

IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA ANECOICA EN LA BANDA DE 2 – 3 GHz

López Campos Mónica
mony_lopezc@hotmail.com

Brito Flores Paulina
pauli_brito@hotmail.com

Sáenz Enderica Fabián
saenz@fie-espe.edu.ec

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño y la construcción de una cámara anecoica que trabaja en el rango de 2 a 3 GHz del espectro radioeléctrico, recubierta mediante apantallamiento metálico para evitar las interferencias electromagnéticas externas y las reflexiones internas a través de un material absorbente de ondas electromagnéticas, utilizando materiales locales tratados a base de carbón activado y poliestireno expandido para conseguir las características de absorción deseadas. El nivel de atenuación obtenido dentro de la cámara en base al diseño es de –40dB, valor que nos garantiza que la incertidumbre de la medida está dentro de un rango aceptable.

En los experimentos realizados fueron obtenidos diagramas de radiación de antenas de diámetro menor a 20cm, independiente de los factores climáticos y optimizando el tiempo de realización de las pruebas. Los resultados proporcionados son comparables con los obtenidos en el espacio libre. Además se comprobó que las señales externas no interfieren al interior de la cámara.

1. INTRODUCCIÓN

El lugar más propicio para realizar la medida de uno o varios parámetros de una antena o de un circuito de microonda es denominado campo abierto ideal, cuya sigla en inglés es OATS (Open Area Test Site). Este sitio, de acuerdo con la norma ANSI C63.4-1992, es un lugar abierto, se caracteriza por ser de superficie plana, de terreno nivelado y limpio, que debe estar libre de interferencias y obstáculos, con excepción de los que se requieren para realizar la medida. A pesar de que estas clásicas instalaciones de ensayo al aire libre OATS sean una referencia de precisión de las medidas para un buen número de normas internacionales, sufren un problema endémico: las interferencias.

Debido a la dificultad de encontrar una zona libre de interferencias e independiente de las condiciones climáticas, aparecen para solventar este problema las cámaras anecoicas, ya que generan con gran exactitud las condiciones de propagación en el espacio libre, evitando así las interferencias. Por esto, se dice que las cámaras anecoicas tienen una misión bidireccional: atenuar las interferencias externas para evitar su influencia en el interior mediante el respectivo apantallamiento, y atenuar los campos generados en el interior, que podrían afectar la medición mediante materiales absorbentes a las ondas electromagnéticas.

DEFINICIÓN DE UNA CÁMARA ANECOICA

Cámara Anecoica es un recinto que absorbe la energía que incide sobre sus paredes. Esta consta de dos partes fundamentales: la jaula de Faraday y los materiales absorbentes de ondas electromagnéticas. La jaula de Faraday es una estructura completamente apantallada con la que se consigue una atenuación de los campos incidentes, como se puede observar en figura 1. Interiormente se la recubre de materiales absorbentes electromagnéticos para darle propiedades de absorción, simulando características de espacio libre.

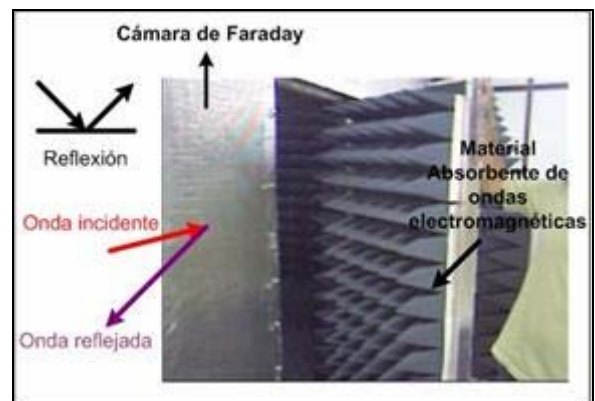


Figura 1. Jaula de Faraday

La finalidad de los materiales absorbentes es “hacer transparentes” las paredes de la

cámara a los campos electromagnéticos y evitar las posibles reflexiones indeseadas. Los absorbentes pueden ser de tipo ferrita, con mejores coeficientes de reflectividad a bajas frecuencias (30 – 1000MHz.) o tipo piramidal, con mejores reflectividades a altas frecuencias (1 – 40GHz.). Los materiales absorbentes tipo piramidal son generalmente fabricados de espumas (polímeros) impregnados con carbón.

2. DISEÑO DE LA CÁMARA ANECOICA

Los parámetros generales de diseño considerados son:

- Tipo de mediciones a ser realizadas.
- Banda de Frecuencia de operación.
- Espacio físico disponible.
- Geometría de la cámara.
- Método de recepción para las pruebas
- Costo.

