

Compatibilidad Electromagnética: Aprendiendo de la experiencia por medio de casos prácticos

C. Medrano, F. Arcega
EduQTech, R&D&I group
Universidad de Zaragoza
Teruel y Zaragoza (España)
[ctmedra,arcegafj@unizar.es](mailto:{ctmedra,arcegafj}@unizar.es)

A. López
Grupo de Tecnologías de las
Comunicaciones
(GTC), Universidad de Zaragoza
Teruel, (España)
lopeztor@unizar.es

I.Plaza, T. Pollán (en memoria)
EduQTech, R&D&I group
Universidad de Zaragoza
Teruel y Zaragoza (España)
iplaza@unizar.es

Resumen— La Compatibilidad Electromagnética (CEM) es un campo muy importante para cualquier profesional que trabaje en electrónica. Sin embargo, la enseñanza de la CEM presenta varios problemas, como el hecho de que es transversal a varias asignaturas, la falta de tiempo que se le dedica o las dificultades para ser consciente de los efectos de las interferencias. Después de una revisión de la literatura, los autores consideran deseable completar el material docente con una serie de casos prácticos. De esta manera, los autores buscan una mejora de la eficiencia del proceso de enseñanza-aprendizaje y mostrar casos reales, identificando los conceptos de CEM más importantes que pueden quedar fuera de los planes de estudio. Los casos propuestos muestran el efecto de las interferencias en equipos profesionales o en prototipos de sistemas electrónicos, siempre centrándose en aspectos prácticos y con un uso mínimo de matemáticas. Cada caso incluye una serie de cuestiones para los estudiantes, así como comentarios acerca de sus solución. El documento se ha liberado con una licencia libre para permitir que otros profesores lo usen o puedan añadir nuevos casos.

Palabras clave: *Compatibilidad Electromagnética; material docente*

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Compatibilidad Electromagnética (CEM) es de gran importancia para cualquier estudio de grado relacionado con la Electrónica, tanto desde el punto de vista legal como técnico. Legalmente, el cumplimiento de las directivas europeas es un requisito para comercializar un producto. Su conocimiento es un prerrequisito para cualquier desarrollador profesional de Electrónica. Desde un punto de vista técnico, los alumnos deben saber que las interferencias pueden dar lugar a fallos en equipos electrónicos (inmunidad) y que el equipo no puede producir campos electromagnéticos mayores que los indicados en los estándares (emisión). Por tanto, es necesario tomar medidas de prevención, sobre todo en entornos reales.

La comprensión de la CEM requiere conceptos transversales a varias asignaturas de ingeniería. Excepto en algunas asignaturas optativas, la CEM es un aspecto colateral. Los autores han estado trabajando en la enseñanza de la CEM desde hace varios años. En 2007 realizaron un proyecto de

innovación docente financiado por la Universidad de Zaragoza (UZ) titulado *Análisis de la docencia de la CEM en Ingenierías Técnicas* [1]. Los profesores de este proyecto pertenecían a dos escuelas distintas de la UZ: Escuela Universitaria Politécnica de Teruel (EUPT) y Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza (EUITI). Se analizó la docencia de la CEM en las asignaturas impartidas por los miembros del equipo. Se extrajeron de cada asignatura los contenidos relacionados con la CEM, el tiempo que se le dedicaba y el material docente utilizado. Posteriormente, se coordinaron las asignaturas para evitar duplicaciones de contenidos en la misma carrera y se redactó un documento con los conceptos básicos de CEM para intentar homogeneizar la nomenclatura, clasificación de los fenómenos, etc [2]. Se mantuvo un contacto con varias compañías relacionadas con el campo de la CEM para organizar varias visitas.

Como ejemplo de la variedad de asignaturas en las que la CEM puede aparecer, podemos citar las que formaron parte del proyecto: Análisis de Circuitos y Sistemas Lineales, Medios de Transmisión, Instrumentación Electrónica, Microelectrónica, Diseño Electrónico, Tecnología de Componentes, Instalaciones Eléctricas y Fundamentos de Sistemas Digitales.

El proyecto fue continuado en 2008 por otro, también financiado por la UZ: *Diseño Curricular en asignaturas relacionadas con la electricidad y la electrónica: aplicación del método del caso para la mejora de la enseñanza práctica de la CEM* [3]. En este proyecto la enseñanza de la CEM se adaptó para facilitar la adquisición de competencias en el análisis de los problemas de interferencias. El presente trabajo tiene su origen en este proyecto.

