

# Caracterización de los conectores SMA de una línea de transmisión a través de sus parámetros S

Santiago Isaac Rodríguez-Rojas<sup>1</sup>  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
[sirodriguezr@unal.edu.co](mailto:sirodriguezr@unal.edu.co)

Johan Sebastián Sánchez-Choachí<sup>2</sup>  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
[jssanchezc@unal.edu.co](mailto:jssanchezc@unal.edu.co)

Jorge Andrés Romero-Noguera<sup>3</sup>  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
[jaromeron@unal.edu.co](mailto:jaromeron@unal.edu.co)

Miguel Ángel Saavedra-Melo<sup>4</sup>  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
[masaavedram@unal.edu.co](mailto:masaavedram@unal.edu.co)

**DOI:** <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2615>

**Fecha de recepción:** 12 de marzo de 2020

**Fecha de aprobación:** 25 de junio de 2020

**Cómo citar este artículo:** Rodríguez-Rojas, S. I.; Sánchez-Choachí, J. S.; Romero-Noguera, J. A.; Saavedra-Melo, M. A. (2020). Caracterización de los conectores SMA de una línea de transmisión a través de sus parámetros S. *Revista Ontare*, 8, 31-48. **DOI:** <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2615>

<sup>1</sup> Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6436-097>

<sup>2</sup> Físico e ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Magister en Ingeniería Electrónica de la de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1945-5975>

<sup>3</sup> Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6478-3153>

<sup>4</sup> Ingeniero eléctrico y electrónico de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Magister en Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8832-9892>







# RESUMEN

En este documento se presentan el análisis y los resultados relevantes relacionados con la caracterización de los conectores SMA acoplados a una línea de transmisión de  $50 \Omega$ . Dicha caracterización se llevó a cabo utilizando un analizador de espectros FSH8 Rohde & Schwarz, con el cual se midieron dos de sus parámetros S y se compararon con el comportamiento en simulación de la línea con y sin los conectores. El error relativo obtenido en cada caso evidencia algunos de los efectos encontrados por la influencia de los conectores y permite realizar un acercamiento al comportamiento esperado en este tipo de implementación. Por otra parte, también se puede concluir que los conectores SMA aportaron un corrimiento en frecuencia de la resonancia de la línea, así como un cambio en su atenuación, también se puede establecer que una calibración adecuada y completa de los puertos del equipo que se utilice en mediciones en altas frecuencias es fundamental para la obtención de resultados correctos y para descartar fuentes de eventuales errores. De igual forma, es viable reproducir desde la simulación los principales efectos que pueden tener los conectores utilizados en una medición de radiofrecuencia. Finalmente, dado que cada conector aporta errores particulares imposibles de predecir con certeza, es necesario el uso de técnicas de procesamiento adicionales que permitan minimizar estos errores.

**Palabras clave:** estructura electromagnética; filtrado en el dominio del tiempo; caracterización de conectores SMA; simulaciones de línea de transmisión; parámetros S.





## Characterization of the SMA connectors in a transmission line through its S-parameters

# ABSTRACT

This document presents the analysis and relevant results related to the characterization of the SMA connectors coupled to a  $50 \Omega$  transmission line. The characterization was carried out by using a Rohde & Schwarz FSH8 spectrum analyzer, with which two of its S-parameters were measured and then compared with the simulation behavior of the line, with and without the connectors. The relative error obtained in each of the cases evidences some of the effects that were encountered due to the influence of the connectors, and enables a closer approach to the expected behavior in this type of implementation. On the other hand, it can also be concluded that the SMA connectors contributed to a frequency shift of the resonance of the line, as well as a change in its attenuation. It can also be established that an adequate and complete calibration of the ports in the equipment that is used for measurements in high frequency is fundamental to obtain correct results and to discard sources of possible errors. Similarly, from the simulation, it is feasible to reproduce the main effects that the connectors used in the measurement of a radio frequency can have. Finally, given that each connector contributes particular errors that are impossible to predict with certainty, it is necessary to use additional processing techniques that allow these errors to be minimized.

