

# Aseguramiento de mediciones en RF y microondas para laboratorios de calibración y pruebas

***Israel García Ruiz***

***Laboratorio de alta frecuencia***

***CENAM / Div. de Mediciones Electromagnéticas***

# Motivación de esta ponencia

- fortalecer la competencia técnica de los laboratorios del SMN, a fin de ampliar el alcance de sus servicios e incluir dentro de sus capacidades de medición magnitudes eléctricas en RF y microondas,
- asegurar la confiabilidad de sus servicios de medición
- promover su competitividad a nivel nacional e internacional

# Objetivos de esta presentación

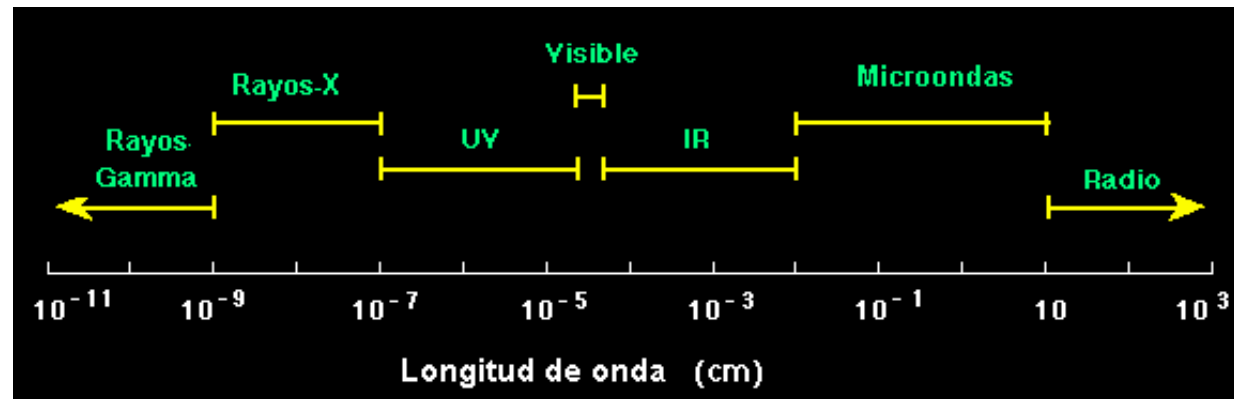
- Ofrecer un panorama de la metrología a frecuencias de radio y microondas
- Presentar algunos aspectos básicos que es importante tomar en cuenta en la realización de mediciones en alta frecuencia
- No se pretende profundizar en los fundamentos de la física que está detrás de los fenómenos en RF y microondas
- Motivar a los laboratorios de calibración y pruebas a desarrollar capacidades de calibración y medición en este campo

# Contenido

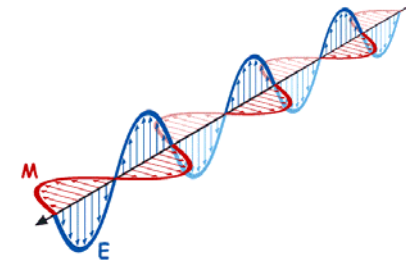
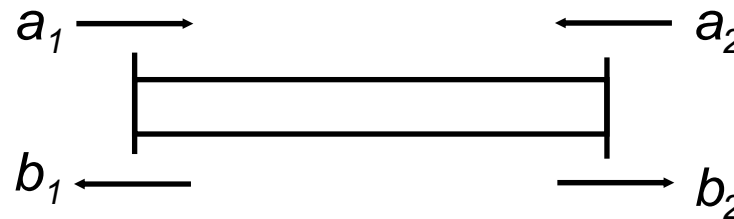
- Introducción
- Conceptos básicos
- Introducción a la metrología en AF
- Aspectos prácticos
- Conclusiones

