisiones conducidas" se refiere al mecanismo que permite que la energía electromagnética generada en un dispositivo electrónico se acople a sus cables de alimentación de red y a sus cables de datos hacia el exterior.

Los laboratorios de CEM

Los laboratorios de ensayos de CEM, en particular los laboratorios acreditados según las normas de calidad ISO 17025, realizan comprobaciones periódicas internas para garantizar que sus equipos y configuraciones de prueba ("setup") funcionan correctamente. Una vez establecida y probada, la configuración de la prue-

ba puede modificarse a medida que se reemplazan o reconfiguran los elementos individuales que conforman la prueba, o cuando los instrumentos se comparten y se mueven entre las diversas pruebas dentro del laboratorio. La posible variación de los resultados surge debido al desgaste adicional de los conectores y cables, o si la configuración de la prueba es incorrecta, al estar dañada por mal uso o por transporte, si sale del laboratorio. La posible variación también puede ser debida a la posibilidad de cambiar ligeramente el "setup", pero igualmente puede tener un cierto impacto en los resultados finales.

En un laboratorio de ensayos de CEM, los instrumentos se calibran a intervalos periódicos, generalmente de forma anual, aunque los intervalos reales pueden variar. Su calibración confirma que el instrumento está operando dentro de sus especificaciones publicadas y también, en el caso de elementos no ajustables como cables o antenas, proporciona un conjunto de valores o factores que después son necesarios para inter-

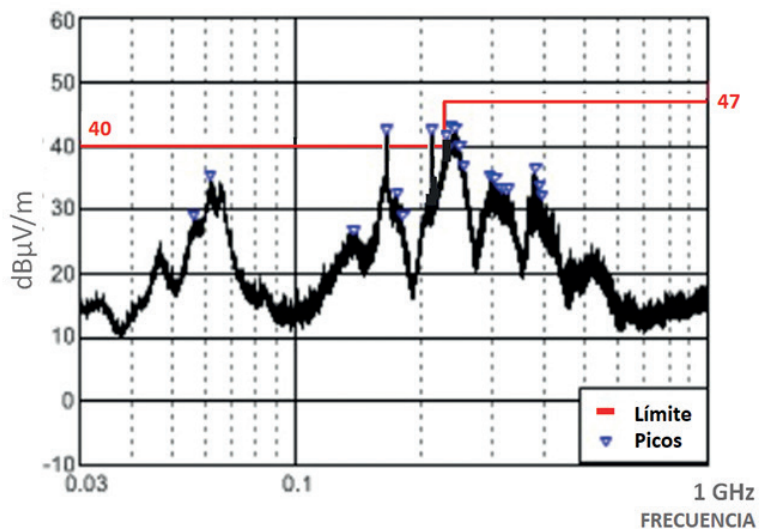


Figura 1. CISPR 32 Clase B a 3 metros. LABORATORIO 1: FALLA (algunos picos sobrepasan el límite 3-4 dB)

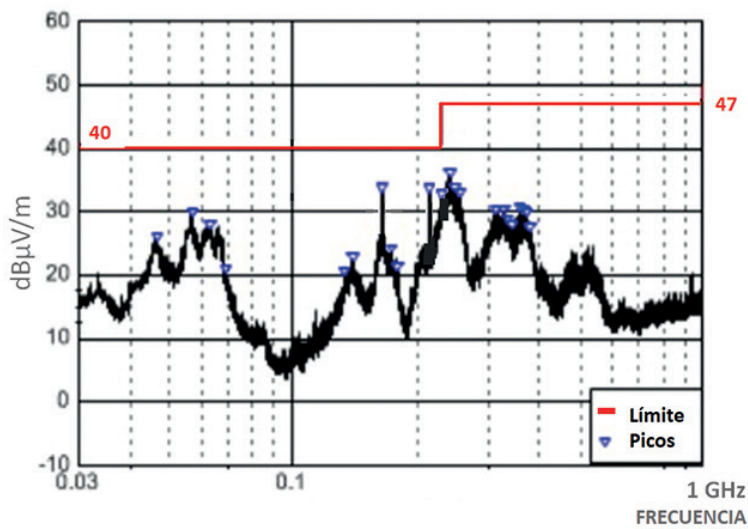


Figura 2: CISPR 32 Clase B a 3 metros. LABORATORIO 2: PASA (algunos picos están demasiado cerca del límite).

pretar correctamente las mediciones realizadas con esa configuración de prueba. Cada calibración es una instantánea del rendimiento del equipo, que puede degradarse con el tiempo.

Algunas veces los fabricantes realizan pruebas de CEM de un nuevo equipo en dos laboratorios distintos. Frecuentemente, los resultados de estas mediciones en laboratorios distintos son diferentes. Es usual preguntarse: ¿por qué aparecen estas diferencias en los resultados de las medidas entre laboratorios sobre todo en las emisiones radiadas?. Cuando un producto tiene unas emisiones que se sitúan justo en el límite que establece la norma, una pequeña variación es crítica, al provocar que un laboratorio informe que el equipo bajo prueba PASA la prueba y el otro laboratorio informe que FALLA la prueba. Ello ocurre cuando en un laboratorio medimos picos de 0 a -3 dB por debajo del límite y en el otro laboratorio, estos mismos picos con las mismas frecuencias, se miden con 0 a +3 dB por encima del límite. La figura 1 muestra los resultados de unas pruebas de emisiones radiadas de un equipo que FALLA por poco (laboratorio 1), al tener unos picos con unos pocos dB por encima del límite. La figura 2 muestra los resultados de unas pruebas de emisiones radiadas del mismo equipo con un PASA, pero realizadas en el laboratorio 2. Aunque el equipo PASA, los picos están muy cercanos al límite. En esta situa-

ción con diferencias tan pequeñas en la medida es cuando puede haber discusión para determinar cual de las dos mediciones es la correcta.

