



De-embedding

*aplicado a la medición de parámetros  $S$*

---

Lab. Metrología RF & Microondas, INTI

Mayo 2011

**Autores:**

- Henze, Alejandro
- Monasterios, Guillermo
- Silva, Hernando
- Tempone, Nicolás

**Datos de contacto:**

- E-mail:  
`metrologiarf@inti.gov.ar`
- Web:  
`http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/metrologiarf`
- Dirección:  
Av. General Paz 5445  
B1650KNA - San Martín  
República Argentina
- Teléfonos:  
(5411) 4724-6200 / 6300 / 6400

## Resumen

*Cuando se desean medir los parámetros de dispersión (también llamados parámetros  $S$ ) de un dispositivo (DUT) de uno o dos puertos, no siempre es posible calibrar al Analizador Vectorial de Redes (VNA) exactamente en el plano de medición. Esto puede deberse a varios motivos, por ejemplo cuando se deben utilizar adaptadores luego de haber realizado la calibración.*

*La técnica de de-embedding se utiliza entonces para remover matemáticamente el efecto de dichos adaptadores, permitiendo trasladar el plano de calibración al plano de medición. Una aplicación posible de este método es la de proteger los conectores más sensibles en un sistema de medición, al no conectar el dispositivo a medir (DUT) directamente en el plano de calibración, sino a través de adaptadores de buena calidad. Otras veces no es posible calibrar directamente con el tipo de conector del DUT, y el uso de adaptadores es obligatorio.*

*El mismo principio se utiliza también extensamente en mediciones coplanares.*

## 1. Introducción

En la Figura 1 se muestra la medición deseada, a partir de la cual es posible obtener los parámetros  $S$  del dispositivo directamente en los planos de calibración P1 y P2.

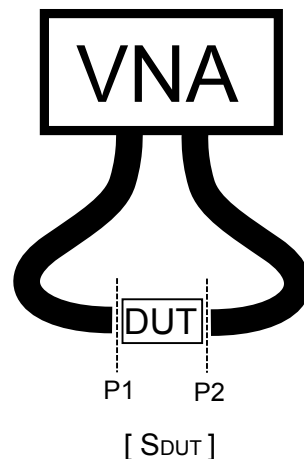


Figura 1: Dispositivo bajo prueba (DUT) medido directamente con un Analizador Vectorial de Redes (VNA)

Para el caso en que sea necesario el uso de adaptadores luego de haber sido realizada la calibración, se presenta el panorama de la Figura 2, donde los planos de calibración son P1 y P2 y los planos de medición son P1' y P2'.

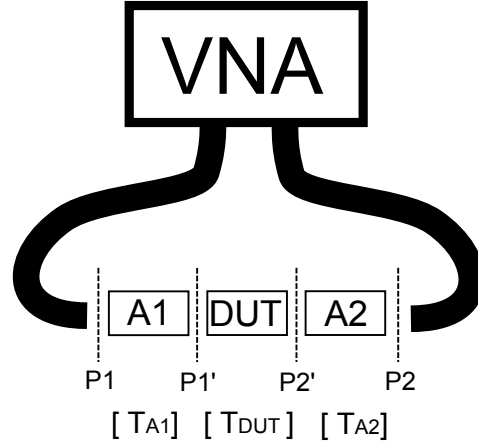


Figura 2: *Dispositivo bajo prueba (DUT) con adaptadores*

En este caso, es posible utilizar los parámetros  $T$  en vez de los parámetros  $S$ , ya que se cumple que para los componentes conectados en cascada en la Figura 2:

$$[T_{Total}] = [T_{A1}] [T_{DUT}] [T_{A2}] \quad (1)$$

Por lo tanto,

$$[T_{DUT}] = [T_{A1}]^{-1} [T_{Total}] [T_{A2}]^{-1} \quad (2)$$

La obtención de las matrices  $[T_{A1}]$  y  $[T_{A2}]$  se realiza midiendo los parámetros  $S$  de cada adaptador y teniendo en cuenta la relación:

$$[T] = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{s_{21}} \begin{bmatrix} -s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} & s_{11} \\ -s_{22} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Análogamente, puede obtenerse la matriz  $[S]$  a partir de la matriz  $[T]$  de la siguiente manera:

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{22}} \begin{bmatrix} t_{12} & t_{11}t_{22} - t_{12}t_{21} \\ 1 & -t_{21} \end{bmatrix} \quad (4)$$

## 2. Verificación del método

A fin de corroborar el método de de-embedding, se realizó la medición de un atenuador de 10 dB con conectores PC 3.5 mm.