**Keywords:** electromagnetic structure; time domain filtering; SMA connector characterization; transmission line simulations; S parameters.





## Caracterização dos conectores SMA de uma linha de transmissão através de seus parâmetros S

# RESUMO

Neste documento apresentam-se a análise e os resultados relevantes relacionados com a caracterização dos conectores SMA acoplados a uma linha de transmissão de 50  $\Omega$ . Esta caracterização realizou-se utilizando um analisador de espectros FSH8 Rohde & Schwarz, com o qual se mediram dois de seus parâmetros S e se compararam com o comportamento em simulação da linha com e sem os conectores. O erro relativo obtido em cada caso evidencia alguns dos efeitos encontrados pela influência dos conectores e permite realizar uma aproximação ao comportamento esperado neste tipo de implementação. Por outra parte, também pode ser concluído que os conectores SMA contribuíram com um deslocamento na frequência da ressonância da linha, bem como com uma mudança em seu enfraquecimento. Também se pode estabelecer que uma calibração adequada e completa das portas do equipamento que se utilize em medidas de altas frequências é fundamental para a obtenção de resultados corretos e para descartar fontes de eventuais erros. Da mesma maneira, é viável reproduzir a partir da simulação os principais efeitos que podem ter os conectores utilizados em uma medida de radiofrequência. Finalmente, dado que a cada conector gera erros particulares impossíveis de prever com segurança, é necessário o uso de técnicas de processamento adicionais que permitam minimizar estes erros.

**Palavras-chave:** estrutura eletromagnética; filtrado no domínio do tempo; caracterização de conectores SMA; simulações de linha de transmissão; parâmetros S.





## Caractérisation des connecteurs SMA d'une ligne de transmission au travers des paramètres S

# RÉSUMÉ

Ce document présente une analyse et les résultats de la caractérisation de connecteurs SMA couplés à une ligne de transmission de  $50 \Omega$ . Cette caractérisation est réalisée à l'aide d'un analyseur de spectre Rohde & Schwarz FSH8 grâce auquel deux des paramètres S ont été mesurés et comparés au comportement simulé de la ligne, avec et sans connecteurs. L'erreur relative obtenue dans chaque cas montre certains des effets constatés dûs à l'influence des connecteurs et permet une approche du comportement attendu dans ce type de processus. Il est ainsi possible de conclure que les connecteurs SMA contribuent à un décalage de fréquence de la résonance de ligne et à une modification de leur atténuation. Un étalonnage complet des ports de l'équipement utilisé dans les mesures à haute fréquence est essentiel pour l'obtention de résultats fiables et comme pour l'élimination de sources d'erreurs potentielles. Il est également possible de reproduire, au travers de simulation, les principaux effets que peuvent avoir les connecteurs utilisés lors des mesures de radiofréquence. Enfin, et étant donné que chaque connecteur contribue à des erreurs particulières ne pouvant être prédites avec certitude, il est conseillé d'utiliser des techniques d'analyses complémentaires minimisant lesdites erreurs.

**Mots clés:** structure électromagnétique; filtrage du domaine temporel; caractérisation des connecteurs SMA; simulations de lignes de transmission; Paramètres S.



## 1. Introducción

Cuando se intenta establecer el comportamiento de una estructura electromagnética en altas frecuencias se presentan efectos que pueden alterar este resultado y que son imposibles de eliminar o de identificar antes de realizar la caracterización en cuestión. Estos efectos se deben, entre otros factores, a aspectos constructivos particulares en cada caso, los cuales generan fenómenos electromagnéticos inesperados.

