

# La gestión del plan de pruebas de CEM

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



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL. Representante de CFC para España y Portugal. [www.cemdal.com](http://www.cemdal.com) [fdaura@cemdal.com](mailto:fdaura@cemdal.com) [www.cfcele.com](http://www.cfcele.com)



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

En los sectores aeroespacial, de defensa y de automoción se redactan planes de pruebas de CEM desde el inicio del desarrollo de un nuevo producto, tanto a nivel de sistema como de componente de sistema. En otros sectores como el doméstico, el industrial o el de electromedicina no es tan común.

Es muy recomendable redactar un plan de pruebas de CEM durante la fase inicial de definición y diseño de un nuevo producto que nos servirá para solicitar una cotización para las pruebas a un laboratorio de CEM y para que el equipo de diseño tenga en cuenta los requisitos CEM desde el momento inicial de concepción del producto. Si el equipo de diseño tiene en cuenta la CEM desde el primer momento en su diseño, se pueden aplicar soluciones con el mínimo coste para el producto. La figura 1 muestra que los costes de las soluciones a los problemas de CEM aumentan al ir avanzando las fases de diseño del nuevo producto y al mismo tiempo las técnicas disponibles van reduciéndose. Por ejemplo, si se ha elegido diseñar una tarjeta de circuito impreso de 4 capas y al final es necesario diseñar una de 6

capas, será necesario rediseñar la tarjeta. Si es necesario añadir un filtro y no hay espacio, será un problema. El peor caso es cuando el usuario final reclama al fabricante que su producto tiene un problema de CEM. La CEM es inherente al buen diseño. No es una característica que se pueda agregar fácilmente después de que se complete todo lo demás. En consecuencia, los ensayos de CEM y la planificación de las pruebas deben comenzar simultáneamente con el inicio del diseño del sistema. El diseño de CEM no se debe considerar en el último minuto del proceso de diseño. Un problema de CEM descubierto en el último minuto puede implicar en un rediseño y volver a comenzar con la pérdida de tiempo (retardo en el inicio de la producción y venta) y con mayores costos de ingeniería no recurrente.

Una estrategia recomendable es tener un plan de pruebas de CEM genérico en la empresa para usarlo como punto de partida en la redacción de un plan de pruebas de CEM particularizado para cada nuevo producto. En este plan de pruebas genérico se contemplan todas las posibles pruebas que pueden afectar, o no, al

nuevo producto y hace las funciones de "check list" que se debe cumplir, independientemente de la funcionalidad del producto. Por otro lado, obliga al equipo de diseño a diseñar estrategias que permitan verificar el correcto funcionamiento de toda y cada una de las funciones en estos ensayos, lo que también es válido para otros ensayos ambientales, mecánicos, etc... Esta estrategia responde a un proceso de diseño en V típico de los sectores de automoción, militar y aeroespacial que también se puede aplicar en la CEM (figura 2).

El fabricante es el responsable de decidir el nivel de exigencia de CEM de sus productos, que puede ser mayor que el mínimo exigido por las directivas europeas que afectan al nuevo diseño, y también es responsable de completar la declaración de conformidad con la Directiva de CEM. Es evidente que el fabricante tiene el mejor conocimiento posible del diseño y de la funcionalidad de su producto, de su uso previsto y del entorno electromagnético en el que se utilizará el producto. Esta es la razón por la que el fabricante debe redactar el plan de pruebas de CEM, ya sea en interno o solicitando la ayuda de expertos de CEM externos. Al final del desarrollo del nuevo producto, el plan de pruebas de CEM se añade al informe de pruebas del laboratorio de CEM y se puede mantener junto con la declaración de conformidad en la documentación de conformidad de cada producto. Esto actúa como un registro de cómo se determinó hacer los ensayos de CEM y como fueron los resultados finales.

Aunque el plan de pruebas CEM debería ser único y completo, su aplicación puede ser parcial y/o limitada en las primeras fases de vida del producto. No es razonable que el primer prototipo de un producto sea totalmente funcional, robusto y cumpla con todos los requisitos de diseño. De igual forma, la aplicación del plan de pruebas se debe ajustar al nivel de maduración del producto incluyendo

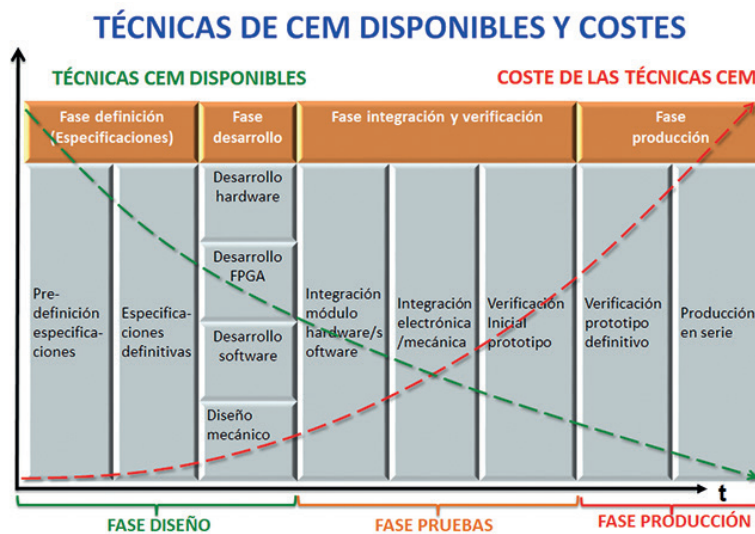


Figura 1.