De acuerdo a la experiencia de los autores, la enseñanza de la CEM se enfrenta a varias dificultades:

- Dado que la CEM es un tema transversal, normalmente no se trata en profundidad y corre el riesgo de reducirse a un tema anexo del curso.
- Además, las consecuencias de las interferencias electromagnéticas aparecen normalmente como efectos inesperados durante el funcionamiento de los equipos, sobre todos en ciertos entornos agresivos. La resolución de problemas de CEM es a menudo por

prueba-error, sin llegar a comprender qué ocurre. Esto dificulta la docencia en un entorno clásico de pizarra o de laboratorio.

Es por esto que presentamos un material adicional en este artículo. Se trata de una lista de casos prácticos analizados en detalle junto con actividades propuestas para los estudiantes. Así, seguimos la filosofía de los nuevos grados en España bajo el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), que está centrado en el aprendizaje de los estudiantes en contraste con la el sistema anterior centrado en la enseñanza. Los estudiantes son responsables de la construcción de su conocimiento [4]. Para conseguir un aprendizaje comprensivo, en el que los nuevos conceptos se integran constructivamente con los previos y pueden reutilizarse cuando sea necesario, los estudiantes deben desempeñar un papel activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje [5]. Las técnicas basadas en el aprendizaje experimental o la resolución de problemas reales estimulan el aprendizaje activo, distintivo de las teorías de aprendizaje constructivistas. El aspecto práctico del material presentado da a los alumnos un papel activo en la comprensión y resolución de situaciones realistas.

La estructura del artículo es la siguiente. En la sección II se presenta la revisión bibliográfica. Varias carencias han sido detectadas, lo cual nos motivó a trabajar. En la sección III se presenta la estructura de los casos, que se resumen en la sección IV. Las conclusiones y el trabajo futuro se presentan en la sección V.

II. ESTADO DEL ARTE Y MOTIVACIÓN

Existen numerosos libros acerca de la CEM como los clásicos [6,7]. Se trata de dos libros introductorios acerca de la CEM que tratan de todos sus aspectos: definiciones, test y directivas, tipos de acoplamiento, cableado, puesta a masas, filtrado, comportamiento no ideal de componentes pasivos, apantallado, protección de contactos, ruido en sistemas digitales, trazado y diseño de placas de circuito impreso (PCB), radiación de los circuitos, descargas electrostáticas, etc. Ott utiliza principalmente aproximaciones basadas en teoría de circuitos, mientras que el libro de Paul contiene algunos análisis más rigurosos. Aunque incluyen problemas por resolver, la mayoría son estimaciones numéricas, o cuestiones presentadas de una forma esquemática. Otros textos están centrados en aspectos específicos, como el diseño de PCB [8], test en CEM [9] o puesta a tierra en sistemas automáticos [10]. Existen también libros en castellano [11-13].

Con respecto a las prácticas de CEM, el IEEE ha publicado una guía con varios experimentos [14]. En [15] se comparan dos diseños de una PCB distintos, para visualizar el efecto del trazado de pistas y la colocación de componentes en la radiación producida. El diseño de la PCB se propone como un método efectivo para hacer que los estudiantes sean conscientes de los problemas de EMC y su prevención por medio de buenas prácticas de diseño.

Existen también revistas especializadas en el campo de la CEM [16], así como revistas que proporcionan información práctica [17], como estándares armonizados, directivas,

empresas del campo de la CEM, artículos revisando los principios básicos, etc. En [17] encontramos una sección denominada *Banana skins* (problemas inesperados). Allí se describen casos reales de efectos de las interferencias electromagnéticas. Los casos son a menudo sorprendentes y atractivos, pero su presentación es casi siempre muy corta. Tampoco hay una relación con principios teóricos ni una explicación de la solución. Aunque pueden servir para motivar a los estudiantes, su uso para comprender la CEM es limitado.

