

Aplicación del método Feature Selective Validation al análisis de fenómenos transitorios

Oriol Ventosa⁽¹⁾, Ricardo Jauregui⁽¹⁾, Ferran Silva⁽¹⁾.

oriol.ventosa@gmail.com, ricardo.jauregui@upc.edu, ferran.silva@upc.edu.

⁽¹⁾ Departament d'Enginyeria Electrònica (DEE), Grup de Compatibilitat Electromagnètica (GCEM), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). C/ Jordi Girona n°3 Campus Nord, edifici C4, Barcelona.

Resumen- In recent years, there has been an increased requirement for validation of computer simulation and electromagnetic modelling. During the development and implementation of new simulation methods it is useful, if not essential, to verify the appropriate modelling and simulation by comparison with appropriate measures. However, few studies are using an objective validation method to quantify the quality of their results. This paper presents the comparison between measurements and simulations using the W-FSV validation method. Specifically, the study used the validation method for analyzing and quantifying the quality of the mesh in the method of finite differences in time domain when a transient disturbance appears.

I. INTRODUCCIÓN

Recientes estudios han demostrado que los sistemas de comunicación digitales son altamente susceptibles al ruido impulsivo (o señales electromagnéticas transitorias no deseadas) [1][2]. Este tipo de señales pueden ser generadas por descargas electrostáticas, atmosféricas, o la activación de motores y cargas inductivas.

Una nueva alternativa para el análisis de este tipo de señales son los métodos numéricos. Gracias al notable incremento de las capacidades de cálculo de los ordenadores, los métodos numéricos se han ido implantando en el mundo de las comunicaciones así como en otras disciplinas.

Aunque las simulaciones obtenidas a partir de los métodos numéricos no permitan prescindir absolutamente de los métodos de medición tradicionales, sí suponen un significativo ahorro de recursos, de ahí su gran importancia. Sin embargo, durante el desarrollo y aplicación de nuevos métodos de simulación, es útil, si no imprescindible, corroborar el buen modelado y especificaciones de las simulaciones mediante la comparación con las medidas experimentales oportunas. Este proceso de validación permite cuantificar las diferencias presentes en el proceso de simulación.

Hasta ahora el proceso de comparación de resultados ha sido realizado a ojo desnudo por ingenieros expertos, pero dada la creciente simplicidad de uso de los programas de simulación, cada día es más complicado realizar esta tarea. Para solventar esta desventaja, al mismo tiempo que uniformizar criterios y conseguir que la observación sea independiente del observador, se han desarrollado múltiples métodos de validación. Entre los más destacados

encontramos: la correlación de Pearson, los cuadrados mínimos, IELF y FSV, entre otros [3].

Dado que las propiedades de las señales a comparar son de naturaleza distinta y las características de principal interés dependen en gran medida del campo al que pertenezcan dichas señales, parece insensato intentar realizar cualquier validación con un mismo método. En el caso particular de las señales transitorias, estudios anteriores [4], demostraron que el método que se aproxima más a la opinión de los expertos es el Weighted Feature Selective Validation method (W-FSV).

En este trabajo se aplica el método W-FSV para comparar los resultados de simulaciones y medidas del efecto de las perturbaciones transitorias en los sistemas de comunicación de un vehículo.

Para poder razonar la conveniencia de este método, en primer lugar se hará una pequeña introducción al método FSV “tradicional” y se mostrarán los puntos clave que lo hacen inapropiado para el caso que nos ocupa.

II. MÉTODO FSV (FEATURE SELECTIVE VALIDATION)

El método Feature Selective Validation, al que nos referiremos como FSV “tradicional”, fue desarrollado por Anthony Martin y Alistair Duffy en 1999 [5][6] y cabe mencionar que actualmente es un estándar del IEEE [7].