únicamente los ensayos más críticos en las etapas iniciales. Posteriormente, se irán ampliando los ensayos, requisitos y funciones a medida que se avanza el proyecto. Los resultados de los ensayos intermedios servirán para evaluar los posibles puntos débiles del diseño para reforzarlos en vista a los ensayos del nivel siguiente.

El objetivo del cumplimiento de la compatibilidad electromagnética (CEM) forma parte del desarrollo de cada proyecto de cualquier sistema electrónico. Indica la forma en que el hardware y el software pueden funcionar en un entorno EM. Un equipo no puede perturbar ni ser perturbado por el entorno que le rodea.

Si un sistema no cumple con los requisitos electromagnéticos, las consecuencias pueden ser desastrosas en algunos casos, con consecuencia de accidente. Para garantizar que el equipo funcione de manera confiable bajo todas las condiciones electromagnéticas, se debe cumplir con un conjunto estricto de requisitos de CEM. Al igual que todos los desarrolladores deben mostrar que un sistema puede funcionar dentro de un rango de temperatura, vibraciones, choques mecánicos, humedad, o incluso en entornos químicos, también se debe certificar un sistema electrónico con pruebas de CEM.

## El plan de pruebas de CEM

Idealmente, el plan de pruebas de CEM que conviene preparar se debe alinear con el sistema de documentos de la empresa. Esto ayuda tanto con las comunicaciones internas como con las externas, entre el fabricante y el laboratorio de prueba de CEM subcontratado. La información básica requerida para un plan de pruebas de CEM que el fabricante debe completar debe incluir:

- Identificación del producto: nombre del producto y número del modelo
- Versión hardware y software (o firmware como algunas empresas conocen al programa grabado en el microcontrolador, reservando la palabra software a aplicaciones que corren en ordenadores externos).
- Una descripción del producto. Esta información debe incluir dónde

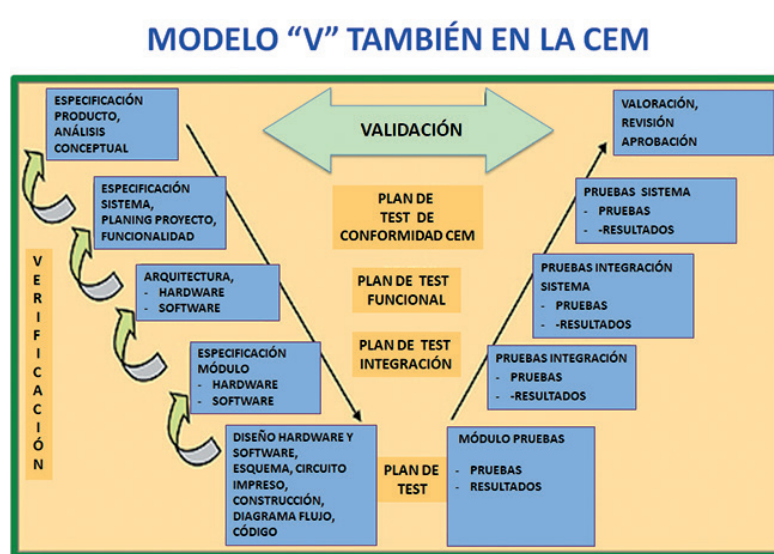


Figura 2.

se usa, qué hace, cómo se usa. Además, debe incluir un diagrama de bloques.

- Dimensiones y peso del producto. Esto ayuda a asegurar que el laboratorio de pruebas de CEM tiene la capacidad para hacerlas.
- Clasificación posicional del producto: encima de la mesa o en el suelo. Si el producto puede ser usado en orientaciones múltiples o si se deben tener en cuenta las opciones de montaje.
- Requisitos de alimentación del producto. Alimentación de 115 / 230VAC, 50 / 60Hz, o productos alimentados por CC (12VDC, etc.) u otras fuentes, incluyendo PoE o batería interna, etc.
- Una lista de todos los puertos de E/S del producto. Los puertos pueden ser puertos de alimentación como la entrada de red, puertos de telecomunicaciones, o puertos de señal. Normalmente, se considera que cualquier cable de interconexión se clasifica como un puerto.
- Para cada puerto, el tipo de cable que se va a usar y su longitud.
- El número de muestras que requieren las pruebas. Por lo general, solo se requiere una muestra. Sin embargo, en algunas normas de automoción se requiere más de una muestra.
- Si se han planteado más de una alternativa para resolver un problema concreto (filtro, etc...) se puede repetir la misma prueba sobre varias muestras, cada una con una solución, y evaluar la mejora comparativa entre ellas. El objetivo es implementar únicamente las soluciones realmente necesarias y la de menor coste.
- Modos de operación que tiene el producto. Se deben indicar los diferentes modos de operación del equipo, si tiene más de uno.
- La configuración del producto incluyendo cualquier equipo de soporte que proporcione una carga o un estímulo en los puertos.
- Detalles sobre los accesorios de prueba, software especial y equipos de soporte.
- Información de los módulos de RF, si se incorporan.
- Las frecuencias internas más bajas y más altas utilizadas dentro del producto incluyendo las de los módulos de RF.
- Lista de las normas de CEM a aplicar junto con sus configuraciones de ensayo ("setup") de configuración de los ensayos para cada norma.
- Cómo se configura el equipo bajo prueba (EBP) en el plano de tierra o en el banco de pruebas, y cómo se conecta a tierra, si corresponde. Para los ensayos de CEM comerciales, el EBP se suele instalar en un banco de pruebas en una mesa de madera giratoria a 80 cm sobre el plano de referencia del suelo. Según la norma y el tipo de producto también se usa una mesa con plano de tierra.

