

# ASEGURAMIENTO DE LAS MEDICIONES EN LABORATORIOS DE PRUEBAS DE EMC Y TELECOMUNICACIONES

# Contenido de la presentación



- Introducción
- Aseguramiento de las mediciones
- Evaluación de la conformidad
- Trazabilidad de las mediciones
- Uso de métodos normalizados
- Incertidumbre de medición en pruebas
- Instalaciones de prueba
- Conclusión.

# Introducción

- Las señales eléctricas con frecuencia en el alcance desde unos cuantos kHz hasta decenas o incluso centenas de GHz, juegan un papel primordial en la vida moderna.
- Esto, debido principalmente a su empleo para la transmisión de información en sistemas de radiocomunicación por medio de campos electromagnéticos de radiofrecuencia emitidos intencionalmente
- También, por otra parte, debido a que los campos electromagnéticos son emitidos de manera no intencional por prácticamente cualquier componente, equipo o sistema que en su operación utilice energía eléctrica.

# Introducción

- Anteriormente, los campos de aplicación y normalización de los sistemas de radiocomunicación y los de los sistemas eléctricos y electrónicos estaban, en un sentido, separados.
- Esto ha ido cambiando, en buena medida debido a la proliferación de una gran cantidad de aparatos que operan con energía eléctrica, los cuales emiten señales que representan una amenaza a la calidad de las comunicaciones y a la limpieza del espectro radioeléctrico,
- También debido a la convergencia tecnológica, ya que actualmente muchos equipos eléctricos y electrónicos incorporan sistemas de radiocomunicación.

# Introducción

- La confiabilidad de productos y servicios requiere una determinación sin ambigüedades de su conformidad con las normas aplicables.
- También, es necesario que el resultado de una medición sea reproducible en cualquier otro laboratorio de pruebas de conformidad.
- Esto, depende en muchos casos del aseguramiento de las mediciones. Estas, deben sustentarse en un conjunto de elementos tales como:
  - ▣ Patrones e instrumentos de medida,
  - ▣ Trazabilidad a las unidades del SI,
  - ▣ instalaciones de medición y prueba adecuadas,
  - ▣ buenas prácticas de medición,
  - ▣ aplicación correcta de métodos de medición y prueba,
  - ▣ competencia técnica del personal.

# Aseguramiento de las mediciones

## Aseguramiento de las mediciones

- Capacidad de garantizar la confiabilidad de los resultados de medición aplicando los factores que le dan a los valores medidos trazabilidad a las referencias establecidas, cuantificando adecuadamente la incertidumbre de la medición y demostrando que la incertidumbre total es suficiente para cumplir con las especificaciones requeridas.
- El aseguramiento de la medición requiere de un enfoque de proceso similar al aseguramiento de calidad.

# Aseguramiento de las mediciones

## Aseguramiento de las mediciones

- Se puede implantar un programa de aseguramiento de mediciones en laboratorios de calibración y de pruebas, producción de bienes, prestación de servicios, etc.
  - ▣ Todo aquello en lo que la calidad del producto dependa del resultado de mediciones
- Por lo tanto, el aseguramiento de las mediciones es un elemento de la Evaluación de la conformidad

# Aseguramiento de las mediciones



# Evaluación de la conformidad

Es el proceso mediante el cual un producto, proceso, persona, servicio o sistema, es evaluado con respecto a una norma.



# Evaluación de la conformidad

- Organismos de certificación, Unidades de verificación, Laboratorios de calibración y de pruebas deben demostrar su competencia técnica y su confiabilidad ante un organismo de Acreditación.
- La norma aplicable en la acreditación depende de la actividad del organismo a acreditar, en el caso de los laboratorios de pruebas y los de calibración esta es el equivalente nacional de la norma ISO/IEC 17025 [6].

# Evaluación de la conformidad

- 15 NOM's de telecomunicaciones y radiodifusión
  - 7 de estas en el alcance del ARM-T
  - Por parte de los EEUU, 23 regulaciones técnicas en telecomunicaciones (22 del CFR + TIA-968-B) en el alcance del ARM-T.
- 12 normas NMX NYCE en EMC y telecomunicaciones
- 26 normas NMX ANCE sobre EMC y 10 sobre calidad de la energía.

# Evaluación de la conformidad

- La aplicación de estas normas implica la existencia no sólo de organismos de normalización y certificación, sino también de otros actores que participan en el proceso de evaluación de la conformidad:
  - autoridad reguladora,
  - entidad de acreditación,
  - unidades de verificación,
  - laboratorios de calibración y de pruebas,
  - un laboratorio nacional que le de coherencia a las mediciones que se realizan en el país y que garantice la equivalencia de las mediciones realizadas en diferentes países.

# Evaluación de la conformidad

- Aspectos que se evalúan para acreditación de laboratorios
  - a) empleo de instrumentos calibrados y con trazabilidad documentada,
  - b) uso de métodos confiables e incertidumbre adecuada,
  - c) la provisión de instalaciones adecuadas,
  - d) personal calificado con la competencia técnica requerida
  - e) manejo apropiado de la información,
  - f) la existencia de una sistema de gestión de la calidad con planes de mejora continua y auditorías periódicas.

En este seminario se abordan aspectos relacionados con a), b), c) e implícitamente el d).

# Trazabilidad de los resultados de medición

a) Instrumentos calibrados y trazabilidad documentada.

□ Trazabilidad:

*es la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que éstos puedan ser relacionados con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas ellas incertidumbres determinadas.*

# Trazabilidad de los resultados de medición



## Trazabilidad

Unidades del SI

PATRÓN PRIMARIO

PATRÓN SECUNDARIO O DE TRANSF.

PATRÓN DE TRABAJO

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Medición

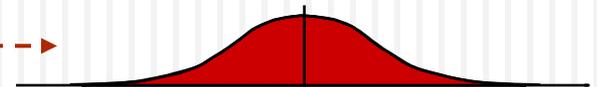
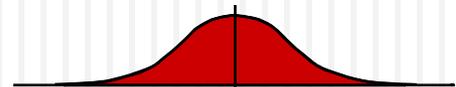
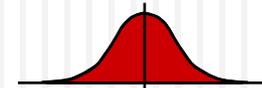
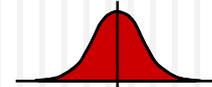
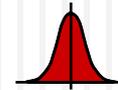
## ...e Incertidumbre