El método FSV se basa en la descomposición de los datos a comparar en dos componentes. Por un lado se calcula la diferencia en amplitud (Amplitude Difference Measure, ADM), y por el otro se calcula la diferencia de forma (Feature Difference Method, FDM). Estos dos resultados se recombinan para ofrecer una comparación global (Global Difference Measure, GDM). Las ecuaciones para estos cálculos son las siguientes:

$$ADM_{(i)} = \frac{(|Lo_1(i)| - |Lo_2(i)|)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (|Lo_1(j)| + |Lo_2(j)|)} + ODM_{(i)} \cdot e^{ODM_{(i)}} \quad (1)$$

$$ODM_{(i)} = \frac{(|DC_1(i)| + |DC_2(i)|)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (|DC_1(j)| + |DC_2(j)|)} \quad (2)$$

$$FDM_{1(i)} = \frac{(|Lo_1'(i)| - |Lo_2'(i)|)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (|Lo_1'(j)| + |Lo_2'(j)|)} \quad (3)$$

$$FDM_{2(i)} = \frac{(|Hi_1'(i)| - |Hi_2'(i)|)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (|Hi_1'(j)| + |Hi_2'(j)|)} \quad (4)$$

$$FDM_{3(i)} = \frac{(|Hi_1''(i)| - |Hi_2''(i)|)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (|Hi_1''(j)| + |Hi_2''(j)|)} \quad (5)$$

$$FDM_{(i)} = 2 \left(|FDM_{1(i)} + FDM_{2(i)} + FDM_{3(i)}| \right) \quad (6)$$

$$GDM_{(i)} = \sqrt{ADM_{(i)}^2 + FDM_{(i)}^2} \quad (7)$$

Dónde:

DC son las componentes de muy baja frecuencia;
Lo son las componentes de baja frecuencia;
Hi son las componentes de alta frecuencia;
Notar que las primas y dobles primas indican las derivadas.

A través de estas ecuaciones el método FSV es capaz de evaluar y reflejar, cuantitativamente, la similitud entre dos señales analizadas. Estos resultados corresponderían a la opinión de un grupo de expertos, basándose en criterios objetivos.

Otra poderosa herramienta que incorpora este método es la posibilidad de evaluar los resultados de forma cualitativa. Para ello se han dividido los resultados en seis rangos, desde muy bueno hasta muy malo, tal y como se observa en la tabla 1:

Valores de XDMc (X=A,F,G)	
$XDMc \leq 0.1$	Excelente
$0.1 \leq XDMc \leq 0.2$	Muy bueno
$0.2 \leq XDMc \leq 0.4$	Bueno
$0.4 \leq XDMc \leq 0.8$	Razonable
$0.8 \leq XDMc \leq 1.6$	Malo
$1.6 \leq XDMc$	Muy malo

Tabla 1: correspondencia entre valores cuantitativos y cualitativos

III. FSV EN TRANSITORIOS

Todo transitorio puede ser descompuestos en tres regiones: *pre-evento*, *evento* y *post-evento*, siendo el evento la parte de la señal donde se encuentra la mayor parte de la energía.

Dado que la duración del *evento* es mucho menor que la de la señal completa, esta zona, aun siendo la más representativa, tendrá poca relevancia en la comparación realizada por el método FSV "tradicional". Por otro lado, pre y *post-evento*, al tener una duración mucho mayor, tendrán más peso. Además, como consecuencia de que su amplitud es mucho menor que la del evento, los resultados de la comparación de amplitud en estas zonas serán excesivamente optimistas. Siguiendo este razonamiento, se llegó a la conclusión de que el método FSV "tradicional" no era adecuado para comparar señales transitorias [9]. Sin embargo, aplicando las correctas modificaciones al método "tradicional", se pueden llegar a obtener comparaciones mucho más cercanas a la opinión de los expertos [4].

Estos cambios consisten en analizar cada una de las tres zonas por separado, y ponderar convenientemente los resultados de cada una de ellas. Este método es conocido como Weighted Feature Selective Validation (W-FSV) [10].