Para esta prueba se emplea un solo adaptador conectado en el puerto P1.

## 2.1. Pasos para la realización del de-embedding

### Caracterización del adaptador

El primer paso es la caracterización del adaptador A1. Una vez calibrado el VNA en los planos de referencia P1 y P2 (Figura 3), se conecta el adaptador (Figura 4) directamente entre dichos planos, como se muestra esquemáticamente en la Figura 5 (el género de cada conector involucrado se indica entre paréntesis).

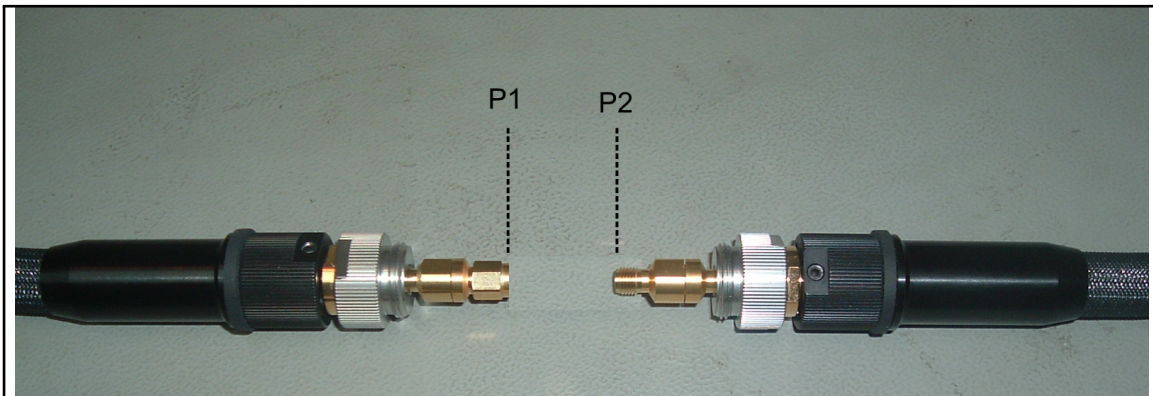


Figura 3: Planos de referencia (calibración) en el banco de medición.

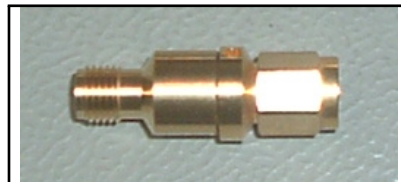


Figura 4: Adaptador

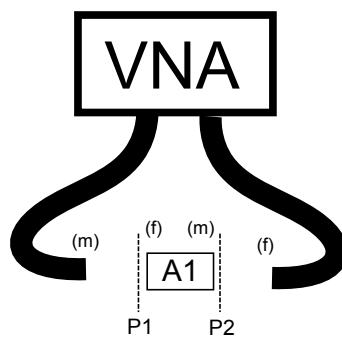


Figura 5: Esquema de medición del adaptador A1

De esta manera se obtiene la matriz  $[S_{A1}]$ , a partir de la cual es posible a su vez calcular  $[T_{A1}]$  por medio de la expresión (3).

### De-embedding

Una vez caracterizado el adaptador y con el VNA todavía calibrado en los planos P1 y P2, se conecta el DUT con el adaptador A1 (Figura 6).

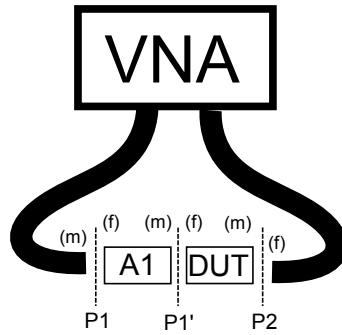


Figura 6: Esquema de medición del DUT + adaptador

Esta medición proporciona la matriz  $[T_{Total}]$ ; por lo tanto, es posible calcular  $[T_{DUT}]$  como:

$$[T_{DUT}] = [T_{A1}]^{-1} [T_{Total}] \quad (5)$$

De esta manera y con estos datos medidos, es posible calcular la matriz  $[S_{DUT}]$  a partir de  $[T_{DUT}]$  utilizando la expresión (4).