Para esto existen algunas alternativas de corrección de los datos obtenidos posterior a la calibración, así como la opción de *smoothing* —en algunos equipos de medición—, lo que permite minimizar el ruido asociado a esos fenómenos (Dunsmore, 2012, pp. 38-45). Entre esas alternativas se encuentran las técnicas del filtrado en el dominio del tiempo —*time domain filtering*—, que usan la transformada de Fourier para eliminar los pulsos que no pertenecen al comportamiento de la estructura (Elliott, 2013). En este documento se busca comprobar la presencia de tales efectos y justificar procesos de calibración adicionales. Se presentan los resultados tal cual fueron obtenidos, esto es, sin modificaciones o aproximaciones de ningún tipo.

## 2. Marco conceptual

Dadas las condiciones y el entorno que rodean a un determinado sistema de medición, se introducen perturbaciones que provocan mediciones erróneas. Para esto se requieren técnicas adicionales de procesamiento para extraer las señales «parásitas», dejando solo el fenómeno que se quiere estudiar. En general, existen tres grupos de métodos para la reducción de estas señales: algoritmos de sustracción espectral (Boll, 1979), algoritmos basados en modelos estadísticos (Ephraim y Malah, 1985; McAulay y Malpass, 1980; Sørensen y Andersen, 2007; Srinivasan, Samuelsson y Kleijn, 2007) y algoritmos de subespacio (Dendrinos, Bakamidis y Carayannis, 1991; Ephraim y Van Trees, 1995).

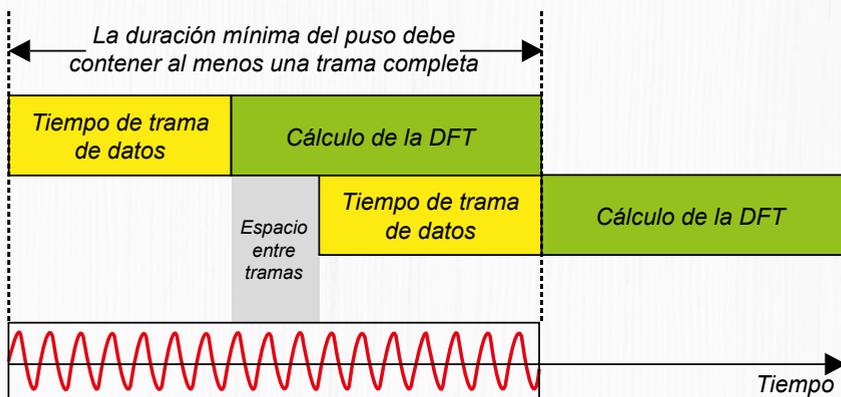




Al referirse específicamente al proceso de filtrado en el dominio del tiempo, este se podría resumir en una secuencia de actividades: la información de frecuencia tomada es transformada al dominio del tiempo; luego, la respuesta en el dominio del tiempo es multiplicada por un filtro que posee una banda, cuyos límites están establecidos de acuerdo con las necesidades del filtrado y, finalmente, la señal resultante es regresada al dominio de la frecuencia (Rytting, 1984).

Para la mayoría de los analizadores de redes, en este proceso la convolución rápida se suele emplear con mayor frecuencia, incluso en algunos casos el procesamiento se realiza en un solo paso empleando una relación espectral (Dunsmore, 2012, pp. 149-151). Sin embargo, el filtro también puede ser generado por una convolución en el tiempo con una función rectangular y una respuesta al impulso limitada a una ventana tipo Kaiser-Bessel (Harris, 1976). Hill (2008), por ejemplo, describe el análisis de espectros en tiempo real, lo cual revela características —en el dominio del tiempo— de señales en el dominio de la frecuencia cuyo procesamiento se requiere a fin de observar y medir eventos transitorios aleatorios sin perder partes de la señal, para la cual utiliza la transformada de Fourier discreta (DFT). En la figura 1 se observa el procesamiento de una FFT (*fast Fourier transform*) con espacios entre las tramas en el analizador; en la Figura 2 se observa el procesamiento con tramas solapadas.