¿Qué medidas son las correctas? En una situación como esta, es normal que al fabricante se le planteen dudas sobre los resultados de los ensayos y sobre los laboratorios escogidos.

Debemos partir de la premisa de que ambos laboratorios han realizado correctamente los ensayos, han seguido los procedimientos acreditados y las directrices de la CISPR16 y tienen los equipos calibrados. No es el objetivo de este artículo dudar sobre las buenas prácticas de los laboratorios. El objetivo es aportar luz sobre los aspectos que tienen influencia en las medidas y pueden provocar esta discrepancia.

Partimos también de la premisa de que el equipo ensayado es exactamente el mismo en ambos casos (no hay modificaciones), se han utilizado los mismos cables u otros accesorios, con la misma longitud y configuración, y se han dispuesto exactamente en la misma forma en ambos laboratorios. Es muy común que, especialmente los cables, sean diferentes entre dos medidas porque no se consideran parte del equipo y el fabricante no los conserva exactamente igual entre medidas.

En primer lugar, y el aspecto más importante, es que el equipo está muy cerca del límite y las peque-

ñas variaciones son críticas. La mejor solución es mejorar el diseño del equipo para alejarse de los límites. Con un margen de seguridad de 5 dB (aceptable) o 10 dB (óptimo), las variaciones entre laboratorios no tienen, normalmente, ningún efecto. No obstante, es interesante entender porqué pueden surgir estas diferencias entre laboratorios. Para ello vamos a explicar lo que ocurre en esta situación, considerando varios parámetros que tienen incidencia en la realización de las medidas de emisiones radiadas. La incidencia en la realización de las medidas de emisiones conducidas es menor.

En segundo lugar, es importante que el fabricante disponga de un juego de cables y/o accesorios de ensayos que se mantengan invariables entre los ensayos, ya sean investigativos o ensayos en laboratorios acreditados. Disponer también de un esquema claro de distribución física de los cables también ayudará a mantener invariable el "setup".

La incertidumbre de la medida

Uno de los requisitos exigidos a cualquier laboratorio cuando quiere acreditar el ensayo de emisiones es el cálculo de la incertidumbre de medida. Muchas veces, este parámetro pasa desapercibido ante el usuario, pero es crítico en estas situaciones en que los valores medidos se sitúan muy próximos al límite.

Es muy común tener incertidumbres de 3 o 4 dB en los ensayos de emisiones radiadas. El principal factor que provoca estos valores tan elevados reside en los métodos de validación de las cámaras semianecoicas. Estos parámetros son conocidos como la NSA ("Normalized Site Attenuation": atenuación normalizada del lugar) (por debajo de 1 GHz) y la Site VsWR ("Voltage standing Wave Ratio": Relación de onda estacionarias del lugar) (por encima de 1 GHz) y se definen en la norma CISPR16-1-4 Ed. 3.2:2017 en el momento de redactar este artículo.

¿Qué es la incertidumbre? En el uso ordinario, la palabra "incertidumbre" no inspira confianza. Es un parámetro, asociado con el resultado de una medición (por ejemplo, una calibración o prueba) que define el

rango de los valores que razonablemente podrían atribuirse al valor medido. Cuando se evalúa la incertidumbre y se reporta de una manera específica, indica el nivel de confianza en que el valor se encuentra dentro del rango definido por el intervalo de incertidumbre. Normalmente, este valor es del 95% de confianza.

¿Cómo surge? Cualquier medida está sujeta a imperfecciones. Algunas de estas imperfecciones son debidas a influencias externas, como las de corto plazo: las fluctuaciones en la temperatura, la humedad y la presión del aire, o la variabilidad en el rendimiento del medidor. Repitiendo las mediciones mostrarán variaciones debido a estos factores. Otras imperfecciones surgen de las limitaciones prácticas de cómo se pueden hacer correcciones para los efectos sistemáticos como el conjunto de instrumentos de medida, la deriva de sus características entre calibraciones, el sesgo personal en la lectura de una escala analógica o la incertidumbre del valor de una norma de referencia.

¿Por qué es importante? La incertidumbre es una indicación cuantitativa de la calidad del resultado. Da una respuesta a la pregunta: ¿Qué nivel de confianza tiene el resultado medido? También permite a los usuarios del resultado evaluar su confiabilidad. Por ejemplo, en la comparación de resultados de diferentes fuentes, o con valores de referencia. Por esta razón, la confianza en la comparabilidad de los resultados puede ayudar a reducir las barreras al comercio. A menudo, un resultado se compara con un valor límite definido en una norma. En este caso, el conocimiento de la incertidumbre muestra si el resultado está dentro de los límites aceptables o no. Ocasionalmente, un resultado está tan cerca del límite que existe un riesgo, una vez que se ha tenido en cuenta la incertidumbre, que la propiedad medida pueda no estar dentro del límite y esto se debe tener en cuenta. Supongamos que un cliente realiza la misma prueba de emisiones radiadas en dos laboratorios, usando una misma muestra idéntica de su nuevo producto.