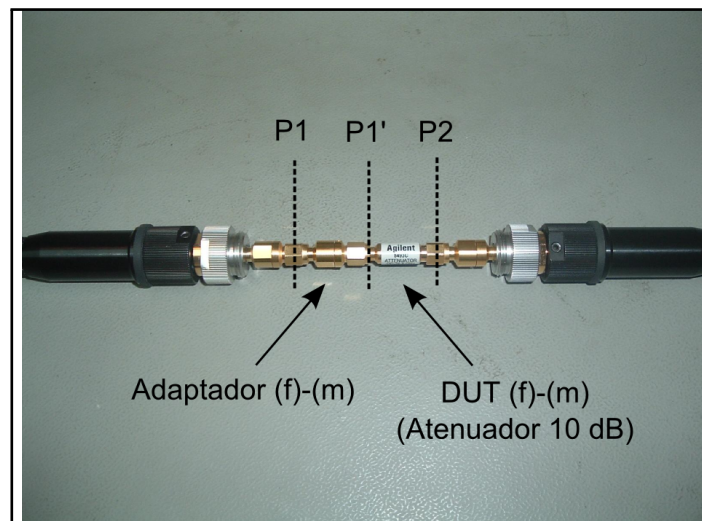


Figura 7: Medición del DUT + adaptador

## 2.2. Resumen

En síntesis, se realizan las siguientes mediciones, para comparar y estudiar los resultados:

### Paso 1: Medición A1

Se realiza la medición del adaptador A1, con el VNA calibrado en los planos P1 y P2 como se muestra en la Figura 5.

### Paso 2: Medición DUT + A1

Se realiza la medición del DUT con el adaptador y con el VNA calibrado en los planos P1 y P2, como se muestra esquemáticamente en la Figura 6.

### Paso 3: Corrección DUT De-embedding:

Se efectúa la técnica de de-embedding para corregir los valores medidos y obtener los parámetros [ $S_{DUT}$ ].

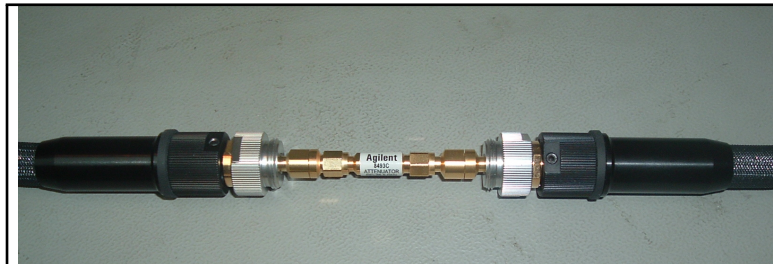


Figura 8: *Medición del DUT*

## 2.3. Análisis de los resultados

A continuación se muestran los resultados de las mediciones realizadas.

### Medición del adaptador A1

A los fines de apreciar mejor la influencia que el adaptador pueda tener en la medición, se presentan las mediciones del adaptador A1 en la Figura 9.