Después de analizar los textos básicos y siguiendo la experiencia de los autores como profesores, hay varias cuestiones mejorables. La teoría de la CEM presenta el mundo real de una forma esquemática. Por ejemplo la figura 1 muestra un sistema de masas de punto único que se considera adecuado en muchas situaciones. Pero, ¿entienden los estudiantes este tipo de representaciones? ¿Identifican este diagrama en una situación real? Hay que tener en cuenta que suelen tener el concepto ideal de masa como superficie equipotencial. ¿Están preparados para aplicar el principio propuesto de separación de masas en un caso real? ¿Cuáles pueden ser las consecuencias de una distribución de masa no adecuada?

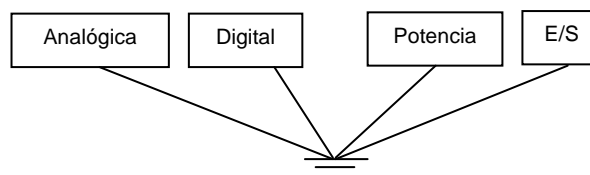


Figure 1. Esquema de separación de masas recomendado

Además, mucha documentación breve sobre CEM consiste en una lista de recetas anti-interferencias, que se olvidan fácilmente si no van acompañadas de una explicación.

En general, la teoría de CEM está bien cubierta por los libros de texto actuales y hay suficiente información para proponer prácticas. Por el contrario, es necesario realizar un esfuerzo para unir los principios teóricos con ejemplos del mundo real para mejorar la comprensión de los estudiantes. Por ello, se presenta un conjunto de casos prácticos: casos reales de equipamientos o instalaciones comerciales, o que ocurrieron en la fase de prototipo de un sistema electrónico. No se ha pretendido realizar un curso completo en CEM, sino más bien desarrollar un conjunto de material modular que puede ser adaptado por los profesores para motivar a los estudiantes. Los casos permiten mostrar las consecuencias de las interferencias electromagnéticas y promueven una enseñanza-aprendizaje más modular. Además, los estudiantes se enfrentan a problemas que están más cercanos a los que se encontrarán en el mundo profesional. El documento se ha lanzado con una licencia Creative Commons 3.0 (CC BY_NC-SA) [18]. De esta manera otros compañeros pueden usarlo, mejorarlo y ampliarlo.

III. ESTRUCTURA DE LOS CASOS

Cada caso práctico está dividido en varias partes. El objetivo es presentar no sólo el problema, sino también el contexto en el que se presentó. Después, el lector puede intentar responder a varias cuestiones acerca de él para comprobar hasta qué punto es capaz de utilizar su intuición

basada en conceptos teóricos para entender por qué se ha producido el mal funcionamiento y cómo puede resolverse. Las secciones son las siguientes: a) Título; b) Descripción del caso; c) Actividades propuestas; c) Soluciones y comentarios.

El título presenta el caso, a veces tratando de captar la atención del lector. La descripción explica el contexto en el que se produjo así como los efectos observados, como el mal funcionamiento de un equipo por ejemplo. Siguiendo la filosofía del aprendizaje activo, la descripción es seguida por una serie de cuestiones para los estudiantes. La idea es provocar una reflexión acerca de los efectos observados, en un intento por unirlos con los conceptos que pueden haber sido explicados en una clase teórica de CEM. Finalmente, los casos se comentan. Se proporciona la información acerca de la manera de resolver el problema o qué fallos de diseño causaron el mal funcionamiento.

La tabla I muestra las palabras clave relevantes para cada uno de los casos (ver la sección IV).

TABLE I. PALABRAS CLAVE DE CADA CASO

Caso	Palabra clave
A	Acoplamiento magnético, diafonía
B	Acoplamiento
C	Apantallamiento, ruido inducido por radiación
D	Interferencias conducidas, ruido en los cables de alimentación
E	Interferencias conducidas, ruido en los cables de alimentación, apantallamiento de cables
F	Resonancia de armónicos, inductancias parásita
G	Apantallamiento, superposición de ondas electromagnéticas
H	Demodulación de audio en semiconductores
I	Ruido inducido por radiación, apantallamiento de cables, cable trenzados
J	Distribución de masa, cables trenzados
K	Ruido de masa, inductancia parásita
L	Impedancia de pista, integridad de señal
M	Ruido de masa y alimentación, ruido en circuitos digitales en conmutación
N	Acoplamiento entre pistas, señales sensibles y ruidosas
O	Acoplamiento entre cables, cables trenzados
P	Ruido de E/S, filtrado

IV. RESUMEN DE LOS CASOS

En esta sección recogemos un breve resumen de los casos seleccionados. Sólo se presenta un bosquejo, pero las actividades y discusión de cada uno pueden ser bastante largas, dependiendo de la asignatura en la que se usen.