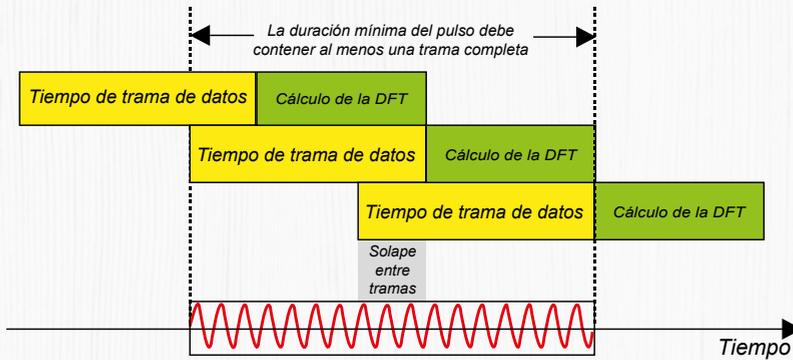
Figura 1. DFT con espacios entre las tramas.



Fuente. Hill, 2008.



**Figura 2.** DFT con tramas solapadas.



**Fuente.** Hill, 2008.

### 3. Método

Para caracterizar los conectores SMA de la línea de transmisión se utilizó un analizador de espectros FSH8 Rohde y Schwarz. Lo primero que se realizó fue la calibración del equipo, la cual se efectuó a través del estándar de calibración SMA con cargas *open*, *short*, *match* y *thru*, tal como se observa en la figura 3. Esta calibración se realizó para el rango de frecuencias de 500 MHz a 3 GHz y solo en el puerto 2 —parámetros S22 y S12—, pues el analizador no permite la calibración de los parámetros asociados al puerto 1.

**Figura 3.** Proceso de calibración del analizador de espectros.



**Fuente.** Elaboración propia.





Finalizado el proceso de calibración se procedió a medir una línea de transmisión, *microstrip*, sobre sustrato Roger RO3003, con  $50 \Omega$  de impedancia característica, 3,78 mm de ancho y 50 mm de largo, junto con una carga *open* y otra *thru* —diferentes a las del estándar de calibración utilizado, ZV-Z135— con la finalidad de verificar el comportamiento del equipo. Los montajes utilizados en cada caso se muestran en la Figura 4.

A fin de analizar con mayor precisión los datos obtenidos, estos se exportaron en magnitud y fase con el propósito de compararlos en conjunto, tal como se observa en las figuras 5 y 6. En los tres casos se observa un comportamiento acorde a lo esperado: para la carga *open* la onda se refleja, mientras que para la carga *thru* y la línea adaptada la onda es transmitida en su mayoría; no obstante, se observan múltiples reflexiones en fase que coinciden con múltiples variaciones de ganancia en magnitud debidas, muy probablemente, a la limitación en la calibración completa del equipo.

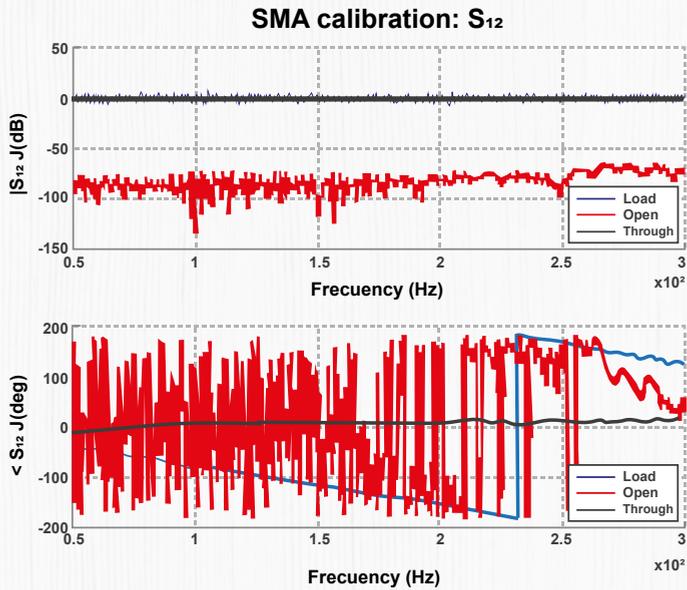
**Figura 4.** Montajes utilizados para la medición de las cargas.