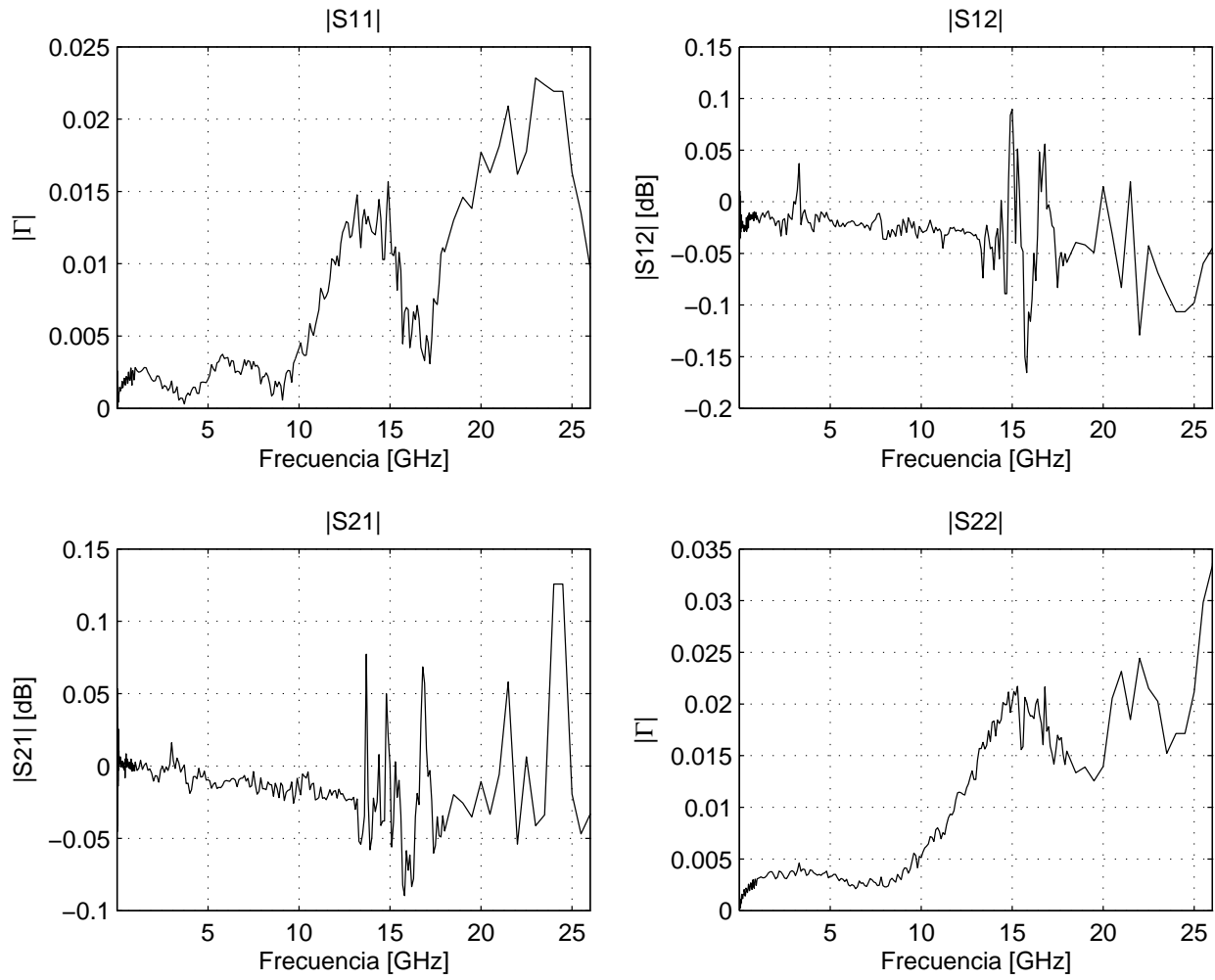


Figura 9: Medición del adaptador utilizado



### Comparación de las mediciones del DUT

Se presentan las mediciones del DUT siguiendo los tres pasos descritos en la Sección 2.2.

