

INTRODUCCIÓN A LAS CÁMARAS ANECOICAS PARA MEDICIONES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO.

Vicente Rodríguez Pereyra
ETS-Lindgren

1301 Arrow point Dr. Cedar park, Texas 78613, EE.UU.

Tlfn: 1-512-531-6436, fax: 1-512-531-6536, e-mail: Vince.Rodriguez@ets-lindgren.com

Resumen: Las cámaras anecoicas son recintos necesarios para la medición de energía electromagnética radiada. Esta energía puede ser la del patrón de radiación de una antena o puede ser radiada involuntariamente por un aparato electrónico, como puede ser el caso de mediciones de compatibilidad electromagnética. La energía puede ser un eco de Radar como es el caso en mediciones del retorno monoestático de señales de Radar en aviones de combate. El presente trabajo introduce al público a la tecnología de cámaras anecoicas.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque se han utilizado por más de 50 años, no existe una gran cantidad de referencias sobre cámaras anecoicas y su diseño. En libros dedicados a antenas aparecen unas notas en los capítulos finales dedicadas a este tipo de estructuras [1,2]. Recientemente ha aparecido una monografía que investiga en detalle cámaras anecoicas [3]. El presente trabajo trata de introducir al lector a las diversas cámaras anecoicas usando como referencia la experiencia personal del autor y la teoría que aparece en libros clásicos tales como las referencias [1,2]. Se comienza presentando los diferentes tipos de materiales anecoicos, poliuretano, ferrita y poliestireno. A continuación se dividen las cámaras anecoicas en dos grupos principales: totalmente anecoicas y semianecoicas. Las cámaras semianecoicas son usadas principalmente para mediciones de compatibilidad electromagnética de acuerdo con normativas internacionales y nacionales. Estas normativas definen el tipo de cámara y las características que debe observar. Las cámaras totalmente anecoicas son usadas principalmente para la medición de patrones de radiación. Las cámaras para la medición de antenas se pueden dividir en dos tipos principales: rectangulares y piramidales. La teoría y el diseño de estos dos tipos de cámaras son presentadas. Para finalizar se ofrece una pequeña introducción a cámaras para medir ecos de Radar.

2. MATERIALES ANECOICOS

La clave de un material anecoico es que absorba la energía electromagnética y que la transforme en

otro tipo de energía. Generalmente los materiales absorbentes transforman la energía electromagnética en calor. El material mejor conocido es la espuma de poliuretano cargada de partículas de carbón. Esta espuma es cortada en pirámides para obtener una transición suave entre el aire y el poliuretano dopado. Este material es usado principalmente a frecuencias de microondas. A frecuencias bajas tiene que ser excesivamente largo (hasta 2m). Cuando las primeras cámaras para compatibilidad electromagnética (EMC) se construyeron en los años ochenta, fueron cubiertas con este tipo de material piramidal. Para poder obtener la absorción adecuada a 30MHz (el límite inferior de la banda de frecuencias para la medición de emisiones radiadas) pirámides de 2.44m de longitud fueron utilizadas. El gran tamaño de estas pirámides aumentaba el tamaño de la cámara y con ello el costo.

El otro tipo de material es la loseta de ferrita. En Fig. 1 se muestra un panel de loseta de ferrita usada para cubrir cámaras para EMC.



Fig. 1. Loseta de ferrita montada en Madera cubierta con alfombra.

La ferrita atenúa el campo magnético y proporciona una absorción increíble dada su perfil diminuto (5 a 7mm). En Fig. 2 se muestra la absorción en decibelios (dB) para una ferrita de 6.7mm de grosor de 30MHz a 500MHz. Mediciones y modelos matemáticos son comparados en la gráfica en Fig. 2.

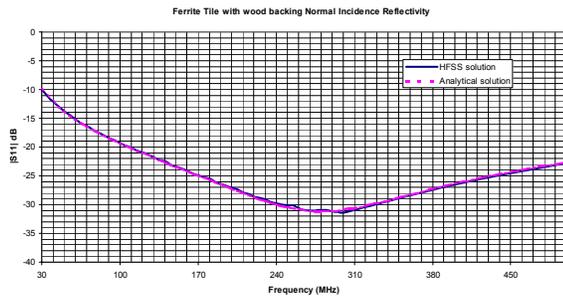


Fig. 2. Absorción de una pared infinita de losetas de ferrita, medición y resultados de cómputo por elementos finitos.

