

## Análizador vectorial de redes (VNA)

### Guía de Trabajos Prácticos

## 1. Introducción teórica

### 1.1. Mediciones en alta frecuencia: Parámetros s

El uso de parámetros  $s$  para trabajar en el espectro de radiofrecuencias ha sido ampliamente discutido en las clases teóricas, así como su conveniencia frente a otros parámetros  $z$  o  $y$  para caracterización de dispositivos en RF. Esto se debe a que el dispositivo puede ser ensayado en conexión a una línea adaptada, sin necesidad de emular condiciones de circuito abierto y cortocircuito que son muy difíciles de lograr a estas frecuencias.

En el presente trabajo práctico se ejercitará el uso de estos parámetros para la caracterización de diversos dispositivos tanto activos como pasivos. Para ello nos concentraremos en el uso de los instrumentos que nos permiten evaluar tanto *magnitud* como *fase* en altas frecuencias, esto es, realizar *análisis vectorial*. Dichos instrumentos son el *voltímetro vectorial (VVM por sus siglas en inglés)* y el *análizador vectorial de redes (VNA)*, ya analizados en el curso teórico. Mientras el primero de ellos permite medir a una frecuencia fija manualmente, el segundo realiza un barrido de frecuencia programado presentando los resultados en diversos formatos: carta de Smith, diagramas de Bode, diagrama polar, etc. Algunos VNAs permiten también realizar barridos en *potencia* (power sweep) como veremos.



Figura 1: (a) VVM HP 8405A, (b) VNA Agilent 8753 conectado al S-parameter test-set Agilent 85047A

En la Fig. 1 se observa el aspecto exterior de estos instrumentos. Según el modelo, ellos se usan en conjunto con generadores y acopladores direccionales externos (según se vio en el teórico) o integrados en la unidad. Entre la gran variedad de mediciones posibles podemos citar impedancia compleja, características de transferencia de componentes activos (p. ej. transistores o amplificadores de RF) y pasivos (p. ej. filtros de RF o antenas), determinación de longitud eléctrica de líneas de transmisión, determinación precisa de frecuencias de resonancia, medición de retardo de grupo para detectar distorsión por alinealidad de fase, porcentajes de modulación, etc..

Un aspecto fundamental al realizar mediciones de cierta precisión es realizar una calibración previa de estos instrumentos a fin de remover errores sistemáticos (aquellos debidos a imperfecciones del instrumento y elementos auxiliares, supuestas constantes en el tiempo). En el caso del VVM este ajuste fue detallado en el curso teórico y puede consultarse en [10]. Para el VNA los detalles del proceso de calibración pueden consultarse en [12].

En el transcurso de este trabajo práctico se analizarán mediciones electrónicas en el dominio de la frecuencia. Como se ha comentado en el curso teórico, estas mediciones aportan información que es

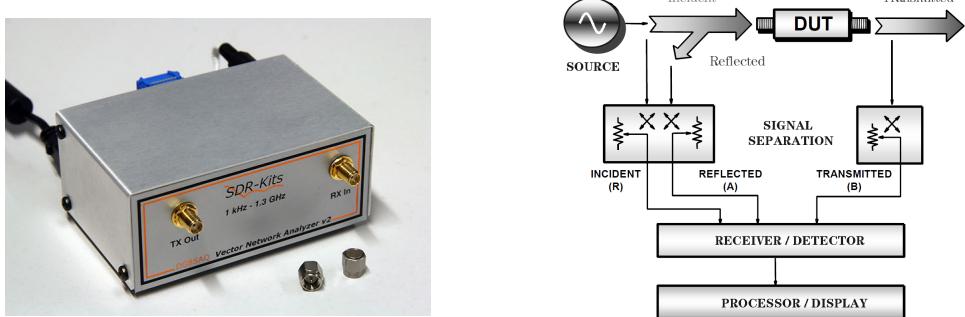


Figura 2: DG8SAQ VNWA: (a) aspecto general, (b) diagrama en bloques

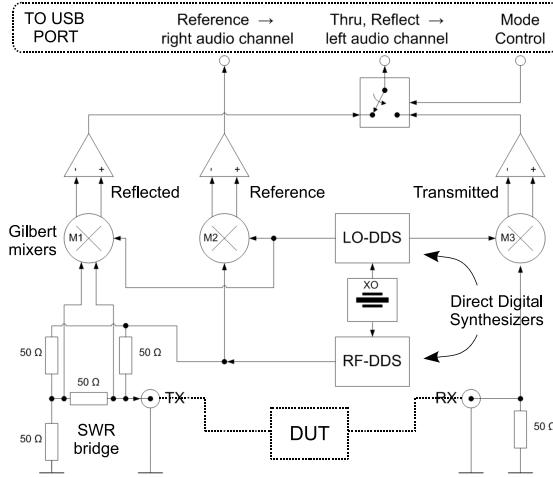


Figura 3: Esquema circuital del DG8SAQ VNWA

generalmente muy difícil o imposible obtener en el dominio del tiempo (por ejemplo mediante el uso de oscilloscopios). Entre los instrumentos que permiten realizar tales mediciones podemos mencionar el Analizador de espectro de barrido (AEB o SSA), el Analizador de Fourier o analizador dinámico de señales (AF, DSA) y el analizador de redes, que puede ser escalar (SNA) o vectorial (VNA).

En el presente práctico nos concentraremos en el **analizador vectorial redes (VNA)**, mientras que los otros instrumentos se van a ir viendo en el correr del cursado práctico de la materia. Este instrumento está destinado a obtener *relaciones de módulo y fase* entre los distintos puertos de un componente, dispositivo, o circuito, y su variación con la frecuencia. Incluye como regla un generador de barrido y múltiples receptores. La interpretación de resultados presentados por un VNA es generalmente bastante directa, siendo muy importante conocer las precauciones a tomar para tener una medición *precisa*. Esto es así ya que mediante estas mediciones estamos *caracterizando* un componente para su posterior uso, por lo que los errores cometidos se trasladarán a todo lo que se diseñe en base a estos datos.

En las secciones siguientes se tratarán algunos aspectos prácticos en el uso del VNA. En la Fig. 2 se aprecia el aspecto y esquema general de funcionamiento de un VNA, particularmente el DG8SAQ VNWA disponible en nuestro laboratorio de comunicaciones.

## 1.2. Características generales del Analizador Vectorial de Redes (Vector Network Analyzer o VNA)

En la Fig. 2(b) se observa el principio general de funcionamiento de un VNA. En líneas generales, este instrumento consta de una fuente de señal sintonizable que realiza el barrido en frecuencia deseado; circuitos de *separación* de señales según su sentido de propagación; una etapa de *recepción/detección* de las señales obtenidas; y una etapa de *control, visualización y procesamiento* de datos. Para mayor información sobre las opciones de implementación de este esquema general, referirse a [1].

El instrumento disponible en nuestro laboratorio, *DG8SAQ VNWA*, implementa los circuitos analógicos de alta frecuencia aprovechando las capacidades de procesamiento digital de una PC. Su esquema de funcionamiento se observa en la Fig. 3, donde podemos identificar las secciones generales de la Fig. 2(b):

la fuente de señal está constituida por el oscilador sintonizable de referencia *RF-DDS*, mientras que la separación de señales incidente y reflejada se logra mediante un puente direccional (*SWR bridge*). Los receptores necesarios se logran mediante tres mezcladores *M\_1*, *M\_2* y *M\_3* utilizando el oscilador local generado por un segundo oscilador sintonizable *LO-DDS*; las salidas de estos tres mezcladores son muestradas y digitalizadas en una placa de audio standard. Cabe mencionar que los tres DDSs utilizan un clock *TCXO* de 12 MHz con gran estabilidad. Finalmente, las señales digitales generadas son procesadas en software mediante una PC para su visualización y almacenamiento; dicha PC también se encarga del control de los DDS mediante el puerto USB. Se recomienda consultar [4] y [5] por mayores detalles de diseño.

