

# SIGNIFICADO DE LA ATENUACIÓN DE SITIO Y DE LA ATENUACIÓN DE SITIO NORMALIZADA EN LA VALIDACIÓN DEL SITIO DE REFERENCIA PARA CALIBRACIÓN DE ANTENAS DEL CENAM

Victoria Molina López, Israel García Ruiz, Mariano Botello Pérez  
Laboratorio de Antenas y Campos Electromagnéticos  
Centro Nacional de Metrología, CENAM,  
E-mail: [vmolina@cenam.mx](mailto:vmolina@cenam.mx), [igarcia@cenam.mx](mailto:igarcia@cenam.mx), [mbotello@cenam.mx](mailto:mbotello@cenam.mx)

## Resumen

En este artículo se informa el avance en los trabajos de caracterización del sitio de calibración de antenas y campos electromagnéticos del CENAM. Se exponen los fundamentos teóricos para la aplicación de las técnicas de medición mediante las cuales se realiza la validación del sitio de pruebas a campo abierto del CENAM como sitio de calibración y como sitio de pruebas de conformidad, y se presentan los resultados experimentales obtenidos durante la validación como CALTS.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Sitio de Calibración a Campo Abierto del CENAM puede emplearse para realizar servicios metrológicos en las áreas de compatibilidad electromagnética (CEM) y de telecomunicaciones en las modalidades que se indican a continuación [1].

1. Sitio para calibración (CALTS, *Calibration Test Site*) y medición de los parámetros característicos de antenas en el intervalo de 30 MHz a 1 GHz.

2. Sitio para medición de intensidad de campo eléctrico radiado por equipo eléctrico o electrónico en el intervalo de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Para este tipo de servicios estas instalaciones operan como un sitio de pruebas de área abierta (OATS, *Open Area Test Site*), también conocido como un sitio de pruebas de conformidad (COMTS, *Compliance Test Site*).

3. Sitio para calibración de antenas de microondas en el intervalo de 1 GHz a 18 GHz.

4. Sitio para la medición de campos radiados en la región de microondas en el intervalo de 1 GHz a 18 GHz.

Para las dos primeras clases de servicio se requiere la validación del sitio de referencia del CENAM según se describe en [1] y [3]. La validación del sitio de referencia del CENAM como un CALTS implica la necesidad de medir la atenuación de sitio (AS) y para su validación como COMTS se requiere

determinar la atenuación de sitio normalizada (ASN).

Para la tercera clase de servicios se requiere eliminar el efecto de la onda reflejada en tierra, por lo cual las antenas se elevan por encima del plano de tierra a una altura entre 4 m y 6 m. No se requiere un proceso de validación especial para esta clase de servicios.

Los métodos de validación para la cuarta clase de servicios aún están bajo análisis y discusión [1].

### 1.1 Sitio de calibración de antenas (CALTS)

Un CALTS es un sitio de pruebas en espacio abierto compuesto por un plano de tierra conductor, una zona libre de obstrucciones que rodea el plano metálico y equipo auxiliar que incluye al menos dos mástiles para soportar antenas, cables de RF para conectar las antenas a los equipos de medición tales como generadores de radio frecuencia (RF), receptores de medición, analizadores de espectros o de redes, entre los más importantes. Un CALTS se utiliza para determinar los factores de antena en espacio libre de obstrucción de las antenas bajo prueba.

### 1.2 Validación de un CALTS

La validación de un CALTS se basa en la medición de la AS. El término atenuación de sitio entre dos posiciones especificadas sobre un sitio de pruebas se refiere a las pérdidas por inserción de una medición de dos puertos, cuando la conexión eléctrica directa entre la salida de un generador y la

entrada de un receptor se reemplaza por antenas, una transmisora a la salida del generador y otra receptora a la entrada del receptor [1].

La atenuación de sitio medida,  $AS_m$ , se compara con la atenuación teóricamente calculada,  $AS_c$ . El resultado de dicha comparación nos indica sobre el grado de similitud con el que las propiedades de un sitio de pruebas real se asemejan a las propiedades ideales que se le atribuyeron durante los cálculos de la  $AS_c$ . Estas propiedades son:

- a) que el plano de tierra reflector es perfectamente plano e infinitamente conductor;
- b) que el valor absoluto del coeficiente de reflexión del plano es  $r = 1$ ; y
- c) que la diferencia de fase entre las ondas electromagnéticas polarizadas horizontalmente, tanto incidente como reflejada, es igual a  $\pi$  radianes;
- d) que la influencia del equipo auxiliar y de los alrededores del plano es despreciable;

La verificación de las propiedades a), b) y d) se realiza simultáneamente cuando en el proceso de medición se utilizan alturas fijas para las antenas, tanto en la transmisión (Tx) como en la recepción (Rx). Este proceso es el que se ha seguido para la medición de  $AS_m$  en el sitio de pruebas del CENAM.

Para verificar simultáneamente las propiedades a), c) y d) en el proceso de medición de  $AS_m$  se realiza un barrido ya sea en altura o en frecuencia. En el método del barrido en altura, la altura de una de las antenas se mantiene fija y se realiza un barrido en la altura de la otra antena hasta encontrar el valor máximo de AS; después se comparan las alturas calculada y medida correspondientes a la AS máxima. El método de barrido en frecuencia se describe en 4.4.5 de [1].