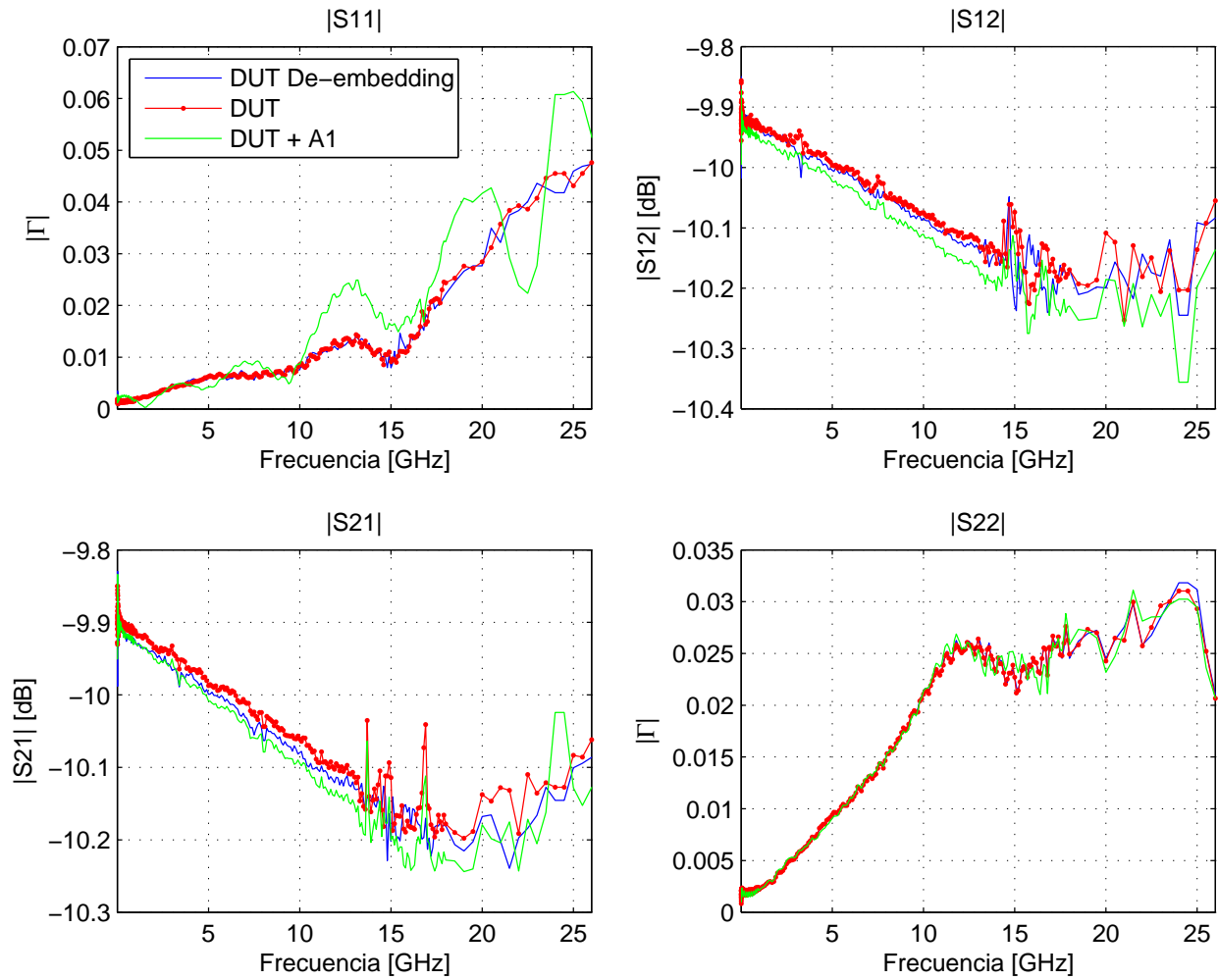


Figura 10: Medición de los parámetros  $S$  del DUT (módulo)

