

# TÉCNICAS DE APRENDIZAJE EN EL LABORATORIO DE MEDIDAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS DE RADIO FRECUENCIA (RF)

R.Berenguer<sup>1</sup>, I. Gutiérrez<sup>2</sup>, H.Solar<sup>1</sup>, I.Sancho<sup>1</sup>, D. Valderas<sup>1</sup> y A. García-Alonso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEIT y Tecnun (Universidad de Navarra)

Manuel de Lardizábal 15, 20018 San Sebastián, España  
(Tel: +34943219877, fax: +34943311442, rberenguer@tecnun.es)

<sup>2</sup> Tecnun (Universidad de Navarra)

Manuel de Lardizábal 13, 20018 San Sebastián, España

*Se presenta la asignatura de Laboratorio de Medidas e Instrumentación correspondiente a la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Navarra. El objetivo de la asignatura es lograr que el alumno domine la utilización y configuración de los aparatos de medida básicos empleados en la caracterización de circuitos en Radio Frecuencia (RF). Para ello, junto con los seminarios teóricos pertinentes, se realizarán 6 prácticas donde se caracterizarán sistemas de RF como son: un filtro, un amplificador de bajo ruido (LNA), un mezclador pasivo, un oscilador controlado por tensión y una red resonante LC.*

## 1. Introducción

En esta comunicación se presentan las técnicas de aprendizaje utilizadas en la asignatura de Laboratorio de Medidas e Instrumentación. Dicha asignatura forma parte de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Navarra, se imparte el 6º semestre del primer ciclo y tiene 4,5 créditos.

Esta asignatura es una asignatura de laboratorio donde el alumno realizará 6 prácticas con las que se quiere dotar al mismo de la capacitación para realizar la caracterización de circuitos de RF.

En la Figura 1 se muestra una fotografía del laboratorio donde se realiza esta asignatura práctica.



Figura 1. Laboratorio de Medidas e Instrumentación

## 2. Objetivos

Los objetivos que se buscan con dicho laboratorio son:

- Dominar la utilización y configuración los aparatos de medida básicos empleados en la caracterización de circuitos en Radio Frecuencia (RF). Los aparatos que se emplearán en la asignatura son el analizador vectorial de redes (VNA), el analizador de espectros (SA) y el generador de señal (SG).
- Caracterizar diversos circuitos de RF como son, un filtro, un amplificador de bajo ruido (LNA), un mezclador pasivo, un oscilador controlado por tensión una red resonante LC.
- Realizar las medidas de dichos circuitos de manera automática con un PC controlando los aparatos mediante el programa HP-VEE de Agilent.

Previamente a la realización de las prácticas habrá un par de clases teóricas en las que se describirá el funcionamiento interno de los aparatos de medida que se emplearán en las prácticas.

### 3. Medios del laboratorio

Para la consecución de los objetivos buscados se dispone de 10 puestos de laboratorio. Cada uno de esos puestos consta de los siguientes medios: Analizador Vectorial de Redes (VNA) de Agilent, Generador de Señal (SG) de Agilent, Analizador de Espectros (SA) de Agilent, Osciloscopio Tektronik, Fuente de Alimentación así como un kit de cables, conectores y equipo de calibración de los aparatos. En la Figura 2 se muestra la fotografía de un puesto de medida del laboratorio.



Figura 2.-Puesto de medida del laboratorio

Los VNAs utilizados son el modelo 8714ET de Agilent con un rango de trabajo hasta 3 GHz. Los SAs son el modelo E4402B de Agilent que trabajan hasta 3 GHz. Los generadores de señal son los modelos E4432B y E4433B de Agilent también hasta 3 GHz.

Además de estos equipos principales, cada puesto esta equipado con una fuente de tensión Grelco VD-305SF y osciloscopios TDS220 de Tektronik El puesto de medida se completa con un PC equipado con ofimática y el VEE de Agilent y de un conjunto de cables y conectores de RF por puesto.

Además de estos equipos el laboratorio dispone de los siguientes equipos:

- Kit de calibración
- Medidor LCR 4263B de Agilent
- Fuente de Ruido 346A de Agilent
- Generador de funciones 3325B de Agilent

#### 4. Seminarios

Antes de comenzar las prácticas se realizan 3 seminarios sobre el funcionamiento teórico de de cada uno de los aparatos de cada puesto.