El proceso de validación como CALTS se hace en polarización horizontal únicamente, debido a que los servicios de calibración de antenas, cuyo propósito es determinar el factor de antena en espacio libre de reflexiones, se realizan sobre el plano de tierra reflector utilizando únicamente la polarización horizontal.

Así pues, de acuerdo con la normatividad vigente, para un CALTS se debe especificar detalladamente su desempeño mediante alguna de las siguientes condiciones: a) la AS para alturas fijas o b) la altura de las antenas para la AS máxima, o c) la AS máxima en todas las frecuencias en las cuales se calibrarán antenas; y lo más importante es que los valores de AS deben estar dentro de los límites que marca la norma de acuerdo con lo establecido en 4.5.3 de [1]. En las cláusulas 4.4 a 4.5 de [1] se describen con detalle el procedimiento de validación y el criterio de desempeño, respectivamente.

### 1.2.1 Criterio de conformidad de la AS

El desempeño de un CALTS es satisfactorio y conforme a la norma (4.5.3 de [1]) cuando en todas las frecuencias de prueba, la  $AS_m$  está dentro de cierto margen de la  $AS_c$ . Este margen que considera las tolerancias en la configuración del sistema, incluye también la incertidumbre en cada valor  $AS_m$  medido [5].

Se considera que un CALTS está validado en las frecuencias a las cuales se realizarán calibraciones de antenas si para todas esas frecuencias se cumple con el criterio de la AS; o bien, como requisito mínimo, debe demostrarse que el CALTS cumple con el criterio de la AS para las frecuencias de la Tabla 1. El criterio de la AS se presenta en la siguiente ecuación (1).

$$|AS_c[\text{dB}] - AS_m[\text{dB}]| < T_{AS}[\text{dB}] - \Delta AS_m[\text{dB}] \quad (1)$$

Donde:

- $\Delta AS_m$  es la incertidumbre de la medición para un nivel de confianza del 95%
- $T_{AS}$  es el margen permitido en el valor de la AS. Esta tolerancia es de  $T_{AS} = 1,0$  dB para todas las frecuencias en el intervalo de 30 MHz a 1 GHz [1].

### 1.3 Sitio de pruebas de conformidad (COMTS)

Un CALTS puede utilizarse también como un COMTS. Aunque la infraestructura en ambos sitios es prácticamente la misma, la diferencia entre ambos radica principalmente en la clase de mediciones que se realizan en uno u otro caso y las características de desempeño requeridas por las normas [1, 2].

## 1.4 Validación de un COMTS

En el caso de un COMTS su desempeño se especifica en términos de la Atenuación de Sitio Normalizada, que es un parámetro que se calcula dividiendo la AS entre el producto de los factores de la antena transmisora y receptora. La cláusula 5 de [3] especifica los requerimientos para que en un COMTS puedan medirse radio perturbaciones en el intervalo de frecuencia de 30 MHz a 1 GHz. En esta clase de servicios la desviación entre la ASN-teórica y la ASN-real no debe utilizarse como un factor de corrección, esta diferencia solo sirve con fines de validación [1].

Un sitio que se valida como COMTS u OATS no puede emplearse para calibrar antenas, ya que la validación de un sitio como CALTS tiene requisitos más estrictos. Este artículo está enfocado a la validación del sitio de pruebas del CENAM como un CALTS.

## 2. VALIDACIÓN DEL CALTS-CENAM

### 2.1 Obtención de la $AS_c$

Para calcular el valor teórico de la AS,  $AS_c$ , fue necesario modelar al más alto nivel de exactitud las antenas de prueba a utilizar en el proceso de validación. Por esta razón el tipo de antenas empleadas fueron dipolos resonantes de media longitud de onda cuya teoría es conocida y sus características electromagnéticas son calculables. Físicamente, estas antenas dipolo consisten de un balún y de dos elementos conductores colineales de alambre con un diámetro y una longitud determinados. Los elementos están conectados a las terminales balanceadas del balún. El balún tiene un puerto de entrada/salida desbalanceada para conectar el cable de RF hacia el resto de la instrumentación.

#### 2.1.1. Cálculo y aseguramiento de la $AS_c$

El cálculo de la  $AS_c$  se realizó por dos métodos con el fin de validar los resultados. Se hará referencia a estos métodos como [4]: a) solución exacta empleando las ecuaciones de la teoría electromagnética del Anexo C de [2] y b) solución numérica empleando el software NEC (*Numerical Electromagnetic Code*) como herramienta de simulación. La solución exacta permite el cálculo sólo a la frecuencia de resonancia del dipolo. La

aproximación numérica permite hacer evaluaciones fuera de la frecuencia de resonancia y, en particular, en los puntos de medición sugeridos por [2]. En la Tabla C.1 de [2] se pueden encontrar los valores de  $AS_c$  considerando que se tienen balunes ideales, esto es, sin pérdidas por inserción y sin reflexiones de energía. Las determinaciones teóricas y numéricas hechas en el CENAM permiten reproducir también con mucha exactitud los valores de esa tabla.