Realización de la  
Unidad

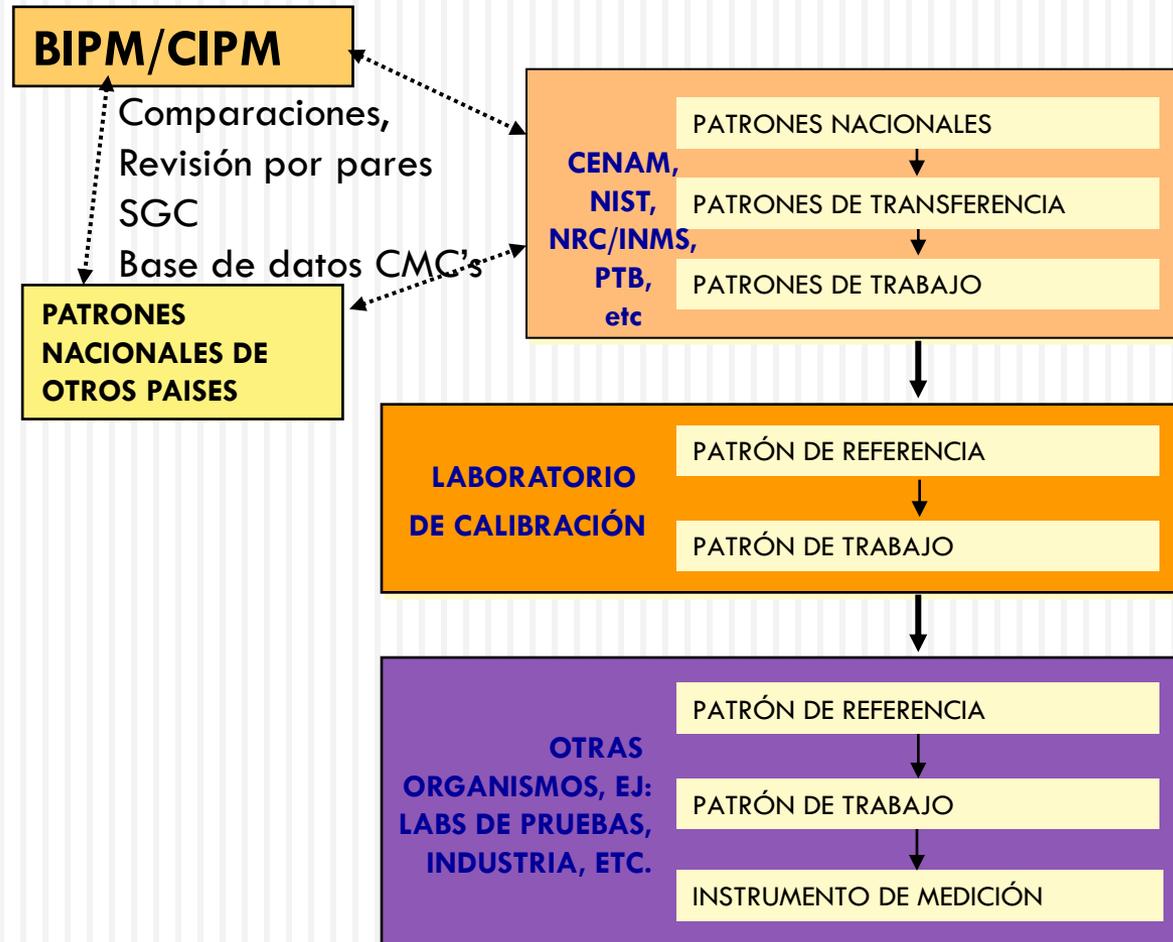
Calibración

Calibración

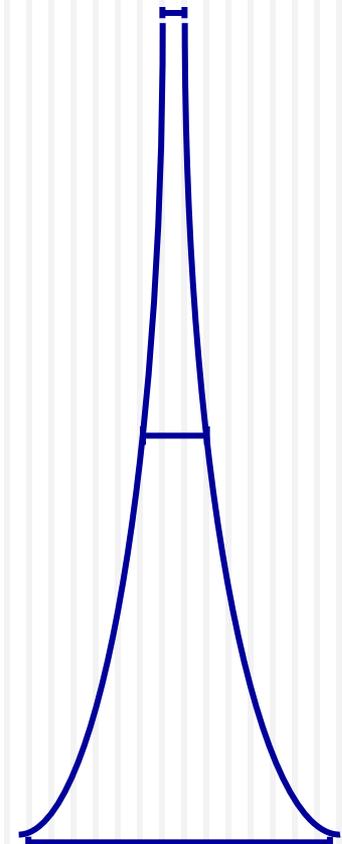
Calibración



# Trazabilidad de los resultados de medición



INCERTIDUMBRE



# El CIPM MRA (París, 14 de octubre de 1999)

- **Objetivos**  
establecer el grado de equivalencia de los patrones nacionales de medida mantenidos por los INMs;  
asegurar el reconocimiento mutuo de los certificados de calibración y medición emitidos por los INMs;  
con ello proveer a los gobiernos y otras partes con una base sólida técnica para acuerdos más amplios relacionados con el intercambio internacional, el comercio y asuntos regulatorios.
- **Proceso**  
comparaciones internacionales de las mediciones, que se conocerán como comparaciones clave;  
comparaciones internacionales complementarias de las mediciones;  
sistemas de calidad y demostraciones de la competencia por los INMs.
- **Resultados**  
declaraciones de las capacidades de medición de cada NMI en una [base de datos](#) mantenida por el BIPM y disponible públicamente en la Web.
- **Compromisos**  
Los Directores de los INM's firman el CIPM MRA con la aprobación de las autoridades competentes de su propio país y por lo tanto:  
aceptan el proceso especificado en la MRA para establecer la base de datos;  
reconocen los resultados de las comparaciones clave y suplementarias como se indica en la base de datos;  
reconocen las capacidades de calibración y medición de otros NMIs participantes como se indica en la base de datos.
- **Exclusiones**  
la firma del MRA compromete al INM pero no necesariamente a cualquier otra agencia en su país;  
la responsabilidad por los resultados de las calibraciones y mediciones descansa enteramente en el INM que los hace y no es, a través de la MRA, extendida a cualquier otro NMI participante.
- **Estructura organizational**  
la coordinación general es por el BIPM bajo la autoridad del CIPM, que a su vez está bajo la autoridad de los Estados miembros del BIPM;  
los Comités Consultivos del CIPM, las Organizaciones Regionales de Metrología y el BIPM son responsables de llevar a cabo las comparaciones clave y las suplementarias;  
un Comité Conjunto de las Organizaciones Regionales de Metrología y el BIPM (el [JCRB](#)) se encarga de analizar y transmitir las entradas en la base de datos de las capacidades de calibración y medición declaradas por los INMs.

# Calibración y trazabilidad

- ...“una cadena interrumpida de comparaciones.”
- Estas “comparaciones” se realizan, por ejemplo, mediante aquello que generalmente conocemos como calibración.
- Calibración es un proceso de medición en el que el valor del instrumento bajo calibración se compara contra un valor de referencia, generalmente el de un patrón de mayor exactitud.

# Calibración y trazabilidad

El resultado de una calibración consta de 2 elementos:

- el mejor estimado del error del instrumento bajo calibración o el mejor estimado del valor del atributo metrológico del artefacto bajo calibración:
  - ▣ Error de generación, por ejemplo de un sintetizador de RF
  - ▣ Error de medición, por ejemplo, de un analizador de espectro
  - ▣ Factor de corrección, por ejemplo, de una antena, pérdidas por inserción de un cable, etc.
- la incertidumbre asociada al mejor estimado obtenido en la medición, expresada esta incertidumbre como un intervalo (el intervalo de valores razonablemente atribuibles al mensurando).

# Calibración y trazabilidad

Debido a que la trazabilidad es un atributo del resultado de una medición y no del instrumento, enviar a calibrar instrumentos no garantiza la trazabilidad de las mediciones.

A menos que:

- haga calibrar su instrumento en las magnitudes y valores que sean necesarios dentro de los alcances relevantes a su aplicación.
  - Por ejemplo, en los puntos de frecuencia, potencia, tensión, etc., usados normalmente en las pruebas.