Una vez adquiridas las muestras digitales de la señal, se pueden realizar numerosos análisis mediante procesamiento digital, lo que le confiere al equipo gran versatilidad. Algunos ejemplos son:

- Presentación de parámetros en ábaco de Smith, diagramas polares o de Bode. Medición de VSWR producido. Cálculo automático de valores de resistencia, admitancia, capacitancia, inductancia y factor de calidad *Q*. Almacenamiento en formato *Touchstone* para posterior uso en simulaciones u otros análisis.
- Mediante aplicación de transformada inversa de Fourier, previa aplicación de las ventanas correspondientes, se pueden realizar análisis en el *dominio del tiempo* tales como TDR.
- *re-normalización* de las mediciones efectuadas respecto a distintos valores de impedancia, según el dispositivo ensayado; y cálculo de *redes adaptadoras de impedancia* mediante la herramienta incluida a tal fin.
- Análisis de dispositivos de *3 puertos*, tales como baluns, mediante la herramienta incluida para tal fin

### 1.3. Mediciones con VNA

Este tema ha sido analizado durante la unidad teórica N° 1. En el presente práctico se pretende comprobar, mediante mediciones en laboratorio, los siguientes casos generales:

- Pasos de calibración de uno y dos puertos previos a realizar la medición
- Mediciones de un puerto
  - Comportamiento de cargas complejas con la frecuencia
  - Comportamiento de antenas con la frecuencia
- Mediciones de dos puertos
  - Comportamiento de cargas complejas
  - Comportamiento de elementos pasivos de uso común en RF
  - Respuesta de filtros

### 1.4. Ábaco de Smith

Una de las formas de representar las mediciones obtenidas por el VNA es el ábaco de smith como se puede observar en la figura 4. Compuesta por círculos de resistencia constante y círculos de reactancia constante.

Se pueden observar los resultados de la relación de onda estacionaria, el coeficiente de reflexión y las perdidas de transmisión entre otras. Cualquier magnitud vectorial se puede graficar en el ábaco de Smith.

Los puntos de impedancia que se grafiquen quedan de la forma  $Z = R + jX$ , y el punto central del abaco tiene el valor de  $R = 1$  que sería la impedancia normalizada.

### 1.5. Retardo de grupo

El retardo de grupo (o delay group en inglés) es una medida de la distorsión de fase de un dispositivo, se puede entender como el tiempo de transito de una señal a través de un dispositivo frente a la frecuencia. Por ejemplo en procesamiento de señales, el retardo de grupo es el tiempo que demoran las envolventes de amplitud de las diversas componentes sinusoidales de una señal a través de un dispositivo, es en función

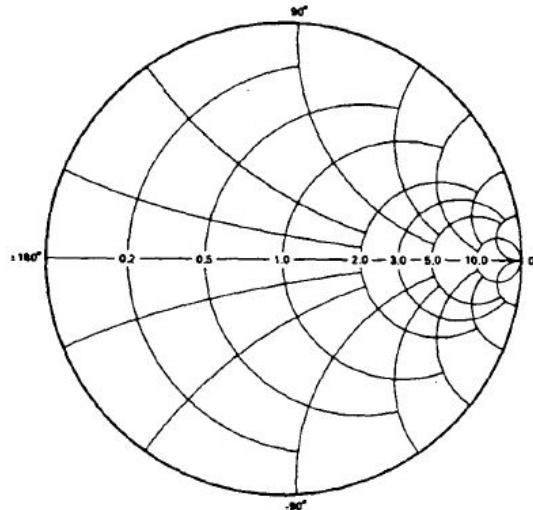


Figura 4: Abaco de Smith

de la frecuencia de cada componente. La definición matemática es que es la primer derivada de la fase sobre la frecuencia

$$\text{Group Delay} = \frac{-d\varphi}{d\omega}$$

Siendo  $\varphi$  en radianes, lo mismo que dividir los grados por 360

En una medición de retardo de grupo:

- El componente de desplazamiento de fase lineal se convierte en un valor constante (que representa el retardo promedio).
- El componente de cambio de fase de orden superior se transforma en desviaciones del retardo de grupo constante (o rizado de retardo de grupo).
- Las desviaciones en el retardo de grupo causan distorsión de la señal, así como las desviaciones de la fase lineal causan distorsión.
- La medición muestra la cantidad de tiempo que tarda cada frecuencia en viajar a través del dispositivo.

El retardo de grupo se obtiene con la formula previamente vista, con los siguientes detalles:

- Los datos de fase se utilizan para encontrar el cambio de fase  $-df$ .
- Se utiliza una apertura de frecuencia específica para encontrar el cambio de frecuencia  $d\omega$ .
- Usando los dos valores anteriores se calcula una aproximación para la tasa de cambio de fase con la frecuencia.
- Esta aproximación representa el retraso de grupo en segundos (suponiendo un cambio de fase lineal sobre la apertura de frecuencia especificada).

## 2. Práctica de Laboratorio

**NOTA:** se recomienda familiarizarse con los puntos principales de los manuales y el software asociado antes de asistir al laboratorio a fin de no tener que repetir procedimientos. De no mencionarse lo contrario, las páginas indicadas en este práctico se refieren al manual del VNWA DG8SAQ confeccionado en el laboratorio y disponible en la carpeta de google drive de la Cátedra.

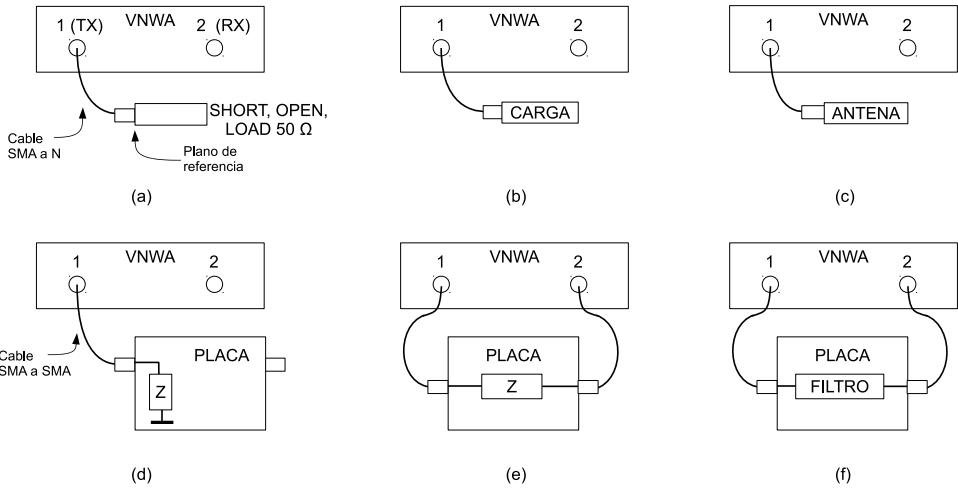


Figura 5: VNA: (a) calib. de 1 puerto, (b) medición de cargas, (c) antena, (d) medición 1 puerto en placa, (e) y (f) mediciones 2 puertos en placa

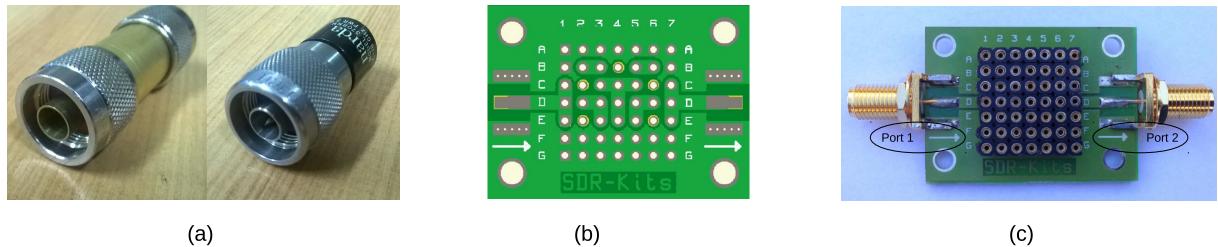


Figura 6: Cargas standard tipo N (a), Testboard: ruteo (b), pinout (c)

## 2.1. Objetivos

- Familiarizarse en el uso de las técnicas para análisis vectorial
- Comprender su relación con las técnicas en el dominio del tiempo y los caso de uso de cada una
- Aplicar el análisis vectorial en casos típicos de medición

## 2.2. Materiales

Ver **Anexo 1** de esta guía

## 2.3. Procedimiento (VNA)

**NOTA:** antes de comenzar, comprobar que la configuración del kit de calibración esté en valores ideales (*Settings* → *Calibration Kit Settings* → *use ideal calibration standards*, ver pag. 7 del manual) y que **NO** se encuentren activadas las extensiones de puerto (*Measure* → *Port Extension* → *Ext on SIN MARCAR*, ver pag. 12 manual). Esto podría haber sido modificado por un usuario anterior e invalidar sus mediciones.

**TODAS** las curvas solicitadas se deben incluir en el informe junto con un análisis breve de sus características importantes.