# Conceptos básicos

- Intervalo de frecuencias de RF y microondas

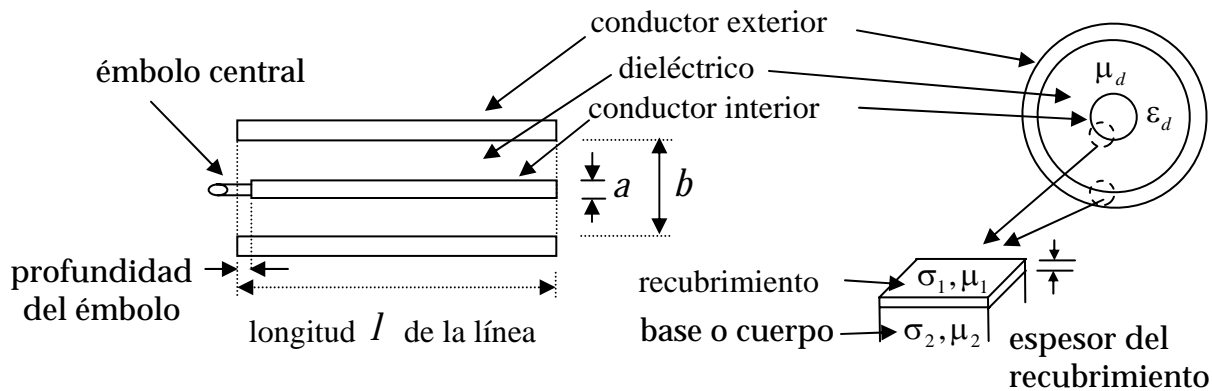


- Teoría de circuitos en alta frecuencia



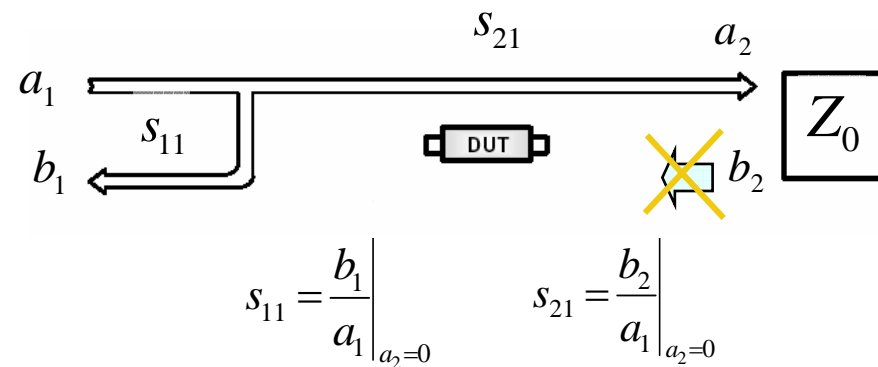
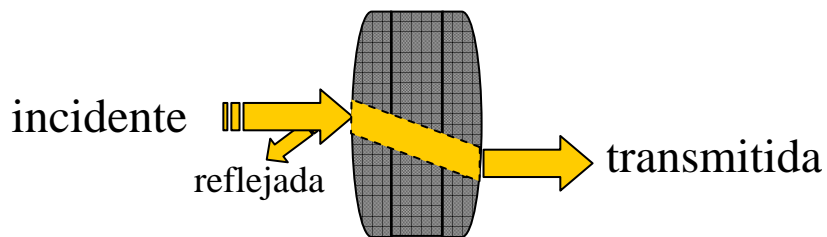
# Conceptos básicos (cont.)

## ■ Líneas de transmisión



$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_d}{\epsilon_d}} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

## ■ Parámetros de dispersión



# Conceptos básicos (cont.)

- **Potencia**

$$P = \frac{1}{nT_0} \int_0^{nT_0} e_p \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right) \cdot i_p \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t + \phi\right) dt$$