¿Debemos esperar que los dos laboratorios obtengan resultados idénticos? Hasta cierto punto sí. Cuando los resultados están cerca del límite de la norma seleccionada,

puede ser que un laboratorio indique un FALLA mientras que el otro indique un PASA. De vez en cuando, los organismos de acreditación deben investigar las quejas relacionadas con dichas diferencias. Esto puede implicar mucho tiempo y esfuerzo para todas las partes interesadas, lo que en muchos casos se podría haber evitado si el cliente hubiera tenido en cuenta la incertidumbre del resultado de cada laboratorio. Lógicamente, una incertidumbre menor indica que un laboratorio es más preciso que el otro.

¿Cómo se evalúa la incertidumbre? La incertidumbre es una consecuencia de las variables desconocidas y los límites a las correcciones para los efectos sistemáticos, y por lo tanto se expresa como una cantidad, es decir, un intervalo sobre el resultado. Se evalúa combinando una serie de incertidumbres. Los componentes se cuantifican mediante la evaluación de los resultados de varias mediciones repetidas, o por estimación basada en datos de registros, mediciones previas, conocimiento del equipo y experiencia de la medición. En la mayoría de los casos, los resultados de mediciones repetidas se distribuyen alrededor del promedio en la curva en forma de campana o “distribución normal”, en la que existe una mayor probabilidad de que el valor se encuentre más cerca de la media que de los extremos.

La evaluación de las mediciones repetidas se realiza aplicando una fórmula matemática relativamente simple. Esto se deriva de la teoría estadística y el parámetro que se determina es la desviación estándar. Los componentes de incertidumbre cuantificados por medios distintos de mediciones repetidas también se expresan como desviación estándar. No obstante, las desviaciones no siempre se caracterizan por la distribución normal. Por ejemplo, solo es posible estimar que el valor de una cantidad se encuentra dentro de los límites (límites superior e inferior) con la misma probabilidad que se encuentra en cualquier lugar dentro de esos límites. Esto se conoce como una distribución rectangular. Hay expresiones matemáticas simples para evaluar la desviación estándar, y para otras distribuciones encontradas en las mediciones. En medidas de CEM

a veces se encuentra la distribución en forma de “U”. El método de combinar la incertidumbre de los componentes tiene como objetivo producir un enfoque realista en lugar de un enfoque pesimista de la incertidumbre combinada. Esto generalmente significa calcular la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los componentes. La incertidumbre estándar combinada puede presentarse tal como está (el nivel de desviación estándar), o, por lo general, se presenta una incertidumbre expandida. Ésta es la incertidumbre estándar combinada multiplicada por lo que se conoce como un factor de cobertura. Cuanto mayor sea este factor, mayor será el intervalo de incertidumbre y, correspondientemente, cuanto mayor sea el nivel de confianza, el valor se encontrará dentro de ese intervalo. Para un nivel de confianza de aproximadamente el 95%, se utiliza un factor de cobertura de 2. Al presentar la incertidumbre, es importante indicar el nivel del factor de cobertura, el nivel de confianza, o ambos a la vez.

En la práctica significa que si el valor medido por el laboratorio A es de 25 dB μ V/m con una incertidumbre de ± 3 dB, el valor verdadero está comprendido entre $25 - 3 = 22$ dB μ V/m y $25 + 3 = 28$ dB μ V/m. Siguiendo este mismo razonamiento, si el valor medido en el laboratorio B es de 20 dB μ V/m con una incertidumbre de ± 3 dB, el valor verdadero está comprendido entre $20 - 3 = 17$ dB μ V/m y $20 + 3 = 23$ dB μ V/m. Se puede ver que ambas medidas se solapan (22 y 23 dB μ V/m) por lo que ambas medidas se consideran buenas. El problema se presenta cuando el límite de la norma ensayada se encuentra entre el valor “nominal” del laboratorio A y del laboratorio B, en un caso es un PASA y en otro un FALLA.

Todos los laboratorios acreditados están obligados a participar en intercomparaciones. Una intercomparación consiste en que un mismo equipo es medido por un laboratorio de referencia y también es medido por todos los laboratorios participantes en las mismas condiciones. El equipo es devuelto al laboratorio de referencia tras cada medida efectuada por el laboratorio participante, y es vuelto a medir para detectar derivas y/o posibles averías. El resultado de la intercomparación es una tabla

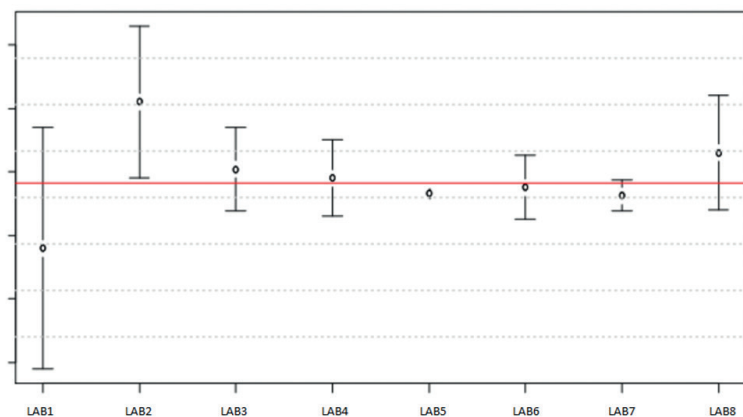


Figura 3. Ejemplo del resultado de intercomparación entre Laboratorios.

o gráfica donde se comprueba que el margen del valor medido con su incertidumbre de todos los laboratorios incluye el valor medido por el laboratorio de referencia. Así se comprueba que todos los laboratorios se solapan.