Seminario 1: En el primer seminario se explica el funcionamiento del un analizador vectorial de redes. En el se detallan en primer lugar los tipos de medidas que pueden realizarse con ellos (Parámetros S). Seguidamente se mencionan las características fundamentales de estos como (Rango Frecuencial, tipo de aparato T/S o de parámetros S, etc, para finalmente describir el hardware que lo compone.

Seminario 2: Se explica el manejo y utilidad del generador de señal. Se describen sus principales características, así como su funcionamiento básico. También se menciona los distintos tipos de modulaciones tanto analógicas como digitales que son capaces de generar.

Seminario 3: Se aprende a manejar el analizador de espectros. Siguiendo el esquema de los anteriores seminarios se describe su modo de operación y el hardware que lo compone.

#### 5.-Prácticas

Una vez adquiridos los conocimientos teóricos sobre cada una de las partes del puesto de medida, se realizan las prácticas de la asignatura.

Las prácticas se dividen en dos grandes bloques, en el primero se realiza la caracterización de elementos básicos de RF y en el segundo bloque se caracteriza cada uno de las partes principales de un front-end de RF.

Cada uno de los bloques es desarrollado a continuación.

##### 5.1.-Caracterización de elementos básicos de RF

Práctica 1. Calibración SOLT. En esta práctica se realizará la caracterización de los cables de medida, el divisor de potencia y un filtro.

Los objetivos de esta práctica son:

- Familiarizarse con los aparatos de un puesto de medida de RF (VNA, SG y SA).
- Calcular las pérdidas de los cables.
- Caracterizar un filtro paso banda de RF.

Para la medida de los parámetros S de un circuito de RF es necesario establecer el plano de referencia a la entrada de dicho circuito, es decir se necesita eliminar o sustraer de la medida el efecto de todos aquellos errores sistemáticos como pueden ser las pérdidas en cables, conectores, etc. Para ello previamente a la medida del circuito de RF el VNA necesita ser calibrado. La manera de calibrar el VNA es ir conectando al cable que se va a utilizar en las medidas una serie de terminaciones: un

cortocircuito, un circuito abierto y una carga de  $50\Omega$ , que es la impedancia característica del aparato. Además, si se utilizan los dos puertos del analizador, también se necesitará un adaptador hembra-hembra que conecte entre sí los dos cables.

En esta práctica se caracterizarán los componentes del kit cuyas pérdidas son significativas: los cables y el divisor/combinador de potencia. Para ello se utilizará el generador de señal y el analizador de espectros.

El kit consta de 2 tipos de cable, de longitud 1 m y 1,5 m. Es un cable coaxial flexible denominado RG223. La conexión para calcular la pérdida en los cables es la que aparece en la figura 3.



Figura 3.- Conexión para el cálculo de la pérdida de los cables

Dicho montaje consta de:

- Generador de señal (1).
- RF input del analizador de espectros (2).
- Cable cuyas pérdidas estamos midiendo (3).

La practica finaliza con la caracterización de un filtro de la empresa Minicircuits modelo NBP-177-1. Mediante la siguiente conexión (Figura 4), se medirán los parámetros más característicos del filtro.

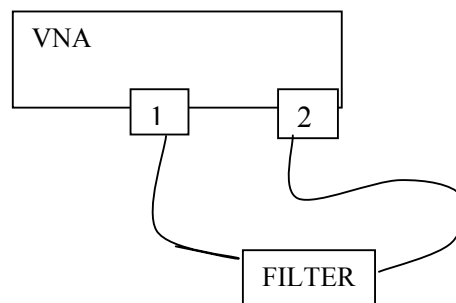


Figura 4.-Conexión para la medida de un filtro

Será necesario calibrar los dos puertos del analizador de redes (1 y 2) para medir los parámetros del filtro. Habrá que medir las siguientes características.

- Tipo de filtro: Pasa-baja, Pasa-alta o Pasa-banda
- Frecuencia central
- Pérdidas mínimas en la banda de paso
- Ancho de banda a 3 dB

- Rizado en dB dentro de la banda de paso
- Ancho de banda de la banda de rechazo(Pérdidas de inserción>20dB)
- Ancho de banda de la banda de rechazo(Pérdidas de inserción>35dB)
- VSWR mínimo en la banda de paso
- VSWR máximo en la banda de paso

Practica 2.Diseño y medida de una red LC. Esta práctica trata de diseñar y montar una red resonante sintonizable y caracterizarla mediante el VNA.

