



**Encuentro Nacional
de Metrología Eléctrica**
13, 14 y 15 de junio de 2005

Medición de Tensión en Alta Frecuencia

Martha H. López Sánchez e Israel García Ruiz

CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

km 4,5 Carr. a Los Cués, 76241 El Marqués, Qro.

División de Mediciones Electromagnéticas

Laboratorio de Potencia Electromagnética en Alta Frecuencia

Contenido

- Introducción
- Consideraciones en la medición de tensión en alta frecuencia
- Medición de tensión en el intervalo de frecuencia de 100 kHz a 1 MHz
- Medición de tensión en el intervalo de frecuencia de 10 MHz a 600 MHz
 - Sensor de Potencia
 - Eficiencia Efectiva
 - Factor de Calibración
 - Efectos de desacoplamiento
 - Incertidumbre por desacoplamiento
- Medición de tensión en el intervalo de frecuencia de 100 kHz a 10 MHz utilizando termoconvertidores
- Conclusiones

Introducción



- Es clara la importancia que tienen los equipos multifunciones para los laboratorios secundarios, por lo que es evidente la necesidad de sus usuarios de sacarles el máximo provecho para fortalecer su competencia y que puedan ofrecer a sus clientes servicios de calibración de calidad y alta confiabilidad
- Una de las funciones que, en algunos casos, integran estos instrumentos es la de generador de señales nivelado.
- Esta función es útil para verificar y calibrar algunas de las características de los osciloscopios tales como la deflexión vertical del mismo

Intervalo de frecuencia 100 kHz – 1 MHz

- Para la calibración de estos equipos se debe tomar en cuenta lo siguiente: a bajas frecuencias, por debajo de los 100 kHz, la potencia se calcula generalmente a partir de mediciones de tensión a través de una impedancia conocida o asumida. En este caso, la calibración se realiza en base a mediciones de tensión hasta 1 MHz



Intervalo de frecuencia 10 MHz – 600 MHz

- La calibración de esta función se realiza a partir de 10 MHz con base en mediciones de potencia, con trazabilidad al Patrón Nacional de Potencia Electromagnética en Alta Frecuencia