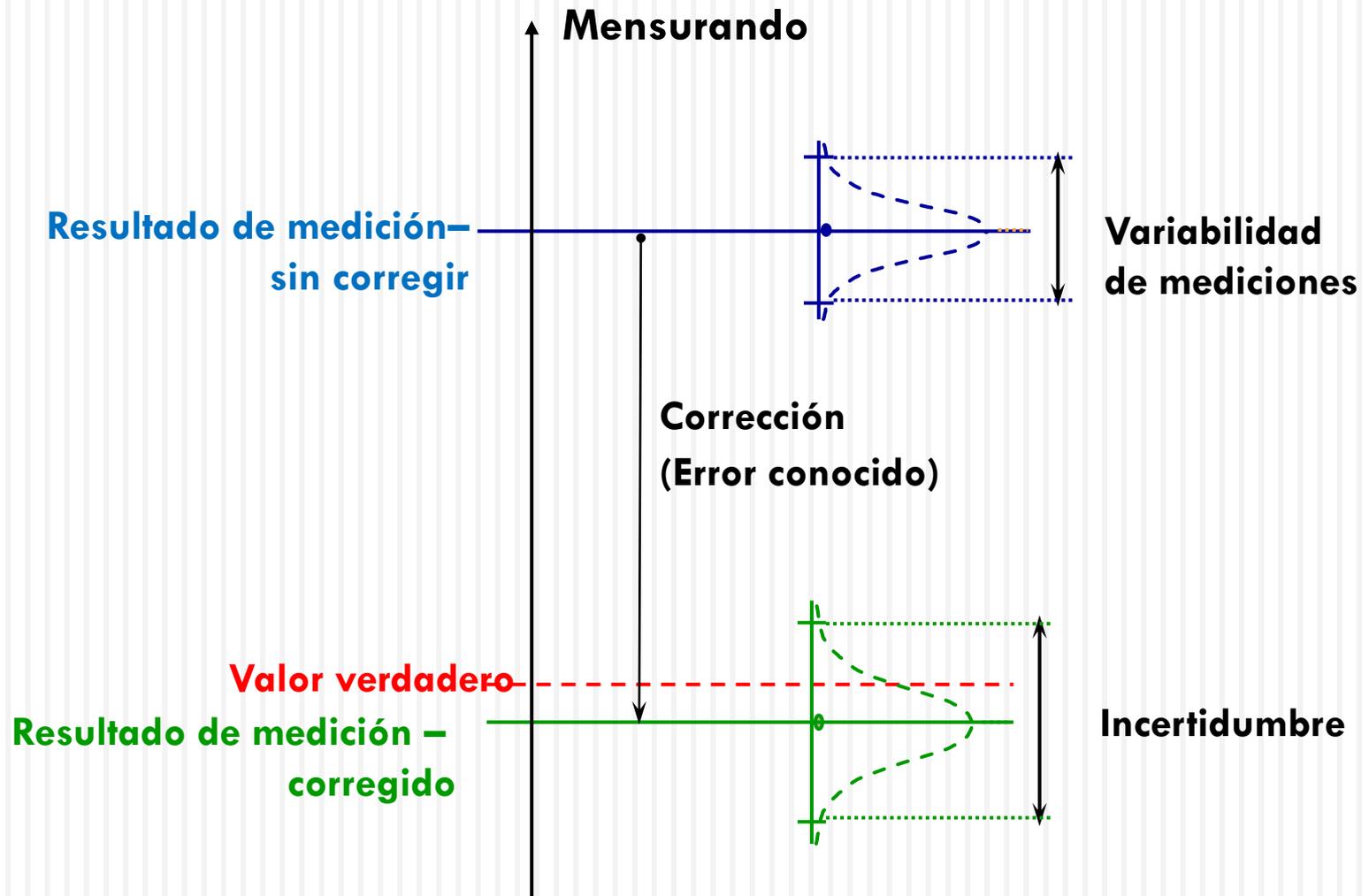
# Calibración y trazabilidad

- use, invariablemente, la información contenida en el informe de calibración del instrumento.
  - ▣ Esto es, asegurando que el resultado de la medición tenga aplicadas las correcciones de acuerdo al error del instrumento obtenido en su calibración.
- calibre el instrumento en un laboratorio cuyas mediciones sean trazables a patrones nacionales, técnicamente competente de acuerdo a la política respectiva del organismo acreditador y cuya incertidumbre de calibración no sea mayor a la especificación de exactitud del instrumento a calibrar.

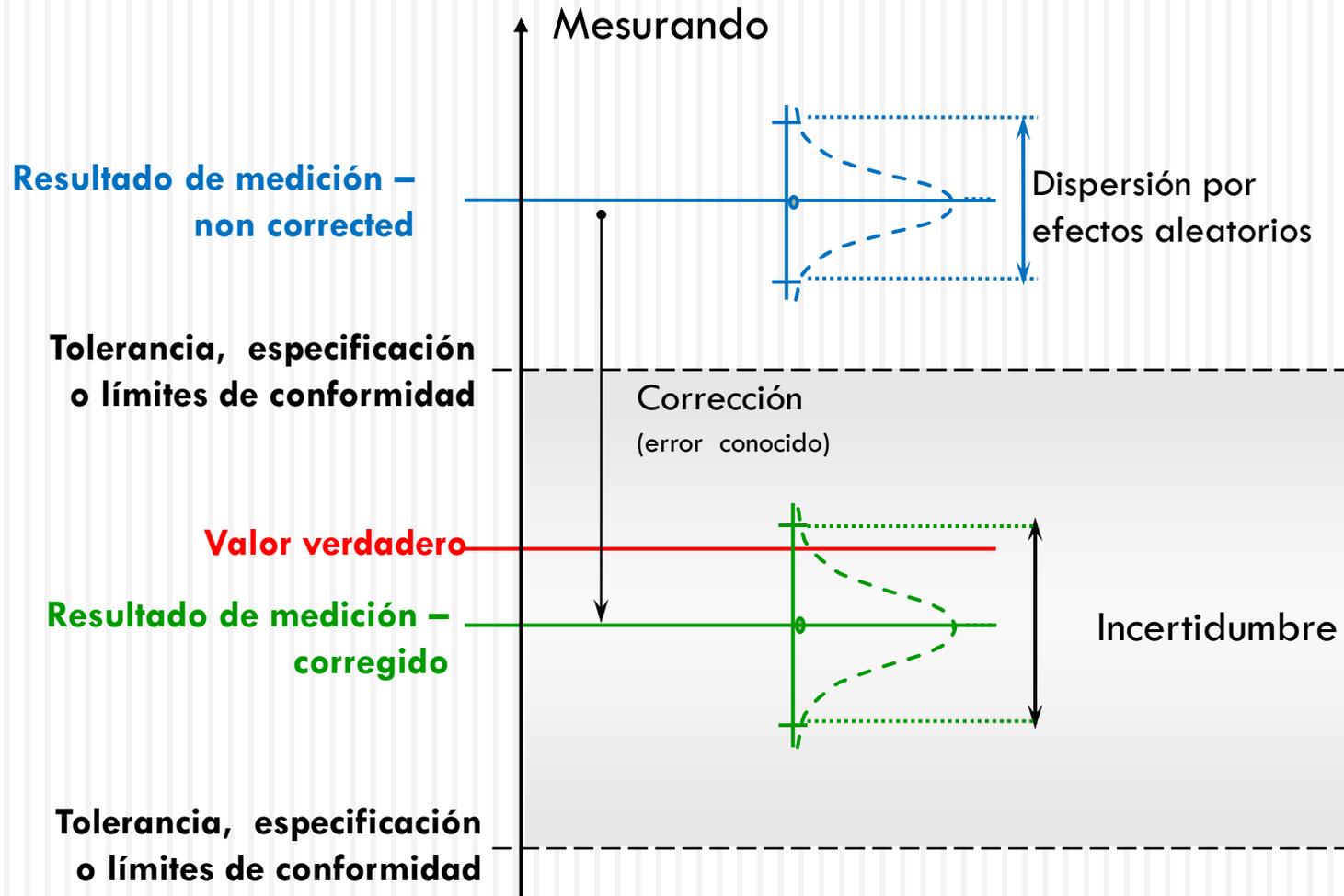
# Calibración y trazabilidad

- Considere todos los factores que influyen el resultado de la medición, tales como cualquier equipo o accesorio adicional que sea relevante para la medición, las condiciones ambientales, la habilidad del personal técnico, así como los procedimientos de medición.

# Trazabilidad de las mediciones



# Trazabilidad de las mediciones



# Trazabilidad de las mediciones

- Es oportuno comentar que en ciertos ámbitos existe confusión en cuanto al uso y significado de los términos tolerancia, error e incertidumbre.
  - ▣ Tolerancia: asociada a una especificación dada por una norma, por el fabricante de un producto, etc.
    - Establece límites definidos
    - El objetivo de la conformidad en un fabricante es fabricar un producto que cae dentro de esos límites
    - El objetivo de la evaluación de la conformidad de un laboratorio de pruebas es determinar que esto es así.

# Trazabilidad de las mediciones

- Error: asociado al estado metrológico de un instrumento de medición o generación
  - indica la proximidad de ese valor con respecto a un valor de referencia dado por un patrón
  - El error de un instrumento puede ser grande o pequeño dependiendo de la calidad, exactitud o estado de ajuste del instrumento
  - El error se puede corregir como producto de la calibración del instrumento.
  - Un instrumento calibrado no significa que está ajustado o dentro de especificaciones. Los fabricantes de instrumentos los ajustan para que estos estén dentro de las especificaciones publicadas y además los calibran para ofrecerle al usuario una evaluación cuantitativa del error del instrumento y de la calidad o exactitud de los mismos.

# Trazabilidad de las mediciones

- Incertidumbre: asociada al resultado de una medición.
  - indica el grado de desconocimiento que se tiene sobre el mejor estimado del mensurando,
  - puede ser grande o pequeña, dependiendo de los elementos que intervienen en dicho proceso,
  - Los errores que no puedan o que por simplicidad no quieran ser corregidos, deben incorporarse como fuentes de incertidumbre,
  - esto es permisible, por ejemplo, cuando la tolerancia o la especificación de la norma es muy amplia,
  - generalmente, se recomienda que la relación entre la especificación y la incertidumbre de medición sea entre 3 y 10 veces.

# Métodos confiables e incertidumbre adecuada

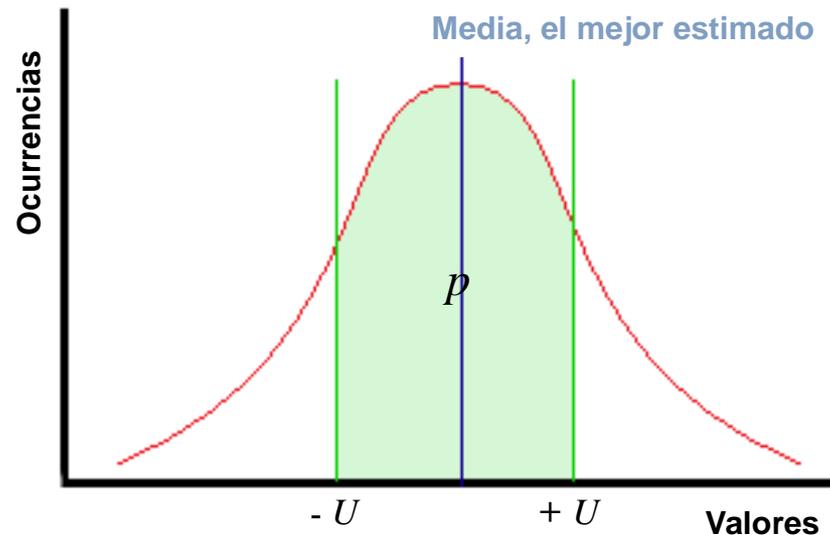
- Un método es una sucesión lógica de las operaciones, descritas de una forma genérica, utilizadas en la ejecución de las mediciones, VIM [7].
- La norma IEC/ISO 17025 indica que, por su origen, los métodos normalizados son aquellos que se encuentran documentados en las normas, textos, guías u otros documentos relevantes.
- El empleo de estos métodos normalizados representa la mejor opción para los laboratorios de prueba.