El VNA DG8SAQ permite trabajar hasta 1.3 GHz mediante overclocking de los sintetizadores de señal internos. Sin embargo, la mejor precisión del equipo se puede obtener en el rango de trabajo original de 500 MHz. El rango de 1.3 GHz sólo será necesario para ensayar el comportamiento de las placas con elementos pasivos, en los demás ensayos conviene realizar barridos de 500 MHz para mayor exactitud.

El software del VNWA permite almacenamiento de imágenes en formato .png o lista de valores en formato *Touchstone* (.s1p o .s2p). Para los objetivos de este práctico bastará con incluir las imágenes; para mediciones mas precisas es conveniente almacenar la lista de valores (o ambos).

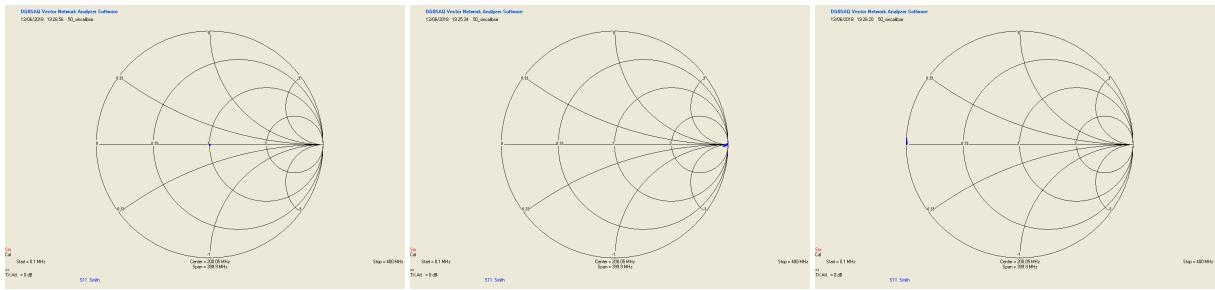


Figura 7: Mediciones después de calibrar (Carga resistiva pura, circuito abierto, cortocircuito)

Al realizar la medición, se deben ajustar las escalas para cada curva a fin de poder analizarla. Esto se hace combinando los ajustes de referencia (**Ref**, a la derecha del gráfico) y unidades/división (**dB/**, **°/**, **etc.** a la izquierda del gráfico). Se recomienda asimismo incluir marcadores (ver capítulo **Markers** en [8]) a fin de contar con los valores de los puntos importantes en las imágenes capturadas. Sin estos marcadores, el análisis es muy impreciso. El rango de frecuencias de barrido se mantendrá constante para que la calibración sea válida. En caso que se desee ampliar una zona particular del barrido, se puede realizar **zoom** en ella (ver [8]), esto no modifica la cantidad de muestras del barrido ni su velocidad. También se puede aplicar **smoothing**, es decir, promediado de puntos adyacentes a fin de reducir el ruido en algunos casos (ver pag. 216 de [7]); se recomienda comenzar con pocos puntos de promediado hasta lograr un suavizado conveniente sin afectar las características de la curva.

**1. Calibración:** leer y razonar la sección de calibración (Pags. 6 a 13) del manual del VNA DG8SAQ. Calibrar el VNA configurando un barrido de 0Hz a 400 MHz con 8192 puntos. Capturar la curva de  $s_{11}$  (Smith) antes y luego de aplicar la calibración para cada una de las tres cargas (corto, abierto y  $50 \Omega$ ). Las cargas a medir se pueden observar en el anexo de este apunte. Una vez realizada la calibración, ésta es válida para las mediciones que se realicen (aparece el indicador *Cal* en la esquina inferior izquierda) mientras no se modifique el montaje de medición o los parámetros de barrido. Si se desea conservar la calibración para otro momento, se deben guardar los datos en un archivo *.cal*. Cualquier variación en la configuración de la medición, necesitará una nueva calibración.

Se deberá tener especial cuidado en conservar, dentro de lo posible, el **Plano de referencia** (Fig. 5(a)), es decir la longitud de **cables y adaptadores**, así como el **rango y nro. de puntos de barrido** durante las mediciones a realizar, de lo contrario no será válida la calibración realizada. En caso de tener que cambiar un adaptador, cuidar en lo posible que la longitud del nuevo adaptador sea igual a la del utilizado en la calibración. Tanto al cambiar la *cantidad de puntos* utilizados, como al cambiar los *límites* de barrido, se deberá recalibrar, consultar pág. 12 del manual de UTN para más detalles.

En la figura 7 se observan las mediciones post calibración, se deben observar puntos durante todo el barrido de frecuencia en el sector específico.

**2. Un puerto - antenas:** conectar la antena disponible en el laboratorio (o la que Ud. disponga siempre que trabaje en el rango de 500 MHz) al plano de referencia de un puerto, según la Fig. 5(c). Capturar su coeficiente de reflexión  $s_{11}$  y relación de onda estacionaria **VSWR** en el rango de 0 a 500 MHz (para dos longitudes distintas en el caso de la antena retráctil). Trabajando con diagrama de bode, indicar los puntos de óptima adaptación y ancho de banda de trabajo. Para la determinación de este ancho de banda se trazará la curva de ROE ("VSWR.<sup>en</sup> el caso de VNWA) y se especificará un VSWR máximo, por ejemplo 2:1, para el que se determina este ancho de banda, ver TP N° 1). **Parámetros a capturar:**  $s_{11}$  (**Smith y Bode (dB/fase)**), **ROE (VSWR)**.

En la figura 8 se observan los resultados obtenidos por el VNA para el caso de una antena. Se puede ver como la impedancia de entrada varía entre casos de inductancias y capacitancias mientras se realiza el barrido, a estos giros se le llaman resonancias parásitas. En la segunda imagen en rojo se observa el coeficiente de onda estacionaria, el pico inferior debe coincidir con el pico de la tercera imagen que se observa la sensibilidad (se mide en dB).

A continuación, se utilizará la placa para ensayos provista junto con el VNWA. En la Fig. 6(b) se muestra el circuito impreso de esta placa, mientras que la Fig. 6(c) muestra su aspecto general con zócalos. En este caso, se utilizarán los cables SMA-SMA disponibles en el laboratorio. Teóricamente,