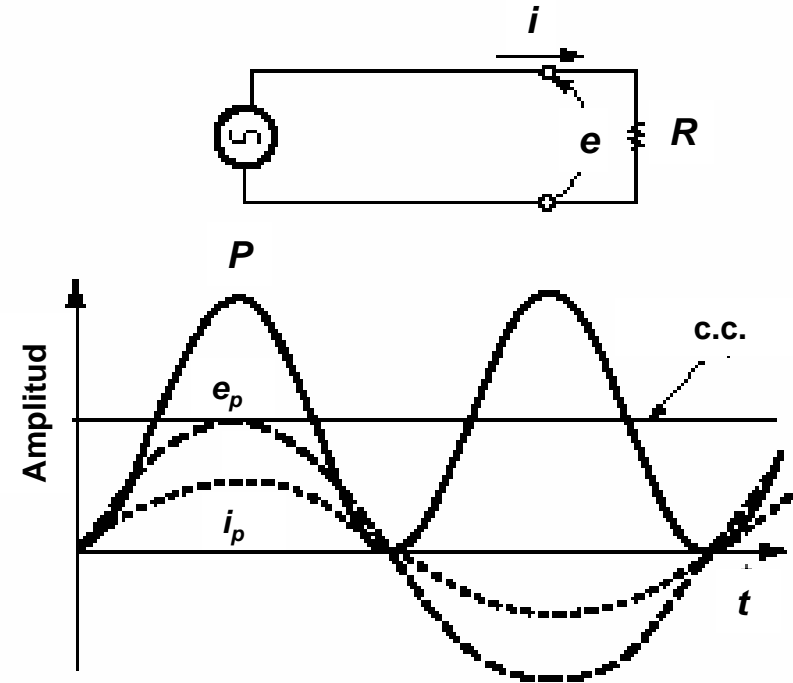
$$P = \frac{e_p i_p}{2} \cos(\phi)$$

- para señales senoidales

$$e_p = \sqrt{2} E_{RMS} \quad i_p = \sqrt{2} I_{RMS}$$

$$P = E_{RMS} \cdot I_{RMS} \cos(\phi)$$

- la mayoría de los equipos responden a la potencia promedio



# Introducción a la metrología en AF

*Áreas con aplicaciones directas en nuestro país*

- Caracterización de propiedades de reflexión y transmisión de equipos y componentes en alta frecuencia.
- Nivel de señal y potencia electromagnética.
- Campos electromagnéticos, antenas y compatibilidad electromagnética



# Introducción a la metrología en AF

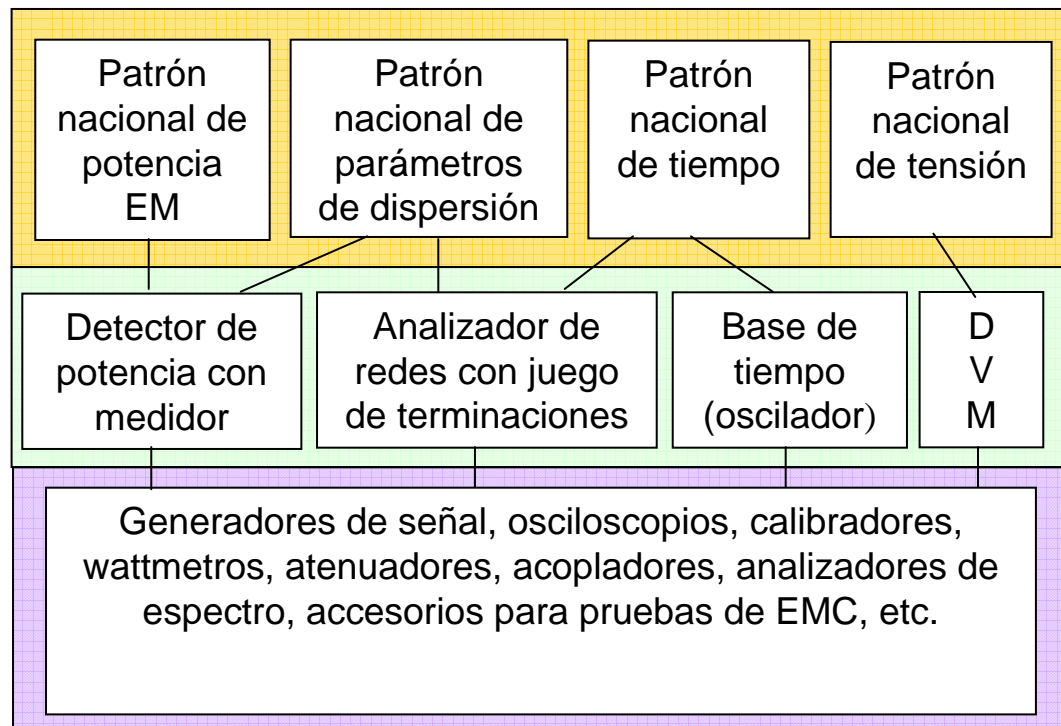
## *Instrumentación existente en laboratorios de calibración, pruebas e industria*

- Generadores y medidores de señal
  - Generadores de RF y microondas, calibradores de señales senoidales, osciloscopios (hasta 8 GHz), analizadores de espectro, analizadores de EMC
- Detectores y medidores de potencia
  - Detectores de diodo, termopar y termistor, sus medidores de potencia asociados, wattmetros direccionales analógicos
- Analizadores de parámetros de redes
  - Analizadores de redes vectorial y escalar, kits de calibración, medidores de VSWR, analizadores de líneas de transmisión.
- Antenas y equipo para pruebas de EMC
  - Antenas de banda ancha, analizadores de EMI, LISNs, pinzas y sondas, celdas de campo EM, etc.
- Componentes y accesorios para RF y microondas.

# Introducción a la metrología en AF

## *Trazabilidad: cuatro trayectorias*

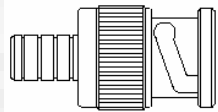
- Potencia en alta frecuencia
- Parámetros de dispersión (coeficientes de reflexión y transmisión)
- Tiempo y frecuencia.
- Nivel de señal para frecuencias menores a 10 MHz.



