

GENERADORES DE RF. COMPRENDIENDO E INTERPRETANDO SUS ESPECIFICACIONES.

Comprender e interpretar las especificaciones de un instrumento resulta crítico por varias razones: a) permite al usuario predecir cómo se comportará el instrumento en una medida específica; b) determinar el equipo adecuado para una determinada aplicación y c) evaluar la incertidumbre de medida total o error que está cometiendo el instrumento. En este artículo describiremos la manera que tienen los fabricantes de especificar o caracterizar a los generadores de radiofrecuencia o, también llamados, fuentes de señal.

Idealmente, la salida de una fuente produce solamente una frecuencia, la frecuencia fundamental, también denominada señal CW (de *Continuous Wave*) en la terminología de fuentes de señal. En el dominio del tiempo, la señal es una onda sinusoidal pura, sin distorsión mientras que en el dominio de la frecuencia, la señal del generador solamente contiene una línea espectral (ver figura 1).

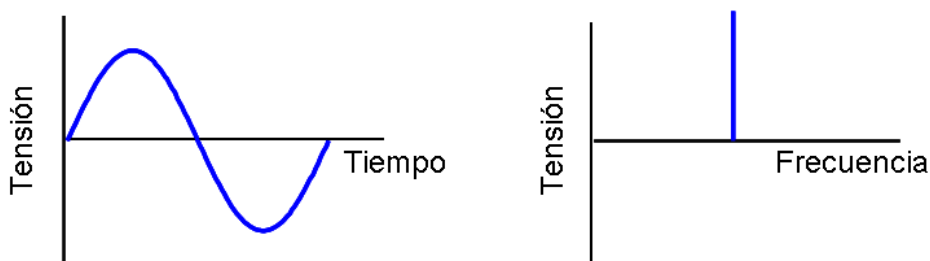


Figura 1. Salida ideal de un generador en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

En la práctica, es imposible obtener señales completamente ideales o puras y, por tanto, las fuentes de señal generarán también ruidos, inestabilidades, frecuencias, productos de distorsión, modulaciones, etc, que se suman a la señal ideal. En este artículo describiremos estas perturbaciones y cómo los fabricantes las caracterizan.

TIPOS DE GENERADORES

Se pueden distinguir tres tipos de fuentes de señal de RF:

- **De Onda Continua (CW)**
Generan una única frecuencia; una señal senoidal. El usuario puede establecer la frecuencia y la amplitud de la señal.
- **De Barrido (Swept)**
Producen barridos en frecuencia desde una frecuencia de inicio hasta una frecuencia final establecidas por el usuario. El barrido puede ser continuo ó en rampa, sin saltos de fase, o en escalón.
- **Generadores de Señal (Signal Generator)**
Tienen capacidades de modulación, es decir, se puede modular la onda continua. Normalmente los generadores de señal son también generadores de barrido y de CW.

ESPECIFICACIONES

Podemos dividir las especificaciones de estos instrumentos en cuatro grandes grupos: frecuencia, amplitud o nivel, pureza espectral y modulación. A continuación describimos los parámetros asociados a cada uno de estos grupos.

FRECUENCIA

Frequency Range¹ (Rango de Frecuencia)

Especifica el rango de frecuencias de salida que el generador puede producir.

Frequency Resolution (Resolución en Frecuencia)

La especificación de resolución en frecuencia indica el cambio más pequeño posible al variar la frecuencia. Por ejemplo, en una fuente de señal con 0.1 Hz de resolución de frecuencia, podremos establecer la frecuencia de salida en 1000.1 Hz, 1000.2 Hz, 1000.3 Hz, etc, pero no podremos seleccionar 1000.05 Hz. Esta especificación no define la exactitud en frecuencia sino que determina con qué finura podemos establecerla.