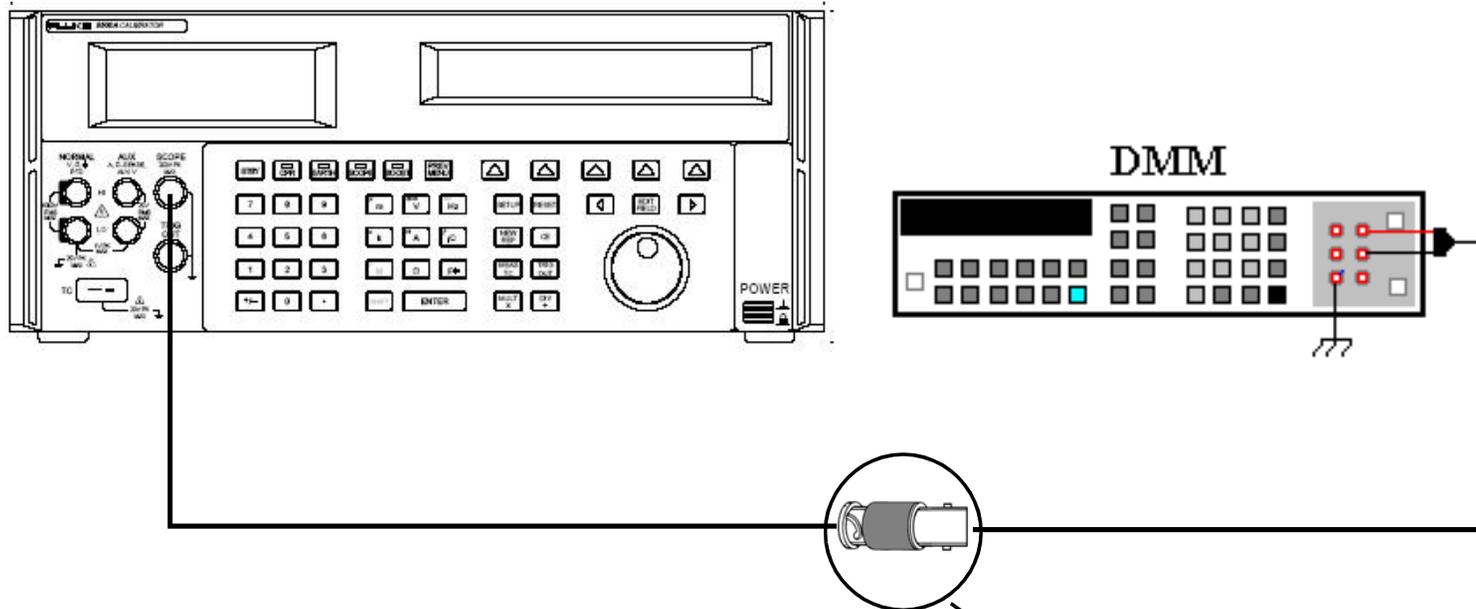
Modo Generador Nivelado

- En el caso de los calibradores multifunción de Fluke (modelos 5500A y 5520A) se realiza en el modo LEVSINE (*leveled sine wave*, señal senoidal nivelada), a 1 Vp-p en el intervalo de frecuencias de 100 kHz a 300 MHz o 600 MHz, dependiendo de las opciones instaladas en el instrumento bajo calibración.

To access the LEVSINE menu, press the softkey under MODE until "levsine" appears.

Output @ SCOPE terminal (50Ω).	MORE OPTIONS	SET TO LAST F	MODE levsine
▲	▲	▲	▲
	(see "The MORE OPTIONS Menu")	LAST F 50 kHz	volt edge levsine marker wavegen video pulse meas Z overld

Medición de tensión en el intervalo de frecuencia de 100 kHz a 1 MHz



Acoplamiento de impedancias



Encuentro Nacional de Metrología – 2005

Valor pico-pico

- Puesto que el multímetro entrega valores rms de la tensión de c.a. que está midiendo, es necesario traducir estas mediciones a valores pico-pico, mediante la siguiente expresión:
- donde V_{p-p} es el valor pico-pico de la señal que se está calibrando, y V_{rms} es el valor rms de la señal.

$$V_{p-p} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{rms}$$

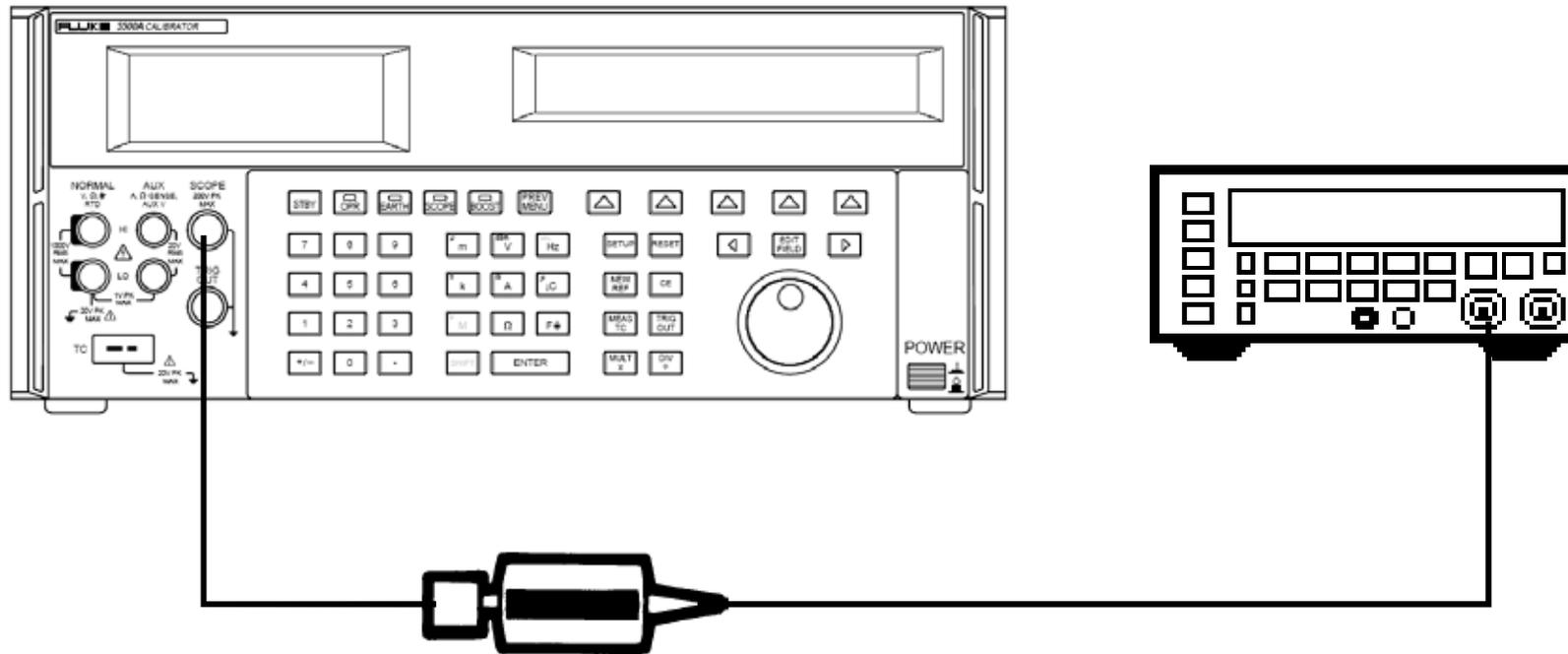
Medición de tensión en el intervalo de frecuencia de 10 MHz a 600 MHz