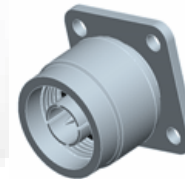
# Introducción a la metrología en AF

## *Consideraciones prácticas*

- Cuidado y limpieza de conectores
  - El conector es la interfaz entre un equipo o componente y el exterior.
  - Debe usarse el más apropiado



¿BNC?



¿N?

- su estado mecánico y limpieza son importantes: sucio o dañado = mayor coeficiente de reflexión.
- Uso de adaptadores
  - agregan pérdidas en transmisión e incrementan el coeficiente de reflexión
  - deben usarse el mínimo posible

# Introducción a la metrología en AF

## *Consideraciones prácticas*

- Cables coaxiales
  - Tienen un intervalo de frecuencia que depende de su construcción y calidad
  - Deben mantenerse en buenas condiciones sin torceduras ni dobleces
  - Son componentes de altas pérdidas (esp. para  $f > 1$  GHz)
  - Si es posible, verificar pérdidas y reflexión

# Introducción a la metrología en AF

## *Consideraciones prácticas: los dB's*

- Algunos mensurandos que resultan de la relación de dos cantidades se expresan en forma logarítmica:
  - Atenuación, ganancia, potencia relativa, nivel de señal, etc.
- La potencia relativa se expresa, por ejemplo, en dB:

$$P \text{ [dB]} = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right) \quad \text{Si } P_{\text{ref}} = 1 \text{ mW} \Rightarrow \text{dBm}$$

- Para la tensión:

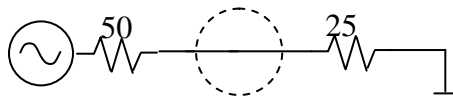
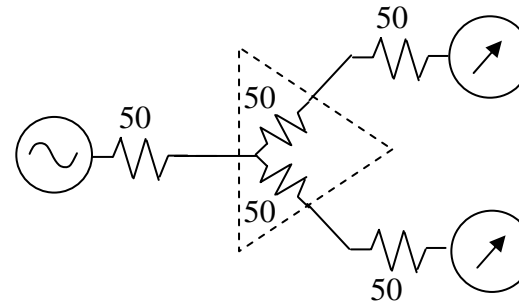
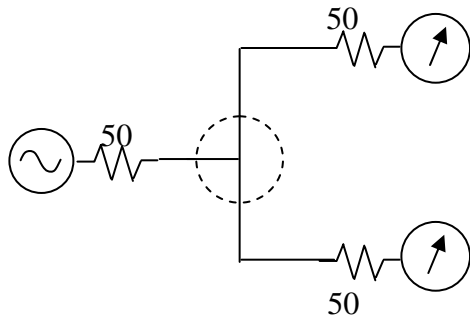
$$V \text{ [dB]} = 20 \log_{10} \left( \frac{V}{V_{\text{ref}}} \right) \quad \text{Si } V_{\text{ref}} = 1 \text{ } \mu\text{V}: \quad V \text{ [dB}\mu\text{V]} = 20 \log_{10} \left( \frac{V}{1 \text{ } \mu\text{V}} \right)$$

- Cuando se hacen cálculos y análisis a veces es preferible manejar cantidades en forma lineal y al final convertir a dB

# Introducción a la metrología en AF

*Consideraciones prácticas: Comparación de medidores de potencia*

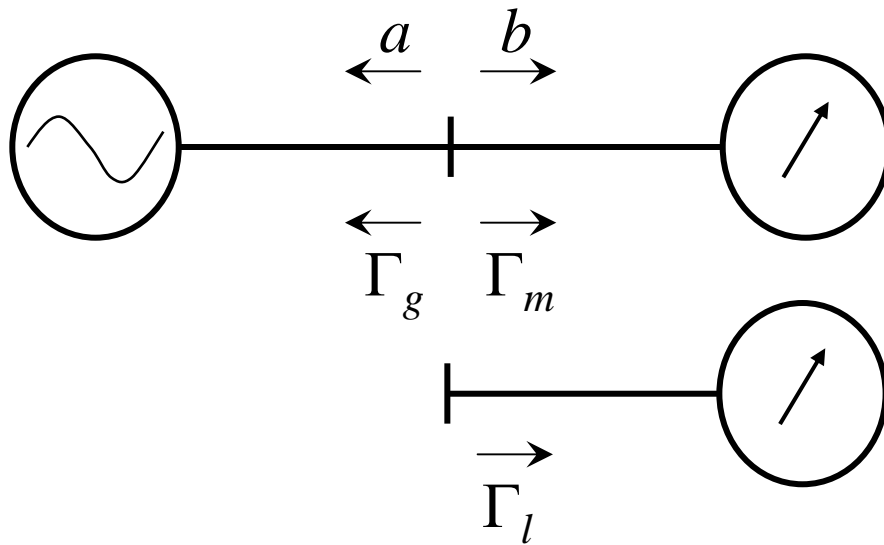
- Debe evitarse el uso de “T”s para dividir la señal