Frequency Stability (Estabilidad de Frecuencia)

La frecuencia de cualquier oscilador varía en el tiempo debido principalmente a la temperatura y al envejecimiento pero también a otros efectos. La especificación de estabilidad de frecuencia describe esta variación a largo plazo. Viene dada normalmente y dependiendo del tipo de oscilador en *ppm/day* o *ppm/month* y, a menudo, viene asociada a un rango de temperatura específico. Las fluctuaciones de frecuencia a corto plazo vienen especificadas normalmente como ruido de fase. Una especificación típica de estabilidad en frecuencia podría ser $\pm 5 \times 10^{-8}$ /day. Con esta especificación, una fuente de señal a 100 MHz podría variar:

$$\pm (5 \times 10^{-8} / \text{day}) \times (100 \text{ MHz}) = \pm 5 \text{ Hz/day}$$

La incertidumbre en la frecuencia de salida (ver figura 1) viene dada por la estabilidad en frecuencia del generador y el tiempo transcurrido desde su última calibración

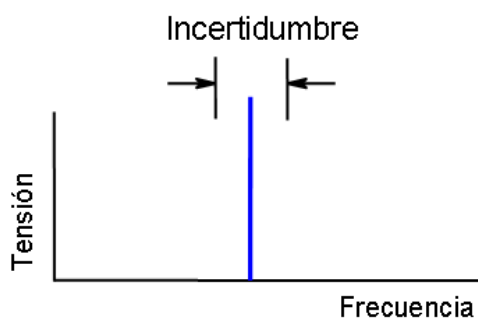


Figura 1. Error en la frecuencia de salida.

Ejemplo:

Supongamos que seleccionamos una frecuencia de salida de 1 GHz en nuestro generador de señales. ¿Qué incertidumbre o error en frecuencia comete el generador si hace 10 meses que fue calibrado?

Viendo las hojas de especificaciones, el generador tiene un *aging rate* = 10^{-8} /mes. Por tanto el error en frecuencia será:

$$\text{Error: } 10^{-8} / \text{mes} \times 10 = 10^{-7} \rightarrow 10^{-7} \times 10^9 = \pm 100 \text{ Hz}$$

Frequency Sweep (Barrido en Frecuencia)

Los generadores de barrido tienen la capacidad de variar automáticamente la frecuencia desde una frecuencia inicial hasta una frecuencia final seleccionadas por el usuario. La forma de variar esta frecuencia puede ser continua o en rampa y escalonada. En el barrido en rampa la

¹ He querido mantener, intencionadamente, los términos ingleses de las especificaciones ya que normalmente los manuales de usuario y hojas de datos suelen venir en inglés.

frecuencia de salida varía de una forma lineal sin saltos de fase (figura 2). Cuando el barrido de frecuencia se hace en modo rampa hay que especificar el tiempo de barrido (*sweep time*).

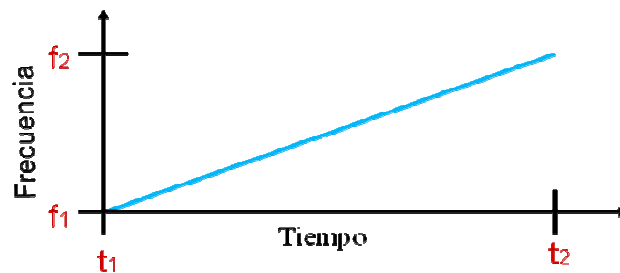


Figura 2. Barrido de frecuencia en Rampa.

En el barrido en escalón, las frecuencias de salida cambian de forma abrupta de un valor a otro, permaneciendo en cada valor un tiempo determinado como indica la figura 3. En este modo, se especifica el tiempo de conmutación y el número de puntos o frecuencias.

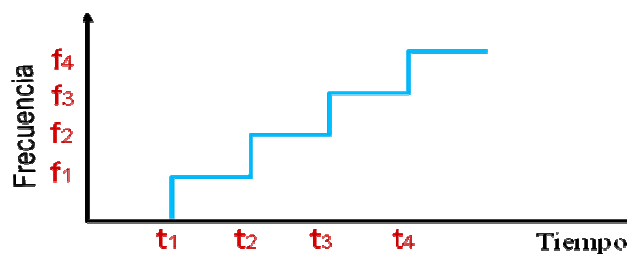


Figura 3. Barrido de frecuencia en Escalón.

Switching time (Tiempo de Conmutación)

Indica el tiempo que necesita el generador para cambiar de una frecuencia a otra.

AMPLITUD Y NIVEL

Level Range (Rango de Nivel)

Es el rango de niveles o potencias de salida que el generador puede entregar. Está determinado por su potencia máxima de salida y su atenuador. Una fuente de señal de clase alta puede tener un rango comprendido entre +13 dBm y -140 dBm.