# Uso de métodos confiables e incertidumbre adecuada

- Los métodos normalizados indican las condiciones físicas (ambientes, suministro eléctrico, ambiente electromagnético, etc.), así como el tipo y calidad de equipamiento, conexiones, y configuraciones con que deben realizarse las pruebas.
- Estos, han sido estudiados y se consideran los adecuados para obtener resultados de medición con la incertidumbre suficiente que permita determinar conformidad con la norma.
- Por otra parte, las tolerancias o especificaciones de las normas son las suficientes tomando en cuenta la incertidumbre de los instrumentos de medición, así como otras variables como la repetibilidad y la reproducibilidad de las mediciones.

# Incertidumbre de medición en pruebas

- Es el parámetro que caracteriza la dispersión de valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando.



# Incertidumbre de medición en pruebas

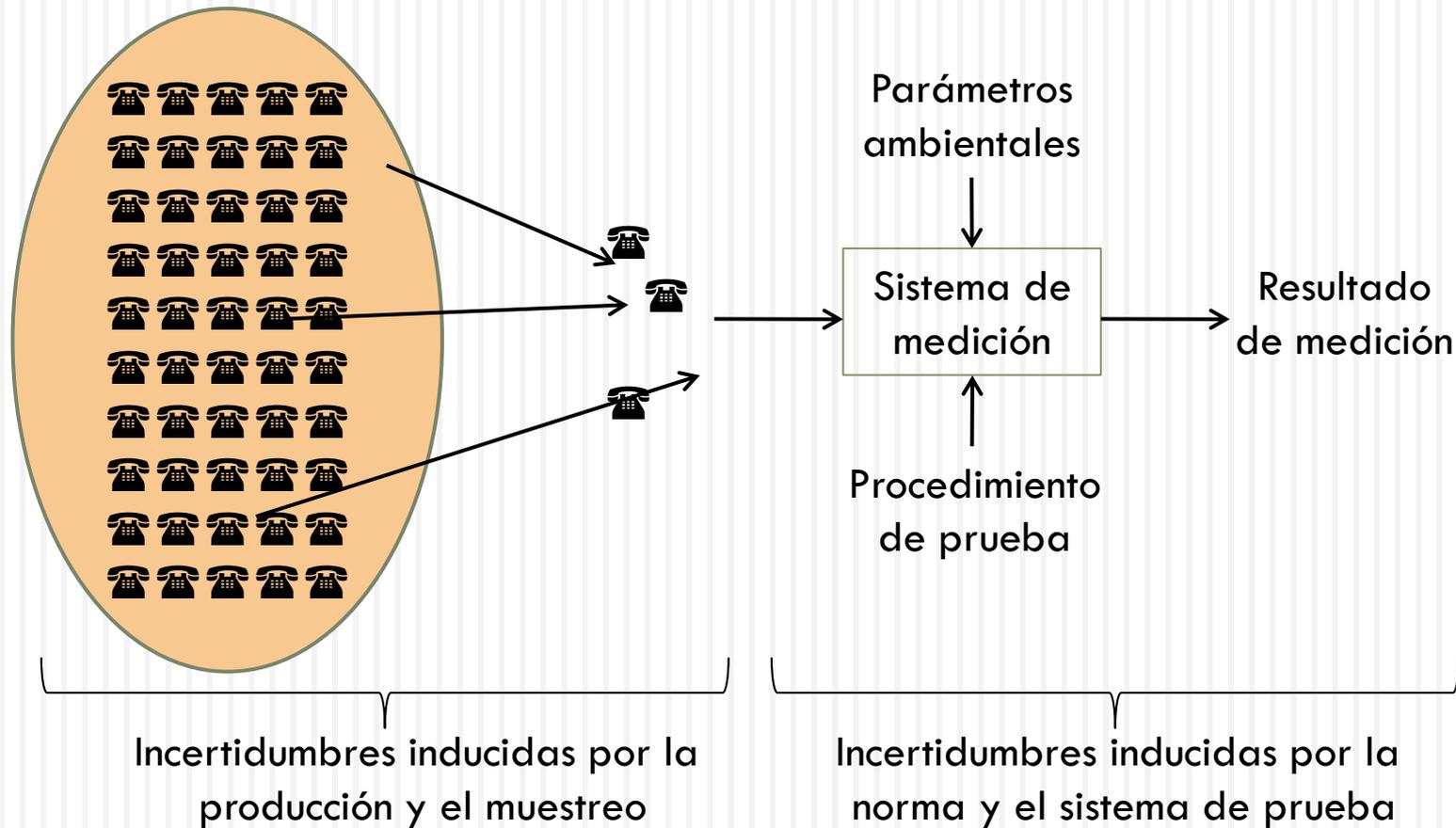
- Es un requisito de la norma ISO/IEC 17025 (o el documento equivalente) para la acreditación de laboratorios de calibración y pruebas.
- Se ha convertido en un requisito de normas y regulaciones técnicas como la NOM-121-SCT1-2009.
- Mas aún, provee una base para la confianza y seguridad en el proceso de evaluación de la conformidad.

# Incertidumbre de medición en pruebas

## Razones para considerar el análisis de incertidumbre

- ❑ Mostrar las capacidades técnicas de medición de un laboratorio de pruebas
- ❑ Juzgar el nivel de cumplimiento de un resultado de medición con respecto al límite de la norma
- ❑ Comparar resultados de medición obtenidos por diferentes laboratorios de pruebas
- ❑ Comparar diferentes métodos de medición
- ❑ Soportar la evaluación del desempeño vs especificación de productos fabricados en masa.

# Incertidumbre de medición en pruebas



# Incertidumbre de medición en pruebas

- Una fuente de incertidumbre es un factor que contribuye a la incertidumbre de medición.  
Una descripción cualitativa de tal fuente.

Inducidas por el laboratorio de pruebas	Inducidas por el método de la norma	Inducidas por la producción y el muestreo
<ul style="list-style-type: none"><li>• Habilidad del operador</li><li>• Análisis de datos y cálculos</li><li>• Informes</li><li>• Implantación de la norma en el procedimiento y en el software de medición</li><li>• Sistema de gestión de calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Especificación del mensurando</li><li>• Instrumentos de medición incluyendo calibraciones y verificaciones</li><li>• Descripción del procedimiento de medición</li><li>• Condiciones ambientales</li><li>• Configuración del EBP</li><li>• Operación del EBP</li><li>• Modelo/Tipo de EBP</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tolerancias de la producción</li><li>• Muestreo</li><li>• Muestreo no representativo</li></ul>

# Incertidumbre de medición en pruebas

- Las Fuentes de Incertidumbre inducidas por el método de la norma puede aun desglosarse. Por ejemplo, para una medición de emisiones radiadas se tiene lo siguiente.

Instrumentos de medición	Procedimiento de medición	Condiciones ambientales	Configuración y operación del EBP	Tipo de EBP
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sitio de pruebas</li><li>• Antena receptora</li><li>• Receptor de medición</li><li>• Cables de medición</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Altura de la antena</li><li>• Rotación del EBP</li><li>• Configuración del receptor de medición</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente radiado</li><li>• Ambiente conducido</li><li>• Temperatura, humedad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tolerancias de la distancia y altura de medición</li><li>• Modos de operación del EBP</li><li>• Configuración del EBP (accesorios, cables, antenas, etc..)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensiones del EBP</li><li>• Tipo/modelo de EBP</li></ul>

# Análisis de la incertidumbre de medición

Paso 1

- Definir el alcance de la estimación de incertidumbre

Paso 2

- Identificar el mensurando, sus fuentes de incertidumbre y las magnitudes de influencia

Paso 3

- Evaluar la incertidumbre estándar de cada magnitud de influencia relevante

Paso 4

- Calcular la incertidumbre combinada y la incertidumbre expandida



Paso 1

# Definir el alcance del análisis

Tipo o propósito del análisis	Fuentes de incertidumbre asociadas	Aplicación
Incertidumbre del sistema de medición	Instrumentación y condiciones ambientales	Evaluación de la calidad de una instalación de medición
Incertidumbre para la conformidad con normas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inducidas por los métodos de la norma (incluido la instrumentación de medición)</li><li>• Inducidas por la producción y el muestreo</li></ul>	Pruebas de cumplimiento
Incertidumbre para la correlación de métodos de medición	Inducidas por los métodos de la norma (incluido la instrumentación de medición)	Comparación de métodos de medición alternativos
Desempeño de productos producidos en masa	Inducidos por la producción y el muestreo	Mediciones de cumplimiento de la producción en masa

- Particularmente en mediciones para pruebas de conformidad es importante definir el mensurando de una manera clara y sin ambigüedades
- Dos formas diferentes de especificar un mensurando podría causar diferencias significativas en el resultado de medición!!