El diseño de una cámara rectangular para mediciones de antenas es determinado por los siguientes factores:

- **Ecuación de campo lejano.-** Los campos radiados, asociados con una antena, cambian con la distancia y son asociados con dos tipos de energía: energía radiada y energía reactiva. En la región de campo lejano los campos reactivos han desaparecido y sólo quedan los campos de radiación. El campo lejano se estudia como solución de onda plana, ya que a una distancia grande en relación a la longitud de onda los campos formados pueden verse como un plano.

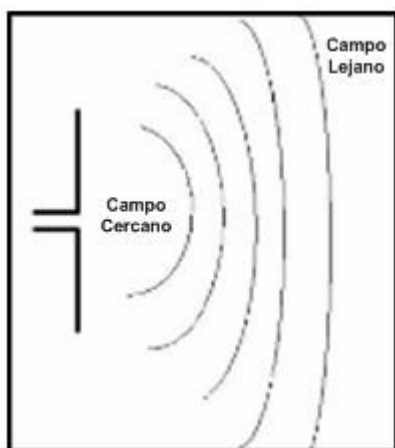


Figura 2. Campo Lejano

La región de campo lejano se considera a partir de una distancia desde la antena de $R = 2D^2/\lambda$, donde D es el diámetro mayor

de las antenas a utilizar y λ es la longitud de onda de la frecuencia de operación mayor.

$$D = 0.20m$$

$$f_H = 3GHz \rightarrow \lambda = 0.10m$$

$$f_L = 2GHz \rightarrow \lambda = 0.15m$$

$$R_{min} = 2D^2/\lambda$$

$$R_{min} = 0.8m \approx 1m$$

- La menor y mayor frecuencia de operación de la antena patrón y los equipos.
 - LPDA de 1 a 18GHz (Log Periód.)
 - Espiral de 2 a 18GHz.
 - Analizador de Redes RF hasta 3GHz.
 - Analizador de espectros hasta 30GHz.
El rango de trabajo es de 2 a 3 GHz
- Material absorbente de ondas electromagnéticas.

FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA

La figura 3 presenta varios parámetros involucrados en el diseño de una Cámara Anecoica. Cuando esta siendo probada, un campo de prueba fluye transversalmente de un lado al otro de la cámara y a través del centro de la región de prueba. Se detecta una fuente de energía extraña, energía reflejada por las paredes, ésta obliga a cambiar su fase con respecto a su trayectoria directa. Debe ser considerada la energía reflejada desde las superficies para determinar la cantidad de energía reflejada que alcanza la región de prueba vía estas superficies. También debe ser considerada la directividad de la antena fuente o patrón, porque el nivel de iluminación sobre las paredes laterales esta en función del ángulo del lóbulo principal de la antena patrón.

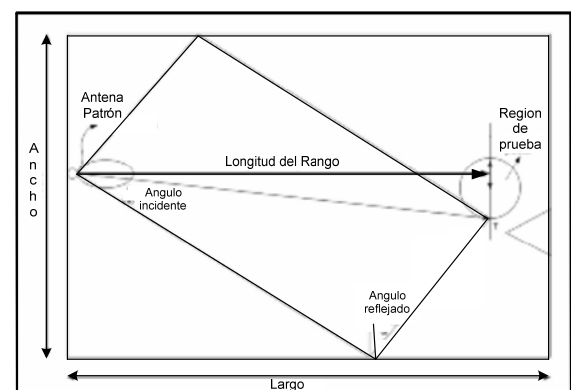


Figura 3. Ilustración de una Cámara Anecoica

DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA

Las dimensiones de la cámara se determinan en base al rango de frecuencia de trabajo y el

tamaño de las antenas. En base al espacio disponible para la construcción de la cámara y por facilidad para colocar las planchas de poliestireno con las dimensiones disponibles en el mercado, se impusieron las dimensiones que se ilustran en la figura 4, las mismas que cumplen con el requerimiento de diseño:

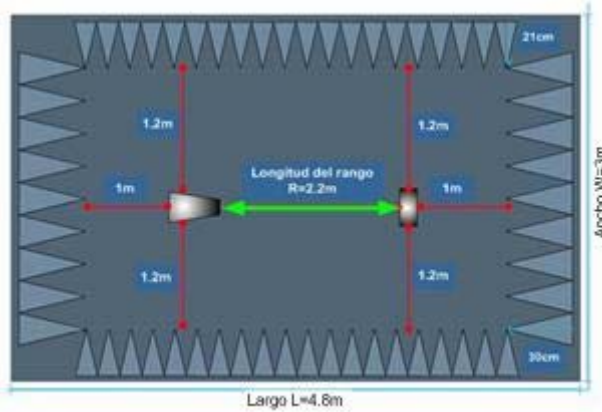


Figura 4 Tamaño básico de la Cámara Anecoica

Frecuencia de operación mayor: 3GHz
 Frecuencia de operación menor: 2GHz
 Largo: $L = 4.8\text{m}$
 Ancho: $W = 3\text{m}$
 Alto: $A = 2.6\text{m}$