Para la validación del sitio del CENAM se obtuvieron tres conjuntos de valores de  $AS_c$ , los cuales se validan entre ellos:

1.  $AS_c$ \_CENAM1. Se obtuvieron considerando la presencia de los balunes en una primera etapa del proceso en que se requiere una medición inicial de referencia.
2.  $AS_c$ \_CENAM2. Se obtuvieron considerando que los balunes no están presentes durante la medición inicial de referencia.
3.  $AS_c$ \_comercial. Se obtuvieron empleando un software comercial del fabricante de los dipolos, en el que se modela la misma condición que en el punto anterior.

Para tener un valor  $AS_c$  cercano al valor esperado experimentalmente, en el programa de cálculo utilizado para los casos (2) y (3) se incluyeron los parámetros  $s$  de los balunes. Esto implicó, realizar un tratamiento matemático empleando teoría de redes de 2 puertos de alta frecuencia. De esta manera, los valores teóricos  $AS_c$ \_CENAM2 y  $AS_c$ \_comercial obtenidos se aproximan mucho mejor a los valores que se esperan experimentalmente y a la vez coinciden entre sí [4].

### 2.2 Procedimiento para la medición de la $AS_m$

Una vez que se encuentra el valor  $AS_c$ , fue necesario tener el valor  $AS_m$  del sitio de pruebas en cuestión. Independientemente del sistema de medición, el procedimiento que se siguió es conforme a la norma [2] y se indica a continuación.

1. Medición inicial de referencia. Ésta se conoce también como conexión directa o *through* y debe realizarse antes de la inserción de las antenas.

Siguiendo la Tabla 1, se mide la tensión de referencia  $U_{r1}(f)$  en cada frecuencia. Esta tensión hace posible considerar el efecto de la atenuación que sufre la señal desde que sale por el puerto del generador y llega a las terminales de la antena transmisora, e igualmente la atenuación que sufre la señal cuando sale de las terminales de la antena receptora y viaja por los cables hasta llegar al puerto de entrada del receptor.

Las condiciones de todo el sistema de medición deben permanecer sin modificaciones durante todo el proceso de medición. Si durante el proceso de medición varía la potencia o se inserta otro dispositivo, como un cable u otro adaptador, la medición de  $U_{r1}(f)$  debe repetirse.

2. Medición con antenas. Después de realizar la medición en conexión directa se inserta cada juego de dipolos en el sistema. Para cada par de antenas se posicionan ambas antenas, transmisora y receptora, para luego medir la tensión  $U_s(f)$  a la frecuencia correspondiente de la Tabla 1.

3. Medición en conexión directa final. Se mide a cada frecuencia de la Tabla 1, el valor  $U_{r2}(f)$ .

4. Si  $U_{r1}(f)$  y  $U_{r2}(f)$  difieren por más de 0,2 dB se considera que el sistema es inestable y todo el proceso debe repetirse.

5. Se calcula la  $AS_m$ , por medio de la siguiente ecuación:

$$AS_m(f) = 20 \log_{10} \left( \frac{U_{ra}(f)}{U_s(f)} \right) \text{ [dB]} \quad (2)$$

Donde  $U_{ra}(f)$  es el promedio de  $U_{r1}(f)$  y  $U_{r2}(f)$ .

Cuando el intervalo dinámico del receptor no cumple con lo que se indica en la norma, entonces se emplea un método alternativo, conocido como método de sustitución en el que se utiliza un atenuador calibrado (véase 4.4.4.7 de [2]).

6. Estimación de incertidumbre. Una vez realizadas las mediciones conforme la ecuación (2), se procede a evaluar la incertidumbre considerando las principales componentes: el modelo teórico y las mediciones de tensión.

### 3. MEDICIÓN DE LA $AS_m$ EN EL SITIO DE PRUEBAS DEL CENAM

#### 3.1 Identificación de las antenas calculables

El procedimiento empleado para la validación del sitio de CENAM como un CALTS, requirió el uso de dipolos calculables que cumplen con las especificaciones normativas que se detallan en 4.3.2 de [2]. De esta manera, como se ha dicho anteriormente, se posibilita comparar los resultados experimentales con los resultados teóricos calculados considerando las características propias del sitio de pruebas del CENAM y de dichas antenas.

Se utilizaron 2 conjuntos de 4 antenas dipolo patrón calculable comercial mediante los cuales se cubre el intervalo de 30 MHz a 1 GHz, según se muestra en la Tabla 1.

Frecuencia de resonancia del dipolo [MHz]	Frecuencias utilizables [MHz]	Altura Antena $h_r$ , [m]
700	600	2,0
	700	1,7
	800	1,5
	900	1,3
	1000	1,2
400	300	1,5
	400	1,2
	500	2,3
180	120	4,0
	130, 140, 160, 180, 200	2,0
	250	1,5
60	30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100	4,0

**Tabla 1 Dipolos resonantes**

De acuerdo con el certificado del fabricante, cada antena de prueba (antena con balún) se pudo identificar claramente para utilizarse como transmisora o receptora.