El primer paso del W-FSV es concretar cómo se van a diferenciar las regiones. La metodología utilizada se explica a continuación en tres pasos:

- Una vez eliminado el offset de ambas señales, se buscará el máximo de cada una de ellas y se retrocederá hasta encontrar una amplitud inferior al 5% del máximo. El límite entre pre-evento y evento vendrá determinado por el instante más temprano de los dos obtenidos.
- El evento será el tramo inmediatamente posterior al pre-evento, y que contenga el 65% de la energía de la señal. Si este tramo no coincide para ambas señales, se cogerá el de mayor duración.

- Finalmente, el post-evento será la región posterior al evento, y podrá tener una duración máxima de hasta cuatro veces la duración del evento.

Teniendo bien definidos los tres tramos, se puede proceder a aplicar el método FSV a cada uno de ellos. Para combinar los tres resultados se ponderarán con pesos de: 5% para el *pre-evento*, 70% para el *evento* y 25% para el *post-evento* tal como se concluye en otros trabajos [10].

IV. APLICACIÓN DEL MÉTODO W-FSV A LA OPTIMIZACIÓN DEL MALLADO EN SIMULACIONES

Uno de los parámetros más relevantes a la hora de utilizar un método numérico es el mallado. En general, cuanto más refinado sea el mallado, más exactos serán los resultados, pero también se incrementará el coste computacional de la simulación. Este compromiso es de gran importancia, y es por ello que merece ser tratado en detalle. A continuación se mostrará un caso práctico donde se han realizado dos simulaciones previas, con distinto mallado, y se han comparado con la medida real. A partir de la comparación entre simulaciones y medida, se optará por el mallado que ofrezca un mejor compromiso tiempo/calidad para realizar el lote de simulaciones.

A. Modelo

El modelo a simular es un vehículo (Seat Córdoba) atravesado (Fig. 1), de la parte trasera a la frontal, por un cable, y un monopolo (M2) en el techo. Con la intención de simplificar la simulación y sin perder validez, se han eliminado las partes no metálicas del modelo (tanto del real como del simulado), así que solamente se tendrá en cuenta el chasis del vehículo.

La situación planteada no es caprichosa. Los fenómenos transitorios son más frecuentes en cables de alimentación que en monopolos o circuitos electrónicos. Concretamente, en automóviles, estos fenómenos pueden ser consecuencia del arranque del motor. Por otro lado, las antenas situadas en el propio coche (representadas por el monopolo) se pueden ver gravemente afectadas por la radiación de los transitorios, ya que, como se ha expuesto anteriormente, los sistemas digitales son muy sensibles a este tipo de señales.



(a)

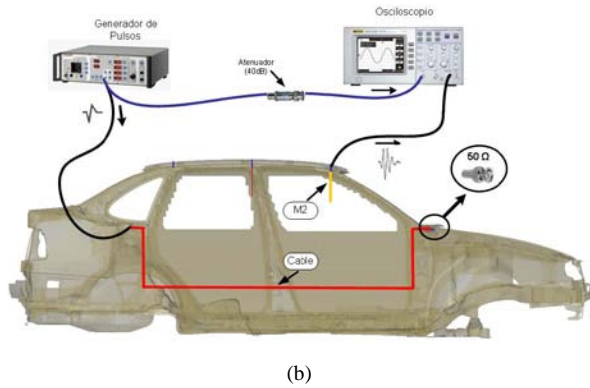


Fig. 1. (a) Modelo real; (b) Modelo simulado

El cable, en forma de U, tiene una longitud de 2,9 m y está terminado por resistencias de 50Ω a sus extremos. Su tramo recto más largo es de 1,865 m. El monopolo tiene una longitud de 200 mm y un ancho de 1,25 mm. Este se encuentra orientado perpendicularmente a la dirección del cable, tal como se observa en la figura 1b. El osciloscopio utilizado fue un Agilent DSO 6034a. El generador de pulsos es el modelo SFT 1400 de Schölder, y con él se ha conseguido un transitorio de, aproximadamente, 1 KV de amplitud (Fig 2). Con dicha señal se logra tener un acoplamiento en la antena fácilmente medible con el osciloscopio.