- Cómo se monitoreará su funcionamiento y lo que se requiere para demostrar que el EBP está funcionando correctamente. Definición de los equipos auxiliares y el modo de conexionado con el equipo.
- Los criterios de PASA / FALLA para cada una de las funcionalidades del equipo. Esto puede diferir según el modo de operación y es definitivamente diferente para cada equipo.
- En las pruebas de inmunidad, ¿qué criterio de desempeño es el correcto: ¿A, B o C? (ver más adelante)
- En las pruebas de emisiones, ¿qué clase de debe elegir en los límites: ¿Clase A (industrial) o Clase B (doméstico)?
- Procedimientos a seguir si falla. ¿Hay un criterio para parar o seguir? ¿Qué se espera del laboratorio?

### El proceso de los cinco pasos

El tiempo de ensayo requerido en una prueba de CEM puede variar enormemente según como se prepare la propuesta de realización de la prueba en el plan de pruebas de CEM y de la complejidad del sistema. Por ejemplo, para ejecutar un ciclo completo para cada modo de funcionamiento de un equipo en todo el ancho de banda y en los 360° de posicionamiento del equipo con las polarizaciones vertical y horizontal de la antena durante los ensayos de CEM, se calculó que se necesitarían unos 13 años para realizar todas las pruebas para el conjunto de datos que se deseaba ensayar. Esto fue un ejemplo concreto que demostró su inviabilidad. Lógicamente esto era inviable y se cambiaron los requisitos del plan de pruebas de CEM. Cuando finalmente se completaron las pruebas, se necesitaron unos cuatro días para hacer todo el trabajo, teniendo en cuenta que se pasaron todas las pruebas positivamente. Si se hubiera fallado en alguna prueba, lógicamente se hubiera perdido más tiempo al tener que solucionar el problema y repetir la prueba fallada.

El esfuerzo que se debe realizar en una prueba es principalmente una función de la cantidad de riesgo que el fabricante está dispuesto a aceptar

y de la complejidad del equipo. Si el equipo bajo prueba (EBP) es un simple producto de 100 € con pantalla digital, es probable que no tenga el mismo nivel de exigencia ni realice complejos procesos difíciles de evaluar que una gran máquina de 500 k€ con robots y laser, especialmente en el área de la susceptibilidad en la que se deben ensayar todos los modos de funcionamiento o, al menos, los más críticos y representativos del funcionamiento del equipo ensayado. En cualquier caso, la planificación de las pruebas de CEM es importante. Redactar un buen plan de pruebas de CEM no es extremadamente difícil. Si el fabricante tiene un ingeniero experto en CEM para hacer el trabajo facilita el proceso de redacción del plan. Si no es así, se puede subcontratar a un experto de CEM.

Todo el proceso de conformidad de CEM debe considerar desde el plan de pruebas de CEM hasta el informe final del laboratorio de CEM en el que se detalla la superación positiva de cada una de las pruebas de CEM. En el proceso de conformidad, esencialmente, se requieren cinco pasos para realizar cada una de las pruebas de CEM, independientemente de si es para realizar pruebas investigativas, pruebas de precertificación o pruebas de certificación final:

1. Establecer los objetivos de cada prueba de CEM.
2. Hacer un análisis previo de como se van a evaluar esos requisitos antes de cada prueba.
3. Realizar cada prueba.
4. Evaluar los resultados de cada prueba.
5. Corregir cualquier problema que surja que impida la superación positiva de la prueba.

Los cinco pasos están interrelacionados, aunque se consideren de forma independiente en la siguiente explicación.

#### 1. Objetivos de cada prueba de CEM

El objetivo de todos los ensayos de CEM es verificar que el EBP cumple con sus requisitos funcionales en un entorno electromagnético (EM) adverso en el caso de las pruebas de inmunidad. Los objetivos de la prueba están determinados únicamente por

el diseño del equipo. El EBP tiene que hacer lo que se supone que debe hacer. Si no lo hace no pasará la prueba de inmunidad.