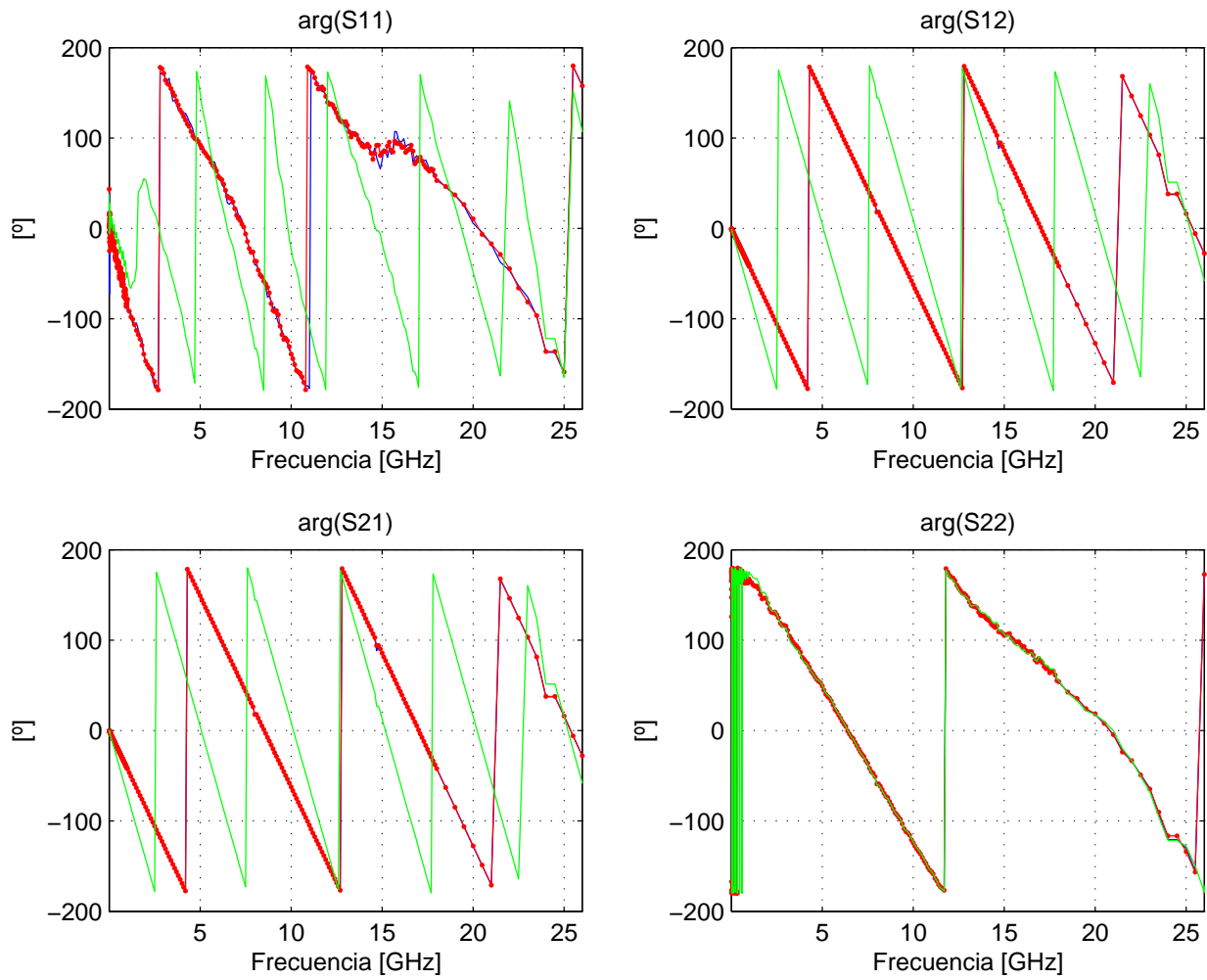


Figura 11: Medición de los parámetros  $S$  del DUT (fase)