MÉTODO DEL TRAZADO DE RAYOS

Se usa para estimar el peor caso de nivel de señal reflejada en la región de prueba y es el método convencional para definir el *ángulo de incidencia*. La energía puede propagarse desde la antena patrón a la región de prueba por muchos trayectos, porque el absorbente no es ideal. Varios de estos trayectos son ilustrados en la figura 5:

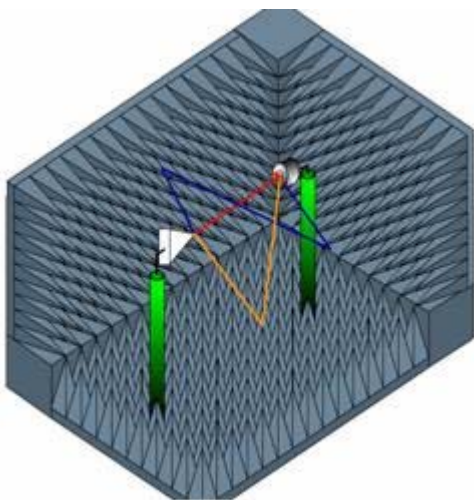


Figura 5. Ilustración de trayectos en 3D

Los rayos más importantes que están alcanzando la región de prueba son dibujados con líneas sólidas en la figura 6. El primero es el *rayo de la trayectoria directa* desde la

antena patrón a la región de prueba. Los siguientes en importancia son los *rayos especulares* con *reflexión simple* desde las paredes laterales, incluyendo el techo y el piso. Los *rayos de dos saltos* que golpean ambas, las paredes laterales y la pared del final también son considerados. Los rayos de más de *tres rebotes* no son considerados porque el rayo es atenuado cada vez más en cada punto de reflexión.

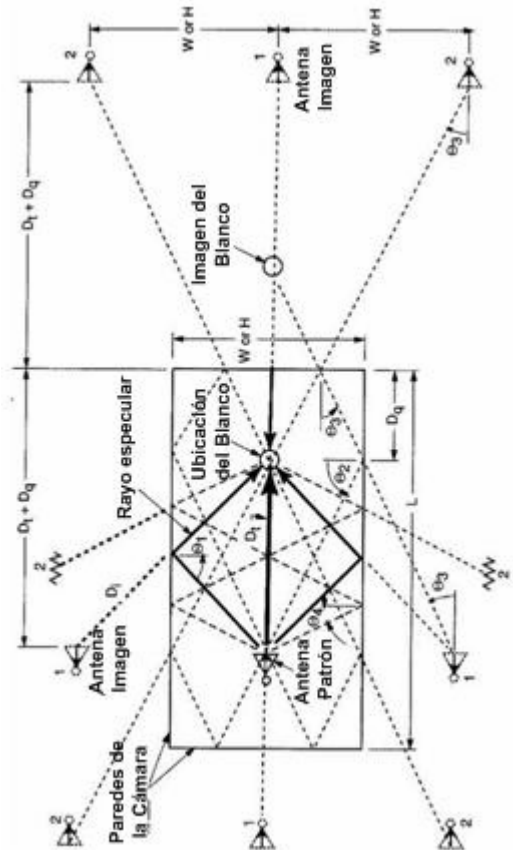


Figura 6. Ilustración de múltiples trayectorias

El hecho de que los rayos actuales serán posiblemente refractados en la superficie del absorbente es ignorado, como se muestra en la siguiente figura 7:

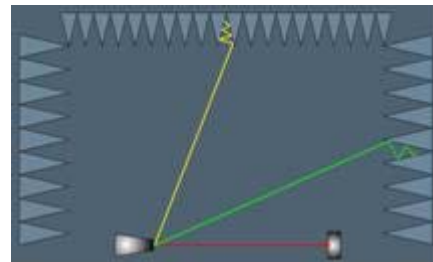


Figura 7. Rayos refractados en el absorbente

Cada uno de los rayos reflejados puede ser analizado como si hubiese venido de una *imagen de la antena patrón*. Estas imágenes

son dibujadas con líneas punteadas en la figura 6. Las imágenes asociadas con *reflexiones de un solo salto* son simplemente la imagen del reflejo de la antena patrón en la pared lateral que el rayo golpea, es decir, como si pudiese ver su reflejo en un espejo.

Las imágenes asociadas con las *reflexiones de doble salto* son formadas por la imagen de la imagen de antena patrón proyectadas en una extensión de la pared del final de la cámara. Una ventaja del concepto de imagen es la facilidad con la que los rayos pueden ser dibujados.

La línea que une cada imagen de primer orden con la antena real es perpendicular a la respectiva pared, y la antena real y su imagen son equidistantes de la pared. Esto provee una geometría simple para calcular el ángulo de incidencia en el absorbente. Se puede apreciar que la imagen de doble salto en la parte derecha baja de la figura 6 permite el cálculo del ángulo θ_3

$$\theta_3 = \arctan(W/(D_t + 2D_q))$$

$$\theta_3 = \arctan(3m/(2.2m + 2(1m)))$$

$$\theta_3 = 35.6 \text{ grados}$$

donde:

D_t es la distancia entre las dos antenas

D_q es la distancia desde la Antena de Prueba (AUT) hasta la pared posterior.