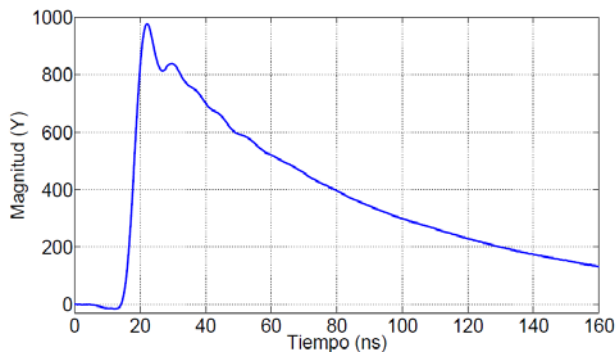


Fig. 2. Pulso transitorio aplicado

B. Simulaciones

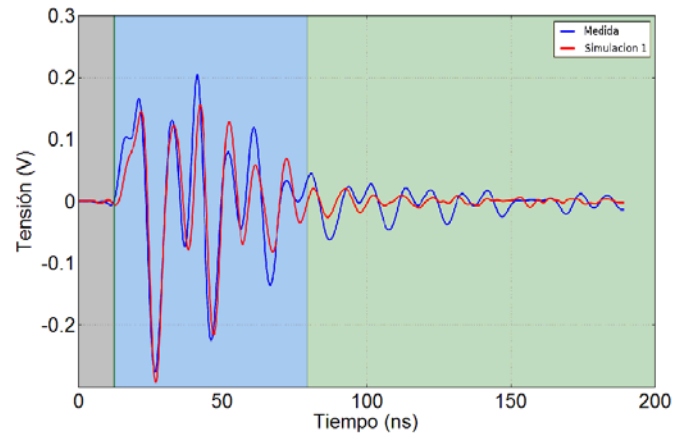
Las simulaciones se han llevado a cabo mediante el software SEMCAD X basado en FDTD (Finite Difference Time Domain) [11]. Como su nombre indica, es un método que trabaja en el dominio del tiempo, lo cual es primordial para el tratamiento del tipo de señales que nos ocupan. Una vez dispuesto el modelo virtual a simular, se ha procedido al mallado de dicho modelo. Se han realizado dos mallados distintos que dan lugar a las dos simulaciones:

- **Simulación 1:** mallado *uniforme* con un tamaño de celda de 10 mm. Genera 37.6 MCell. Ha requerido 3 horas de simulación.
- **Simulación 2:** mallado *progresivo* con un tamaño de celda entre 0.1 mm y 50 mm. Da lugar a un total de 15.8 MCell (*millones* de celdas). El tiempo empleado en esta simulación han sido 24 minutos.

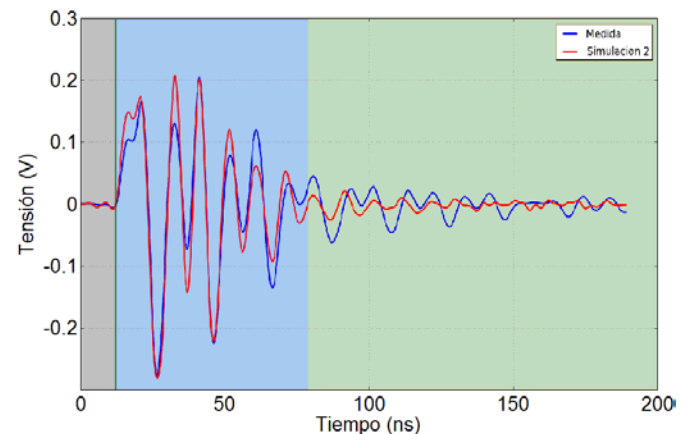
Para realizar estas simulaciones se ha utilizado un ordenador con 16 GB de memoria RAM y un procesador de 8 núcleos de 3.33 GHz (Intel® Core™ i7), con una tarjeta gráfica (NVIDIA Quadro FX 5800) que permite procesar aproximadamente 350 MCell/s.