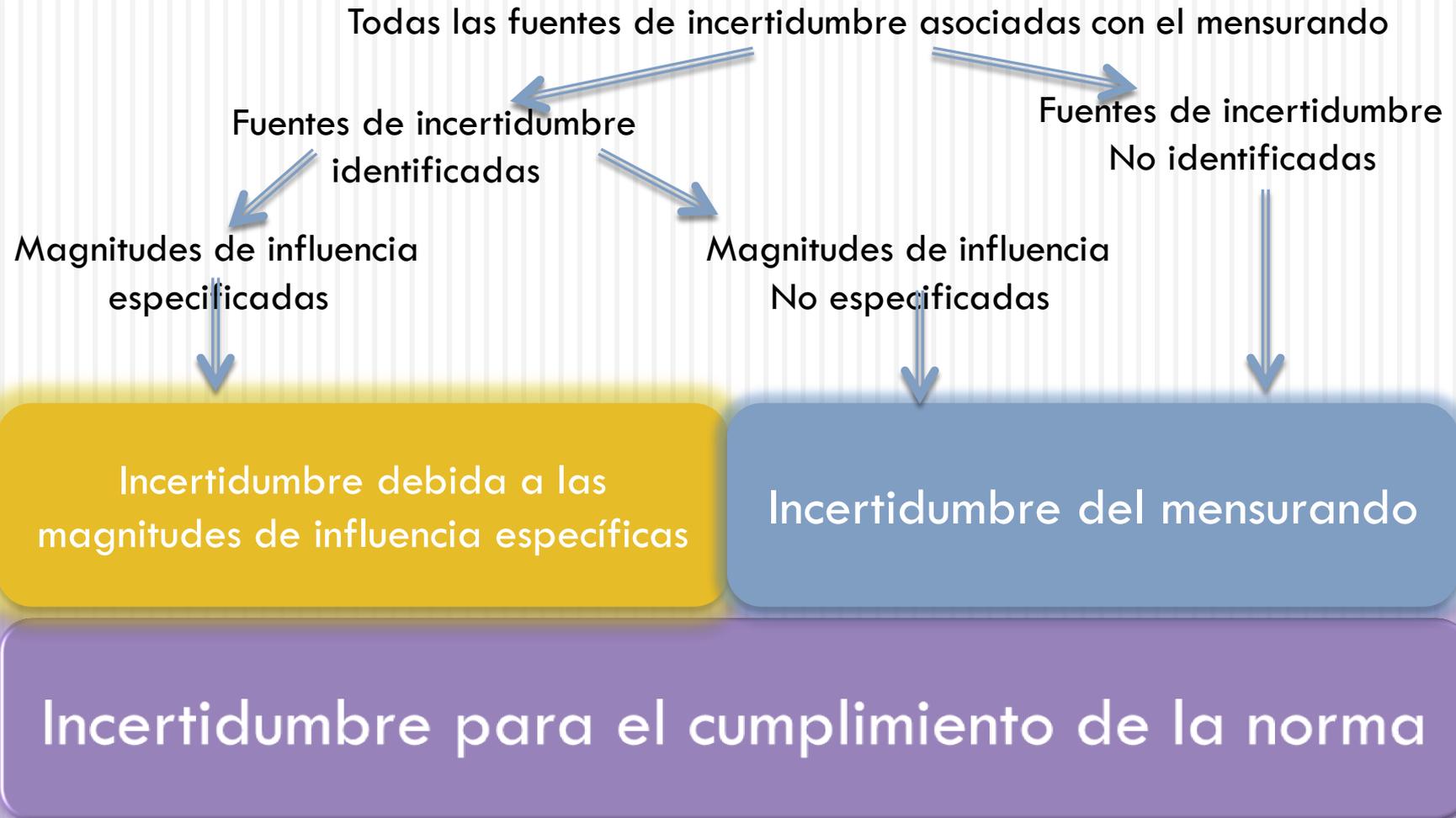
## Ejemplo.

1. La intensidad máxima de campo eléctrico emitido por el EBP colocado este a 0.8 m sobre un plano de tierra conductor y medido a una distancia de 3 m de la antena receptora cuando la antena de medición se varia en altura entre 1 m y 4 m.
2. La intensidad máxima de campo eléctrico del EBP colocado este a 0.8 m por arriba de un plano de tierra conductor y medido a una distancia de 3 m de la antena receptora cuando:
  - a) La antena se varía en altura entre 1 m y 4 m con pasos mínimos de 0.1 m de altura.
  - b) La antena se posiciona en polarización y vertical.
  - c) El EBP se posiciona sobre una mesa que no perturbe el resultado de medición.
  - d) El EBP se rota en azimut en pasos angulares de al menos 15 grados.
  - e) La antena receptora es un dipolo sintonizado a cada frecuencia de prueba.

- En otras palabras, el mensurando debe definirse con suficiente detalle de tal forma que la incertidumbre causada por una definición incompleta sea despreciable comparable con la exactitud requerida por la medición.
- Otro ejemplo tiene que ver con la dificultad de que en una norma se especifiquen todos los estados operacionales del EBP.
  - Especificar que la emisión más alta deberá encontrarse como una función de la frecuencia, en todos los estados operacionales del EBP, y en todas las posiciones posibles de los cables del EBP, no sólo da lugar a tiempos de medición imprácticos sino también a incertidumbre en la definición del mensurando.