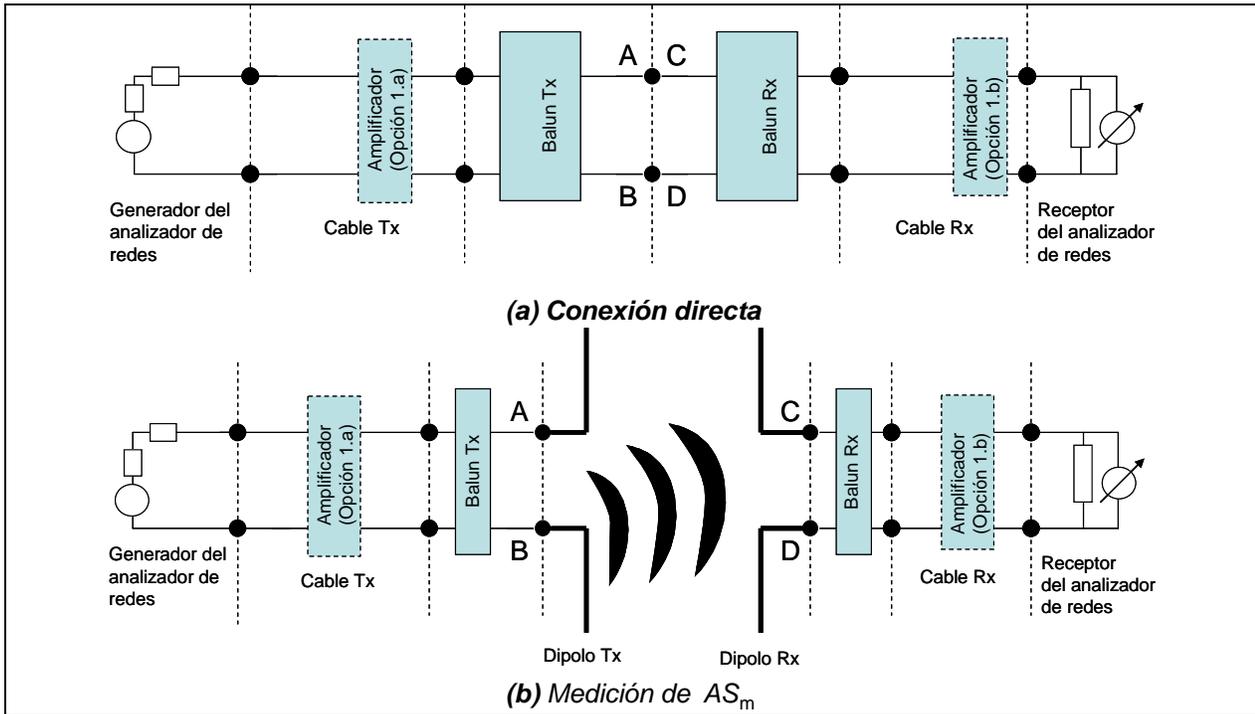
#### 3.2 Configuraciones de medición

Con el objetivo de asegurar la validez del trabajo realizado, los valores experimentales  $AS_m$  se obtuvieron para dos configuraciones diferentes de conexión directa:

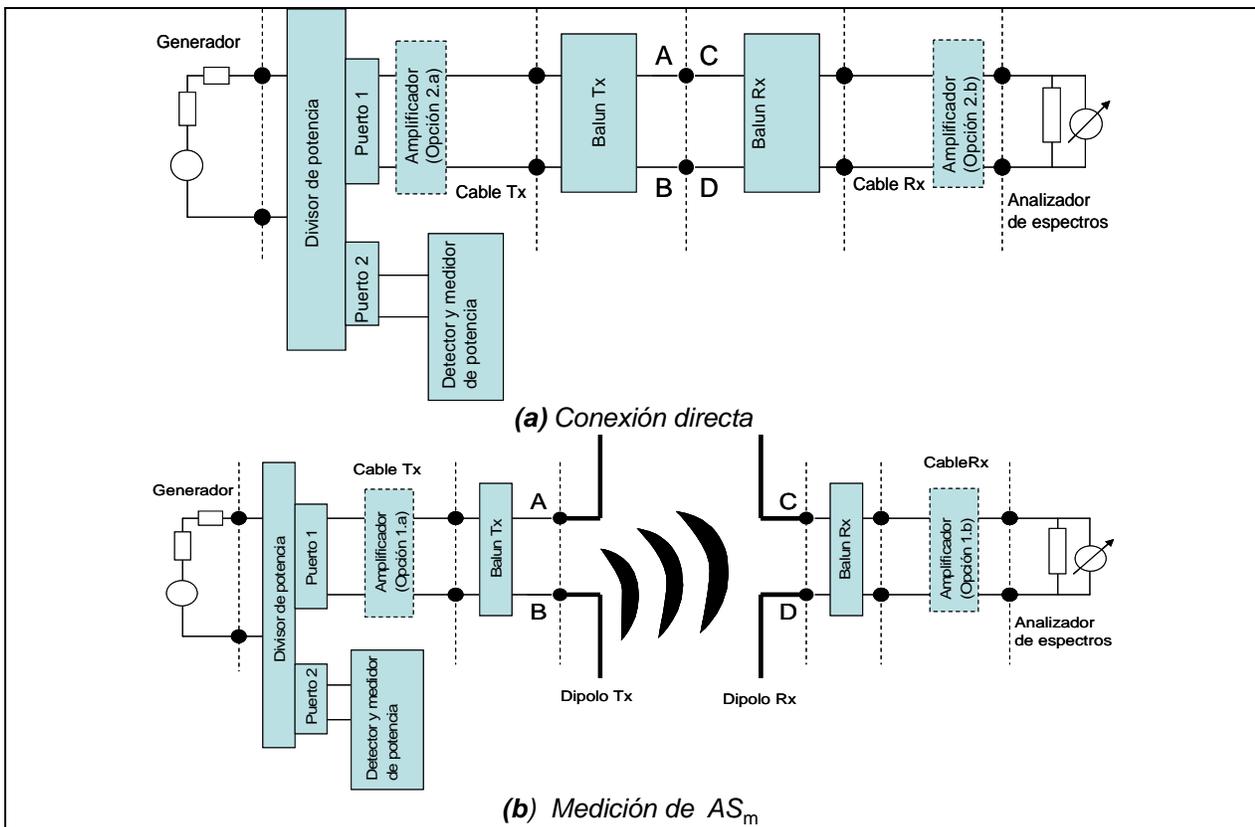
1. Conexión directa con balunes. Esto es para reproducir experimentalmente los valores  $AS_c\_CENAM1$ ; se insertaron los balunes en la configuración de medición conforme se señala en 4.4.4.1 de [2].

2. Conexión directa sin balunes. Esto es para reproducir experimentalmente los valores

$AS_c$ \_CENAM2 y  $AS_c$ \_comercial, según se señala en la nota 4 de 4.4.4.1 de [2].



**Figura 1** Sistema de medición basado en el analizador de redes



**Figura 2** Sistema de medición basado en el analizador de espectros

### 3.3 Descripción de los sistemas de medición

La toma de datos experimentales durante la medición de la  $AS_m$  del sitio de pruebas del CENAM se realizó de las siguientes maneras:

- 1) Con un sistema de medición automatizado en el que se emplea un analizador vectorial de redes operando en tres configuraciones diferentes (Figura 1): 1.a) con un amplificador de señal en la trayectoria de transmisión, 1.b) con un amplificador de señal en la trayectoria de recepción y 1.c) sin amplificador.
- 2) Empleando en modo manual un generador de señal, un analizador de espectros, un divisor de potencia y un medidor de potencia, en tres configuraciones (Figura 2): 2.a) con un amplificador de señal en la trayectoria de transmisión, 2.b) con amplificador en la trayectoria de recepción y 2.c) sin amplificador.

En todos los sistemas de medición la impedancia característica fue de  $50 \Omega$ . Las impedancias de radiación de las antenas transmisora y receptora están balanceadas y acopladas a  $50 \Omega$  a través de cada balún.

### 3.4 Condiciones para la medición de $AS_m$

La realización de la medición de  $AS_m$  se llevó a cabo considerando las especificaciones de las configuraciones de prueba marcadas en la Tabla 2 de [2] y siguiendo las recomendaciones de la propia norma. Con base en resultados preliminares obtenidos en las muchas pruebas que se realizaron, se encontró que las mejores configuraciones para la medición de la  $AS_m$  ocurrían cuando el amplificador se coloca en el lazo de recepción, Rx. En [5] se pueden analizar los aspectos más importantes atendidos durante la medición para estos sistemas de medición

## 4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

La incertidumbre total de medición se determinó como se detalla en [5]. En los resultados obtenidos entre los diferentes sistemas de medición hay una mayor similitud cuando se comparan los resultados obtenidos cuando en la conexión directa se insertaron los balunes. Esto indica que es mejor cancelar el efecto de los balunes de manera experimental que de manera teórica mediante

operaciones matemáticas. De esta manera, los resultados obtenidos hasta el momento con el sistema de medición basado en el analizador de redes muestran que las frecuencias a las cuales no se cumpliría el criterio de conformidad de la AS son: 600 MHz, 900 MHz y 1000 MHz (véase Tabla 2 y Figura 3). En cambio con el mismo sistema de medición, pero considerando la conexión directa sin los balunes, el criterio de la AS no se cumpliría tampoco para 35 MHz y 500 MHz. Para el sistema de medición basado en el analizador de espectros se tiene problemas en 800 MHz, 900 MHz y 1000 MHz (Véase Tabla 3 y Figura 4). En estas frecuencias se puede observar una diferencia de 2 a 4 dB con respecto a los valores ideales.

Se estima que las diferencias encontradas hasta el momento entre los valores experimentales y los calculados no son atribuibles al sitio de pruebas sino a factores tales como: a) a los modelos empleados para los cálculos de la  $AS_c$ , b) a que se han empleado solo 4 dipolos resonantes cuando sería mejor validar con dipolos resonantes para cada frecuencia de prueba ya que la caída de señal a frecuencias fuera de la resonancia es significativa. En este sentido, pronto será posible utilizar los dipolos desarrollados en CENAM y que se describen en [4], c) otra causa son las posibles reflexiones de energía por desacoplamiento de impedancia en las conexiones entre diferentes componentes; el modelo empleado está basado fundamentalmente en las contribuciones de pérdidas por inserción de cada elemento del sistema de medición y no se considera que en algunas partes del sistema podrían existir errores significativos por desacoplamiento.

Se continúa realizando trabajo teórico-experimental a fin de remover o minimizar todos esos posibles errores. En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados respecto a los límites del criterio de conformidad de la AS, para lo cual se determinan los valores absolutos de la diferencia de la AS calculada y medida empleando la ecuación (1).

## 5. ESTABLECIMIENTO FINAL DE LA CONFORMIDAD

Actualmente se trabaja en la documentación del proyecto de validación para mostrar los resultados obtenidos y declarar la conformidad considerando las condiciones límite y configuraciones bajo las cuales se cumple esta validación; el Informe de Validación se elabora según la cláusula 4.7 de [2].

f	h <sub>t</sub>	Conexión directa		Inserción de dipolos		AS <sub>m</sub>		AS <sub>c</sub> _CE NAM1	Criterio de conformidad				
		U <sub>ra</sub>	σ	U <sub>s</sub>	σ	U <sub>ra</sub> - U <sub>s</sub>	U (k=1,95 y 95%)		AS <sub>c</sub> + T <sub>AS</sub>	AS <sub>c</sub> - T <sub>AS</sub>	AS <sub>m</sub> + U	AS <sub>m</sub> - U	
MHz	m	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
600	2	4,94	0,02	-36,15	0,18	41,09	0,33	42,13	43,13	41,13	41,42	40,76	
700	1,7	3,06	0,02	-36,45	0,18	39,52	0,33	39,51	40,51	38,51	39,84	39,18	
800	1,5	0,98	0,01	-41,61	0,21	42,60	0,33	42,09	43,09	41,09	42,92	42,26	
900	1,3	-0,94	0,01	-46,98	0,24	46,04	0,34	44,55	45,55	43,55	46,38	45,70	
1000	1,2	-2,18	0,01	-47,29	0,24	45,11	0,34	47,35	48,35	46,35	45,45	44,77	
300	1,5	9,99	0,05	-35,29	0,17	45,28	0,33	45,42	46,42	44,42	45,61	44,95	
400	1,2	8,18	0,04	-26,75	0,13	34,93	0,33	34,78	35,78	33,78	35,26	34,60	
500	2,3	6,57	0,03	-33,91	0,17	40,48	0,33	40,91	41,91	39,91	40,81	40,15	
120	4	13,24	0,07	-33,39	0,16	46,63	0,33	47,03	48,03	46,03	46,96	46,30	
140	2	12,59	0,06	-27,72	0,14	40,31	0,33	40,68	41,68	39,68	40,64	39,98	
160	2	12,53	0,06	-18,62	0,09	31,14	0,32	31,15	32,15	30,15	31,47	30,83	
180	2	11,98	0,06	-15,68	0,08	27,65	0,32	27,53	28,53	26,53	27,98	27,34	
200	2	11,74	0,06	-19,05	0,09	30,79	0,32	30,81	31,81	29,81	31,11	30,47	
250	1,5	10,62	0,05	-28,17	0,14	38,80	0,33	38,84	39,84	37,84	39,12	38,46	
30	4	15,47	0,08	-39,99	0,20	55,46	0,33	55,44	56,44	54,44	55,79	55,13	
35	4	15,71	0,08	-32,72	0,16	48,43	0,33	48,70	49,70	47,70	48,76	48,10	
40	4	14,95	0,07	-27,48	0,14	42,42	0,33	42,36	43,36	41,36	42,76	42,10	
45	4	14,91	0,07	-20,99	0,10	35,90	0,32	36,05	37,05	35,05	36,22	35,58	
50	4	14,82	0,07	-15,05	0,07	29,87	0,32	29,77	30,77	28,77	30,19	29,55	
60	4	14,66	0,07	-7,52	0,04	22,17	0,32	22,09	23,09	21,09	22,50	21,86	
70	4	14,20	0,07	-9,86	0,05	24,05	0,32	24,20	25,20	23,20	24,38	23,74	
80	4	13,66	0,07	-14,05	0,07	27,71	0,32	28,14	29,14	27,14	28,03	27,39	
90	4	13,45	0,07	-17,51	0,09	30,97	0,32	31,47	32,47	30,47	31,28	30,64	
100	4	13,47	0,07	-19,48	0,10	32,94	0,32	33,13	34,13	32,13	33,27	32,63	

Tabla 2. Resultados con analizador de redes con amplificador en Rx (conexión directa con balunes)

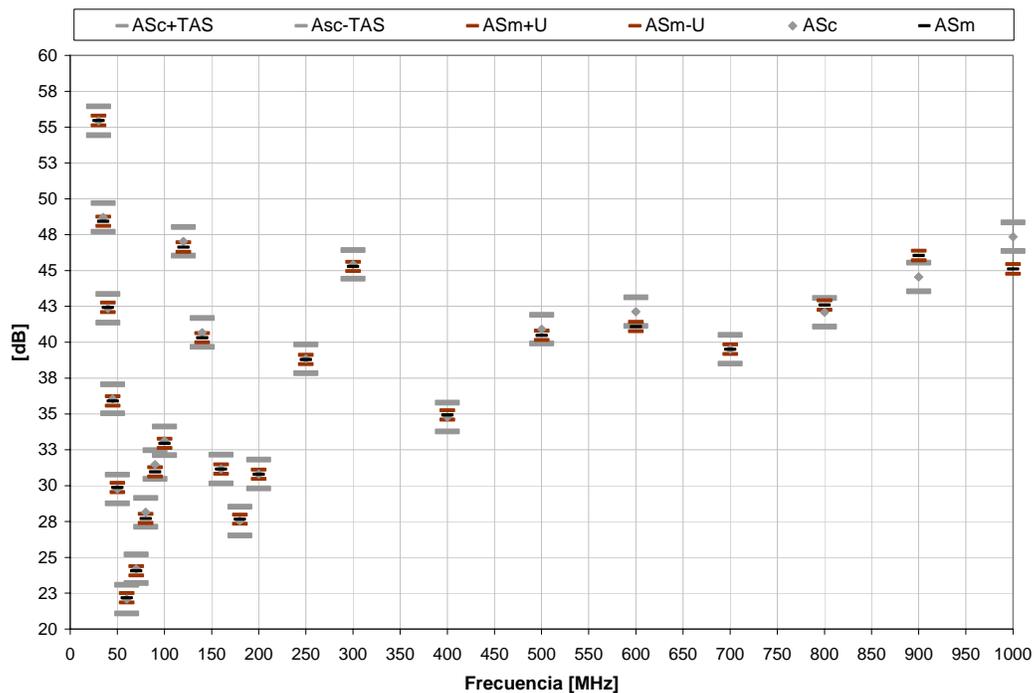
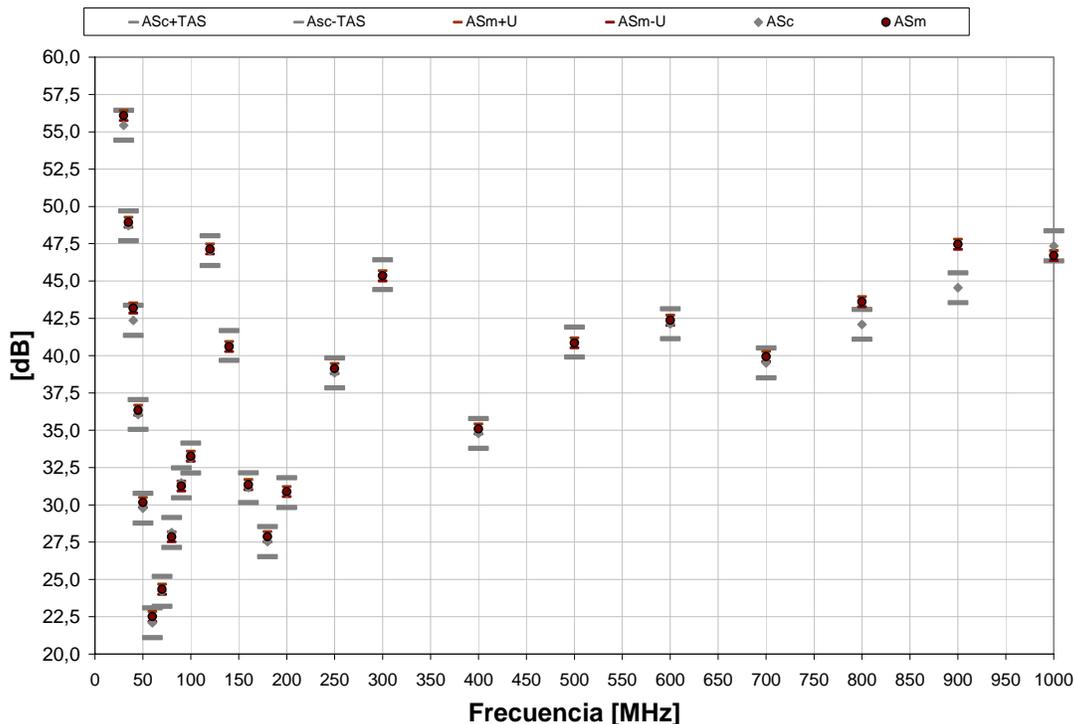


Figura 3 Evaluación del criterio de conformidad de la AS para resultados de la Tabla 2

f	h <sub>t</sub>	Conexión directa		Inserción de dipolos		AS <sub>m</sub>		AS <sub>c</sub> _CE NAM1	Criterio de conformidad				
		U <sub>ra</sub>	σ	U <sub>s</sub>	σ	U <sub>ra</sub> - U <sub>s</sub>	U (k=1,95 y 95%)		AS <sub>c</sub> + T <sub>AS</sub>	AS <sub>c</sub> - T <sub>AS</sub>	AS <sub>m</sub> + U	AS <sub>m</sub> - U	
MHz	m	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
600	2	-15,20	0,06	-57,57	0,05	42,37	0,33	42,13	43,13	41,13	42,71	42,03	
700	1,7	-16,98	0,00	-56,91	0,00	39,93	0,33	39,51	40,51	38,51	40,27	39,59	
800	1,5	-18,94	0,05	-62,56	0,00	43,61	0,33	42,09	43,09	41,09	43,95	43,27	
900	1,3	-20,91	0,00	-68,37	0,05	47,46	0,34	44,55	45,55	43,55	47,80	47,12	
1000	1,2	-22,05	0,05	-68,75	0,05	46,70	0,34	47,35	48,35	46,35	47,04	46,37	
300	1,5	-10,09	0,05	-55,44	0,05	45,35	0,33	45,42	46,42	44,42	45,69	45,01	
400	1,2	-11,81	0,05	-46,91	0,00	35,09	0,33	34,78	35,78	33,78	35,43	34,75	
500	2,3	-13,49	0,04	-54,33	0,05	40,84	0,33	40,91	41,91	39,91	41,19	40,51	
120	4	-6,58	0,04	-53,72	0,00	47,14	0,33	47,03	48,03	46,03	47,48	46,80	
140	2	-7,40	0,04	-48,02	0,00	40,61	0,33	40,68	41,68	39,68	40,95	40,27	
160	2	-7,43	0,00	-38,78	0,05	31,35	0,32	31,15	32,15	30,15	31,69	31,02	
180	2	-7,96	0,00	-35,82	0,00	27,86	0,32	27,53	28,53	26,53	28,20	27,52	
200	2	-8,25	0,04	-39,13	0,00	30,89	0,32	30,81	31,81	29,81	31,22	30,54	
250	1,5	-9,36	0,05	-48,49	0,00	39,13	0,33	38,84	39,84	37,84	39,47	38,79	
30	4	-4,39	0,05	-60,48	0,00	56,09	0,33	55,44	56,44	54,44	56,43	55,75	
35	4	-4,03	0,05	-52,97	0,05	48,94	0,33	48,70	49,70	47,70	49,28	48,60	
40	4	-4,85	0,08	-48,04	0,00	43,19	0,33	42,36	43,36	41,36	43,53	42,85	
45	4	-4,84	0,00	-41,18	0,00	36,34	0,32	36,05	37,05	35,05	36,68	36,01	
50	4	-5,01	0,00	-35,17	0,00	30,16	0,32	29,77	30,77	28,77	30,50	29,82	
60	4	-5,20	0,00	-27,71	0,00	22,51	0,32	22,09	23,09	21,09	22,85	22,17	
70	4	-5,69	0,04	-30,03	0,00	24,34	0,32	24,20	25,20	23,20	24,68	24,00	
80	4	-6,36	0,00	-34,21	0,00	27,85	0,32	28,14	29,14	27,14	28,19	27,51	
90	4	-6,43	0,05	-37,68	0,00	31,25	0,32	31,47	32,47	30,47	31,60	30,92	
100	4	-6,40	0,00	-39,66	0,00	33,26	0,32	33,13	34,13	32,13	33,60	32,92	

**Tabla 3** Resultados con analizador de espectros con amplificador en Rx (conexión directa con balunes)



**Figura 4** Evaluación del criterio de conformidad de la AS para resultados de la Tabla 3

## 6. CONCLUSIONES

Hasta la fecha se ha realizado la validación para el conjunto de frecuencias de la Tabla 1 empleando alturas fijas en Tx y Rx. Se tienen problemas de medición en 600 MHz, 800 MHz, 900 MHz y 1000 MHz. Actualmente se trabaja en el diseño y construcción de dipolos resonantes sintonizados a cada una de las frecuencias de la Tabla 1. Con estos dipolos se esperan mejores resultados cuando se valide el CALTS-CENAM a 600 MHz, 800 MHz, 900 MHz y 1000 MHz. Para esto podrá emplearse el método descrito en este artículo o bien, se podrá hacer un barrido en frecuencia o en altura conforme se señala en 4.4.3.2 de [2]. Posteriormente, y conforme a la demanda de servicios, será posible realizar la validación del CALTS-CENAM en las frecuencias intermedias donde los usuarios de este laboratorio lo requieran. La validación del CALTS-CENAM se realizará periódicamente como parte del procedimiento de mantenimiento de patrones. Aunque con los resultados obtenidos el CALTS-CENAM podrá utilizarse también como COMTS teniendo en cuenta las consideraciones pertinentes, se trabaja también la validación del sitio de pruebas del CENAM como un COMTS conforme se indica en [3].

## REFERENCIAS

[1] Victoria Molina López & Israel García Ruiz, "Resistividad eléctrica del sitio de calibración de antenas del CENAM (CALTS-CENAM)"; publicado en las memorias en disco compacto del Simposio de Metrología organizado por el Centro Nacional de Metrología, CENAM, Querétaro, México. Octubre 2004. Publicación disponible en: <http://www.cenam.mx/simposio2004/index.htm>

[2] CISPR16-1-5:2003-11, First Edition, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-Antenna Calibration test sites for 30 MHz to 1000 MHz".

[3] CISPR16-1-4 IEC: 2003+A1:2004, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-Ancillary equipment – Radiated disturbances".

[4] Mariano Botello Pérez, Victoria Molina López, Israel García Ruiz, "Desarrollo de antenas patrón tipo dipolo resonante de media longitud de

onda para caracterización del CALTS-CENAM", a presentarse durante el Simposio de Metrología 2006, Centro Nacional de Metrología. Querétaro. Méx. Octubre 2006.

[5] Victoria Molina López, Israel García Ruiz, Mariano Botello Pérez, "Estimación de incertidumbre en la medición de la atenuación de sitio en la validación del CALTS-CENAM", a presentarse durante el Simposio de Metrología 2006, Centro Nacional de Metrología. Querétaro. Méx. Octubre 2006.