V. RESULTADOS

Los resultados de las dos simulaciones son los que se muestran gráficamente a continuación (Fig. 3). Para facilitar la comparación visual, se han superpuesto cada una de las simulaciones con la medida. Se puede apreciar en ambas gráficas como la división de la señal en tres zonas corresponde a la descripción hecha anteriormente de *pre-evento*, *evento* y *post-evento*. La primera región corresponde al tiempo de propagación desde la entrada del cable hasta la antena. La segunda región es la que contiene la mayor parte de la energía de la señal. Finalmente, la tercera región contiene la señal debida a las múltiples reflexiones con menor energía.



(a)



(b)

Fig. 3. (a) Comparación entre medida y simulación 1; (b) Comparación entre medida y simulación 2

Como se puede observar en las dos gráficas de la Fig. 3, los resultados de las dos simulaciones tienen un comportamiento parecido a la medida. A grandes rasgos se aprecia en la Fig. 3 (a) que, durante la mayor parte del evento, la amplitud de la primera simulación es menor que la de la medida. Por otro lado, en la simulación 2, aparentemente esta tendencia se invierte. En la Fig. 3 (b) se observa que, durante la mayor parte del evento, la amplitud de medida queda por debajo de la amplitud de la segunda simulación. A parte de estas observaciones generales, parece difícil evaluar las diferencias entre simulaciones y medida. Aun más complicado es encontrar una cuantificación objetiva de la similitud entre los pares de señales estudiadas compartida por varias personas.

Para obtener una comparación objetiva de los resultados de la Fig. 3, se ha procedido a evaluar los datos mediante el método W-FSV. A través de este método es posible realizar un análisis objetivo y evaluar cual de las dos configuraciones en más adecuada.

Para la aplicación del W-FSV se han asignado los pesos a cada una de las tres zonas y posteriormente se ha calculado el valor total del FSV. Los cálculos del FSV han sido realizados con la ayuda del software FSV de GCEM [12]. En la tabla 1 se puede observar los resultados de cada uno de los indicadores (cualitativo y cuantitativo) obtenidos para cada una de las configuraciones.

	<i>Simulación 1</i>		<i>Simulación 2</i>	
ADM_{tot}	0.311	Bueno	0.253	Bueno
FDM_{tot}	0.442	Razonable	0.335	Bueno
GDM_{tot}	0.602	Razonable	0.474	Razonable

Tabla 2. Resultados totales W-FSV

Analizando los indicadores calculados por el método W-FSV (Tabla 1), se puede ver que, globalmente, ambas simulaciones se parecen razonablemente a la medida (GDM_{tot} = Razonable). Sin embargo, el valor numérico de GDM_{tot} es menor para la simulación 2 (0.474 frente a 0.602), por lo tanto se puede afirmar que esta simulación posee una similitud mayor con la medida.

Esta diferencia respecto a la medida es causada principalmente por la complejidad del modelo y por las desigualdades que existen en el mallado de ambos modelos. Para la primera configuración el monopolo es mallado con un grosor de 10 mm, mientras que en la segunda simulación, el monopolo es mallado con 1,25 mm. En particular, este tipo de mallado permite realizar mallados más minuciosos en zonas críticas como los monopolos, fuentes y cargas del modelo. Estas mejoras hacen que los resultados de la simulación 2 sean más cercanos a las medidas.

Estudiando con mayor detenimiento los indicadores de amplitud y forma, ADM_{tot} y FDM_{tot} respectivamente, se observa que la mayor diferencia se encuentra en el indicador de forma (FDM_{tot}). Sin la ayuda de un método de validación, sería muy difícil, por no decir imposible, percibir estas sutiles diferencias entre ambas configuraciones. Aún más, si se observa el indicador cualitativo del indicador FDM se puede ver que estas pequeñas variaciones a lo largo de toda la señal, causan que este indicador cambie de intervalo entre una configuración y otra (Simulación 1 = Razonable, Simulación 2 = Bueno).

