

La buena gestión estratégica de la compatibilidad electromagnética

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 Leedeo Engineering



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

Todas las empresas fabricantes de productos electrónicos de cualquier tipo, en todos los sectores del mercado, deben considerar como gestionar estratégicamente el proceso de conformidad con las directivas europeas aplicables a sus productos para obtener el Mercado CE. Una de las primeras decisiones a tomar es acordar internamente tener en cuenta el proceso de conformidad desde el inicio del diseño de cada uno de sus nuevos productos y luego seguirlo responsablemente, incluyendo la producción.

El mercado CE

El Mercado CE es el símbolo que un fabricante fija en su producto para venderlo legalmente en la Unión Europea y es de obligado cumplimiento. El fabricante es el responsable último de la colocación del Mercado CE en su producto y también es responsable de su uso adecuado. El Mercado CE permite vender los productos en los países de la Unión Europea (UE). El proceso para obtener el Mercado CE tiene los 6 pasos mostrados en la figura 1.

Una vez el producto ya está en producción, se debe asegurar que el producto mantiene la conformidad con todas las Directivas declaradas. El proceso del Mercado CE es complejo. De todas las Directivas, la Directiva más compleja para obtener su conformidad es la Directiva de compatibilidad electromagnética 2014/30/UE. Por ello es conveniente establecer su buena gestión estratégica en todas las empresas electrónicas.

Especificaciones de un nuevo equipo

El primer paso en la creación de un nuevo producto consiste en definir el concepto del producto que queremos diseñar y fabricar. Es importante definir que será, que hará, para que

servirá, que funcionalidades tendrá en una primera etapa, que funcionalidades se desea que tenga en etapas posteriores (si las hay), a quién va dirigido, el mercado objetivo inicial y final (se puede tener un objetivo dividido en etapas) y conocer que marco regulatorio le afecta.

Pongamos un ejemplo de este último aspecto. Imaginemos que deseamos diseñar un equipo que nos permita controlar el consumo energético de nuestro hogar, para mejorar la eficiencia energética y gestionar un sistema de autoconsumo de energía renovable. El equipo será capaz de medir la energía eléctrica generada y la consumida, por tanto, será un medidor de energía. Pues bien, si el producto tiene por objetivo informar al propietario para que pueda decidir poner en marcha la bomba de la piscina, por ejemplo, el marco regulatorio será uno. Pero si el producto tiene por objetivo facturar la energía entregada a la red y, por tanto, la medida de energía determinará el importe de una transacción económica, el marco legal es otro completamente distinto y las implicaciones para la puesta en el mercado del producto serán muy diferentes.

Se entra en el mundo de la metrología legal que tiene exigencias muy diferentes. El equipo es conceptualmente el mismo, pero el marco legal es muy diferente y las implicaciones en el diseño y homologación son muchas, y es extremadamente importante conocerlos desde el primer momento. Otro ejemplo claro de lo importante que es conocer el mercado objetivo o entorno al que va dirigido es, por ejemplo, saber si se puede considerar un equipo electro-médico. Cualquier persona se encontraría más tranquila si el equipo al que se conecta para el tratamiento al que se somete ha sido diseñado para que el paciente nunca se pueda electrocutar... ¿o no?

Una vez que hemos definido el concepto del producto a diseñar debemos escribir sus especificaciones. En estas especificaciones se definen las funciones del producto y todo el conjunto de características técnicas que debe cumplir para poder funcionar correctamente, incluyendo el marco legal: mercado CE u otro específico para ese producto. Bastantes empresas se quedan en la definición de funcionalidades sin darse cuenta de que las especificaciones del nuevo producto están incompletas.



Figura 1. Proceso para obtener el Mercado CE.

Un producto electrónico genérico debe ser conforme como mínimo con estas seis Directivas:

- Directiva de compatibilidad electromagnética (CEM: "Electromagnetic Compatibility") 2014/30/UE
- Directiva RED en los productos que incluyan algún dispositivo de comunicaciones vía radiofrecuencia (RF) (2014/53/UE)
- Directiva de baja tensión (LVD: "Low Voltage Directive") 2014/35/UE
- Directiva de sustancias prohibidas (RoHS: "Restriction of Hazardous Substances directive") 2011/65/UE
- Directiva de reciclado (WEEE: "Waste Electrical & Electronic Equipment") 2012/19/UE
- Directiva de seguridad de máquinas si se trata de una máquina (2006/42/CE)

Es obligatorio ser conforme con estas Directivas, ya que derivará en la aplicación de una normativa específica o, si existe, un marco legal específico como el ejemplo ya mencionado de la metrología legal. Habitualmente, las dos primeras Directivas de esta lista son las más complicadas en el proceso de conformidad.

Normas aplicables

Para ser conforme con las Directivas, el nuevo producto debe someterse a una serie de pruebas establecidas en unas normas genéricas, salvo que exista una norma específica de producto en la que se definan los ensayos a superar. En este caso, la norma de producto está por encima de las normas genéricas.