Level Accuracy (Exactitud de Nivel)

Esta especificación indica el error máximo que puede haber en la salida o nivel de potencia de una fuente de señal. Normalmente, la exactitud de nivel está especificada a una sola frecuencia y a un solo nivel de potencia (figura 4). Una especificación típica es: ± 0.5 dB a 50 MHz y +10 dBm de potencia de salida.

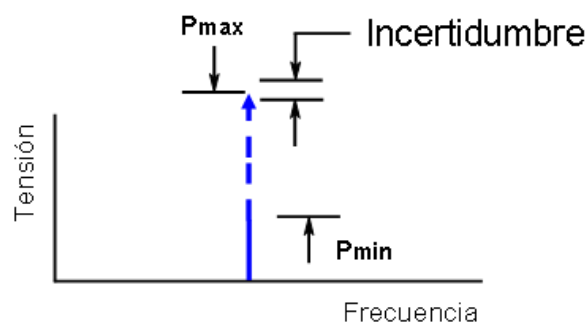


Figura 4. Barrido de frecuencia en Escalón.

Level Linearity (Linealidad del Nivel)

La linealidad de nivel muestra el error que comete el instrumento cuando variamos el nivel o la potencia de salida. Depende de su atenuador de salida. Se presenta, a menudo, en forma de tabla con la exactitud especificada para un rango de potencias de salida. Por ejemplo:

Error	Output Level
± 0.2 dB	-5 dBm to +15 dBm
± 0.5 dB	+15 dBm to +20 dBm

Flatness (Planitud)

La especificación de *flatness* representa la respuesta en frecuencia del nivel de potencia de la fuente con respecto a un valor de nivel o amplitud de baja frecuencia (Figura 5). La especificación de *flatness* no indica la exactitud absoluta de la potencia de la fuente si no cuánto varía la potencia de salida con la frecuencia. Por ejemplo, una especificación de *flatness* de ± 1 dB significa que, para una amplitud de salida determinada, el nivel real o verdadero de potencia de la fuente puede variar hasta 2 dB cuando variamos o barremos en frecuencia.

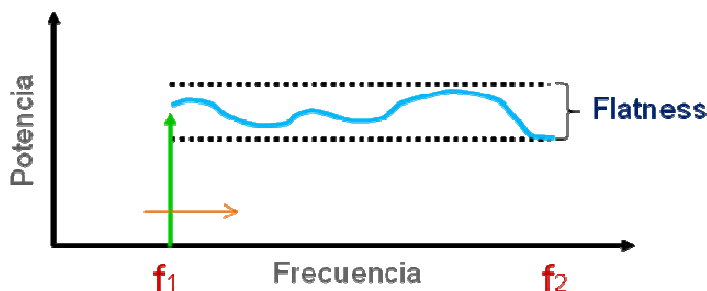


Figura 5. El *Flatness* se define como la variación del nivel de salida con la frecuencia con respecto a un nivel, normalmente, de baja frecuencia.

Para obtener el error máximo del nivel de salida a una frecuencia y potencia de salida determinada, debemos tener en cuenta la exactitud de nivel, la especificación de linealidad, que describe la exactitud a otros niveles de potencia, y el flatness, que nos da la variación del nivel con la frecuencia.

Reverse Power Protection (Protección de Potencia Inversa)

Indica la máxima potencia que se puede inyectar a la salida de generador sin que sufra ningún daño.

Output Impedance (Impedancia de Salida)

La impedancia de salida nominal, Z_o , (normalmente 50 Ω o 75 Ω) de la fuente de señal es importante porque el dispositivo que se le acople debe también tener la misma impedancia para evitar pérdidas por desadaptación. La calidad de esta impedancia de salida Z_o vendrá dada en términos de Pérdidas de Retorno (*Return Loss*) o Coeficiente de Onda Estacionaria (*SWR*) dada la relación que existe entre pérdidas de retorno y coeficiente de onda estacionaria. Esto es muy importante en la determinación o evaluación del error de medida debido a la desadaptación de impedancias entre generador y carga. Una especificación típica puede ser: > 20 dB de pérdidas de retorno. La indicación de nivel del generador siempre se refiere al nivel de salida cuando le conectamos una carga que tiene su misma impedancia.