Medición de carga <i>open</i> de dos puertos	 Una fotografía que muestra un sustrato rectangular de color gris claro con una línea de transmisión impresa en su superficie. A cada extremo de la línea se ha conectado un conector SMA macho.
Medición de carga <i>thru</i>	 Una fotografía que muestra un conector SMA macho conectado directamente a un conector SMA hembra, formando un puente de transmisión.
Medición de la línea de transmisión	 Una fotografía que muestra un sustrato rectangular de color gris claro con una línea de transmisión impresa en su superficie. A cada extremo de la línea se ha conectado un conector SMA macho.

Fuente. Elaboración propia.

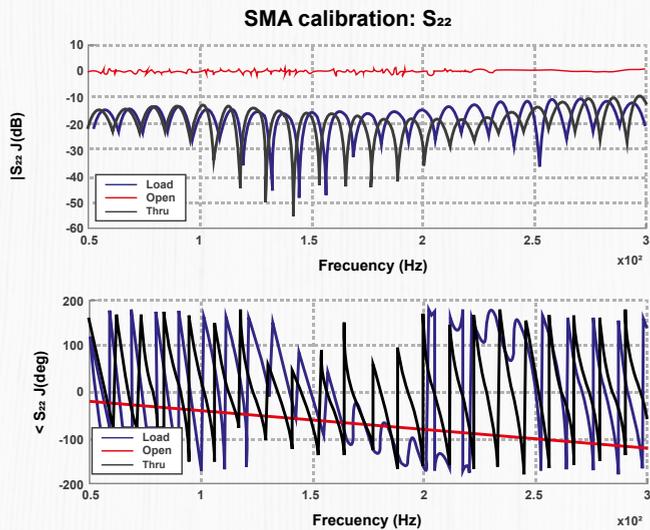


Figura 5. Parámetro S12 de las tres cargas medidas.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 6. Parámetro S22 de las tres cargas medidas.



Fuente. Elaboración propia.



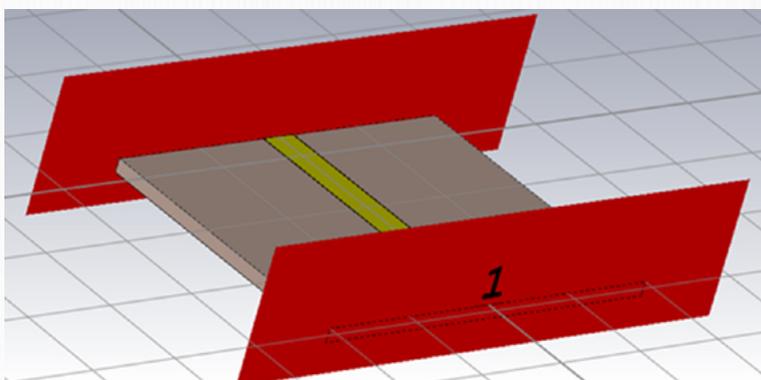


## 4. Análisis y resultados

A fin de estar en capacidad de verificar el efecto de los conectores se llevaron a cabo dos simulaciones de la línea de transmisión: una empleando los conectores en la estructura y otra sin conectores. Estas simulaciones se realizaron en CST Studio Suite® (2014), utilizando la solución electromagnética en el dominio de la frecuencia (*frequency domain solver*) de esta herramienta, con un mallado tetrahedral y realizando un barrido de frecuencias desde 500 MHz hasta 3 GHz, el mismo rango de las mediciones.