La limitación de las ferritas viene a frecuencias sobre 1GHz. A estas frecuencias las losetas de ferrita son totalmente reflectantes. Adicionalmente su absorción no es suficiente como para cumplir con los requisitos de amplitud del eco que piden algunas normativas internacionales.



Fig. 3. Absorbente híbrido de poliuretano y ferrita.

De la combinación de los materiales descritos aparece el absorbente híbrido. La Fig. 3 muestra un absorbente híbrido típico. Este absorbente no es una simple combinación de absorbente de poliuretano para microondas y loseta de ferrita. Como se demuestra en [4] la espuma debe ser dopada de tal manera que la energía existente en la espuma entre sin reflejos en la ferrita. Si se coloca absorbente de poliuretano convencional encima de la ferrita las ondas electromagnéticas se reflejan en la ferrita sin entrar y ser absorbidas.

Otros materiales como el descrito en [5] usan un concepto diferente para aumentar la cantidad de energía que se adentra en la ferrita. Absorbentes híbridos son la mejor solución para cámaras de medición de compatibilidad electromagnética. Este tipo de materiales, por su dopaje especial no tienen suficiente absorción para ser utilizados en cámaras para medición de antenas.

3. CÁMARAS SEMIANECOICAS

Las cámaras se pueden clasificar en anecoicas, semianecoicas y parcialmente cubiertas. En las cámaras anecoicas se desea que no exista ningún tipo de reflejo en el área del ensayo. En las semianecoicas se desea simular un espacio abierto sobre un plano de tierra metálico. En las cámaras parcialmente cubiertas el absorbente se usa para reducir las resonancias de la cámara. Esta última categoría no es puramente una cámara anecoica pero son utilizadas por estándares militares y de aeronáutica [6-7] para medir la compatibilidad electromagnética de aparatos electrónicos.

En [8-9] se presentó la teoría para la validación de áreas de prueba para EMC y se explicó sobre las características de dicha área. Según los principales estándares internacionales y nacionales (CISPR 16; Comité Internacional Especial des Perturbations Radioelectriques y ANSI C63.4, American National Standards Institute) las mediciones de emisiones electromagnéticas se deben hacer sobre un plano de tierra metálico localizado en una zona libre de estructuras que causen reflejos. La tradicional área de pruebas descrita en los estándares se encuentra a la merced de los elementos y de interferencias de estaciones de TV y radio. Un área de ensayo dentro de una cámara blindada o apantallada elimina los problemas de interferencia y atmosféricos. El único requisito para una cámara para la medición de emisiones electromagnéticas es que simule un plano de tierra infinito. Esto se obtiene manteniendo el piso de la cámara sin material absorbente. El mismo método de validación presentado en [8] se aplica a estas cámaras. En general un material absorbente híbrido es usado en este tipo de cámaras dado que el alcance de frecuencias debe ser de los 30MHz a los 18GHz. El tamaño de estas cámaras está determinado principalmente por la distancia a la que se mide las emisiones. La altura de la cámara debe ser suficiente para permitir el movimiento entre 1m y 4m de altura de la antena receptora. La mayoría de las normativas que piden el uso de un área exterior de pruebas (OATS)

permiten el uso de una cámara semianecoica siempre que se pueda probar que las mediciones dentro de la cámara guardan relación con las que se toman en el OATS.

Para aquellas mediciones de inmunidad radiada donde se ilumina el equipo bajo ensayo con un campo electromagnético de cierta intensidad las cámaras anecoicas blindadas son necesarias. Esto se debe a que no se desea y suele ser ilegal el transmitir alta potencia sobre tal alcance de frecuencias (80MHz-5GHz).

