



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CAMARAS ANECOICAS ELECTROMAGNETICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MÉCANICO ELECTRICISTA

AREA: ELECTRICA ELECTRONICA

MODULO: COMUNICACIONES

P R E S E N T A

RAYMUNDO AYALA MARTINEZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. MARIO ALFREDO IBARRA PEREYRA

MÉXICO, D. F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADE CIMIENTOS

- ❖ A Dios por darme el tiempo de ser.
- ❖ A mis padres que me dieron la vida y me educaron.
- ❖ A mis profesores que me orientaron y me impulsaron a seguir adelante; especialmente a mi estimado y querido director de tesis: Ing. Mario Alfredo Ibarra Pereyra.
- ❖ A la Universidad Nacional Autónoma de México y a mi Facultad de Ingeniería que me brindaron una oportunidad de estudiar una carrera profesionista.
- ❖ A mis hermanos los cuáles me brindaron su apoyo incondicional.
- ❖ A mis amigos, con quienes conviví en este recinto universitario.
- ❖ A mi compañera y amiga Leticia por su comprensión, cariño y apoyo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CONCEPTOS TEÓRICOS DE ANTENAS Y MATERIALES ABSORBENTES...4	4
2.1 Antena.....	4
2.1.1 Antena isotrópica.....	5
2.1.2 Antena direccional.....	5
2.2 Patrón de radiación.....	5
2.3 Ancho de haz.....	8
2.4 Directividad.....	10
2.5 Ganancia.....	11
2.6 Polarización.....	12
2.7 Respuesta a la frecuencia.....	13
2.8 Materiales absorbentes.....	14
2.8.1 Mecanismos que evitan las reflexiones especulares.....	15
2.8.2 Utilización de los mecanismos en los absorbentes.....	15
2.8.3 Absorbente de una sola capa, multicapa y piramidal.....	16
2.8.4 Técnicas para la predicción del funcionamiento en los absorbentes.....	17
2.8.5 Línea de transmisión con pérdidas.....	17
3. CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS.....	21
3.1 Introducción.....	21
3.2 Requisito de la distancia para fase uniforme.....	21
3.3 Requisito de amplitud de campo uniforme.....	24
3.4 Mecanismos de prueba.....	27
3.5 Pruebas a las antenas.....	30
3.5.1 Respuesta a la frecuencia.....	30
3.5.2 Ganancia isotrópica.....	32
3.5.3 Patrón de radiación.....	33
4. SOLUCIONES AL PROBLEMA DEL RECINTO DE PRUEBAS.....	36
4.1 Introducción.....	36
4.2 Método propuesto.....	36
4.3 Condiciones de los compartimientos anecoicos.....	41
5. MATERIALES ABSORBENTES ELECTROMAGNÉTICOS.....	45
5.1 Introducción.....	45

5.2 Materiales absorbentes de microondas.....	46
5.2.1 Absorbentes piramidales.....	46
5.2.2 Material absorbente de cuña.....	53
5.2.3 Material absorbente convolucional.....	55
5.2.4 Material absorbente dieléctrico multicapa.....	55
5.2.5 Material absorbente híbrido.....	57
5.2.6 Amortiguador encajonado.....	58
5.3 Material absorbente para frecuencias bajas.....	59
5.3.1 Introducción.....	59
5.3.2 Amortiguadores de ferrita.....	59
5.3.3 Amortiguadores híbridos.....	63
5.4 Conclusión.....	65
6. TÉCNICAS DE DISEÑO DE CÁMARAS ANECOICAS.....	66
6.1 Consideraciones del diseño.....	67
6.2 Ejemplo del diseño.....	69
7. CONCLUSIONES.....	75
APÉNDICE.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	114

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Una antena se diseña a partir de ciertas necesidades: patrón de radiación, impedancia, potencia, ganancia, etc.

Después del diseño, viene la construcción del prototipo, con el cual se deben realizar pruebas para ver si cumple con los requerimientos.

Estas pruebas pueden hacerse de dos formas:

- 1.-Con un software de simulación.
- 2.-Con equipo de laboratorio (generadores, medidores, etc.).

La simulación puede hacerse aun antes de construir el prototipo, pero tiene la desventaja de que no toma en cuenta detalles de construcción como son los herrajes de soporte y los materiales dieléctricos. Por otro lado, las pruebas con equipo de laboratorio tienen la desventaja de que se realizan en el interior de un recinto, de modo que las paredes, piso, techo y muebles causan errores en las mediciones.

Para solucionar este inconveniente se han desarrollado 3 técnicas:

La primer técnica es realizar las pruebas en un espacio abierto con un radio mínimo de 50 longitudes de onda. Adicionalmente se usa una fuente de señal con una potencia del orden de 5 watts, con objeto de que la potencia que llegue a la antena en prueba sea mucho mayor que la potencia que pudiera llegar de una estación emisora de la misma frecuencia.

Todo esto hace que las mediciones tengan solo 3 posibles causas error:

1. La calibración de los instrumentos.
2. La capacitación del operador.
3. El rebote de las ondas electromagnéticas en el suelo.

La segunda técnica consiste en hacer las mediciones en un recinto cerrado previamente calibrado; es decir, que se debe contar con una tabla de compensación de valores, que indique cuantos dB hay que sumar o restar a las lecturas para cada posición angular.

Este procedimiento tiene el inconveniente de que depende de la frecuencia a la que se prueben las antenas; o sea que, si una antena se debe probar a 10 frecuencias diferentes, se deben tener 10 tablas de compensación de valores.

La tercera técnica consiste en transformar el recinto de pruebas en una cámara anecoica, recubriendo las paredes, piso y techo con un material que absorba la energía de las ondas electromagnéticas, convirtiéndola en calor, que se disipa en el ambiente.

Existe en el mercado especializado una cierta variedad de materiales que realizan esta función.

Esta solución tiene un problema administrativo y uno técnico:

El problema administrativo es que los materiales son de importación.

El problema técnico es que el comportamiento de los materiales depende de la frecuencia. Por fortuna este comportamiento se puede hacer aproximadamente constante dentro de un gran ancho de banda.

La composición química del material anecoico no es un secreto industrial, por lo que se puede intentar su fabricación.

Concretamente, el problema que se intenta resolver en esta tesis es el diseño de un recinto de pruebas de antenas.

La importancia de este proyecto radica en que aparentemente hay muy pocas cámaras anecoicas para prueba de antenas en el país; de modo que una instalación de este tipo solucionaría el problema académico, con la posibilidad de realizar pruebas bajo contrato.

En esta tesis, se presenta inicialmente una breve exposición de conceptos básicos relativos a las antenas, específicamente relacionados con los tipos de mediciones que se les pueden hacer.

También se anota un poco de la teoría matemática en la que se basa el funcionamiento de los materiales absorbentes o amortiguadores electromagnéticos y una descripción de los que se encuentran en el comercio, con características físicas y especificaciones electromagnéticas.

Un aspecto que está muy de moda es la simulación en computadora de cualquier proceso o fenómeno. En este caso, se consigna en la tesis un procedimiento para simular en computadora el comportamiento de una cámara anecoica a base de una antena conocida y las pruebas realizadas a esta en un recinto no acondicionado para tal caso.

La parte medular de este trabajo está en el diseño de la cámara, que se basa totalmente en especificaciones de materiales comerciales y en la experiencia, como sucede en algunos campos de la ingeniería.

Para terminar, se hace una evaluación de la tesis y se consigna a manera de apéndice, un breve catálogo de materiales.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS TEÓRICOS DE ANTENAS Y MATERIALES ABSORBENTES

En este capítulo, se consignarán algunas definiciones en las que se sustentará el desarrollo del resto de la tesis.

2.1 ANTENA

Desde un punto de vista bastante informal podemos definir una antena como una “caja negra” con dos puertos que pueden funcionar indistintamente como entrada o salida pero no son intercambiables; esto es: el puerto 1 solo maneja energía eléctrica (voltaje o corriente) y el puerto 2 solo maneja energía electromagnética (campos eléctricos y magnéticos). De manera que la “caja negra” hace la conversión de energía eléctrica a energía electromagnética y viceversa. Ver figura 2.1.



Figura 2.1 La antena como "caja negra"

Cuando la antena trabaja como transmisora, puede hacer que los campos electromagnéticos viajen en ciertas direcciones. Cuando la antena trabaja como receptora, puede aceptar preferentemente ondas que vengan en ciertas direcciones. Finalmente, el comportamiento de una antena depende de la

frecuencia a la que se le haga operar, de modo que presenta características de filtro paso banda.

2.1.1 ANTENA ISOTRÓPICA

Es una antena fundamentalmente teórica, ya que es una esfera de tamaño infinitesimal suspendida en el espacio por sí misma y que radia con la misma intensidad en todas direcciones. Esta antena, que se puede clasificar como omnidireccional, es imposible de construir, pero nos sirve de patrón de comparación para evaluar los parámetros de funcionamiento de todas las demás antenas que se pueden analizar o fabricar.

2.1.2 ANTENA DIRECCIONAL

Esencialmente, todas las antenas que se pueden realizar son direccionales. Tal vez se podría construir una antena esférica con su fuente de energía contenida internamente; pero el soporte mecánico introduce cierta alteración en la distribución de los campos. Como ejemplo de esto imaginemos una vela de cera, cuya luz se propaga en todas direcciones menos hacia la misma vela. De hecho, en la vida real, no necesitamos radiar energía en todas direcciones. Por ejemplo, las antenas de televisión de los canales comerciales no tienen que radiar hacia arriba, ya que en el espacio no hay televidentes. Las antenas de microondas son las más direccionales que existen. De este modo, el diseño de antenas comerciales siempre debe satisfacer requisitos de direccionalidad.

2.2 PATRÓN DE RADIACIÓN

El patrón de intensidad de campo o patrón de radiación de una antena, es una de sus más importantes características. Este se representa como una gráfica tridimensional que nos muestra el valor de la intensidad del campo en una esfera que envuelve a la antena en prueba. En muchos casos, dependiendo de la aplicación, solo nos interesa conocer la intensidad de campo en un plano, ya sea horizontal o vertical, cosa mucho más fácil de obtener que el patrón tridimensional.

Para probar una antena como transmisora, la situamos en el centro del espacio cartesiano ($x=y=z=0$) y le alimentamos energía eléctrica. Entonces, con otra antena denominada sonda, medimos la intensidad de campo en todos los puntos de una esfera centrada en el origen.

Para probar una antena como receptora, se debe producir (obviamente con otra antena) una onda electromagnética plana que “bañe” o “ilumine” a la antena en prueba y rotar esta sobre su eje para que nos indique la intensidad de campo en cada posición angular.

Como ya se mencionó, es conveniente considerar que la antena en prueba está colocada en el origen de las coordenadas, como en la figura 2.2, con el eje z vertical. Luego los patrones de las componentes θ y ϕ del campo eléctrico E_θ y E_ϕ son obtenidos como una función de ϕ a través de círculos constantes θ , donde ϕ es el ángulo de azimuth y θ el ángulo de zenith (complemento del ángulo de elevación).

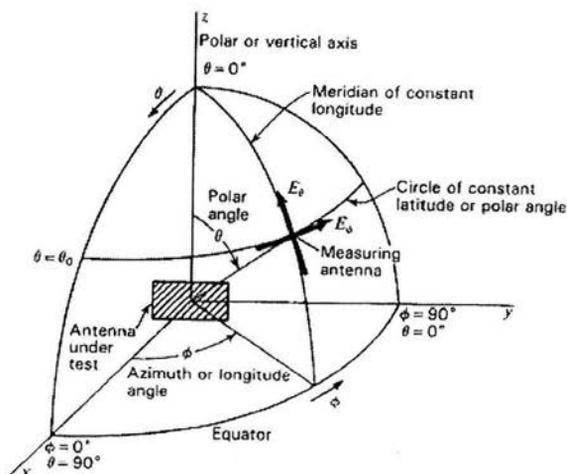


Figura 2.2. Sistemas de coordenadas para el patrón de radiación de una antena.

Entonces, los 4 patrones básicos son:

$E_\phi(\theta = 90^\circ, \phi)$ = patrón de la componente de ϕ de un campo eléctrico como una función de ϕ en el plano xy .

$E_\theta(\theta, \phi = 0^\circ)$ = patrón de la componente de θ de un campo eléctrico como una función de θ en el plano xz .

$E_{\theta}(\theta = 90^{\circ}, \phi) =$ patrón de la componente de θ de un campo eléctrico como una función de ϕ en el plano xy .

$E_{\theta}(\theta, \phi = 0^{\circ}) =$ patrón de la componente de θ de un campo eléctrico como una función de θ en el plano xz .

Estos conceptos se ilustran en la figura 2.3.

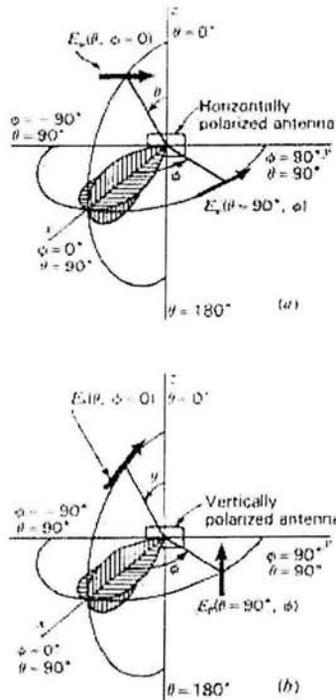


Figura 2.3. Patrones tridimensionales para antenas con polarización horizontal (a) y vertical (b).

En la figura 2.4 se muestra un patrón de radiación tridimensional de una antena.

Si al patrón de radiación de la figura 2.4 le hacemos un corte transversal en el plano horizontal xy , se tendrá el patrón bidimensional de la figura 2.5.

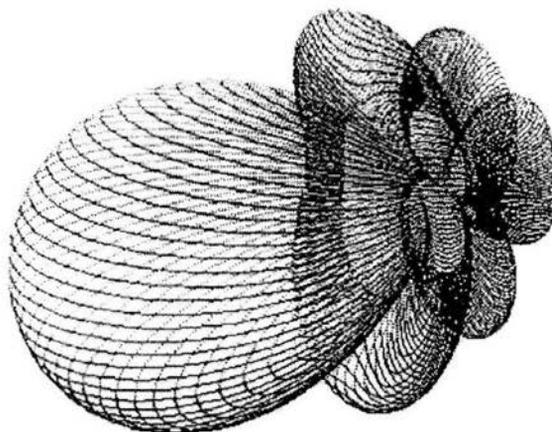


Figura 2.4 Patrón de radiación tridimensional

Basándonos en el patrón de radiación bidimensional, podemos definir varios parámetros:

Vemos que el contorno de la gráfica de la figura 2.5 presenta cuatro curvas y a cada una de estas se le llama “lóbulo”. En este caso existe un lóbulo principal que es el más grande, también llamado lóbulo frontal, el cuál nos indica hacia donde radia preferentemente esta antena. Existen también dos lóbulos laterales con menor intensidad de radiación y finalmente, un lóbulo posterior, que nos informa de cuanta potencia se envía hacia atrás.

2.3 ANCHO DE HAZ

En el lóbulo principal se define otro parámetro que se llama “ancho de haz” ilustrado en la figura 2.6.

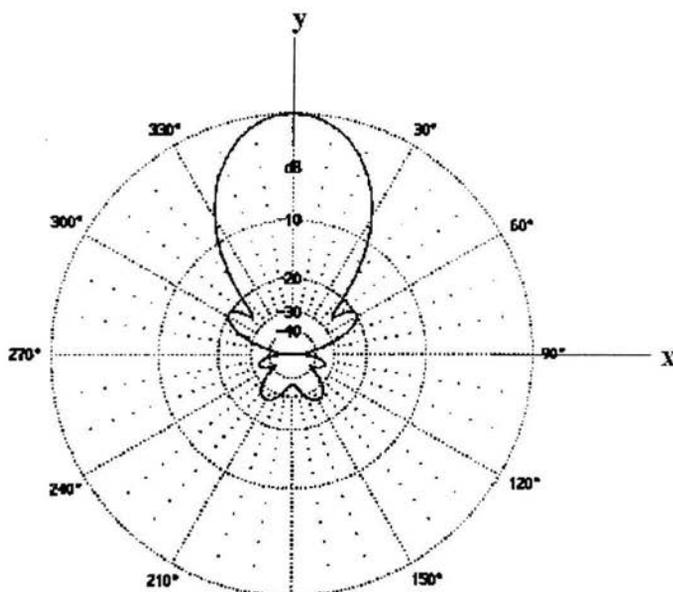


Figura 2.5 Patrón de radiación en el plano xy

En el punto de la gráfica más distante del centro, el nivel de potencia es $A = 10 \log P_{\max}$ [dB] y se definen dos puntos B y C en los que el nivel de potencia es $A-3\text{dB}$. Entonces el ancho de haz es un ángulo que está limitado por dos rectas que van del centro de la gráfica a los puntos B y C y se mide en grados o radianes. El ancho del haz también se puede determinar en el caso de un patrón de radiación tridimensional, Sólo que en este caso se llama “ángulo sólido”.

El ángulo sólido del haz, está dado por la integral del patrón de potencia normalizada sobre una esfera ($4\pi S_r$), o bien:

$$\Omega_A = \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (2-1)$$

$$\text{donde } d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2-2)$$

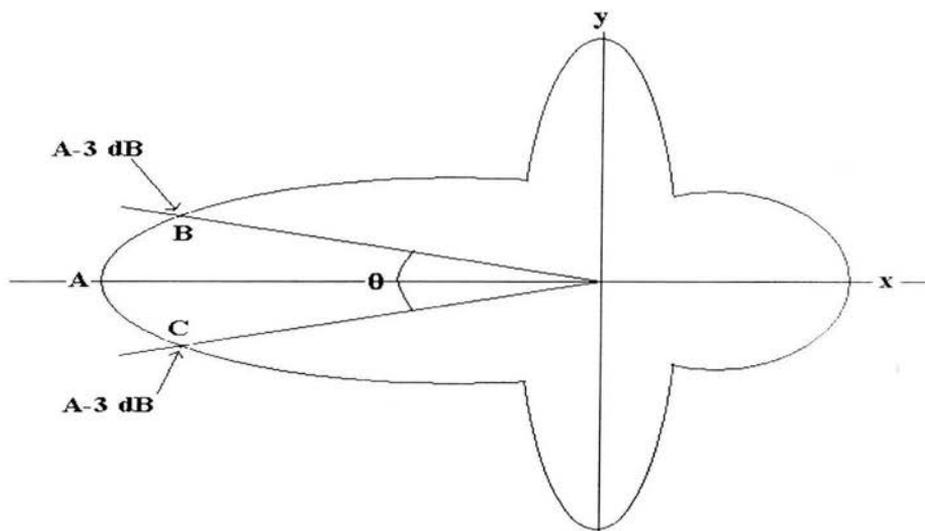


Figura 2.6 Ancho de haz de un patrón de radiación bidimensional.

Este ángulo sólido con frecuencia se describe en términos de los ángulos subtendidos por los puntos de potencia media en los dos planos principales; una aproximación útil es:

$$\Omega_A = \theta_{HP} \phi_{HP} \quad (2-3)$$

Donde:

$\theta_{HP} \phi_{HP}$: son los anchos del haz de potencia media entre los dos planos principales.

2.4 DIRECTIVIDAD

El siguiente parámetro a definir es la directividad de una antena, que está dada por la razón del vector de Poynting máximo al promedio.

Así que para la directividad (D), tendremos:

$$D = \frac{S(\theta, \phi)_{\max}}{S(\theta, \phi)_{\text{prom}}} = \frac{1}{4\pi} \iint_{4\pi} \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}} ds = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (2-4)$$

Cuánto menor sea el ángulo sólido del haz, mayor será la directividad.

Como detalle de nomenclatura, en inglés, al ancho de haz se le llama Half Power Beam Width, o HPBW.

Si una antena tiene un lóbulo principal con $\text{HPBW} = 20^\circ$ en ambos planos, su directividad es aproximadamente:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \frac{(Sr)}{(Sr)}$$

$$D = \frac{41.2538 \text{ (deg}^2\text{)}}{\theta_{HP}^0 \phi_{HP}^0} = \frac{41.253 \text{ (grados}^2\text{)}}{20^\circ \times 20^\circ}$$

$$D = 103 = 20.1 \text{ dB (dB isotrópicos arriba)}$$

Lo que significa que la antena radia una potencia en la dirección del lóbulo principal que es 103 veces mayor de la que se radiaría por una antena no direccional (isotrópica) con la misma entrada de potencia.

Para una antena isotrópica que radia con igual intensidad en todas direcciones [$\delta_r(\theta, \phi) = 1$], $\Omega_A = 4\pi$ y $D = 1$. Esta es la directividad mínima que una antena puede tener. Para antenas más directivas, Ω_A es menor que 4π y D es mayor que la unidad.

2.5 GANANCIA

En el tema que nos ocupa, para definir la ganancia se requiere disponer de dos antenas; la primera que llamaremos antena de referencia, radia una potencia

P_D en una determinada dirección; la segunda cuya ganancia queremos determinar radia una potencia P_A en la misma dirección. Entonces:

$$G = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_D} \quad [dB] \quad (2-5)$$

Todo esto sobre la base del mismo ángulo sólido.

Existe la fórmula de Friis para antenas direccionales:

$$G_1 G_2 = \left(\frac{4\pi S}{\lambda} \right)^2 \frac{P_{rec}}{P_{trans}} \quad (2-6)$$

En la que:

G_1 y G_2 : son las ganancias de dos antenas no necesariamente idénticas, pero sí con el mismo ángulo sólido.

S : es la distancia entre antenas.

$$\lambda = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{frecuencia}}$$

P_{rec} y P_{trans} : son las potencias en ambas antenas.

2.6 POLARIZACIÓN

Es la dirección del vector de campo eléctrico de una onda electromagnética.

Usualmente, en una antena de varillas, estas se encuentran en un plano y la dirección del campo eléctrico es en ese plano. Entonces, si las varillas de la antena están verticales, la polarización es vertical y puede haber polarización horizontal o diagonal.

Se supone que una antena receptora polarizada horizontalmente no puede captar ondas con polarización vertical y viceversa, tal como ocurre con 2 embobinados colocados a 90° uno de otro, figura 2.7.

Ahora bien, cuando las ondas electromagnéticas viajan por el espacio, sufren cambios de polarización, de manera que una onda transmitida con polarización vertical no llega a la antena receptora con tal polarización. Como

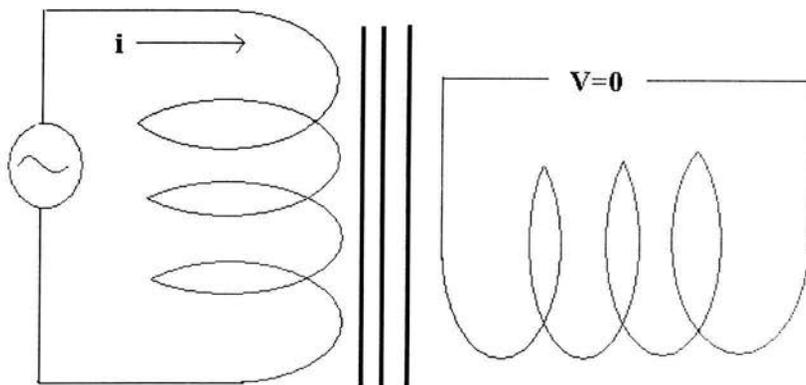


Figura 2.7 Embobinados a 90°

consecuencia de ello, la intensidad de señal captada puede sufrir gran reducción.

Para minimizar este problema se usa una técnica de transmisión con polarización circular que consiste en que el vector de campo eléctrico (y por lo tanto el vector de campo magnético) viajan girando en el espacio (como tirabuzón), de manera que una antena receptora en cualquier posición puede captar esta onda. También hay polarización elíptica.

2.7 RESPUESTA A LA FRECUENCIA

Una Antena puede ser analizada como un circuito formado por inductores, capacitores y resistencias, cuyo funcionamiento depende de la frecuencia.

En esencia, este comportamiento es deseable, ya que si la antena opera como transmisora, va a reducir la emisión de componentes armónicas indeseables y si opera como receptora, reduce el acceso de señales de frecuencias que podrían causar interferencias. Entonces, toda antena tiene una gráfica de “Respuesta a la frecuencia”.