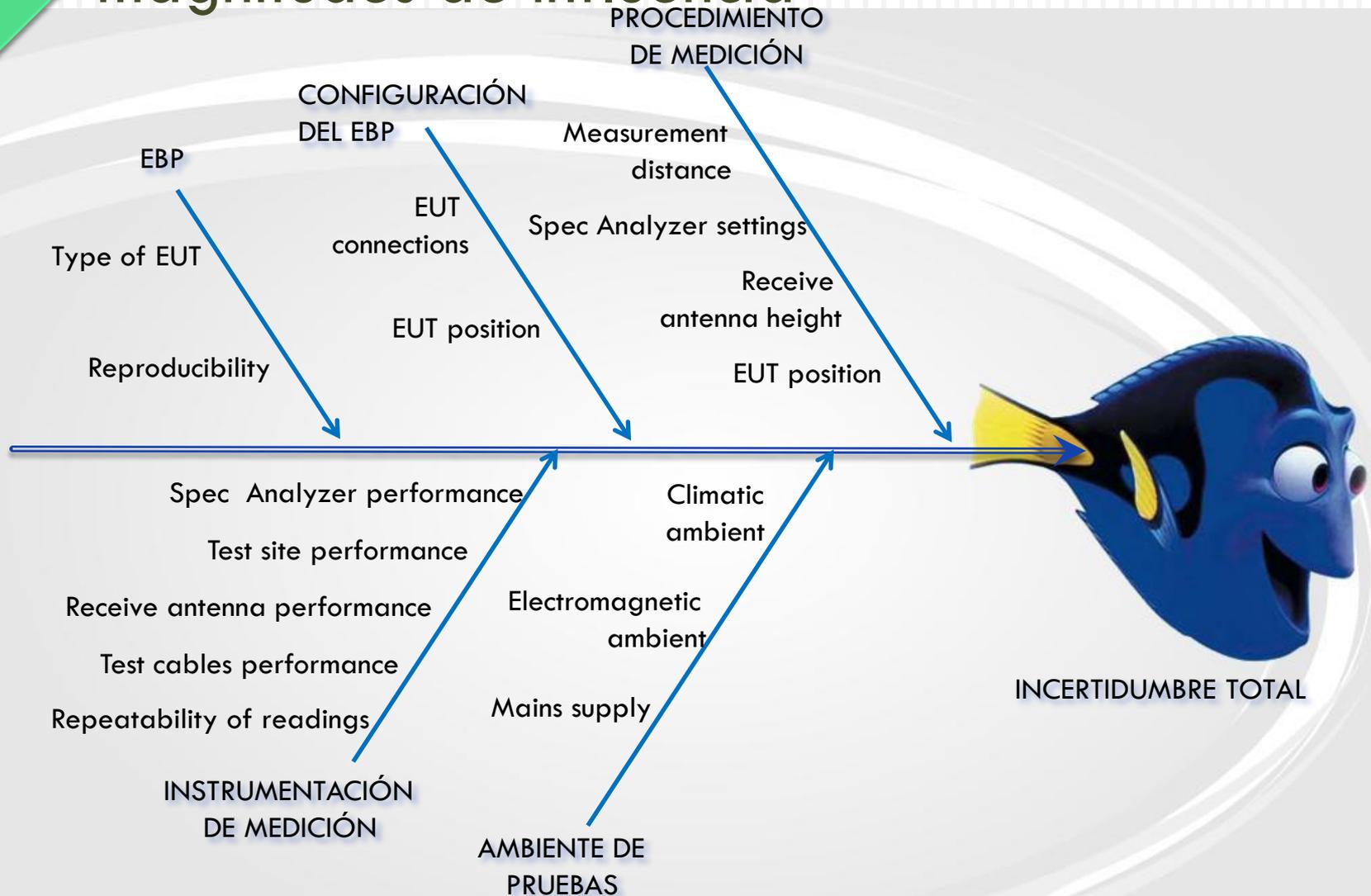
Paso 2

# Identificar fuentes de incertidumbre y magnitudes de influencia



## Paso 2

# Identificar fuentes de incertidumbre y magnitudes de influencia





# Identificar sus fuentes de incertidumbre y magnitudes de influencia

- La incertidumbre en el resultado de una medición estandarizada puede surgir de muchas fuentes posibles de incertidumbre.
- Cada una de estas fuentes debe especificarse de una forma cuantitativa mediante una o varias magnitudes de influencia.

Fuente de incertidumbre	Magnitudes de influencia
<ul style="list-style-type: none"><li>• Desempeño del sitio de pruebas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atenuación normalizada de sitio</li><li>• <math>sVSWR</math></li><li>• Efectividad del blindaje</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente radiado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nivel de ruido ambiental</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Desempeño de la antena receptora</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Factor de antena, ganancia de la antena</li><li>• Desbalance en antenas tipo dipolo</li><li>• Polarización cruzada</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Configuración del EBP</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Posición y orientación de unidades y posición geométrica de accesorios, por ejemplo, antenas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Operación del EBP</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modos de operación del EBP</li></ul>



# Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

Existen 2 métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre:

- ❑ Método de Evaluación Tipo A : basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones,
- ❑ Método de Evaluación Tipo B : el cual contempla todas las otras formas de estimar las contribuciones a la incertidumbre.

Ambos métodos se basan en distribuciones de probabilidad. La única diferencia es que:

- ❑ en una evaluación Tipo A esta distribución se estima en base a mediciones repetidas que se obtienen del proceso de medición mismo, mientras que,
- ❑ en una evaluación Tipo B la distribución se asume en base a la experiencia o a la información externa de que dispone el metrologo.

# Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

## Evaluación Tipo A.

La incertidumbre de una magnitud de entrada  $X_i$  obtenida a partir de varias observaciones bajo condiciones de repetibilidad, se estima en base a la dispersión de los resultados individuales.

Si  $X_i$  se determina mediante  $n$  mediciones independientes, que resultan en valores  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , el mejor estimado del valor  $x_i$  de  $X_i$  es la media de los resultados individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n q_j$$

La dispersión de los resultados de medición  $q_1, q_2, \dots, q_n$  de la variable de entrada  $X_i$  se expresa mediante su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

# Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

## Evaluación Tipo A.

La incertidumbre estándar  $u(x_i)$  de  $X_i$  se obtiene finalmente al calcular la desviación estándar experimental de la media, como:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}$$

## Evaluación Tipo B.

La información externa o la que se obtiene e la experiencia se usa en una evaluación Tipo B de la incertidumbre de una magnitud de entrada. Estas fuentes de información incluyen:

- Certificados de calibración.
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento.
- Normas o literatura.
- Valores de mediciones anteriores.
- Conocimiento de las características o comportamiento del sistema de medición.

# Paso 3

## Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

Type of meas Contributor	CW signal absolute value	Harmonic distortion	IMP3 (near the carrier)	3 <sup>rd</sup> order intersection	Power in channel	Adjacent channel power ratio	Power vs time (e.g. for TDMA signals)	Phase noise far from carrier	Phase noise near from carrier
Absolute error	•			•	•				
Frequency response	•	•		•	•				
Attenuator error	•			•	•			•	
IF Gain error	•			•	•			•	
Linearity error	•	•	•	•	•	•	•	•	•
RBW switching error	•			•	•				
RBW error					•	•		•	•
Limited number of samples error					•	•			
Mismatching error	•	•		•	•				

Uncertainty contributors for typical measurements with a spectrum analyzer (info from R&S)

# Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

## Distribuciones de probabilidad.

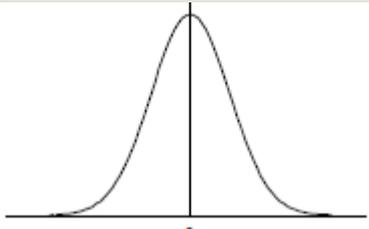
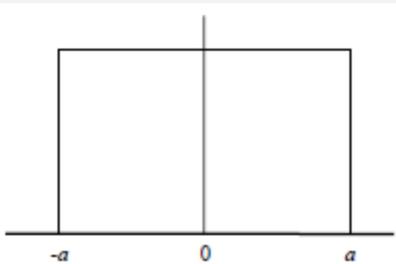
Cuantificar una fuente de incertidumbre incluye la asignación de un valor y la determinación de la distribución a que están relacionados tales valores. Las distribuciones más frecuentemente encontradas son:

- a) **Normal o Gaussiana.** Los resultados de mediciones repetidas afectadas por las magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente siguen con una buena aproximación una distribución normal. También, la incertidumbre indicada en los certificados de calibración generalmente se refieren a una distribución normal.
- b) **Rectangular o Uniforme.** Significa que cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad, esto es, la función de densidad de probabilidad se mantiene constante en el intervalo. Ejemplos: Resolución de instrumentos digitales, información técnica de tolerancias, etc.
- c) **Triangular.** Si existe evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y que esta se reduce hacia los límites, puede suponerse una distribución triangular.
- d) **En forma de U (U-shaped).** Lo cual significa que en los extremos del intervalo se presentan valores con probabilidad máxima. Ejemplo: El desacoplamiento e impedancia.

## Paso 3

# Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

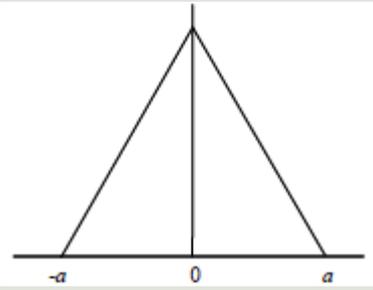
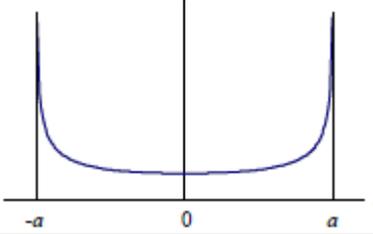
Evaluar las incertidumbres estándar de cada magnitud de entrada. Con el fin de poder combinar las contribuciones de incertidumbres que tienen diferentes distribuciones, es necesario representar los valores originales de incertidumbre como incertidumbres estandar. Esto implica determinar la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente.

Distribución		Incertidumbre estándar
Normal o gaussiana ( mediciones repetitivas, certificado de calibración)		$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$ $u(x_i) = \frac{U}{k}$
Rectangular		$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}}$

# Paso 3

## Evaluar la incertidumbre estándar de cada contribución

Calculate the standard uncertainties.

Distribution		Standard uncertainty
Triangular		$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{24}} = \frac{a/2}{\sqrt{6}}$
U-shaped		$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{8}} = \frac{a/2}{\sqrt{2}}$

The result of combining the contributions from all sources is the Combined standard uncertainty,  $u_c(y)$ .

The contribution  $u_i(y)$  from each source to the combined uncertainty depends on:

- a) the standard uncertainty  $u(x_i)$  of the source itself and,
- b) the impact of the source on the measurand.

It might be found that a small change in one of the influencing factors have a major impact on the measurand, and vice versa.

$u_i(y)$  is determined as the product of  $u(x_i)$  by its sensitivity coefficient  $c_i$  (or sensitivity factor):

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$$

The sensitivity coefficient describes how sensitive is the measurand with respect to variations of the corresponding input variable.

## Calculation of sensitivity coefficients

If the mathematical model for the measurand,  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$  describes the influence of the input quantity  $X_i$  sufficiently well by means of a functional relationship, the sensitivity coefficient  $c_i$  is calculated by the partial derivative of  $f$  with respect to  $X_i$ :

$$c_i = \left. \frac{\partial f(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_i} \right|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_N}$$

So, for the case of uncorrelated input quantities, the combined uncertainty  $u_c(y)$  is calculated by the geometric sum of the individual contributions:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot u(x_i) \right]^2}$$

Report the MU analysis result.