A. Diafonía entre cables

En este caso, se describe una instalación para la enseñanza de mecanografía. Cada estudiante recibía un curso individualizado. Desde la recepción del centro, la lección era introducida por medio de una cinta para cada estudiante, que las escuchaba con unos auriculares, de manera que se le indicaba qué tecla debía pulsar en el teclado de un ordenador. La distancia entre la recepción y el cuarto de computadoras era de 10 m. El técnico que instaló el cableado, conectando cada reproductor de cintas con sus auriculares, agrupó todos los

cables con un arnés y un trozo de cable con forma bobinada.

El problema fue que cada estudiante no sólo escuchaba su lección sino también las lecciones dirigidas a otros estudiantes, en una mezcla de diferentes voces. La solución consistió simplemente en cambiar el trozo de cable metálico que agrupaba todos los cables por un sujetador de plástico.

B. Electrocución en una instalación de potencia

Se trata de una electrocución en una instalación de potencia producida por la inducción entre una línea con alimentación y otra sin alimentación donde los operadores estaban realizando un mantenimiento.

En una línea de distribución, unos trabajadores estaban realizando una operación de mantenimiento. Muy cerca se encontraba otra línea en servicio y paralela a ellas. Incluso si la línea estaba sin tensión, un trabajador fue gravemente herido por una descarga eléctrica. La razón fue que, en un momento dado, la segunda línea tuvo un incremento de corriente debido a una sobrecarga en un cortocircuito. La corriente fue tan alta que se indujo un voltaje que acabó matando al operario. La línea sin servicio estaba mal conectada a tierra.

C. Puerta abierta de forma descontrolada

En una vivienda urbana en la que se disponía de un portero automático, se detectó que éste se abría inesperadamente tanto de día como de noche sin acción ninguna de los vecinos. Aparentemente, esto se producía al azar y al observar el portero, se detectó el efecto como si algún vecino pulsara el botón de apertura. Tras una observación adecuada se comprobó que ningún vecino daba la orden. El portero funcionaba bien y abría cuando algún vecino lo requería, pero también se producía la apertura aleatoria.

El problema fue debido a la presencia de señales de alta frecuencia y que las pistas de la PCB del sistema de apertura no estaban bien aisladas. Las señales eran capturadas por las pistas, provocando un ruido que afectaba a la decisión de abrir la puerta. En este caso se consideraron dos soluciones: o cambiar la PCB con otra mejor diseñada o protegerla y aislarla. Se optó por la última por su menor coste, aunque no era la más elegante.

D. Variaciones de voltaje en la red eléctrica que afectan a la calibración de un equipo

Durante la calibración de un equipo de medida en una instalación industrial, se observó un fallo de forma que el equipo estaba fuera del rango de especificaciones. Tras realizar unas operaciones de mantenimiento y una verificación por parte del fabricante de que el equipo funcionaba correctamente, la calibración fue realizada de nuevo, y una vez más el equipo estaba fuera de especificaciones. Como el problema no se encontró, se decidió repetir la calibración el mismo día por la tarde. En ese momento, el equipo cumplió las especificaciones.

¿Cuál fue el motivo de este comportamiento? Las dos primeras calibraciones se llevaron a cabo por la mañana,

cuando había un gran consumo en la instalación industrial y la amplitud del voltaje era hasta un 10% menor que por la tarde. El equipo calibrado tenía un problema de diseño que tomaba el voltaje de red como referencia. Si éste cambiaba, los resultados eran diferentes.

E. Ruido de red en la calibración de un multímetro

Durante la calibración de un multímetro, se detectó que el equipo medía con un error inusual. Un voltaje en AC de unos pocos milivoltios aparecía siempre en el mismo sentido. El técnico pudo haber pensado que el equipo no funcionaba bien, pero, gracias a su experiencia, decidió probar otras configuraciones. Para ello, conectó el multímetro usando cables apantallados y comprobó que el error desaparecía. La razón fue que una señal alterna se capturaba en los cables que conectaban el multímetro con la fuente de alimentación. Sustituyéndolos por cable coaxial permitió que el problema desapareciera.