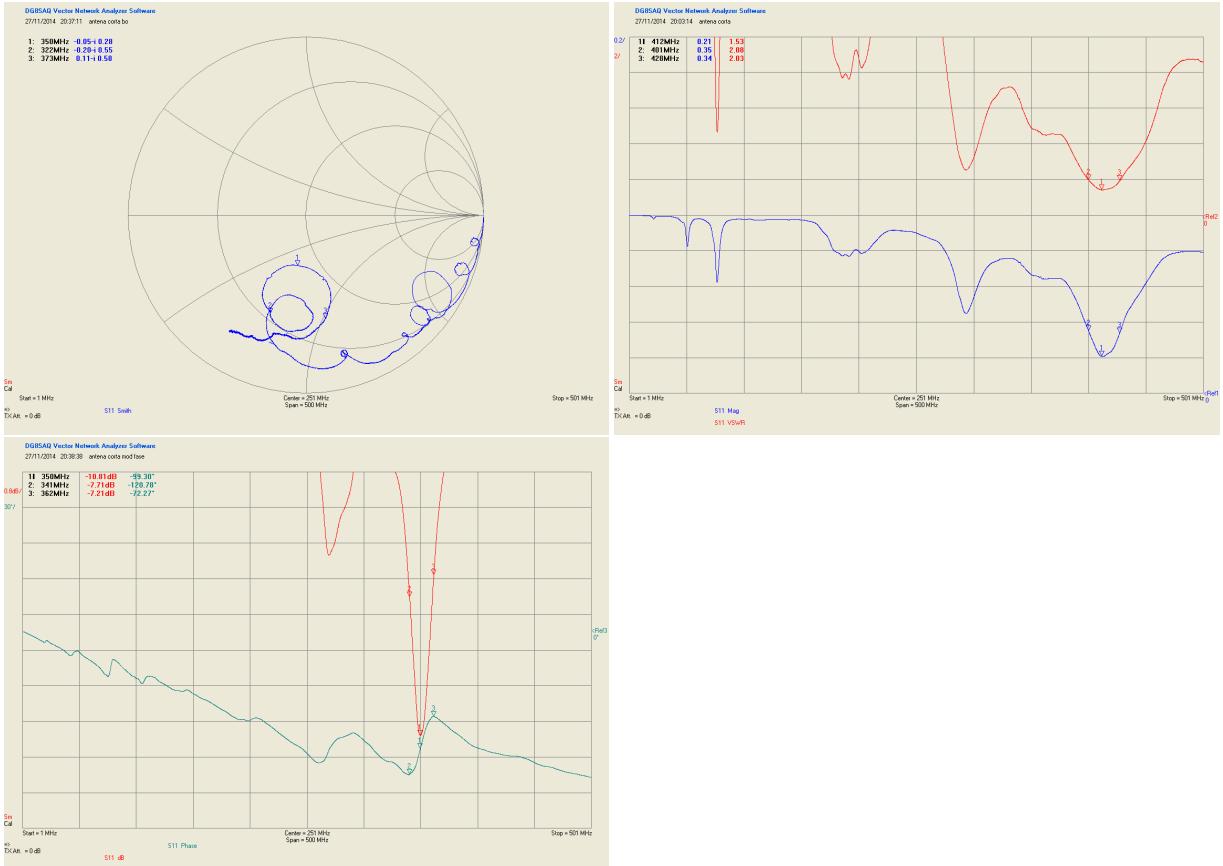


Figura 8: Mediciones en una antena

para utilizar esta placa se debe re-calibrar ya que cambia el montaje de prueba. En nuestro caso esta calibración ya fue realizada por lo que directamente se cargarán sus resultados en el software, ellos están en el archivo `vna_testboard_me2.cal`. La carga de la nueva calibración se realiza mediante el menú *File* → *Retrieve* → *Calibration*, sin necesidad de conectar cargas standard. Ya que esta placa trabaja en un rango acotado de frecuencias, para esta nueva calibración se utiliza barrido de 0.1 a 250.1 MHz.

1. **Un puerto - cargas en placa de ensayo:** Para realizar una medida de reflexión, la carga se conecta como en la Fig. 5(d). Esto se puede hacer, por ejemplo, conectando entre los pines *E1* y *F1* de la Fig. 6(b). En nuestro caso, ensayaremos un capacitor y una inductancia, la idea es que estos componentes sean los mismos que se van a utilizar en el punto 3. *Medición de filtro en placa de ensayo* de esta forma se puede estimar el comportamiento que tendrá el filtro. **Parámetros a capturar:**  $s_{11}$  (Smith y Bode (dB/fase)), partes real e imaginaria de la impedancia, capacidad paralela equivalente ( $C||$ ). Analizar puntos de auto-resonancia (si los hubiera), valores parásitos, variación de la capacidad con la frecuencia, y en qué rango de frecuencias se podría utilizar el componente.
2. **Dos puertos - cargas en placa de ensayo:** se conectará la inductancia entre los puertos 1 y 2, como se ilustra en la Fig. 5(e). Esto se puede hacer por ejemplo conectando el componente entre los pines *D1* y *D7* de la placa (Fig. 6(b)). **Parámetros a capturar:**  $s_{21}$  (Smith y Bode (dB/fase)). Analizar cómo se relaciona este parámetro con el  $s_{11}$  que mediría si conecto esta inductancia como en la fig.5(d). Para esto consultar [6].
3. **Dos puertos - filtro en placa de ensayo:** mediante el software ELSIE [13] que se descarga de la pagina <http://www.tonnesoftware.com/elsiedownload.html> diseñe un filtro. En el mismo software se puede corroborar la respuesta del filtro con los elementos de valores prácticos más cercanos a los calculados (“Edit” en ELSIE). Implemente el filtro en la placa de ensayo y realice las mediciones. El barrido de la placa está configurado hasta alrededor de 250 MHz; realice este barrido para un primer análisis y luego de ser necesario haga zoom en zonas de interés. **Parámetros a capturar:**

$s_{11}$  (Diagrama polar, Smith, Bode (dB/fase))  $s_{21}$  (Diagrama polar, Smith, Bode (dB/fase), retardo de grupo (Delay). Analizar pérdida de inserción, pérdida de retorno, ancho de banda de -3 dB, pendiente de caída (dB/década), rechazo de banda eliminada y retardo de propagación. Asimismo, de encontrarse puntos adicionales de resonancia debidos al inductor/capacitor, indíquelos en el gráfico de bode.

4. **Dos puertos - elementos pasivos de RF:** se deberá solicitar el kit disponible en el LdC, que consta de los siguientes elementos pasivos de RF:

- Divisor de potencia Wilkinson de 2 vías y 4 vías
- Híbrido en cuadratura
- Acoplador direccional
- Filtro pasa banda tipo Hairpin

De acuerdo a lo visto en clase, se deberá realizar un informe del funcionamiento de una de estas placas. Para ello, recalibrar para un barrido en el rango entre 300 MHz y 1,3 GHz (frecuencia central 800 MHz, SPAN 1 GHz). Tenga en cuenta de hacer los barridos correspondientes y analizar los parámetros que ud crea necesarios. Esto se tomará en el coloquio.

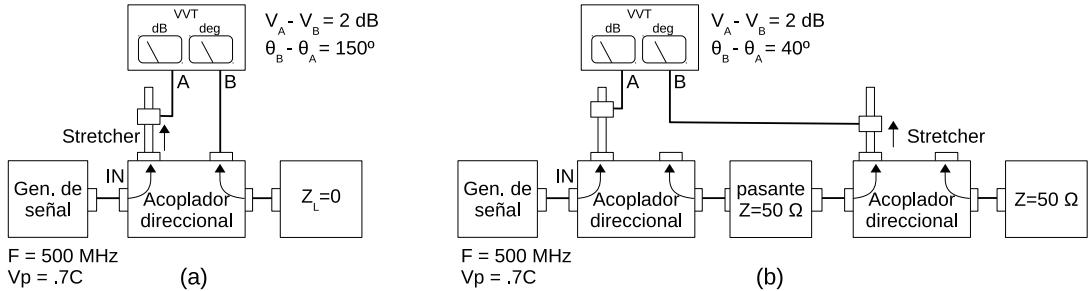


Figura 9: Ajuste previo para medición de los parámetros  $s$  con un VVM

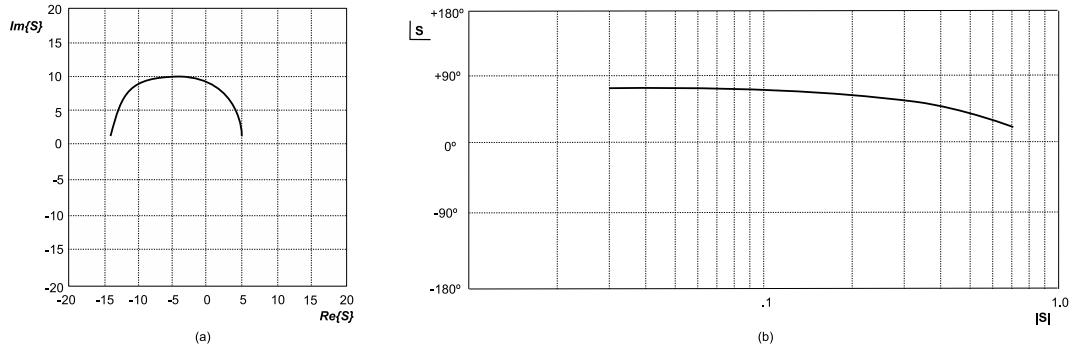


Figura 10: Parámetros de transmisión directa e inversa

### 3. Práctica de Análisis

1. Mencione al menos tres casos concretos de medición donde consideraría Ud imprescindible el uso de la información de fase (análisis vectorial). Mencione diferencias fundamentales de un VVM respecto de un analizador de redes vectorial (VNA). Consultar la bibliografía para este punto.
2. Como se comentó en el curso teórico, para todos los parámetros  $s$  es importante ajustar las longitudes *eléctricas* desde la entrada al primer acoplador (IN) hasta la punta A y desde la entrada del primer acoplador hasta la punta B de modo que estas longitudes sean iguales y su diferencia no efecte las mediciones a realizar [10] Esto permite luego analizar relaciones de fase entre ambas puntas para cargas desconocidas. El primer ajuste se muestra en la Fig. 9 (a), mientras que el segundo se muestra en la Fig. 9 (b). Suponiendo que al conectar los elementos se detectan las diferencias de fase y magnitud indicadas en las figuras, especificar qué calibraciones habría que aplicar, incluyendo los cálculos necesarios.
3. Utilizando el sistema de medición basado en el VVM, se realizan las mediciones de parámetros  $s$  a un transistor en el rango de 50 MHz a 1 GHz. Graficar en diagrama de Smith las curvas de  $S_{11}$  y  $S_{22}$ , según los datos relevados en el Cuadro 1. Luego identificar los restantes parámetros en las Figs. 10 (a) y (b) y llevarlos a diagramas de bode (asignar las frecuencias del Cuadro 1 en puntos equidistantes y en el sentido creciente que Ud considere correcto). ¿Cuál es el punto de -3 dB de ganancia en este transistor y qué desfasaje presenta en este punto?