- En este intervalo de frecuencias, las mediciones de tensión se realizan con base en mediciones de potencia.
- Estas mediciones se realizan utilizando un sensor de potencia y un medidor de potencia.
- Ambos tienen impedancia de 50 Ω



Medición de Tensión en base a mediciones de potencia

Centro Nacional de Metrología - Derechos Reservados 2005



$$P = \frac{V^2}{Z}$$

- En las mediciones que nos ocupan, es necesario entonces convertir la lectura del medidor de potencia, que es potencia promedio, a valores de tensión pico-pico.

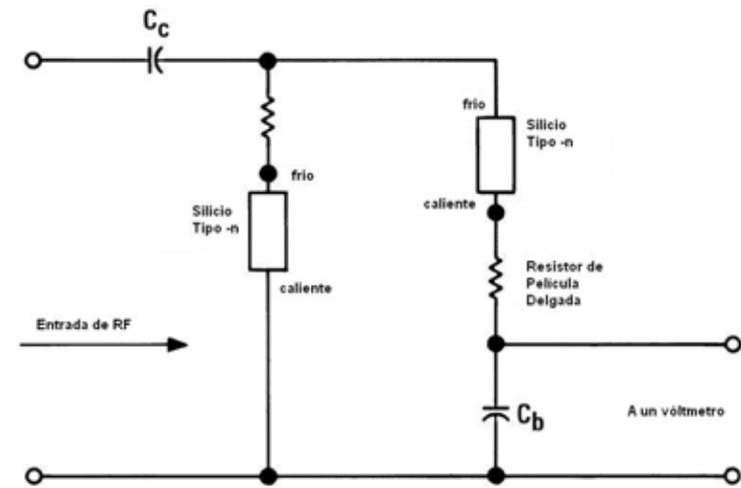
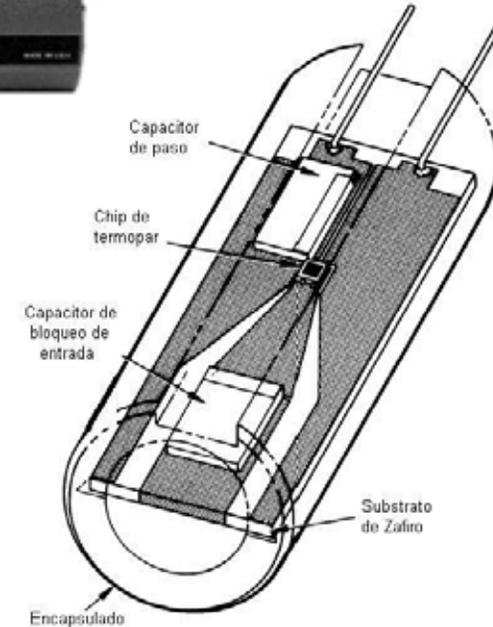
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{50 \cdot P} [\text{V}]$$

Consideraciones en las mediciones de tensión en base a mediciones de potencia

- Sensor de potencia
 - Eficiencia efectiva
 - Factor de calibración
- Efectos de desacoplamiento

Sensor de potencia

- Este tipo de sensores consiste de dos termopares en un solo circuito integrado.
- La característica principal de un sensor de termopar para medición de potencia en alta frecuencia es su sensibilidad en la salida de microvolts por miliwatt de potencia de entrada de RF.
- La potencia termoeléctrica es la salida del termopar en microvolts por grado Celsius de diferencia de temperatura entre la unión caliente y la unión fría.