F. Resonancia en un banco de condensadores

En algunas instalaciones industriales, se colocan bancos de condensadores para corregir el factor de potencia. Cuando un sistema de distribución de alimentación incluye muchos equipos de potencia (motores), el voltaje y la corriente están fuera de fase. Este hecho da lugar a pérdidas de energía y requiere un diseño adecuado del tamaño de los cables, incluyendo el de tierra. Los bancos de condensadores se usan a menudo para corregir el factor de potencia.

En determinadas circunstancias y debido sobre todo a la presencia de armónicos, se ocasionan efectos de resonancia entre la inductancia de los equipos y los condensadores del banco. Esto puede dar lugar a sobretensiones en la red, dañando los componentes que puedan estar conectados a ella, por ejemplo rompiendo aislamientos y causando una pérdida de seguridad eléctrica.

G. Un dispositivo antirrobo sabotado por un móvil

Un sistema de identificación por radiofrecuencia RFID (Radio Frequency Identification) está formado básicamente por un lector o estación base RFID y una etiqueta o transpondedor. Ambos elementos se comunican por medio de ondas electromagnéticas. Los sistemas RFID se dividen en tres tipos, dependiendo de la banda de frecuencia en la que emitan las señales (LF, HF o UHF). Los lectores RFID solicitan información de las etiquetas utilizando esas frecuencias como frecuencias portadoras. La etiqueta capta estas formas de onda y responde usando su propia energía (etiquetas activas) o modulando la señal procedente del propio lector (etiquetas pasivas). La distancia de lectura depende de varios factores, como la potencia de emisión, rango de frecuencias de trabajo, diseño de las antenas, etc.

Otras señales cuya frecuencia pertenece a las de trabajo del sistema RFID pueden disminuir la distancia real. La presencia de señales intencionadas puede reducir las prestaciones de los sistemas RFID. Por ejemplo, el estándar GSM de los móviles trabaja en la banda de 900 MHz, cerca de la banda de

operación de uno de los sistemas RFID-UHF (860, 960 MHz).

Este caso describe como el rango de trabajo de un sistema antirrobo RFID puede ser disminuido a propósito solo con crear interferencias con un teléfono móvil.

H. ¿Qué hace un helicóptero en mi terminal TETRA?

Las siglas TETRA (<http://www.tetramou.com/>) indican Terrestrial Trunked Radio. Se trata de un estándar para radio digital de comunicaciones privadas. Este tipo de sistemas es muy utilizado por los cuerpos de seguridad. Cuando un usuario se comunica por medio de un terminal TETRA, habla directamente a un micrófono a través de un sistema Push To Talk, PTT. La señal de voz es transformada en una señal de voltaje por el sensor acústico, en este caso un micrófono electret. La información capturada por el micrófono es codificada y se envía utilizando una modulación digital $\pi/4$ DQPSK sobre una portadora de alta frecuencia en un rango de 400 a 900 MHz. La señal modulada se emite de manera inalámbrica y llega al receptor que demodula la información recuperándose la señal de voz. En una situación real, cada vez que ocurría esto, junto con la voz del hablante se escuchaba un molesto patrón de audio, similar al sonido que producen las aspas de un helicóptero, que resultaba muy molesto en la comunicación.

El origen del problema eran las altas potencias de emisión, que dan lugar a un acoplo de la energía radiada al micrófono electret, pudiendo llegar a la entrada del circuito de audio.

I. ¿Dónde está mi USB?

Volvemos de nuevo a describir un caso relacionado con los terminales TETRA y con sus altas potencias de emisión. La personalización de un terminal TETRA (definición del número de teléfono, configuración de la agenda, determinación de la frecuencia de trabajo) se realiza desde un PC al que se conecta el terminal a través de una conexión USB. Tras el proceso de reprogramación del equipo, éste vuelve a registrarse en la red TETRA, emitiendo ondas de radio. El acoplo de esta radiación al cable del USB hace que el PC desconecte este puerto que no aparece más en Windows.