Para intentar reproducir en simulación y con la mejor fidelidad todos los efectos que puedan generar los conectores, se modelaron las estructuras de la manera más realista posible: el sustrato utilizado fue Rogers RO3003 con pérdidas —el mismo en el que fue fabricada la línea—. Por su parte, el plano de tierra y la línea se modelaron con cobre y el conector se simuló en latón, con dieléctrico de teflón y puntos de soldadura de estaño. Las fuentes usadas en los puertos fueron ondas planas. La estructura utilizada para la simulación llevada a cabo sin conectores se muestra en la figura 7 y la estructura con conectores en la figura 8; en la figura 9 se detalla el modelo de conector utilizado.

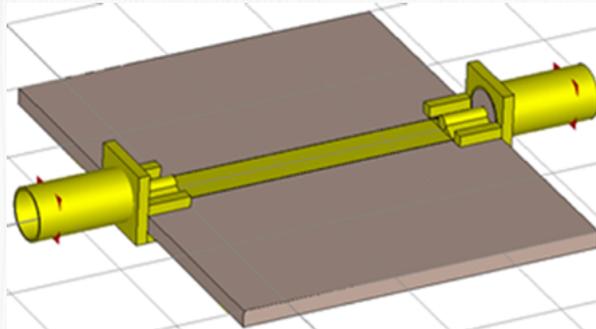
**Figura 7.** Estructura utilizada para simular la línea sin conectores.



**Fuente.** Elaboración propia.

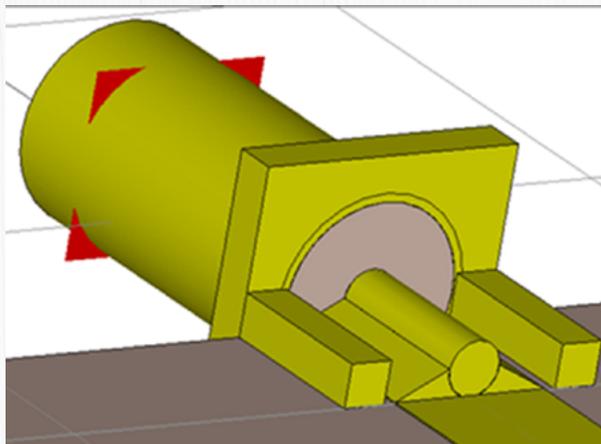


**Figura 8.** Estructura utilizada para simular la línea con conectores.



**Fuente.** Elaboración propia.

**Figura 9.** Modelo de los conectores SMA.



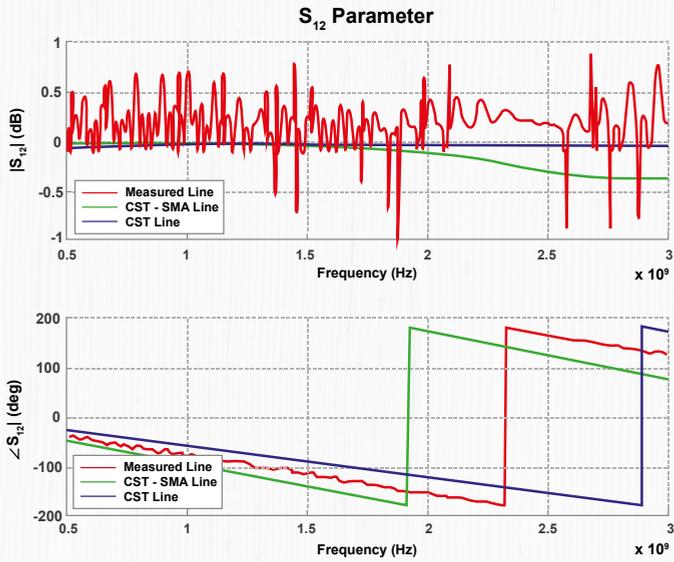
**Fuente.** Elaboración propia.