Detectores de termopar

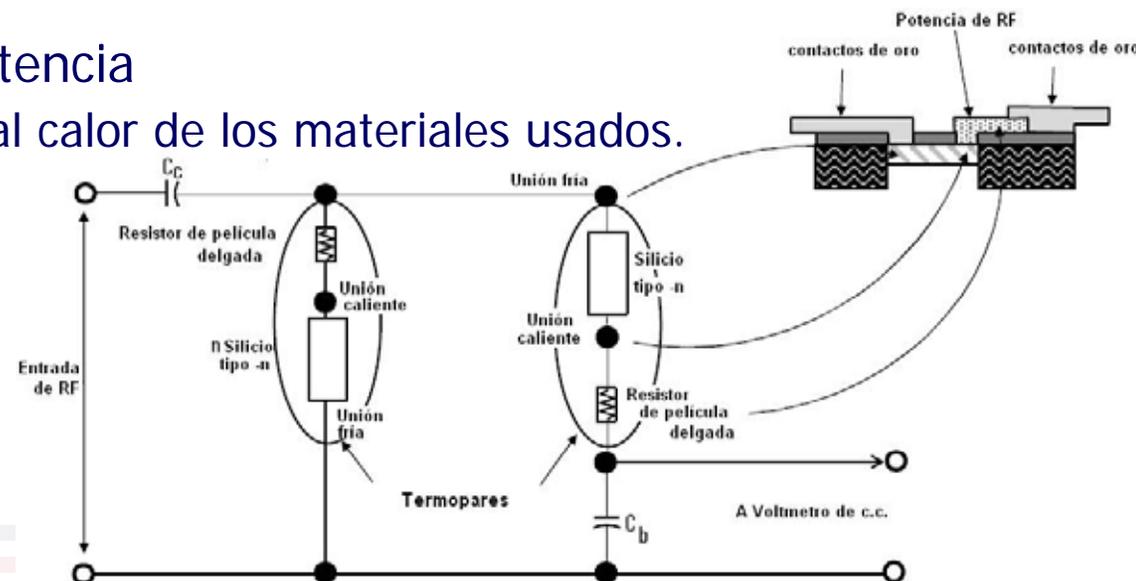
- Dominan este campo en la industria, puesto que son superiores en cuanto a:
 - robustez,
 - intervalo dinámico y
 - estabilidad del cero

La potencia mínima

- ↓ sensibilidad del detector de temperatura y
- ↓ la inmunidad del arreglo de prueba a las fluctuaciones de la temperatura ambiente.

La máxima potencia

- ↑ resistencia al calor de los materiales usados.



Eficiencia efectiva η_e

- Para un sensor de potencia, la entrada de potencia es la potencia neta entregada al sensor
- Es decir, la potencia incidente menos la potencia reflejada.
- No toda la potencia neta de entrada se disipa en el elemento sensor
- La potencia medida indica sólo la potencia que se disipa en el elemento sensor de potencia en sí
- Para realizar las mediciones, la potencia de alta frecuencia disipada debe pasar a través de un proceso de conversión a un nivel de baja frecuencia o de c.c.
- El equivalente de c.c. o baja frecuencia se denomina P_{sust} , por potencia sustituida.