El ángulo de incidencia θ_2 es el complemento de θ_3 , por lo tanto $\theta_2 = 54.5$ grados.

REQUERIMIENTOS DEL ABSORBENTE

Determinado el tamaño de la cámara, se debe determinar el forro anecoico requerido para alcanzar la reflectividad deseada o nivel de energía reflejada en la región de prueba. Un requerimiento común para cámaras de pruebas es que la reflectividad este en el rango de -30 dB a -40dB.

Y conociendo el valor del ángulo de incidencia acudimos a la siguiente gráfica para obtener el espesor del material absorbente.

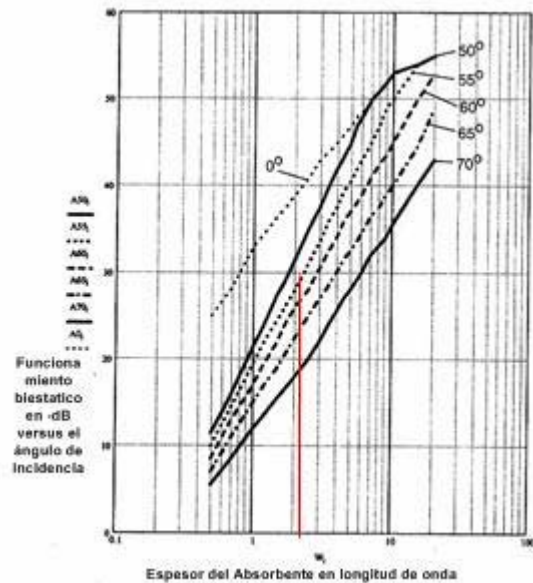


Figura 8. Curvas para encontrar el espesor del absorbente

De la figura 8, tenemos que el factor es de 2.1 λ . Para la frecuencia de operación alta tenemos un *Espesor1=21cm*, y para la frecuencia de operación menor un *Espesor2=30cm*, los que se ilustran en la figura 9.



Figura 9. Espesor del absorbente

CONSIDERACIONES ADICIONALES

La *antena patrón* debe estar alineada para que la cresta de su lóbulo principal este dirigida hacia el centro de la región de prueba, para iluminar las paredes con amplitudes de señal más débiles.

La relación de apariencia de la cámara es $W > R/2$, necesaria para que el *ángulo de incidencia* en las paredes adyacentes, piso y el techo estén en el orden de < 60 grados. Este último requerimiento determina el *ángulo de llegada* del frente de onda incidente. Esto

influye en nivel de atenuación experimentada por la señal dispersada dentro de la región de prueba. El *diámetro de la región de prueba* debe estar en el orden de $W/3$. En nuestro diseño el ancho es $W=3m$, por lo que el diámetro de la región de prueba es de 1m. La *región de prueba* es el volumen de prueba o zona de silencio, sobre el cual la reflectividad de la cámara es especificada, y debe ser mayor en diámetro que la antena a ser probada AUT.

DISEÑO DE LAS PIRÁMIDES

Las planchas encontradas en el mercado tienen una densidad de 14 Kg/m^3 y las medidas de estas planchas son de $1.20m * 1.20m * 0.24m$ y de $1.20m * 1.20m * 0.33m$, respectivamente.

Tabla 1. Desempeño de los absorbentes
(Nota: Las dimensiones de la base son de **0.61m x 0.61m**)

Tipo	Altura, cm.	Peso, Kg.	Picos por pieza	Reflectividad normal incidente. GHz										
				0.12	0.3	0.5	1	3	6	10	18	36	50	
P-4	10.9	1.4	144						30	35	42	50	50	50
P-6	15.2	1.6	100						32	40	45	50	50	50
P-8	20.3	2	64					30	37	45	50	50	50	50
P-12	30.5	2.7	36					35	40	45	50	50	50	50
P-18	45.7	5.4	16				30	37	40	45	50	50	50	>45
P-24	64	7.7	9				30	35	40	45	50	50	50	>45
P-36	91.4	10.9	4				35	37	42	50	50	50	50	>45
P-48	121.9	17	2				28	35	40	50	50	50	50	>45
P-72	182.9	23	1				33	40	45	50	50	50	50	>45

Para 3GHz, el número de pirámides por pieza es de 72 y para 2GHz es de 32. Para los paneles de menor espesor el número de piezas es 144 y para los paneles de mayor espesor el número de piezas es 64.