f [MHz]	$V_A[V]$	$V_B[V]$	angle [deg]
50	3	1.8	-10
100	3	1.5	-20
200	3	1.2	-36
300	3	.54	-58
400	3	.12	-115
600	3	.18	+180
800	3	.18	+145
1000	3	.36	+122

f [MHz]	$V_A[V]$	$V_B[V]$	angle [deg]
50	5	4	0
100	5	4.75	-5
200	5	4.25	-10
300	5	3.5	-18
400	5	3.5	-24
600	5	3.75	-30
800	5	3.3	-40
1000	3	3.3	-47

Cuadro 1: parámetros de reflexión de entrada y salida

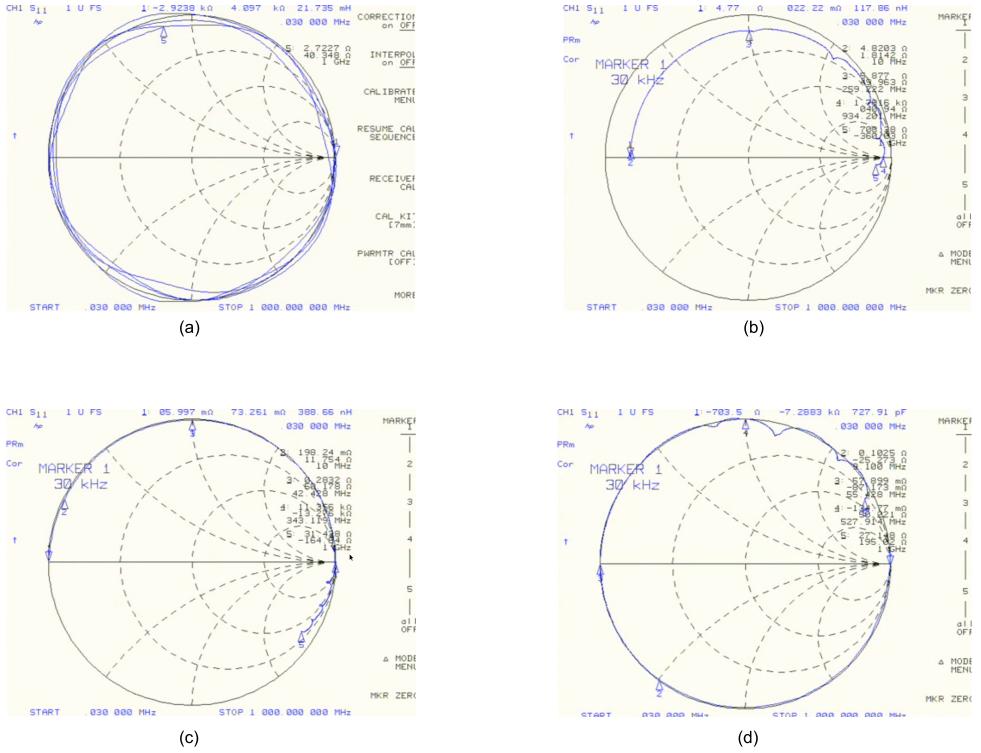


Figura 11: VNA en modo un puerto - cargas típicas

4. Se enciende un VNA y se conecta una carga standard de  $50 \Omega$  a su puerto A. En la pantalla se obtiene la curva de la Fig. 11 (a). Indique si es correcta esta medición, y en el caso de no serlo cómo se debe proceder. Consultar [12] y [11] para mas detalles sobre cargas standard y calibración del VNA.
  5. Se conecta una resistencia en el puerto A de un VNA, obteniéndose la curva de la Fig. 11 (b). Indique el sentido de barrido en frecuencia y los puntos de interés en esta curva. Indique en la figura y justifique si existen puntos de auto-resonancia. ¿Cómo sería la curva si esta resistencia fuera ideal? Determine y justifique si esta resistencia es mayor o menor que el valor normalizado.
  6. Las Figs. 11 (c) y (d) ilustran las curvas obtenidas en un VNA correspondientes a un inductor y un capacitor conectados al puerto A respectivamente. Identifique los sentidos de variación al barrer desde bajas hasta altas frecuencias, indicando los puntos importantes.
  7. Con un VNA en modo de 2 puertos se obtienen las curvas de la Fig. 12 (a), correspondientes a un filtro pasabanda de RF. En base a la curva de retardo de grupo, indique y justifique si este elemento es *lineal*. Consultar [11].
- En base a las Figs. 12 (b) y (c), indique valores aproximados de pérdida de inserción y de retorno, rechazo de banda eliminada, y ancho de banda.
8. Al medir una antena para uso en banda ISM mediante un VNA se obtuvo el gráfico de Smith de la Fig. 13 (a). Luego el VNA se configuró en modo magnitud (log MAG), obteniendo la Fig. 13 (b). Según las características generales observadas justificar si esta antena es adecuada para utilizarla en esta banda alimentada por una línea de  $Z_o = 50\Omega$ . Asimismo, determinar e indicar la magnitud del coeficiente de reflexión de esta antena para la frecuencia de resonancia y su ancho de banda aproximado. ¿Qué relación existe entre esta medición y la efectuada en el punto (5)?
  9. En la Fig. 14 se observa la respuesta de un amplificador de UHF al aplicar un barrido de potencia mediante el VNA. Indique potencia de entrada aplicada, potencia se salida sin distorsión, y frecuencia de ensayo. Determinar ganancia de pequeña señal de este amplificador y punto de compresión de -1 dB. Suponiendo una entrada senoidal, grafique qué sucede con la señal de salida cuando se alcanza este punto.