Los objetivos de esta práctica son por tanto:

- Realizar el diseño y montaje de una red resonante sintonizable, que resuene entre 40 y 195 MHz, a partir de los cálculos teóricos.
- Medir con el VNA el comportamiento del circuito diseñado y calcular el valor real de la inductancia diseñada para la red resonante.

Para ello se realizará el diseño de una red resonante serie mediante una capacidad variable y una bobina aérea de fabricación propia. La figura 5 muestra el esquema de una red resonante serie:

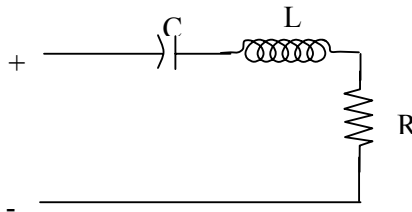


Figura 5.- Red resonante serie a medir

La red resonante está formada por una capacidad, una bobina y una resistencia. La particularidad de este circuito es que a la frecuencia de resonancia su impedancia es puramente resistiva.

El montaje de la red se hará en un placa de circuito impreso que, posteriormente y para realizar las medidas, se soldará a una caja metálica con conectores tipo N. Para la resistencia serie del circuito se elige  $50\Omega$ . Para ello, bien se puede poner una carga en el terminal de salida o calibrar el puerto 2 del VNA y utilizarlo como carga, pues la impedancia de entrada de ese puerto serán  $50\Omega$  una vez calibrado.

### 5.2.- Caracterización de los elementos de un front-end de RF.

La arquitectura tradicionalmente adoptada para trasladar una señal de RF a una frecuencia intermedia (FI) es la mostrada en la figura 6.

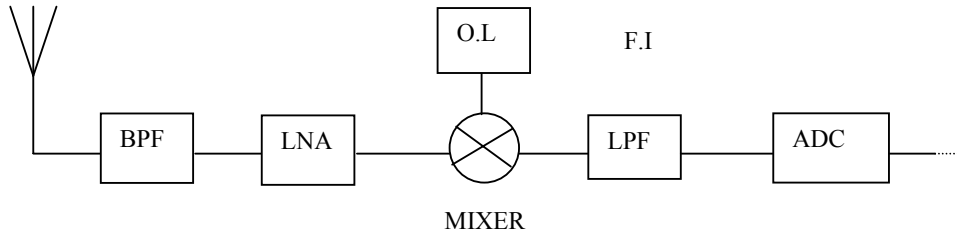


Figura 6.- Arquitectura para pasar de RF a FI

Donde:

LNA: Amplificador de bajo ruido (Low Noise Amplifier).

LPF: Filtro pasa baja (Low Pass Filter).

BPF: Filtro pasa banda (Band Pass Filter).

OL: Oscilador local.

ADC: Convertidor analógico digital (Analog to Digital Converter).

Con las siguientes prácticas se pretende caracterizar los bloques más importantes de dicha arquitectura.

Practica 3. Medida de las características de un oscilador controlado por tensión (VCO). En esta práctica se trata de utilizar el SA para medir las principales características de un VCO dentro de la cadena de recepción de una señal de RF.

El oscilador local es uno de los componentes fundamentales en todo terminal de radio frecuencia. En gran cantidad de aplicaciones a parte de trasladar la señal de RF a una determinada FI es necesario el sintonizar un determinado canal de RF. En dichas aplicaciones es necesario generar una señal sinusoidal a distintas frecuencias de forma que se pueda sintonizar el canal de RF.

Dicho generador suele implementarse mediante un oscilador controlado por tensión o VCO (Voltage Controlled Oscillator). Dicho componente se trata de un oscilador cuya frecuencia de salida puede ser controlada mediante la tensión aplicada a un terminal de control.

Para dicho oscilador será entonces interesante conocer el rango de frecuencias de salida que es capaz de suministrar, así como la potencia para cada una de ellas. También será interesante el conocer el nivel de potencia del segundo y tercer armónico ya que éstos también entrarán al mezclador pudiendo provocar componentes en la salida no deseadas.

Para caracterizar un VCO será importante conocer cual es la frecuencia y la potencia de salida de la señal generado por el VCO para cada valor de tensión aplicada al terminal de control. La figura 7 muestra el montaje necesario para ello.