El EBP debe también cumplir con los límites de las emisiones radiadas y conducidas. El equipo de diseño debe evaluar que modo de funcionamiento, si dispone de varios, tendrá un peor comportamiento desde el punto de vista de las emisiones. El objetivo puede ser encontrar el modo más desfavorable para evaluar el peor de los casos.

Para realizar todas las funciones correctamente, el EBP debe ser auto compatible, es decir, debe funcionar correctamente sin tener problemas de interferencias a nivel interno. A veces esto se describe bajo el concepto de integridad de la señal o de la alimentación, dependiendo de si se trata de un ingeniero de CEM o un ingeniero de diseño digital quien trata el problema, pero estos problemas aparecen en el primer momento y suelen identificarse como fallos de diseño porque no se consigue que el equipo funcione. La auto compatibilidad se debe establecer mediante pruebas funcionales mucho antes de que se realicen las pruebas de CEM.

El nivel de exigencia que está determinado por los parámetros establecidos en las normas seleccionadas o determinadas por el tipo de producto, debe ser similar o mayor al ambiente EM donde va a trabajar el producto. El cumplimiento de la CEM es un aspecto legal y una característica electromagnética del equipo. La evaluación de la CEM determina si se cumplen los objetivos. Para probar que se han cumplido los objetivos, es necesario preparar pruebas que verifiquen que el equipo no afecta el entorno EM y que el entorno EM no afecta el correcto funcionamiento del equipo. Esa es la razón para realizar pruebas de emisiones y de susceptibilidad. Estas pruebas se ilustran en la Figura 3.

Aunque las características de CEM pueden tener un gran impacto en la evaluación de la calidad del producto por parte del cliente, la CEM no es una función directa de control de calidad. Eso no significa que tanto la garantía de calidad como su control no deban considerarse para garantizar que el producto continúe cumpliendo con los requisitos de CEM. Un

Requirement	Frequency and Comments	MIL	EU	FCC
CE101 Power Line	30 Hz to 10 kHz + PL Harmonics	X	X	
CE Power Line Emissions	Power Line Fluctuations		X	
CE102 Power Line	MIL: 10 kHz to 10 MHz, EU/FCC: 150 kHz to 30 MHz	X	X	X
CE106 Antenna Terminal	10 kHz to 40 GHz	X		
CS101 Power Line	30 Hz to 150 kHz	X	X	
CS106 Power Line	400-V Transient Spike	X		
CS109 Structure	60 Hz to 100 kHz Common-Mode	X		
CS114 Bulk Cable Injection	MIL: 10 kHz to 200 MHz, EU: 150 kHz to 230 MHz	X	X	
CS115 Bulk Cable Injection	Impulse	X	X	
CS116 Bulk Cable Injection	Damped Sine 100 kHz to 100 MHz	X		
RE101 Magnetic Field	30 Hz to 100 kHz	X		
RE102 Electric Field	MIL: 10 kHz to 18 GHz, EU/FCC: 30 MHz to 40 GHz	X	X	X
RE103 Antenna Spurs/Harmonics	10 kHz to 40 GHz	X		
RS101 Magnetic Field	30 Hz to 100 kHz	X		
RS103 Electric Field	MIL: 10 kHz to 40 GHz, EU: 26 MHz to 1 GHz	X	X	
RS105 Transient EM Field	Transient Impulse EM Field	X		
RS ESD	Up to 8 kV		X	

Figura 3. Tabla de pruebas de CEM.

buen diseño de CEM contribuye a un aumento de la calidad del producto. Por ley, los requisitos de CEM deben cumplirse antes de que se venda el producto, y su cumplimiento da como resultado un producto más fiable. Se debe dejar de pensar en la CEM como un costo y comenzar a pensar que es un beneficio.

La figura 3 compara los ensayos de CEM indicados con los requisitos de la UE y de la FCC americana y está relacionada con la anterior figura. Dado que la mayoría de los procedimientos de prueba de CEM tienen raíces evolutivas comunes, algunas de las normas son muy similares. Para establecer los objetivos de la prueba, es necesario considerar: las especificaciones del EBP, su funcionalidad, los riesgos de no cumplir y cual es la mejor manera de demostrar que funciona correctamente. El riesgo principal de no cumplir con todas las pruebas de CEM establecidas en el plan de pruebas de CEM es que se va retrasar el inicio de la venta del producto.

## 2. Análisis previo de los requisitos de cada prueba

Las pruebas finales de CEM no se pueden realizar sin tener el producto totalmente diseñado, pero esto no significa que para poder realizar pruebas investigativas de CEM el diseño deba estar finalizado. De hecho, es muy recomendable realizar pruebas intermedias para ir validando subconjuntos del producto o funcionalidades. Por este motivo, se pueden elaborar varios niveles de plan de pruebas adaptados a los diferentes niveles de maduración y evolución del producto.