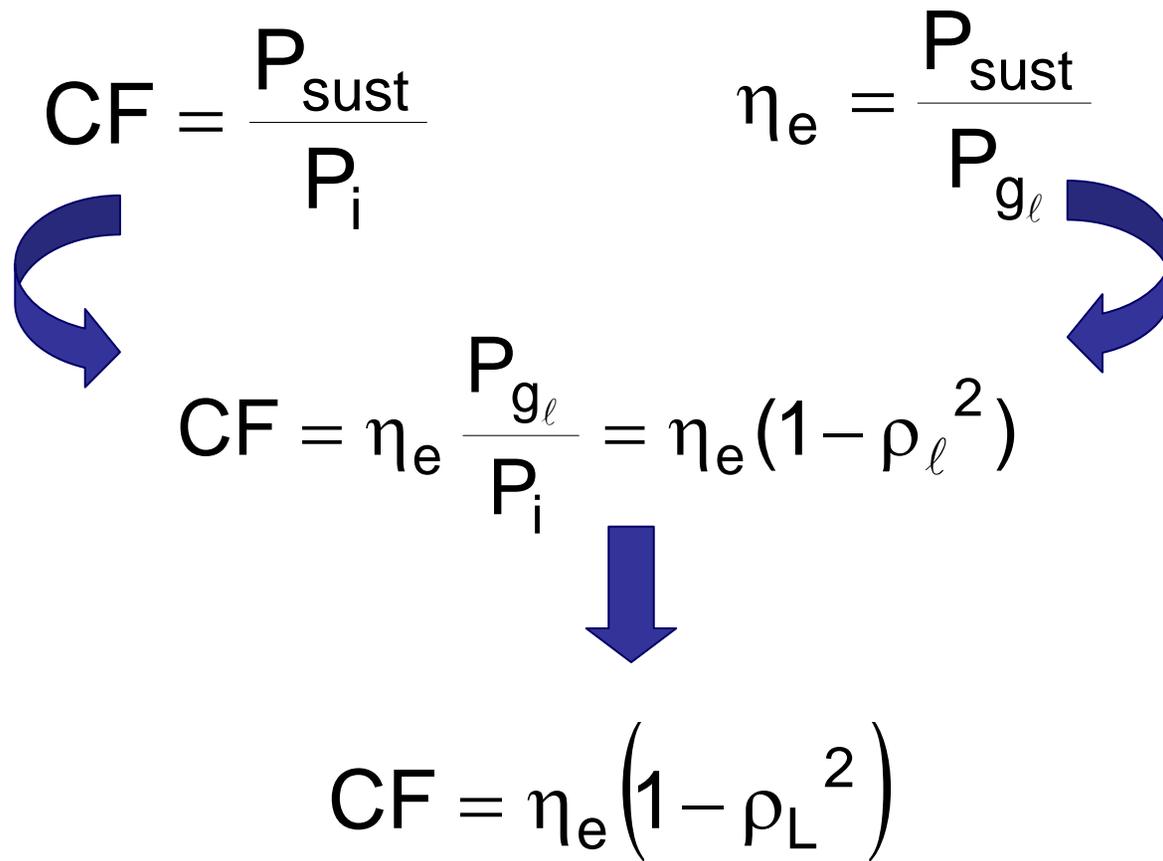
$$\eta_e = \frac{P_{\text{sust}}}{P_{g_l}}$$