Power Sweep (Barrido en potencia)

La capacidad del instrumento de variar, de forma automática, el nivel o potencia de salida (figura 6)

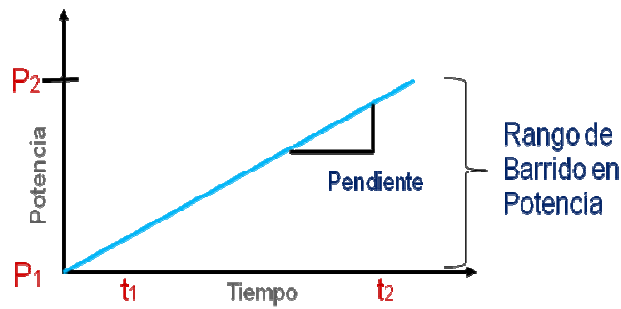


Figura 6. Barrido en Potencia (*Sweep Power*).

Power Sweep Range (Rango de Barrido en Potencia)

Si el generador tiene la capacidad de variar la potencia o nivel de salida de forma automática, indica el rango de valores posibles.

Dwell time (Tiempo de parada)

Cuando un generador barre en potencia, es el tiempo que permanece en cada nivel o potencia antes de establecer el siguiente nivel.

PUREZA ESPECTRAL

La pureza espectral se puede definir, en términos generales, como la estabilidad en frecuencia a corto plazo, normalmente para intervalos inferiores a 1 segundo. Cuatro parámetros definen la pureza espectral de un generador o fuente de señal.

Single-Sideband Phase Noise (Ruido de fase de Banda Lateral Única)

También denominado *SSB Noise*, es el parámetro más interesante para especificar la estabilidad a corto plazo de un generador u oscilador y se define como la potencia de ruido de banda lateral en un ancho de banda de 1 Hz con respecto al desplazamiento (*offset*) de frecuencia desde la portadora o frecuencia fundamental. La figura 7 representa un ruido de fase SSB expresado en dB relativo a la portadora o frecuencia fundamental (dBc). La gráfica representa el ruido de fase de una de las bandas laterales.

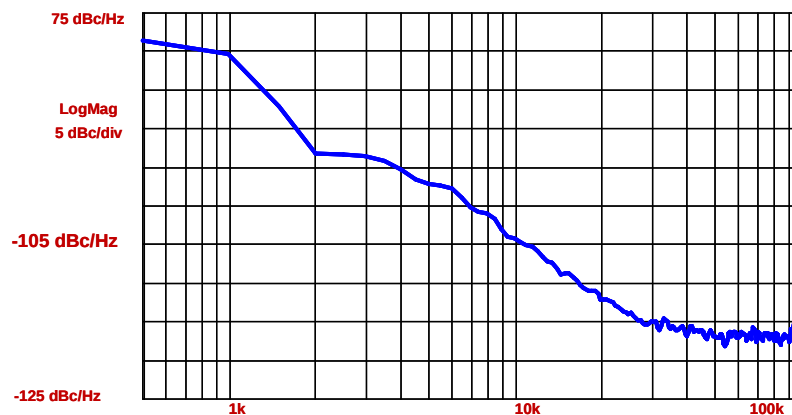


Figura 7. El ruido de fase SSB con respecto a la distancia a la portadora.

Spurious (Espurios)

Para generar la frecuencia de salida los circuitos del generador deben mezclar y dividir señales. Este proceso produce señales determinísticas ó no-aleatorias. Si estas señales se pueden relacionar armónicamente con la portadora se denominan sub-armónicos; en caso contrario se llaman espurios. Típicamente suelen ser < 50 dBc.

Residual FM (Residual de FM)

Las residuales de FM son modulaciones angulares indeseadas, es decir, la modulación de FM de la señal de salida sin haber modulaciones de FM. Resulta de la integración de la curva de ruido de fase SSB con unos límites ancho de banda de post-detección de 300 Hz a 3 kHz y/o de 20 Hz a 15 kHz.

Harmonics (Armónicos)

La señal de salida puede contener frecuencias que son múltiplos de la frecuencia seleccionada. A éstos múltiplos se denominan armónicos de la frecuencia fundamental. El contenido armónico presente en la señal de salida viene especificado en decibelios relativos a la portadora (dBc), en este caso la frecuencia fundamental o CW. Especificación típica: < -30 dBc

La figura 8 muestra, gráficamente, todos los componentes de la pureza espectral de los generadores de señal.