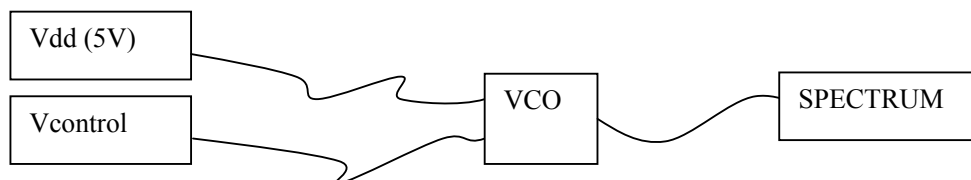


Figura 8.-Montaje para la caracterización de un VCO.

Práctica 4. Medida de las características de un amplificador de bajo ruido (LNA). En esta práctica se mide un LNA y de esta forma se aprendan los conceptos que definen el comportamiento del mismo (parámetros S, punto de comprensión 1 dB y figura de ruido).

Para esta práctica se dispone de dos tipos de LNA. El primero está optimizado para trabajar en la banda ISM 868-870 MHz, zona del espectro en la que se puede emitir libremente siempre que se cumpla la normativa vigente en cuanto a potencia máxima emitida, potencia en canal adyacente, etc. Las típicas aplicaciones de esta banda son los micrófonos inalámbricos, mandos a distancia de radiofrecuencia, alarmas, etc. El otro LNA está diseñado para trabajar en la banda DCS, que es una banda extendida para uso en telefonía móvil de segunda generación.

La función del LNA dentro de un receptor es principalmente amplificar la señal que se recibe en la antena, introduciendo el menor ruido posible, antes de que esta señal entre en el mezclador para ser bajada a una frecuencia intermedia. De esta forma se incrementa el rango dinámico del receptor. En la figura 9 se muestra el diagrama de bloques típico de un receptor de radio frecuencia (RF), en donde el LNA se encuentra al principio de la cadena de recepción.

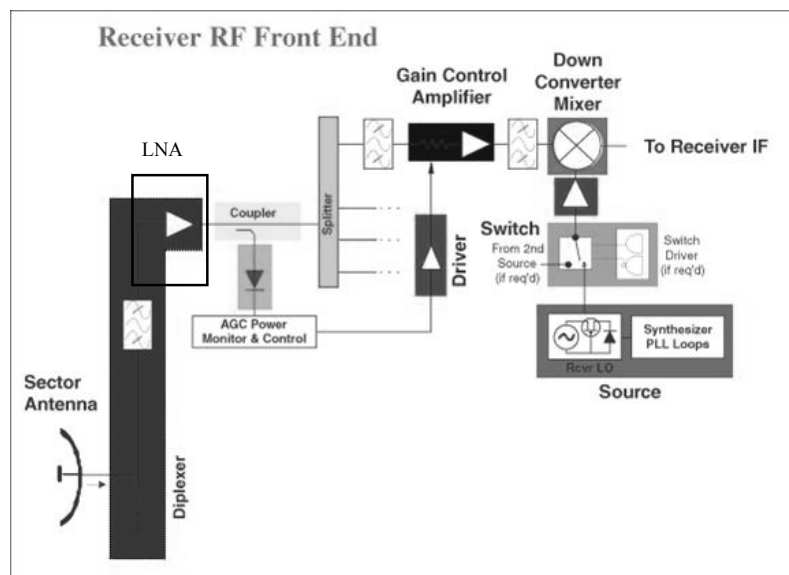


Figura 9.- Esquema de un receptor de RF con su LNA

La medida de los parámetros S del LNA se realizará utilizando el VNA. Utilizaremos también el SA para medir de forma alternativa la ganancia ( $S_{21}$ ) del circuito.

Para medir la linealidad de nuestro circuito se calcula el IP3 del mismo. El método más empleado para medir el punto de intermodulación de tercer orden (IP3) consiste en aplicar a la entrada de nuestro circuito no lineal dos tonos sinusoidales de idéntica amplitud y distintas frecuencias,  $f_1$  y  $f_2$ . La salida de nuestro circuito presentará componentes de intermodulación, no armónicas de las frecuencias introducidas. Mediremos a la salida las potencias de los tonos introducidos,  $f_1$  y  $f_2$ , así como las de los productos de intermodulación de tercer orden,  $2f_2-f_1$  y  $2f_1-f_2$ , por ser los más cercanos al ancho de banda de utilización del amplificador.