La figura 3 muestra el resultado típico de una intercomparación. En ella se ve que el laboratorio LAB2 está fuera del margen, LAB1 y LAB8 están dentro del margen, pero el valor nominal -el punto- son los más diferentes. Lo ideal es que todos los laboratorios fueran como LAB4 o LAB6.

Por tanto, el primer punto a comprobar es que las medidas de ambos laboratorios, teniendo en cuenta las incertidumbres, se solapan, aunque los valores nominales sean diferentes. Pero hay otros factores que pueden influir en la discrepancia entre las medidas de dos laboratorios o entre dos medidas del mismo laboratorio.

El tiempo de la medida

Es importante considerar el tiempo de la medida cuando se realizan medidas de emisiones para asegurar que se miden correctamente todas las emisiones con la suficiente precisión. Tanto el detector de Quasi Pico como el detector de promedio (la media) requieren un tiempo relativamente largo para que su salida se establece en cada frecuencia de medición. Cuando se está midiendo un amplio rango de frecuencias, el método convencional es escalonar el receptor a un tamaño de paso de alrededor de la mitad de su ancho de banda de medición (filtro de medida RBW (Resolution Bandwidth): 9 kHz, 120

kHz o 1 MHz), para cubrir el rango completo sin espacios. Para una exploración completa de la medición de todo el rango de frecuencias, el tiempo empleado viene dado por:

$$T = (\text{intervalo de frecuencia / tamaño de paso}) \times \text{tiempo de permanencia por frecuencia de punto}$$

El tiempo de permanencia depende de las constantes de tiempo de cada detector definidas en la norma y que pueden llegar a ser de hasta 1 segundo en el caso del detector de Quasi Pico. En estas circunstancias, medir un amplio rango de frecuencias con este detector implicaría dedicar alrededor de 1 hora en emisiones conducidas (150 kHz-30 MHz) por línea de red (Línea y Neutro) y aproximadamente 5 ½ horas para un barrido de 30 MHz a 1 GHz en una sola polaridad de la antena. Si tenemos en cuenta que debemos medir varias líneas de red (conducidas) o dos polaridades (radiadas en orientación vertical y horizontal) y maximizar las emisiones rotando la mesa y moviendo la antena entre 1 y 4 metros, es fácil entender que el tiempo necesario para hacer una medida completa es extremadamente largo. Hay que buscar una alternativa razonable a este procedimiento.

La alternativa razonable se basa en la propia definición de los detectores utilizados. Debido a como están definidos en la familia de normas CISPR16, una medida utilizando el detector de pico siempre será mayor o igual que la misma medida utilizando el detector de Quasi Pico. A su vez, esta misma medida con el detector de Quasi Pico siempre será mayor o igual que la medida con el

detector de promedio. Si el pico a medir es de amplitud constante, también conocido como CW, los valores de todos los detectores serán iguales. Si el pico es pulsante, es decir, que no está de forma permanente, pero aparece repetitivamente, el valor del Quasi Pico y promedio se alejan del valor de pico (siempre menores) en función de la duración y frecuencia de repetición. Esto es así porque cuando se definieron estos detectores se buscaba penalizar más las interferencias "permanentes" y menos las "intermitentes".

Este comportamiento nos permite utilizar el detector de pico, mucho más rápido que el detector de Quasi Pico, para hacer barridos en tiempos reducidos detectando las zonas problemáticas y medir únicamente con los detectores "lentos" de Quasi Pico y promedio únicamente donde realmente es necesario. De esta forma se consiguen tiempos de ensayo razonables, de unos 20 minutos por barrido en emisiones radiadas de 30 MHz a 1 GHz, ya que uno de los factores que inciden en el coste de los ensayos es el tiempo necesario para realizar el ensayo. Esta es una aproximación clásica basada en los detectores originales. La evolución de la tecnología ha modificado este panorama introduciendo nuevos detectores (RMS) o modificando alguno (promedio) y, por otro lado, los receptores actuales disponen de detectores de promedio mucho más veloces.

Con esta estrategia podemos ir más rápido, pero existe el peligro de ir demasiado rápido y no capturar las emisiones fluctuantes. Las normas indican tiempos de medida mínimos o, lo que es lo mismo, velocidades de barrido máximas, pero es imposible establecer un tiempo de medida óptimo que funcione con todos los EBP posibles. Si el pico es constante o tiene una frecuencia de repetición alta es muy fácil detectarlos, pero si la frecuencia de repetición es baja ya no lo es tanto. Se puede dar la circunstancia de que el pico no esté presente cuando el receptor está midiendo esa frecuencia en concreto y no detectarlo. Cada EBP tiene su tiempo de medida óptimo y sería aconsejable algún tipo de medida previa que nos permitiera detectar la presencia de estos picos fluctuantes y actuar en consecuencia.