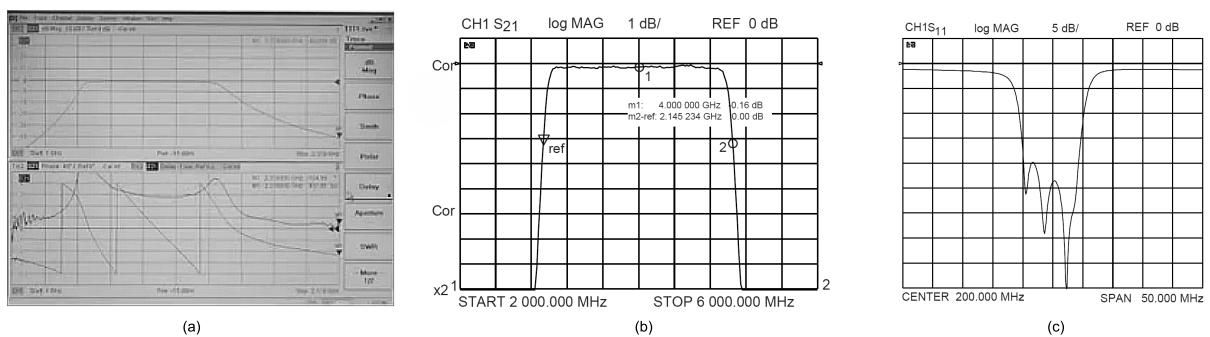


Figura 12: VNA en modo dos puertos - filtro pasabanda

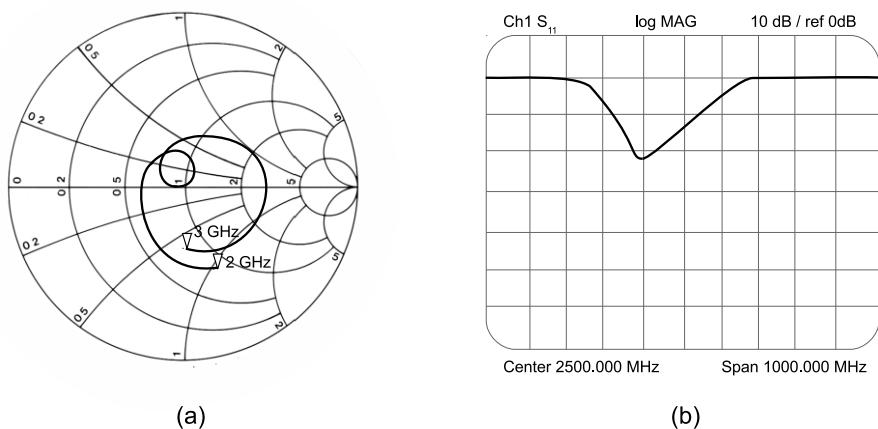


Figura 13: Curvas de una antena para banda ISM

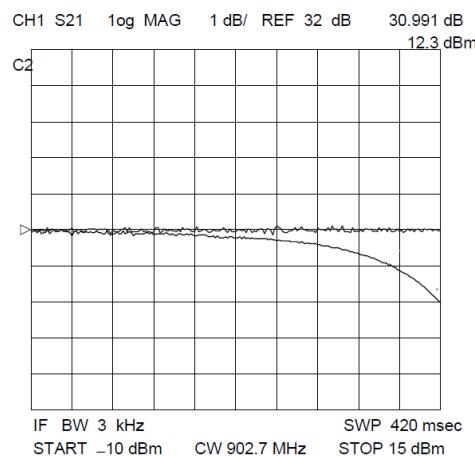


Figura 14: VNA en modo dos puertos - barrido en potencia

## Referencias

- [1] *Network Analyzer Basics*: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf>. Agilent Technologies, 2004.
- [2] *DG8SAQ VNWA Kit page*: [http://sdr-kits.net/VNWA3\\_Description.html](http://sdr-kits.net/VNWA3_Description.html). DG8SAQ and SDR Kits, 2013.
- [3] *VNWA support page*: <http://www.hamcom.dk/VNWA-E.html>. Kurt Poulsen (OZ7OU), 2014.
- [4] *Presentacion DG8SAQ VNWA en HAMRADIO 2012*: <http://www.hamcom.dk/HAMRADIO-DG8SAQ-VNWA-Links.html> Tom Baier (DG8SAQ), 2012.
- [5] *A Low Budget Vector Network Analyzer for AF to UHF*. Thomas C. Baier, QEX Magazine, 2007.
- [6] *Presentación de experimentos en HAMRADIO 2013*: [http://www.sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/VNWA\\_Experiments.pdf](http://www.sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/VNWA_Experiments.pdf). Tom Baier (DG8SAQ), 2013.
- [7] *DG8SAQ VNWA: manual completo* ([http://www.sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/VNWA\\_HELP.pdf](http://www.sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/VNWA_HELP.pdf)). SDR Kits, 2014.
- [8] *Manual DG8SAQ VNWA Laboratorio Comunicaciones (autogestión UTN-FRC)*. Prof. Salomon Rabinovich, Juan Ignacio Morales, LdC-UTN-RFC, 2013.
- [9] *Nota Técnica VNWA Nº1 Caracterización de Estándares SOLT para Realizar*, Juan Ignacio Morales, Laboratorio de Comunicaciones, 2014
- [10] *Transistor parameter measurements*, Hewlett-Packard Application Note 77-1
- [11] *Understanding the fundamental principles of vector network analysis*, Agilent AN 1287-1, 2012
- [12] *Applying Error Correction to Network Analyzer Measurements*, Agilent AN 1287-3, 2016
- [13] *Elsie Manual 24 July 2012*, Elsie, 2012

**Se agradece la colaboración del personal del Laboratorio de Comunicaciones - UTN - FRC en la preparación del material y ensayos de esta guía.**

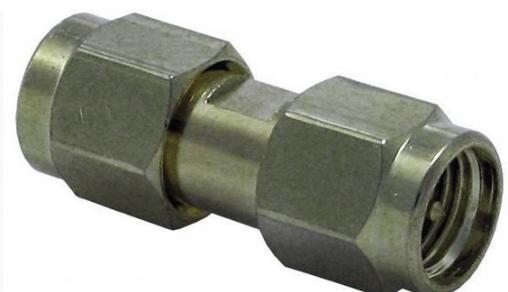
**Asimismo, el kit de elementos utilizado en este práctico, Tesis de Grado del Ing. Maximiliano Gusella, fue amablemente donado por su autor como aporte a la cátedra.**

## Anexo 1: Materiales TP VNA - ME2

**M**=male (macho), **F**=female (hembra), **SMA**=Sub-Miniature version A, **N**=Navy o Nail  
**BNC**=Bayonet Neill-Concelman (Bayoneta de Neill-Concelmann)

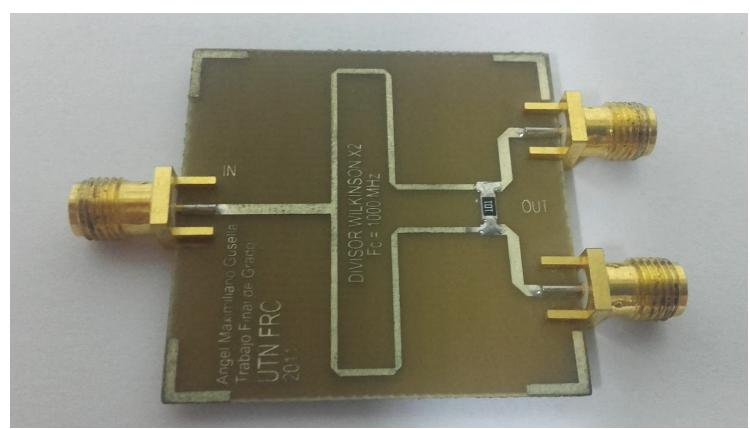
DG8SAQ VNA	 A silver rectangular electronic device with a black front panel. The panel features a red border with the text 'SDR-Kits' at the top, '1 kHz - 1.3 GHz' in the center, and 'DG8SAQ Vector Network Analyzer v3' at the bottom. On the left side, there is a gold-colored SMA male connector labeled 'TX Out'. On the right side, there is a gold-colored SMA male connector labeled 'RX In'. Two gold-colored SMA male connectors are also shown on the surface next to the device.
cable SMA-M a SMA-M (2)	 Two black coaxial cables with gold-colored SMA male connectors at both ends. The cables are shown from a side-on perspective, with the connectors facing each other.
cable SMA-M a N-M (2)	 A black coaxial cable with a gold-colored SMA male connector on one end and a silver-colored N-Male connector on the other. The cable is coiled and shown from a top-down perspective.

cable SMA-M a N-F (opcional) (1)	
antena telescopica analizador de espectro (conector BNC) o similar (1)	
adaptador N-F a N-F (1)	
cargas standard conector N-M (circuito abierto - cortocircuito - carga 50 ohms negra) (1 juego)	

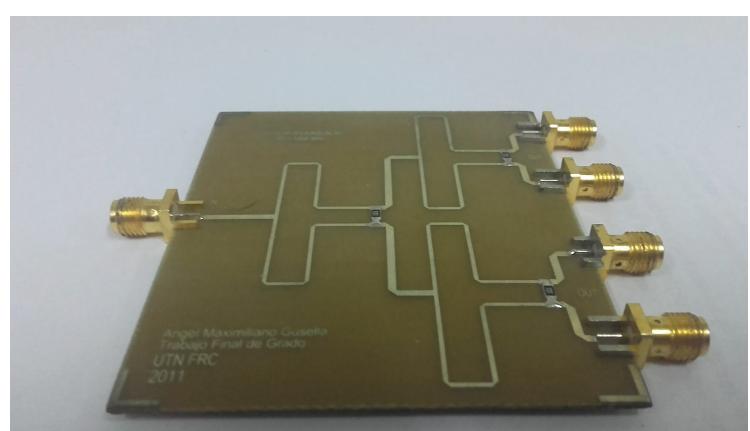
adaptador N-M a BNC-F (para conectar la antena telescopica a un conector N-F) (1)	
adaptador BNC-M a BNC-M (1)	
adaptador BNC-F a BNC-F (1)	
adaptador SMA-M a BNC-F (1)	
Adaptador SMA-M a SMA-M	

Cargas de $50 \Omega$	
Antena retractil para banda VHF	
Placa Acoplador Direccional	
Placa Hibrido en Cuadratura	