Luego de llevar a cabo las simulaciones se exportaron los datos —en magnitud y fase— de los parámetros  $S_{22}$  y  $S_{12}$  a fin de compararlos con los obtenidos con el analizador vectorial de redes. Los tres casos para cada parámetro se presentan en las figuras 10 y 11.



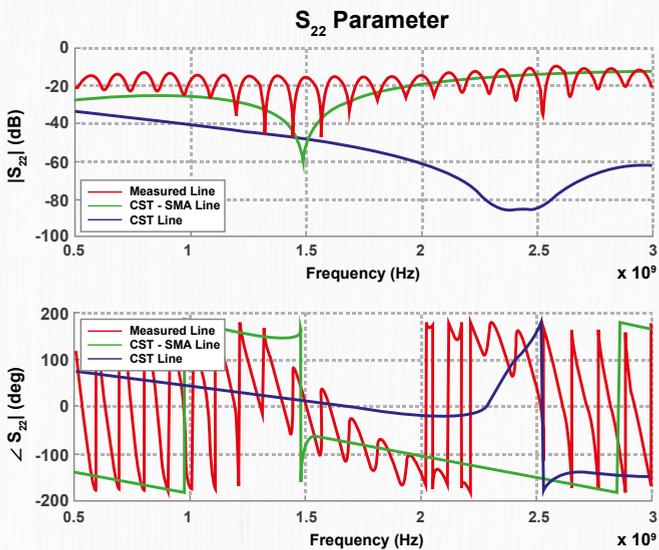


Figura 10. Parámetros S12 simulados y medidos.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 11. Parámetros S22 simulados y medidos.



Fuente. Elaboración propia.



Como era de esperarse, la simulación con conectores SMA es más parecida a las mediciones, mientras que la simulación sin conectores se aleja de ese comportamiento en todos los casos; no obstante, esta última es el escenario más ideal, pues es el que describe el comportamiento esperado de la línea, ya que, por ejemplo, el parámetro S22 tiene un valor inferior a -40 dB para casi todo punto en el ancho de banda estudiado, en el que, además, se presenta un único cambio de fase.

En cuanto al parámetro S12 las diferencias y similitudes mencionadas se hacen más difíciles de apreciar debido a las relativamente grandes variaciones presentes en los datos de la línea medida. En el parámetro S22 el ruido de la medición también hace que el análisis sea complicado, debido a que no se observa una tendencia clara de la señal.

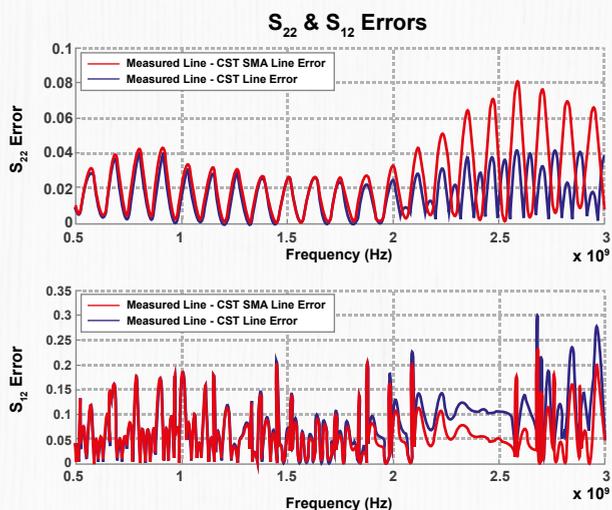
El comportamiento del parámetro S22 medido —al tener en cuenta que por las múltiples reflexiones es el correspondiente al de una línea de transmisión eléctricamente larga— obedece, posiblemente, a factores tales como la longitud de la línea en el rango de frecuencias medido y, en especial, al hecho de que el puerto uno del analizador de espectros no pudo ser calibrado y, por tanto, el cable conectado a este puerto hace que el plano de medición se desplace, por lo que la medida en realidad correspondería a la línea *microstrip* con los conectores SMA y el cable del puerto uno, justificando así el comportamiento de línea larga observado.