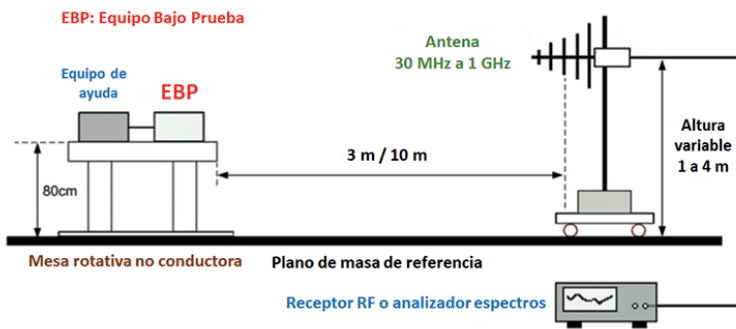


Figura 4. Emisiones radiadas a 3 metros o a 10 metros de distancia entre la antena y el equipo bajo prueba (EBP).

Las nuevas técnicas de medida que han aparecido recientemente, como las medidas en el dominio del tiempo, permiten realizar medidas mucho más rápidas, reduciendo el riesgo de perder estos picos fluctuantes. Por poner un ejemplo de órdenes de magnitud, un barrido de emisiones conducidas entre 150 kHz y 30 MHz que con el detector de pico y un receptor clásico puede durar del orden de 5 minutos, se puede reducir con estas técnicas a menos de 100 ms, lo que nos permitiría realizar 10 barridos en 1 segundo o 600 barridos en 1 minuto. Estas técnicas de medida en el dominio del tiempo tienen otras ventajas, pero no es el objetivo de este artículo.

Las emisiones radiadas medidas a 3 y 10 m.

Para medir las emisiones radiadas ¿Debemos realizar la prueba a 3 o a 10 metros de distancia entre la antena y el EBP (Equipo Bajo Prueba)? Esto depende de la norma y en algunos casos del tipo de equipo. Algunas normas indican los límites a 3 metros, otras solo indican los límites a 10 metros y otras tienen los límites a 3 y a 10 metros. Los datos extrapolados de 3 metros se pueden usar para demostrar el cumplimiento de varias normas. Siempre se recomienda realizar pruebas a la distancia especificada en la norma correspondiente si hay disponibles cámaras anecoicas para 3 o 10 metros. La medida a la distancia especificada por la norma garantiza que podemos evitar los errores que pueden resultar de la medida a una distancia más cercana. Aunque algunas normas permiten extrapolar

datos de emisiones radiadas a una distancia diferente, muchas veces el nivel de las emisiones radiadas no coincide con el nivel calculado. Al realizar medidas a una distancia menor de la especificada, se corre el riesgo de cometer errores en la medida de las emisiones y de aceptar productos con un resultado de PASA o FALLA incorrectos.

Las mediciones de emisiones radiadas siempre deben indicar la distancia horizontal desde el EBP hasta la antena receptora. Esta distancia horizontal, puede ser de 1, 3, 5, 10 o 30 metros. Las dos distancias más usuales en las normas son 3 y 10 metros en el sector industrial (figura 4). En la automoción, la aeronáutica y el sector militar es más común usar la distancia de 1 metro.

La aplicación de las mediciones a 3 metros es cada vez más frecuente. Se pueden realizar mediciones a 3 metros en un sitio de prueba de área

abierta (OATS: Open Area Test Site) o, más usualmente, en una cámara semi-anecoica de 3 metros debido a los niveles electromagnéticos ambientales externos cada vez más altos. Muchos expertos técnicos consideran que la distancia de medición de 10 metros es el "estándar de oro" de la medición de emisiones radiadas. Las mediciones a 10 metros también se realizan en los sitios de prueba de área abierta (OATS) y en cámaras semi-anecoicas. La distancia de la antena al EBP de 10 metros permite utilizar una mesa giratoria más grande y, por lo tanto, se puede medir productos más grandes.

Las cámaras de 3 metros se han popularizado debido al altísimo coste de las cámaras semianecoicas de 10 metros. Si una cámara de 10 m puede ser la distancia ideal, su coste fácilmente duplica o triplica el coste de una cámara de 3 m, que ya tiene un alto coste. Por otro lado, las dimensiones físicas de la cámara suponen una limitación importante en su instalación. Una primera aproximación de las dimensiones de una cámara consiste en pensar en la elipse libre de superficie reflejante que aparece en la norma CISPR11 (figura 5). Es evidente que una cámara de 10 m requiere de un mayor espacio y de mucho más material absorbente al tener más superficie que cubrir, por lo que el coste aumenta según una relación de 3 veces.