4. CÁMARAS ANECOICAS

Existen varias maneras de medir patrones de radiación de las antenas. Por definición el patrón de radiación es un mapa de la potencia radiada por una antena en la región de Fraunhofer [1]. Esta medición se puede hacer colocando una antena receptora en la región de Fraunhofer y rotando la antena que se mide. Para algunas antenas la región de Fraunhofer puede estar a varios kilómetros, se puede reducir la distancia de la prueba usando un reflector parabólico, o se puede hacer la medición en la proximidad de la antena (área reactiva) y luego usar un algoritmo matemático para calcular el patrón en la región de Fraunhofer. Sin importar el método, para la medición de patrones de radiación de antenas se desea que la antena esté en un área libre de reflejos. Aun con material absorbente siempre existe una porción de campo que es reflejada por el absorbente. En cámaras para la medición de antenas se suele especificar un área de la cámara llamada área silente o zona quieta (QZ), donde se requiere que la energía reflejada sea de un número dado de decibelios por debajo de la energía transmitida directamente entre la antena receptora y el área silente. Cualquier antena que se mida en dicha cámara deberá estar dentro del QZ. Para mediciones directas de la radiación en el área de Fraunhofer existen dos tipos principales de cámaras. Las cámaras de planta rectangular y las cámaras piramidales.

4.1 Rectangulares

El primer factor que determina el tamaño de una cámara rectangular es el diámetro del área silente (QZ). El tamaño del QZ determina el ancho y la altura de la cámara. La regla empírica es que el ancho y el alto sean tres veces el tamaño del diámetro del QZ sin contar el espesor del material absorbente. La longitud de la cámara tiene que ser

tal que permita a la antena receptora estar en la región Fraunhofer de una antena cuyo tamaño sea igual al diámetro del QZ. Esta distancia puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$R_{min} = \frac{2D^2}{\lambda_{f1}} \tag{1}$$

Donde D es el diámetro del QZ, λ_{f1} es la longitud de onda a la frecuencia mas baja de operación. A esta distancia hay que añadir el diámetro del QZ y el espesor del absorbente usado. Al seleccionar el material absorbente debemos tener en cuenta que la pared receptora, (la pared opuesta a la antena receptora), debe tener una absorción igual al nivel requerido para el QZ (como se muestra en Fig. 4). La pared detrás de la antena receptora (que curiosamente vamos a nombrar pared transmisora) también debería tener un absorbente con absorción en dB igual al nivel requerido en el QZ. Pero debido a la proporción frente/trasera de la antena receptora un material absorbente de menor espesor puede ser utilizado. Es decir, si el lóbulo trasero del patrón de radiación de la antena receptora esta 15dB por debajo del lóbulo principal un material con una absorción de 20dB reflejara una señal con una amplitud 35dB menos que la amplitud de la onda directa (como se muestra en Fig. 5).



Fig. 4. requisito para la pared receptora.

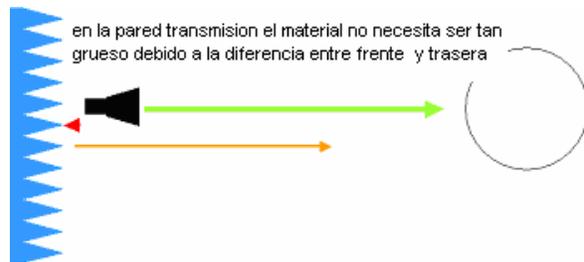


Fig. 5. absorbente en la pared de transmisión.

La clave de las cámaras rectangulares es el tratamiento absorbente de las paredes laterales (así como el piso y el techo). El reflejo bi-estático del absorbente debe ser igual al nivel requerido en el

QZ. El material absorbente funciona mejor en incidencia perpendicular, a ángulos mayores la absorción es menor.

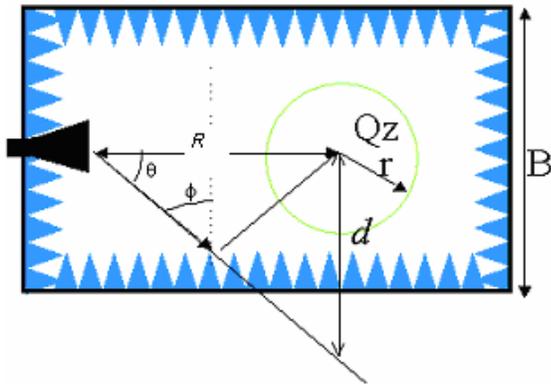


Fig. 6. Ángulos de incidencia en el área especular.