The way of reporting uncertainty as part of the measurement results depends on user's convenience, policies, or recommended practice.

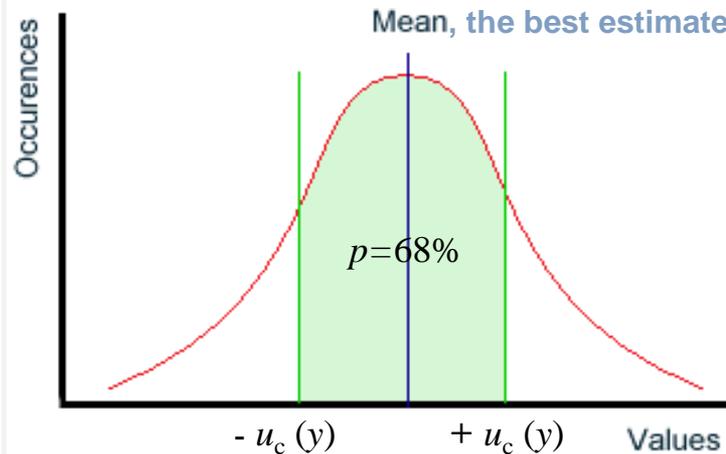
- a) In some cases, it is expressed as the combined standard uncertainty,  $u_c(y)$ .
- b) other times as a number of times such uncertainty,
- c) More often, it is required that it be expressed in terms of a given confidence level,

In anyway, it is essential to unambiguously express the assessed uncertainty result.

# Calcular la incertidumbre expandida

Confidence level and coverage factor.

The standard uncertainty  $u_c(y)$  has a value equal to the standard deviation of the distribution function of the measurand.



The interval centered on the best estimate of the measurand contains the true value with a probability  $p$  of approximately 68%

(under the assumption that the possible values of the measurand follow a normal distribution).

However, a probability  $p$  larger than 68 % is generally desired.

This is obtained by expanding this range or, in other words, multiplying the obtained combined uncertainty by a factor  $k$ .

The result is called expanded uncertainty  $U = k \cdot u_c$

The expanded uncertainty  $U$  then indicates a range, called interval of confidence, which represents the fraction  $p$  of the values that the measurand can probably take.

The value of  $p$  is called the level of confidence and can then be chosen at convenience.

- i. Sometimes, the level of confidence is chosen such that it corresponds to a coverage factor  $k$  of an integer number of standard deviations of a normal distribution:

$$k=1 \text{ for } p=68.27\%, \quad k=2 \text{ for } p=95.45\%, \quad k=3 \text{ for } p=99.73\%$$

# Calcular la incertidumbre expandida

- ii. However, because the best estimate of the measurand is obtained from an  $n$  finite number of measurements, the mean divided by its standard deviation follows a distribution called *t-Student* which reflects the lack of information about the measurand.

So, the interval corresponding to a level of confidence  $p$  is now more rigorously calculated as:

$$U = u_c \cdot t_p(v_{ef})$$

The factor  $t_p(v_{ef})$  is derived from the  $t$ -distribution at a level of confidence  $p$  and  $v_{ef}$  effective degrees of freedom, and obtained from tables.

$\nu$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100	$\infty$
$t_p(v_{ef})$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,32	2,28	2,13	2,05	2,025	2,000

$t_p(v_{ef})$  for  $p=95.45\%$

The effective degrees of freedom is calculated as:

$$\frac{1}{\nu_{ef}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left( \frac{u_i(y)}{u_c(y)} \right)^4}{\nu_i}$$

where  $u_i(y)$  is the contribution to the combined uncertainty  $u_c(y)$  from the  $i$ -th source having  $\nu_i$  degrees of freedom.

Then, the final expression of the measurement result is indicated as a range centered on the best estimate of the measurand  $y$  with limits around the expanded uncertainty  $U$ .

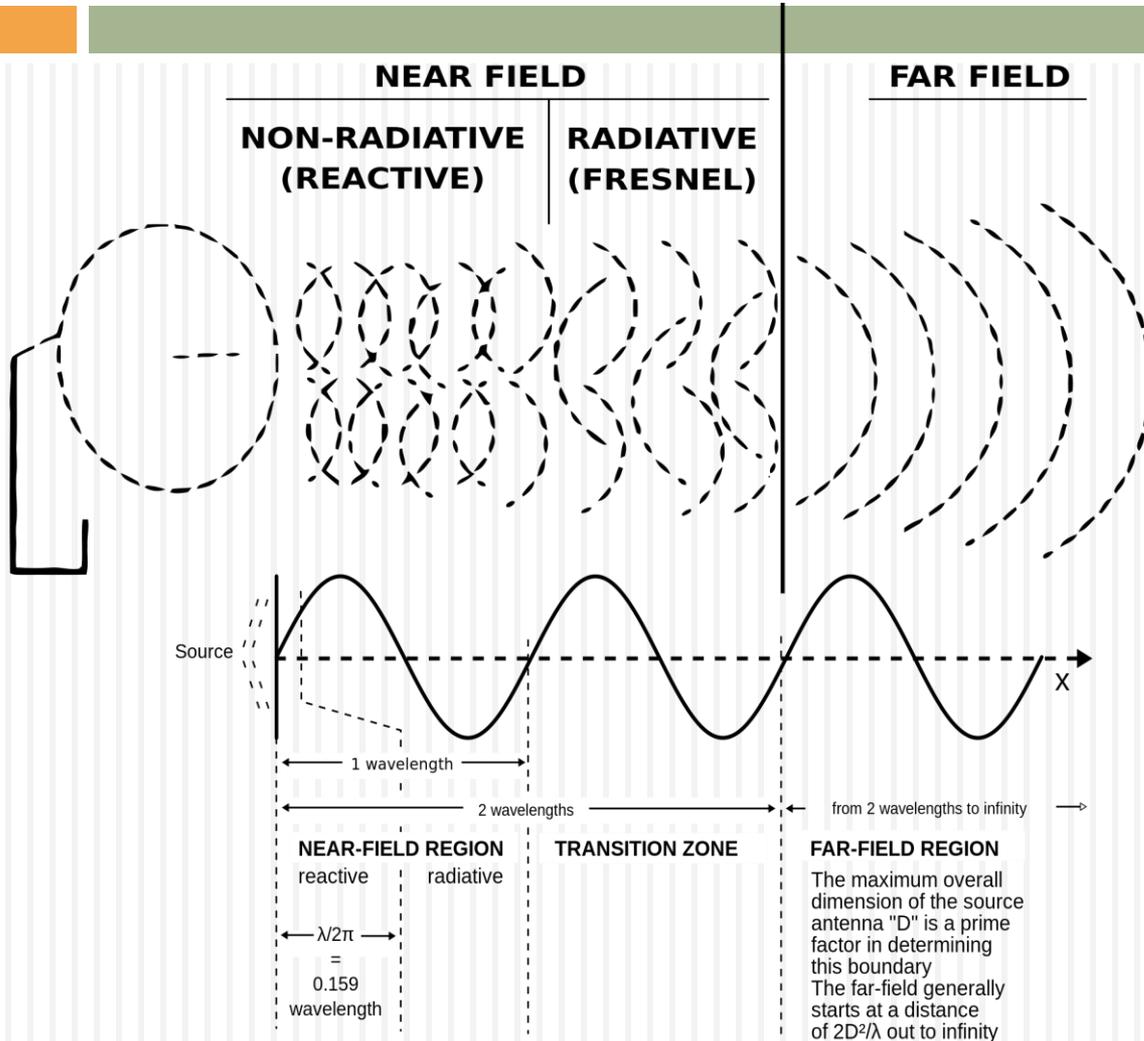
$$Y = y \pm U$$

It should also include an indication of the confidence level (for example, an assertion that  $p$  is approximately 95% or the chosen value), the coverage factor, and the effective number of degrees of freedom if required.