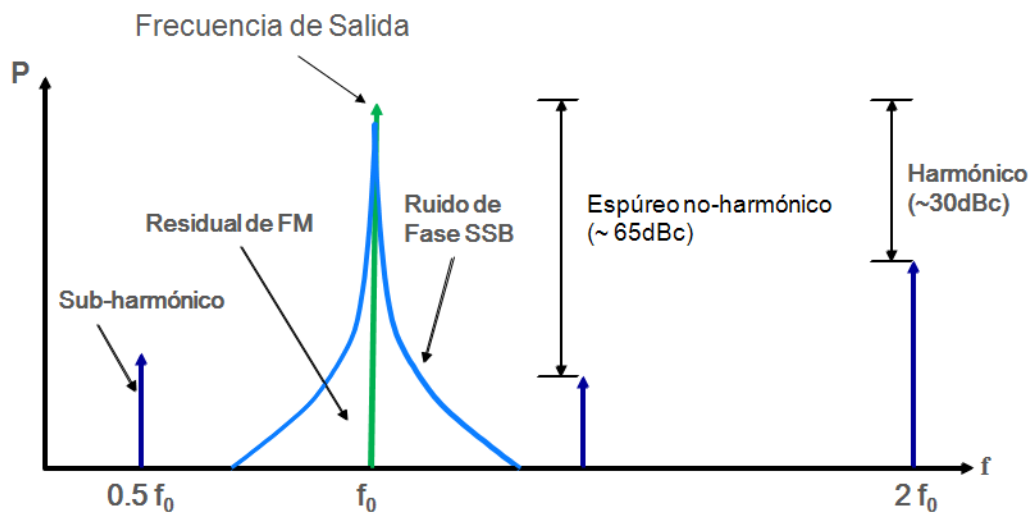


Figura 8. Frecuencia de salida y componentes de la pureza espectral de un generador de señal.

Importancia de la pureza espectral

La pureza espectral resulta clave en muchos sistemas de comunicación modernos. Como ejemplo, en el campo de las comunicaciones móviles. Debido al aumento de emisores, el espectro de frecuencia libre es cada vez más escaso por lo que los canales de comunicaciones están cada vez más cerca los unos de otros. Esto plantea dificultades de diseño en los receptores que deben ser cada vez más selectivos, es decir, deben ser capaces de distinguir portadoras muy próximas entre sí. Para testear la selectividad de los receptores, los generadores que simulan canales deben tener una excelente respuesta espectral para no invadir espectros de otros canales (ver figura 9).

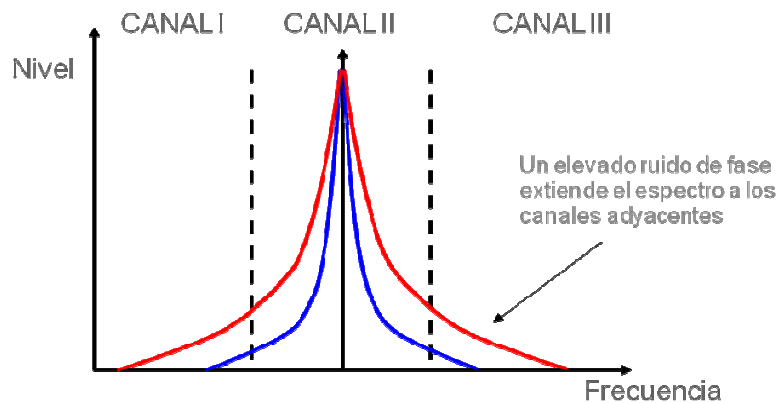


Figura 9. El ruido de fase SSB puede afectar a los canales adyacentes

MODULACIONES

La capacidad de modular la señal de salida es la diferencia fundamental entre un general de señal de una fuente de onda continua (*CW source*) donde solamente se puede variar la frecuencia y el nivel. La modulación consiste en variar uno o más parámetros de la señal de salida, que será la amplitud, la frecuencia y la fase. Si se varía la amplitud se obtiene una modulación en amplitud o AM, si se varía la frecuencia obtenemos una modulación en frecuencia o FM y si se varía la fase, la modulación es en fase o PM. La figura 10 muestra diferentes tipos de modulaciones analógicas.