Si el producto es un módulo electrónico que forma parte de un sistema más complejo, es posible que se requiera una gran cantidad de hardware auxiliar adicional para poder realizar una prueba significativa. Por otro lado, si el elemento es un sistema o subsistema independiente, puede que no se requiera hardware adicional. Todo hardware adicional necesario para hacer funcionar el EBP añade la complejidad de asegurar de que las excesivas emisiones o el fallo de inmunidad se deben al EBP y no al hardware adicional. Se deben tomar precauciones para que los accesorios no distorsionen los resultados de las pruebas y estar seguro de que las emisiones medidas corresponden al EBP o que los fallos de inmunidad son debidos al EBP y no al hardware adicional.

En cualquier caso, las pruebas investigativas deberían comenzar tan pronto como algunos circuitos funcionales estén disponibles. Es sorprendente los problemas que pueden descubrirse gracias a los ensayos investigativos.

A continuación, se puede comenzar a establecer qué pruebas se pueden realizar en diferentes instantes del proceso de diseño. A medida que el diseño se acerca a su finalización, los resultados de las pruebas son más significativos. Es perfectamente aceptable realizar mediciones en un prototipo con el cableado que se encuentra en la mesa de trabajo de un diseñador y alimentado con una fuente de laboratorio en fases iniciales.

Todos los resultados obtenidos permitirán extraer información que permitirá mejorar el diseño del equipo. En la mayoría de las veces, los

ensayos de susceptibilidad de CEM no dan como resultado un fallo catastrófico, evidencian solo fallos de funcionamiento. La comprobación del funcionamiento del producto debe realizarse en tiempo real mientras se realizan las pruebas de susceptibilidad. A menudo es complicado descubrir cómo probar que el sistema está funcionando correctamente en tiempo real durante los ensayos de susceptibilidad. También es necesario determinar qué datos se requieren para determinar si es aceptable el funcionamiento del equipo en el momento de la medición.

A veces, se debe usar dispositivos de lectura o de inspección remota, como un circuito cerrado de TV. El operario no puede estar dentro de la cámara durante un ensayo de inmunidad radiada. Si es necesario presionar los botones, es posible que se deban construir émbolos neumáticos con controladores. No se pueden usar actuadores con solenoides porque pueden producir mucha EMI y falseen los resultados.

Cualquier equipo auxiliar o piezas generales del sistema que se prueben junto con el EBP deben tener características de CEM que sean mejores o iguales a las del EBP. De lo contrario, los resultados serían engañosos.

Cuanto más complejo sea el sistema, más probable será la necesidad de escribir un software especial para preparar el EBP junto con el equipo auxiliar de CEM asociado para la prueba correspondiente, manteniendo la funcionalidad del sistema durante el largo tiempo de duración de las pruebas. Hay dos funciones principales para el software. Durante los ensayos de emisiones, el software debe activar todos los emisores potenciales en el peor de los casos y durante los ensayos de susceptibilidad, el software debe activar continuamente todos los circuitos susceptibles en el peor de los casos.

## 3. Realización de las pruebas de CEM

Las cuatro pruebas de CEM más representativas son: las emisiones conducidas, emisiones radiadas, ensayos de transitorios rápidos (EFT) e inmunidad radiada. Estas forman el núcleo de todos los requisitos de CEM solicitados para todos los equi-

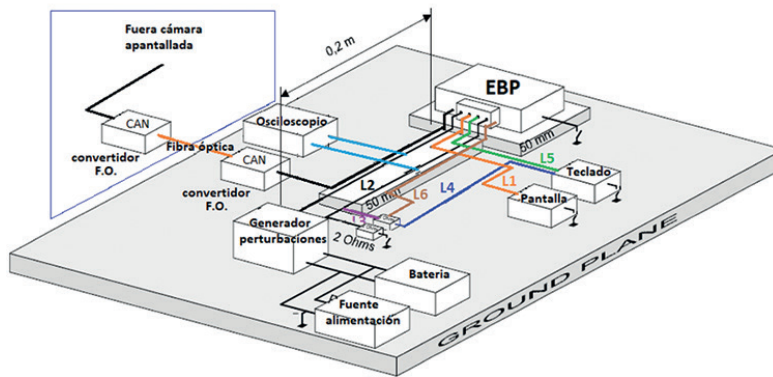


Figura 4. Ejemplo: "setup" de una prueba de inmunidad a transitorios conducidos.

pos. De forma general si un sistema cumple con estas pruebas, tiene una gran posibilidad de cumplir todas las demás pruebas, con la posible excepción de las descargas electrostáticas (ESD). La figura 4 muestra un ejemplo de "setup" para la realización de la medida de

Cada fabricante de electrónica necesita tener una capacidad mínima para realizar pruebas de CEM. Esta capacidad interna de prueba puede proporcionar a los diseñadores un conocimiento rápido del estado EM de su nuevo producto. También permite realizar pruebas tipo "qué pasaría si" al y verificar rápidamente los efectos de los cambios de diseño y la solución de los problemas.