DETERMINACIÓN DEL ÁREA ESPECULAR

Para determinar el area especular del absorbente se debe tomar en cuenta que el área a ser cubierta con el absorbente en la región especular de la cámara anecoica esta determinada por:

- La geometría de la cámara
- La frecuencia de operación más baja
- Las características del absorbente

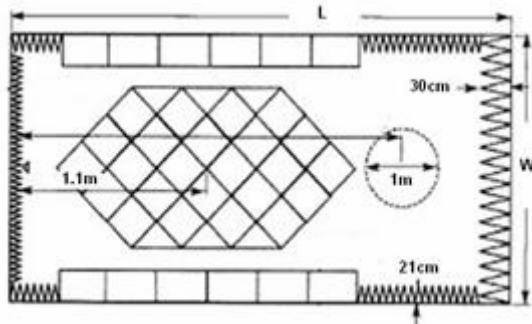


Figura 10. Area especular del absorbente

La reflexión de las ondas que iluminan típicamente las superficies de la cámara es estudiada en términos de “zonas de fase constante” o “zonas de Fresnel” sobre la superficie.

$$\text{Centro: } C_N = R(1 - F_2) / 2$$

$$\text{Largo: } L_N = RF_1(1 + F_2^2 - 2F_3)^{1/2}$$

$$\text{Ancho } W_N = R[(F_1^2 - 1)(1 + F_2^2 - 2F_3)]^{1/2}$$

Por lo tanto, reemplazando los valores obtendremos las siguientes medidas:

$$C_N = R(1 - F_2) / 2$$

$$C_N = 2.2m(1 - 0) / 2$$

$$C_N = 1.1m$$

$$L_N = RF_1(1 + F_2^2 - 2F_3)^{1/2}$$

$$L_N = 2.2m * 1.684(1 + 0 - 2 * 0.324)^{1/2}$$

$$L_N = 2.198m$$

$$W_N = R[(F_1^2 - 1)(1 + F_2^2 - 2F_3)]^{1/2}$$

$$W_N = 2.2m[(1.684^2 - 1)(1 + 0 - 2 * 0.324)]^{1/2}$$

$$W_N = 1.768m$$

Estos valores muestran que el diseño de la cámara esta acorde con el área especular calculada.

3. MATERIALES ABSORBENTES DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

A nivel industrial las cámaras anecoicas están hechas de materiales a base de espumas especiales cargadas de “humo negro” que hacen que la señal tenga pérdidas elevadas, en consecuencia, estas espumas también son pintadas con pinturas especiales, las cuales también deben tener características disipantes.

Los materiales que se utilizan para absorber campos eléctricos deben poseer alta resistividad eléctrica, alta resistividad dieléctrica y bajo factor de pérdida. Pero la constante dieléctrica debe ser baja para poder impedir la polarización y así no almacenar carga localmente en el material. Los materiales que ofrecen mejores características de absorción son los polímeros.

TIPOS DE MATERIALES - POLÍMEROS

Para la construcción interna de la cámara, el principal material es un polímero que presente buenas características dieléctricas, y que además tenga la propiedad de convertir energía electromagnética en calor, para evitar atenuaciones por reflexión dentro de la cámara. Debido a su versatilidad, los polímeros son muy diversos en cuanto a características y usos. La tabla 2 muestra las características eléctricas principales de algunos polímeros.

Tabla 2. Características eléctricas de los termoplásticos

MATERIAL	Policarbonato	Poliétileno PE	Poliestireno PS
PROPIEDADES ELÉCTRICAS			
Resistividad del volumen, $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16}	10^{16}	10^{16}
Resistencia dieléctrica V/mil	364	420-550	300
Constante dieléctrica, 60Hz	3.2	2.4	3.4
Constante dieléctrica, 10^3 Hz	3.0	2.4	3.2
Constante dieléctrica, 10^6 Hz	3.0	2.4	3.1
Factor de disipación, 60Hz	0.0009	<0.0005	0.0004
Factor de disipación, 10^3 Hz	0.0021	<0.0005	0.0004
Factor de disipación, 10^6 Hz	0.01	<0.0005	0.0004

CARBÓN

El carbón sólo, sin ninguna aleación, es un no metal, aun cuando una variedad suya, el grafito, posea características conductivas y guarde ciertas semejanzas con los semi metales. Este elemento presenta una gran afinidad al momento de enlazarse con cualquier otro elemento, ya que forma configuraciones muy estables. Hay un tipo de carbón que aunque se encuentre a temperaturas altas (hasta 3000°C) impide su reestructuración para dar grafito. Este tipo es carbón activado. Se lo utiliza principalmente para procesos de adsorción y para pruebas endoscópicas. Por ser un material poroso también sirve como absorbente ya que ayuda a transformar la onda electromagnética en calor al momento de que esta hace fricción con el carbón.