Placa divisor de potencia X2



Placa divisor de potencia x4

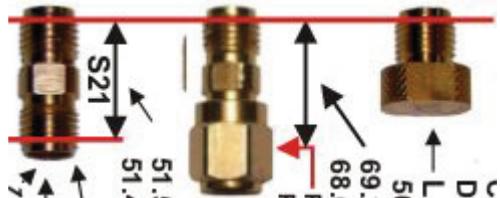
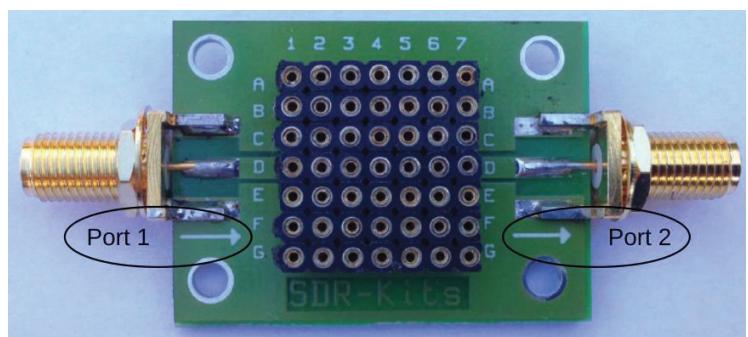


Placa Filtro Peine



Caja plástica conteniendo:

- a) L, C, R varios
- b) testboard para el VNA
- c) cargas standard SMA  
(corto-abierto- 50 ohm)
- d) cargas standard para el  
testboard (armadas en  
el laboratorio con pines  
y resistencias SMD)

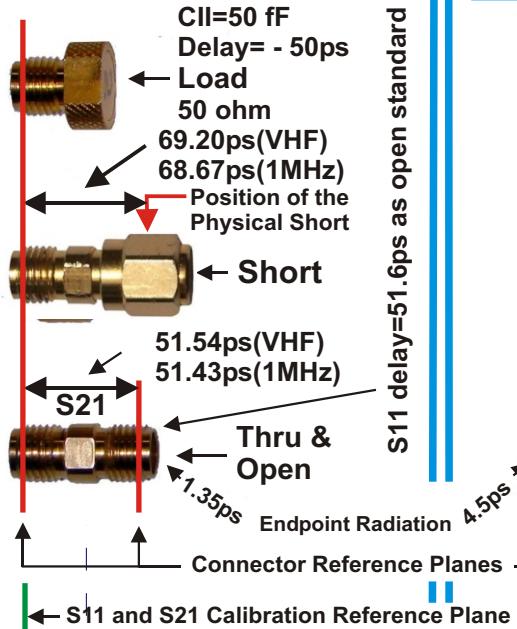


# SDR-Kits - Amphenol Connex CAL Standards for the DG8SAQ VNWA

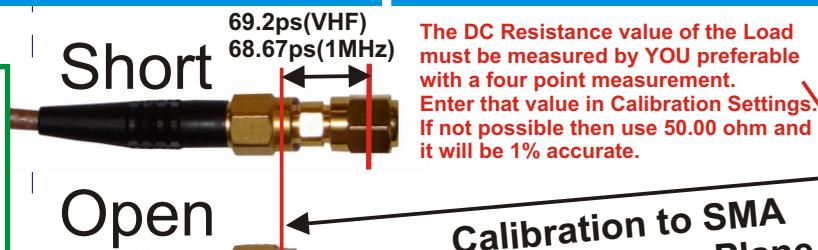
by Kurt Poulsen OZ7OU

Revision 4 Oct-2014 - Page1

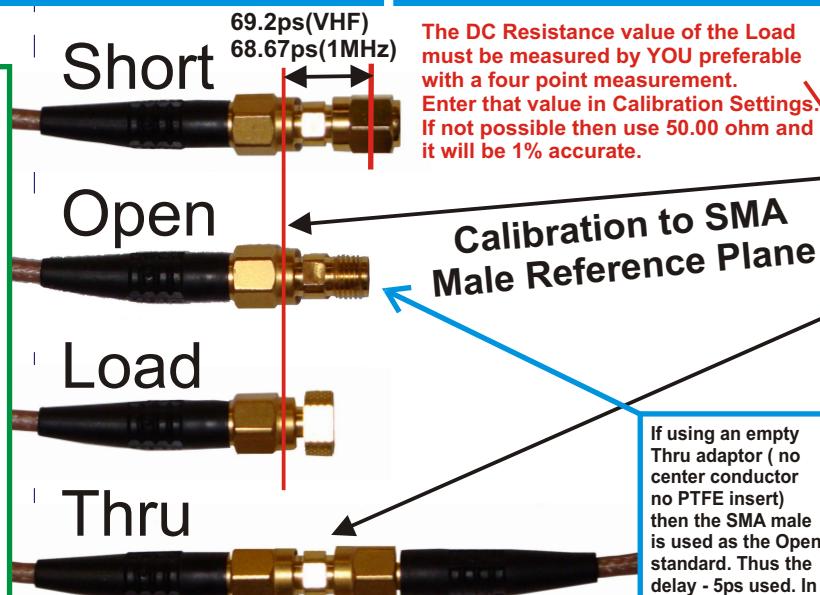
## Female Calibration Kit



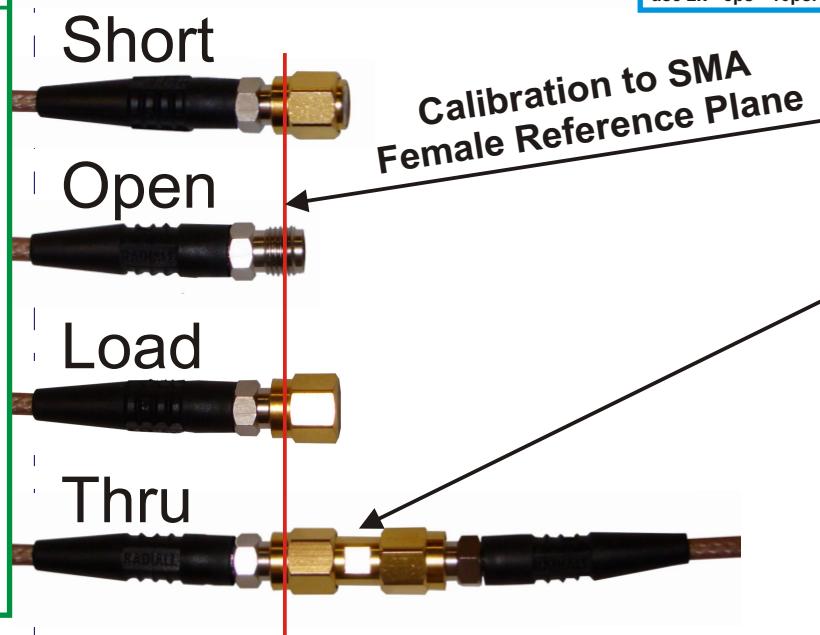
## Female Calibration Kit



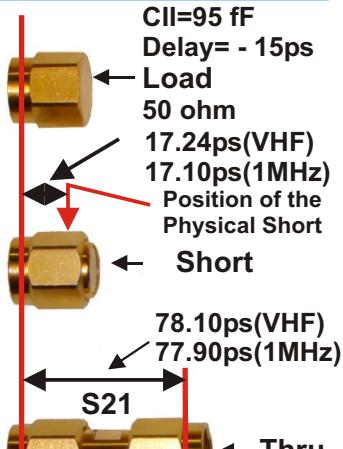
## Male Calibration Kit



## Male Calibration Kit



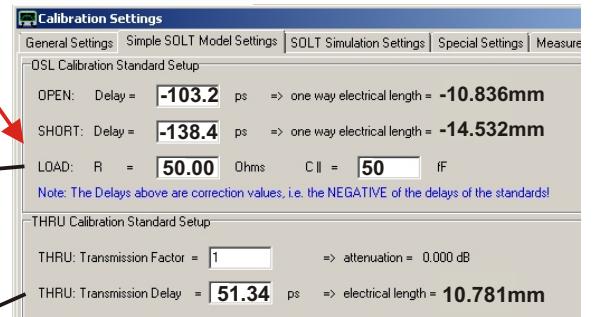
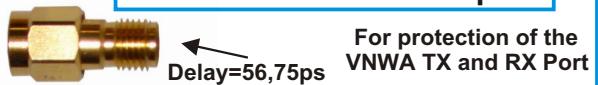
## Male Calibration Kit



On this sheet you will find the settings required in "Calibration Settings" and "Simple SOLT" for the Reflection (S11/S22) and Transmission (S21/S12) calibrations. [Find on page 2 arbitrary calibration settings.](#)

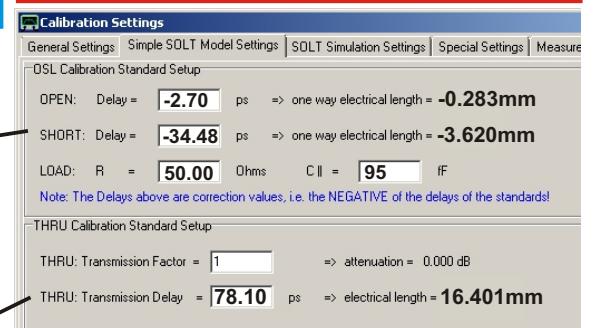
- Please note that if you want to calibrate to the Reference plane of the VNWA Female TX SMA connector on the cabinet, then use the settings for the "SMA Male Reference Plane".
- When using testcables and measuring both S11 and S21, then the Thru adaptor is used, during S21 calibration, but removed during real measurements. To compensate for the changed transmission delay between the TX and RX port, you have to enter the delay for the Thru adaptor in the calibration settings. When doing so the reference planes for both reflection and transmission remain "in sync" at the chosen testcable's calibration plane.
- When the test cables have male SMA at the testing end, the Female Calibration Kit data is used, and likewise for female SMA the Male Calibration Kit data is used.
- Do not use the Crosstalk Calibration for general use.
- Always set Delay Thru to 0 ps else transmission and reflection is not "in sync" any longer.