Por último, para el indicador ADM se puede ver que ambas simulaciones obtienen valores buenos. A pesar de ello, la segunda simulación ofrece mejor comportamiento en amplitud que la primera (0.253 frente a 0.311). Nuevamente, es la capacidad del mallado progresivo para adaptarse mejor a las zonas más pequeñas y críticas del modelo, que permite obtener unos resultados más cercanos a la realidad (medida) para la simulación 2.

Al inicio de este experimento podría haberse pensado que la mejor configuración correspondería al mallado uniforme, ya que con este tipo de mallado se disminuyen los errores numéricos y se garantiza la uniformidad de campo entre celdas. Sin embargo una vez evaluado cada uno de los indicadores, no hay duda que la mejor configuración es la correspondiente a la simulación 2. Esta simulación no sólo

obtiene los mejores resultados en cada uno de los indicadores del W-FSV, sino además tarda menos tiempo en llevarse a cabo (24 min).

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se pudo observar, a través de un ejemplo real, la necesidad e importancia que tiene el elegir un método adecuado de validación. En este caso se ha utilizado el método W-FSV, el cual permitió realizar una cuantificación de los resultados y escoger la configuración más adecuada de la forma más objetiva posible.

Cabe señalar que el método presentado se puede utilizar no sólo para validar los métodos numéricos y simulación, su uso puede extenderse a otras áreas que requieren una comparación cuantitativa de datos complejos.

VII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Ministerio de Ciencia e Innovación español bajo el proyecto DPI2010-16093 ("Sondas para la medida simultánea de campos eléctricos y magnéticos de alta intensidad en campo cercano y en el dominio el tiempo").

VIII. REFERENCIAS

- [1] S. Velasco, S. Verdaguer, M. Fernández, and F. Silva, "Time domain ambient interference analysis," *EMC Europe 2007 Paris Francia*, 2007.
- [2] I.E. Portuguese, P.J. Moore, I.A. Glover, and R.J. Watson, "A Portable Wideband Impulsive Noise Location System," vol. 57, 2008, pp. 2059-2066.
- [3] R. Jauregui and F. Silva, *Numerical Simulations (Chapter 5)*, Intech, 2011.
- [4] R. Jauregui, J. Rojas-Mora, and F. Silva, "Study of transient phenomena with Feature Selective Validation Method," *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, 2011, pp. 2-6.
- [5] A.P. Duffy, A.J.M. Martin, A. Orlandi, G. Antonini, T.M. Benson, and M.S. Woolfson, "Feature selective validation (FSV) for validation of computational electromagnetics (CEM). part I-the FSV method," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, vol. 48, 2006, pp. 449-459.
- [6] A. Orlandi, A.P. Duffy, B. Archambeault, G. Antonini, D.E. Coleby, and S. Connor, "Feature selective validation (FSV) for validation of computational electromagnetics (CEM). part II-assessment of FSV performance," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, vol. 48, 2006, pp. 460-467.
- [7] Standard IEEE, "IEEE 1597.1 Standard for Validation of Computational Electromagnetics Computer Modeling and Simulations," Jun. 2008.
- [8] A. Martin, "Feature Selective Validation," De Montfort University, 1999.
- [9] P. Riu, R. Jauregui, and F. Silva, "Transient Electromagnetic Field Computation in Automotive Environments using FDTD," *2007 IEEE EMC Symposium, USA*, 2007.
- [10] R. Jauregui, F. Silva, A. Orlandi, H. Sasse, and A. Duffy, "Factors influencing the successful validation of transient phenomenon modelling," *Asia-Pacific Electromagnetic Compatibility Symposium and Technical Exhibition. Beijing, 2010.*, 2010, pp. 2-5.
- [11] Schmid & Partner Engineering AG (SPEAG), "SEMCAD. <http://www.SEMCAD.com>," 2000.
- [12] GCEM, "Grup de Compatibilitat Electromagnética. <http://www.upc.edu/web/gcem/>."