Conocer las normas que aplican al producto es el primer paso para trasladar esos requisitos a las especificaciones técnicas del producto. Es muy importante disponer de toda la información en las etapas iniciales del proyecto. Si el diseñador conoce estos requisitos adicionales desde el primer momento, puede tomar decisiones en el momento de seleccionar una configuración u otra de, por ejemplo la fuente de alimentación, que permita cumplir con los ensayos finales con costes ajustados. Inicialmente, las opciones pueden ser varias y una mala selección debida al desconocimiento de estos ensayos de homologación puede tener consecuencias catastrófi-

cas, ya que puede implicar el rediseño completo de todo el producto en su fase final. O puede ser necesario incorporar elementos adicionales no previstos, con un coste importante y que ocupan un espacio del que no se dispone, complicando el proceso de producción y retrasando la puesta en el mercado del producto. Y todo esto se podría haber evitado simplemente teniendo en cuenta los requisitos adicionales en la etapa inicial del proyecto.

Conviene preparar un primer plan de ensayos para el nuevo producto. De esta forma, el diseñador conoce los objetivos a cumplir en cuanto a las normas, se empieza a plantear la forma de verificar el funcionamiento del producto en esas situaciones y a concebir estrategias hardware y/o software para responder a esas situaciones. Esta forma de diseñar es conocida como diseño en V y es ampliamente utilizada en algunos sectores como la automoción. Se tiene en cuenta cómo se van a verificar las características del producto mientras se diseña.

Muchas veces las normas no se explicitan en las Directivas y el diseñador debe saber seleccionar las normas más adecuadas. Hay varias formas de seleccionar estas normas. Una de ellas es seleccionarlas de las listas de normas armonizadas. Una norma armonizada es una especificación técnica, de cumplimiento no obligatorio, que ha sido aprobada por un Organismo Europeo de Normalización (CEN, CENELEC, etc).

Las Normas armonizadas ayudarán al fabricante a asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos por las Directivas. A menudo es un desafío determinar exactamente qué normas y Directivas se aplican a un producto. Aquí hay algunas ideas para obtenerlas:

- Contratar a un consultor especializado
- Verificar la documentación de un competidor usando Google. Con suerte, la declaración de conformidad estará publicada en internet.
- Buscar las normas en webs especializadas. Las normas armonizadas referentes a productos eléctricos y electrónicos están referenciadas en la web de Cenelec: www.cenelec.eu
- Contactar con un laboratorio de CEM y solicitar una oferta de las

pruebas a realizar. La oferta del laboratorio incluirá las referencias de las normas a cumplir

- Consultar artículos de expertos que expliquen aspectos relacionados con las normas

El cumplimiento de la Directiva de CEM no es fácil con el aumento continuo de la velocidad de procesamiento de datos y la mayor velocidad de las comunicaciones en los productos electrónicos. El uso de diversos módulos de RF obligará a ser conforme con la Directiva RED.

Aunque han pasado 25 años desde el inicio de la aplicación obligatoria de la primera Directiva de CEM, actualmente todavía un gran porcentaje de los productos electrónicos no cumplen con los requisitos de compatibilidad electromagnética la primera vez que se ponen a prueba en un laboratorio de CEM. Al mismo tiempo, sigue habiendo dudas en algunos casos en cómo aplicar la Directiva en función del tipo de producto.

Metodología general

Para evitar problemas de CEM conviene tener en cuenta dos aspectos: los principios básicos de la CEM desde el inicio del desarrollo del nuevo equipo o máquina y conocer los requisitos CEM desde el instante inicial.

Esta prevención inicial permite tener en cuenta las reglas del diseño óptimo de la metodología de CEM, desde que se inicia el diseño del nuevo producto. Ayuda a seleccionar la mejor topología o prever los elementos de protección que pudieran ser necesarios para superar los ensayos. Es recomendable incluir en la etapa inicial una serie de filtros y protecciones, un diseño de máximos, que pueden no montarse inicialmente (no soldar componentes o soldar resistencias de cero ohmios).

En función de las pruebas iniciales se van añadiendo estos elementos hasta encontrar el punto óptimo. Otra estrategia puede ser montarlo todo e ir eliminando elementos hasta encontrar ese punto óptimo. Ambas estrategias son válidas y tienen la gran ventaja de que, al estar previstas en el diseño, se dispone del espacio y de las conexiones eléctricas ya que están en la tarjeta de circuito impreso (TCI). Esta forma de diseñar tiene varias ventajas

importantes. El mejor método para evitar un problema de CEM es atacar la fuente de ruido. Por muy defectuoso que sea un trazado de una PCB, TCI si no existe un generador de ruido, el ruido electromagnético no saldrá de la TCI en forma de emisiones conducidas. Sin embargo, si no se ataca a la fuente de ruido, en su origen, incluso hasta el mejor trazado de TCI puede presentar problemas de emisiones. Si un experto en CEM supervisa un esquema y participa en el proyecto desde el momento inicial, se pueden localizar las fuentes de ruido y tomar las precauciones iniciales que permitan tenerlas bajo control. Un ejemplo sencillo es el, por todos conocido, condensador de desacoplo. No es válido poner 100 nF en general, hay que calcular el valor del condensador adecuado para cada "chip".