Empleo de una “T”:desacoplamiento      Empleo de un power splitter

- El divisor produce una caída de 6 dB en el nivel de potencia. Estrictamente hablando, la comparación debe tomar en cuenta los parámetros de dispersión del divisor y los coeficientes de reflexión de los medidores

# Comparación de medidores de potencia

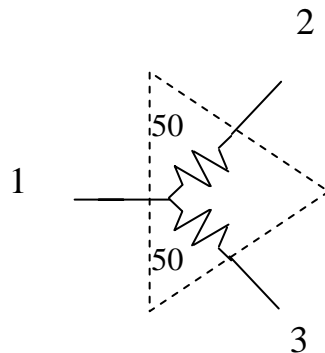


$$P_{gm} = P_g M_{gm}$$

$$M_{gm} = \frac{(1 - |\Gamma_g|^2)(1 - |\Gamma_m|^2)}{|1 - \Gamma_g \Gamma_m|^2}$$

$$P_g = \frac{|b_g|^2}{|1 - \Gamma_g|^2} \quad b = b_g + a\Gamma_g$$

$$P_{gl} = P_{gm} \frac{M_{gl}}{M_{gm}} = P_{gm} \frac{|1 - \Gamma_g \Gamma_m|^2}{|1 - \Gamma_g \Gamma_l|^2} \cdot \frac{1 - |\Gamma_l|^2}{1 - |\Gamma_m|^2}$$



$$\Gamma_{gs} = s_{22} - \frac{s_{21}s_{32}}{s_{31}}$$

# Introducción a la metrología en AF

## *Consideraciones prácticas: Efectos del desacoplamiento*

- La transferencia máxima ocurre cuando las impedancias tienen parte real igual y parte imaginaria igual pero de signo opuesto.
- En sistemas de RF y microondas los sistemas se caracterizan comparando contra una impedancia ideal de 50 Ω.
- En la realidad, en el mejor de los casos sólo son muy cercanas a 50 Ω.
- El desacoplamiento se traduce en una componente de error.
- Los fabricantes de componentes y equipos generalmente especifican el valor de VSWR máximo.

$$|\Gamma| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

- Con ello sólo pueden calcularse los límites del error

$$M = 1 - \frac{1}{(1 \pm |\Gamma_1| \cdot |\Gamma_2|)^2}$$

- Otros errores a considerar es el CalFactor (respuesta en frecuencia) que puede corregirse si se tiene un sensor calibrado



# Lista resumen de recomendaciones

- Seleccionar el equipo de medición y generación más adecuado a sus necesidades
- Seleccionar los conectores apropiados
- Usar cables de buena calidad
- No fabrique sus propios cables de alta frecuencia a menos que tenga el conocimiento y equipo para hacerlos y probarlos.
- Emplee cables lo más cortos posibles
- Inspeccionar regularmente y mantener los conectores limpios y en buen estado mecánico
- Minimice el número de adaptadores
- Seleccione equipos y componentes con el coeficiente de reflexión (VSWR) más bajo
- Siga las recomendaciones del fabricante respecto al uso de cables, conectores, adaptadores, componentes y equipos
- No aparee conectores de familias diferentes como el SMA y el GPC3.5
- Cuando apriete un conector no lo haga de más ni de menos, si es posible y si el conector lo permite emplee una llave con par torsional ajustado.

# Conclusiones

- Es factible y necesario que se desarrollen capacidades de calibración y medición en AF en laboratorios del país
- Si bien la instrumentación es costosa, es posible seleccionarla de modo tal que se compre la mínima indispensable para cubrir la mayor cantidad de servicios
- Las calibraciones de baja exactitud son costosas de realizar en el CENAM
- Para el usuario final representaría ahorro en costos y tiempo
- Para el CENAM la posibilidad de dedicar recursos a proyectos tales como desarrollo de patrones

# Gracias por su atención !

**ISRAEL GARCIA RUIZ**  
Coordinador científico  
Metrología en RF y microondas



**CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA**

Carretera a Los Cués km 4.5, El Marqués, Qro. 76241, México  
Tel: (442) 2110500 Ext 3451  
Fax: (442) 2153904 e-mail: [igarcia@cenam.mx](mailto:igarcia@cenam.mx)