# Example of a guiding format for estimating the uncertainty

No.	(3) Source of uncertainty, $X_i$	(3) Estimated value, $x_i$	(3) Source of information	(4) Uncertainty value	(4) Type, Distribution	(5) Standard uncertainty, $u(x_i)$	(6) Sensitivity coefficient, $c_i$	(4) Contribution $u_i(y)$	(4) Degrees of freedom, $\nu_i$
1	$X_1$	$x_1$				$u(x_1)$	$c_1$	$u_1(y)$	
1a	Source 1a		info	value	info	$u_a(x_1)$		...	$\nu_{1a}$
---	---		...	...	...	...		...	...
1m	Source 1m		info	value	info	$u_m(x_1)$		...	$\nu_{1m}$
2	$X_2$	$x_2$				$u(x_2)$	$c_2$	$u_2(y)$	
2a	Source 2a		info	value	info	$u_a(x_2)$		...	$\nu_{2a}$
---	---		...	...	...	...		...	...
---	---		...	...	...	...		...	...
N	$X_N$	$x_N$				$u(x_N)$	$c_N$	$u_N(y)$	
Na	Source Na		info	value	info	$u_a(x_N)$		...	$\nu_{Na}$
---	---		...	...	...	...		...	...
								$u_c(y)$	$\nu_{\text{eff}}$
	$Y$	$y$					$\pm$	$U$	$k$

# Instalaciones adecuadas de pruebas



$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$$E = \frac{\sqrt{30(p.i.r.e)}}{D}$$

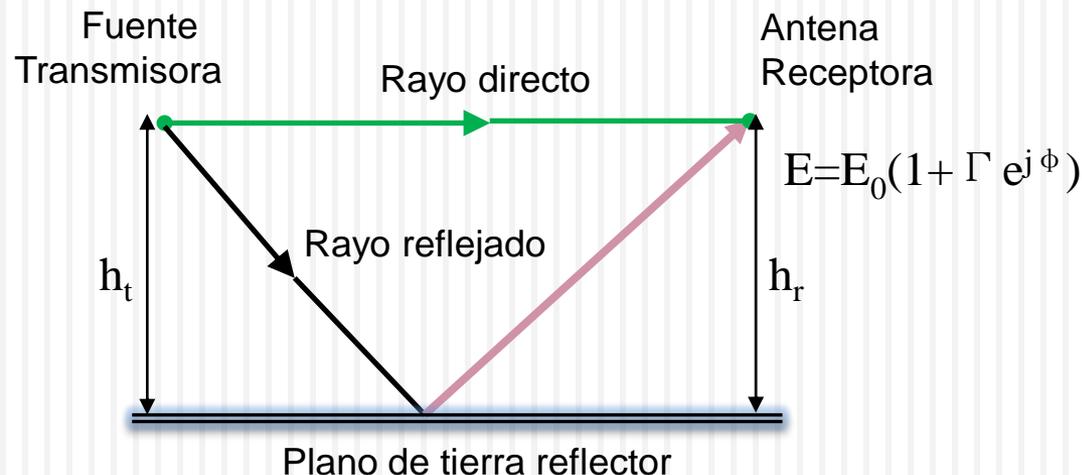
- Las condiciones de campo lejano son difíciles de lograr para configurar un sistema de medición práctico y adecuada relación costo/beneficio. También, muchos equipos a probar operan normalmente en condiciones de campo cercano.

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- El objetivo de cualquier especificación de emisión es prevenir interferencia indeseable a la radiorrecepción.
- Esto incluye prevenir interferencia a servicios tales como la radiodifusión y la TV, así como también a la radio amateur, servicios de emergencia, ayudas a la navegación, etc.
- Los límites de emisiones especificados en las normas se derivaron de estudios exhaustivos que determinaron los umbrales de interferencia a la TV y radiorreceptores contra la proximidad de fuentes potenciales de ruido.
- Estos estudios, que cubrieron una gran área geográfica, recolectaron una gran cantidad de datos. En base a los resultados, se derivaron las especificaciones de límites estadísticamente significativos.

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- En cada estudio, los valores medidos se realizaron en un ambiente donde la onda reflejada en la tierra tuvo un mayor efecto sobre el valor medido. Se concluyó que un plano de tierra uniforme proporcionaría un ambiente controlado que no sólo simularía las condiciones del mundo real sino que también mejoraría grandemente la repetibilidad de las mediciones.
- Como resultado, los organismos internacionales de normalización, desarrollaron procedimientos de mediciones basados en el uso de sitios de prueba con un plano de tierra reflector.



# Instalaciones adecuadas de pruebas

- Las agencias reguladoras adoptaron entonces esos procedimientos de prueba y establecieron límites específicos para medición de emisiones hechas en instalaciones que emplean un plano de tierra reflector.
- Para la medición de emisiones radiadas de equipos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones a frecuencias por arriba de 30 MHz, las normas especifican sitios de prueba que cumplan los requerimientos de Atenuación Normalizada de Sitio (NSA) de CISPR 16-1-4 [9] o ANSI C63.4 [10].

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- Estos sitios pueden ser en área abierta (OATS) o en un recinto cerrado (SAC/SAR)



- Cada una de estas opciones tiene sus ventajas y limitaciones.

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- Los OATS pueden ser una solución de bajo costo que permite realizar pruebas a 3 m (Parte 15 Clase B), 10 m (Parte 15 Clase A, CISPR 22 Clases A&B) y aun a 30 m.
- No obstante están sujetos a condiciones ambientales adversas, lejanía, horario de uso limitado, etc.
- Los principales elementos a considerar son:
  - La Atenuación Normalizada de Sitio, la cual debe cumplir con las normas y que depende de la calidad del sitio:
    - La conductividad del plano de tierra, incluido el sistema de tierras
    - La rugosidad del piso
    - Presencia de reflectores cercanos
  - El nivel de ruido y señales ambientales, que podrían ser tal que sólo se disponga de un intervalo dinámico limitado.
  - La longitud de los cables de prueba

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- En años recientes, el número de equipos inalámbricos y sus sistemas asociados se ha incrementado, por lo que la interferencia de RF también ha aumentado en los OATS.
- Las mediciones en presencia de señales intensas son más difíciles y pueden afectar la exactitud de los resultados.
- La alternativa a los OATS son las SAC/SAR que pueden ser muy costosas sobre todo porque se requiere que sean grandes para permitir la distancia de prueba, los barridos en la altura de la antena de 1 m a 4 m, así como los requisitos de atenuación normalizada de sitio requeridos por normas como CISPR 16-1-4 y ANSI C63.4.
- Sus ventajas es que no están sujetas a condiciones ambientales adversas, horarios limitados, cableados muy largos, etc.

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- Los principales elementos a considerar en una SAC son:
  - Dimensiones adecuadas para permitir la distancia de prueba requerida (algunas regulaciones no aceptan pruebas a 3 m porque no cumplen el campo lejano).
  - Barrido en altura de 1 m a 4 m requeridos por la norma.
  - La Atenuación Normalizada de Sitio.
  - Efectividad del blindaje.
  - Uniformidad de campo para pruebas de inmunidad.
  - La dependencia en frecuencia de varios de estos parámetros.

# Instalaciones adecuadas de pruebas

- La existencia del plano de tierra reflector, implica la necesidad de hacer barridos en la altura de la antena receptora para encontrar el máximo nivel recibido y descartar la interferencia destructiva. Esto hace a las SAC's grandes y costosas.
- De ahí surgió la necesidad de desarrollar instalaciones de prueba que permitan mediciones de similar exactitud a un menor costo, tales como las FAC (fully anechoic chamber) o las mSAC (cámara semi-anechoica modificada), en las que la antena receptora se mantenga fija.
- Estas intentan simular la condición de espacio libre.



# Bibliografía

1. IEC/TR61000-1-1 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms.
2. COFETEL, Normas oficiales mexicanas vigentes en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, [http://www.cft.gob.mx/en/Cofetel\\_2008/Cofe\\_normas\\_oficiales\\_mexicanas\\_vigentes\\_en\\_materi](http://www.cft.gob.mx/en/Cofetel_2008/Cofe_normas_oficiales_mexicanas_vigentes_en_materi)
3. “Acuerdo de reconocimiento mutuo entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América para la evaluación de la conformidad de equipos de telecomunicaciones”. Publicado en el DOF el 28 de julio de 2011.
4. NYCE, Catálogo de publicaciones, en la liga <http://www.nyce.org.mx/publicaciones/normasNyce.pdf>.
5. ANCE, Catálogo de productos, en la liga <http://www.ance.org.mx/imagenes/imgNormanet/PRODUCTOS.pdf>, Pág. 14-16.
6. NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.
7. NMX-Z-055:1996 IMNC Metrología – Vocabulario de términos fundamentales y generales; equivalente al documento *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993..
8. NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.
9. CISPR-16-1-4 “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements.
10. ANSI C63.4 American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz.
11. IEC 61000-4-2 Electromagnetic Compatibility, Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity tests.

# Preguntas/Comentarios



¡Gracias por su atención!



Israel Garcia-Ruiz

[igarcia@cenam.mx](mailto:igarcia@cenam.mx)

<http://mx.linkedin.com/pub/israel-garcia-ruiz/15/a53/a01>

[https://www.researchgate.net/profile/Israel\\_Garcia-Ruiz/](https://www.researchgate.net/profile/Israel_Garcia-Ruiz/)

Tel: +52-442-2110500 x3451