P_{g_l} es la potencia neta absorbida por el sensor

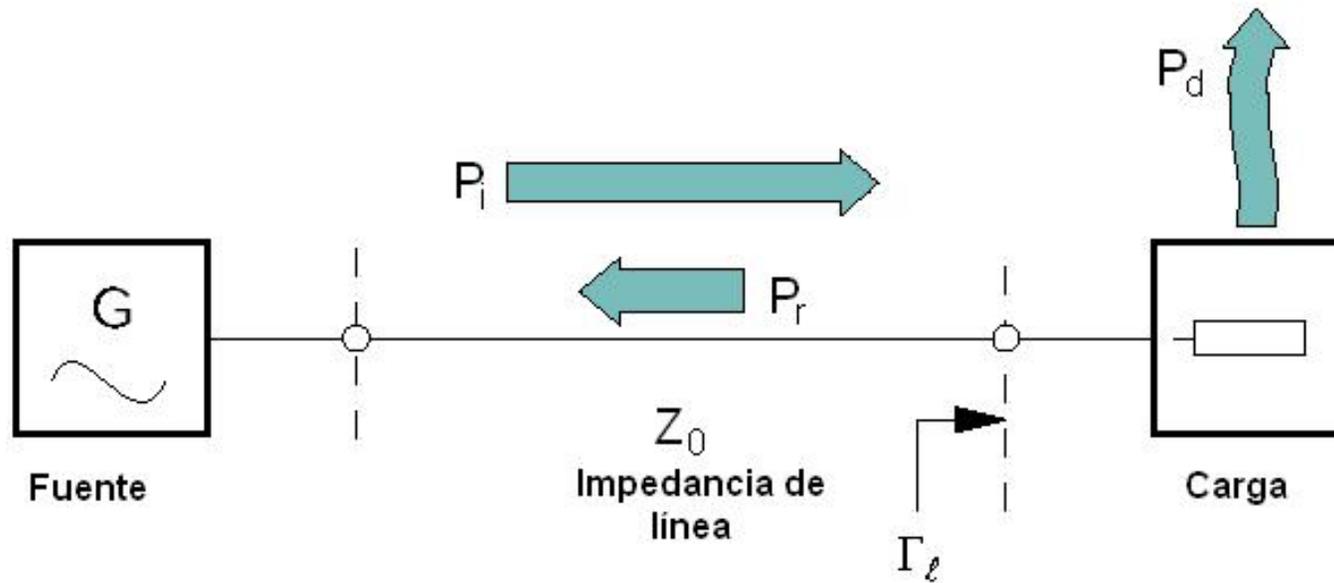
P_{sust} es la potencia de c.c. sustituida equivalente a la potencia de RF que se está midiendo

- Para los sensores de termopar y diodo, P_{sust} es la cantidad de potencia de una fuente de potencia de referencia, a una frecuencia específica, cuando produce la misma tensión a los circuitos de medición que P_{g_l} .
- La eficiencia efectiva normalmente cambia con la frecuencia, pero cambios con el nivel de potencia son usualmente despreciables

Factor de Calibración (CF):

$$CF = \frac{P_{\text{sust}}}{P_i} \qquad \eta_e = \frac{P_{\text{sust}}}{P_{g_l}}$$

$$CF = \eta_e \frac{P_{g_l}}{P_i} = \eta_e (1 - \rho_l^2)$$
$$CF = \eta_e (1 - \rho_L^2)$$

Efectos por desacoplamiento



$$\rho_\ell^2 = \frac{P_r}{P_i}$$

- El desacoplamiento en mediciones de potencia generalmente ocasiona que la potencia indicada sea diferente de aquella absorbida por un sensor de potencia sin reflexión.
- La interacción del sensor con el Calibrador Multifunciones (las ondas que se vuelven a reflejar) puede corregirse sólo mediante el conocimiento de la fase y amplitud de ambos coeficientes de reflexión Γ_g y Γ_l .
- El desacoplamiento es el componente que mayor peso tiene en la estimación de la incertidumbre de medición.

Incertidumbre por desacoplamiento

- Límites de incertidumbre por desacoplamiento
 - Límite mínimo

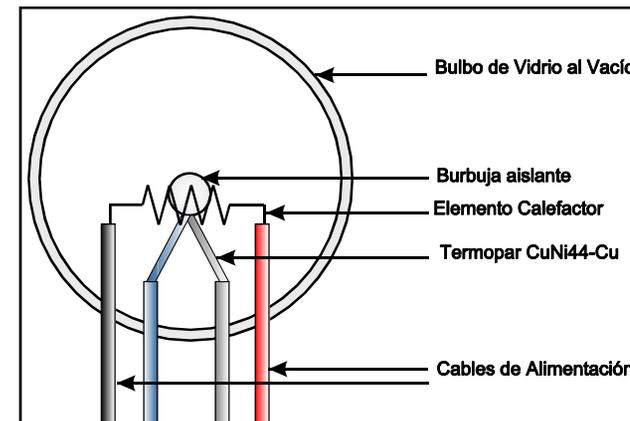
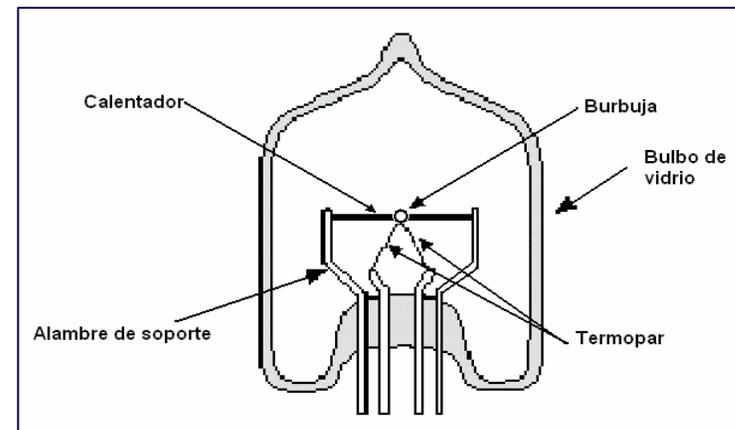
$$M_{u \text{ máx}} = 10 \log(1 + \rho_g \rho_l)^2$$