Por otra parte, la contaminación del espectro radioeléctrico actual prácticamente invalida la posibilidad de utilizar un OATS (Open Area Test

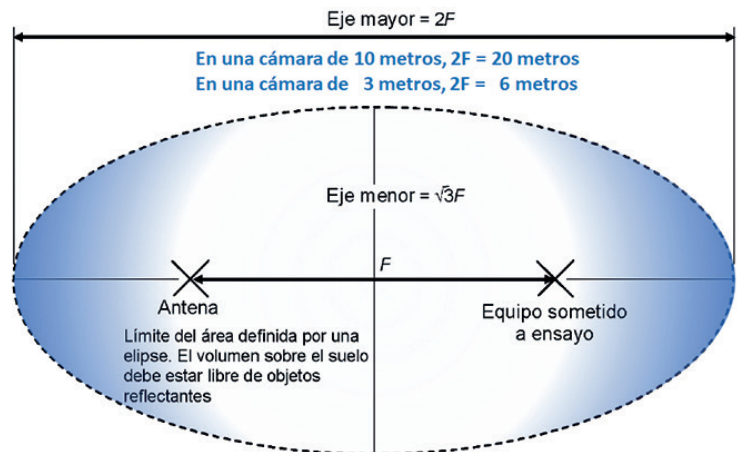


Figura 5. Elipse definida en la CISPR11.

Site), por lo que la utilización de una cámara semianecoica para disponer de un ambiente radioeléctrico limpio es casi obligatorio. Una vez más, la solución es un compromiso entre la solución ideal y la solución factible o viable.

La teoría 1 / d

El paso de una distancia de medida a otra está basado en la teoría de caída de la distancia inversa (también llamada teoría 1 / d), asume usar una fuente de EMI eléctricamente pequeña en un entorno de espacio libre (campo libre) y estando siempre en condiciones de campo lejano. En la zona de campo lejano la intensidad de campo electromagnético se reduce con la inversa de la distancia (1/d). El nivel de emisiones radiadas en estas circunstancias a 3 m es 10 dB más alto que a 10 m. Por este motivo, los límites a 3 m se obtienen sumando 10 dB al límite a 10 m.

En general, estas dos condiciones no siempre se cumplen en una medida típica de CEM. La mayoría de los productos tienen un tamaño que no permite ser considerados una "fuente eléctricamente pequeña" y las instalaciones de medida se alejan de las condiciones ideales cuando la distancia disminuye. Hay que tener en cuenta que en las dimensiones del equipo también se deben incluir los cables de conexión.

El riesgo de acercarse al EBP es que la antena receptora puede situarse en el entorno del campo cercano del EBP. Cuando esto sucede, hay varias distancias y frecuencias según el tamaño y las fuentes internas del producto, en las que la predicción de las reducciones de energía electromagnética con la fórmula de la caída de la distancia inversa (factor de distancia de 1 / d) no funciona correctamente.

La curva de reducción de campo de la distancia inversa (1 / d) puede funcionar para una pequeña fuente de EMI cuando la antena está en el "campo lejano" de la fuente. Históricamente, se ha utilizado en el rango de frecuencias de 30 MHz a 1000 MHz independientemente del tamaño de la fuente de EMI.

Las antenas típicas usadas en medidas de CEM suelen ser antenas híbridas, es decir, una combinación

de una antena logo-periódica y de una antena bicónica en una sola antena. La gran ventaja es que con una sola antena se puede medir desde 30 MHz hasta 6 GHz sin necesidad de cambiar de antena. Estas antenas tienen dimensiones aproximadas de 1,8 m de largo por 1,7 m de ancho (en media) y se calibran según el método SSM de 30 MHz a 1000 MHz, a 10 m de distancia y sólo en polarización horizontal. Sí, únicamente a 10 m de distancia y únicamente en polarización horizontal, aunque las antenas se utilicen para hacer medidas a 3 m y medidas en polarización vertical. Este método está definido en la norma CISPR16-1-6:2014/AMD1:2017 que es la norma que define cómo se deben calibrar las antenas que se van a usar para medir perturbaciones radiadas según las normas industriales. Las antenas para medidas según normas militares se calibran según otras normas. Pero, por otro lado, especifica que la distancia mínima entre antenas durante la calibración es de 2λ , lo que en cierta manera contradice la distancia impuesta de 10 m ya que 2λ a 30 MHz corresponden a 20 m. La misma norma aclara que a pesar de que esta regla no se cumple para el rango de 30 a 60 MHz, los errores debidos a los acoplamientos mutuos entre las antenas son "admisibles".

La norma CISPR16-1-6 nos está diciendo que a 10 m la presencia de una antena (o estructura metálica) de estas dimensiones induce un error de medida en la banda de 30 a 60 MHz. Cuando acudimos al laboratorio, la antena de medida sigue siendo la misma y la antena de calibración la sustituimos por el equipo a ensayar. Si el equipo a ensayar es del tamaño de un móvil y funciona a baterías, el acoplamiento mutuo será despreciable. Pero ¿qué pasa si nuestro equipo es un armario metálico de 1,5 m de ancho por 2 m de alto? Es evidente que el acoplamiento con la antena de medida no será despreciable y, si las medidas se realizan a 3 m en lugar de a 10 m, los acoplamientos serán mayores y hasta frecuencias superiores de 60 MHz.

La buena noticia es que, al seguir todos los laboratorios los mismos criterios y tener calibradas las antenas a 10 m según la CISPR16-1-6, todos cometen el mismo "error" sistemático. Es importante comprender que si

todo el mundo sigue los mismos criterios de medida (familia de normas CISPR16) todos medirán igual de bien o igual de mal, pero medirán lo mismo y las medidas serán comparables. Ese es uno de los objetivos primordiales de los comités de normalización, establecer métodos comunes y fiables (hasta donde se pueda) para que las medidas sean comparables entre laboratorios. A lo largo de los años, se han escrito varios documentos técnicos que abordan el tema de la reducción del campo con la distancia inversa (1 / d) junto con los criterios de campo cercano y campo lejano.

