

# Verificación del Apantallamiento de una Cámara Anecoica de Radiofrecuencia de Tipo Tolda

**Solis Betancur, Raúl Fernando**

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0003-1043-4294

**Mojica, Luis**

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0001-5594-9166

**Ruiz, Isaac**

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0003-2207-2673

## Abstract

In the development of Electromagnetic Emissions and Immunity tests, controlled environments are required to understand true influences, and since the environment is full of electromagnetic emissions of all kinds, it is necessary to use an anechoic chamber. However, a complete one is very expensive, and our Educational and Research Institutions lack the resources to acquire a complete one. Therefore, the CENAMEP AIP acquired a tent-type anechoic chamber with the objective of verifying if the chamber meets the manufacturer's specifications and thus demonstrates its usefulness. For the verification, basic but metrologically controlled equipment was used, including a spectrum analyzer, signal synthesizer, amplifier, cables, and antennas. We found that meet the manufacturer's specifications and can be used to perform emissions tests to validate prototypes, conduct on-site measurements, and carry out studies, at more affordable costs than using complete chambers.

**Keywords:** Metrology, verification, microwaves, radiofrequencies, measurement.

## Resumen

En el desarrollo de pruebas de Emisiones e Inmunidad Electromagnética, se requieren entornos controlados para conocer las verdaderas influencias, y desde que el entorno está lleno de emisiones electromagnéticas de todo tipo, es necesario emplear una cámara anecoica. Sin embargo, una completa es muy costosa y nuestras instituciones Educativas o de Investigación, no tienen el recurso para adquirir una completa. Por lo tanto, el CENAMEP AIP, adquirió una cámara anecoica tipo tolda, con el objetivo de verificar si cumplía con lo indicado por el fabricante y así demostrar su utilidad. Para realizar la verificación, se empleó equipamiento básico, pero metrológicamente controlados como: analizador de espectro, sintetizador de señales, amplificador, cables y antenas. Encontramos como resultado que cumple con lo indicado por el fabricante por lo que pueden emplearse para realizar pruebas de emisiones para validar prototipos, realizar mediciones en sitio y realizar estudios, con costos más accesibles que empleando cámaras completas.

**Palabras claves:** Metrología, verificación, microondas, radiofrecuencias, medición.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para asegurar que los dispositivos electrónicos no interfieran o sean interferidos por otros dispositivos electrónicos o eléctricos, es necesario realizarles pruebas de Emisiones Electromagnéticas. Estas pruebas se realizan en cámaras anecoicas de radiofrecuencias y microondas que actúan como jaulas de Faraday en rangos amplios de frecuencia, con capacidad de suprimir señales en casi todo ese espectro, pero estas cámaras son muy costosas, pueden ocupar volúmenes muy grandes y adecuaciones a la infraestructura de los laboratorios. Y es esto una limitante que se aplica a la mayoría de los Institutos Nacionales de Metrología y demás instituciones educativas y de investigación, ya que no se tienen los recursos necesarios para implementar una cámara anecoica completa para verificar prototipos o Pruebas de Conceptos y realizar investigaciones especializadas.

Estas situaciones han llevado a varias empresas a sacar al mercado soluciones de bajo costo focalizadas a trabajos específicos que prometen cierto grado de apantallamiento o atenuación de señales de Radiofrecuencia y Microondas. Debido a ciertas necesidades de medición en el ámbito de emisiones electromagnéticas específicas, el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) adquirió una cámara anecoica de tipo tolda (CAT) con una atenuación, indicada por el fabricante, de 50 dB en un rango de frecuencia de 10 MHz a 6 GHz [1], por lo que el Laboratorio Secundario de Parámetros de Redes (LSPR) realizó un ejercicio de verificación de la atenuación electromagnética de la CAT,