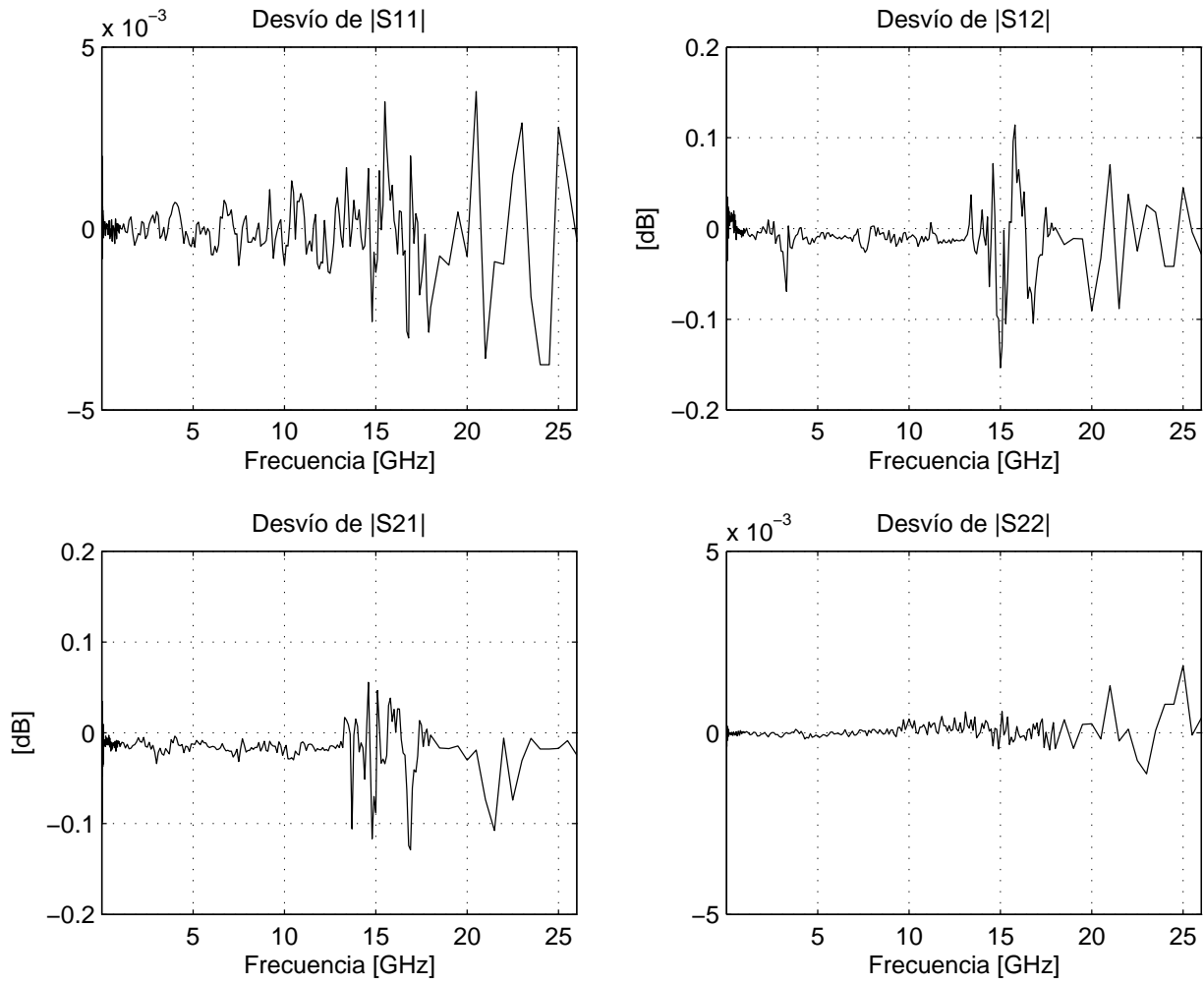


Figura 12: Desvío del módulo de los parámetros  $S$  calculados con la técnica de de-bembedding respecto a los valores medidos directamente

### 3. Conclusiones

Es posible observar la gran semejanza en todos los parámetros medidos directamente (medición **DUT**) y la medición con el adaptador corregido mediante de-embedding (**DUT De-embedding**), tanto en el módulo como en la fase. En cambio, la medición sin corrección (**DUT + A1**) es muy diferente, apartándose de las anteriores sobre todo en el módulo del parámetro  $S_{11}$  y por supuesto en la fase.

Esto puede explicarse debido a que el adaptador presenta una desadaptación en el puerto P1, y es el que genera el comportamiento oscilatorio con la frecuencia en el módulo de  $S_{11}$ . Como es esperable, este efecto es más importante en altas frecuencias.

En cuanto a la fase, el corrimiento se debe a que el adaptador introduce un tramo de línea de transmisión con una distancia determinada. Este desfase se hace presente para los dos parámetros de transmisión ( $S_{21}$  y  $S_{12}$ ), y únicamente para el parámetro de reflexión del puerto afectado, es decir,  $S_{11}$ .

Es oportuno destacar que esta técnica permite un mayor cuidado de los conectores más cruciales, es decir, aquellos en los que se realiza la calibración del equipo. Esto puede lograrse ya que al calibrar en los puertos P1 y P2 y luego introducir adaptadores, dichos puertos no son conectados al conector del DUT. Por esta razón, si el DUT presenta un conector dañado o en mal estado, su conexión con el banco de medición no dañará los conectores en P1 y P2, sino en todo caso aquellos en P1' y P2'. Esto es importante ya que si se dañaran P1 y P2, dicho daño se propagaría luego a los elementos del kit de calibración del VNA cuando se calibre nuevamente el puerto.

Para el caso estudiado de un atenuador de 10 dB, la diferencia encontrada utilizando la técnica de de-embedding con respecto a la medición directa del DUT fue menor que 0,002 en los parámetros de reflexión hasta 15 GHz (claramente el puerto en que se colocó el adaptador es el que más desvío presenta). En los parámetros de transferencia, la diferencia fue menor que 0,02 dB hasta 15 GHz. A frecuencias mayores que 15 GHz, el torque de los conectores es mucho más crucial, de manera que una pequeña diferencia en los torque de distintas mediciones perjudica notablemente los resultados finales.

Se concluye entonces que el método propuesto es suficientemente preciso para una amplia gama de mediciones y casos, permitiendo incrementar la flexibilidad de los bancos de mediciones a la vez que provee una interesante posibilidad para el cuidado de los conectores.

## Referencias

- [1] Agilent Application Note 1364-1, *De-embedding and Embedding S-Parameter Networks Using a Vector Network Analyzer*. USA, 2004.
- [2] Agilent Application Note: Signal Integrity Analysis Series - Part 3:, *The ABCs of De-Embedding*. USA, Junio 2007.
- [3] Anritsu Application Note 1364-1, *Embedding/De-embedding*. Mayo 2002.