- Límite máximo

$$M_{u \text{ mín}} = 10 \log(1 - \rho_g \rho_l)^2$$

Intervalo de frecuencia de 100 kHz a 10 MHz mediante el uso de termoconvertidores

- Los termoconvertidores son los patrones de más alta exactitud para tensión y corriente alterna.
- Se usan para transferir valores de c.a. a valores conocidos de c.c. con pequeñas incertidumbres.
- Los termoconvertidores usan la potencia de calentamiento equivalente de una corriente de c.a. y c.c. en un resistor.
- Termoconvertidores de unión simple **SJTC** (**S**ingle **J**unction **T**hermal **C**onverters)
- Tiempo de respuesta: 60 s
- n entre 1,6 y 1,9



Diferencia RF-c.c.

- La diferencia RF – c.c. de un termoconvertidor se reporta como la diferencia de la respuesta del termoconvertidor con respecto a una señal de RF con respecto a su respuesta a una señal continua y se define como:

$$\delta_{\text{RF-c.c.}} = \frac{V_{\text{RF}} - V_{\text{c.c.}}}{n \cdot V_{\text{c.c.}}} \Big|_{E_{\text{c.c.}} = E_{\text{RF}}}$$

V_{RF} es el valor rms de una señal en RF

$V_{\text{c.c.}}$ es el promedio de las dos direcciones de tensión en c.c., necesario para producir la misma fem de salida en el termoconvertidor que cuando se aplica V_{RF}

es el coeficiente de linealidad del termoconvertidor. La relación entre la fem. de salida del termopar y la corriente que pasa por el calefactor se expresa de la siguiente manera: $E = kV^n$. n se puede encontrar de la siguiente manera

$$n = \frac{\Delta E}{E} \cdot \frac{V}{\Delta V}$$

Respuesta en frecuencia del tvc

- La respuesta en RF de un dispositivo es un resultado directo de qué tanto se aproxima el resistor de calentamiento, en combinación con elementos reactivos parásitos, a una resistencia pura en el intervalo de frecuencia de interés.
- A medida que se incrementa la frecuencia, la capacitancia y la inductancia asociadas con la resistencia tienden a tener un efecto mayor sobre la impedancia equivalente.
- Es posible minimizar el cambio de impedancia a altas frecuencias usando redes de compensación.

Conclusiones:

- En frecuencias por debajo de 1 MHz, es posible realizar la calibración de la función *SCOPE* de un calibrador multifunciones con base en mediciones de tensión en c.a., mediante el uso de un multímetro de alta exactitud.
- En frecuencias por arriba de 1 MHz, se hace necesario realizar mediciones de tensión con base en mediciones de potencia, puesto que las condiciones de tensión y corriente son mucho más difíciles de definir lo que significa que su utilidad como parámetros de medición disminuye notablemente a altas frecuencias.

Conclusiones:

- Existen aspectos a cuidar, como son una adecuada calibración de las características del sensor de potencia (factor de calibración y eficiencia efectiva), y el conocimiento de otras características tanto del sensor como del generador, es decir, del coeficiente de reflexión.
- El desacoplamiento representa el componente de mayor peso en la estimación de la incertidumbre de medición.
- Conscientes de esta situación en el CENAM nos hemos dado a la tarea de ampliar los servicios de calibración del laboratorio de potencia electromagnética en alta frecuencia para realizar la calibración de los calibradores multifunciones con base en mediciones de potencia en el intervalo de frecuencia de 100 kHz a 10 MHz, mediante el uso de dispositivos termoconvertidores.