A pesar de que las pruebas internas de diseño pueden requerir solo uno o dos días, las pruebas de CEM en un laboratorio externo pueden necesitar semanas de organización y ejecución. Los problemas se suman al tiempo requerido. Un mes de tiempo de desarrollo perdido en el rediseño del producto puede conllevar de 12 a 15 meses de retraso en el inicio de la venta de los nuevos productos. El impacto financiero paga con creces la inversión en los equipos de prueba necesarios.

Es posible definir el conjunto de instrumentos y accesorios para instalar un pequeño laboratorio de pruebas de CEM con un coste aceptable. Usando este tipo de laboratorio interno se pueden hacer fácilmente varias reevaluaciones y rediseños con el mínimo coste (horas internas) y la mayor flexibilidad al no depender de las ventanas de tiempo disponible de un laboratorio externo en su programación de trabajo. Este método

contribuye a una mejora del conocimiento interno del buen diseño de CEM, siendo una inversión de futuro. Los ingenieros van adquiriendo una experiencia que aplicarán sin duda en el siguiente proyecto reduciendo el número de bucles de rediseño, acelerando el desarrollo del producto y reduciendo el tiempo de puesta en el mercado. Aunque es muy difícil que los equipos directivos, especialmente los financieros, aprecien este beneficio, es realmente un ahorro que justifica la adquisición de instrumental y la adquisición del conocimiento del equipo de diseño. Incluso los mejores diseñadores que implementan las mejores técnicas de diseño a menudo están decepcionados con el resultado de las pruebas de CEM. La probabilidad de cumplimiento inicial generalmente sigue la Ley de Pareto; es decir, solo un 80% pasa. El otro 20% fracasa. Esta aproximación es muy optimista. Los laboratorios de CEM informan que estadísticamente, un 50% de los nuevos prototipos fallan en alguna prueba y esta probabilidad afecta tanto a las grandes empresas como a pequeñas y medianas.

Los tiempos varían de un laboratorio a otro dependiendo del equipo de prueba y del personal. Para EBP más grandes con múltiples cables, modos múltiples y ubicaciones de antena múltiples, cada tiempo de prueba se multiplicará por esos factores. Por ejemplo, para las pruebas radiadas, un EBP con dos modos de funcionamiento y tres posiciones del EBP respecto a la antena requerirá seis veces más tiempo para realizar la prueba.

A veces suceden algunas historias negativas con respecto a la dificultad

de poder repetir los ensayos de CEM debido a las grandes variaciones que surgen durante las pruebas que se repiten. Esto es principalmente un problema con las pruebas emisiones radiadas, especialmente en las frecuencias más altas, donde la geometría del EBP, su posición relativa, los diseños y el posicionado de los cables pueden cambiar de un laboratorio a otro y de una fecha a otra posterior. Por esa razón, es conveniente marcar los cables con cinta adhesiva y tomar muchas fotografías de las configuraciones de prueba, para permitir que las futuras pruebas se puedan repetir con el "setup" más igual posible.

#### 4. Evaluación de los resultados

EL EBP, ¿ha pasado o ha fallado en cada prueba de CEM? Los requisitos de las pruebas armonizadas de CEM están muy claros. Si los niveles de las emisiones del EBP no tienen un margen mínimo respecto a los límites de la norma de unos -6 dB es mejor reconocer que el EBP no ha superado la prueba correctamente. Si las emisiones rozan los límites con solo -2 o -3 dB, siempre será discutible si se ha superado positivamente la prueba.

También se debe tener en cuenta que el equipo de medición de CEM tendrá, en general, un error mínimo de 2 a 3 dB (para las mediciones radiadas, el error es aún mayor) y que cualquier pico que se encuentre en la línea límite tiene un 50% de probabilidad de PASAR o FALLAR. Para empeorar las cosas, algunos tienen en cuenta el requisito de la norma CISPR 16 por el que no es suficiente con superar las pruebas usando un único EBP y que es necesario usar múltiples EBP para pasar estadísticamente la prueba con una probabilidad del 80% usando una distribución tipo K del 80% o, si solo hay una muestra de prueba, que debe pasar con un valor de -6 dB de margen (lo dicho anteriormente). Estos ajustes de los requisitos se determinan durante la redacción del plan de pruebas de CEM inicial en base al análisis del sistema y el entorno electromagnético donde deberá trabajar el nuevo producto.

Debemos tener en cuenta que el producto puede tener emisiones no permanentes que son difíciles de medir. Para asegurar que medimos todas

las emisiones, incluyendo las no permanentes, es recomendable realizar más de un barrido de frecuencia con la suficiente lentitud para dar tiempo a la aparición de las perturbaciones esporádicas

Se puede usar un analizador de espectro con una función de retención de pico para esta prueba. El problema opuesto ocurre durante los ensayos de susceptibilidad, donde es necesario que el generador de RF sintonice la frecuencia perturbadora con las características de modulación apropiadas, al mismo tiempo que el circuito del EBP está activado. En las pruebas de inmunidad el tiempo que la perturbación está presente en cada frecuencia debe ser suficientemente largo para que el EBP pueda presentar el fallo.