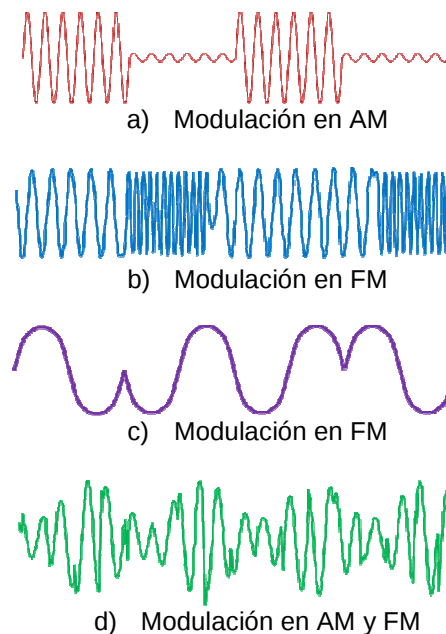


Figura 10. Modulaciones analógicas.

Modulation Index (Índice de modulación)

El generador podrá variar el índice de modulación en AM, medido en porcentaje (%), el índice de modulación en FM, medido en Hz o kHz y el índice de modulación en PM, medido normalmente en radianes (rad).

Modulation Frequency (Frecuencia de Modulación)

Normalmente, se puede variar también la frecuencia de la señal moduladora así como inyectar esta señal desde el exterior a través de un conector apropiado.

Pulse Modulation (Modulación de Pulsos)

La modulación por pulsos es un caso especial de modulación de AM donde la señal moduladora son pulsos (figura 11). En esta tipo de modulación podemos variar la velocidad o frecuencia de repetición de los pulsos (*Rate*), el período (*T*) de los pulsos, los tiempo de subida y bajada (*Rise and Fall Time*) y el ciclo de trabajo de los pulsos (*On/Off Ratio*)

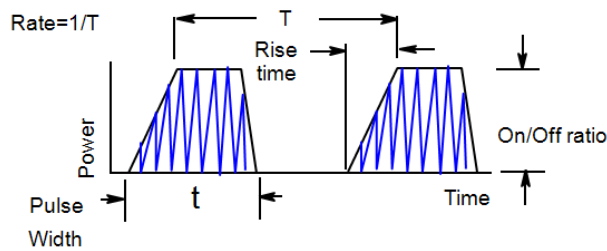


Figura 11. Modulación por Pulsos.

Error Vector Magnitude, EVM (Magnitud del Vector Error)

En modulaciones digitales, específicamente, en modulaciones IQ, el mejor estimador de la calidad de una modulación IQ es el parámetro EVM. Se define, en porcentaje, entre la magnitud de error promedio de los símbolos generados y la magnitud del símbolo ideal, es decir, cuantifica, la desviación de los símbolos generados con respecto a su posición ideal (ver figura 12).

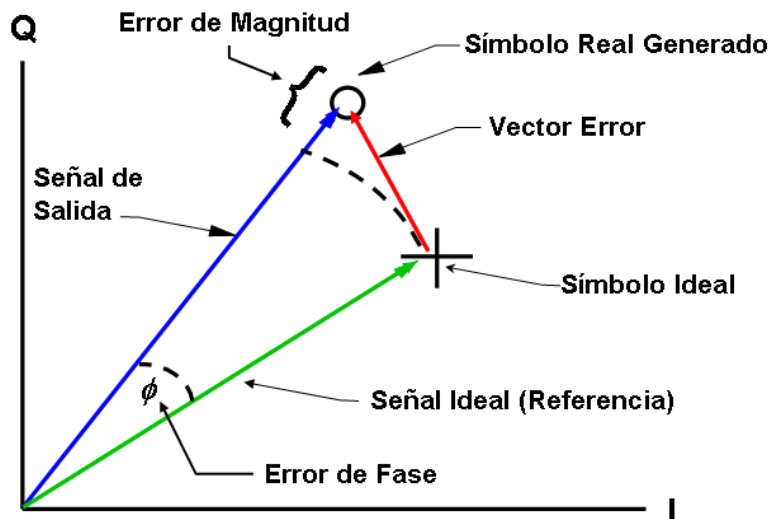


Figura 12. Magnitud del Vector Error (EVM).

Javier Martín Montalbán

Director Técnico

DENVER metrología electrónica, S.L.