Por razones de menor coste y menor espacio necesario para su instalación, hay una clara tendencia a usar cámaras de 3 metros. Algunos autores sugieren aplicar un factor de corrección para mejorar la medida de emisiones radiadas a 3 metros. Sería un factor que debería depender de la frecuencia.

El tamaño del equipo en relación con la frecuencia

El tamaño de un equipo "eléctricamente pequeño" puede definirse como pequeño en tamaño físico y pequeño en relación con la longitud de onda λ ($\lambda = C/f$, C: velocidad de la luz, f: frecuencia). La norma CISPR 11 / EN 55011 define "equipo pequeño" como: "equipo, ya sea colocado sobre una mesa o posicionado en el suelo, que, incluidos sus cables, se ajusta a un volumen de prueba cilíndrico de 1,2 m de diámetro y 1,5 m de altura sobre el plano del suelo"

Definir el tamaño pequeño en relación con la longitud de onda es más complejo. Por debajo de 30 MHz, las longitudes de onda son 10 metros o más, por lo que casi todo es eléctricamente pequeño. De 30 a 300 MHz, λ varía de 10 metros a 1 metro. Por encima de los 300 MHz, λ es de 1 metro o menos y la mayoría de los productos comienzan a parecer grandes en comparación con la longitud de onda.

La mayoría de las mediciones en el rango de las frecuencias de 30 MHz a 1000 MHz se realizan en un entorno reflexivo (figura 6). El entorno reflexivo se debe principalmente al plano de tierra metálico situado entre el EBP y la antena receptora.

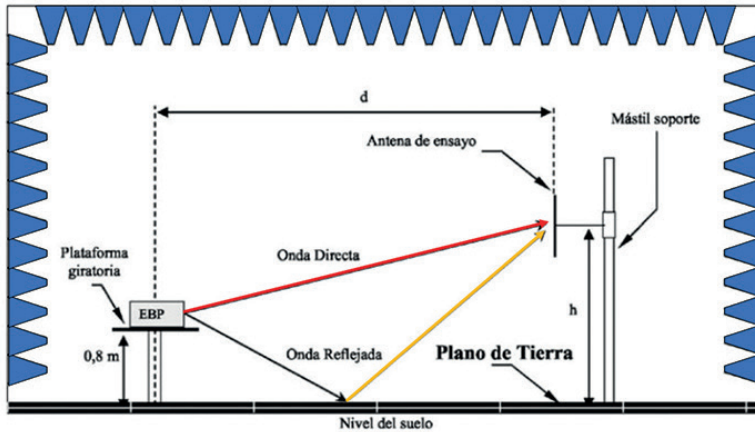


Figura 6. Onda reflejada en una cámara semi-anecoica.

Cuando un equipo es eléctricamente pequeño, la radiación tiende a ser omnidireccional, es decir, que emite ruido electromagnético por igual en todas las direcciones del espacio. Haciendo una analogía, es como una bombilla incandescente que emite luz en todas direcciones. Cuando el equipo ya no se puede considerar eléctricamente pequeño, la radiación empieza a no ser omnidireccional y se concentra en alguna dirección particular del espacio. Volviendo al símil lumínico, se empieza a convertir en una linterna que ilumina mayoritariamente en una dirección. Al acercar el EBP a la antena, la geometría de medida es diferente y el mismo "rayo" que antes se reflejaba en el plano de tierra e incidía en la antena ahora ya no lo hace. Si el equipo es eléctricamente pequeño y emite de forma omnidireccional, habrá otro "rayo" de la misma potencia que cumplirá la condición geométrica de rebote e incidencia en la antena, pero a medida que el equipo deja de emitir de forma omnidireccional ya no se puede asegurar que suceda lo mismo.

Para un producto de sobremesa, el tamaño máximo de una mesa típica de laboratorio es de 1,5 por 1 metro y tiene una altura de 0,8 metros. A 30 MHz, este tipo de producto de mesa para una mesa típica sería pequeño frente a una λ de 10 metros. A 300 MHz, cualquier producto del tamaño de la mesa es equivalente en tamaño a la λ de 1 metro. A 600 MHz, cualquier producto del tamaño de la mesa es de dos a tres veces el tamaño de la λ de 0,5 metros.

Los productos de pie suelen tener una altura aproximada de dos metros y un metro de ancho. Nuevamente, una λ de 2 metros comienza a 150 MHz, por lo que el producto es "relativamente pequeño" por debajo de esa frecuencia y "relativamente grande" por encima. A 300 MHz, el ancho del producto sería comparable a una λ y la altura sería equivalente a 2λ . Por lo tanto, un producto electrónico típico (un ordenador portátil) que tiene una dimensión de 0,3 x 0,25 metros puede ser pequeño por debajo de los 300 MHz ($\lambda = 1$ metro), pero definitivamente no es pequeño en relación con la λ por encima de los 300 MHz (λ menor o igual a 1 metro). Cuando el EBP es "pequeño", estamos en un "espacio libre" y en una zona de campo lejano del EBP y la regla $1/d$ funciona razonablemente bien. Pero ¿qué es el campo lejano y el campo cercano?