Tenemos la ventaja que podemos usar el patrón de radiación de la antena receptora para disminuir la amplitud del reflejo de las paredes laterales en el QZ. Fig. 6 muestra que dada la geometría de la cámara rectangular es posible calcular los ángulos de incidencia en el QZ.

$$\begin{aligned} \phi &= \tan^{-1}\left(\frac{L}{d}\right) \\ \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{d}{L}\right) \\ d &= B - r \end{aligned} \tag{2}$$

El nivel de energía reflejada en el QZ es igual al nivel de energía reflejada en la dirección bi-estática del material absorbente más la diferencia de ganancia de la antena en la dirección de la onda bi-estática respecto a la ganancia en la dirección del lóbulo principal de la radiación de la antena.

$$QZ_{\text{reflectivity}} = R_{at \ \phi} + G_{at \ \theta} \tag{3}$$

A frecuencias inferiores a 500MHz el absorbente en las paredes debe ser muy grueso dado que la ganancia de las antenas a esa frecuencia no es muy alta y gran parte de la energía radiada ilumina las paredes laterales. Reducir el ángulo de incidencia para aumentar la absorción significa aumentar el tamaño de la cámara. Esto aumenta el costo de la estructura. Para resolver las deficiencias de las cámaras rectangulares a frecuencias bajas se desarrolló la cámara piramidal.

4.2 Piramidales

La idea de la cámara piramidal apareció para resolver los problemas de las cámaras rectangulares a frecuencias inferiores a 500MHz [10]. En la cámara piramidal la onda reflejada en el área especular no se elimina, pero es utilizada para crear un comportamiento de onda plana en el QZ. La forma de pirámide de la cámara localiza la zona especular cerca de la antena receptora. Usando la teoría de imágenes se observa que las imágenes están muy cerca de la antena real. Esto genera una formación de antenas cuyo patrón es igual al de la antena real en el espacio vacío. Además la transmisión de ondas directas y reflejadas son paralelas lo cual da el comportamiento de onda plana, como muestra la Fig. 7.

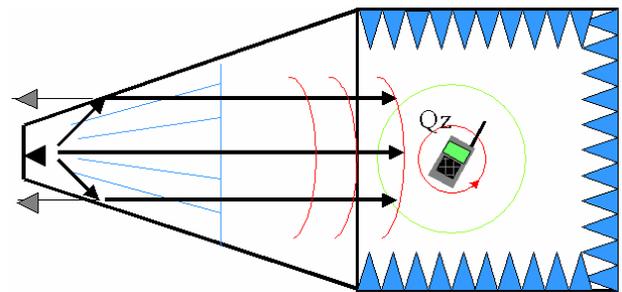


Fig. 7. La cámara piramidal mostrando la creación de ondas planas en el QZ.

La mayoría del conocimiento sobre cámaras piramidales se ha ganado empíricamente. La amplitud de las ondas reflejadas en el QZ se basa en la absorción del material en la pared receptora. El tratamiento del área piramidal es crítico y es especialmente sensible a frecuencias altas. El ancho y alto se basan exclusivamente en el tamaño del QZ, el largo de la cámara debe ser tal que el ángulo de la estructura piramidal sea 28°.

Aunque este tipo de cámaras pueden ser usadas a todo tipo de frecuencias, a frecuencias altas el posicionamiento de la antena receptora es crítico, adicionalmente por que la separación (en términos de longitud de onda) entre la antena receptora y la zona especular cambia con la frecuencia, este tipo de cámaras no son buenas para mediciones donde se hagan barridos de frecuencia.