J. Problemas con RoboTeruel

En este caso se describe un problema con un robot móvil desarrollado a partir de varios proyectos fin de carrera. En concreto, los problemas aparecieron durante el montaje de un prototipo que contenía estos elementos: una batería, una placa con GPS, una placa con microcontrolador, una controladora de motores y un sensor de distancia por ultrasonidos montado sobre un servo, para realizar un barrido. Algunos de estos componentes ya estaban montados en placas, otros se estaban probando sobre protoboards.

A pesar de que todo parecía estar bien programado, el movimiento del robot era errático. La comunicación con la controladora de motores se realizaba a través de un bus I2C. Sin embargo, el valor de los registros que se escribía no era el mismo que el que se leía. Cuando el servo no estaba realizando el barrido, todo funcionaba correctamente.

K. Ruido de masa en una aplicación con FPGA

Para comprobar un sistema de procesamiento digital de audio realizado en una FPGA, se colocaron leds en todos los bits de la palabra digital de salida en la placa de desarrollo correspondiente, y se ejecutó el procesamiento paso a paso, mediante un pulsador manual a modo de reloj. Invariablemente, el sistema fallaba en algún momento, a pesar de haber sido comprobado minuciosamente mediante la simulación. Sin embargo, si se observaba sólo un bit con el osciloscopio y se desconectaban los leds, no se obtenía ningún error.

L. La importancia de la impedancia de pista

Un sistema dispone de un módulo GPS, que se puede comunicar con un microcontrolador a partir de un puerto serie. La señal es recibida por una antena y es necesario realizar la conexión con ella en la placa de circuito impreso. A pesar de la aparente sencillez del sistema, el microcontrolador no conseguía obtener información del GPS. Una revisión atenta del sistema y de las especificaciones del fabricante del módulo GPS, nos indica la necesidad de realizar la pista con una determinada impedancia para conseguir una buena recepción.

M. Consideraciones sobre el ruido de masa y de alimentación en circuitos con Dispositivos Lógicos Programables

En este caso, se insiste en la necesidad de leer las notas de aplicación y hojas de características de los fabricantes, pues nos dan información muy valiosa. En concreto, se citan varias notas de aplicación clásicas sobre interferencias.

Se proponen varias actividades para el alumno con referencia a la nota de aplicación sobre minimización del ruido de alimentación y masa de Altera [19]. Este documento analiza este ruido, explicándolo por la presencia de impedancias parásitas en las pistas y por los picos de intensidad en la conmutación. Se describen varias soluciones y se compara su eficacia en las pruebas realizadas por Altera. Entre las soluciones que se citan podemos encontrar: utilización de encapsulados flip-chip, reducción del slew-rate, separación de salidas que conmutan simultáneamente, desfase o retrasar las salidas para evitar su conmutación simultánea, introducir resistencias en serie o terminaciones RC y, finalmente, conexión de pines no utilizados a Vcc o masa.

N. Ruido en una señal de reset de una PCB

Un entrenador de braille para niños con discapacidad visual contiene dos placas. En la placa frontal se encuentran pulsadores para introducir el código Braille, una ruleta selectora del modo de operación y un pulsador de reset. En la placa principal un microcontrolador recibe las señales de la placa frontal y actúa en consecuencia. La alimentación entra desde un adaptador de corriente alterna a la placa principal, donde se convierte a 5 V, y éstos son pasados a la placa frontal también a través del mismo cable que lleva las señales de los pulsadores de la placa frontal.

Se observa que, en un determinado modo de operación, tras

la introducción de unas pocas letras y al accionar uno de los pulsadores, el sistema se resetea y vuelve al estado inicial, comenzando la secuencia. Con el osciloscopio, se observa un ruido en la señal de reset. Esto era una consecuencia de un mal diseño de la PCB.

O. Ruido en una señal de reset en una protoboard

Un sistema digital basado en un dispositivo programable (PLD) debía conectarse con el bus ISA de un PC. El bus contiene las típicas líneas de dirección, datos, de indicación de ciclo de lectura y escritura, así como una señal de reset. El sistema digital implementado en la PLD tiene un registro interno que ocupa una dirección del bus. En un determinado momento de la verificación del diseño previo, no se tenía acceso a los conectores necesarios para conectar las dos placas de desarrollo (la de la PLD y la de desarrollo de prototipos con el bus ISA), por lo que se decidió usar cable rígido.