## SMA Male-Female Adaptor



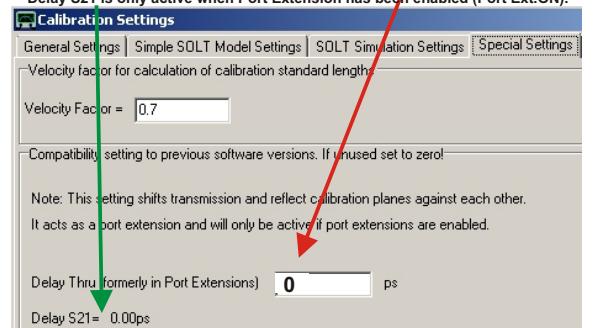
### A few Hints:

The calibration Plane can be moved forward and backward by using Measure/Port Extensions. Port 1 used for the forward direction (S11 and S21), and Port 2 used for the reverse direction (S22/S12). During reverse direction the DUT is reversed. For a positive delay the Calibration Plane is moved away from the TX port and Vice Versa. If the TX level is changed the calibration is also changed slightly. **READ ALSO THE HELP FILE**



Please check Delay Thru is set to 0 ps

Delay S21 is only active when Port Extension has been enabled (Port Ext.ON).

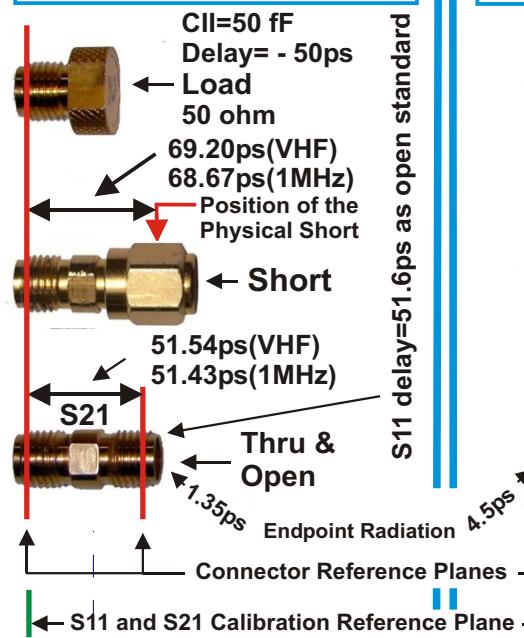


# SDR-Kits - Amphenol Connex CAL Standards for the DG8SAQ VNWA

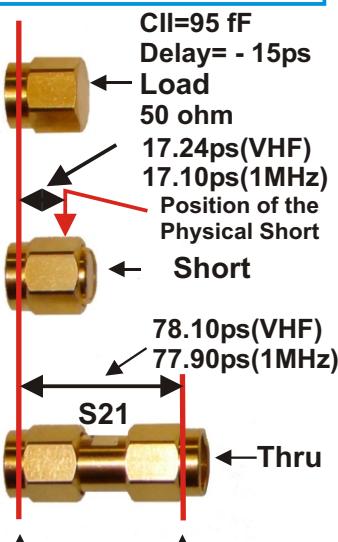
by Kurt Poulsen OZ7OU

Revision 4 Oct-2014 - Page2

## Female Calibration Kit



## Male Calibration Kit



On this sheet you will find the settings required in "Calibration Settings" and "Arbitrary calibration" for the Reflection (S11/S22) and Transmission (S21/S12) calibrations.

- Please note the general guidelines described in Page 1 are also valid for arbitrary calibration.  
- The speciality for arbitrary calibration is that more complex information can be entered for the open, short, load and thru calibration standards, such as e.g. a delay can be entered for the load, and for all calibration standard a formula can be entered which describes the frequency dependant parameters for a calibration standard.

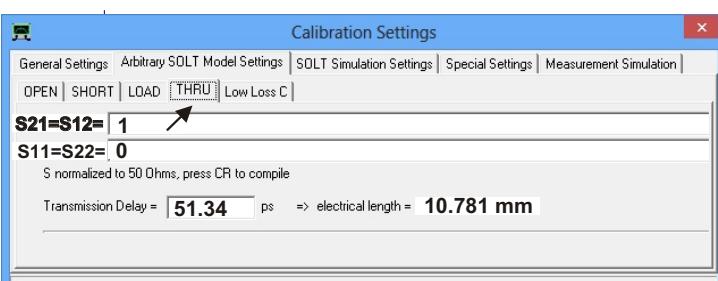
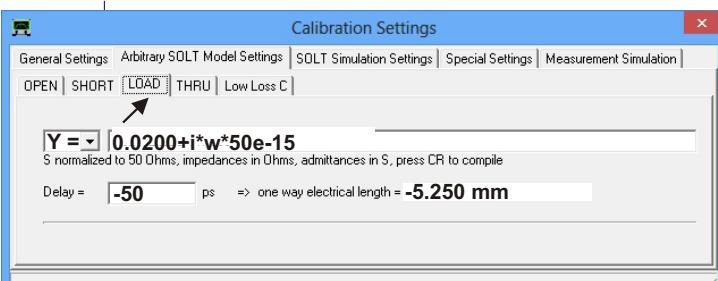
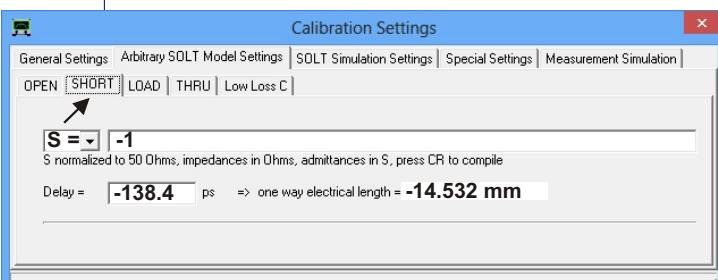
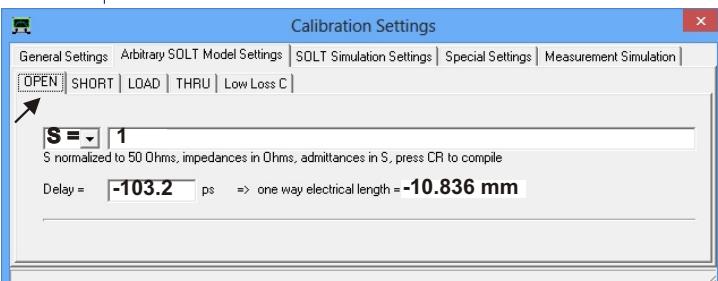
- As an example the expression for the female load is the following:  $Y = 0.0200 + i \cdot w \cdot 50e-15$ . As the load has a parasitic capacitance of 50fF in parallel with the 50 ohm resistance, it is convenient to express them as Y parameters. 0.0200 equals the resistance 1/50 and the capacitors admittance is  $i \cdot w \cdot 50e-15$ . i is the same as j, expressing we are dealing with an imaginary component. w equals to  $2 \cdot \pi \cdot f \cdot \text{freq}$  and  $50e-15$  is the capacitance of 50 fF. Please note you must enter your loads with measured resistance (4 point measurement). If not known use 0.0200 and it will be within 1%.

## SMA Male-Female Adaptor



For protection of the VNWA TX and RX Port

## Female Calibration Kit



## Male Calibration Kit