4.3 Mediciones de Radar

En todas las cámaras presentadas hasta el momento el tipo de medición es una transmisión. En

las cámaras de EMC el aparato electrónico transmite energía que es recibida por la antena receptora. En las cámaras para la medición de antenas, una antena transmite, mientras la otra recibe. En las cámaras para las mediciones de Radar, la misma antena que transmite energía en la cámara debe recibir los ecos del blanco u objeto bajo ensayo. Por ello el tratamiento de estas cámaras es diferente. El absorbente debe minimizar el eco. En lugar de absorbente piramidal, se usa un absorbente en forma de cuñas. Mientras que el material piramidal a ciertas frecuencias relacionadas con la separación entre las pirámides, tiene ecos monostáticos a ángulos no perpendiculares, el material en cuña solo presenta eco bi-estático [11]. Este tipo de cámaras suelen utilizar un reflector parabólico de alta ganancia para reducir la energía que es incidente en las paredes laterales. La Fig. 8. presenta un tipo de cámara para medición de ecos de Radar. Este tipo de cámaras no son frecuentes fuera del ámbito militar o de fabricantes de armamento.

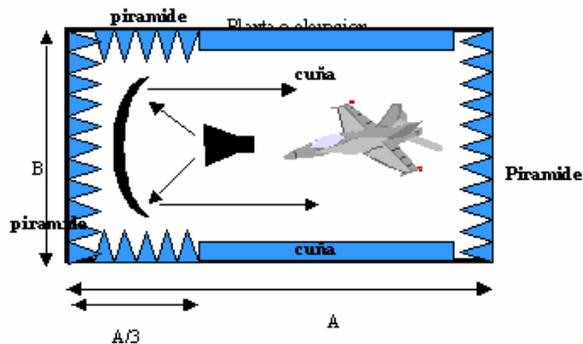


Fig. 8. Cámara para la medición de reflejos de Radar

5. CONCLUSIONES

La teoría de cámaras no está muy bien descrita en la literatura. Muchos usuarios que necesitan de este tipo de cámaras no tienen suficiente información sobre éstas. Este trabajo pretendía dar una pequeña introducción al público interesado en mediciones de campo electromagnético sobre el tipo de tecnología de cámaras existente, sus limitaciones, y usos. El trabajo ha presentado los principales tipos de materiales absorbentes así como diferentes tipos de cámaras para diversas aplicaciones.

REFERENCIAS

- [1] C. Balanis, *antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd Ed. Wiley, New York 1999.
- [2] J. Kraus, *antennas*, 2nd Ed. McGraw-Hill, Boston 1988.
- [3] L. Hemming, *Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide*, Wiley, New York 2002.
- [4] V. Rodríguez-Pereyra, "A Study of the Effect of Placing Microwave Pyramidal Absorber on top of ferrite tile absorber on the Performance of the Ferrite Absorber", *19th Annual Review of Progress in Computational electromagnetics (ACES 2003) Symposium*, Monterey, CA, March 2003
- [5] V. Rodríguez-Pereyra, "Design of a New Type of Absorber for EMC Chambers Using the Finite Elements technique and Ray Tracing Methods", *19th Annual Review of Progress in Computational electromagnetics (ACES 2003) Symposium*, Monterey, CA, March 2003
- [6] MIL_STD-461E "Department of Defense Interface Standard: Requirements for the control of Electromagnetic Interference characteristics of subsystems and equipment" *Department of Defense*, United States of America Aug 1999
- [7] RTCA/DO-160D "Radio Frequency Susceptibility (radiated and Conducted)" *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, Section 20, RTCA, Washington, 1997.
- [8] M. Foegelle, et al. "Introducción a la teoría de validación de áreas de prueba para compatibilidad electromagnética (EMC)", *Simposio de metrología, Centro Nacional de Metrología*, Santiago de Querétaro, México, Mayo 2002.
- [9] M. López Sánchez. "La importancia de las mediciones de compatibilidad Electromagnética como un reto para México", *Simposio de metrología, Centro Nacional de Metrología*, Santiago de Querétaro, México, Mayo 2002.
- [10] Brownell F. P. "Radio Frequency Anechoic Chambers" *lecture materials, Microwave antenna Measurement short Course*, fb Consultants Camarillo, California.
- [11] W. Sun, C. Balanis " Analysis and design of Periodic absorbers by Finite-Difference Frequency-Domain method" *Tech report TRC-EM-WS-9301 Telecommunications Research Center, College of Engineering, Arizona State University*, Tempe Arizona December 1993.