Desde el punto de vista de diseño, escoger un condensador 0603 de 100nF o escoger un condensador 0603 de 150pF tiene un coste adicional nulo, pero puede ser crítico en el momento de superar un ensayo de emisiones radiadas o conducidas.

La segunda ventaja importante, y nada despreciable, es lo que se conoce como "lessons learnt". El equipo de diseño va aprendiendo la importancia

de tener en cuenta estos pequeños detalles desde el momento inicial y lo incorpora a su forma de diseñar en los nuevos productos. Si el equipo sigue esta filosofía, tras algunos diseños, el número de problemas se reduce drásticamente. Si se consigue incorporar esta forma de diseñar al libro de estilo de la empresa, se habrá logrado un paso importante. Pero para que esto ocurra se debe documentar y debe haber cierta estabilidad en el equipo de diseño, si cada diseño lo realiza un nuevo ingeniero que no ha participado en los anteriores y no dispone de esta experiencia, cometerá los mismos errores una y otra vez, volviendo a la situación de partida en cada diseño.

En resumen, esta metodología debe incluir revisiones regulares de un experto en CEM (interno o externo) durante el desarrollo del producto, hasta justo antes de llegar a la realización de las pruebas de certificación para el Mercado CE.

Siguiendo la figura 2, en cada hito (H1 a H5), el experto en CEM tiene la oportunidad de proponer al equipo de diseño recomendaciones de mejora para evitar llegar al laboratorio con un equipo que no cumpla con las normas, y establecer unos modos de verificación, que pueden necesitar de

softwares especiales que pongan el equipo en un modo de trabajo cíclico y continuo, de forma que sea fácil detectar el fallo y conocer exactamente qué es lo que falla. Un simple "el equipo falla" no proporciona información válida al diseñador que tenga que modificar un equipo que no supere un ensayo de CEM. El primer paso para resolver el problema es saber que es lo que pasa.

En el hito inicial (H1), se debe realizar una revisión teórica del diseño del producto a nivel de especificaciones y revisión de las normas a cumplir, estableciendo el plan de pruebas a ejecutar. Una vez se ha realizado el diseño, en el hito 2, de pre-realización, antes de lanzar la construcción del prototipo, se debe revisar el diseño del circuito impreso (si aplica), de la caja, las conexiones, los conectores, los filtros y la localización física de todos los componentes que forman el equipo o sistema completo.

En el hito 3, de preevaluación, se debe realizar una evaluación práctica del primer prototipo, usando instrumentos sencillos de preevaluación. En este punto es cuando un ingeniero experto en CEM, interno o externo puede aportar información relevante, ya que puede evaluar el comportamiento

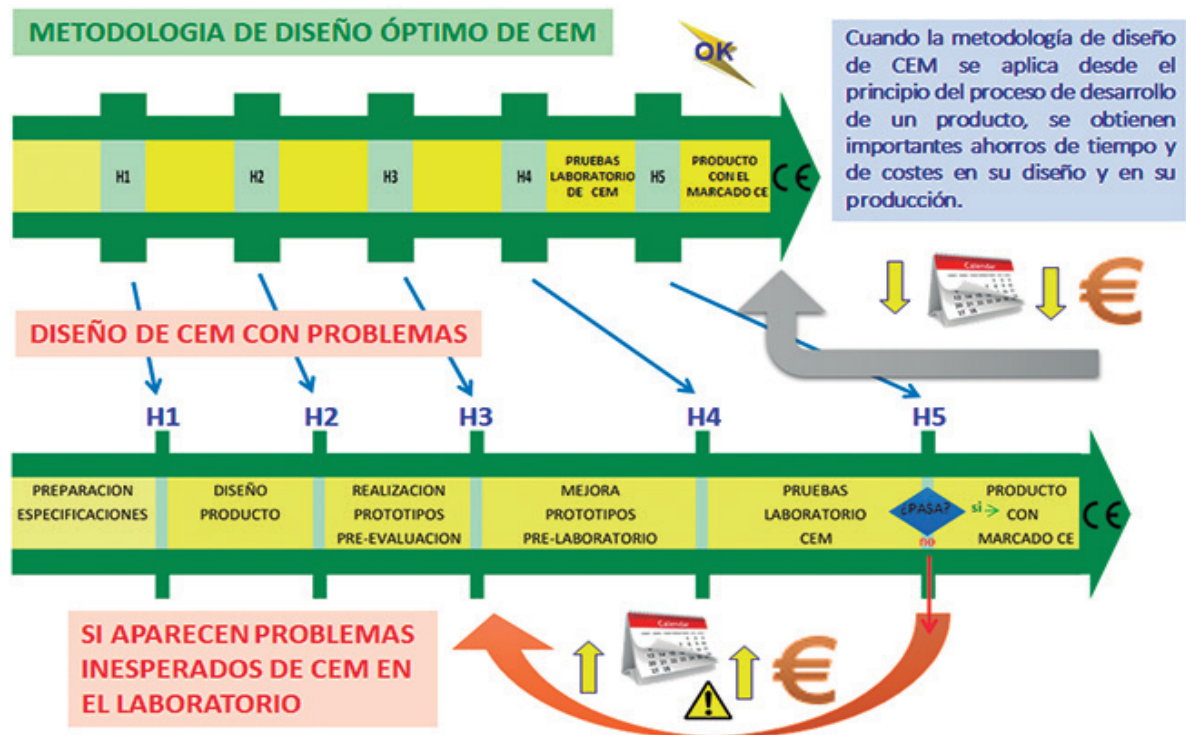


Figura 2. Comparación metodología de CEM.

del producto con medios sencillos y económicos (preevaluación), detectar problemas y proponer soluciones en una fase donde es sencillo, rápido y poco costoso introducir mejoras. Si, además, se ha seguido la recomendación anteriormente citada de realizar un diseño de máximos, incluyendo todos los elementos de protección posibles, sin montar o todos montados, se puede realizar el proceso de optimización hasta dejar el mínimo necesario.

Dado que el espacio en la TCI existe, el proceso consiste en realizar pruebas añadiendo la protección, repetirlo sin la protección y comparar resultados. En el hito 4, de prelaboratorio, se revisa prácticamente el prototipo definitivo, usando de nuevo instrumentos de preevaluación, antes de ir al laboratorio de precertificación. Debido a las pruebas realizadas en la fase anterior, se tiene un amplio conocimiento previo del sistema y de sus puntos débiles, por lo que se recomienda empezar por los ensayos que presentaron fallos en la fase anterior. En cualquier caso, se deben realizar todos los ensayos para evitar sorpresas ya que con ello nos aseguramos de que el equipo está bien preparado para pasar las pruebas de certificación. El hito final (H5), consiste en la revisión final de los resultados de las pruebas de certificación provenientes del laboratorio, para comprobar que el equipo ha pasado correctamente todas las normas de CEM acordadas en el plan de pruebas. El equipo ya está a punto para ser producido.

Puede parecer que esta metodología exige tener un laboratorio de CEM completo en la empresa, pero no debe ser así porque se pueden ajustar los costes a una solución razonable. Hoy en día existen instrumentos de bajo coste que, en las manos adecuadas, permiten obtener excelentes resultados. Por otro lado, por la tecnología utilizada y por el tipo de producto, no todas las pruebas de CEM son igual de difíciles de superar. Normalmente, cada familia de productos tiene "siempre" los mismos problemas en una o dos pruebas concretas. Si somos conscientes de esto, hay que centrarse en ese tipo de pruebas y podemos dejar en un segundo plano el resto. Afortunadamente, existen ensayos investigativos que, con bajo coste, nos permiten hacer una buena estimación

del comportamiento del equipo sin disponer de un laboratorio completo. Existen dos formas de conseguir esto: a base de experiencia o contratando un experto externo que sea capaz de detectar los ensayos críticos para el tipo de producto, que pueda seleccionar el método investigativo de menor coste que permita obtener el máximo rendimiento con la mínima inversión y que sea capaz de entrenar al equipo de diseño.

Los ingenieros de diseño deben ser conscientes de que deben revisar todos los modelos, o versiones, del producto a ser probado. La Directiva exige que todas las posibles configuraciones de los productos se incluyan en la evaluación de la CEM. El uso habitual es ensayar el producto más completo y complejo, las versiones simplificadas quedan cubiertas ya que se "eliminan" posibles fuentes de ruido. Lo contrario, ensayar el sencillo y extender al más complejo, no es aceptado.

Finalmente, algo que parece obvio pero que la práctica demuestra que ocurre escasas veces, es tener control absoluto sobre los equipos que se han ensayado. Los equipos ensayados se deben conservar para disponer de una muestra con comportamiento conocido, una "golden sample". Si se desean realizar mejoras para superar una prueba que se ha fallado, lo mejor es disponer de la muestra que ha pasado por el laboratorio para comparar los resultados sin la modificación y con la nueva modificación introducida.

Si reducimos 6 dB las emisiones, aunque sea en el departamento de I+D con instrumentos de pre-certificación, la mejora será trasladable al laboratorio externo siempre que la mejora se realice sobre la misma muestra. Si las mejoras se realizan sobre una muestra que no tiene nada que ver con la ensayada, los resultados son incontrolables

Plan de pruebas de CEM

En los sectores aeroespacial, defensa y 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, tanto a nivel de requisitos como modos de funcionamiento que permitan verificar el comportamiento 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 3 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.

El peor caso es cuando el usuario final reclama al fabricante que su producto tiene un problema de CEM. La CEM no es una característica que se pueda agregar fácilmente a un producto terminado. 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.

Normalmente, una empresa tiene una línea de productos que se parecen bastante entre ellos o, en empresas grandes, cada línea de producto la desarrolla un equipo concreto de personas. Una estrategia recomendable es tener un plan de pruebas de CEM genérico en la empresa (o departamento) 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...

Otra ventaja de esta estrategia es que, al utilizarla repetidas veces, permite que el equipo adquiera una experiencia y un "know-how" que aplica de forma inmediata en el siguiente

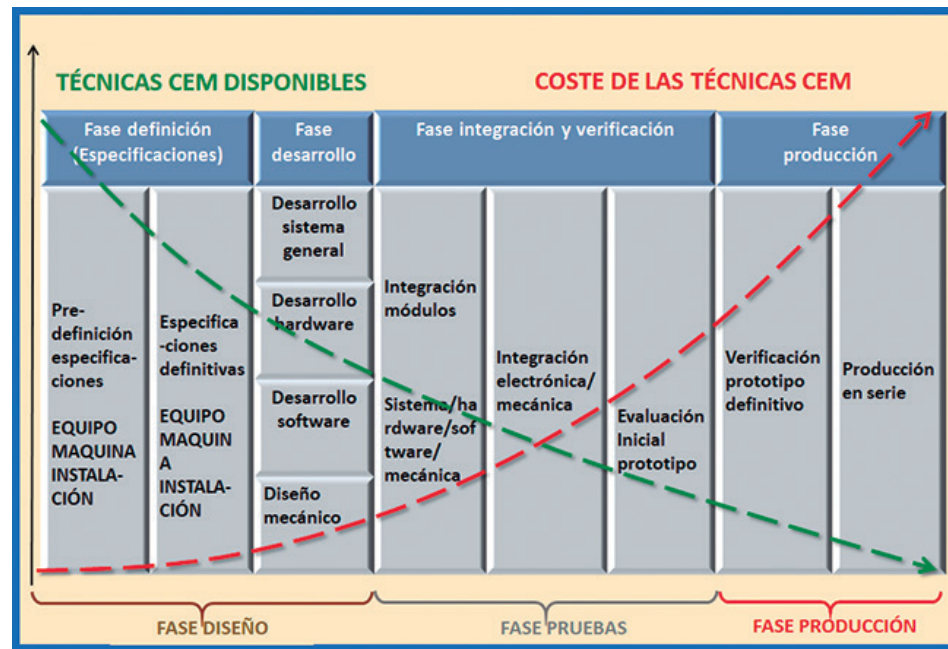


Figura 3. Técnicas de CEM disponibles y costes.

producto, con lo que, a medio y largo plazo se reutilizan estrategias, se aprende de los errores y se diseña cada vez mejor desde el instante inicial. Es un beneficio a medio y largo plazo, siempre y cuando se mantenga cierta estabilidad en el equipo de diseño.

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 afecten 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. Si un sistema no cumple con los requisitos electro-

magnéticos, 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. El plan de pruebas para ser conforme con la Directiva RED se debe añadir al plan de pruebas de CEM.

Idealmente, el plan de pruebas de CEM y de RED 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. Si el fabricante necesita ayuda siempre puede subcontratar a un experto de CEM y RED para la redacción de estos planes de pruebas.

Mayor exigencia interna

El cumplir con los límites usuales de las normas no es garantía de no tener problemas una vez el producto se instala en el lugar de uso definitivo. El entorno electromagnético real es el que determina si el nivel de exigencia comúnmente aceptado es el más adecuado.

Cuando una empresa recibe quejas de mal funcionamiento del produc-

to debido a interferencias aleatorias puede ser un síntoma de que el funcionamiento electromagnético de su producto no se adapta al entorno electromagnético real donde se instala y se usa.

La solución es elevar internamente el nivel de exigencia, es decir, los límites y condiciones de cada una de las normas aplicadas en el plan de pruebas de CEM. Partiendo del plan de pruebas de CEM con los límites y condiciones con valores usuales se debe analizar, en función del tipo de producto, como elevar el nivel de exigencia de forma coherente y realista. Una vez más, la ayuda de un experto CEM es importante porque, en ocasiones, elevar 3 dB un nivel de exigencia puede ser incoherente o implicar unos costes desorbitados. Seguramente, existe un camino alternativo que nos permitirá probar lo que queremos probar, pero de forma realista. A veces, es tan simple como tener una visión más global y aplicar un ensayo que no está contemplado en la directiva del entorno que afecta al producto, pero sí que lo está en otros entornos como el de automoción o el militar. Simplemente hay que adaptar el nivel a la nueva situación.

Sin una definición clara de los criterios de PASA/NO PASA no se tiene una buena especificación del ensayo para trabajar con un nivel superior

de exigencia. El producto puede aumentar su nivel al cambiar el nivel de emisiones radiadas y conducidas de clase A (industrial) a clase B (doméstico), con el límite 10 dB más restrictivo. El producto también puede elevar su nivel de prestaciones aumentando el nivel mínimo de perturbaciones en las pruebas de inmunidad electromagnética como ESD, sobretensión y EFT.

Las pruebas de inmunidad ayudarán a determinar dónde aplicar los dispositivos de supresión de sobretensiones y ESD, los filtros de CEM, donde mejorar el cableado o los circuitos impresos, qué criterios de aceptación aplicar en las pruebas de inmunidad (A, B o C) y también darán una idea de cuánto cuidado se debe tener en el diseño del producto.

Puede ser recomendable subcontratar un experto de CEM que ayude a definir el plan de pruebas de CEM y establecer el nivel de exigencia adecuado para el producto y el entorno electromagnético correspondiente. Su visión global junto con la experiencia permitirá definir la forma de aumentar el nivel de forma razonable. El primer plan de pruebas puede ser genérico para el tipo de producto. Luego, los ingenieros internos de la empresa pueden adaptar el plan genérico al plan particular para un nuevo producto en concreto.

Revisión de diseño

La mayoría de los ingenieros de hardware están acostumbrados a realizar revisiones de diseño funcional en sus placas de circuito y sistemas antes de empezar la fabricación. En los equipos de ingeniería, este tipo de revisión de diseño generalmente toma la forma de sentarse alrededor de una mesa con un bolígrafo rojo y con las impresiones de los esquemas delante. También puede hacerlo una sola persona en un PC, pero es mejor hacerlo en equipo con varios ingenieros de diseño de hardware y "software" así como también ingenieros mecánicos, si es necesario o relevante.

Se revisa el diseño, patilla a patilla, y conector por conector, decididos a encontrar una interfaz invertida accidentalmente o un símbolo incorrectamente fijado. Hay una alta probabilidad de que los esquemas tengan errores ocultos que tienen el potencial de convertir la TCI en una costosa co-

lección de errores, con mucho tiempo de rediseño.

Las empresas que cuidan la calidad de sus productos han estandarizado este tipo de proceso de revisión en un procedimiento basado en una lista de verificación que se ejecuta y verifica en cada diseño. Al hacer esto, aumentan la solidez de la revisión y minimizan las posibilidades de que un problema importante se escape.

Sorprendentemente, pocas empresas han migrado este importante proceso al mundo de la CEM ya que no se incorporan los requisitos CEM en la lista de requisitos de diseño del nuevo producto. De la misma manera que una revisión de diseño funcional puede detectar muchos errores de diseño, una revisión de diseño de CEM puede detectar muchas malas prácticas de diseño que pueden afectar a las emisiones y la inmunidad. Puede significar la diferencia entre que el nuevo producto pase o falle en un laboratorio de pruebas de CEM.

Sin el plan de pruebas de CEM a las que se someterá el nuevo producto en el laboratorio de CEM falta una especificación funcional que realmente debe tenerse en cuenta en la etapa de diseño del proyecto. No se diseña un producto sin una visión clara del conjunto de características que se proporciona al cliente final.

Las pruebas de CEM son solo un conjunto diferente de características que el nuevo diseño debe incluir. Sin unos requisitos de CEM los objetivos que debe cumplir el nuevo diseño quedan incompletos. En este caso se pierde la oportunidad de superar las pruebas de CEM a la primera. ¿Es una coincidencia entonces que la tasa global de aprobación de CEM de un producto que se lleva al laboratorio la primera vez sea solo del 50%?

Formación de diseño de CEM

La formación de diseño de CEM impartida en la universidad en general en todo el mundo no es suficientemente reconocida por los propios alumnos. La consecuencia es que los ingenieros electrónicos recién graduados tienen una formación de CEM equivalente a cero o muy baja.

La asignatura de CEM en algunas titulaciones es opcional y en otras no se puede acceder. En otras universida-

des la asignatura es obligatoria (una asignatura semestral).

La solución es hacer cursos de postgrado de CEM en la propia universidad, o en el colegio de ingenieros, o recibir formación en la propia empresa por parte de un experto de CEM. La ventaja de recibir formación en la propia empresa es que el curso se puede adaptar al tipo de producto diseñado, las lagunas conceptuales que se tienen, los problemas que históricamente se han tenido en los productos propios, etc.

Todos los ingenieros de diseño de "hardware" van a tener que llevar sus productos al laboratorio de CEM, para ser medidos y van a tener que superar los ensayos de CEM. Este es un "examen" obligatorio para el que conviene estar preparados.

El curso de CEM a recibir no debe ser un curso teórico de física de campos electromagnéticos con muchas fórmulas. Tampoco debe ser un curso de soluciones prácticas sin justificar conceptualmente. El curso recomendable debe ser un curso que explique fácilmente los conceptos electromagnéticos, con pocas fórmulas. Una ventaja de impartir el curso en la empresa es que se puede disponer de alguno de los productos que esté en desarrollo para preguntar sobre el propio producto las dudas que se puedan tener.

El experto de CEM, además de impartir el curso puede aportar su experiencia práctica con caso reales, documentación bien seleccionada, mostrando los mejores libros de CEM o, dependiendo del conocimiento necesario a mejorar, puede aportar una selección de artículos sobre el tema.

Laboratorio de CEM interno

Estadísticamente, la tasa media de fallo en las pruebas de laboratorio es del orden del 50% en su primera vez. Considerando la observación y mejora de los puntos de incumplimiento de las normas en la primera vez, la segunda vez mejora mucho, pero sigue teniendo un 5 o 7% de fallo. En el caso de productos muy complejos o que se diseñan justo al límite del cumplimiento de las normas, la tasa de fallo llega a un 2% en su tercera vez. Las causas principales por las que sucede esto se pueden resumir en:

- Poco conocimiento de los principios básicos de la compatibilidad electromagnética.
- Fallos en la aplicación de los principios básicos de la compatibilidad electromagnética.
- Aplicación incorrecta de las normas de la compatibilidad electromagnética.
- Impredecibles interacciones entre elementos del equipo.
- Incorporación de módulos de compra que no cumplen las normas de CEM en el equipo final.
- Poca involucración de los diseñadores mecánicos en el diseño de los blindajes necesarios.
- Falta de conciencia de que el software puede ayudar en las pruebas de inmunidad.
- Falta de estrategia clara en la gestión interna de la CEM en la empresa.

Si se considera que no se tienen los conocimientos suficientes, es recomendable contratar un asesor externo que nos puede ayudar a establecer el conjunto de normas a cumplir para tenerlo en cuenta desde el principio del diseño. Es bueno tener los objetivos de CEM a cumplir desde el principio y no esperar a ir al laboratorio de CEM a descubrir los problemas.

Una decisión estratégica que una empresa electrónica puede tomar es realizar una inversión para crear un laboratorio de CEM interno. El valor de la inversión depende del número de nuevos productos desarrollados por año. Si el número de nuevos productos desarrollados por año es elevado la inversión podrá ser más elevada porque será más fácil de amortizar a costa del ahorro en gastos de laboratorio de CEM externo.

Por otro lado, es importante disponer de los medios necesarios para realizar, al menos, ensayos investigativos o de "pre-certificación" en la fase de optimización del diseño, como se ha descrito anteriormente. Normalmente, no es necesaria una gran inversión en esta fase, pero debe ser realizada con un profundo conocimiento para seleccionar adecuadamente los medios necesarios y tener muy claras las limitaciones. Es habitual que las empresas quieran reproducir los ensayos con exactamente los mismos resultados que los obtenidos en el laboratorio acreditado al que acuden...

pero invirtiendo el 10% o menos de lo que cuestan las instalaciones e instrumentación de ese laboratorio. La única forma de obtener el mismo resultado es disponiendo de los mismos medios, pero ese no es el objetivo. El objetivo es invertir de forma inteligente para detectar los problemas y solucionarlos invirtiendo mucho menos que el laboratorio acreditado. El precio adicional a pagar es que no vamos a tener una medida igual y que no vamos a tener la certeza al 100% de los resultados obtenidos, pero la probabilidad de no superar los ensayos en el laboratorio se va a reducir en un 80%, 90% ó 95%.

Sin duda alguna, la decisión más importante que afectará al valor de la inversión es si se va a construir una cámara anecoica "full Compliance" en el interior de las instalaciones de la empresa. Además del dinero a invertir, esta decisión también dependerá del espacio disponible para instalarla porque es importante. Pero es posible reducir el espacio y la inversión hasta un 50% con una cámara "pre-compliance" entendiendo las limitaciones que implica. Si se quiere un Ferrari se tendrá que pagar lo que vale un Ferrari, pero no siempre se necesita un Ferrari y es suficiente usar otros coches que también "corren mucho". Es recomendable contratar un asesor externo para definir correctamente el conjunto de instrumentos que conformarán el laboratorio interno.

Formación en la realización de medidas de CEM

Disponer de un laboratorio CEM no es la solución definitiva si no sabemos utilizar los instrumentos ni se tiene una idea clara de qué se está midiendo, cómo y en qué situaciones. No es fácil realizar medidas de CEM. No es fácil conseguir que estas medidas sean repetitivas, precisas y que sean representativas del comportamiento del equipo. Hace falta experiencia o mucho tiempo de aprendizaje.