La zona de campo lejano es la región del campo de una antena donde la distribución del campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde la antena. En esta región (también llamada región del espacio libre), el campo tiene un carácter predominantemente de onda plana, es decir, una distribución localmente uniforme de la intensidad del campo eléctrico y la intensidad del campo magnético en planos transversales (90°) a la dirección de propagación (onda electromagnética).

La zona de campo cercano es una región que generalmente está cerca de una antena u otra estructura radiante, en la que los campos eléctrico y magnético no tienen un carácter de

onda sustancialmente plana (onda electromagnética), pero varían considerablemente de un punto a otro.

A 30 MHz, el campo lejano comienza a 5 metros del EBP para $\frac{1}{2}\lambda$, a 10 metros a una λ , a 20 metros a 2λ y a 30 metros a 3λ . A 100 MHz, el campo lejano comienza a 3 metros para λ , a 6 metros para 2λ y a 9 metros para 3λ . A 300 MHz, el campo lejano comienza a 1 metro para λ , a 2 metros para 2λ y a 3 metros para 3λ .

Conclusiones

A veces es difícil entender que dos laboratorios distintos den resultados distintos en un mismo equipo en las medidas de emisiones conducidas y radiadas. Se han explicado las razones por la que se obtienen resultados distintos en procesos de medida correctos por parte de los dos laboratorios.

La incertidumbre es un parámetro inevitable de cualquier medición y comienza a importar cuando los resultados están cerca de un límite específico. Una evaluación adecuada de la incertidumbre es una buena práctica profesional y puede proporcionar a los laboratorios y clientes información valiosa sobre la calidad y confiabilidad del resultado.

En los resultados de las medidas también afecta el tiempo de medida, la distancia entre el equipo bajo prueba y la antena (3 o 10 metros) y el tamaño del EBP.

Se ha visto que las medidas de CEM son complejas y que es muy importante seguir los mismos criterios para que las medidas sean comparables entre laboratorios. Admitir medidas a 3 metros de distancia es una forma de reducir costes y tener más oferta de laboratorios de medida de CEM disponibles. Pero también hemos visto que, especialmente para productos voluminosos, los resultados pueden ser distintos a 3 metros y a 10 metros. Hay numerosos factores que pueden hacer que dos medidas realizadas en dos laboratorios sean diferentes, pero ello no implica que uno de los laboratorios lo hace incorrectamente.

Es importante realizar las medidas con la misma configuración del "setup", sin cambiar nada en el propio EBP, incluyendo sus cables y accesorios. ☑

REFERENCIAS

- Daniel Hoolihan, "Radiated Emission Measurements at 1/3/5/10/30 Meters", May 2010, Item Media
- Mohd Erdi Ayob, Jumadi Abdul Sukor and Mohd Zazar Mohd Jenu, "An Overview on The Measurement Uncertainty Evaluation Of Electromagnetic Compatibility Test", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, June 2016.
- Mark Anslow and Dave Cullen, "Problems That Can Arise in a Working EMC Laboratory, and How Pre-test Verifications Can Help", IN COMPLIANCE, March 2014
- Bruce Archambeault and Colin E. Brench, "Reducing Measurement Uncertainty In EMC Test Laboratories", ITEM 1999
- "Measurement Uncertainty", UKAS (United Kingdom Accreditation Service).
- Herman Garlan, "FCC IMPROVES SPECTRUM UTILIZATION THRU USE OF PART 15", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, IEEE 73 CHO 751-8 EMC, June 20-22, 1973.
- H. F. Garn, E. Zink, and R. Kremser; "Problems with Radiated-Emission Testing at 3 m Distance According to CISPR 11 and CISPR 22," 1993 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1993.
- Christopher I. Holloway and Edward F. Kuester, "Modeling Semi-Anechoic Electromagnetic Measurement Chambers," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 38, No. 1, February 1996.
- CISPR16-1-4:2010/AMD2:2017 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Antennas and test sites for radiated disturbance measurements
- CISPR16-1-6:2014/AMD1:2017 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - EMC antenna calibration
- Deepak Kumar and P.Sudhakar, "Inter Laboratory Comparison (ILC) of Conducted Emission Measurements", IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, 3rd quarter 2018, Volume 7, Number3

leedeo[®]
ENGINEERING
www.leedeo.es

CEMDAL
www.cemdal.com

CONTACTO:
Francesc Daura
fdaura@cemdal.com
Taronger 12
08192, Sant Quirze del Vallès
T: 93 600 455 492



En **CEMDAL** ofrecemos servicios de consultoría de diseño óptimo en **Compatibilidad Electromagnética (CEM)**, con buenas prestaciones, calidad y costes para todos los sectores de la industria electrónica, aplicable en cualquier momento del ciclo de desarrollo de sus productos.

Nuestra experiencia en diseño, desarrollo y solución a problemas de **Compatibilidad Electromagnética** en sistemas electrónicos, nos permite ofrecer nuestros servicios a empresas que necesitan ayuda con **flexibilidad, diligencia y fiabilidad** en los resultados. **Garantizamos los resultados positivos** en las pruebas de laboratorio de **CEM**.

SERVICIOS Y SOLUCIONES A PROBLEMAS DE CEM



SERVICIO PREVENTIVO



COMPLETO: MARCADO CE



EMISIONES E INMUNIDAD