PRUEBAS EN EL MATERIAL

Los materiales para la construcción de la cámara son productos ecuatorianos, por lo que el mejor polímero encontrado a nivel local fue el poliestireno, que presenta buenas características dieléctricas. Para escoger el material de impregnación se sometieron las planchas a diversos procesos de relleno con dos clases de carbón. La prueba consistía en transmitir una señal en el espacio libre y poner estas planchas como obstáculos para medir el nivel de atenuación de la señal recibida. Los

resultados obtenidos se muestran en la tabla 3 y permiten concluir que el poliestireno impregnado de carbón activado en polvo es el material que produce mayor absorción de la energía electromagnética.

Tabla 3. Comparación de los datos obtenidos con los diferentes materiales

Material de Interferencia	Promedio de Atenuación (dBm)	Relación de Atenuación (dBm)
Aire	-17,82	0
Plancha de Carbón	-22,019	-4,199
Plancha de Grafito	-18,189	-0,369
Cerramiento de Carbón	-24,648	-6,828

4. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA

El proceso de construcción es crítico y complejo, a continuación se presenta fotografías que describen sus etapas.



Figura 11. Material sin procesar



Figura 12. Vaciado de las pirámides



Figura 13. Relleno con la mezcla de carbón activado-poliestireno

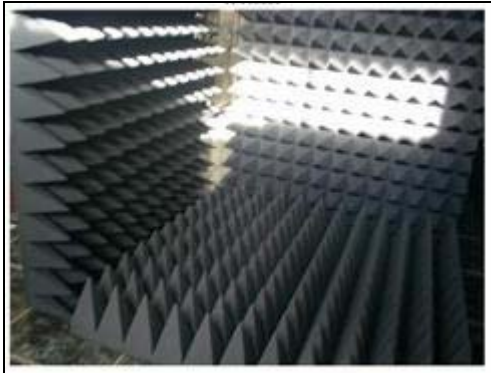


Figura 14. Planchas pintadas y terminadas

Construcción de la Jaula de Faraday:



Figura 15. Estructura de madera



Figura 16. Recubrimiento externo de aluminio



Figura 17. Instalaciones para el cableado

Colocación del material absorbente



Figura 18. Vista interna de la Cámara



Figura 19. Material de pegado



Figura 20. Interior de la Cámara terminada



Figura 21. Antenas utilizadas

Dentro de la cámara existe un camino desmontable para poder acceder a las antenas.

Ubicación de los equipos de generación y medida



Figura 22. Ubicación de los equipos



Figura 23. Sistema posicionador de la antena bajo prueba

a)



b)



Figura 24. a) Analizador de Redes RF
b) Analizador de Espectros

5. ADQUISICIÓN DE DATOS EN LA CÁMARA ANECOICA

Existen diversas formas de cámaras Anecoicas, cada una de estas dependen de las frecuencias de trabajo. Se pueden encontrar grandes construcciones para frecuencias altas y pequeñas construcciones para frecuencias bajas. El rango de frecuencias de trabajo para la cámara anecoica diseñada es de 2 a 3 GHz. El tamaño de las cámaras determinan el tipo de pruebas que se pueden realizar dentro de ellas, para cámaras pequeñas las pruebas son específicamente sobre antenas.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y POSICIONAMIENTO

Un sistema de adquisición de datos y posicionamiento para una Cámara Anecoica asegurará que los datos que se tomen dentro de ella sean los más óptimos y que se puedan realizar diferentes pruebas con los elementos que se encuentran dentro de ella.

Los componentes dentro de la cámara anecoica son dos antenas, la patrón y la bajo prueba, que se encargan de generar y recibir la señal. Esto lo realizan mediante equipos que se encuentran en el exterior de la cámara, como se muestra en la figura 25.

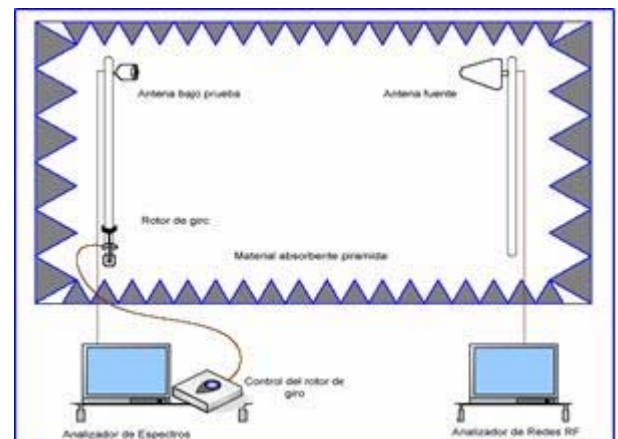


Figura 25. Sistema de adquisición de datos y posicionamiento de la Cámara Anecoica

PRUEBAS EN EL ESPACIO LIBRE OATS

Como es de conocimiento, las Cámaras Anecoicas simulan las condiciones de Espacio Libre. Por este motivo las primeras pruebas se hicieron en el OATS, para poder comparar después con las pruebas dentro de la cámara.

Se levantaron mástiles de 3m para que la señal tenga menor atenuación y se asemejen más a las condiciones de espacio libre. Se procedió a determinar el diagrama de radiación de las antenas para las frecuencias de 2 y 3 GHz. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

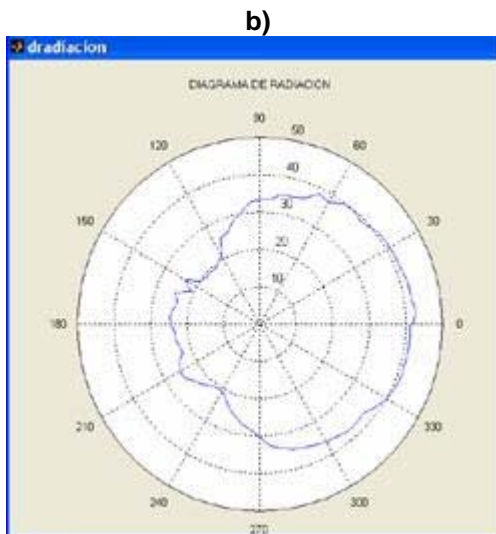
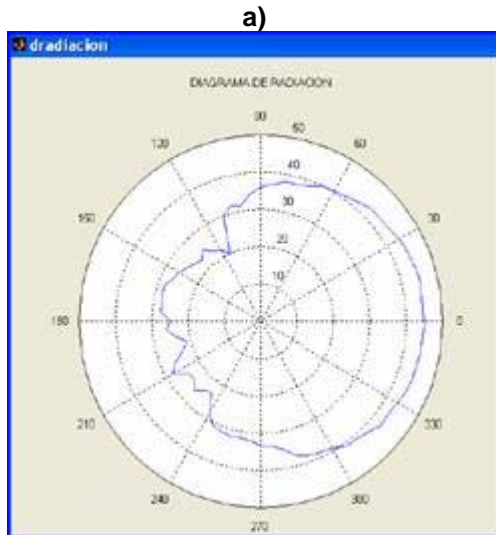


Figura 26. a) Diagrama de radiación para 2GHz, -44.8dBm de señal recibida.
b) Diagrama de radiación para 3GHz, -47.2dBm de señal recibida

PRUEBAS EN LA CÁMARA ANECOICA

La realización de las pruebas dentro de la cámara se asemejan a las realizadas en el espacio libre, se diferencian en que los datos obtenidos dentro de la cámara es cada 10° y en el OATS cada 5°. Los resultados obtenidos dentro de la cámara fueron los siguientes:

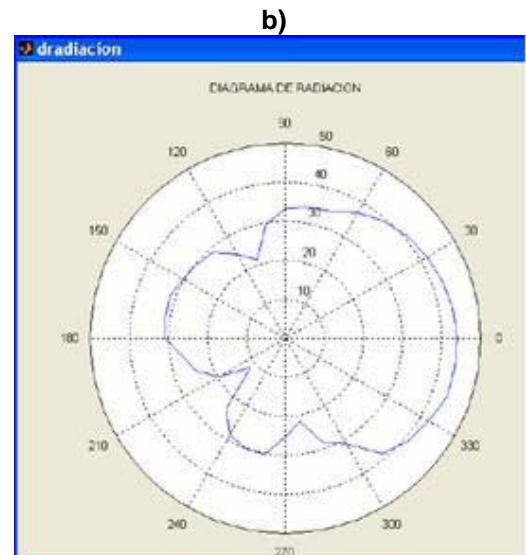
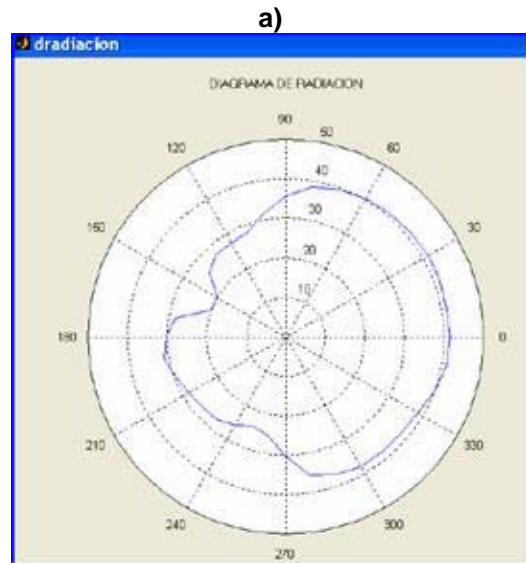


Figura 27. a) Diagrama de radiación para 2GHz, -48.4dBm de señal recibida.
b) Diagrama de radiación para 3GHz, -46dBm de señal recibida

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 4. Comparación de los resultados obtenidos

	Frecuencia (GHz)	Mínima Atenuación (dBm)
Espacio Libre	2	-44,8
	3	-47,2
Cámara Anecoica	2	-48,4
	3	-46