Para poder medir el IP3 necesitamos el combinador que nos permita sumar las dos señales de entrada de igual amplitud, en nuestro caso  $A_{sen}(2\pi f_1 + \phi_1) + A_{sen}(2\pi f_2 + \phi_2)$ . Este combinador tiene dos entradas y una salida. En las entradas se introducen los dos tonos, que se generarán con el VNA en

modo CW, y el generador de señal. A la salida se conecta la entrada del LNA. Este combinador presenta unas pérdidas a las frecuencias a las que se va a calcular el IP3 (868MHz-870MHz ó 1710MHz-1785MHz) hay que tenerlas en cuenta para poder aplicar un factor de corrección a nuestras medidas posteriores. También hay que tener en cuenta las pérdidas de los cables que conectan los distintos elementos entre sí. Para clarificarlo, se presenta la figura 10.

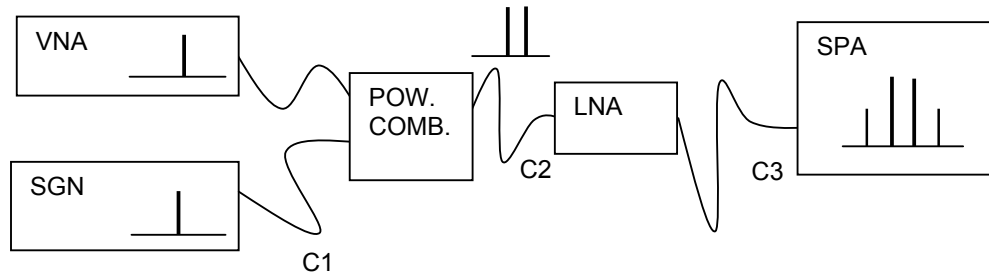


Figura 10.- Medida del IP3 de un LNA.

**Práctica 5. Medida de un mezclador pasivo.** El objetivo de esta práctica es entender los principios básicos de conversión de frecuencia y rendimiento de un mezclador, así como caracterizar un mezclador de microondas.

El mezclador es el componente dentro de un terminal de RF donde se realiza la traslación frecuencial de una señal de radio frecuencia a una señal de frecuencia intermedia. El mezclador utilizado en esta práctica es el HMC285 de Hittite, preparado para trabajar normalmente en frecuencias entre 1.7 y 3.5 GHz. Este rango es válido tanto para la señal de radiofrecuencia (RF), como para el oscilador local (LO). En esta práctica, la frecuencia del oscilador local estará siempre por debajo de la señal de RF. La diferencia de ambas es, precisamente, la frecuencia intermedia de salida (IF).

En esta práctica se utilizará el analizador vectorial de redes y el generador de señal para la obtención de las frecuencias RF y LO, mientras que la salida IF será observada mediante el analizador de espectros.

Las medidas a realizar en el mezclador son las siguientes:

- Curvas de pérdidas de conversión de potencia.
- Medidas de aislamiento de los distintos puertos.
- Parámetros S del mezclador.

Para ello se utiliza el montaje de la figura 11.

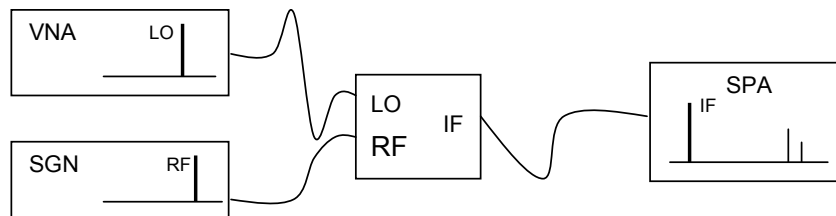


Figura 11.- Montaje para la medida de un mezclador



## Práctica 6. Realización de medidas mediante el HP-VEE.

En esta práctica el alumno mediante el programa HP-VEE controla desde un PC los distintos aparatos de medida. De esta forma es capaz de automatizar uno de los procesos de medida descritos durante las prácticas de la 3 a la 5.

### **6. Bibliografía**

- Curso "Back to Basics" de Agilent Technologies.
- Manual de usuario HP-VEE