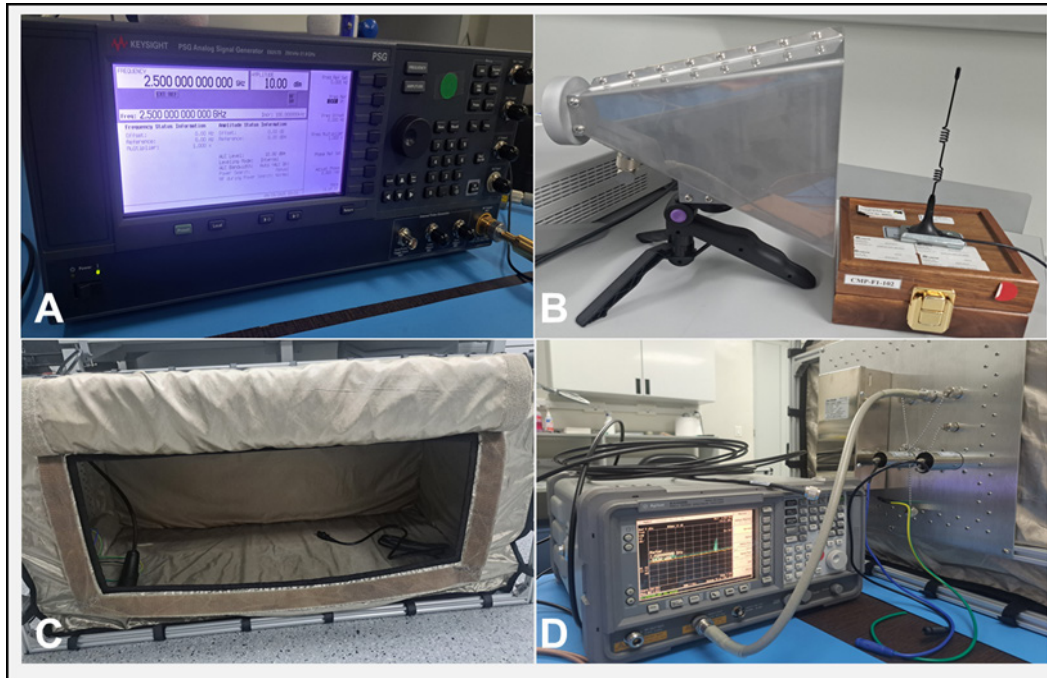
empleando una metodología de medición simple, con equipamiento de medición del LSPR metrológicamente controlado para corroborar si esta CAT puede funcionar adecuadamente según los parámetros indicados por el fabricante y las necesidades del LSPR.

## 2. MÉTODO

### A. Equipamiento involucrado

Para realizar la verificación de la CAT, se analizó las características de trabajo, sus especificaciones de atenuación electromagnética para organizar las mediciones en las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz, 2,5 GHz y 6 GHz y con potencias de +10 dBm para las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz y 6 GHz y en la frecuencia de 2,5 GHz se realizaron mediciones con potencia de +30 dBm (esto con el objetivo de eclipsar las influencias de otras fuentes de potencia en esa frecuencia). La metodología del ejercicio se establece en el siguiente orden:

- Verificación metrológica de los equipos de referencia: La verificación de los equipos se realiza para que todo esté en cumplimiento con la norma ISO/IEC 17025:2017 en su punto 6.3 sobre requisitos relativos a las “Instalaciones y Condiciones ambientales” y el punto 6.4 sobre los requisitos relativos al “Equipamiento”. El objetivo es tener las mediciones bajo control y descartar cualquier variabilidad que no sea atribuible directamente a la medición de la atenuación de la CAT.
- Pruebas de la cámara: El objetivo es analizar el cumplimiento de las especificaciones dadas por el fabricante para su uso, empleando una metodología similar a la mostrada en el manual y adaptada a una verificación simple con el equipamiento local:
  - Prueba de apantallamiento de fuente exterior: Busca verificar su capacidad de apantallar una señal continua desde el exterior.
  - Prueba de apantallamiento de fuente interior: Busca verificar su capacidad de apantallar una señal continua desde el interior.
- Análisis de datos y emisión de resultados: El objetivo es analizar los datos para proceder a emitir resultados.



**Figura 1. Vista del equipamiento empleado para realizar las mediciones de atenuación en la CAT.**

Los equipos empleados para realizar esta prueba de verificación son: generador de señales (Keysight E8257D, Figura 1 A) empleado para generar señales de onda continuas desde 10 MHz hasta 6 GHz, antena tipo corneta empleada para emitir las señales de referencia y tipo monopolo empleada para realizar mediciones (Figura 1 B), la CAT (Tekbox) que está bajo estudio y se accede frontalmente (Figura 1 C) y analizador de espectro (Agilent E4408B, Figura 1 D) empleado para realizar las mediciones y el análisis de otras señales que pueden interferir, y que aparece conectado al área de acople y filtrado RF de la CAT. Además, se empleó un amplificador (Mini Circuits, TVA-11-422A+), analizador de redes vectoriales (Cooper Mountain, C2420) y medidores de potencia calibrados.