Tal *chapuza* no podía quedar *sin castigo*. El resultado fue que el registro interno estaba siempre en 0, con independencia del valor escrito en el bus de datos. Se pudo comprobar que existía un ruido en el reset, que inicializaba el registro. En la figura 2 se muestra este ruido y cómo su valor es suficiente para disparar un circuito digital típico.

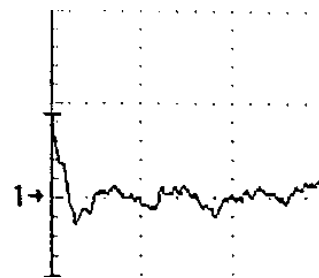


Figure 2. Ruido en una señal de reset (2 V /division)

P. Los cables de entrada y salida de un sistema digital de control como eficientes antenas receptoras de ruido en un ambiente industrial

En este caso se describe un sistema electrónico, basado en microcontrolador, para controlar la velocidad de los motores de grandes máquinas de estirado de hilo en una fábrica de bobinas industriales de hilo de nylon. Este proceso de estirado es muy importante pues determina las características del hilo.

El microcontrolador debía generar las referencias de velocidad adecuadas para las etapas de potencia, junto con las señales de inicio y parada. La configuración requería cables largos para conectar la máquina y el sistema de control. Cuando el prototipo se instaló en la planta industrial, no funcionaba correctamente más allá de unos pocos minutos. El microcontrolador parecía perder su secuencia normal y el proceso se paraba o no era correcto. Se determinó que el problema era el ruido que entraba a través de los largos cables de E/S. Finalmente, pudo solucionarse gracias a un optoacoplamiento de dos etapas.

V. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se ha presentado una lista de casos prácticos de CEM que permiten enlazar conceptos teóricos con problemas reales e incluyen actividades para los estudiantes. Se han estructurado de una manera uniforme para ser usados por diferentes asignaturas.

Las primeras experiencias en el uso de los casos han sido positivas. Una encuesta se realizó en una de las asignaturas analizadas, Diseño Electrónico. Se preguntó a los estudiantes sobre su desacuerdo o acuerdo en una escala de 1 a 5 con estas afirmaciones: a) Los casos mejoran la comprensión de la CEM (media 4.5); b) Están más motivados gracias a los casos (media 4.25), c) Se necesitarían más casos (media 3.75). Los resultados confirman que los estudiantes apreciaron los casos como un elemento motivador y de mejora. Sin embargo, las asignaturas que fueron originalmente usadas en este trabajo han desaparecido en el proceso de Bolonia. Además, los autores han estado preparando nuevas asignaturas en los grados desde el inicio de su trabajo con CEM. Por tanto, una evaluación en profundidad del material presentado está todavía por realizar.

Finalmente, es conveniente resaltar que el documento con los casos prácticos está accesible en internet [18]. Por tanto, otros profesores pueden usarlo y mejorarlo en cualquier asignatura en la que se requieran conocimientos de CEM. Más aún, aunque los casos se han pensado para docencia, pueden ser usados por profesionales trabajando en el campo de la Electrónica.