La repetitividad y la precisión no solo dependen de los propios instrumentos, depende en gran medida del método que usemos y de tener muy claro qué fenómeno se está midiendo y en qué condiciones se está realizando. Es muy importante ser metódicos, ordenados, detallistas y seguir los métodos descritos en las normas. Y si no se está siguiendo el método de la

norma, porque no se dispone de la instrumentación o porque supondría multiplicar la inversión por 10 ó por 100, es muy importante conocer las limitaciones del método usado.

Hay que recordar que las normas no dejan de ser una guía detallada de una forma de medir un fenómeno concreto en unas condiciones concretas. No siempre es el método "ideal", si es que existe, pero es una forma de que todos los laboratorios del mundo realicen el mismo ensayo de la misma forma para que los resultados puedan ser comparables, se realicen donde se realicen. El resultado no puede depender de si el equipo se ensaya en el laboratorio A o B, por lo que es muy importante que ambos laboratorios usen el mismo procedimiento: la norma. Al final, lo importante es que todo el mundo mida igual, igual de bien o igual de mal, pero todos de la misma forma. Y dentro de este concepto se incluyen aspectos que a veces descuidamos como son: la configuración del equipo, los cables conectados tanto el tipo, como longitud como disposición, el modo de funcionamiento, etc... Por eso es importante apuntar todos los detalles de cómo se ha realizado cada medida, hacer fotos y ser meticuloso con los detalles.

Existen dos formas de adquirir este conocimiento: mucho tiempo de experiencia y "prueba y error" o contratar un experto externo que forme al personal de la empresa y reduzca el tiempo de aprendizaje. Pero debe ser un traje a medida, un curso centrado en los instrumentos disponibles y en el tipo de producto de la empresa. Un curso práctico que incluya medidas reales sobre un equipo real.


Gestión laboratorio interno-externo

La auto-certificación completa a través de usar sólo el laboratorio de CEM interno solo es factible si este laboratorio es completo. Tener un laboratorio de CEM completo interno es difícil debido a la gran inversión necesaria y disponer de un laboratorio de CEM interno no evita tener que usar, en ocasiones, un laboratorio de CEM externo para obtener la certificación completa.

En ocasiones, no existe otra alternativa que acudir a un laboratorio externo y es un punto que se debe

gestionar de forma adecuada. La cercanía de un laboratorio no puede ni debe ser el único parámetro para seleccionar el laboratorio. Un buen gestor de la CEM debe conocer varios laboratorios y los puntos fuertes y débiles de cada uno. Si se ha implementado de forma adecuada una gestión de la CEM en la empresa, el enviar el equipo a un laboratorio externo debería convertirse en un mero trámite, porque estamos bastante seguros de que el equipo va a superar los ensayos. Entonces, ¿porqué esperar 3 meses y pagar el doble por enviarlo al laboratorio cercano cuando lo podemos enviar a un laboratorio "lejano" que realizará los ensayos en 3 semanas y a mitad de precio? Hoy en día el coste de los transportes y/o el coste de enviar una persona a cualquier lugar de Europa es bajo. Y si el plan de ensayos está debidamente redactado, cualquier técnico de cualquier laboratorio será capaz de realizar el ensayo de forma adecuada sin conocer el producto.

Conclusiones

Se ha expuesto la estrategia general para tener una buena gestión de la CEM, resumiendo los pasos para obtener el Marcado CE, las normas a aplicar, la metodología general de CEM, el plan de pruebas, la revisión de diseño, la formación de diseño de CEM y la formación en la realización de las medidas de CEM, posiblemente en un laboratorio de CEM interno a la empresa para obtener una mayor experiencia global de toda esta estrategia de buena gestión de compatibilidad electromagnética. 

REFERENCIAS

- Francesc Daura Luna, Raimon Gómez, "La gestión del plan de pruebas de CEM", *Revista Española de Electrónica*, junio 2019
- Francesc Daura Luna, "El mercado CE para los fabricantes de productos electrónicos", *Revista Española de Electrónica*, marzo 2018
- Francesc Daura Luna, "La nueva directiva de compatibilidad electromagnética, (2014/30/ce) entrará en vigor el próximo abril de 2016", *Revista Española de Electrónica*, abril 2015
- Francesc Daura Raimon Gómez "¿Por qué hay diferencias de medida entre Laboratorios?", *Revista Española de Electrónica*, diciembre 2018
- Andy Eadie, "How to Do an EMC Design Review", November 2014
- Keith Armstrong, "EMC - Good practice makes perfect", September, 2008
- Keith Armstrong, "EMC a problem for some - a challenge to many"
- Keith Armstrong, "Introduction to EM Engineering", June 2017
- Keith Armstrong, "CE Certification is a Fallacy and Low-cost Compliance with the EMC Directive"
- Keith Armstrong, "The new EU Directives which came into force in 2016, November 2016

leedeo
ENGINEERING
www.leedeo.es

 **CEMDAL**
www.cemdal.com

CONTACTO:
Francesc Daura
fdaura@cemdal.com
Avda. de la Vía Augusta, 15-25
Building B1, 2nd floor
08174, Sant Cugat 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**.