## B. Realización de las mediciones

El proceso de medición inicia al ajustar todos los equipos y componentes involucrados para lograr tener mediciones conocidas, cumpliendo con los lineamientos del Sistema de Calidad con respecto al mantenimiento y verificación de los equipos de referencia del LSPR. Después, se realizan mediciones en la CAT en las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz, 2,5 GHz y 6 GHz, con potencias de +10 dBm y +30 dBm en 3 de las 4 paredes laterales de la CAT (no se realizó la prueba donde estaba el sistema de acople y filtrado de RF, ni en la zona de techo y piso). Se emplea una potencia más elevada en 2,5 GHz para eclipsar los efectos de otras fuentes de señales tipo WiFi que pueden realizar en la medida (la potencia de una señal

WiFi en la banda de 2,5 GHz en el LSPR está cerca de los -60 dBm). Para realizar el proceso de normalización (eliminar atenuaciones y corregir errores de medida en los equipos de referencia de medida) se toman 5 medidas por frecuencia, con un tiempo entre medidas de 10 segundos, siguiendo algunos de los lineamientos sobre requisitos de mediciones electromagnéticas [2], hasta obtener los valores deseados.

En la Figura 2, se muestra el proceso de medir la atenuación desde una fuente externa. El proceso de prueba de atenuación con fuente interior es igual al proceso descrito en la Figura 2, pero la antena tipo corneta va adentro de la CAT y el generador de señales con el amplificador se conectan a través del área de acople y filtro RF. Para recolectar los datos de las mediciones de la atenuación de la CAT, se toma un dato cada 20 segundos y se realizan 10 mediciones por cada área estudiada (frontal, lateral y trasera), en cada frecuencia analizada.

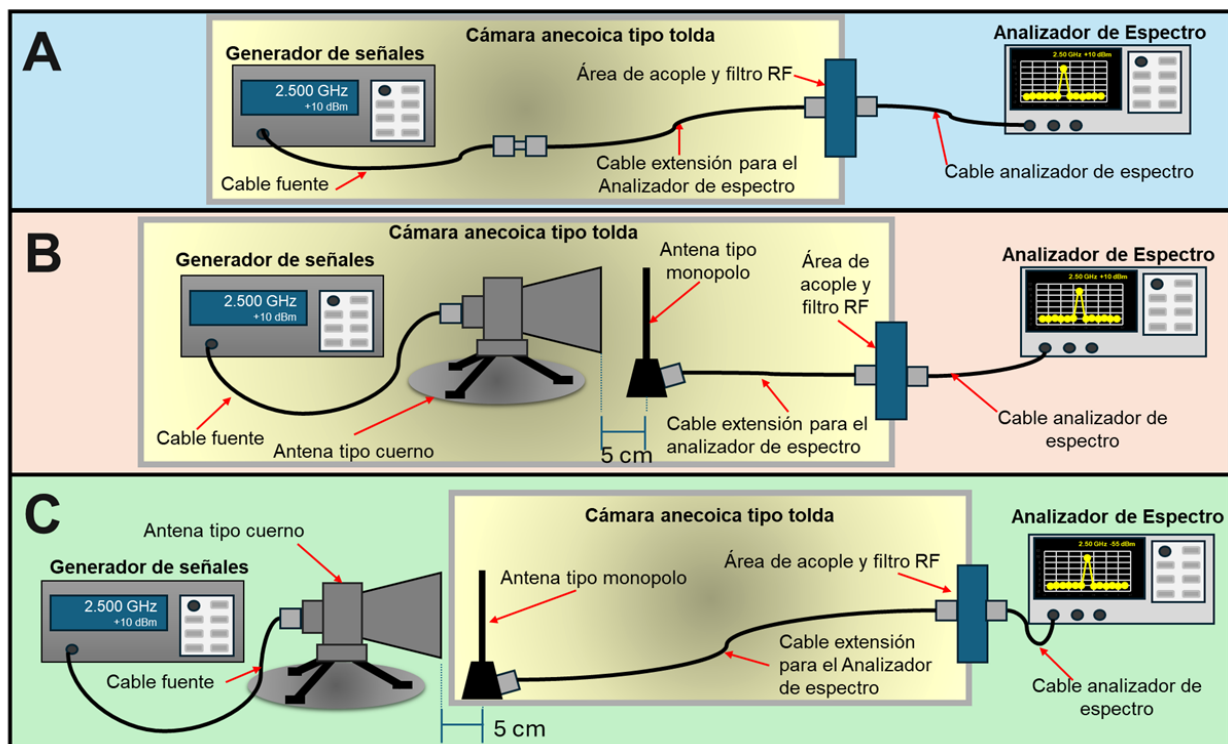


Figura 2. Proceso de medición para verificar la atenuación que genera la CAT.

El proceso verificación fue siguiendo los tres pasos descritos en la Figura 2: En A) se realiza la verificación metrológica y se normaliza las mediciones de señales de tal manera que la potencia medida por el analizador de espectro sea conocida y ajustada al valor de referencia normalizado (absorbiendo las pérdidas asociadas por cables, conectores y acople y filtro RF). En B) se realiza el ajuste de medición entre la antena tipo corneta y la de tipo monopolo

a una distancia conocida para ajustar la potencia medida por el analizado de espectro a la potencia normalizada (ahora absorbiendo pérdidas de transmisión y de eficiencia de ambas antenas) y en C) se procede a montar todo dentro de la CAT manteniendo las posiciones, distancias y normalizaciones realizadas en A y B, para proceder a medir la absorción en las áreas bajo verificación de la CAT.

### 3. RESULTADOS

Se pudo determinar que, para las pruebas realizadas y después de la evaluación metrológica (corrección de errores, análisis de las variaciones, la repetibilidad y reproducibilidad del experimento), la CAT mostraba un rendimiento que estaba de acuerdo con lo que indica el fabricante. Desde el punto de vista del análisis de los equipos de referencia, la variabilidad es baja (ya después de las normalizaciones no se tenían variaciones superiores a  $\pm 0,4$  dBm), mientras que, desde el punto de vista de la verificación de la CAT, es bajo una incertidumbre de  $\pm 1.7$  dBm (aunque se requieren más estudios y ensayos que validen estos resultados a nivel completo y bajo la declaración de las Capacidades de Medición y Calibración). Con respecto a los resultados de la medición de la atenuación de la CAT se pueden ver los resultados que cumplen y son bastante parecidos tanto para una fuente interna, como para una fuente externa. En la Tabla 1 y Tabla 2, se muestra lo encontrado al terminar este ejercicio.

**Tabla 1. Valores de referencia y resultantes de las mediciones realizadas con fuente exterior.**

Frecuencia	Potencia de referencia (dBm)	Límite teórico (dBm)	Potencia en pared lateral (dBm)	Potencia en pared trasera (dBm)	Potencia en pared frontal (dBm)
10 MHz	10	-40	-42,2	-43,9	-41,8
1 GHz	10	-40	-43,0	-44,0	-42,1
2,5 GHz	30	-20	-24,8	-26,2	-21,8
6 GHz	10	-40	-45,0	-46,3	-41,7

**Tabla 2. Valores de referencia y resultantes de las mediciones realizadas con fuente interior.**

Frecuencia	Potencia de referencia (dBm)	Límite teórico (dBm)	Potencia en pared lateral (dBm)	Potencia en pared trasera (dBm)	Potencia en pared frontal (dBm)
10 MHz	10	-40	-42,4	-43,8	-41,6
1 GHz	10	-40	-42,5	-43,7	-42,2
2,5 GHz	30	-20	-24,0	-25,7	-22,0
6 GHz	10	-40	-44,6	-45,9	-41,6

## 4. CONCLUSIONES

El análisis de la CAT muestra que se cumple con lo indicado por el fabricante para atenuar señales, pero se muestra que, si no se tiene el cuidado debido, la parte frontal puede permitir filtraciones de señales. Pero los resultados son consistentes desde un punto de vista metrológico, pero hay que seguir estudiando otros efectos a largo plazo. Además, el concepto de poder caracterizar y validar cámaras anecoicas (jaulas de Faraday fijas o móviles tipo tolda) de manera local es muy prometedor y de posible gran ayuda para otras organizaciones que deseen construir localmente de manera rápida. Hay retos que deben ser estudiados y abordados a profundidad para trabajarlos adecuadamente y lograr cumplir con los requisitos de pre-cumplimiento normativo en EMI por parte del LSPR. Los datos también muestran que para el desarrollo de aplicaciones para dispositivos IoT, dispositivos médicos de bajo potencial eléctrico y comunicaciones inalámbricas una CAT funciona adecuadamente.

## Referencias

- [1] TekBox Digital Solution (s.f.), TBST-200/100/100 V1.2 manual, <https://www.tekbox.com/>
- [2] IEC, CISPR 16-4-2:2011: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Measurement instrumentation uncertainty, edición 2.2 version consolidada 2018-08, ISBN 978-2-8322-5950-4

## Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.