No se pueden dar garantías con respecto a su funcionamiento en el entorno operativo real. Se han detectado problemas de CEM en equipos funcionando en su entorno real a pesar de haber superado todas las pruebas de CEM en el laboratorio. Para evitar en lo posible estos problemas se pueden elevar preventivamente los niveles de exigencia de las pruebas de inmunidad durante la redacción del plan de pruebas de CEM.

Si durante una prueba de susceptibilidad, el EBP no funciona exactamente de la misma manera que antes de que se aplicaran las perturbaciones, entonces el EBP es susceptible. Si esto es un fracaso o no, depende de si el cliente lo compraría tal como está. Los requisitos de la UE manejan los criterios de aprobación o fallo al dividir los criterios de desempeño de susceptibilidad en tres grupos:

- A: El EBP funciona según lo previsto, sin degradación del rendimiento o mal funcionamiento por debajo del nivel de rendimiento mínimo establecido por el fabricante.
- B: El EBP puede sufrir una degradación del rendimiento o un mal funcionamiento por debajo del nivel de rendimiento mínimo establecido por el fabricante durante la prueba, pero debe seguir funcionando correctamente después de la prueba sin cambios de estado o pérdida de datos almacenados.
- C: El EBP puede sufrir una degradación temporal, mal funciona-

miento y pérdida de la función durante la prueba, siempre que no se dañe permanentemente y se recupere automáticamente o se pueda restaurar manualmente mediante sus controles.

Después de evaluar cada prueba de emisión y de inmunidad en todas las frecuencias, ubicaciones y modos de operación, con suerte, todo el trabajo de CEM habrá finalizado. Así, todos los criterios están dentro de los límites aceptables, se cumplen los requisitos del cliente y se finalizan las pruebas de CEM. Desafortunadamente, Murphy siempre está activo, así que hay que esperar lo mejor y planificar lo peor. Por ello se prevé el Paso 5.

## 5. Corrección de los problemas

A veces, el EBP no pasa la prueba y el fallo no es aceptable. Si se trata de una prueba investigativa, generalmente es simple realizar algunos cambios en el laboratorio e intentarlo de nuevo. Si se trata de una prueba de certificación final, es un problema importante porque no se ha tenido en cuenta todos los modos de funcionamiento del EBP o no se han definido adecuadamente las pruebas correspondientes, y por ello no se ha detectado en las fases anteriores.

No es suficiente saber que hay un problema. Los diseñadores deben saber a qué es debido y deben diseñar una solución para el problema. A veces, el problema es una cuestión del procedimiento de la prueba. Sin embargo, debe ser eliminado. Después comienza la búsqueda de la causa, lo que se debe cambiar y qué elemento del diseño es el culpable.

Si los problemas son de emisiones conducidas, la solución puede ser simplemente la adición de filtros de red o de señal. Si el problema es de emisiones radiadas, entonces se debe encontrar donde está el acoplamiento conducido y el acoplamiento radiado porque todos los problemas radiados comienzan en algún lugar como una señal conducida. El acoplamiento radiado da como resultado una gran lista de elementos que se pueden rediseñar para resolver el problema:

- Cambio del acoplamiento / disposición / trazado del circuito impreso

- Cambio del diseño de la envoltura para añadir blindajes
- Rehacer el diseño de los puertos de E/S
- Revisar la arquitectura de las masas y la tierra
- Revisar las emisiones de la fuente de alimentación
- Rediseñar el cableado
- Agregar filtros de red y en las líneas de señal.

Todos estos cambios se deben efectuar después de las pruebas de CEM no superadas, cuando se tiene el mayor costo asociado a la realización del rediseño, lo que justifica que las pruebas iniciales investigativas de CEM sean tan importantes y “rentables”. Es mucho mejor usar soluciones preventivas que tratar de corregir los problemas después de que el EBP esté casi listo para su fabricación. Simplemente implementando prácticas de buen diseño de CEM desde el principio se evitarán la mayoría de los problemas de CEM y se reducirá el trabajo asociado en este Paso 5.

## Los siete fallos

Los siete fallos que pueden sabotear el cumplimiento de la CEM en un sistema electrónico son los siguientes:

- Fallo 1: Fallo en la planificación del diseño de CEM
- Fallo 2: Redacción de especificaciones incorrectas o no comprender su impacto
- Fallo 3: Sin plan de control de CEM
- Fallo 4: No considerar todas las áreas del diseño
- Fallo 5: Sin pruebas de conformidad de la CEM
- Fallo 6: Sin plan de pruebas de CEM
- Fallo 7: Configuración incorrecta de la prueba

### Fallo 1: Fallo en la planificación del diseño de CEM

Una tendencia general entre algunos ingenieros de diseño es gestionar la CEM como una idea de último momento. Esta estrategia generalmente conduce a tener prototipos de nuevos productos que deben ser rediseñados para poder cumplir con los requisitos de la CEM. Esta práctica puede ser extremadamente costosa, ya que cuanto más temprano se pue-

dan realizar pruebas investigativas en el proceso de diseño, más rentable será la solución. La planificación para la CEM sigue el mismo esquema que cualquier proceso de diseño: la redacción de las especificaciones, y el plan de pruebas de CEM el diseño y la certificación de la CEM