REFERENCIAS

- [1] F. Arcega, A. López, J.J. Marcuello, C. Medrano, I. Plaza, T. Pollán, P. Ramos, A. Salinas (2007), Analysis of Electromagnetic Compatibility Teaching in Some Technical Engineering Degrees, EAEEIE Annual Conference, Innovation in Education For Electrical and Information Engineering, Praga.
- [2] A. López, J.J. Marcuello, I. Plaza, C. Medrano, P. Ramos, A. Salinas, Compatibilidad Electromagnética. Conceptos básicos, Universidad de Zaragoza, 2007, ISBN 978-84-690-9535-5.
- [3] Diseño curricular de asignaturas en los ámbitos de la Electrónica y la Electricidad: aplicación del método del caso para la mejora de la docencia práctica de Compatibilidad Electromagnética, PIIDUZ 2008-3, Convocatorias de Innovación Docente 2008-2009 de la Universidad de Zaragoza.
- [4] C. Varela, J. Bilbao, O. García, M. Rodríguez, E. Bravo (2011) Active Methodologies In Higher Education And The Opinion Of Students. International Conference. The future of education. Florence (Italy).
- [5] A. Hirumi. (2002) Student-Centered, Technology-Rich Learning Environments (SCenTRLE): Operationalizing Constructivist Approaches to Teaching and Learning. Journal of Technology and Profesor Education 10(4), págs. 497-537.
- [6] H.W. Ott (1988), Noise reduction techniques in electronic systems, John Wiley & Sons, Second Edition.
- [7] C. R. Paul (2006), Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, Second Edition.
- [8] M. I. Montrose (1999), EMC and the Printed Circuit Board: design, theory and layout made simple, John Wiley & Sons.
- [9] M. I. Montrose, E.M. Nakauchi (2004), Testing for EMC compliance, John Wiley & Sons.
- [10] Telemecanique (2004), Grounding and electromagnetic compatibility of PLC systems. Basic principles and measures. User's manual. Schneider Electric.
- [11] J. Balcells, F. Daura, R. Esparza, R. Pallás (1991), Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos, Marcombo.
- [12] J.L. Sebastián (1999), Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética, Addison-Wesley.
- [13] J. Pere (2006), Compatibilidad Electromagnética, Marcombo.
- [14] EMC Education Manual (1992), Education Committee, IEEE EMC Society. Available on <http://www.emcs.org/pdf/EMCman.pdf>, última visita en enero de 2012.
- [15] Y. Zhao, K. Y. See (2004), A practical approach to EMC education at the undergraduate level, IEEE Transactions on Education, 47 (4), pp. 424-429.
- [16] <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?&isnumber=4527042>, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility.
- [17] <http://www.compliance-club.com/>, web page of 'The EMC Journal', última visita en enero de 2012.
- [18] F. Arcega, A. López, C. Medrano, I. Plaza, T. Pollán (2012), Casos prácticos de Compatibilidad Electromagnética, available at http://www.unizar.es/eduqtech/Noticias_doc/casos_practicos EMC_A4_v4.pdf.
- [19] Minimizing ground bounce and Vcc Sag, Altera White paper, available in http://www.altera.com/literature/wp/wp_grndbnce.pdf, última visita en enero de 2012.

Carlos Medrano (doctor en Físicas 1998) es Profesor Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Universidad de Zaragoza. Desde 2005 colabora con el grupo EduQTech, donde desarrolla sus proyectos de innovación docente en temas relacionados con calidad en la universidad y uso de software libre para educación.

Francisco J. Arcega (M'76-SM'05) nació en Caspe (Zaragoza). Es licenciado en Físicas en 1976 y doctor en Físicas en 1981 por la Universidad de Zaragoza. En 1976 entró en el Departamento de Electrónica de la Universidad de Zaragoza y desde 1982 está en el Departamento de Ingeniería Eléctrica donde es actualmente Catedrático de Escuela Universitaria. Sus principales líneas de investigación son las medidas eléctricas y su aplicación en la industria. También está interesado en calidad en educación y en las actividades de laboratorio. Es el codirector de grupo universitario EduQTech, dedicado a la investigación y uso de calidad en educación y tecnología.

El Dr Arcega ha sido director del Departamento de Ingeniería Eléctrica y posteriormente director de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza (EUITIZ) en la Universidad de Zaragoza. Es miembro de la directiva del Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE.

Ha publicado numerosos artículos en educación e Ingeniería Eléctrica, principalmente en aspectos relacionados con calidad y medidas. Ha publicado un libro sobre sensores y otro sobre metrología.

Ana M^a López (doctora en Físicas 2001) lleva a cabo su labor docente en la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel, Universidad de Zaragoza, desde el año 2000. Perteneció al grupo de Tecnologías de las Comunicaciones y sus líneas de investigación son el procesado de señal y la identificación por radiofrecuencia. También está desarrollando la implementación de sistemas de e-learning en organizaciones privadas.

Inmaculada Plaza (M'02-SM'06) recibió la licenciatura en Físicas (1994), el Diploma de Estudios Avanzados (DEA) en Diseño y Fabricación (2001) y el doctorado en Ingeniería Electrónica (2005) todo ello por la Universidad de Zaragoza. Ha sido consultora de calidad y mando directivo en una empresa de seguridad. Actualmente, es Profesora Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. en la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel. Sus intereses investigadores incluyen calidad en actividades de I+D+i, calidad de vida y calidad en educación. Junto con el Dr. Francisco Arcega, coordina el grupo EduQTech. También es la presidenta del Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE.