

## ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS SERVICIOS DE CALIBRACIÓN DE ANTENAS DE EMC

Victoria Molina-López & Israel García-Ruiz  
Laboratorio de Antenas y Campos Electromagnéticos  
Centro Nacional de Metrología, CENAM,  
Carretera a los Cués km 4.5, El Marqués, Qro. CP 76246  
Tel: (442) 2110500 x3460/3451; Fax: (442) 2153904  
E-mail: vmolina@cenam.mx, igarcia@cenam.mx

**Resumen:** El sistema de calidad del Laboratorio de Antenas y Campos Electromagnéticos (LACE) establece la realización de los servicios de calibración de antenas de compatibilidad electromagnética (EMC, *Electromagnetic Compatibility*) mediante el procedimiento 410-AC-P.201 "Calibración del factor de antena en antenas de banda ancha en el intervalo de 30 MHz a 1000 MHz conforme al Método del Sitio Patrón (SSM) de la norma ANSI C63.5:2006". Durante la realización de los servicios se emplean cuatro antenas patrón del CENAM; por medio del seguimiento y análisis de los gráficos de control de dichas antenas, identificadas como Antenas Testigo, se cuenta con una herramienta simple y efectiva que permite determinar si existen anomalías en el proceso de calibración de una antena de EMC (AUT, *Antenna Under Test*) que pueden estar relacionadas con cualquiera de las antenas involucradas en el proceso, los sistemas de medición, la geometría de medición, e incluso sirven para detectar cualitativamente anomalías en el sitio de calibración de antenas del CALTS-CENAM.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el artículo 30 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización [1], se establece que en México, corresponde al CENAM realizar actividades de investigación en metrología para el desarrollo de patrones nacionales de medición, así como el diseminar sus valores y su exactitud mediante servicios de calibración. En el presente documento se abordan aspectos relacionados al mantenimiento del Patrón Nacional de Atenuación de Sitio (PNAS), que es el sitio de referencia en la calibración de antenas de compatibilidad electromagnética (EMC, *Electromagnetic Compatibility*). Las antenas de EMC son indispensables en la realización de pruebas para verificar la conformidad de productos y equipos con normas nacionales e internacionales. La propia Ley [1], establece en su artículo 26 que dicha evaluación debe realizarse por laboratorios acreditados en los que se empleen instrumentos con trazabilidad a los patrones nacionales.

El PNAS se materializa en un sitio de área abierta con un plano de tierra conductor eléctrico, cuyos parámetros dimensionales y electromagnéticos permiten obtener la incertidumbre más pequeña del valor de Atenuación de sitio (SA, *Site Attenuation*) alcanzable en el país. Las dimensiones del plano conductor eléctrico son de 60 m × 30 m y está circundado por una zona libre de obstrucciones dentro de un perímetro de 30 m a su alrededor. El PNAS también incluye equipos de medición, tales

como un analizador vectorial de redes, un analizador de espectro, un generador de señales, un medidor de potencia y equipo auxiliar como amplificadores, divisores de potencia, acopladores direccionales, mástiles y cables de radiofrecuencia de bajas pérdidas [3].

El PNAS se define por el valor de Atenuación de Sitio de un plano conductor eléctrico, el cual se obtiene para frecuencias específicas dentro del intervalo de 30 MHz a 1000 MHz. La SA es una magnitud que cuantifica las pérdidas por inserción del sitio de área abierta y que están presentes cuando se utiliza para establecer un enlace de comunicación entre una antena transmisora y una receptora [2]. La SA es definitivamente la magnitud que describe el desempeño metrológico de un sitio como el PNAS [4] y para obtenerla, se realiza la validación del sitio conforme a la norma internacional CISPR 16-1-5:2003-11 [2].

El PNAS tiene características metrológicas que cumplen con los criterios de la norma CISPR16-1-5:2003-11 [2], por lo que de acuerdo a la nomenclatura internacional, al PNAS se denomina también CALTS-CENAM.

El sistema de calidad del LACE establece que la validación del CALTS-CENAM se realice cada año o antes de ser necesario por alguna situación no prevista [5, 6]. En los periodos en los que no se realice dicho proceso, el análisis de los gráficos de

control del conjunto de Antenas Testigo podría indicar si existe alguna anomalía en las instalaciones. Las Antenas Testigo se utilizan rutinariamente en el LACE durante los servicios de calibración del Factor de Antena (*AF*, *Antenna Factor*) por el Método del Sitio Patrón (SSM, *Standard Site Method*). Su uso es indispensable para encontrar el *AF* de la AUT.

En el caso del CALTS-CENAM la primera validación se realizó en el año 2006, posteriormente en el 2008 se realizaron acciones de mejora y se repitió la validación [3, 7-8]; vale la pena mencionar que con estos últimos resultados se tramita la formalización del PNAS ante la Dirección General de Normas (DGN). Después, en septiembre-2008 y febrero-2009 se realizaron servicios calibración de antenas de EMC y con los resultados obtenidos se generaron los gráficos de control para las Antenas Testigo, cuya construcción y análisis se presentan en este artículo.

**1.1 Definición del Factor de antena (AF)**

El Factor de antena (*AF*) es la relación del campo eléctrico,  $E_i$ , en la dirección de polarización de la antena, a la tensión eléctrica que aparece en la carga conectada al puerto de la antena,  $V_r$ . Esta relación se muestra en las ecuaciones (1) y (2) [9].

$$AF = \frac{E_i}{V_r} \quad (1/m) \quad (1)$$

$$AF = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{E_i}{V_r} \right) \quad \text{dB} (1/m) \quad (2)$$

La instrumentación que se conecta a la antena y que actúa como carga (cable coaxial de bajas pérdidas + analizador de espectro), tiene un valor nominal de impedancia de 50 Ω.

**1.2. Método del Sitio Patrón (SSM)**

El método empleado en el servicio de calibración de *AF* es el SSM descrito en la norma ANSI C63.5-2006 [6, 9]. Se trata de un método absoluto porque no se requieren antenas con *AF* conocidos, es decir, no se requieren antenas de referencia; pero su aplicación requiere un sitio de referencia de alta calidad metrológica como el CALTS-CENAM. El SSM permite determinar, a partir de mediciones de SA entre pares de antenas, los *AF* en el intervalo de 30 MHz a 1000 MHz en polarización horizontal. Los *AF* que se obtienen con el SSM son cercanos a los *AF* de espacio libre de obstrucciones (NFSAF, *Near Free Space Antenna Factor*). Por fines de

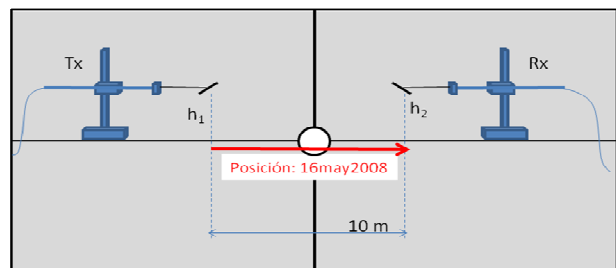
simplicidad en la nomenclatura, en este artículo el acrónimo *AF* se referirá a los valores de NFSAF.

El SSM requiere de tres antenas para hacer tres conjuntos de mediciones de SA con tres combinaciones diferentes de pares de antenas. Si las antenas se identifican como 1, 2, y 3, los pares de antenas Transmisora (Tx) – Receptora (Rx) serán los siguientes: 1) Tx1-Rx2, Tx1-Rx3 y Tx2-Rx3 [9]. El *AF* para cada una de las antenas se determina resolviendo un sistema de tres ecuaciones, las cuales quedan en términos de las mediciones de atenuación de sitio  $SA_1$ ,  $SA_2$  y  $SA_3$ , que corresponden a los valores obtenidos con los pares de antenas Tx1-Rx2, Tx1-Rx3 y Tx2-Rx3 respectivamente. La SA se obtiene para cada frecuencia de interés [6].

**2. COMPONENTES UTILIZADAS EN LOS SERVICIOS DE CALIBRACIÓN DE ANTENAS DE EMC**

**2.1 Configuración del CALTS-CENAM**

La geometría sobre el CALTS-CENAM utilizada para la medición de la SA es conforme a [9], con una distancia de medición entre antenas de 10 m y polarización horizontal. Con respecto a la ubicación de las Antenas Testigo sobre el plano de tierra se empleó aquella utilizada en la validación del 16 de mayo del 2008 y que para fines prácticos se encuentra marcada sobre la plataforma de medición (Figura 1). Las mediciones de SA se realizaron con el sistema de medición de la Figura 2 [6].



**Figura 1.** Orientación de las antenas en el CALTS-CENAM

**2.2 Antenas Testigo**

Las Antenas Testigo son antenas de banda ancha plenamente identificadas (Véanse Tabla 1 y Figuras 3-6). La construcción de los gráficos de control para las Antenas Testigo se realizó con los *AF* obtenidos durante servicios de calibración en septiembre-2008 y en febrero-2009. Se consideró también la información de los certificados de calibración (CC) 4546/94 y 4547/94 emitidos por el fabricante en

octubre-1994 para las antenas bicónica N/S 836891/016 y log-per N/S 836932/003 respectivamente [10]; en dichos CC se indica que los métodos empleados en la calibración de estas antenas son métodos normalizados y que los resultados de medición tienen trazabilidad a los patrones nacionales mantenidos en el *Federal*

*German Bureau of Standards (PTB)*; el fabricante además señala en los certificados que operan en conformidad con las normas de calidad equivalentes a las normas internacionales ISO 9001 y ISO 10012-1.

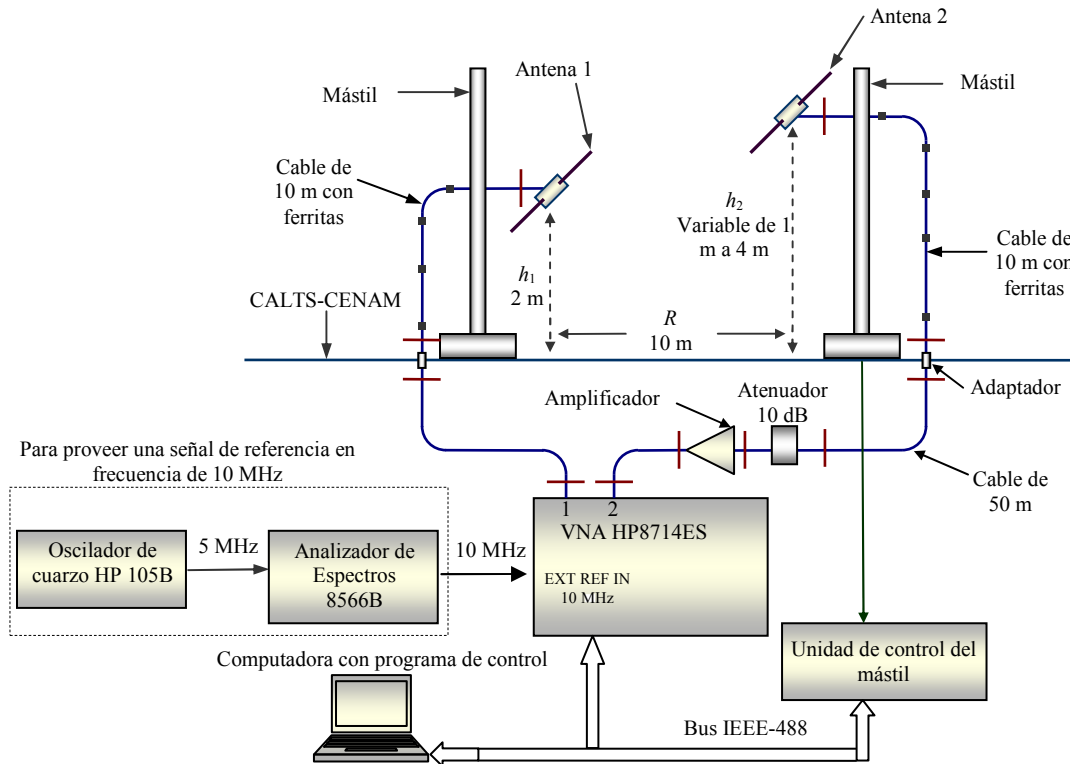


Figura 2. Sistema de medición empleado para medir la SA en el CALTS-CENAM

Tabla 1. Antenas Testigo del CENAM

Antena / Intervalo de frecuencia de operación	Número de serie	Número de CC generado en el 2008	Número de CC del fabricante
Bicónica 30 MHz a 300 MHz	836891/016	CNM-CC-410-320/2008	4546/94
	825329/005	CNM-CC-410-321/2008	No tiene
Logarítmica-Periódica (Log-Per) 200 MHz a 1000 MHz	3146	CNM-CC-410-324/2008	No tiene
	836932/003	CNM-CC-410-323/2008	4547/94



Figura 3. Bicónica N/S 836891/016



Figura 4. Bicónica N/S 825329/005



Figura 5. Log-Per N/S 3146



Figura 6. Log-Per N/S 836932/003

### 3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS MEDICIONES

Este aseguramiento se obtiene al analizar los gráficos de control de cuatro antenas: dos bicónicas (de 30 MHz a 300 MHz) y dos Log-Per (de 200 MHz a 1000 MHz).

En junio-2008 se realizó la validación del CALTS-CENAM conforme a [2] y posteriormente en septiembre-2008 se realizaron servicios de calibración externos, durante los cuales se obtuvieron los valores de AF de las Antenas Testigo. Se tiene plena confianza en estos valores puesto que se midieron sólo 3 meses después de la validación del PNAS. Después, en febrero-2009, se realizó otro servicio de calibración y los valores de AF de las Antenas Testigo obtenidos en esta ocasión muestran gran similitud a los obtenidos en septiembre-2008 y a los obtenidos por el fabricante en 1994. Si para cada Antena Testigo, se obtiene el valor promedio de los valores de AF considerando los valores que reporta el fabricante y los obtenidos en septiembre-2008 y en febrero-2009, se pueden observar diferencias menores a 0.5 dB(1/m) con respecto a dicho promedio.

El hecho de que sean cuatro antenas permite la identificación de algún desperfecto en alguna de las Antenas Testigo o alguna otra anomalía en el

sistema o proceso de medición e incluso en el PNAS. Cuando en los gráficos de control se aprecie que los valores de AF de todas las Antenas Testigo salen de los límites de control, esto indicaría que se debe revisar el proceso de medición, los posicionadores, o incluso considerar que podría existir alguna anomalía en el CALTS-CENAM; si esto último fuera el caso, sería necesario realizar la validación conforme se indica en la norma internacional CISPR 16-1-5 [2].

### 4. VALORES DEL FACTOR DE ANTENA DE LAS ANTENAS TESTIGO OBTENIDOS EN 2008 Y 2009

En las Tablas 2-5 se presentan los resultados de la medición del AF para cada una de las Antenas Testigo obtenidos en el 2008 y en el 2009. Asimismo, se presentan los reportados en los CC del fabricante en 1994 en los casos que aplica. En cada tabla se identifican los valores de AF, el año en el que se obtuvieron, la incertidumbre asociada en cada frecuencia de medición dentro del intervalo de 30 MHz a 1000 MHz. El contenido de las columnas de la izquierda es información para la construcción de los gráficos de control y será abordado en la siguiente sección.

Tabla 2. Valores de AF para antena bicónica N/S 836891/016

f	Octubre-1994		Septiembre-2008		Febrero-2009		Información para gráfico de control k = 3.0 , ρ = 99.73%					
	AF1	U	AF2	U	AF3	U	AF <sub>prom</sub>	D1	D2	D3	LCS	LCI
[MHz]	dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)					
30	13.6	1	13.41	0.60	13.87	1.46	13.16	0.03	0.22	-0.24	17.88	8.43
35	12.1	1	11.85	0.52	11.39	1.26	12.26	-0.32	-0.07	0.39	16.43	8.09
40	10.8	1	10.79	0.47	11.33	1.17	10.35	0.18	0.18	-0.36	14.23	6.48
45	9.8	1	9.70	0.44	9.32	1.08	10.01	-0.19	-0.09	0.29	13.59	6.44
50	9.1	1	8.90	0.42	9.39	1.03	8.89	0.03	0.23	-0.26	12.31	5.47

60	8.4	1	8.23	0.38	8.60	0.99	8.35	0.01	0.18	-0.19	11.57	5.13	
70	8.4	1	8.26	0.36	8.51	0.72	8.70	-0.01	0.13	-0.12	11.13	6.27	
80	8.4	1	8.51	0.35	8.64	0.67	8.61	0.12	0.01	-0.13	10.88	6.33	
90	8.8	1	8.94	0.35	9.03	0.56	9.35	0.12	-0.02	-0.11	11.34	7.36	
100	9.3	1	9.45	0.35	9.54	0.47	10.08	0.13	-0.02	-0.11	11.85	8.31	
120	10.8	1	10.70	0.37	10.74	0.46	11.90	-0.05	0.05	0.01	13.67	10.12	
140	11.4	1	11.66	0.35	11.74	0.44	12.79	0.20	-0.06	-0.14	14.48	11.10	
160	12.4	1	12.25	0.35	12.16	0.44	12.95	-0.13	0.02	0.11	14.64	11.26	
180	12.5	1	12.94	0.34	13.01	0.36	13.70	0.32	-0.12	-0.19	15.19	12.21	
200	13.8	1	13.85	0.33	13.94	0.34	14.91	0.06	0.02	-0.08	16.35	13.48	
250	14.6	1	14.89	0.34	15.16	0.36	17.14	0.28	-0.01	-0.28	18.61	15.67	
300	18.7	1	18.92	0.33	19.01	0.35	21.40	0.18	-0.04	-0.13	22.85	19.96	
								Máx  D <sub>i</sub>	0.32	0.23	0.39		

Tabla 3. Valores de AF para antena bicónica N/S 825329/005

		Septiembre-2008		Febrero-2009		Información para gráfico de control ( $k=3.0, \rho=99.73\%$ )					
f		AF1	U	AF2	U	AF <sub>prom</sub>	D1	D2	LCS	LCI	
[MHz]		dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)					
30		13.24	0.60	13.08	1.46	13.16	-0.08	0.08	17.88	8.43	
35		12.09	0.52	12.43	1.26	12.26	0.17	-0.17	16.43	8.09	
40		10.46	0.47	10.24	1.17	10.35	-0.11	0.11	14.23	6.48	
45		9.89	0.44	10.14	1.08	10.01	0.13	-0.13	13.59	6.44	
50		9.05	0.42	8.73	1.03	8.89	-0.16	0.16	12.31	5.47	
60		8.52	0.38	8.17	0.99	8.35	-0.17	0.17	11.57	5.13	
70		8.95	0.36	8.45	0.72	8.70	-0.25	0.25	11.13	6.27	
80		8.90	0.35	8.31	0.67	8.61	-0.29	0.29	10.88	6.33	
90		9.63	0.35	9.07	0.56	9.35	-0.28	0.28	11.34	7.36	
100		10.24	0.35	9.92	0.47	10.08	-0.16	0.16	11.85	8.31	
120		11.83	0.37	11.97	0.46	11.90	0.07	-0.07	13.67	10.12	
140		12.63	0.35	12.95	0.44	12.79	0.16	-0.16	14.48	11.10	
160		12.95	0.35	12.95	0.44	12.95	0.00	0.00	14.64	11.26	
180		13.64	0.34	13.76	0.36	13.70	0.06	-0.06	15.19	12.21	
200		14.80	0.33	15.03	0.34	14.91	0.11	-0.11	16.35	13.48	
250		17.11	0.34	17.17	0.36	17.14	0.03	-0.03	18.61	15.67	
300		21.52	0.33	21.29	0.35	21.40	-0.11	0.11	22.85	19.96	
							Máx  D <sub>i</sub>	0.29	0.29		

Tabla 4. Valores de AF para antena Log-Per N/S 3146

		Septiembre-2008		Febrero-2009		Información para gráfico de control ( $k=3.0, \rho=99.73\%$ )					
f		AF1	U	AF2	U	AF <sub>prom</sub>	D1	D2	LCS	LCI	
[MHz]		dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)					
200		11.67	0.52	11.16	0.50	11.41	-0.25	0.25	13.61	9.21	
250		11.83	0.52	11.68	0.48	11.75	-0.08	0.08	13.93	9.57	
300		14.12	0.52	14.16	0.47	14.14	0.02	-0.02	16.30	11.99	
400		15.24	0.52	15.37	0.47	15.31	0.07	-0.07	17.44	13.18	
500		18.19	0.52	18.37	0.46	18.28	0.09	-0.09	20.41	16.16	
600		18.70	0.53	18.76	0.48	18.73	0.03	-0.03	20.91	16.55	
700		21.18	0.53	20.97	0.49	21.07	-0.10	0.10	23.27	18.87	
800		21.22	0.53	21.22	0.48	21.22	0.00	0.00	23.40	19.04	
900		22.77	0.53	22.74	0.48	22.75	-0.01	0.01	24.93	20.58	
1000		24.16	0.53	24.38	0.48	24.27	0.11	-0.11	26.44	22.10	
							Máx  D <sub>i</sub>	0.25	0.25		

Tabla 5. Valores de AF para Log-Per N/S 836932/003

Antena: Logarítmica-Periódica N/S 836932/003				
	Octubre 1994	Septiembre-	Febrero-2009	Información para gráfico de control

f	2008		2008		2008		k=3.0, ρ= 99.73%						
	AF1	U	AF2	U	AF3	U	AF <sub>prom</sub>	D1	D2	D3	LCS	LCI	
[MHz]	dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)		dB(1/m)						
200	9.70	1.00	10.46	0.52	10.43	0.50	10.20	0.50	-0.27	-0.23	13.99	6.41	
250	11.60	1.00	11.86	0.52	11.78	0.48	11.75	0.15	-0.11	-0.04	15.53	7.96	
300	12.70	1.00	12.97	0.52	12.93	0.47	12.87	0.17	-0.11	-0.06	16.64	9.10	
400	15.60	1.00	16.06	0.52	16.10	0.47	15.92	0.32	-0.14	-0.18	19.67	12.16	
500	17.10	1.00	17.35	0.52	17.41	0.46	17.29	0.19	-0.06	-0.12	21.04	13.53	
600	18.90	1.00	18.40	0.53	18.62	0.48	18.64	-0.26	0.24	0.02	22.42	14.86	
700	20.50	1.00	20.77	0.53	20.74	0.49	20.67	0.17	-0.10	-0.07	24.46	16.88	
800	21.30	1.00	21.03	0.53	21.00	0.48	21.11	-0.19	0.08	0.11	24.90	17.33	
900	22.60	1.00	22.47	0.53	22.51	0.48	22.52	-0.08	0.06	0.02	26.30	18.75	
1000	22.50	1.00	22.58	0.53	22.72	0.48	22.60	0.10	0.02	-0.12	26.38	18.82	
								Máx D <sub>i</sub>	0.50	0.27	0.23		

**5. GRÁFICOS DE CONTROL DE LAS ANTENAS TESTIGO**

**5.1. Factor de antena promedio, AF<sub>prom</sub>**

En el caso de estudio que se presenta, se construyen cuatro gráficos de control para las Antenas Testigo; en cada uno de ellos la escala vertical corresponde al AF y la escala horizontal está formada por una serie de datos que corresponden a las frecuencias de operación de cada antena. Aunque en un gráfico de control el eje horizontal suele ser el tiempo, también, como en este caso, puede ser cualquier otra serie de datos [11- 12].

La variable empleada como valor central (VC) en los gráficos de control de es el valor promedio de los valores de AF, AF<sub>prom</sub> que tiene una distribución aproximadamente normal; este valor se obtuvo considerando los valores de AF obtenidos por el fabricante (AF<sub>1</sub>), los obtenidos en septiembre-2008 (AF<sub>2</sub>) y los obtenidos en febrero-2009 (AF<sub>3</sub>). En los casos donde no se tiene el CC del fabricante, sólo se consideran los valores AF<sub>2</sub> y AF<sub>3</sub>. Esto se representa matemáticamente por las ecuaciones (3) y (4), respectivamente. Estas ecuaciones serán los modelos para estimar la incertidumbre del parámetro AF<sub>prom</sub>. Con dicha incertidumbre se estimarán luego los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI) de los gráficos de control.

$$AF_{prom} = \frac{1}{3}(AF_1 + AF_2 + AF_3) \tag{3}$$

$$AF_{prom} = \frac{1}{2}(AF_2 + AF_3) \tag{4}$$

El propósito de los gráficos será observar y analizar gráficamente el comportamiento de los valores de AF de cada Antena Testigo con el propósito de distinguir sus variaciones debidas a causas comunes (por ejemplo: la dispersión de las mediciones, resolución de los instrumentos, coeficientes de reflexión, entre otras de tipo aleatorio) de las debidas a causas especiales (aquellas que son atribuibles a algún desperfecto en alguna de las antenas, en el sistema o proceso de medición, o aún en el plano de tierra reflector, lo cual podría incluir alguna modificación importante en su entorno). El uso adecuado de estos gráficos de control permitirá detectar cambios y tendencias en los procesos de calibración.

**5.2. Estimación de incertidumbre de AF<sub>prom</sub> y establecimiento de los límites de control**

La ubicación de los límites en un gráfico de control, es un aspecto fundamental. Si éstos se ubican demasiado alejados de la línea central que representa el valor esperado, entonces será más difícil detectar los cambios en el proceso. Para calcular los límites de control se debe proceder de tal forma que, bajo condiciones de control estadístico, las variables que se grafican tengan una alta probabilidad de caer dentro de los límites establecidos.

Para determinar los (LCS) e inferior (LCI) en los gráficos de control, se evaluó la incertidumbre de AF<sub>prom</sub> conforme a [15] empleando para ello las ecuaciones (3) y (4) como modelos. Para establecer el LCS y el LCI, se calculó, con la distribución t de Student [10], el factor de cobertura,

$k$ , para un nivel de confianza,  $\rho$ , de aproximadamente 99.73% [10-12] puesto que se recomienda que los límites se fijen con esa probabilidad cuando se tiene una distribución normal [11, 14]. Si  $AF_{prom}$  es la variable graficada como valor central y si la incertidumbre combinada de  $AF_{prom}$  es  $u_c$  entonces el LCS y el LCI están dados por:

$$LCS = AF_{prom} + k(u_c) \quad (5)$$

$$LCI = AF_{prom} - k(u_c) \quad (7)$$

El valor central del gráfico de control se obtiene de los valores de  $AF_1$ ,  $AF_2$ , y  $AF_3$  que son resultado de una serie de mediciones y para los cuales se reporta su incertidumbre (Véanse Tablas 2 a 5). Por lo que para la construcción de los límites de control se consideró la incertidumbre estándar de  $AF_1$ ,  $AF_2$ , y  $AF_3$ .

Para obtener el factor de cobertura,  $k$ , se calcularon los grados efectivos de libertad. En la Figura 7 se ilustra el caso de estimación de incertidumbre para la antena bicónica N/S 836891/01, la cual cuenta el CC del fabricante [10].

ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

	CC FABRICANTE	410-84167	410-90224		Modelo: $AF_{prom} = 1/3(AF_1 + AF_2 + AF_3)$								
	AF1, 1994	AF2, 2008		AF3, 2009		FI	VE	FDP	u(x)	c.s.	u(y)	v	
f	AF1	U	AF2	U	AF3	U							
MHz	dB(1/m)							dB(1/m)		dB(1/m)	[ ]	dB(1/m)	[ ]
30	13.60	1.00	13.41	0.60	13.87	1.46	AF1	13.60	t-dist (aprox.)	0.500	0.33	0.17	60
	k= 2.00		2.02		2.04		AF2	13.41	t-dist (aprox.)	0.298	0.33	0.10	119
							AF3	13.87	t-dist (aprox.)	0.713	0.33	0.24	169
							Afprom	13.63	dB(1/m)	$\rho = 99.73\%$		0.31	272
							U	0.93	dB(1/m)	k= 3.03		Uc	v <sub>eff</sub>

Figura 7. Ejemplo de la hoja de cálculo en la estimación de incertidumbre para la bicónica N/S 836891/016

En las Figuras 8-11 se puede observar el gráfico de control para cada una de las Antenas Testigo. En cada figura se puede apreciar el  $AF_{prom}$  que es la línea central en color azul y los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI) en color rojo estimados para un nivel de confianza del 99.73%.

En Las Tablas 2-5 se pueden analizar los valores numéricos de  $AF_{prom}$ , los límites de control, y las diferencias D1, D2 y D3 (Ecuaciones 8-10) de cada valor de AF respecto al  $AF_{prom}$ . Se podrá observar que el valor absoluto máximo de estas diferencias es menor a 0.5 dB(1/m).

$$D1 = |AF_{prom} - AF1| \quad (8)$$

$$D2 = |AF_{prom} - AF2| \quad (9)$$

$$D3 = |AF_{prom} - AF3| \quad (10)$$

## 6. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados muestra que los valores de AF de las Antenas Testigo están cercanos al

valor promedio,  $AF_{prom}$ , y dentro de los límites de control superior e inferior; los límites de control representan los límites dentro de los cuales se espera, con una probabilidad del 99.73%, caigan los valores de AF de las Antenas Testigo que se midan en el futuro. Para futuros servicios de calibración de antenas de EMC el valor promedio  $AF_{prom}$ , no tendría que calcularse nuevamente, en condiciones de control estadístico se espera que los valores de AF de las Antenas Testigo que se obtengan en el futuro caigan dentro de los límites de control de los gráficos aquí presentados.

Los gráficos de control no tienen el propósito de asegurar que el PNAS cumple con las especificaciones de la norma internacional CISPR 16-1-5 [2], sino ser una herramienta de aseguramiento de calidad en los servicios de calibración de antenas de EMC. Con los gráficos de control presentados en el artículo es posible detectar variabilidad de las condiciones en las que se realizan los procesos de calibración de antenas. Esto es, cuando el proceso de calibración de antenas esté sujeto únicamente a causas comunes estaremos en condiciones de control estadístico y

se espera que los nuevos valores medidos de AF de las antenas testigo resulten dentro los límites de control con una probabilidad del 99.73% y cercanos al valor central; esto nos indicaría que estamos obteniendo los resultados esperados para la Antenas Testigo y esto genera confianza en el servicio de calibración realizado y en los resultados obtenidos la una determinada AUT.

Sin embargo, cuando alguna causa especial (situaciones o circunstancias especiales que no están presentes permanentemente en el proceso de calibración de antenas) se presente, el proceso estará fuera de control estadístico y esto se reflejará

en los gráficos de control. Por ejemplo, si se presentara una anomalía sólo en un gráfico de control, entonces es preciso revisar el estado y desempeño de la antena correspondiente a ese gráfico; pero cuando se presentara una anomalía a la misma frecuencia de prueba, en todos los gráficos de control, se deberían revisar el sistema y el proceso de medición, así como las propias instalaciones que forman parte del PNAS. Cuando éste último caso se presente podría ser necesario realizar un proceso de validación conforme a la norma internacional CISPR 16-1-5 [2] para asegurar el buen desempeño metrológico del PNAS.



Figura 8. Gráfico de control para bicónica N/S 836891/016

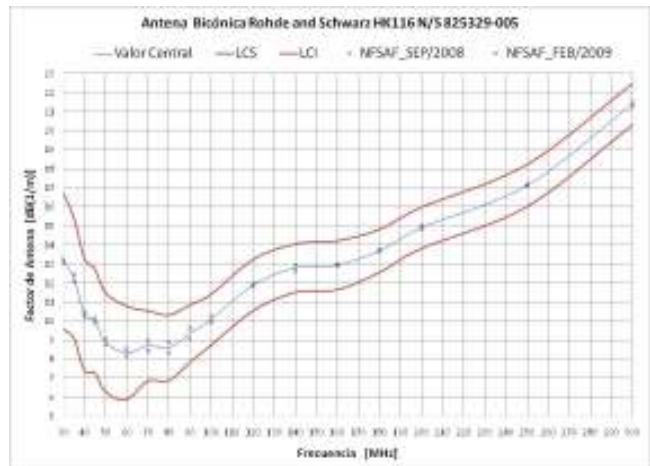


Figura 9. Gráfico de control para bicónica N/S 825329/005

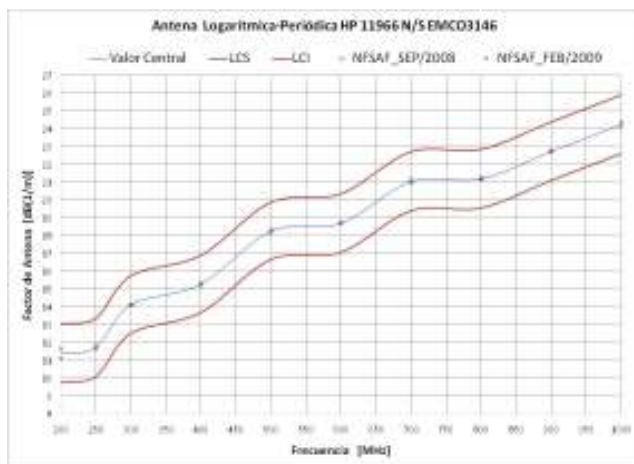


Figura 10. Gráfico de control para Log-Per N/S 3146

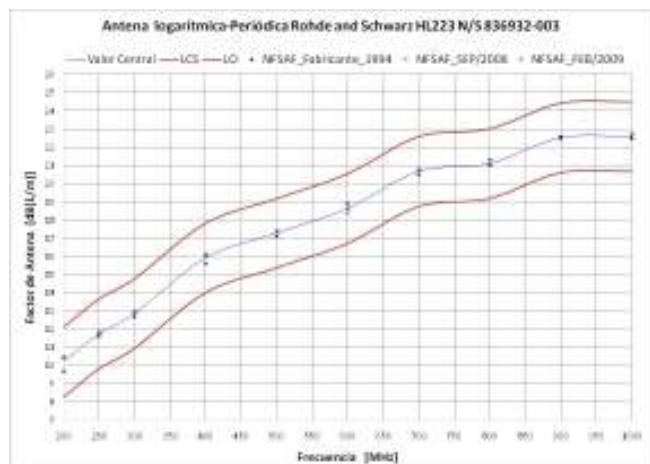


Figura 11. Gráfico de control para Log-Per N/S 836932/003



**REFERENCIAS**

- [1] Ley Federal sobre Metrología y Normalización, texto vigente con actualizaciones al 30-04-09, disponible en [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130.pdf) Fecha de consulta 19 de mayo de 2010.
- [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] V. Molina-Lopez, M. Botello-Perez, I. Garcia-Ruiz. "Validation of the Open Area Antenna Calibration Site at CENAM". IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 58. No. 4. April 2009.
- [4] Zhong Chen & Achim Enders. "A critique on traceability in site validation measurements". Electromagnetic Compatibility. 2007. IEEE International Symposium.
- [5] Procedimiento No. 410-AC-P-203 Programa de mantenimiento de patrones y sistemas de referencia del laboratorio de antenas y campos electromagnéticos. Documento Interno 1º de diciembre de 2008.
- [6] Procedimiento No. 410-AC-P.201 Calibración del factor de antena en antenas de banda ancha en el intervalo de 30 MHz a 1000 MHz conforme al Método del Sitio Patrón (SSM) de la norma ANSI C63.5:2006. Documento Interno 9 de octubre de 2009.
- [7] Victoria Molina López. Israel García Ruiz. Mariano Botello Pérez. Informe de validación del CALTS-CENAM. Documento interno. CENAM. Querétaro. México. Septiembre 2006.
- [8] Victoria Molina López. Israel García Ruiz. Mariano Botello Pérez. "Informe de Validación del CALTS-CENAM". Documento interno. CENAM. Querétaro. México. Junio 2008.
- [9] ANSI C63.5-2006. American National Standard of Electromagnetic Compatibility – Radiated Emission Measurement in Electromagnetic Interference (EMI) Control – Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz).
- [10] Victoria Molina López. Israel García Ruiz. "Informe de Verificación del CALTS-CENAM". Documento interno. CENAM. Querétaro. México. Junio 2009.
- [11] HARVEY C. CHARBONNEAU & GORDON L. WENBSTER, "Control de calidad". Traducción del Ing. Armando E. Koch Cadena. McGraw-Hill. ISBN 968-422-691-8. Pp. 75.
- [12] J.A. Zinck, J.L. Berroterán, A. Farshad, A. Moameni, S. Wokabi y E. Van Ranst. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/465/sustentabilidad.html>. Fecha de consulta: 26 de agosto de 2010.
- [13] Measurement Assurance Programs, Part II: Development and Implementation. Carol Croarkin. Nota técnica del NBS (ahora NIST). Abril de 1985. Páginas 93-109.
- [14] Cartas de control disponible en: <http://lsc.fie.umich.mx/~juan/Materias/Cursos/Estadistica/Notas/EstInferencial/11CartasControl.pdf> . Fecha de consulta 26 de mayo de 2010.
- [15] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO/IEC Guide 98:1995.