Como se puede observar en la tabla 4 la cámara anecoica en 2GHz con respecto al Espacio Libre tiene una atenuación mayor de -3.6dB. Sin embargo para la frecuencia de 3GHz, la atenuación de la cámara es menor

que en el espacio libre en -1.2dB. Esto indica que el diseño de la cámara está dentro de los parámetros de aceptación ya que en comparación con el espacio libre la atenuación de la señal es bastante semejante y no sufre cambios drásticos a las frecuencias de trabajo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El diseño de la cámara y el material tratado presentaron resultados satisfactorios.
- Repetición de las mediciones de antenas con condiciones iniciales iguales.
- El blindaje electromagnético presenta gran efectividad a las interferencias externas.
- El proceso de construcción de las planchas por ser manual fue complejo y crítico.

Recomendaciones:

- Invertir en la automatización de sistemas de control de polarización para las antenas.
- El mantenimiento de la cámara es indispensable para el correcto funcionamiento.
- Trabajar con mucha precaución ya que el material presenta baja resistencia mecánica y las pirámides son de fácil ruptura.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- WHITESELL, James K., Química Orgánica, 2da. Edición, Addison Wesley Longman, México 2002, pp. 341-348.
- GRAHAM, Soloms T.W., Fundamentos de Química Orgánica, Editorial Limusa, México 1990, pp. 790-828.
- FINK, Donald, Electronics Engineers' Handbook, 1era. Edición, Mc Graw Hill, 2001, cap. 6 pp. 6.3-6.138
- HEMMING, Leland, Electromagnetic Anechoic Chambers, 2da. Edición, Wiley – Interscience, United States 2002, pp. 1-96.
- COLLIN, R. y Zucker, F., Antenna Theory, 1era Edición, United States 1969, pp. 3-41.
- BALANIS, Constantine, Antenna Theory: Analysis and Design, 2da Edición, John Wiley & Sons, United States 1997, pp. 2-48.
- CARDAMA, Aznar Ángel, Antenas, 1era Edición, Alfaomega ediciones, México 2000, pp. 310-314, 243-251.
- www.shoshin.co.jp/emi-mc/lind/gtemcell.htm
- www.at.oersted.dtu.dk/anechoic.htm
- www2.uah.es/catechom/antenas.htm
- www.ce-mag.com/archive/02/Spring/kiemel.html
- www.mech.canterbury.ac.nz/labs/acoustics_s_anech.shtml
- www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/medidas_EMI/web1/ENSAYOS%20Y%20MEDIDAS%20EMI.htm
- www.upv.es/antenas/GRE/Recursos.htm
- www.m2sat.com.br/software.htm
- www.roger-russell.com/cham2pg.htm
- cegt201.bradley.edu/rfpage/anechoic_chamber.shtml
- www.euitt.upm.es/postgrado/satelite/Modulo_5_El_Segmento_de_Tierra.htm
- www.ymec.com/hp/signal2/piano2.htm
- www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/materiales/materiales.html
- www.sapiensman.com/electrotecnia/dielectricos2.htm
- tamarugo.cec.uchile.cl/~cutreras/apuntes/node41.html
- www.mailxmail.com/curso/excelencia/cienciasmateriales/capitulo14.htm
- www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/06_06.htm
- www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/dielectricos/dielectrico.htm

BIOGRAFÍA



Mónica Patricia López Campos nació en Quito el 19 de mayo de 1982. Realizó sus estudios primarios y secundarios en la Unidad Educativa "María Auxiliadora", obteniendo el título en bachiller en Físico Matemático. Sus estudios universitarios

los realizó en la Escuela Politécnica del Ejército, obteniendo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones. Posee un título en Suficiencia en Inglés y una certificación de alemán básico.



Rubén León Vásquez nació el 30 de Abril de 1962 y obtuvo su título de Ing. Electrónico en la ESPE en 1985, su grado de Magíster en Ciencias en Brasil en 1992 y sus áreas de interés son el Procesamiento Digital de Señales, Análisis

Espectral Digital y su aplicación en los Sistemas de Telecomunicaciones.



Paulina Patricia Brito Flores nacida el 6 de julio de 1982 en la ciudad de Quito. Realizó sus estudios secundarios en el colegio La Salle, Obtuvo la dignidad de tercera guardia de la Bandera de la Ciudad de Quito. Sus estudios

universitarios los realizó en la ESPE donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.



Fabián Gustavo Sáenz Enderica nació el 25 de Septiembre de 1966 y obtuvo su título de Ing. Electrónico en la ESPE en 1992, su grado de Master en Ciencias en la ESPE en el 2001 y estudios de Postgrado en Regulación, Interconexión, Administración y

Economía de Telecomunicaciones en el 2002 y sus áreas de interés son el Procesamiento Digital de Señales, Redes de Comunicaciones y Marco Regulatorio de las Telecomunicaciones.