En la figura 12 se observan los errores absolutos entre las magnitudes, en escala lineal, de los parámetros medidos y los simulados. Como ya se había visto, para los parámetros S22 es obvia la similitud entre la simulación con conectores y las mediciones; con relación a los parámetros S12 se observa que en la mayor parte del ancho de banda medido los errores son muy pequeños y prácticamente iguales, sin embargo, en algunos valores de frecuencia el error es menor para la comparación entre los datos medidos y la simulación con la línea sin conector SMA que, de nuevo, se debe a las variaciones en los datos de la línea medida.





Figura 12. Errores absolutos entre las simulaciones y la medición realizada.



Fuente. Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

En primer lugar, los conectores SMA aportaron un corrimiento en frecuencia de la resonancia de la línea, así como un cambio en su atenuación y son, posiblemente, responsables de la presencia de ondas evanescentes en la estructura. Por otra parte, se puede establecer que una calibración adecuada y completa de los puertos del equipo que se utilice en mediciones en altas frecuencias es crítica para la obtención de resultados correctos y necesaria a fin de descartar fuentes de eventuales errores. De igual forma, es viable reproducir desde la simulación los principales efectos que pueden tener los conectores utilizados en una medición de radiofrecuencia, desde que sean modelados de manera completa y lo más detallada posible. Finalmente, dado que cada conector —en razón a sus características constructivas únicas y por su disposición en la interfaz con la estructura electromagnética— aporta errores particulares imposibles de predecir con certeza, es necesario el uso de técnicas de procesamiento adicionales que permitan minimizar estos errores.



## Referencias

- Boll, S. (1979). Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 27(2), 113-120. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASSP.1979.1163209>
- Dendrinós, M.; Bakamidis, S.; Carayannis, G. (1991). Speech enhancement from noise: a regenerative approach. *Speech Communication*, 10(1), 45-57. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-6393\(91\)90027-Q](https://doi.org/10.1016/0167-6393(91)90027-Q)
- Dunsmore, J. P. (2012). *Handbook of microwave component measurements: with advanced VNA techniques*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118391242>
- Elliott, D. F. (2013). *Handbook of digital signal processing: engineering applications*. Academic Press.
- Ephraim, Y.; Malah, D. (1985.). Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 33(2), 443-445. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASSP.1985.1164550>
- Ephraim, Y.; Van Trees, H. L. (1995). A signal subspace approach for speech enhancement. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 3(4), 251-266. DOI: <https://doi.org/10.1109/89.397090>
- Harris, F. J. (1976). High-resolution spectral analysis with arbitrary spectral centers and arbitrary spectral resolutions. *Computers & Electrical Engineering*, 3(2), 171-191. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7906\(76\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0045-7906(76)90022-7)
- Hill, T. C. (2008). *Real-time spectrum analysis reveals time domain characteristics of frequency domain signals*. Texto presentado en ARFTG Microwave Measurement Symposium, Portland, OR, USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/ARFTG.2008.4804290>
- McAulay, R.; Malpass, M. (1980). Speech enhancement using a soft-decision noise suppression filter. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 28(2), 137-145. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASSP.1980.1163394>





Rytting, D. (1984). Let time domain response provide additional insight into network behavior. *23rd ARFTG Conference Digest*, (5), 126-138.

DOI: <https://doi.org/10.1109/ARFTG.1984.323583>

Sørensen, K. V.; Andersen, S. V. (2007). Rayleigh mixture model-based hidden markov modeling and estimation of noise in noisy speech signals. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 15(3), 901-917.

DOI: <https://doi.org/10.1109/TASL.2006.885240>

Srinivasan, S.; Samuelsson, J.; Kleijn, W. B. (2007). Codebook-based Bayesian speech enhancement for nonstationary environments. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 15(2), 441-452.

DOI: <https://doi.org/10.1109/TASL.2006.881696>