#### Fallo 2: Redacción de especificaciones incorrectas o no comprender su impacto

El proceso de la redacción de las especificaciones y el plan de pruebas de CEM, el diseño y la certificación de la CEM, la primera parte de la especificación y el plan de pruebas de CEM implica el menor esfuerzo, pero tiene el mayor potencial para agregar costos y complejidad en un proyecto si se redactan incorrectamente. Una vez que se acepta la especificación y el plan de pruebas de CEM del producto, los requisitos de CEM generalmente quedan bloqueados y no se pueden cambiar fácilmente.

#### Fallo 3: Sin plan de control de CEM

Es recomendable tener un plan de control para verificar que se consideran todos los aspectos de la ingeniería de CEM durante el desarrollo del nuevo producto. Sin un plan de control, es probable que algunos aspectos de la ingeniería de CEM no se tengan en cuenta. Un plan de control comienza con los requisitos y aborda todos los aspectos del diseño y la planificación del proyecto, así como la estrategia general de las pruebas. Los buenos diseñadores pueden seguir de manera intuitiva las reglas y la estrategia para alcanzar el cumplimiento de la CEM y pueden argumentar que un plan de control

agrega papeleo innecesario. Al igual que con la planificación del proyecto y las especificaciones, un plan de control es una lista de verificación para garantizar que no se olvida nada. El fallo número 3 es la falta de dicho plan de control de CEM.

#### Fallo 4: No considerar todas las áreas del diseño

Durante el diseño de CEM se deben considerar varias áreas de diseño. No atender a todas ellas es el fallo 4. Estas áreas incluyen: diseño del circuito impreso, filtros y protecciones, cables, blindajes, arquitectura de masas y tierra, zonificación de áreas ruidosas y silenciosas y el software.

#### Fallo 5: Sin pruebas de conformidad de la CEM

Las prestaciones de CEM de un subsistema o componente son a veces difíciles de predecir analíticamente. Esta dificultad surge debido a los componentes parásitos (o el "esquema invisible") que varían con la geometría, la temperatura, las tolerancias de los componentes y su calidad. Para evaluar las prestaciones EM de los subsistemas y componentes, se deben realizar pruebas investigativas. La etapa diseño es iterativa. La CEM solo se puede corregir si se prueba antes de completar el diseño. No realizar pruebas de conformidad durante esta fase es el fallo número 5.

#### Fallo 6: Sin plan de pruebas de CEM

Un plan de pruebas de CEM establece las pruebas a realizar (en la lista de requisitos); indica la configuración y el equipo que se utilizará, los modos de operación y los criterios de fallo

durante la prueba. La falta de un plan de pruebas es el fallo número 6. Si el producto tiene varios modos de operación es mejor elegir los modos que se considere van a tener un peor comportamiento EM.

#### Fallo 7: Configuración incorrecta de la prueba

La configuración del ensayo ("setup") para la certificación de la CEM es un factor crítico para lograr un cumplimiento positivo. Un producto que ha sido mal diseñado desde un punto de vista de la CEM no pasará las pruebas debido a una buena configuración de la prueba, pero un producto bien diseñado puede fallar debido a una mala configuración de la prueba. No preparar una configuración adecuada de cada prueba es el fallo número 7.

## Conclusiones

Este artículo ha demostrado la redacción de un plan de pruebas de CEM al inicio del diseño de un nuevo producto es la mejor manera de lograr la certificación de CEM. La especificación adecuada, un plan de control, la atención a todas las áreas de diseño y las pruebas investigativas bien controladas son indispensables para lograr el éxito del cumplimiento de la CEM. Cumplir con las especificaciones de CEM es costoso y requiere mucho esfuerzo. Sin pruebas de CEM, los productos podrían incurrir en fallos. Cuando los desarrolladores siguen unas buenas estrategias de buen diseño de CEM, teniendo como objetivo el cumplimiento del plan de pruebas inicialmente redactado, se evitan muchas dificultades y el producto se vuelve más fiable y de mayor calidad. 📌

## REFERENCIAS

- "How to write an CEM Test Plan", CEM Bayswater Pty Ltd | Feb 15, 2017
- "Basic CEM test plan template", CEM Bayswater Pty Ltd | Mar 13, 2017
- "Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems", FMC1278, Ford Motor Company.
- "Component EMC Test Plan" JLR-EMC-TP\_v2.9, Jaguar
- A.S. De Beer, "EMC Management and Design in Military and Aerospace Systems—Avoiding the pitfalls", Ruphus Technologies (Pty) Ltd., Lonehill, South Africa
- Ron Brewer, "Five Steps to a Better CEM Test Parts 1 & 2", NASA Kennedy Space Center
- Francesc Daura, Raimon Gómez, ¿Por qué hay diferencias de medida entre laboratorios?, Revista Española de Electrónica, diciembre 2018