En la figura 2.8 se ilustra, como caso particular, el comportamiento de un dipolo triple:

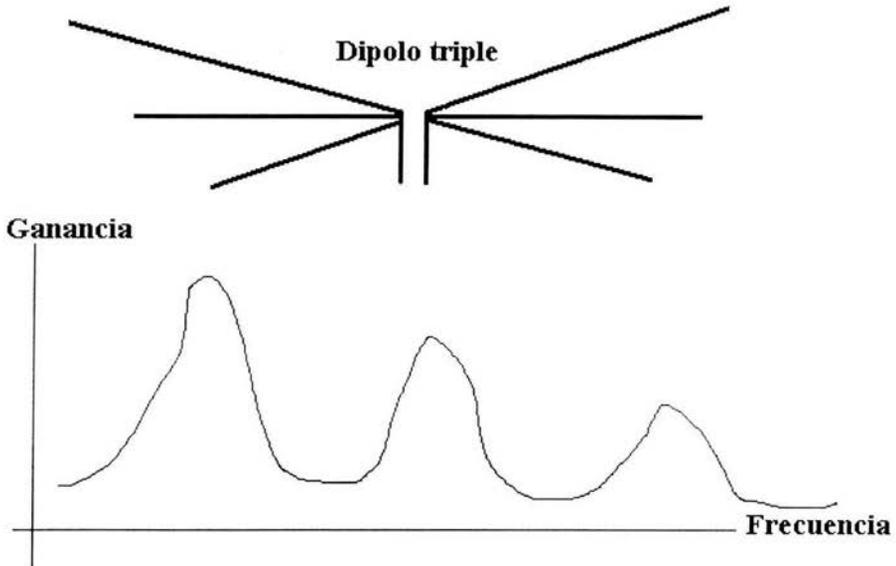


Figura 2.8 Dipolo triple y su gráfica de respuesta a la frecuencia.

2.8 MATERIALES ABSORBENTES

Cuando se quiere probar una antena, es necesario “iluminarla” con una onda electromagnética plana. No consideraremos en este capítulo las técnicas para producir tal onda; solo asumiremos que existe. Esta condición es impuesta para situar a la antena en prueba en un ambiente un tanto idealizado, a fin de que los resultados experimentales tengan una cierta coincidencia con la teoría.

Esta condición asume que la onda llega a la antena en una sola dirección; pero al realizar las pruebas, cualquier cuerpo presente en el ámbito puede ocasionar reflexiones especulares que hagan llegar ondas en otras direcciones a la antena que se está probando, con lo que los resultados obtenidos resultarán falseados.

Para solucionar este problema, se han desarrollado los recintos anecoicos cuyas paredes se recubren de algún material que impida que a la antena receptora le lleguen ondas en varias direcciones.

2.8.1 MECANISMOS QUE EVITAN LAS REFLEXIONES ESPECULARES

Hay tres mecanismos por los cuáles esto puede realizarse, que son: la pérdida en el material, la cancelación de fase y la dispersión.

Para frecuencias altas, la pérdida en el material es causada por una conductividad no nula (pérdidas de conducción) o por la permeabilidad (pérdidas magnéticas) del material. La pérdida en el material ocurre únicamente después de que la onda entra al material y se propaga en él. Los factores de pérdida actúan para reducir la amplitud de la onda mediante pérdidas magnéticas o conductivas (conversión de la energía electromagnética en calor).

La cancelación de fase es un factor importante en los absorbentes usados para reducir las reflexiones especulares. Si al reflejarse en las paredes del material, la onda experimenta cambios de fase aleatorios, es posible que ocurran cancelaciones debido a que en algún punto del espacio, las diversas porciones de la onda tengan un defasamiento cercano a 180° entre una y otra. La operación es similar a la de un transformador de un cuarto de onda y puede ser tratada como una línea de transmisión con pérdidas para propósitos de modelación.

La dispersión consiste en que al incidir sobre un material una onda altamente direccional (como si fueran rayos de luz paralelos) rebota en todas direcciones, con la consecuencia de que en cualquier punto del espacio, la potencia de esta onda reflejada es mínima.

2.8.2 UTILIZACIÓN DE LOS MECANISMOS EN LOS MATERIALES ABSORBENTES.

Los diferentes tipos de absorbentes usan diferentes combinaciones de esos mecanismos para alcanzar su rendimiento. Los absorbentes usados para aislamiento dependen principalmente de las pérdidas en el material (y cancelación de fase a un pequeño grado) mientras que los absorbentes usados para propósitos de reflectividad dependen de una combinación de pérdida en el material y de la cancelación de fase. Los absorbentes de rendimiento alto usan los tres mecanismos en cierta medida. Un ejemplo es el material

piramidal encontrado en cámaras anecoicas. La forma piramidal absorbe una parte de la energía electromagnética y otra parte la refleja hacia las otras piezas piramidales.

2.8.3 ABSORBENTE DE UNA SOLA CAPA, MULTICAPA Y PIRAMIDAL

Un absorbente de una sola capa es el más simple de modelar. Este consiste en una hoja o placa plana de material uniforme, de un grosor especificado. Su rendimiento es completamente decidido por tres parámetros: la permitividad (complejo), la permeabilidad (complejo) y el grosor. Para los propósitos de la reflectividad, una sola capa es intrínsecamente de banda estrecha. El mecanismo de la pérdida es una combinación de pérdidas en el material y cancelación de fase. Hoy en día, el equipo de medición permite la determinación rápida de los parámetros de banda, permitiendo el mayor control del rendimiento del material absorbente. Si se desea el funcionamiento de banda ancha, varios amortiguadores de una sola capa pueden ser apilados como sandwich. Si las capas se eligen correctamente, se puede lograr el comportamiento deseado en un gran ancho de banda. El diseño apropiado de materiales de múltiples capas requiere medidas exactas de los parámetros para cada capa y casi obligatoriamente, un programa de optimización en computadora.

Cuando no se dispone o es difícil trabajar con materiales multicapa, se recurre al uso de materiales de composición homogénea y de forma piramidal.

En general, se trata de evitar la reflexión de las ondas electromagnéticas y según la teoría de líneas, esto se consigue si la impedancia característica del material es idéntica a la del aire; o sea, 377 ohms . Esto es difícil de lograr en un material laminar; de modo que si el material es piramidal, el vértice de la pirámide presenta una impedancia muy cercana a este valor y la geometría piramidal ofrece la transición gradual de la impedancia al frente de onda, de 377 ohms en la punta de la pirámide, al valor final en la base. De este modo, cuando el campo electromagnético se desplaza en el interior del material, se produce poco rebote y mucha absorción de energía. La dispersión también desempeña un papel en el uso de los compartimentos, ya que las pirámides absorben y dispersan a la vez. El mecanismo que domina depende de la longitud de onda y del grueso del material. En frecuencias más altas la dispersión tiende a dominar, mientras que en frecuencias más bajas la transición de la impedancia es predominante.

El material piramidal tiene la desventaja de que en incidencia oblicua, hay bastante rebote de energía; sin embargo, la onda reflejada tiende a “regresar” a la antena emisora y no se dirige hacia el área donde está la antena en prueba; de modo que si alguna parte de esta onda interfiere con la onda directa, será solo debido a reflexiones múltiples y por consiguiente, de poca intensidad.

2.8.4 TÉCNICAS PARA LA PREDICCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ABSORBENTE

Hay varias técnicas diferentes disponibles para la predicción del funcionamiento de los materiales absorbentes de microondas. Todas son esencialmente equivalentes, aunque algunas satisfacen mejor los propósitos particulares. La técnica más versátil (aunque requiere más trabajo de cómputo) implica modelar el material absorbente como una matriz de transmisión de la amplitud de la onda. El funcionamiento de capas múltiples se obtiene de una matriz que es la multiplicación de las matrices para cada capa. Las ventajas de esta técnica son la capacidad de predecir el funcionamiento cuando la onda no incide normalmente a la superficie del material y la capacidad de predecir la reflectividad del material cuando tiene un soporte de metal y cuando está sin soporte (en el aire) así como la pérdida de inserción y la fase. La desventaja es el tiempo de cómputo pues este método tarda de 2 a 3 veces más que otros métodos, pero esto es irrelevante con las modernas computadoras.

2.8.5 LÍNEA DE TRANSMISIÓN CON PÉRDIDAS

Un método rápido para la determinación de la reflectividad del material absorbente en la incidencia normal es modelar el material absorbente como una línea de transmisión con pérdidas, cuyo dieléctrico tiene los mismos valores de permitividad y permeabilidad (ϵ^* , μ^*) que el material absorbente. La teoría de líneas de transmisión calcula la impedancia de entrada de una línea basándose en los materiales (cobre y dieléctrico) y la impedancia de la carga. Para materiales absorbentes con respaldo de metal, la impedancia de carga para la primera capa vale cero. Con este dato se calcula la impedancia de entrada para la primera capa. Esta impedancia entonces se convierte en la impedancia de la carga para la capa siguiente y así sucesivamente hasta llegar al aire. Para predecir la reflectividad total del material absorbente, la impedancia de entrada para la capa exterior debe ser equivalente a la impedancia del espacio libre.

La ecuación para calcular la impedancia de entrada de una línea de transmisión con pérdidas es:

$$Z_{IN} = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh(\alpha l + j\beta l)}{Z_c + Z_L \tanh(\alpha l + j\beta l)} \quad (2-7)$$

Donde:

Z_{IN} = la impedancia de entrada

Z_L = la impedancia de la carga

l = el grosor de capa

$\alpha - j\beta$ = la constante de propagación (función de μ^* , ϵ^* , y la frecuencia)

Z_c = la impedancia característica = $\sqrt{\frac{\mu^*}{\epsilon^*}}$

Para predecir el funcionamiento (la reflectividad, la pérdida de inserción, la fase) de absorbentes de capa única, se usa la teoría de reflexiones múltiples en medios homogéneos. (Nota: estas ecuaciones también son usadas en la realización del método de la matriz de transmisión antes mencionado). Los coeficientes de reflexión de voltaje de un interfaz simple, para polarización perpendicular y paralela, respectivamente son:

$$r_{\perp}^* = \frac{\mu^* \cos \theta - \sqrt{\mu^* \epsilon^* - \text{sen}^2 \theta}}{\mu^* \cos \theta + \sqrt{\mu^* \epsilon^* - \text{sen}^2 \theta}} \quad (2-8)$$

$$r_{\parallel}^* = \frac{\sqrt{\mu^* \epsilon^* - \text{sen}^2 \theta} - \epsilon^* \cos \theta}{\sqrt{\mu^* \epsilon^* - \text{sen}^2 \theta} + \epsilon^* \cos \theta} \quad (2-9)$$

Donde:

μ^* = la permeabilidad compleja del material (normalizada al espacio libre)
 ϵ^* = la permitividad compleja del material (normalizada al espacio libre)
 θ = el ángulo de incidencia

El grosor eléctrico es independiente de la polarización y está dado por:

$$\phi^* = \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sqrt{\mu^* \epsilon^*} \quad (2-10)$$

Donde:

d = el grosor del material

λ_0 = longitud de onda en el espacio libre

El coeficiente de transmisión de voltaje para una sola capa homogénea está dado por:

$$T^* = \frac{(1 - r^{*2}) e^{-j\phi^*}}{1 - r^{*2} e^{-j2\phi^*}} \quad (2-11)$$

La pérdida de inserción en dB esta dada por:

$$T = 10 \log \frac{1}{|T^*|^2} \quad (2-12)$$

El retraso de fase de inserción es:

$$T' = \frac{2\pi d}{\lambda_0} \cos \theta \quad (2-13)$$

donde T' es la parte imaginaria de T^* .

El coeficiente de reflexión de voltaje para una sola capa (apoyada en el aire) está dado por:

$$R^* = \frac{-r^* (1 - e^{-j2\phi^*})}{1 - r^{*2} e^{-j2\phi^*}} \quad (2-14)$$

El coeficiente de reflexión de voltaje para una sola capa (con respaldo metalico) está dado por:

$$R^* = \frac{r^* - e^{-j2\phi^*}}{1 - r^* e^{-j2\phi^*}} \quad (2-15)$$

La pérdida de reflexión en dB es entonces simplemente:

$$10 \log \frac{1}{|R^*|^2} \quad (2-16)$$

Los valores para el coeficiente de transmisión y de reflexión de voltaje entonces son usados en la matriz de transmisión de amplitud de onda; así:

$$\text{T-matriz} = \begin{bmatrix} 1 & -S_{22} \\ S_{12} & S_{11} \\ S_{11} & (S_{12}^2 - S_{11}S_{22}) \\ S_{12} & S_{12} \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

Para la predicción del rendimiento de múltiples capas, las matrices individuales son multiplicadas para determinar la matriz de transmisión de onda para el conjunto de capas. El rendimiento del material absorbente entonces se puede decidir directamente de los componentes de la matriz resultante. Ver la referencia [5].

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS.

3.1 INTRODUCCIÓN.

El entendimiento de un fenómeno físico involucra un balance entre la teoría y el experimento. Puesto que el análisis teórico que se usa en ingeniería trata de simplificar las situaciones reales, siempre hay diferencias entre la teoría y el mundo real. Así, mientras la teoría es esencial para nuestro entendimiento, las mediciones experimentales determinan el funcionamiento real, pero solo si las mediciones son hechas apropiadamente. En este capítulo se proponen métodos y técnicas para mediciones de algunos de los parámetros de las antenas. Se incluyen procedimientos para obtener el patrón de radiación, la ganancia, la impedancia y la polarización. De acuerdo con la ley de reciprocidad, el mismo patrón será obtenido ya sea si la antena es transmisora o receptora. La reciprocidad no siempre se aplica; de manera que será conveniente en algunos casos, mirar la antena como un receptor y en otros como un transmisor.

3.2 REQUISITO DE LA DISTANCIA PARA FASE UNIFORME.

Tanto si la antena en prueba es transmisora como si es receptora, se necesita que las ondas electromagnéticas utilizadas sean planas. Una onda rigurosamente plana es aquella cuya intensidad y fase solo varían en la dirección de propagación, de manera que dos de sus derivadas sean nulas y la tercera no. Por ejemplo, un campo eléctrico $E(x, y, z)$ será una onda plana que se desliza en dirección z si:

$$\frac{\partial E(x, y, z)}{\partial x} = \frac{\partial E(x, y, z)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial E(x, y, z)}{\partial z} \neq 0$$
(3-1)

Debido a que las ondas electromagnéticas suelen expresarse con números complejos, una derivada igual a cero implica que la onda no debe tener variaciones de magnitud ni de fase.

En la vida real, para que un emisor produzca una onda prácticamente plana, se requiere una de dos cosas: que ésta recorra previamente una distancia infinita, lo cual es incompatible con la ingeniería o que sea producida por un reflector parabólico perfecto alimentado exactamente en su foco. De todas maneras, es necesario establecer criterios para poder utilizar ondas esféricas que puedan ser consideradas como aproximadamente planas.

Para lograr este propósito, supóngase que la antenna que se quiere probar es un arreglo que consiste en un número de elementos lineales en fase según lo sugerido en la figura 3.1a. La anchura o el tamaño físico del arreglo es D . A una distancia infinita perpendicular al centro del arreglo, los campos producidos por todas las partes del arreglo llegarán en fase; sin embargo, a una distancia finita r , el campo del borde del arreglo debe viajar una distancia $r + \delta$ y, por lo tanto, tiene un defasamiento de $2\pi\delta/\lambda$ radianes con respecto al campo producido por el centro del arreglo. Si δ es una fracción bastante grande de una longitud de onda, el patrón medido tendrá una diferencia apreciable con respecto al verdadero patrón del campo lejano. Se obtendrá ahora una expresión para calcular la distancia r mínima que nos permita considerar que todos los campos transmitidos llegan en fase a la antenna receptora.

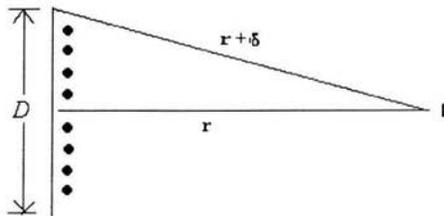


Figura 3.1a. Geometría para encontrar la distancia mínima de prueba de antenas.

Inicialmente, por el teorema de Pitágoras, tenemos:

$$r^2 + 2r\delta + \delta^2 = r^2 + \frac{D^2}{4} \quad (3-2)$$

Si $\delta \ll D$ y $\delta \ll r$

$$r \cong \frac{D^2}{8\delta} \quad (3-3)$$

Tabla 3-1 Valores tolerables de la diferencia de fase.

Diferencia de fase máxima tolerable (grados)	δ	k
5	$\frac{\lambda}{72}$	9
10	$\frac{\lambda}{36}$	4.5
22.5	$\frac{\lambda}{16}$	2
30	$\frac{\lambda}{12}$	1.5
45	$\frac{\lambda}{8}$	1

Por lo tanto, la distancia mínima r depende del valor máximo de δ el cual puede ser tolerado. Algunos expertos recomiendan que δ sea igual o menor que $\lambda/16$. Entonces

$$r \geq 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (3-4)$$

En general, el factor constante [que vale 2 en la expresión (3)] puede ser representado por k . Por lo tanto,

$$r \geq k \frac{D^2}{\lambda} \quad (3-5)$$

La diferencia de fase es igual a $360^\circ \delta/\lambda$, la cual para $\delta = \lambda/16$ es 22.5° . En algunos casos especiales se pueden tolerar diferencias de fase de más de 22.5° y en otros casos se puede pedir mayor precisión; o sea, errores menores de

22.5°. La tabla 3.1 da el factor constante k en (3-5) para 5 valores de diferencia de fase tolerable.

De acuerdo con la expresión (3-5), la distancia mínima de la medición es una función tanto de la apertura de la antena D como de la longitud de onda λ . En el caso de las antenas de gran apertura física y pequeña longitud de onda, pueden requerirse distancias grandes; por ejemplo, considérese una antena para 3 GHz con una medida física de 20m; tomando $k = 2$, obtenemos para la distancia mínima $r = 4 \text{ km}$. En este caso, el patrón de radiación de campo lejano es muy difícil de obtener, ya que sería necesario disponer de un terreno plano de cuando menos 8 Km de radio y que no exista en el ámbito alguna otra señal de la misma frecuencia que pudiera causar interferencias.

Para solucionar este problema, se puede hacer uso de un artificio, que consiste en tomar mediciones de campo cercano y convertirlas a campo lejano. Esto se puede hacer utilizando el principio fundamental que dice que el campo lejano y la distribución de apertura están relacionados por expresiones similares a la transformada de Fourier; de modo que si $E(\text{sen}\phi)$ es el patrón de campo lejano y $E(x_\lambda)$ es la distribución de apertura:

$$E(\text{sen}\phi) = \int_{-\infty}^{\infty} E(x_\lambda) e^{j2\pi x_\lambda \text{sen}\phi} dx_\lambda \quad (3-6)$$

$$E(x_\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\text{sen}\phi) e^{-j2\pi x_\lambda \text{sen}\phi} d(\text{sen}\phi) \quad (3-7)$$

En la figura 3.1b se han representado seis ejemplos de distribución de apertura y sus correspondientes gráficas de campo lejano, que son totalmente equivalentes a las funciones de tiempo y sus transformadas de Fourier, ver [1].

3.3 REQUISITO DE AMPLITUD DE CAMPO UNIFORME

Otros requisitos son:

- a) Que el campo electromagnético en la zona del blanco (volumen que contiene la antena o el objeto bajo prueba) no tenga ahusamiento; o sea, que se propague en forma de rayos paralelos.

- b) Que no tenga grandes ondulaciones de amplitud.
 c) Que tenga pureza espectral y pequeña cros-polarización.

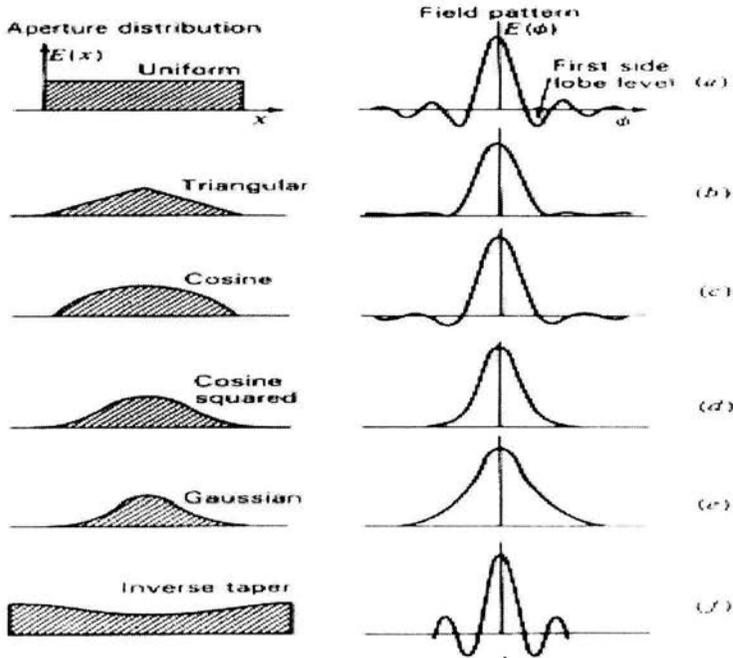


Figura 3.1b Algunas distribuciones de apertura y sus correspondientes patrones de campo lejano.

En mediciones al aire libre, las variaciones del campo se pueden producir por la interferencia de la onda directa con las ondas reflejadas de la tierra, como en la figura 3.2, o de otros objetos.

El efecto de la reflexión de tierra puede ser reducido usando una antena que transmita en forma direccional y colocando ambas antenas en torres como en la figura 3.3a o acercar a los bordes de edificios adyacentes como en la figura 3.3b.

De esta manera la onda reflejada por el terreno tendrá poca probabilidad de llegar a la antena receptora.

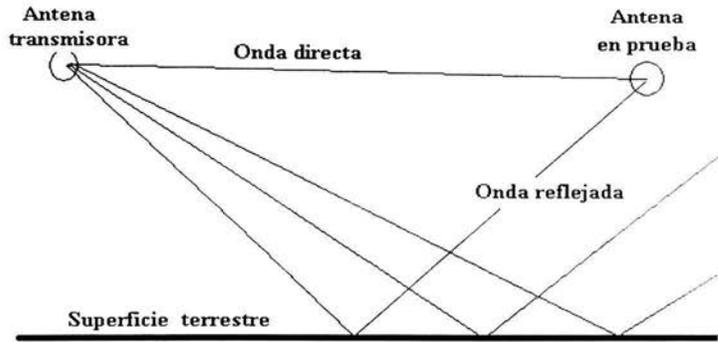


Figura 3.2 Interferencia entre las ondas directa y reflejada.

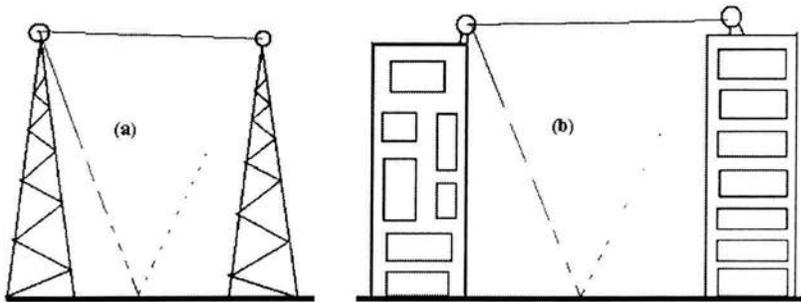


Figura 3.3 Desvanecimiento de la onda reflejada por la superficie terrestre.

Con tales arreglos la amplitud de la onda reflejada se reduce puesto que la longitud de la trayectoria de esta es considerablemente mayor que la longitud de trayectoria de la onda directa; sin embargo, si alguna potencia reflejada logra llegar a la antena receptora, se presenta un fenómeno curioso: al variar la altura de las antenas con respecto al terreno, la intensidad de campo recibido aumenta y disminuye alternativamente, como se aprecia en la figura 3.4. Esto es debido a que la fase entre la señal directa y la reflejada puede variar entre cero y 180° dependiendo de la altura con respecto al suelo.

El requisito de la distancia que ha sido establecido es a veces tan grande que la altura de las torres puede ser impráctica.

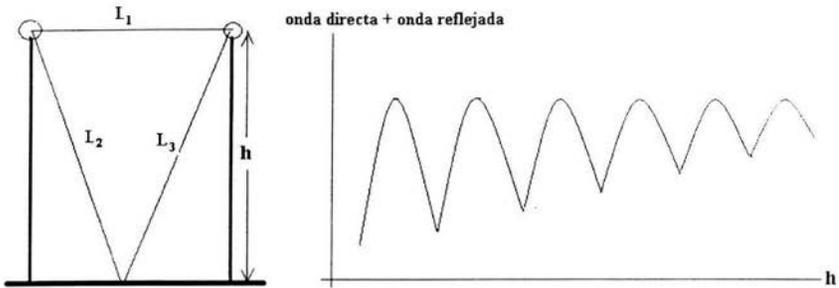


Figura 3.4 Suma de las ondas incidente y reflejada en función de la altura de las antenas sobre el nivel del suelo

. En este caso, la antena de prueba se puede situar en una región de intensidad de campo máxima tal como las alturas h_1 o h_2 en la figura 3.5. Este arreglo tiene la limitación de que la altura de la antena de prueba puede necesitar ajustes al cambiar la frecuencia de la señal de prueba.

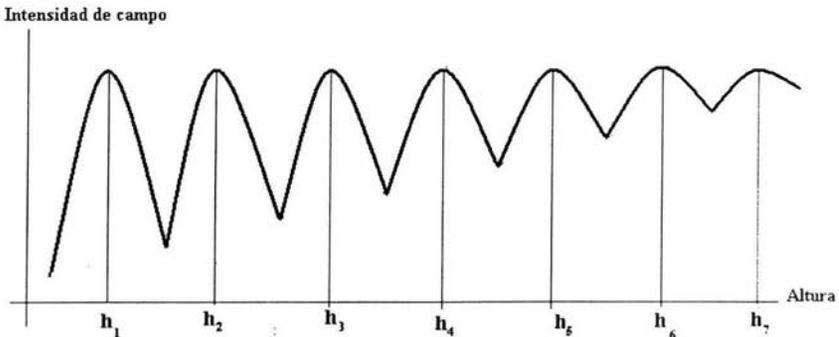


Figura 3.5 Alturas en la que la intensidad del campo es mínima.

3.4 MECANISMOS DE PRUEBA

En resumen, las pruebas de comportamiento de antenas deben realizarse con una onda plana, de intensidad, fase, frecuencia y polarización constantes en todos sus puntos, sin interferencias ni reflexiones especulares, y para lograr esto en la superficie terrestre, se cuenta con dos mecanismos: el reflector parabólico y la cámara anecoica.

Si la frecuencia de la señal de prueba es lo suficientemente alta para utilizar una antena de corneta, el reflector parabólico nos asegura un razonable

cumplimiento de las condiciones impuestas en el párrafo anterior. En la figura 3.6 se ha representado el mecanismo de prueba adecuado para este rango de frecuencias.

En la figura 3.7 se presenta otro posible arreglo de los componentes del sistema de prueba.

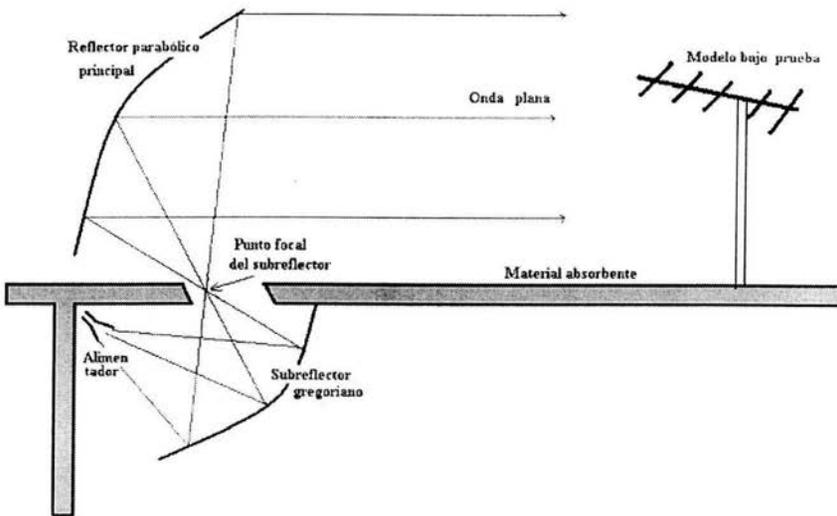


Figura 3.6 Dispositivo para generar ondas planas.

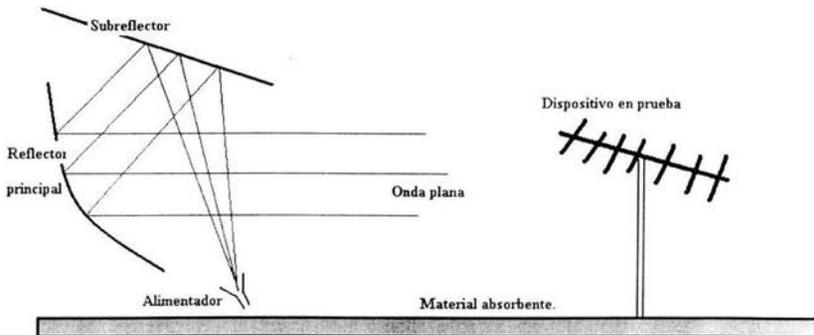


Figura 3.7 Otro arreglo para producir ondas planas.

Como se puede ver, existen varias soluciones para este problema; de modo que la selección de la más adecuada depende de las condiciones particulares de cada cliente.

Si el sistema produce ondas aceptablemente planas, el recinto de pruebas puede simplificarse, ya que no habrá reflexiones en las paredes laterales, techo y piso y solo habrá que instalar un eficiente amortiguador en la pared del fondo de la cámara.

En el caso de que se trabaje con frecuencias bajas, en las que no se pueda utilizar el reflector parabólico, se deberá recurrir a una antena especial cuya superficie de emisión sea adecuadamente grande, tal como la representada en la figura 3.8.

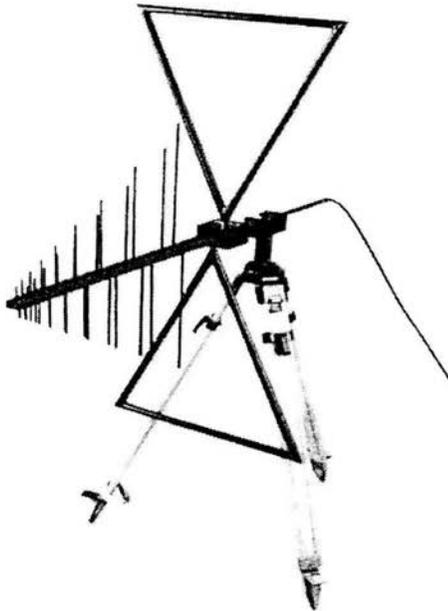


Figura 3.8 Antena de banda ancha.

Este dispositivo, tiene la ventaja adicional de que puede emitir una intensidad de campo razonablemente constante sobre un gran rango de frecuencias.

En el caso de que no se disponga de un espacio abierto con estructuras de soporte adecuadamente altas para reducir la reflexión producida por el terreno, es absolutamente necesario disponer de un recinto anecoico cubierto en su totalidad de material absorbente.

3.5 PRUEBAS A LAS ANTENAS

Una vez dispuesto el ámbito de pruebas (espacio abierto o cámara anecoica) pasaremos a explicar las pruebas a realizar a las antenas, así como el método a seguir.

En concreto, se realizan tres pruebas básicas:

- 1.- Respuesta a la frecuencia.
- 2.- Ganancia isotrópica.
- 3.- Patrón de radiación

3.5.1 RESPUESTA A LA FRECUENCIA

Cronológicamente, la primera prueba es la de respuesta a la frecuencia, la cual nos permite determinar cual o cuales son las frecuencias óptimas de operación de nuestra antena en prueba.

En este caso se tienen dos opciones: la primera consiste en utilizar una antena patrón como transmisora y la antena en prueba como receptora y la segunda opción consiste en utilizar dos antenas similares.

En el primer caso, se debe tener la seguridad de que la antena patrón tiene una respuesta a la frecuencia prácticamente plana o disponer de los factores de corrección proporcionados por el fabricante, ya que, como es sabido, la ganancia de un conjunto de dispositivos en cascada es el producto de las ganancias individuales. En este caso, los dispositivos considerados son: la antena transmisora, el espacio y la antena receptora, de manera que es necesario que los dos primeros tengan una ganancia constante en función de la frecuencia para que estos factores se puedan descontar de la respuesta total.

En el segundo caso, recordemos la fórmula de Friis, que se anota a continuación:

$$G_1 G_2 = \left(\frac{4\pi S}{\lambda} \right)^2 \frac{P_{rec}}{P_{tra}} \quad (3-8)$$

según la cual, la ganancia de un par de antenas es el producto de las dos ganancias. De acuerdo con lo anterior, si las dos antenas son iguales, el primer miembro de la expresión se convierte en G^2 , con lo que, ya no tenemos que depender de la veracidad de los parámetros de la antena patrón.

El procedimiento a seguir para obtener la respuesta a la frecuencia es muy sencillo; consiste en alimentar señal de R.F. a una de las antenas y conectar la otra a un medidor de potencia tal como se aprecia en la figura 3.9. Las antenas deben estar orientadas de manera que la antena receptora capte la mayor intensidad de señal y la distancia entre ellas debe ser tal, que satisfaga los requisitos establecidos para tener una onda razonablemente plana.



Figura 3.9 Arreglo para probar antenas.

El siguiente paso consiste en hacer que la fuente de energía de R.F. realice un barrido de frecuencia que abarque todo el rango de interés; obteniéndose en el medidor de potencia los datos suficientes para trazar una gráfica similar a la de la figura 3.10. Esta puede tener escala horizontal lineal o logarítmica y escala vertical en watts o en dBm. Así mismo, existen equipos o software que pueden realizar este proceso automáticamente, de manera que el operador humano solo tiene que dar la orden de arranque y esperar a que la impresora entregue la correspondiente gráfica.

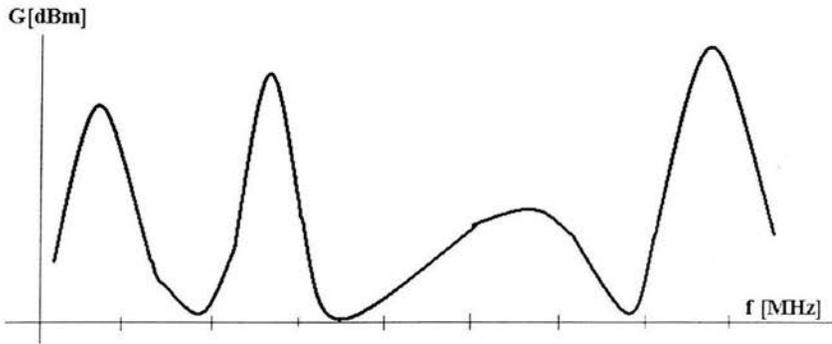


Figura 3.10 Gráfica a la respuesta a la frecuencia de una antena.

Regresando a la figura 3.10, podemos decir que los máximos ahí representados corresponden a frecuencias donde la antena tiene su funcionamiento óptimo, mientras que los mínimos corresponden a frecuencias de utilización prohibida, ya que la potencia recibida es extremadamente baja.

3.5.2 GANANCIA ISOTRÓPICA

La obtención de la ganancia de la antena en prueba se puede obtener con gran facilidad y una razonable precisión si se dispone de dos antenas de prueba técnicamente iguales, ya que basta con aplicar potencia de R.F. a la primera y registrar la potencia recibida por la segunda utilizando para esto el arreglo mostrado en la figura 3.9. Con esto, solo es necesario aplicar la fórmula de Friis (ver [1] y [3]); anteriormente anotada, que se repite a continuación:

$$G_1 G_2 = \left(\frac{4\pi S}{\lambda_0} \right)^2 \frac{P_{rec}}{P_{tr}} \quad (3.8)$$

Si las dos antenas son iguales, $G_1 = G_2 = G^2$

S es la distancia entre antenas medida en metros.

$\lambda_0 = c/f$ es la longitud de onda en el vacío en metros.

El valor obtenido con esta fórmula es adimensional y podemos expresarlo en dB, calculando:

$$G_{dB} = 10 \log G \quad (3-9)$$

3.5.3 PATRÓN DE RADIACIÓN

La siguiente prueba nos permitirá obtener el patrón de radiación de la antena. Esta medición puede ser realizada a la frecuencia óptima dada por la gráfica de la figura 3.10 o a la frecuencia que pida el cliente.

Si la frecuencia que vamos a utilizar es arriba de 1 GHz podemos generar la onda plana con el reflector parabólico, como en las figuras 3.6 o 3.7; de lo contrario, se debe recurrir a una antena emisora como la de la figura 3.8 y satisfacer el requisito de distancia para tener una onda razonablemente plana en la antena de prueba.

Cumplidas estas condiciones, el operador humano deberá decidir cuantas posiciones angulares ocupará la antena receptora, de manera que en cada una de ellas se realice una lectura de potencia recibida. Generalmente, la antena receptora debe girar 360°, pero esto no es obligatorio, ya que depende del interés del operador, del tipo de antena en prueba y de las condiciones ambientales.

Es frecuente que solo se requiera el patrón de radiación en un solo plano, de modo que bastará con una sola rotación de la antena; de lo contrario, se requerirá un mecanismo que permita a la antena girar en cualquier posición, que es como se obtuvo la gráfica de la figura 2.4.

La tabla 3.2 nos muestra como deben registrarse los datos obtenidos.

La primera columna es la de las posiciones angulares. En la segunda columna se registran las lecturas de potencia recibida, que en este caso son en dBm pero pueden ser directamente en watts. En la tercera columna se han anotado los valores de potencia normalizados a cero dBm. Esta última columna se ha obtenido restando a todos los valores de la segunda columna el valor más alto contenido en ella. Si la segunda columna estuviera en watts, la tercera columna se obtendría dividiendo los valores de la segunda columna entre el valor más alto contenido en ella.

El siguiente paso es realizar la gráfica del patrón de radiación que es en forma polar (r, θ). La escala radial, que en este caso será en dBm, tiene su mayor valor (0 dBm) en la circunferencia exterior y su valor menor (que debe ser negativo) cerca del centro.

Esto se ilustra en la gráfica de la figura 3.11.

Tabla 3.2 Registro de los datos para obtener el patrón de radiación.

Ángulo Grados	Potencia dBm	Potencia Normalizada
0	-10	0
20	-30	-20
40	-50	-40
60	-40	-30
80	-20	-10
100	-20	-10
120	-30	-20
140	-30	-20
160	-30	-20
180	-30	-20
200	-30	-20
220	-30	-20
240	-30	-20
260	-20	-10
280	-20	-10
300	-40	-30
320	-50	-40
340	-30	-20
360	-10	0

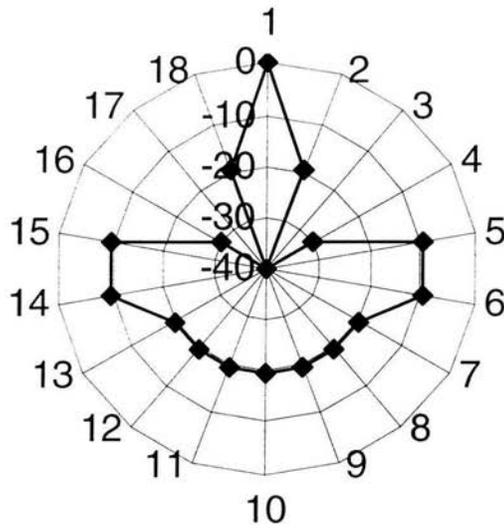


Figura 3.11 Patrón de radiación correspondiente a la tabla 3.2.

Una última prueba debe realizarse para determinar la magnitud de la cros polarización.

Esta consiste en que estando la antena en prueba en su posición de máxima recepción, se gira 90° su plano de polarización. En esta posición, en la que teóricamente su recepción debe ser nula, se mide la potencia recibida y se obtiene su relación con respecto a la máxima potencia recibida. Si las lecturas se hacen en dBm esta relación es simplemente la diferencia de los valores:

$$\text{Cros polarización} = dBm(0^\circ) - dBm(90^\circ) \quad [dB] \quad (3-10)$$

Utilizando el patrón de radiación de nuestra antena podemos calcular algunos parámetros:

- ❖ Ancho de haz.
- ❖ Directividad.
- ❖ Relación frente-atrás.

Así mismo, si se dispone del patrón de radiación teórico, se puede determinar si la antena que se ha probado coincide razonablemente con el funcionamiento esperado; sobre todo, en lo que respecta a los lóbulos laterales, que generalmente se desea minimizar su magnitud.

CAPÍTULO 4

SOLUCIONES AL PROBLEMA DEL RECINTO DE PRUEBAS

4.1 INTRODUCCIÓN

Después de diseñar una antena, viene el proceso de construirla. Muchas veces, el cliente recibe el prototipo, paga y se retira; pero a menudo, pide que se realicen pruebas a la antena para estar seguro de que le están entregando lo que pidió.

Dado este caso, al diseñador se le presentan dos posibilidades: probar la antena en el sitio de su instalación final o probarla en un laboratorio. La primera opción es realizable si la ubicación de la antena es accesible, cosa no muy frecuente; por lo tanto, las pruebas en laboratorio son las que se realizan con mayor frecuencia.

En el análisis teórico de las antenas, resulta un cierto número de parámetros que son válidos si se considera a la antena como si estuviera flotando en el espacio libre, sin que existan cuerpos o materiales a su alrededor; de manera que para verificar que tales parámetros se cumplen, se debe construir un laboratorio cuyas características electromagnéticas sean idénticas a las tal espacio. Esto se logra con las cámaras anecoicas, pero existe la posibilidad de simular matemáticamente tales condiciones y este es el objetivo número uno del presente capítulo. El segundo objetivo es describir las configuraciones básicas de las cámaras anecoicas.

4.2 MÉTODO PROPUESTO

El procedimiento para simular matemáticamente la cámara anecoica consiste en utilizar tres antenas: las dos primeras, que llamaremos “antenas de referencia”, deben ser iguales y tener un patrón de radiación teórico conocido (en la figura 4.1 se ilustra una de estas gráficas) y la tercera es la que se desea probar y llamaremos precisamente “antena en prueba”. Además, se requiere

disponer de un recinto cerrado, que será el “laboratorio”. A continuación se explicará la fundamentación matemática para obtener el patrón de radiación de la antena en prueba.

El primer paso consiste en medir la potencia recibida por la antena de referencia situada dentro del laboratorio. Para esto, una de las dos antenas de referencia se alimenta con la señal eléctrica que se quiere transmitir y la otra se conecta a un medidor de potencia de radiofrecuencia. Esta última deberá desplazarse al rededor de la primera sobre una circunferencia, de forma tal que se pueda realizar un cierto número de lecturas de potencia recibida (usualmente no menos de 360). A este conjunto de valores, le llamaremos $M_R(\varphi_i)$, como se aprecia en la figura 4.2.

Una variante del procedimiento consiste en mantener estática la antena receptora y rotar la antena transmisora sobre su poste de soporte en el centro de la circunferencia.

Ahora, se establece la siguiente igualdad:

$$M_R(\varphi_i) = \sum_{j=0}^{N-1} P(\varphi_j) G_R(\varphi_{j-i}) \quad i = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4-1)$$

En la que:

$M_R(\varphi_i)$ ya fue definido.

$G_R(\varphi_{j-i})$ es el patrón de radiación teórico de la antena de referencia.

$P(\varphi_j)$ es un conjunto de coeficientes hasta ahora desconocidos.

Para conocer los valores de $P(\varphi_j)$ se establece el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} M_R(\varphi_0) &= P(\varphi_0)G_R(\varphi_0) + P(\varphi_1)G_R(\varphi_1) + \dots + P(\varphi_{359})G_R(\varphi_{359}) \\ M_R(\varphi_1) &= P(\varphi_0)G_R(\varphi_{359}) + P(\varphi_1)G_R(\varphi_0) + \dots + P(\varphi_{359})G_R(\varphi_{358}) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ M_R(\varphi_{359}) &= P(\varphi_0)G_R(\varphi_1) + P(\varphi_1)G_R(\varphi_2) + \dots + P(\varphi_{359})G_R(\varphi_0) \end{aligned} \quad (4-1a)$$

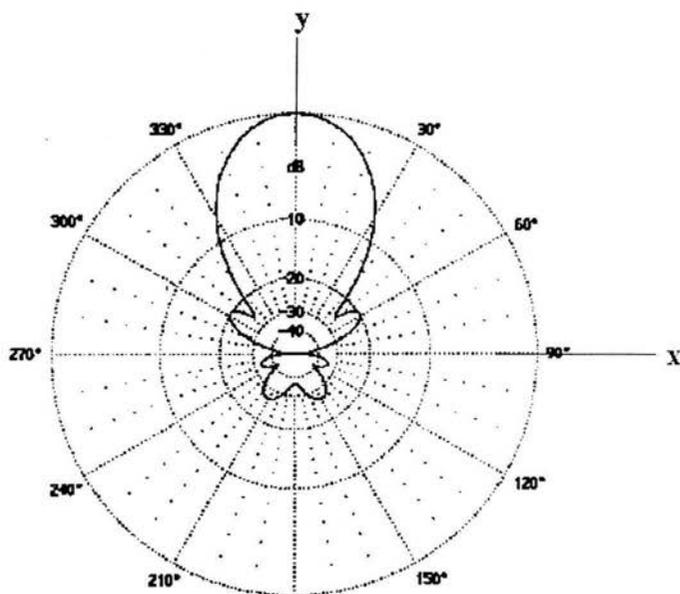


Figura 4.1 Diagrama de radiación de la antena de referencia.

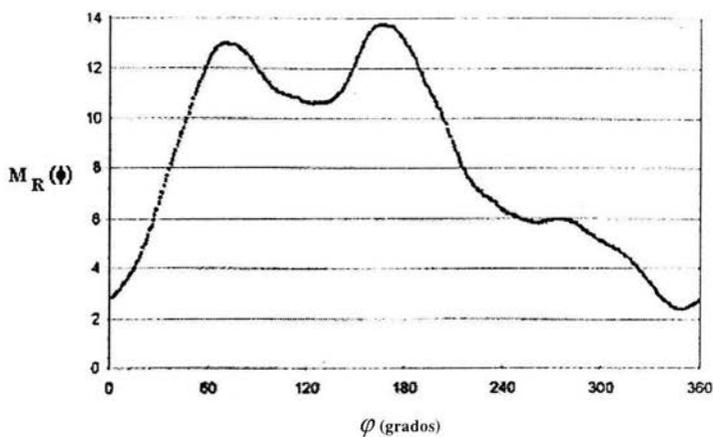


Figura 4.2 Valores medidos de la potencia de RF de la antena de referencia.

Los valores estimados de $P(\varphi_j)$ se muestran en la figura 4.3.

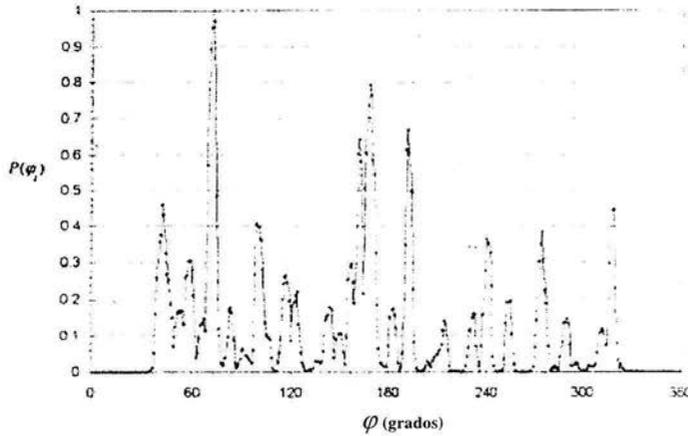


Figura 4.3 Valores estimados de la potencia de RF recibida por la antena de referencia.

El segundo paso consiste en colocar la antena en prueba en lugar de la antena transmisora y realizar el desplazamiento de la antena receptora para obtener otro conjunto de lecturas de potencia recibida, que llamaremos $M_T(\varphi_i)$, como lo observamos en la figura 4.4. Entonces se establece la siguiente igualdad:

$$M_T(\varphi_i) = \sum_{j=0}^{N-1} P(\varphi_j)G_T(\varphi_{j-i}) \quad i = 0,1,2 \dots N-1 \quad (4-2)$$

Donde:

$M_T(\varphi_i)$ es el conjunto de lecturas de potencia recibida por la antena bajo prueba.

$G_T(\varphi_{j-i})$ es el patrón de radiación de la antena en prueba.

$$\begin{aligned} M_T(\varphi_0) &= P(\varphi_0)G_T(\varphi_0) + P(\varphi_1)G_T(\varphi_1) + \dots + P(\varphi_{359})G_T(\varphi_{359}) \\ M_T(\varphi_1) &= P(\varphi_0)G_T(\varphi_{359}) + P(\varphi_1)G_T(\varphi_0) + \dots + P(\varphi_{359})G_T(\varphi_{358}) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ M_T(\varphi_{359}) &= P(\varphi_0)G_T(\varphi_1) + P(\varphi_1)G_T(\varphi_2) + \dots + P(\varphi_{359})G_T(\varphi_0) \end{aligned} \quad (4-2a)$$

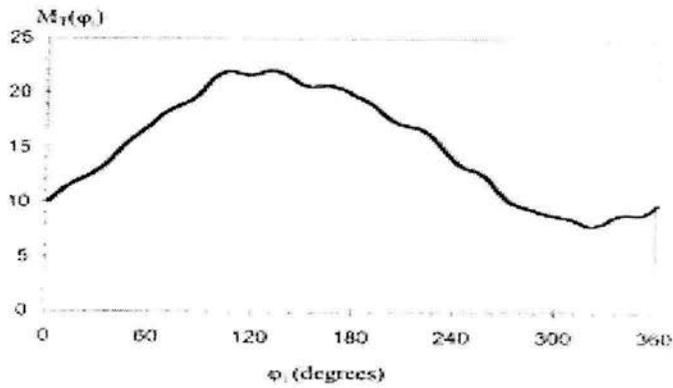


Figura 4.4 La potencia de RF recibida por la antena bajo prueba.

Evidentemente, en este caso, las incógnitas son los valores de $G_T(\varphi_{i-1})$, que despejados y graficados en función de φ , nos dan el patrón de radiación tan afanosamente buscado, mostrado en la figura 4.5.

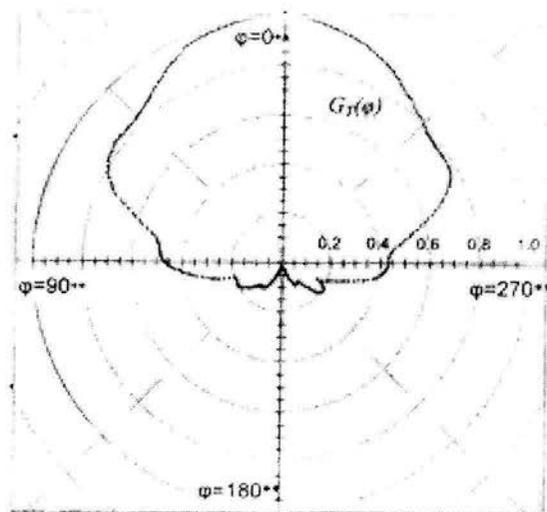


Figura 4.5 Diagrama de radiación obtenido para la antena bajo prueba.

Con este procedimiento, quedan compensados los efectos de las paredes, piso, techo y objetos inmóviles existentes dentro del laboratorio. Ver [8] y [9].

Es necesario aclarar, que la prueba aquí descrita es válida para una sola frecuencia, como es usual en los patrones de radiación. Esto se aplica a los valores de $P(\varphi_j)$; los cuales podrán ser usados para probar cualquier otro tipo de antena, en el mismo laboratorio y a la misma frecuencia.

4.3 CONDICIONES DE LOS COMPARTIMIENTOS ANECOICOS

En este tipo de recintos se deben cumplir varias condiciones:

- 1.- No deben llegar ondas electromagnéticas desde el exterior.
- 2.- Su longitud y anchura deben ser tales que aseguren que la antena receptora sea iluminada por una onda plana.
- 3.- Debe ser posible girar la antena receptora 360° en cualquier plano.
- 4.- Las paredes, piso y techo del recinto deben absorber cualquier onda electromagnética que incida sobre ellas, especialmente las paredes que están situadas atrás de las antenas.

La primera condición se satisface construyendo un recinto totalmente metálico, sin ventanas y cuyas puertas, también metálicas, al estar cerradas deben hacer contacto eléctrico con las paredes.

La segunda condición está en función de la gama de frecuencias a las que debe operar la cámara ya que la distancia mínima para producir una onda plana está en función de la longitud de onda de la señal radiada. Por ejemplo, para trabajar a 1 GHz la longitud de onda es de 0.3 metros y si $D=1$ metro, de acuerdo con la fórmula número 3-4, la distancia mínima para cumplir con la condición es de 6.66 metros. En cambio, para trabajar a una frecuencia de 30 GHz, con $D=0.1$ metros, la distancia entre antenas debe ser de 2 metros.

Para cumplir con la tercera condición se requiere un mecanismo muy especial, llamado "scanner" consistente en una estructura de material no metálico, en la que por medio de servomotores se pueda hacer que la antena en prueba se posicione y gire en cualquier plano deseado. En las figuras 4.5a y 4.5b se puede ver un scanner cilíndrico, en el que la antena en prueba puede moverse verticalmente y rotar en un plano horizontal.

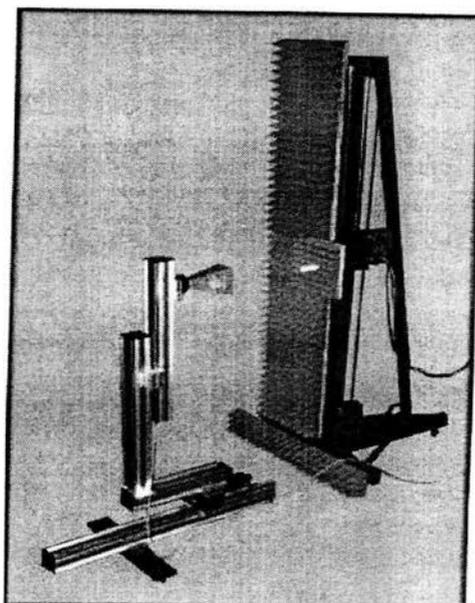


Figura 4.5a Scanner cilíndrico.

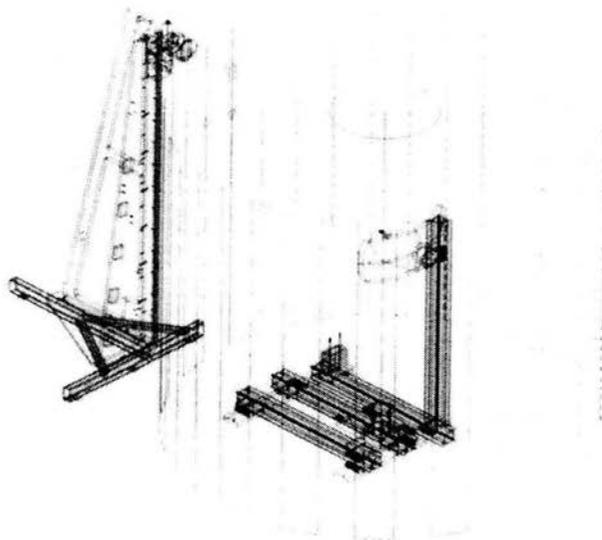


Figura 4.5b Diagrama de movimientos del scanner cilíndrico.

En las figuras 4.6a y 4.6b se muestra un scanner esférico, en el que la antena puede girar en cualquier plano y a diferentes alturas. Para pruebas más sencillas, se dispone de scanners verticales.

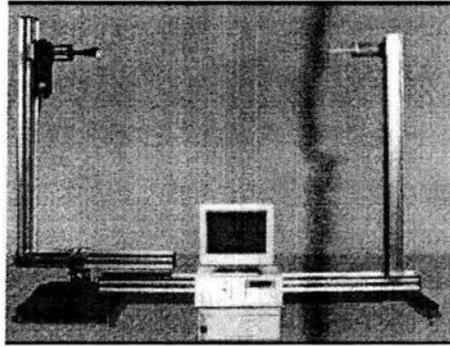


Figura 4.6a Scanner esférico.

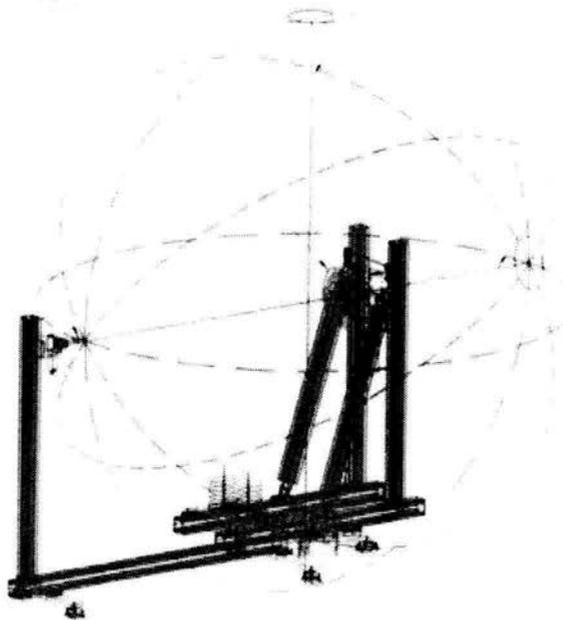


Figura 4.6b Diagrama de movimientos del scanner esférico.

La cuarta condición, requiere revestir las caras del recinto con un material que convierta la energía electromagnética incidente en calor. Este material recibe diferentes nombres, tales como absorbente o amortiguador electromagnético.

Se supone que un material amortiguador debe operar a cualquier frecuencia y con cualquier ángulo de incidencia de la onda electromagnética, pero esto es un anhelo inalcanzable, ya que sucede precisamente lo contrario. Sin embargo, con diferentes “trucos” se puede lograr aproximadamente el funcionamiento deseado, tal como se verá en los capítulos 5 y 6.

CAPÍTULO 5

MATERIALES ABSORBENTES ELECTROMAGNÉTICOS

5.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales absorbentes electromagnéticos, también conocidos como amortiguadores electromagnéticos, usados en instalaciones anecoicas de prueba, toman muchas formas, dependiendo del propósito de la instalación y la frecuencia de operación. Las dos más comunes son los absorbentes dieléctricos usados en la gama de frecuencias de las microondas y los absorbentes de ferrita usados en la gama de frecuencias más bajas. Los materiales absorbentes dieléctricos fueron cronológicamente los primeros en utilizarse en la construcción de compartimientos anecoicos durante los años 940. Estas cámaras primitivas fueron forradas con pelo de caballo impregnado con una solución conductora del carbón. En los años 950 se encontró que la espuma de poliuretano (hule espuma) es un buen material de soporte para la solución conductora, y en ese tiempo, se desarrollaron las estructuras piramidales actualmente en uso. En los años 970, esta espuma absorbente fué el material primario esencial para el revestimiento de los compartimientos anecoicos. Entonces ocurrieron muchos incendios, los cuales obligaron a las autoridades (en USA) a promover el desarrollo de materiales retardantes de la combustión. Al final de los 980, hubo mucho interés por las pruebas a baja frecuencia en cámaras anecoicas. El material disponible entonces, tenía forma de largas pirámides de material absorbente cubriendo las paredes del recinto para crear un ambiente de pruebas aceptable. Estas instalaciones eran muy costosas, y solamente las compañías más grandes podían costearlas. Cuando la demanda de las instalaciones aumentó, se desarrollaron otras soluciones, como el material impregnado de ferrita. En la actualidad, hay miles de cámaras anecoicas al rededor del mundo construidas con diversas tecnologías.

5.2 MATERIALES ABSORBENTES DE MICROONDAS.

5.2.1 ABSORBENTES PIRAMIDALES

Todos los materiales anotados en este apartado, tienen la forma de pirámides de base cuadrada y su altura es variable, dependiendo del rango de frecuencias de operación.

5.2.1.1 ESPUMA SÓLIDA

La mayoría de los fabricantes de compartimientos anecoicos electromagnéticos ofrecen un producto estándar del material absorbente de microondas, que es de forma piramidal. El producto es, tal como ya se mencionó, espuma de poliuretano impregnada de carbón. Este último puede ser carbón mineral o alguna otra forma alotrópica, tal como el grafito. Para resolver los requisitos actuales de seguridad, al hule espuma se le adicionan productos químicos retardantes del fuego. El uso primario de este material está en la construcción de los compartimientos anecoicos, o para cubrir equipos de prueba. Este material es el que ofrece el mejor funcionamiento en banda ancha ya sea en incidencia normal o incidencia oblicua.

Los fabricantes de material anecoico pueden proporcionar estructuras piramidales tan pequeñas como 5 centímetros de alto y tan largas como 3.7 metros. El producto viene generalmente en gruesos estándares. Los cortes especiales se hacen a menudo para los usos específicos. La tabla 5.1 resume los materiales piramidales más comunes disponibles. Dos de las geometrías que están disponibles son: la pirámide de base cuadrada mostrada en la figura 5.1, y la pirámide de doble pendiente ilustrada en la figura 5.2. Esta última se utiliza para las pirámides más grandes donde los hombros de la pirámide ayudan a soportar la carga de la geometría cantiliver. Esto se puede ver en la figura 5.3. La pirámide de doble pendiente se utiliza comúnmente en los rincones de las cámaras donde los materiales absorbentes son hasta de 1.8 metros de largo.

Debido al carbón, el producto es originalmente negro pero se suele cubrir con una pintura azul del látex para mejorar ligeramente la reflexión. A 95 Gigahertz, la pintura puede degradar la reflectividad del material absorbente tanto como 5 dB, así que las extremidades a menudo se dejan sin pintar en

Tabla 5.1 Funcionamiento de los amortiguadores piramidales.

Tipo	Altura cm	Peso Kg.	Puntas por bloque	Reflectividad en incidencia normal, 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	61	7.7	9		30	35	40	45	50	50	50	50	>45
P-36	91	10.9	4		35	37	42	50	50	50	50	50	>45
P-48	121	17	2	28	35	40	50	50	50	50	50	50	>45
P-72	182	23	1	33	40	45	50	50	50	50	50	50	>45

Nota: Las dimensiones de la base son 0.61 m². El rango de potencia es 0.08 W/m²

compartimientos donde se realizan pruebas a tales frecuencias. También se ha encontrado que si las extremidades se dejan sin pintar, reduce al mínimo la fractura de la extremidad debido al desgaste y al rasgón encontrados en operaciones normales del compartimiento. La espuma absorbente no es muy robusta y requiere un trato cuidadoso, especialmente cerca de las puertas y de otras áreas de tráfico intenso.



Figura 5.1 Geometría del material absorbente piramidal estándar (Photograph courtesy of Advanced ElectroMagnetics, Inc., Santee, CA.)



Figura 5.2 Geometría del amortiguador de doble pendiente.

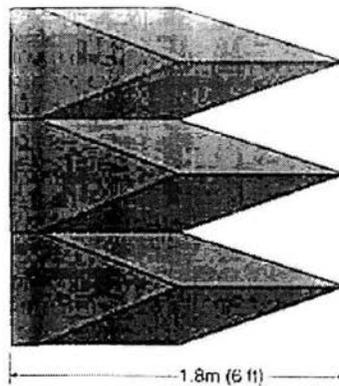


Figura 5.3 Una pila del material absorbente piramidal de doble pendiente.

Uno de los dos parámetros que nos interesan es la reflectividad del material en incidencia normal, que se indica en dB. Generalmente, esta información se

proporciona en tablas, en las que se consigna la reflectividad en función del espesor del material y la frecuencia (véase la tabla 5.1)

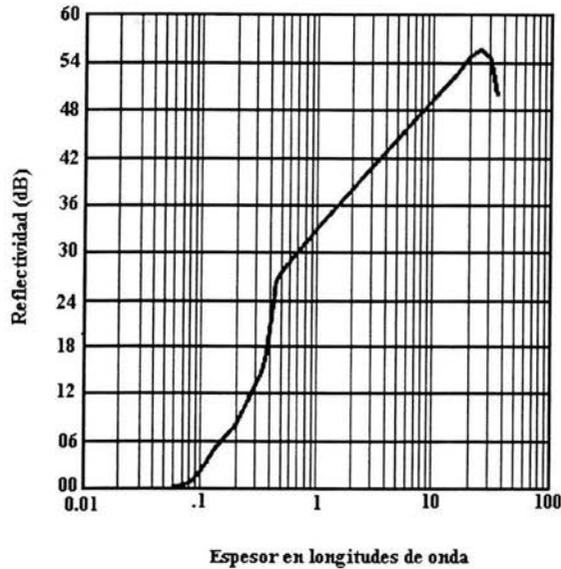


Figura 5.4 Funcionamiento de la reflectividad de incidencia normal de materiales absorbentes piramidales.

La figura 5.4 muestra el funcionamiento típico de los materiales piramidales. La pendiente de las curvas es aproximadamente de 6 dB por octava, igual que un filtro de primer orden. Es también la misma pérdida que experimenta en espacio libre un frente de onda cuando se duplica la distancia o la frecuencia. Cuando el espesor del material absorbente es menor que una longitud de onda, la reflectividad cae y se acerca a 0 dB muy rápidamente.

Cuando el material absorbente es grueso y grande en términos de longitudes de onda, el frente de onda incidente comienza a dispersarse y la reflectividad del material absorbente disminuye. La caída es una función de la relación de aspecto (altura/base) y de la naturaleza del material conductor mezclado con el soporte de poliuretano. La experiencia ha demostrado que la curva en la figura 5.4 es lograda con una cierta proporción de carbón. Cuando la conductividad es demasiado grande (es decir, cuando la proporción de carbón es alta),

entonces la reflectividad disminuye al aumentar el espesor del material. Si la proporción de carbón es pequeña, la reflectividad disminuye, pero conserva la proporcionalidad en función del grueso del material.

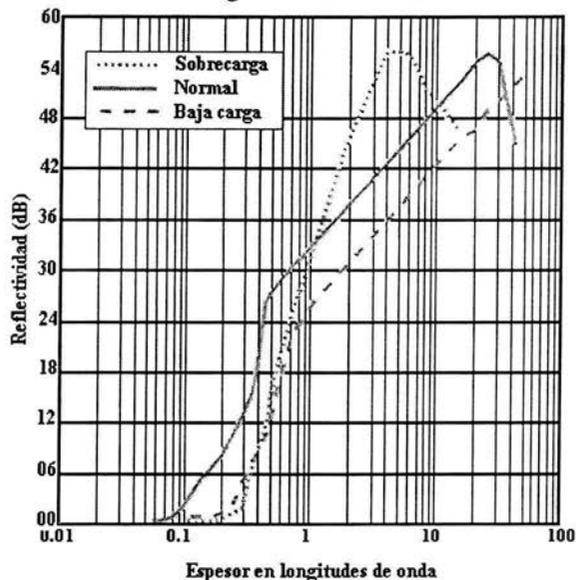


Figura 5.5 Efecto de las variaciones de la proporción de carbón/poliuretano en el funcionamiento de materiales absorbentes piramidales.

Otra característica importante del funcionamiento electromagnético de los materiales, es la reflectividad a grandes ángulos de incidencia. Esto es especialmente importante para determinar el funcionamiento de la dispersión hacia adelante en compartimientos anecoicos. La industria ha desarrollado un gráfico (figura 5.6) del funcionamiento del material absorbente donde se muestra la reflectividad en función del espesor del material y el ángulo de incidencia. Se puede ver que conservando el espesor constante, la reflectividad disminuye al aumentar el ángulo de incidencia. Este es un aspecto que hay que tener en cuenta, ya que la onda electromagnética va a incidir oblicuamente en el techo y las paredes laterales de la cámara anecoica.

En la gráfica, solo se han representado curvas para el rango de ángulos de incidencia de 50° a 70° , ya que debido a la relación ancho/alto de las cámaras

más usuales, estos son los ángulos de incidencia que pueden causar más dificultades en las mediciones. Esto se puede ver en la figura 5.7.

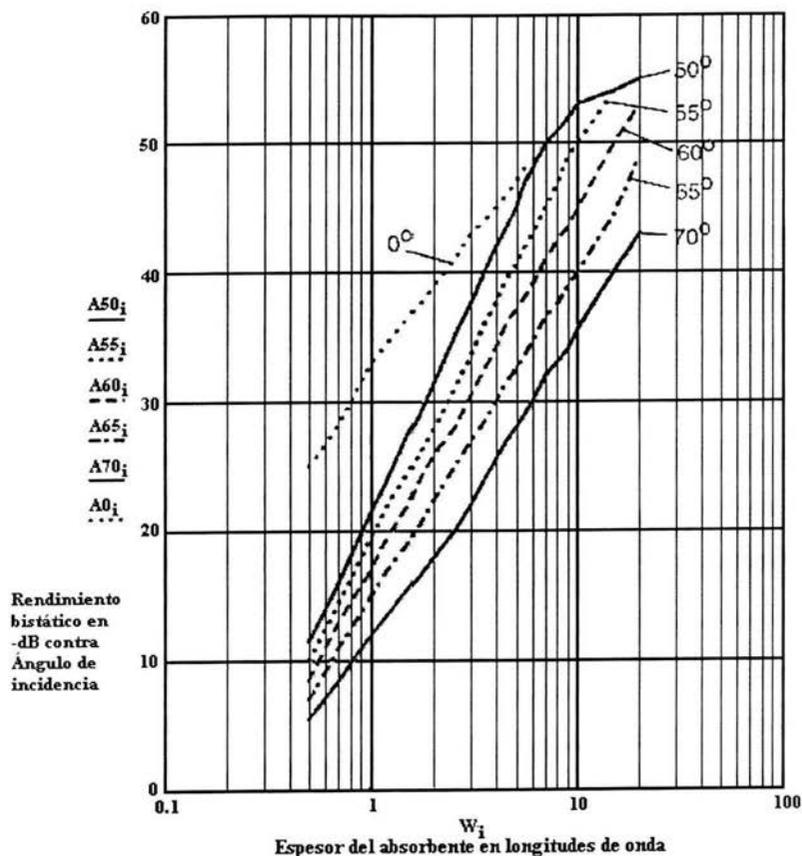


Figura 5.6 Reflectividad de los absorbentes piramidales en función del ángulo de incidencia y el espesor.

Dos mejoras en el diseño del material absorbente se han divulgado recientemente. La primera de éstas, optimiza el funcionamiento del material absorbente a frecuencias bajas y se llama el amortiguador curvado doble periódico. La pirámide está compuesta de dos partes: la mitad inferior es una pirámide truncada de vértices casi paralelos y la mitad superior es también piramidal pero más “puntiaguda”. El aumento de volumen de la parte inferior produce más pérdidas y el material puede trabajar a frecuencias más bajas. Este comportamiento se ha representado en la figura 5.8

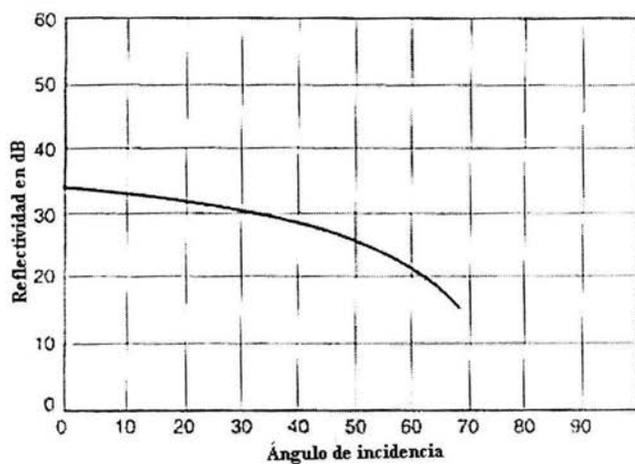


Figura 5.7 Funcionamiento del material absorbente en función del ángulo de incidencia.

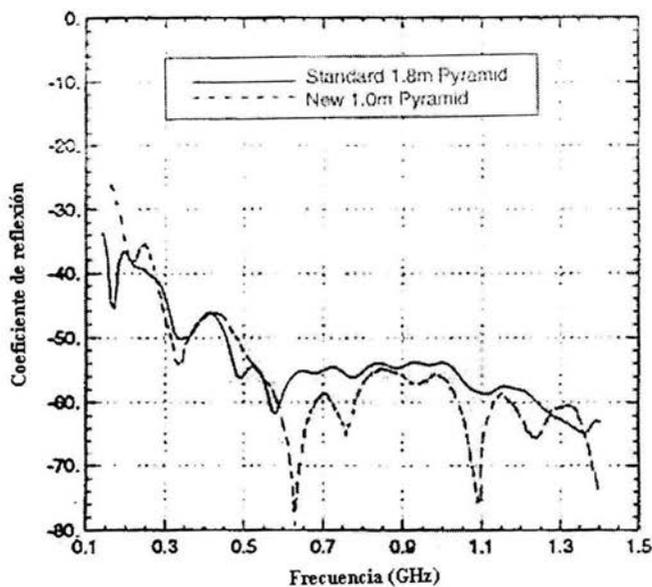


Figura 5.8 Comparación del rendimiento del absorbente curvado doble periódico de 1 m. y el piramidal estándar de 1.82 m.

Dos versiones fueron desarrolladas. La primera tiene 1 m. de altura y funciona a frecuencias tan bajas como 300 MHz, y la segunda es de 1.52 m. de altura y funciona a partir de 200 MHz. El funcionamiento del material de 1m. se compara con una pirámide estándar de 1.82 m. La segunda mejora fue lograda usando una distribución de Chebychev, variando alternadamente la longitud de las pirámides. Esta variación de la altura de las pirámides agrega otros 10 dB al coeficiente de reflectividad comparado con un conjunto de pirámides de la misma altura.

El diseño de Chebychev se ha aplicado al material estándar y a los materiales piramidales de la curva doble periódica, con resultados excelentes en ambos casos. En compensación de esta ventaja, se tiene un mayor costo de fabricación, ya que se tienen que producir piezas de diferentes alturas y formas.

5.2.1.2 MATERIALES ABSORBENTES PIRAMIDALES HUECOS

En la actualidad, se dispone de dos formas de materiales piramidales huecos. La más común se elabora pegando hojas planas y delgadas de material absorbente alrededor de un núcleo de material ligero que tenga la geometría piramidal. Se puede utilizar espuma de múltiples capas o de capa única para formar este tipo de producto. Después, se hacen grupos de 25 pirámides y se cementan en una base rígida y con este tipo de estructuras se cubren las paredes de la cámara. El instalador los puede recortar a tamaños convenientes. La altura de este material absorbente es similar a la del material absorbente piramidal sólido. Este producto se ha utilizado extensivamente en Europa.

Otra forma de este diseño es un producto que se elabora rociando sobre el soporte piramidal un barniz que contiene un material metálico. El diseño se ilustra en la figura 5.9. Ambos acercamientos son económicos y proporcionan instalación ligera. Estos tipos de material son especialmente útiles para la operación debajo de 1 GHz, donde los materiales piramidales deben ser largos en longitud para proporcionar buen funcionamiento a partir de los 30 MHz.

5.2.2 MATERIAL ABSORBENTE DE CUÑA

Otra forma del material absorbente de espuma de poliuretano es el material de cuña. Este producto tiene la forma de tiras con perfil de diente de sierra, según lo ilustrado en la figura 5.10. Se utiliza en diseños donde la energía

electromagnética debe ser dirigida hacia la pared del fondo en una cámara cónica. Los diseños de curvatura doble y los diseños de Chevychev también se han aplicado al material absorbente de cuña, con lo que se ha conseguido también disminuir la frecuencia de operación del material.

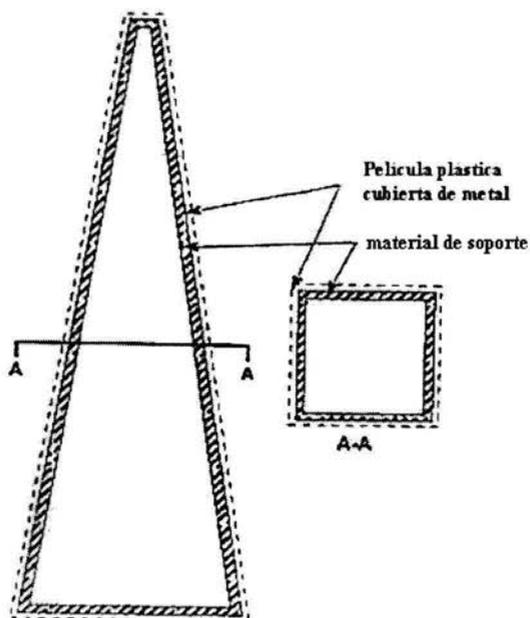


Figura 5.9 Construcción de un material absorbente de película metálica.

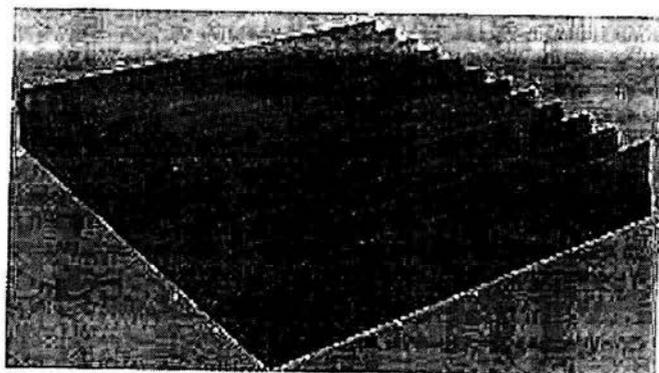


Figura 5.10 Geometría del material absorbente acunado.

5.2.3 MATERIAL ABSORBENTE CONVOLUCIONAL

Se hace otro material absorbente de banda ancha para microondas usando una forma de poliuretano (véase la figura 5.11) similar a la utilizada como relleno acojinado en los muebles. Este producto tiene un aspecto que se asemeja al “cartón de huevo” y encontró uso temprano en la industria de las microondas. El producto todavía está disponible y viene en varios groesos. Es sobre todo útil en las gamas superiores de las microondas, especialmente en las bandas milimétricas. Una lista de los materiales convolucionales disponibles y su reflectividad se da en la tabla 5.2.

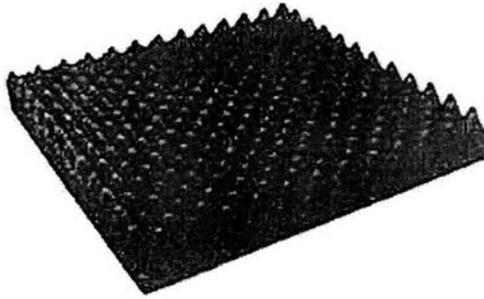


Figura 5.11 Geometría del material absorbente convolucional.

Tabla 5.2 Reflectividad típica de un amortiguador de microondas convolucionado.

Tipo	Altura, cm	Funcionamiento en incidencia normal, GHz					Rango de potencia W/cm ²
		3.0	6.0	10.0	15.0	30.0	
C-1.5	3.8		20	30	35	45	0.08
C-3	7.6	20	30	40	45	50	0.08
C-4	10.1	25	20	30	35	45	0.08

Nota: Las dimensiones de la base son 0.61 m²

5.2.4 MATERIAL ABSORBENTE DIELECTRICO MULTICAPA

El Material absorbente dieléctrico de múltiples capas se forma de hojas de poliuretano tratadas uniformemente. El grueso de la capa y la carga del

carbón varían, dependiendo del grueso total del producto. En el mercado, se dispone de una familia de productos como se ilustra en la tabla 5.3; estos varían, dependiendo de la cobertura de frecuencia deseada. Cuanto más grueso es el producto, más baja es la frecuencia de operación del material, según lo ilustrado en la figura 5.12.

Tabla 5.3 Propiedades de un material absorbente multicapas.

Tipo	Rango de Frecuencia (GHz)	Bandas cubiertas	Reflectividad a la máx. Pot., (%)	Medida de la hoja (cm*cm)	Espesor nominal (cm)	Peso (kg/m)
AN72	Arriba de 20	K	1	61*61	0.6	0.5
AN73	" " 7.5	X, Ku, K	1	61*61	1	1
AN74	" " 3.5	C, A, B, X, Ku, K	1	61*61	1.9	1.5
AN75	" " 2.4	S, C, A, B, X, Ku, K	1	61*61	2.9	2.4
AN77	" " 1.2	L, S, C, A, B, X, Ku, K	1	61*61	5.7	4.4
AN79	" " 0.6	L, S, C, A, B, X, Ku, UHF	1	61*61	11.4	9.8

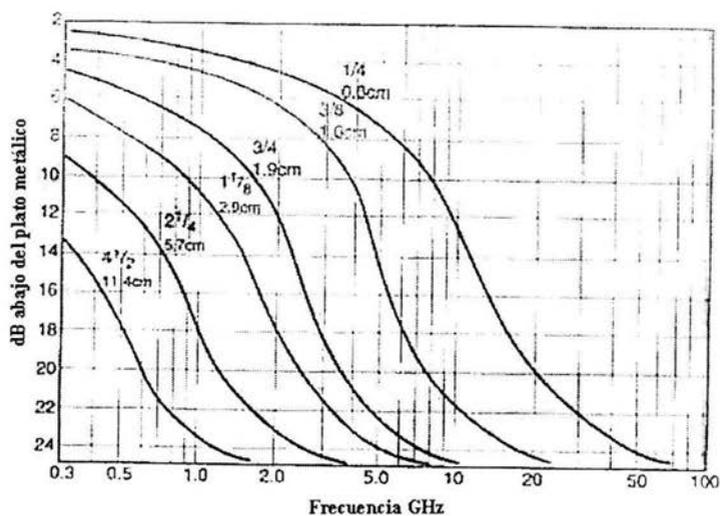


Figura 5.12 Curvas del funcionamiento del absorbente de múltiples capas.

5.2.5 MATERIAL ABSORBENTE DIELECTRICO HÍBRIDO

El material absorbente dieléctrico es muy eficiente en términos de proporcionar pérdida en un mínimo de altura. Proporciona un 33% más de material dieléctrico que un absorbente piramidal del mismo grueso. Así, una combinación de los dos materiales es útil en la fabricación de un absorbente para frecuencias abajo de 1 GHz.

Estos híbridos dieléctricos consisten en un material piramidal en capas de diferentes proporciones de carbón, de manera que presenten un adecuado acoplamiento de impedancias, lo que incrementa la disipación de energía.

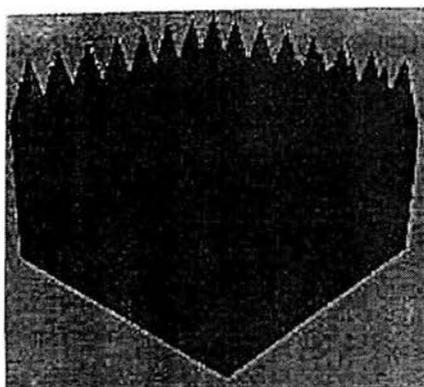


Figura 5.13 Geometría del absorbente dieléctrico híbrido.

La base de las pirámides se asienta en un material de múltiples capas. Esta última parte es la que permite el trabajo en bajas frecuencias.

La tabla 5.4 proporciona el funcionamiento típico de este producto.

Los aumentos típicos del funcionamiento en la incidencia normal son 3-6 dB, y 6-10 dB a los ángulos amplios, cuando están comparados con un amortiguador piramidal de la misma altura.

Tabla 5.4 Datos del funcionamiento del amortiguador dieléctrico híbrido.

Tipo	Altura m	Funcionamiento típico del amortiguador en incidencia normal. MHz					
		25	50	100	250	500	1000
P-12EM	0.3	2	4	9	19	26	32
P-18EM	0.46	3	6	11	21	29	35
P-24EM	0.61	4	8	14	26	32	38
P-36EM	0.92	6	12	21	30	36	41
P-48EM	1.22	9	16	27	34	39	44

Nota: Arriba de los 1000 MHz el funcionamiento de la serie EM es esencialmente el mismo que el del material piramidal estándar. Las dimensiones de la base son 0.61 m^2 .

5.2.6 AMORTIGUADOR ENCAJONADO

El amortiguador de banda ancha encajonado se fabrica colocando el material piramidal dentro de una caja de poliestireno (unicel); esto entonces se cubre con un laminado de poliestireno de alta densidad. Esta construcción se ilustra en el cuadro 5.14. La especificación mecánica y eléctrica típica se da en la tabla 5.5.

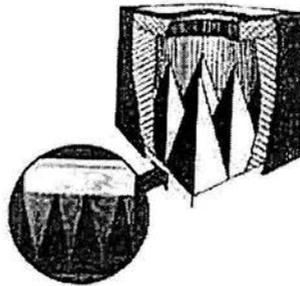


Figura 5.14 Geometría del absorbente encajonado.

Tabla 3.5 Especificaciones típicas para el amortiguador encajonado.

Tipo	Espesor cm	Rel. de carga kg/m^2	Funcionamiento de la reflectividad en incidencia normal. GHz							
			0.25	0.5	1.0	3.0	6.0	10	15	30
WW-4	14	61.5				20	25	30	35	40
WW-8	23.3	61.5			20	27	35	40	40	40
WW-12	36.8	61.5			20	30	35	40	40	40
WW-18	54.6	82		20	25	30	35	40	40	40
WW-24	61	82	20	25	30	35	40	40	40	40

Nota: La relación de potencia es de 0.08 watts/cm^2 . Las dimensiones de la base son 0.61 m^2 .

5.3 MATERIAL ABSORBENTE PARA FRECUENCIAS BAJAS

5.3.1 INTRODUCCIÓN

La gran demanda de pruebas en la gama de frecuencia de 30 a 1000 Mhz ha causado el desarrollo de una serie de materiales optimizados para este uso. El material más común es el mosaico de ferrita, que se ha utilizado para bajas frecuencias por más de 40 años.

El mosaico usado para la guarnición de los compartimientos anecoicos viene en dos geometrías. El más común es una baldosa cerámica plana de 6 mm. de espesor y 100 cm^2 ; la otra versión tiene la forma de una rejilla de cerámica. Las primeras versiones de la rejilla eran del orden de 1 pulgada de grueso. Una nueva versión de la rejilla es del orden de media pulgada de grueso. El material es muy pesado, y usualmente está adherido a hojas de triplay, que se atornillan a las paredes del recinto. Así, el peso total de instalación es considerablemente mayor que el de una instalación de espuma.

Un producto introducido recientemente es una adaptación para bajas frecuencias de un diseño de alta frecuencia. Este es un material en forma de panal que se ha estado utilizando en la industria aeroespacial desde los años 50. Como ya no hay limitaciones de patente, el material está disponible ahora para el uso en cámaras de frecuencia baja. En este caso, las células del material de soporte se cubren con una capa que absorbe. La profundidad de las células se elige de modo que la onda incidente vea la señal reflejada a 180 grados fuera de fase, y el resultado es una señal atenuada por cerca de 20 dB. Se consigue un amplio rango de frecuencias de operación, jerarquizando células más pequeñas dentro de las células más grandes, lográndose con esto un sistema de sintonía escalonada. Típicamente, este material tiene un área de 0.61 m^2 y una altura de cerca de 0.3 m. Cuando este material amortiguador se remata con el material piramidal, se logra cubrir todo el ancho de banda desde bajas frecuencias hasta microondas.

5.3.2 AMORTIGUADORES DE FERRITA

Los amortiguadores de ferrita, ilustrados en la figura 5.15, proporcionan un alternativa al tradicional tipo de materiales amortiguadores de espuma. Ahorran el volumen del compartimiento y reducen el riesgo de incendios. Los amortiguadores de ferrita son intrínsecamente inmunes al fuego, humedad, y

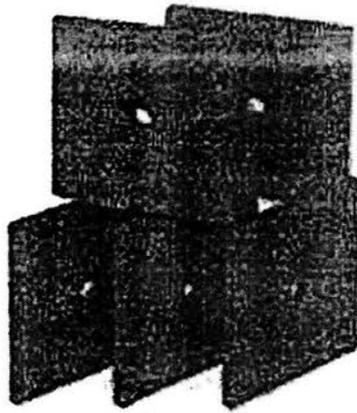


Figura 5.15 Absorbente en mosaico de ferrita.

productos químicos. Proporcionan una solución confiable y compacta para atenuar reflexiones de onda plana en compartimientos blindados en la banda de frecuencia de 30 a 1000 MHz. La física básica de la operación para cualquier amortiguador electromagnético planar implica los conceptos fundamentales representados en la figura 5.16.

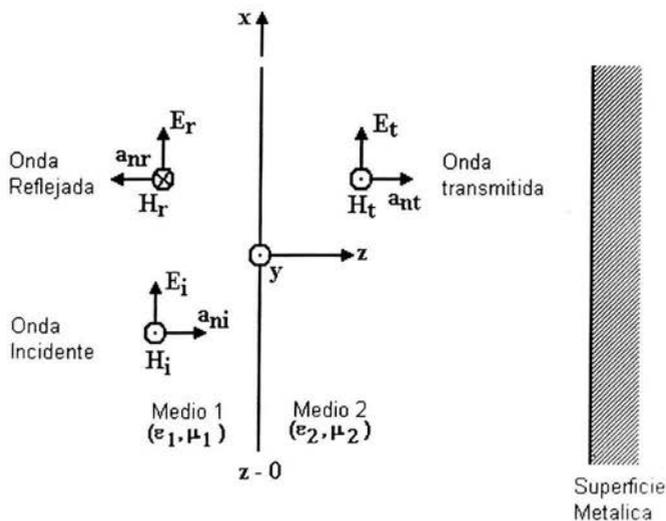


Figura 5.16 La física de la operación del mosaico de ferrita plana.

Cuando una onda electromagnética que viaja a través de espacio libre encuentra un medio diferente, se presentan tres fenómenos: la onda será reflejada, transmitida, y/o absorbida. En este caso, una onda incidente penetra en el segundo medio y rebota contra la pared metálica y al regresar al aire, su fase relativa con respecto a la onda incidente es de 180° . El problema es que esto ocurre a una sola frecuencia y en incidencia normal.

Para aumentar el ancho de banda, se puede montar el mosaico sobre un espaciador dieléctrico (típicamente madera) de varios gruesos. Cuando se optimizan los gruesos del mosaico y del espaciador, aumenta el ancho de banda del “sandwich”.

El funcionamiento de diversos diseños se muestra en la figura 5.17.

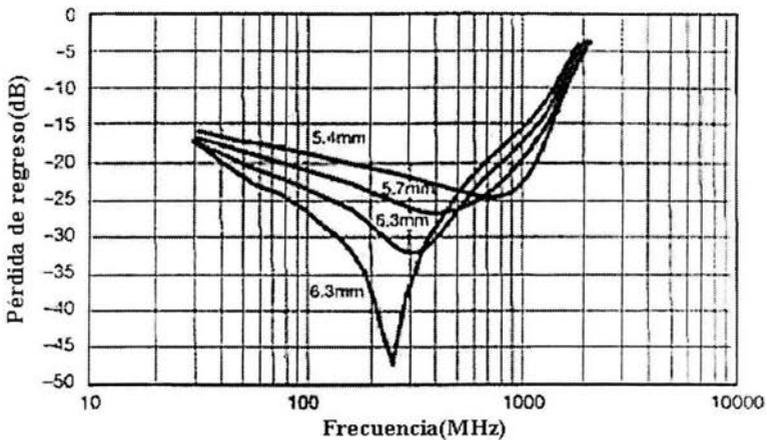


Figura 5.17 Rendimiento del mosaico de ferrita plano.

El funcionamiento cuando el ángulo de incidencia no es 90° se muestra en la figura 5.18.

La pérdida de retorno se ve influenciada por la pequeña separación que pueda existir entre los mosaicos. Para minimizar este factor, el material es fabricado con tolerancias de 0.005 pulgadas en todas las superficies. Se debe tener mucho cuidado al instalar los mosaicos para reducir al mínimo la separación entre estos.

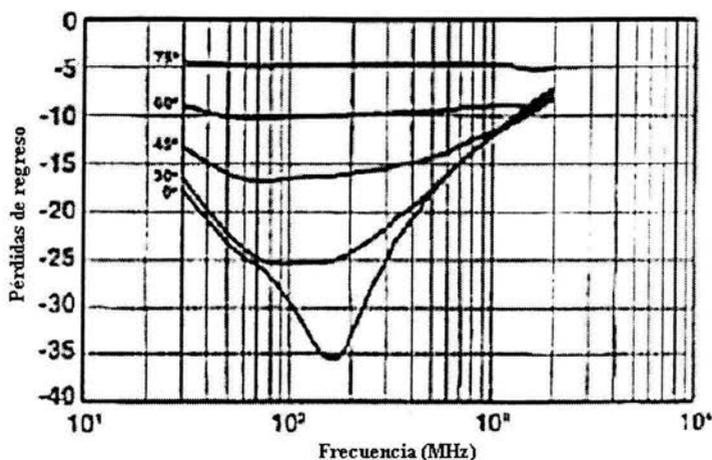


Figura 5.18 Rendimiento de la apertura angular del mosaico de ferrita.

Los amortiguadores de ferrita de mosaico sólido (figura 5.15) y de rejilla (figura 5.19) se han utilizado con éxito en cámaras anecoicas sobre la banda de frecuencia de 30 a 1000 MHz. El funcionamiento del absorbente de rejilla se muestra en la gráfica de la figura 5.20.

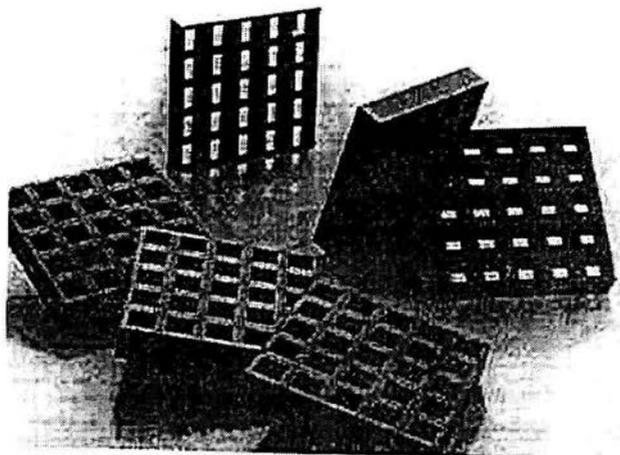


Figura 5.19 Geometría del absorbente de rejilla de ferrita.

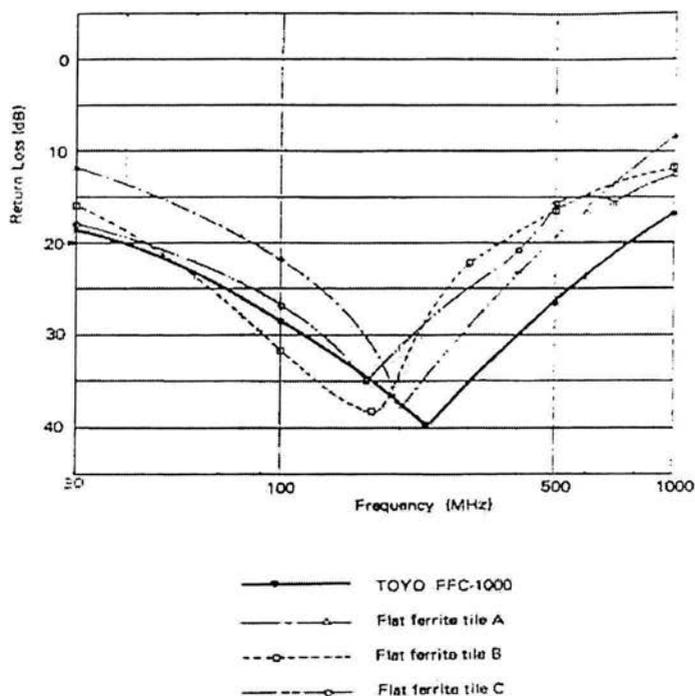


Figura 5.20 funcionamiento del absorbente de rejilla de ferrita.

5.3.3 AMORTIGUADORES HÍBRIDOS

Los amortiguadores híbridos que combinan amortiguadores de ferrita y de dieléctrico han tomado muchas formas. Una de las combinaciones de materiales más usadas utiliza mosaico plano de ferrita y cuña de espuma.

La geometría se muestra en la figura 5.21.

El funcionamiento en incidencia normal se muestra en la figura 5.22.

La unión de los dos materiales proporciona un amortiguador de banda muy ancha que se pueda utilizar de 30 Mhz a más allá de 18 GHz.



Figura 5.21 Geometría del absorbente híbrido ferrita/espuma.

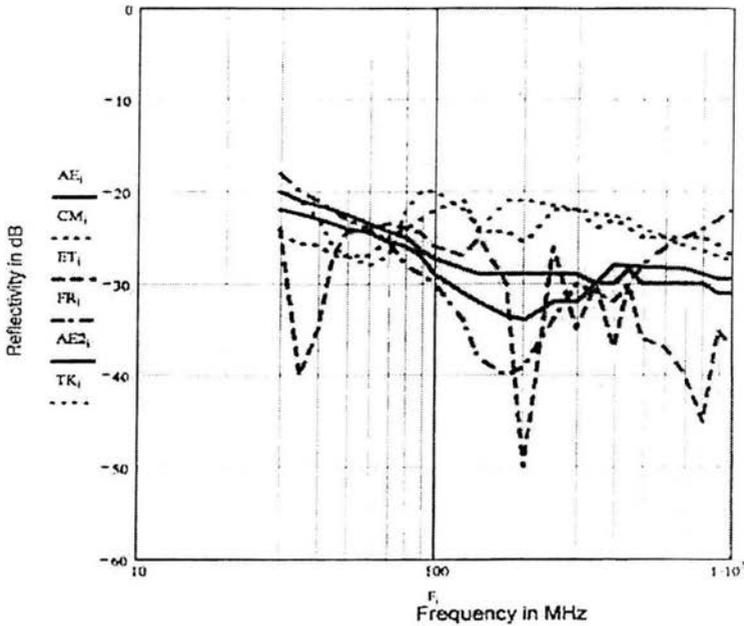


Figura 5.22 Comportamiento del absorbente híbrido ferrita/espuma. AE (Advanced Electromagnetics, Inc.), CM (Cuming Microwave Corp.), ET (Electromagnetic Test systems).

5.4 CONCLUSIÓN

Para seleccionar el material anecoico existe una buena cantidad de opciones. Se cubre prácticamente toda la banda de frecuencias utilizada en sistemas de radio, TV, microondas, etc. Es necesario aclarar que una cámara anecoica se utiliza en una determinada banda de frecuencias, debido a las limitaciones de espacio y al hecho de que los materiales absorbentes tienen también “sus preferencias” en cuanto a la frecuencia de operación; de modo que una cámara “universal” requiere tres cosas: grandes dimensiones, posibilidad de cambiar el recubrimiento de las paredes y equipo electrónico de gran ancho de banda. Consultar la referencia [2].

CAPÍTULO 6

TÉCNICAS DE DISEÑO CÁMARAS ANECOICAS

6.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de cámaras anecoicas (arreglo de materiales absorbentes sobre las superficies de un recinto cerrado) empezó amplia y empíricamente en los años 950. Cuando los conceptos llegaron a ser más prácticos, comercialmente se desarrollaron los absorbentes anecoicos de alto rendimiento que llegaron a estar disponibles en la década de los 960. Fue entonces posible diseñar las cámaras utilizando las técnicas de la óptica geométrica, también conocidas como óptica de rayos. Esto ha llevado a una variedad de diseños de cámaras estándar, realizados por una docena de fabricantes alrededor del mundo. Desde los 980, una nueva clase de cámara ha evolucionado. La demanda para mediciones bajo techo a bajas frecuencias (30-1000 MHz) ha conducido a las cámaras forradas de “sandwich de ferrita” con pirámides de composición (titanato de bario, carbono, etc). Estas, por supuesto, requieren de una técnica de diseño más elaborada para optimizar el rendimiento.

Dependiendo del tipo de medida electromagnética que se realizará, los compartimientos anecoicos pueden tomar muchas formas. Pueden ser pequeñas unidades de tipo banco que funcionan en la gama alta de las microondas; también pueden ser estructuras blindadas muy grandes para realizar pruebas de aviones invisibles al radar, existen así mismo las cámaras abocinadas, etc. Desde otro punto de vista, existen cámaras para prueba de antenas, de emisiones perjudiciales, de blindajes electromagnéticos, de materiales, etc. En este trabajo, solo se considera el diseño de cámaras para pruebas de antenas.

El diseño de los compartimientos rectangulares para pruebas de antenas es determinada por los factores siguientes: (1) la ecuación de la distancia del campo lejano, $2D^2/\lambda$ que garantiza la uniformidad de la fase en toda el área de pruebas, según lo descrito en el capítulo 2, (2) las frecuencias de

funcionamiento mínima y máxima de la antena, y (3) la incertidumbre permitida en las medidas de la antena causada por la potencia que llega a la antena receptora proveniente de la reflexión en las paredes del recinto.

6.2 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

El parámetro D es el tamaño del dispositivo bajo prueba, por ejemplo el diámetro de un plato parabólico o la longitud de un dipolo. Dado este valor y la frecuencia de funcionamiento más alta, se determina la distancia (R) mínima entre la antena emisora y el dispositivo en prueba; a esta, hay que agregarle la distancia entre los dos aparatos y las paredes de la cámara, que empíricamente se considera igual al tamaño de la antena emisora; esto nos dará la longitud mínima del compartimiento. El parámetro siguiente es la anchura del compartimiento (W), que debe ser $> R/2$; es decir, la relación de aspecto R/W necesita ser tal que el ángulo de incidencia de los “rayos electromagnéticos” en las paredes y el techo sea menor de 60° como se ve en la figura 6.1.

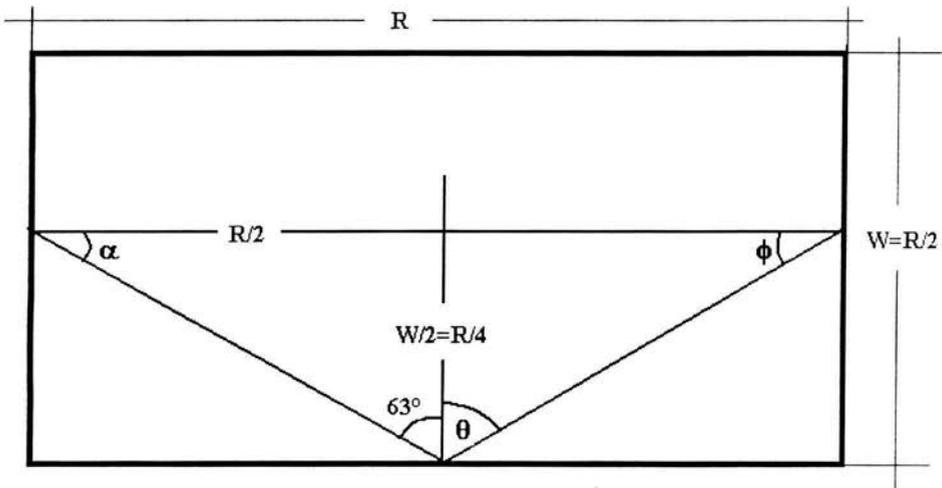


Figura 6.1 Relación de aspecto de una cámara anecoica rectangular

Lo anterior, nos permitirá calcular la atenuación producida por el material absorbente y la intensidad de campo que llegará a la zona de prueba proveniente de las paredes, piso y techo, haciendo uso de la gráfica de la figura 6.3. El diámetro de la región de la prueba (volumen de la prueba, zona reservada) puede entonces estar en la orden de $W/3$. La región de prueba es el

volumen sobre el cual la reflectividad del compartimiento se especifica, y debe ser mayor en diámetro que la antena a ser probada.

Determinando el tamaño básico del compartimiento, el paso siguiente es determinar la guarnición anecoica requerida para alcanzar la reflectividad deseada o el nivel deseado de la energía reflejada que llega a la región de prueba. Un requisito común para los compartimientos de prueba de microondas es fijar la reflectividad máxima en 40 dB a la frecuencia de funcionamiento más baja. Esto asegura de que un lóbulo lateral de la antena emisora con un nivel de -20 dB llegará a la región de prueba con una atenuación de 60 dB con respecto al lóbulo principal; o sea, con la millonésima parte de la potencia del lóbulo principal.

La uniformidad de la amplitud del campo de la región de la prueba es fijada por el patrón de la antena de la fuente junto con la energía dispersada por las superficies del compartimiento.

Habiendo determinado los requisitos de la reflectividad, se determinan los requisitos del amortiguador como sigue:

1. El espesor del amortiguador de la pared de recepción, o sea la pared más lejana a la antena emisora, se determina directamente de las curvas del funcionamiento del amortiguador en incidencia normal, figura 6.2, porque el frente de onda que la ilumina está en incidencia normal.
2. El espesor del amortiguador de la pared del transmisor (la pared detrás de la antena de la fuente) está generalmente sobre mitad del grueso del especificado para la pared de recepción. La razón delante-atrás de la antena de la fuente es generalmente suficiente para permitir el uso de materiales más delgados que los requeridos para una pared con incidencia directa.
3. Los requisitos del amortiguador de las paredes laterales, del techo y del piso son encontrados por medio de un cálculo de pérdidas, como se explica a continuación.

El primer paso consiste en especificar el nivel de señal reflejada máximo permisible que llega a la zona de prueba, con respecto al nivel de la señal que llega directamente de la antena emisora.

A continuación basándose en la geometría de la cámara, se determinan los ángulos α , θ , ϕ , de los rayos incidente y reflejado. Con el ángulo α y el patrón de radiación de la antena emisora, se determina el nivel de la señal emitida en esa dirección (figura 6.4 para una corneta). La diferencia entre este nivel de transmisión y el nivel de recepción especificado en la zona de pruebas debe ser igual a la reflectividad del material. Con este dato y el ángulo θ , se puede acudir a la gráfica de la figura 6.3 para obtener el espesor del material absorbente.

Generalmente, la frecuencia límite inferior determinará el grueso requerido del amortiguador. Una vez que se fije el extremo inferior, el funcionamiento en el resto de la gama de frecuencias se puede determinar de las curvas del diseño y de la geometría del patrón de la antena de la fuente.

6.3 EJEMPLO DEL DISEÑO

Supongase que se requiere un compartimiento anecoico para probar antenas pequeñas en el rango de 2 a 18 GHz. Las antenas típicas serían cornetas, espirales, dipolos logoperiódicos, y arreglos pequeños. Éstas tienen aperturas típicamente menos de 0.23 m (0.75 ft). Para D de 0.23 m en 18 GHz, la distancia entre los aparatos es $R=6.4$ m (21 ft) de la antena del transmisor al centro de la región de prueba. La anchura del compartimiento necesitada para guardar el ángulo de la incidencia debajo de 60 grados es 4.3 m (14 ft). La región de prueba puede ser hasta una tercera parte de esta anchura, o aproximadamente 1.4 m (4.5 ft). Si la distancia entre la antena emisora y su pared trasera es nula, la longitud total del compartimiento es la longitud R , más la longitud del área de prueba, lo cual establece una longitud total de $6.4+1.4=7.8$ metros. Todas estas longitudes son de punta a punta del material amortiguador; falta calcular el espesor de este. Una cámara de estas dimensiones permite analizar una antena a 2 GHz hasta 1.22 m (4 ft) de diámetro; este es un tamaño común para los nuevos sistemas de radiobases de telefonía celular. Supóngase que la reflectividad mínima del compartimiento es de -40 dB en 2 GHz. El amortiguador de la pared “receptora”, redondeado al tamaño estándar más cercano, deberá tener un espesor mínimo de 0.46 m (1.5 ft), según lo determinado en la gráfica de la figura 6.2. Por lo tanto, el

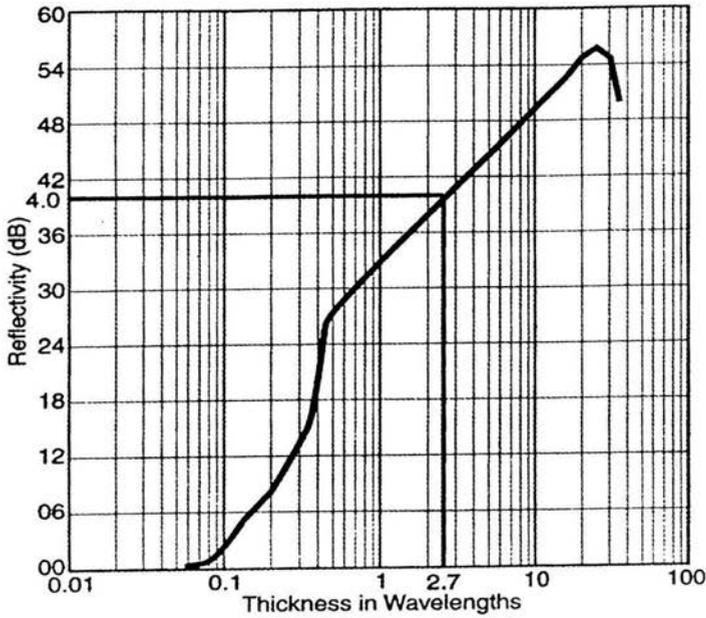


Figura 6.2 Funcionamiento del amortiguador piramidal en incidencia normal.

amortiguador requerido para la pared “transmisora” sería aproximadamente de 0.20 m (0.5 ft) de espesor según lo establecido.

Con estos cálculos, la longitud interior de la cámara resulta ser de 8.46 metros de pared a pared.

Si se asume que se utiliza una antena de corneta de ganancia estándar como antena transmisora, con ancho de haz de potencia media de 28° , la intensidad de campo emitida, según la gráfica de la figura 6.4 sería del orden de -10 dB a 30 grados.

La curva del diseño para 60 grados de ángulo de incidencia (figura 6.3) indica que para una atenuación de 30 dB, el amortiguador de las paredes laterales debe tener un mínimo de 3.0 longitudes de onda de espesor. En 2 GHz, esto es del orden de 0.46 m (18 in).

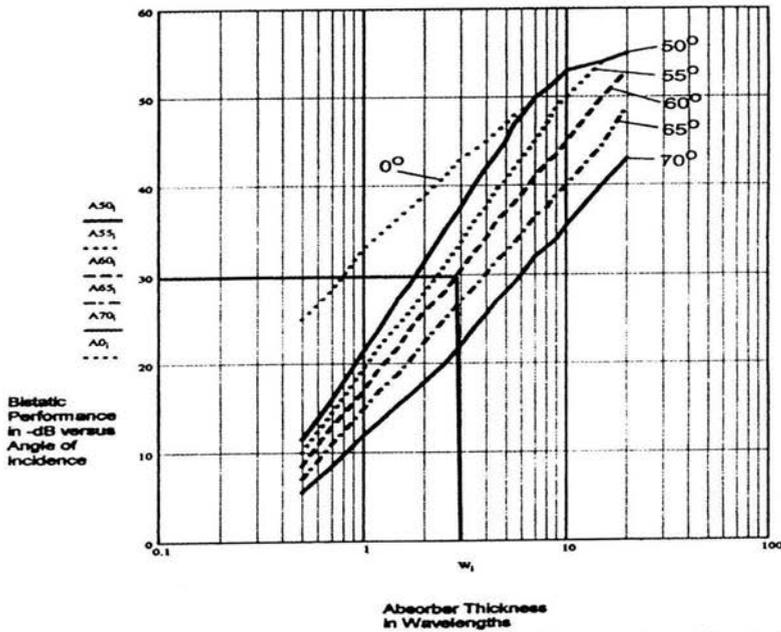


Figura 6.3 Funcionamiento del amortiguador en función del ángulo de incidencia

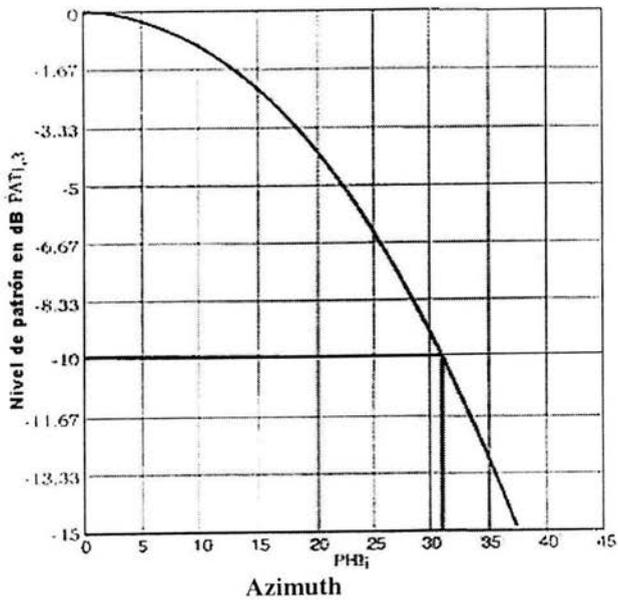


Figura 6.4 Patrón de radiación de la corneta en coordenadas cartesianas.

La altura del techo y la altura de las antenas con respecto al piso no es crítica, según se infiere del siguiente análisis: en la figura 6.5 se muestran las trayectorias de los rayos reflejados por el techo y el piso. Es deseable que estas longitudes sean tales que las ondas reflejadas por ambas superficies lleguen a la antena en prueba con la misma magnitud y con fases invertidas para que se anulen mutuamente. Para esto, se debe cumplir que:

$$L_1 + L_2 - (L_3 + L_4) = (2n - 1)\lambda / 2 \quad (6.1)$$

Así mismo, los espesores de los amortiguadores deben permitir que ambas ondas lleguen aproximadamente con la misma amplitud a la zona de pruebas.

Estas condiciones nunca se pueden cumplir exactamente, pero fijando a priori la altura de la cámara, se puede calcular la altura (A) de las antenas para una aproximación razonablemente buena.

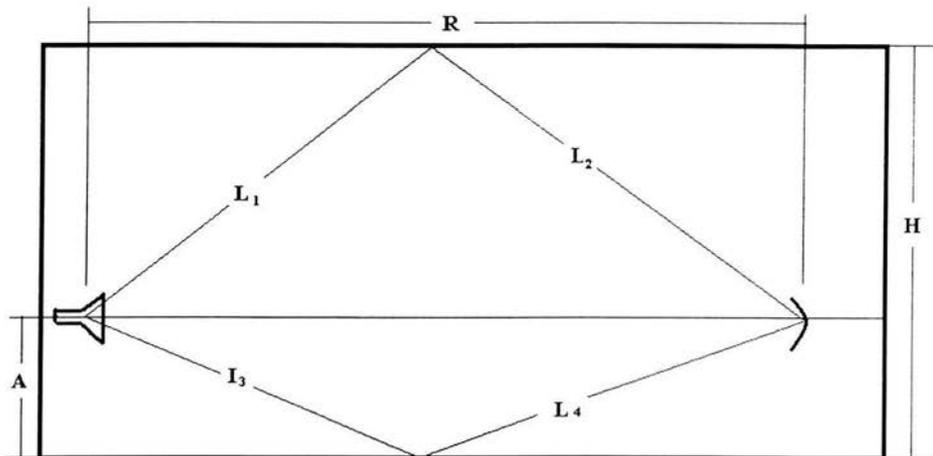


Figura 6.5 Geometría para determinar la altura del techo y las antenas.

El material amortiguador piramidal de las paredes laterales, el piso, y el techo es arreglado en forma “diamantada” rotando las placas 45° a lo largo del eje del compartimiento según lo demostrado en la figura 6.6. La región especular debe tener un mínimo de 6 unidades de largo, 3 unidades de ancho y el centro se debe localizar a 3.7 m (12 ft) de la pared transmisora. El resto del amortiguador puede ser de placas de 0.3 m de espesor. Todas estas longitudes se han representado en la figura 6.6.

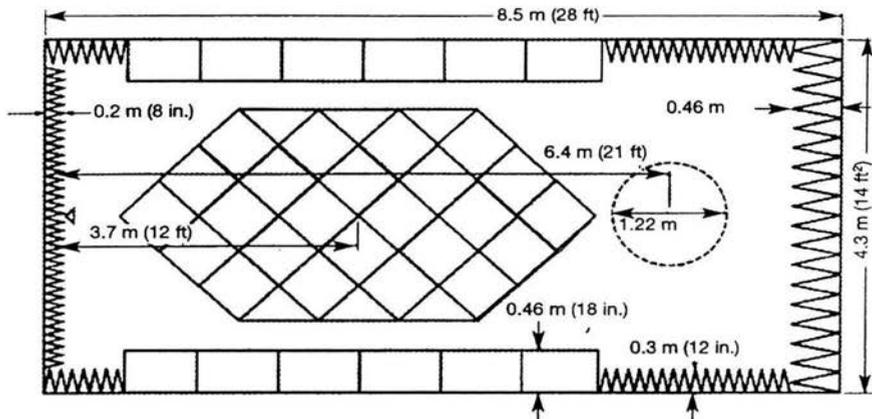


Figura 6.6 Instalación del absorbente en la región especular de la cámara.

Un método común de acoplamiento en las esquinas es cortar el material en 45 grados y formar esquinas de dos vías y de tres vías según lo ilustrado en la figura 6.7. Otro método es formar bloques del material del mismo grueso que el utilizado en los amortiguadores de la pared lateral y de la pared de extremo y formar un marco del material sólido en las esquinas según lo demostrado en la figura 6.8. Este arreglo proporciona pérdidas más altas en las esquinas y reduce efectos potenciales de reflexión en tales lugares.

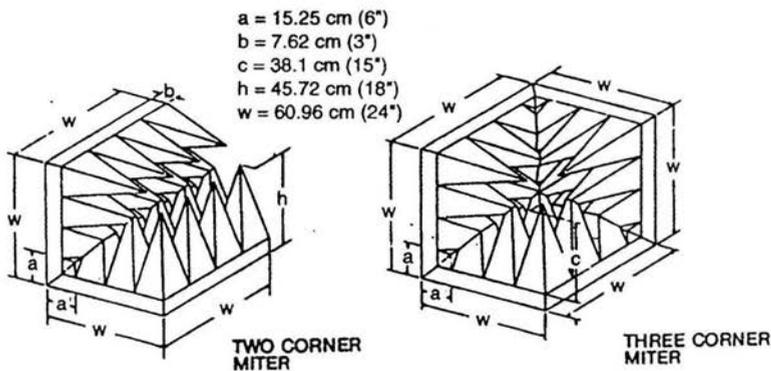


Figura 6.7 Acoplamiento del amortiguador en las esquinas en dos y tres caras.

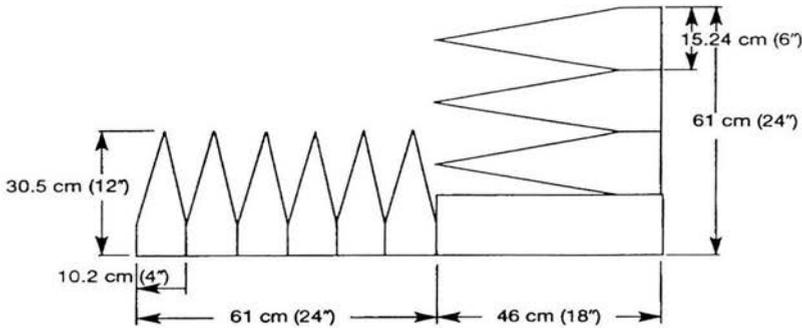


Figura 6.8 Dibujo de las instalaciones del marco.

Todo el material se instala adherido a placas de madera o de algún material de preferencia incombustible. Este conjunto a su vez se adhiere a las paredes de la cámara, que deben ser totalmente metálicas, cuidando de que los ductos de ventilación y de acceso de los cables estén acondicionados para que por ellos no tengan acceso ondas electromagnéticas del exterior. Las puertas para el personal y el equipo deben estar provistas de pestañas metálicas en todo su perímetro para que entre estas y sus marcos no quede abertura alguna. Es usual la instalación de puertas dobles para lograr un perfecto bloqueo de cualquier onda electromagnética. Finalmente, es necesario instalar un sistema de iluminación alimentado con corriente directa y otro de protección contra incendios. El diseño de todos estos sistemas auxiliares cae fuera del propósito de esta tesis y por ello solo se menciona su necesidad. Para este tema consultar la referencia [2].

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

Como es evidente, el objetivo primordial de esta tesis es dar el primer paso hacia el diseño y la construcción de recintos adecuados para pruebas de antenas. La idea, a futuro, es realizar proyectos de este tipo, utilizando cerebro, materiales y mano de obra totalmente nacionales, aunque por mucho tiempo, los equipos de medición tendrán que ser importados.

Un aspecto importante de este trabajo de tesis es que consigna un procedimiento de simulación de recintos anecoicos. Este tipo de algoritmos está muy de moda, ya que es muy conveniente por su rapidez y economía. En este caso particular, se simulan las condiciones ambientales del espacio vacío; lo interesante es que no prescinde de la mediciones de campo, lo que permite que la simulación sea bastante realista.

Se trató de cubrir aproximadamente todo el panorama de las mediciones, incluyendo algo de teoría de antenas y materiales, aspectos prácticos y tecnológicos y un poco del procedimiento de diseño del recinto anecoico; aunque no se tocó toda la gama de aplicaciones de las cámaras de pruebas

Durante el desarrollo de esta tesis, se realizaron pruebas con algunos materiales, pero no se incluyeron en este trabajo porque los resultados obtenidos fueron bastante imprecisos: De todos modos, la tecnología de fabricación de la espuma de poliuretano es bastante conocida y no es remota la posibilidad de que en México se pueda fabricar este material con determinados aditivos que lo hagan apto para absorber la energía electromagnética.

Queda mucho por hacer antes de que se pueda contar con un recinto anecoico en la Facultad de Ingeniería, pero como se dijo al principio, este es un primer paso.

Dependiendo de la aplicación que se vaya a dar a una antena, la misión de nuestra cámara anecoica es realizar las mediciones de los patrones de radiación para obtener adecuadamente una transmisión y recepción según sea el caso.

En este trabajo se seleccionó de manera minuciosa toda la información necesaria para la construcción y diseño de un recinto anecoico. Para llevar a cabo este proyecto se requerirá que el personal tenga amplios conocimientos en los fenómenos de propagación y radiación de ondas, así como de un gran interés en la elaboración de los materiales absorbentes.

El objetivo primordial de esta tesis es dar el primer paso hacia la construcción y diseño de estos recintos contando con ello con mano de obra totalmente nacional, así como de recursos y tecnología propia del país.

De esta forma, con menor presupuesto cada una de nuestras universidades podrá tener una cámara para prueba de antenas y darle aplicación tanto en la docencia como a nivel industrial.

Espero que este material sea de ayuda en la formación de las nuevas generaciones.

APÉNDICE

Absorber Reference Chart

Microsorb Technologies Inc.

	Single frequency reflectivity	Broadband reflectivity	Ins. Loss	Tun-ability	Weather	UV	Ozone	Light-weight	Machin-ability	Flex-ibility	Struc-tural	Power	Standard Color
Multi-Layer	Good	Excellent	Very Good	Very Good	Poor	Good	Good	Very Good	Very Good	Good	Fair	Fair	Black
Multi-Layer Weather-proof	Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Good	Very Good	Fair	Fair	Fair	Green
Single Lossy Layer	Poor	Fair	Very Good	Good	Poor	Good	Good	Very Good	Very Good	Very Good	Poor	Fair	Black
Single Layer Open Cell	Very Good	Very Good	Very Good	Fair	Fair	Good	Good	Very Good	Good	Excellent	Poor	Good	Black
Pyramidal	Excellent	Excellent	Excellent	Poor	Poor	Good	Good	Fair	Good	Fair	Fair	Fair	Blue
Open Cell Pyramidal	Excellent	Excellent	Excellent	Poor	Fair	Good	Good	Good	Good	Good	Fair	Very Good	Blue
Convuluted	Excellent	Excellent	Excellent	Poor	Poor	Good	Good	Fair	Very Good	Fair	Fair	Fair	White
Jaumann	Very Good	Excellent	Good	Very Good	Very Good	Very Good	Good	Good	Very Good	Fair	Very Good	Fair	White
Honeycomb	Good	Excellent	Very Good	Good	Good	Good	Good	Good	Very Good	Poor	Excellent	Very Good	Black

Microsorb Broadband Absorber Selection Chart

	Indoor Reflection Reduction	Outdoor Reflection Reduction	Indoor Device Isolation	Outdoor Device Isolation	Surface Current Reduction	Structural Lossy Material
1-8 GHz	MTL-79	MTL-W-79	MTLF-26	MTL-W-79	MTLF-26	HCS*
2-8 GHz	MTL-77	MTL-W-77	MTLF-26	MTL-W-77	MTLF-22	HCS*
2-12 GHz	MTL-75	MTL-W-75, HPJ-75	MTLF-24	MTL-W-75	MTLF-22	HCS*
8-18 GHz	MTL-73	MTL-W-73,74 HPJ-X-74	MTLF-22	MTL-W-73	MTLF-20	HCS*
2-18 GHz	MTL-77	MTL-W-77	MTLF-26	MTL-W-77	MTLF-26	HCS*



Microsorb Technologies Inc.

... Now there's a way.

* HCS type dependent upon amount of insertion loss desired. See HCS Technical Bulletin

The above chart is intended as a reference only. The listed absorber types are suggestions based on measured performance and experience. Talk to one of our engineers to find the best match for your application. These are standard products only. All Microsorb products can be modified to fit your specification.

Microsorb Narrowband Absorber Selection Chart

	Indoor Reflection Reduction	Outdoor Reflection Reduction (RCSR)	Indoor Device Isolation	Outdoor Device Isolation	Surface Current Reduction	Structural Lossy Material
1-2 GHz	MTL-79	MTL-W-79	MTLF-26	MTL-W-79	MTLF-26	HCS*
2-4 GHz	MTL-77 OCR-1.00	MTL-W-77 HPJ-75	MTLF-24	MTL-W-77	MTLF-24	HCS*
4-8 GHz	MTL-75 OCR-0.50	MTL-W-75 HPJ-75	MTLF-20	MTL-W-75	MTLF-20	HCS*
8-12 GHz	MTL-73' OCR-0.75	MTL-W-73 HPJ-74	MTLF-18	MTL-W-73	MTLF-18	HCS*
12-18 GHz	MTL-73	MTL-W-73 HPJ-73	MTLF-16	MTL-W-73	MTLF-16	HCS*



Microsorb Technologies Inc.
... Now there's a way.

* HCS type dependent upon amount of insertion loss desired. See HCS Technical Bulletin

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

The above chart is intended as a reference only. The listed absorber types are suggestions based on measured performance and experience. Talk to one of our engineers to find the best match for your application. These are standard products only. All Microsorb products can be modified to fit your specification.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

MICROBOND OF

Non-Chlorinated Contact Adhesive



MICROBOND OF is a sprayable contact adhesive which can be used as a non-chlorinated alternative to MICROBOND FR. It is an environmentally friendly adhesive desirable for its non ozone depleting properties.

In addition to spraying, MICROBOND OF can also be applied by

roller coating, knife coating or brushing.

MICROBOND OF exhibits high bonding strength to plywood, particle board and other wood substrates. It can also be used to bond high pressure plastic laminates, rubber, metal, fabric, vinyl, and leather.

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

MICROBOND OF Instructions For Use

1. All non porous surfaces should be wiped clean of oil, grease, or other foreign matter.
2. Make sure adhesive is well stirred or shaken before use.
3. Apply **MICROBOND OF**, 2-3 mils thick, to both substrates to be bonded. Allow for absorption on porous substrates.
4. Allow substrates to dry for 8 to 10 minutes before assembling.
5. Assemble surfaces. Apply pressure to provide good adhesive contact.

Spray Application

The following equipment is recommended for spraying MICROBOND OF contact adhesive.

Spray Gun	Binks MBC	Devilbiss JGA
Needle	FX	FX
Tip	FX	FX
Air Cap	704	704
Line Pressure, psi	5	5
Atomization Pressure, psi	50-60	50-60

MICROBOND OF Typical Properties

Color	Green
Base Polymer	Neoprene
Total Solids by Weight, %	20.0
Specific Gravity	0.840
Pounds per Gallon	7.0
Viscosity, cps	225
Brookfield RVT No.1 at 20 rpm	135
Solvent Formulation	Aliphatic, Aromatic, Ketone
Flash Point, (TCC), °F	0
Coverage (sq. ft/gal/dry mil)	200-220
Application Temperature, °F	40-100
Cure Cycle	72 hours at 77°F
Cleanup	Toluene

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

Microsorb FT

Microsorb FT is a series of thin ferrite tile materials designed for use in the 50-2000 MHz range. FT is particularly useful where absorption is needed in this frequency range but space or environmental requirements prohibit the use of the bulky absorber generally used in these bands.

Microsorb FT materials are sintered ferrites which allows them to maintain stable physical properties in temperatures as high as 2000°F (1090°C) and high power (20 watts/sq. in.) environments. However it should be noted that electrical performance can not be guaranteed above the ferrite materials Curie

temperature of about 500°F (260°C).

FT materials are completely weatherproof and stable in outer space environments.

FT can also be used as a backing for Microsorb PYR pyramidal material for anechoic enclosure applications when extra performance in the lower frequency band is desired.

Microsorb FT-2 is designed as a broadband absorber with consistent performance over a wide band. FT-31, FT-41, and FT-51 are designed as resonant absorbers with a deep null at the design frequency while maintaining good performance over the entire band (see performance graphs).

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



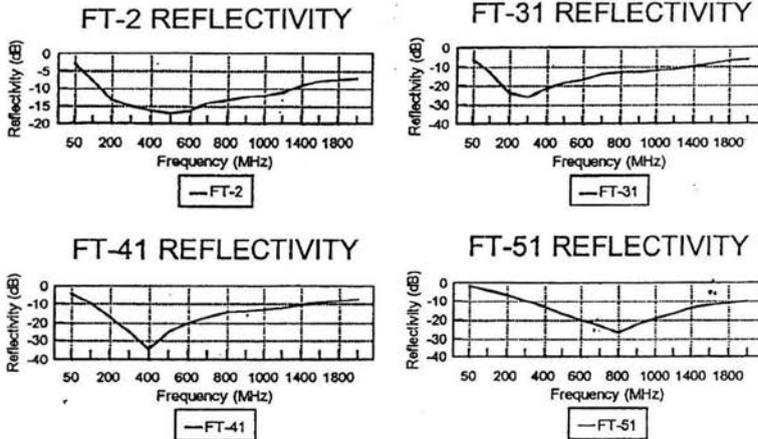
(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb FT Electrical Performance NRL Arch Reflectivity Measurement



Microsorb FT Physical Properties

	<u>FT-2</u>	<u>FT-31</u>	<u>FT-41</u>	<u>FT-51</u>
Size	2.35"x2.35"	2.35"x2.35"	2.35"x2.35"	2.35"x2.35"
Thickness	0.25"	0.31"	0.28"	0.20"
Weight (lbs./sq. ft.)	6.7	7.7	7.0	6.0
Color	Black	Black	Black	Black
Thermal Conductivity				
(BTU)(in)/(hr)(ft ²)(°F)	45	45	45	45
(cal)(cm)/(sec)(cm ²)(°C)	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155
Specific Heat				
BTU/(lb)(°F)	0.2	0.2	0.2	0.2
cal/(g)(°C)	0.2	0.2	0.2	0.2
Temperature Range				
°F	-100-500	-100-500	-100-500	-100-500
°C	-73-260	-73-260	-73-260	-73-260

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

Microsorb OCR Broadband Absorber

Microsorb OCR is a series of broadband microwave absorbers well suited for isolating adjacent elements such as parabolic dish or horn antennas. It can also be used as an inexpensive material for decoupling adjacent members of antenna arrays.

Microsorb OCR consists of a single layer of absorber material. It is light weight and flexible and is capable of conforming itself to a wide variety of shapes and situations. OCR offers excellent microwave performance over a broad band of frequencies. (see performance graphs) Material performance is determined by the thickness of the absorber. As can be seen multiple resonances are achieved throughout the band.

OCR has an open cell structure which greatly aids its flexibility. The open pore structure enables it to be used outdoors without degradation in performance (when dry).

The standard surface color of OCR is black. Other surface colors are available upon request. The standard size is 2' by

2' but custom sizes are available upon request.

Installation of Microsorb OCR is very simple. It can be secured to flat or gently curved wooden, metal, or other surface by means of an adhesive which may be either sprayed or brushed on both surfaces to be mated. The absorber may also be attached temporarily by impaling on small hooks or pins (nonmetallic for best electrical performance).

If one of the standard OCR types does not meet your electrical requirements exactly, the performance can be tuned to locate a performance peak precisely at your frequency of interest. Please call for details.

MTI**Microsorb Technologies Inc.**

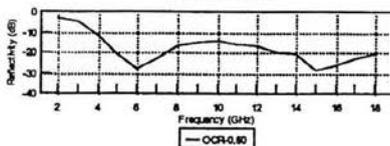
... Now there's a way.

Microsorb OCR Electrical Performance

NRL Arch Reflectivity Measurement

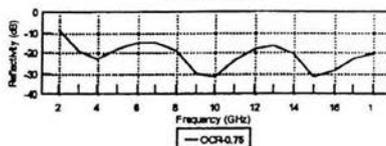
OCR-0.50 REFLECTIVITY

Measured Performance



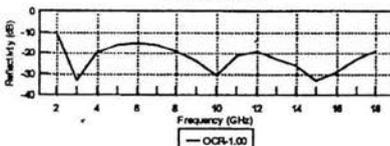
OCR-0.75 REFLECTIVITY

Measured Performance



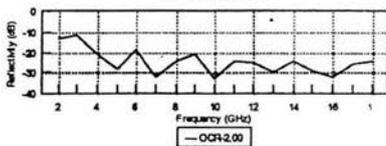
OCR-1.00 REFLECTIVITY

Measured Performance



OCR-2.00 REFLECTIVITY

Measured Performance



OCR PHYSICAL DATA

Microsorb Type	Thickness (inches)	Weight (lbs/sf)
OCR-0.50	0.50	0.15
OCR-0.75	0.75	0.20
OCR-1.00	1	0.24
OCR-2.00	2	0.34

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

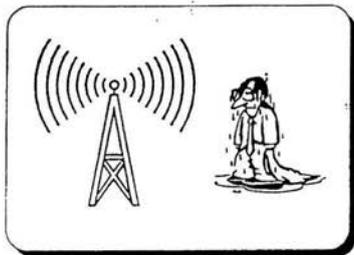
MTL-W Broadband Weatherproof Absorber

Microsorb MTL-W is the weather-proof version of our popular MTL absorber series. MTL is a multi-layer broadband foam absorber available in a variety of thicknesses and performance values. (See MTL Technical Bulletin) MTL-W is simply MTL encased in a low loss, impervious neoprene coated nylon fabric to protect the absorber material from the elements. A drop off in electrical performance across the band of 2-3 dB will be experienced due to the introduction of the fabric but the absorber will operate out of doors.

In operation it is important to note that the excellent electrical performance of MTL-W will deteriorate while the absorber surface is wet. This is due to the large reflections induced by the water. However, the performance will return when the surface is permitted to dry.

MTL-W is easily attached with adhesive and its dark green color makes it cosmetically unobtrusive.

MTL-W is also available with an integral ground plane. This enables the absorber to achieve high performance even when attached to a non-conducting surface (wood, plastic, fiberglass, etc.). While some absorption will occur without a conductive backing the actual performance depends upon the configuration.



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

PYR Pyramidal Absorber

Microsorb PYR is a very high performance microwave absorber intended primarily for use in anechoic chambers and enclosures. PYR achieves its high performance through a combination of a pyramidal geometry which presents a gradual impedance change to the incoming wave thereby allowing it to fully enter the absorber, and a controlled dielectrically lossy material. This construction gives PYR a very low reflectivity level over a broad range of microwave frequencies. PYR also maintains a high performance level in reducing specular reflections at high incidence angles (moderate performance deterioration up to 50°).

PYR is available in a range of thicknesses (see table). The optimum PYR type for your application is dependent upon the desired performance level and the frequency range.

PYR is the material of choice when constructing an anechoic test facility due to its high performance at normal and high incidence angles. PYR is available in 2'x2' pieces. The standard color is blue but other colors are available upon request. For higher frequency applications it has been found that leaving the absorber tips unpainted has improved performance by reducing tip scatter.

Microsorb PYR Typical Performance

PYR Type	200 MHz	300 MHz	500 MHz	1 GHz	3 GHz	5 GHz	10 GHz	15 GHz
PYR-2						30	40	45
PYR-4					30	40	45	50
PYR-8				30	40	50	50	50
PYR-12				35	40	50	50	50
PYR-18			30	40	45	50	50	50
PYR-26		30	35	40	50	50	50	50
PYR-36		30	35	45	50	50	50	50
PYR-45	30	35	40	45	50	50	50	50

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



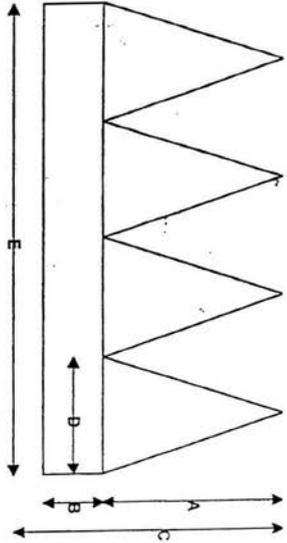
(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

MICROSORB PYR ABSORBER DIMENSIONS



PYR Type	Pyramid Height (A)	Base Height (B)	Total Height (C)	Pyramid Width (D)	Base Width (E)	# of Pyramids per Piece	# of Pyramids per Side
PYR-2	2.88"-3.13"	0.38"-0.63"	3.26"-3.75"	1.45"-1.56"	24.0"-24.2"	256	16
PYR-4	3.38"-3.63"	0.63"-0.88"	4.0"-4.5"	1.45"-1.55"	24.0"-24.2"	256	16
PYR-8	6.13"-6.38"	1.63"-1.88"	7.75"-8.25"	2.65"-2.75"	24.0"-24.2"	81	9
PYR-12	9.75"-10.25"	1.75"-2.25"	11.5"-12.5"	4.0"-4.1"	24.0"-24.2"	36	6
PYR-18	14.25"-15.25"	2.75"-3.25"	17.5"-18.5"	6.0"-6.1"	24.0"-24.2"	16	4
PYR-26	21.75"-22.25"	3.75"-4.25"	25.5"-26.5"	8.0"-8.1"	24.0"-24.2"	9	3
PYR-36	29.5"-30.5"	5.5"-6.5"	35.0"-37.0"	12.0"-12.1"	24.0"-24.2"	4	2
PYR-45	35.5"-36.5"	7.5"-8.5"	44.0"-46.0"	12.0"-12.1"	24.0"-24.2"	4	2

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1993

Microsorb CVP

Microsorb CVP (for convoluted pyramidal) is a type of pyramidal absorber designed primarily for use at the higher microwave frequencies. CVP's convoluted shape (rolling hills with shallow valleys) has proven effective at reducing the tip scattering prevalent at high frequencies in pyramidal absorbers. Its shape has been optimized to exploit the impedance taper of pyramidal material plus the reduced scatter of a smooth material.

Made of foam loaded with a dielectrically lossy material, CVP is very flexible

and lightweight. As with pyramidal material, CVP is available in three thicknesses dependent upon your frequency range of interest. All thicknesses exhibit excellent electrical performance at 20 GHz and above. Your choice depends on your need for low frequency performance. Listed in the table below are the recommended lower frequency limits (for better than -30 dB reflectivity) for each CVP type. Choose the type with a low frequency limit below yours.

<u>CVP Type</u>	<u>Low Frequency Limit</u>	<u>Thickness(inches)</u>	<u>Weight(lb/sf)</u>
CVP-3	6 GHz	3	0.75
CVP-4	5 GHz	4	0.9
CVP-6	3 GHz	6	1.0

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive,
Hopedale, MA 01747

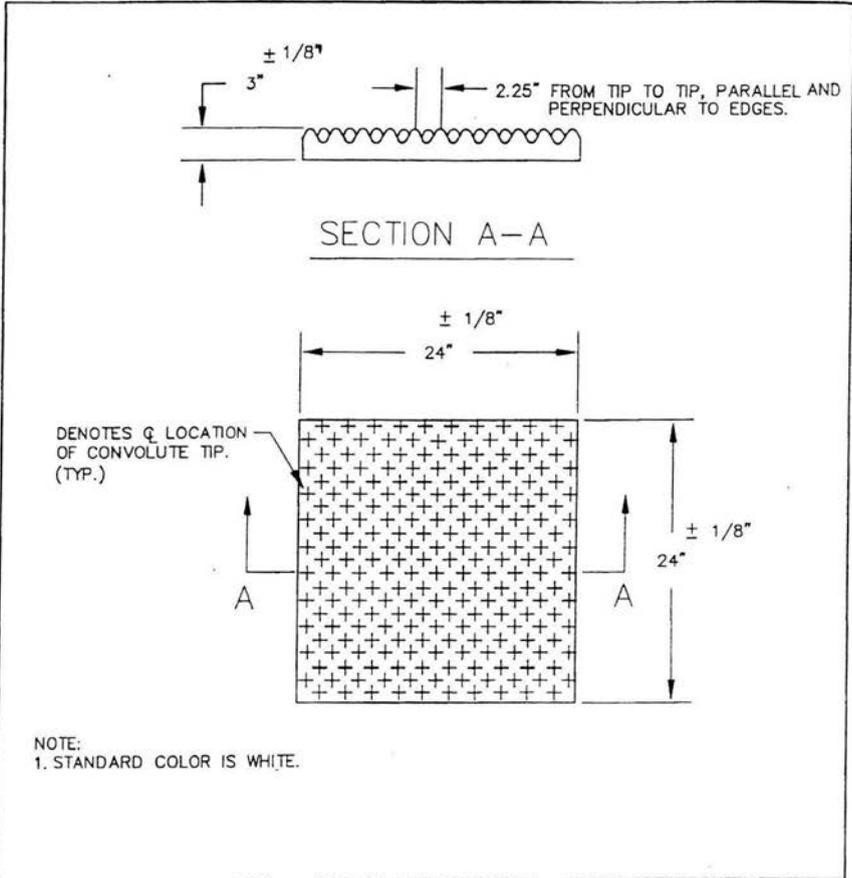


(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.



Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

November 1993

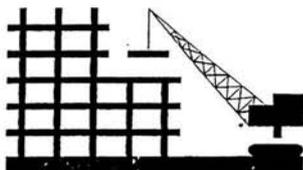
Microsorb HCS Lossy Honeycomb

Microsorb HCS is a series of honeycomb absorber materials which provide high microwave loss in combination with structural strength. HCS's open cell structure enables high power handling capabilities with a forced air cooling system to draw off the generated heat.

HCS is available in a range of thicknesses (0.5", 0.75", 1.0", 2.0") and insertion loss values. Custom values are easily implemented. When ordering please specify thickness and desired insertion loss.

HCS also exhibits very good performance when used as a specular absorber (see performance graphs). Reflectivity performance can be custom tuned to your frequency band of interest. HCS is

available in standard sizes of 1'x1' and 2'x2' but other sizes are available upon request.



HCS is also available custom machined into a pyramidal shape (HCS-PYR) which combines the excellent reflectivity performance of PYR material with the power handling capability of HCS.

Microsorb HCS is the material of choice where high absorption coupled with structural strength is a requirement.

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

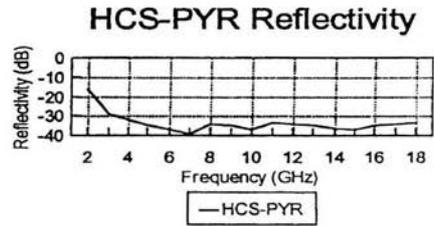
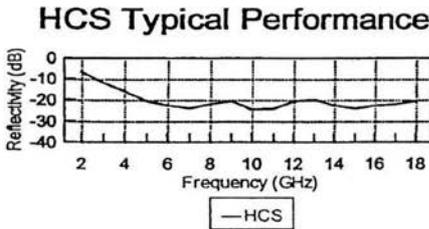
Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

HCS Typical Properties

Density	4.0-9.0 lbs./ft ³ (*)
Power Handling (10 GHz)	5 Watts/in ²
Compressive Strength	100-1200 lbs/in ² (*)
Shear Strength	40-420 lbs/in ² (*)
Maximum Temperature	180 ^o F -500 ^o F (*)

(*) Range in values reflects different base material properties. Please specify desired properties to allow most cost efficient material selection.

Microsorb HCS Electrical Performance



The above graphs represent measured reflectivity performance of Microsorb HCS material using the NRL Arch Reflectivity Test Technique. The HCS performance will vary depending upon the HCS type. Electrical performance for HCS can be tuned to your desired frequency range. Please speak with one of our application engineers for details.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

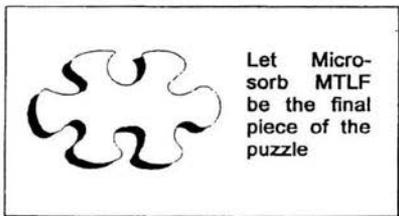
November 1993

MTLF Lossy Foam Absorber

Microsorb MTLF is a series of lightweight, flexible, lossy sheet materials which absorb microwave energy over a broad band of frequencies. MTLF can be used to suppress surface currents on a radiating element. It can also be used to isolate antenna elements or devices or provide a precision insertion loss barrier. Its flexibility and composition enable MTLF to be easily cut and formed to fit virtually any surface or application.

by the insertion of the material. The insertion loss of a material is dependent on a variety of factors including dielectric constant, loss tangent, and material thickness. The amount of loss you see is dependent upon your application. MTLF is not recommended to be used to reduce specular reflections. While it would provide some absorption in such a configuration, the performance would be inherently narrowbanded.

MTLF consists of a foam material with



MTLF is available in a standard sheet size of 2'x2' with thicknesses of 1/8", 1/4", 3/8", and 3/4". Other sizes or custom parts are available upon request.

tightly controlled dielectric (conductive) loss. It is available in a variety of thicknesses and loading. The proper MTLF type for a given application is dependent on configuration. Talk to one of our engineers to find the best match for your application.

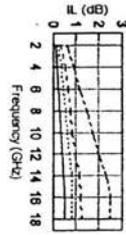
MTLF's electrical specifications are in terms of insertion loss which is the dB reduction in microwave energy caused



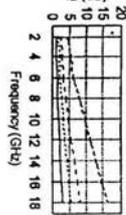
Microsorb Technologies Inc.

... Now there's a way.

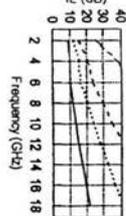
Microorb MTLF Insertion Loss



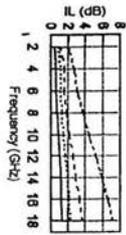
MTLF-14



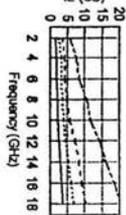
MTLF-20



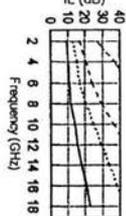
MTLF-26



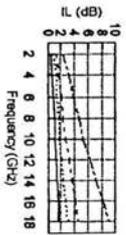
MTLF-16



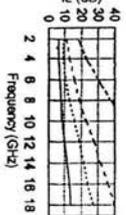
MTLF-22



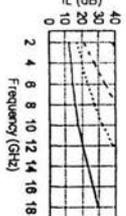
MTLF-28



MTLF-18



MTLF-24



MTLF-30

The above values are measured insertion loss values of MTLF material at 0 degrees angle of incidence. Measured insertion loss values greater than 40 dB are not reported as the measurement accuracy is questionable at these levels. However the insertion loss at these points is greater than 40 dB. These values are nominal values and should not be used in the writing of procurement specifications. If specifications are needed please contact Microorb Technologies, Inc.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

March 1994

Microbond APS Pressure Sensitive Adhesive

Microbond APS is a line of high tack pressure sensitive adhesives available exclusively on Microsorb products. APS is available with most Microsorb products and makes installation easy and inexpensive.

There are five different types of APS (see Technical Information Sheet). APS-RUB is synthetic rubber based and is the material of choice when high service temperature is not a requirement. It exhibits very good bond strength at a reasonable price. APS-ACR-2 through -5 are acrylic based and exhibit excellent bond strength and high temperature performance. Refer to the Information Sheet to choose the APS type best suited for your application.



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

MICROSORB APS PRESSURE SENSITIVE ADHESIVE

MTI DESIG	ADHESIVE BASE	ADHESIVE CARRIER	RELEASE LINER	ADHESION STRENGTH TO STEEL (LB/IN)	SERVICE TEMP (°F)
APS-ACR-1	ACRYLIC	.0015" POLYESTER	POLYCOATED PAPER	5.5	200
APS-ACR-2	ACRYLIC	NONE	POLYCOATED PAPER	8	300
APS-RUB	SYNTHETIC RUBBER	.0005" POLYESTER	SILICONE PAPER	5.0	150



Microsorb Technologies Inc.
 ... Now there's a way.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

April 1994

Microsorb Tape 93B

Microsorb Tape 93B is a neoprene coated nylon fabric tape. It can be used to seal edges or cracks to increase the water resistant properties of a structure.

Tape 93B is available in a wide range of colors and widths. Application is simple. When sealed using Microbond OF contact adhesive the seal remains weather tight.

A primary use for 93B is in conjunction with Microsorb HPJ weather resistant absorbers. It is used to seal the joint between adjacent pieces.

Tape 93B conforms to the chemical analysis and physical properties of specification MIL-C-20696C TY1 CL3.

93B is available in roll form in lengths up to 60 yards and can be made to any width specification.

Microsorb Tape 93B Properties

Base Cloth	Nylon
Weight	10.0 oz/yd ²
Type of Coating	Neoprene
Tensile Strength	130/125

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

April 1994

Microsorb FR Paint

Microsorb FR Paint is a latex paint with special additives to enhance its fire retardancy. FR is used for coating Microsorb absorber products. FR dries to a flat finish and is available in a range of colors.

FR coverage is approximately 400 square feet per gallon (10 square meters per liter). FR dries in a half hour and additional coats may be applied in 2 to 4 hours. Do not apply FR at temperatures below 50°F (10°C).

FR APPLICATION

Stir thoroughly with a circular lifting motion. Thinning is not recommended, but if necessary, use water sparingly. Use adequate ventilation when spraying.



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

WARRANTY: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

MICROBOND OF Instructions For Use

1. All non porous surfaces should be wiped clean of oil, grease, or other foreign matter.
2. Make sure adhesive is well stirred or shaken before use.
3. Apply **MICROBOND OF**, 2-3 mils thick, to both substrates to be bonded. Allow for absorption on porous substrates.
4. Allow substrates to dry for 8 to 10 minutes before assembling.
5. Assemble surfaces. Apply pressure to provide good adhesive contact.

Spray Application

The following equipment is recommended for spraying MICROBOND OF contact adhesive.

Spray Gun	Binks MBC	Devilbiss JGA
Needle	FX	FX
Tip	FX	FX
Air Cap	704	704
Line Pressure, psi	5	5
Atomization Pressure, psi	50-60	50-60

MICROBOND OF Typical Properties

Color	Green
Base Polymer	Neoprene
Total Solids by Weight, %	20.0
Specific Gravity	0.840
Pounds per Gallon	7.0
Viscosity, cps	225
Brookfield RVT No.1 at 20 rpm	135
Solvent Formulation	Aliphatic, Aromatic, Ketone
Flash Point, (TCC), °F	0
Coverage (sq. ft/gal/dry mil)	200-220
Application Temperature, °F	40-100
Cure Cycle	72 hours at 77°F
Cleanup	Toluene

Microsorb Technologies

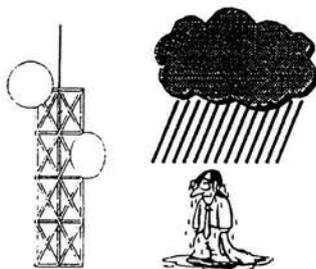
Technical Bulletin

MTI PRESS

May 1994

Microsorb HPJ Broadband Absorber

Microsorb HPJ (high performance Jaumann) is a very high performance microwave absorber that maintains electrical performance in harsh environments. It is highly recommended for outdoor applications where broadband or very high electrical performance is required.



HPJ is a type of Jaumann absorber which achieves its absorption through tightly controlled thin resistive layers separated by low loss dielectric spacers. This design enables very high absorption levels to be achieved over a broad band in a relatively thin absorber. HPJ's weatherability is due to the closed cell nature of the dielectric spacer material.

HPJ typically exhibits 20 dB or better absorption over a wide frequency band but if your application does not require broadband performance but rather very high performance over a narrower band, HPJ can be easily tuned to your band thereby achieving better than 30 dB absorption depending on your bandwidth.

HPJ is available in a three layer variety (HPJ-73,74,75) which gives good performance (20-25 dB) over a relatively narrow band (3:1 bandwidth). (HPJ-X4-875) is a 4 layer type which gives excellent performance over a very wide band (4-20 GHz). HPJ is also available in different custom configurations to optimize performance for a given application. Talk to one of our engineers about what could be done for your application.

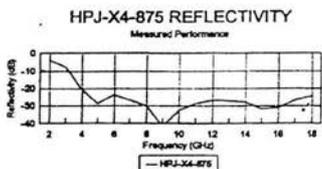
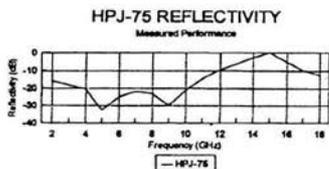
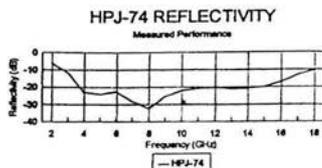
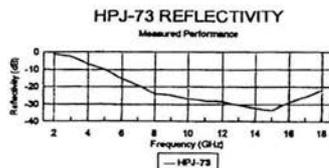


Microsorb Technologies Inc.

... Now there's a way.

Microsorb HPJ Electrical Performance

NRL Arch Reflectivity Measurement



HPJ Physical Data		
HPJ Type	Thickness (inches)	Weight (lbs/ft ²)
HPJ-73	0.4	0.15
HPJ-74	0.8	0.4
HPJ-75	1.2	0.6
HPJ-X4-875	0.88	0.4

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

WARRANTY: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

October 1994

Microsorb MTL Broadband Absorber

Microsorb MTL is a light weight, flexible broadband microwave absorber ideally suited for reducing reflections over a wide range of frequencies. MTL achieves its broadband performance through a multi-layer design which guarantees excellent performance at all frequencies within the band. MTL consists of discrete layers of foam material with precision conductive loadings.

Microsorb MTL can be used to reduce unwanted reflections in a wide variety of applications such as anechoic enclosures, shielding antenna or target test mounts, and modifying the radiation pattern of microwave antennas. A common use is inside horn antennas to reduce unwanted back-lobe and side-lobe radiation.

MTL is very simple to install and use. It can be cut to shape with scissors or a sharp knife (an electric kitchen knife is ideal). The thinner types drape easily over complex shapes and all types can be attached by hanging on pegs (non-metallic for best electrical performance) or with adhesive for a more permanent installation.

The performance figures depicted in this bulletin assume a metal backing for MTL. However, MTL will still be effective when backed with a non-metallic surface (e.g. wood, plastic). The actual performance in this case depends on your configuration.

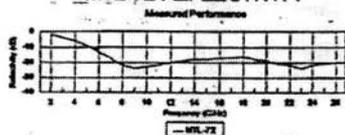
MTL comes in a standard size of 2 feet by 2 feet but other sizes are available upon request. MTL can be precision cut to your specification. The referenced MTL types are available as standard products. However, if your application requires better or a specified amount of performance over a frequency range (e.g. -30 dB in a particular band), our tight manufacturing controls enable quick, inexpensive modifications to tune the absorber to the specified performance. Ask one of our application engineers for details. (Note: The performance graphs represent measured data of typical MTL parts. Measurements were performed using the NRL Arch technique which directly measures the broadband reduction of reflections in dB referenced to a "perfect" conductor (metal plate). Please call for details.

MTL PHYSICAL DATA

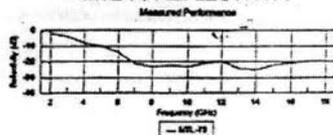
<u>MTL Type</u>	<u>Thickness (inches)</u>	<u>Weight (lbs/sf)</u>
MTL-72	0.25	0.20
MTL-73	0.38	0.30
MTL-74	0.75	0.40
MTL-75	1.25	0.55
MTL-77	2.25	0.80
MTL-79	4.50	1.80

Microsorb MTL Electrical Performance NRL Arch Reflectivity Measurement

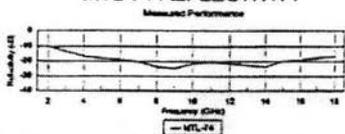
MTL-72 REFLECTIVITY



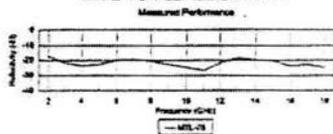
MTL-73 REFLECTIVITY



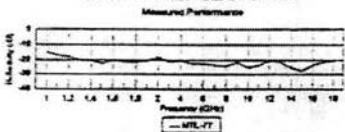
MTL-74 REFLECTIVITY



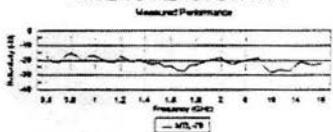
MTL-75 REFLECTIVITY



MTL-77 REFLECTIVITY



MTL-79 REFLECTIVITY



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

November 1994

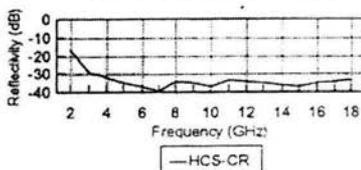
Microsorb HCS-CR High Temperature, High Power Ceramic Honeycomb

Microsorb HCS-CR is a ceramic based pyramidal Honeycomb absorber which can be utilized for applications requiring high incident power. HCS-CR exhibits excellent microwave performance and can be machined using ceramic glass type cutting tools. HCS-CR's open cell structure enables high power handling capabilities with a forced air cooling system to draw off the generated heat.

HCS-CR Typical Properties

Base Material Density	30 lbs./ft ³
Power Handling (10 GHz)	10 Watts/in ²
Maximum Temperature	500°F (can survive brief excursions to 850° F)
Cell Size	1/4"
Bonding Materials	Ceramic Adhesive High Temp Silicone High Temp Epoxy

HCS-CR Reflectivity



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

May 1995

Microsorb MSF

Microsorb MSF is a series of thin, flexible, resonant absorbers which reflect 1% or less of normally incident microwave energy at +/- 5% of the design frequency. MSF maintains good reflectivity at incident angles up to 45°.

Based on silicone rubber, Microsorb MSF will withstand temperatures from -25°F to +325°F (-54°C to +163°C) and is unaffected by exposure to weather or moisture. It is flexible, gray in color, and can be easily cut to shape.

Microsorb MSF is ideally suited to applications requiring a very thin microwave absorber at a narrow band of frequencies. It is used in radar nacelles, on masts of ships to prevent damage to radar receivers caused by large reflections and in cavity backed and shrouded telecommunications antennas. Physical data on MSF types are listed in the table below. Typical electrical data is on the back page. MSF is a resonant absorber which means for proper electrical operation it must be backed by a conductive (metallic) surface. MSF can be provided with an integral ground plane. RTV adhesives and primers can be used for bonding MSF to metallic surfaces. On special order MSF can be provided with a pressure sensitive adhesive.

MSF Type	Thickness inches (cm)	Weight lb/ft ² (kg/m ²)	MSF Type	Thickness inches (cm)	Weight lb/ft ² (kg/m ²)
MSF-1.0	0.160 (0.48)	3.8 (15.3)	MSF-7.5	0.074 (0.19)	1.3 (6.3)
MSF-1.5	0.120 (0.38)	2.8 (13.7)	MSF-8.0	0.070 (0.18)	1.3 (6.3)
MSF-2.0	0.105 (0.27)	2.7 (13.2)	MSF-8.5	0.066 (0.17)	1.2 (5.9)
MSF-2.5	0.085 (0.22)	2.2 (10.7)	MSF-9.0	0.064 (0.21)	1.3 (6.3)
MSF-3.0	0.073 (0.19)	1.9 (9.3)	MSF-9.5	0.078 (0.20)	1.2 (5.9)
MSF-3.5	0.064 (0.16)	1.7 (8.3)	MSF-10.0	0.076 (0.19)	1.2 (5.9)
MSF-4.0	0.105 (0.27)	2.1 (10.3)	MSF-10.5	0.072 (0.18)	1.1 (5.4)
MSF-4.5	0.091 (0.23)	1.9 (9.3)	MSF-11.0	0.070 (0.18)	1.1 (5.4)
MSF-5.0	0.090 (0.20)	1.6 (7.8)	MSF-12.0	0.066 (0.17)	1.0 (4.9)
MSF-5.5	0.092 (0.23)	1.7 (8.3)	MSF-13.0	0.062 (0.16)	0.9 (4.4)
MSF-6.0	0.096 (0.22)	1.6 (7.8)	MSF-14.0	0.058 (0.15)	0.9 (4.4)
MSF-6.5	0.082 (0.21)	1.5 (7.3)	MSF-15.0	0.054 (0.14)	0.8 (3.9)
MSF-7.0	0.078 (0.20)	1.4 (6.8)	MSF-16.0	0.050 (0.13)	0.8 (3.9)

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



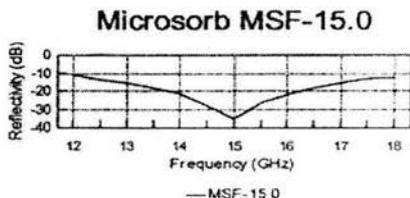
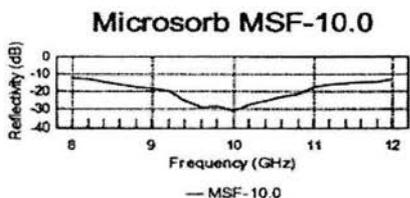
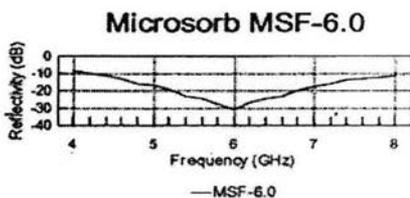
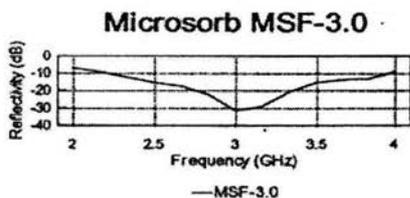
(508) 634-1903

WARNING: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb MSF Electrical Performance

NRL Arch Reflectivity Measurement

Below are typical reflectivity curves for Microsorb MSF material as measured on an NRL arch. Measurements were made at normal incidence and are expressed in dB reduction in power compared to a perfect reflector (metal plate).



Microsorb Technologies Inc.

... Now there's a way.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

November 1995

Microsorb MDS

Microsorb MDS is a thin, flexible, high loss rubber sheet which is used primarily to attenuate unwanted surface currents. When bonded to a metal surface it will effectively prevent the flow of microwave currents on that surface.

High reflectivity of metal objects is often caused by microwave surface current flow. These currents can 'wrap around' a complex metal object causing significant backscatter. MDS will attenuate these currents and thus reduce the backscatter even if placed on side or rear surfaces of the object.

MDS is a silicone rubber sheet and is very flexible. It can be draped over complex objects to

modify reflectivity. It can be easily cut to size and be used as an effective gasket in microwave devices. MDS is impervious to moisture and can be subjected to outdoor exposure with no adverse effects.

While not intended for use as a specular absorber, MDS will attenuate specular reflections by a few dB.

MDS is available in a standard size of 12"x12"x.030". Other sizes are available upon request. The weight is approximately 0.5 lbs/ft² (2.4 kg/m²) and the color is gray. It can be bonded to itself and to other materials with a silicone based adhesive.

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

December 1995

Microfoam PP

Microfoam PP is a lightweight, low loss, closed cell hydrocarbon resin foam used for a variety of microwave applications. PP is available in a range of dielectric constants from 1.03 to 1.15. The loss tangent is below 0.0003 at frequencies up to 10 GHz. The dielectric constant does not change with frequency. PP foams are tough and weather resistant and the water absorption is negligible.

Microfoam PP has been used in a variety of applications. Due to its low dielectric constant it is essentially transparent to electromagnetic energy. It can therefore be used for radomes or blankets or coverings where radar transparency is needed.

Microfoam Type	Dielectric Constant	Loss Tangent	Density lbs/ft ³ (g/cc)	Sheet Size inches (meters)	Standard thicknesses	
					inches	cm
PP-2	1.03	<0.0001	2 (0.032)	48x48 (1.22x1.22)	1/16, 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 1	0.16, 0.32, 0.64, 0.96
PP-4	1.06	<0.0001	4 (0.064)	48x48 (1.22x1.22)	1/16, 1/8	0.16, 0.32
PP-6	1.1	<0.0002	6 (0.096)	48x48 (1.22x1.22)	1/32	0.08

Microfoam PP Typical Physical Properties

Microfoam Type	PP-2	PP-4	PP-6
Tensile Strength psi (kg/cm ²)	35 (2.5)	80 (5.6)	110 (7.7)
Elongation %	220	290	310
Thermal Conductivity (BTU)(in)/(hr)(ft ²)(°F) (cal)(cm)/(sec)(cm ²)(°C)	0.28 0.000096	0.30 0.00010	0.32 0.00011
Maximum Use Temperature °F (°C)	200 (93)	200 (93)	200 (93)

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Technical Bulletin

MTI PRESS

December 1995

Microsorb MT-S

Microsorb MT-S is a series of high loss magnetically loaded silicone rubber materials suitable for use as terminations, loads, and attenuators in microwave circuits and devices.

Due to its silicone rubber base, MT-S can be easily cut to shape with a sharp knife and is easily machined to complex shapes. Its flexibility allows it to be bonded to irregular and contoured surfaces.

MT-S is ideal for applications requiring temperature cycling since its elastomer chemistry allows for deformations caused by heating and cooling that would break the bond of a rigid material.

Microsorb MT-S is available in sheets 12"x12", in thicknesses of 0.25", 0.5", and 1" and in 12" bar form 0.5"x0.5" and 1"x1".

MT-S Physical Properties

Density, g/cm ³	4
Thermal Expansion per °F (per °C)	35x10 ⁻⁴ (63x10 ⁻⁴)
Thermal Conductivity (BTU)(in ²)(hr)(ft ²)(°F) (cal)(cm)(sec)(cm ²)(°C)	6.0 0.0021
Hardness, Shore A	75
Service Temperature °F (°C)	320 (160)
Water absorption % 24 hours	<0.1
Dielectric strength v/mil (kv/mm)	>100 (>394)
Volume resistivity, ohm-cm	>10 ¹⁰

Microsorb MT-S Electrical Properties

	Relative Impedance Magnitude (Z/Z ₀)	Attenuation (dB/cm) Frequency (GHz)			
		1.5	3.0	8.6	10
Microsorb MT-S-117	0.3	2.9	11.0	46	51
Microsorb MT-S-124	0.4	5.6	20.0	63	69

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

WARRANTY: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Preliminary Technical Bulletin

MTI PRESS

February 1996

Microsorb SS-9

Microsorb SS-9 is a thin lightweight microwave absorber specifically designed for use in X band. It exhibits 20 dB or better reflectivity performance from 8-10 GHz. Its lightweight and weatherproof characteristics make it the ideal solution for applications where cost is an issue and broadband absorption is not a requirement.

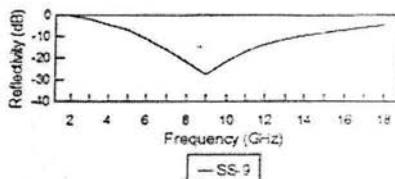
Based upon the Salisbury Screen design, SS-9 is a resonant absorber requiring a reflective backing. SS-9 is available with an integral ground plane and it is recommended that this be used.

Microsorb SS-9 Physical Characteristics

Thickness inches (cm)	0.26 (0.66)
Weight lbs/ft ² (kg/m ²)	0.15 (0.75)
Color	Dark green or gray

Microsorb SS-9

Measured Performance



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies

Preliminary Technical Bulletin

MTI PRESS

April 1997

Microsorb SS-3.7

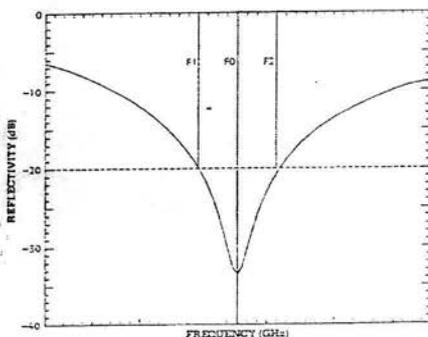
Microsorb SS-3.7 is a thin-light-weight microwave absorber specifically designed for use in S band. It exhibits 20 dB or better reflectivity performance from 2.7-4.7 GHz. Its lightweight and weatherproof characteristics make it the ideal solution for applications where cost is an issue and broadband absorption is not a requirement.

Based upon the Salisbury Screen design, SS-3.7 is a resonant absorber requiring a reflective backing. SS-3.7 is available with an integral ground plane and it is recommended that this be used.

Microsorb SS-3.7 Physical Characteristics

Thickness inches	0.78
Weight lbs/ft ² (kg/m ²)	0.15 (0.75)
Color	Dark green or gray

TYPICAL PERFORMANCE



Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION.

Microsorb Technologies, Inc.

Microsorb HCS-PYR-X-PC Honeycomb Pyramidal Absorber

Microsorb HCS-PYR-X-PC is a polycarbonate based pyramidal honeycomb absorber with a conductive latex coating. This absorber can be utilized for applications where incident power levels exceed the capabilities of standard foam pyramids. HCS-PYR-X-PC open cell structure enables higher power handling capabilities with a forced air cooling system to draw off the generated heat. Because of the encapsulation characteristics of the binder, HCS-PYR-X-PC can also be used in clean room enclosures. HCS-PYR-X-PC exhibits microwave performance similar to standard foam type pyramidal absorber. HCS-PYR-X-PC can be machined using standard type cutting tools.

HCS-PYR-X-PC Typical Properties (X Designates Absorber Height in Inches)

Standard Sizes	2FT. x 2 Ft. x 2 FT
Power Handling (10 GHz)	1.0 Watt/in ² (Without Air Flow)*
Service Temperature	180°F
Melt Point -	425 to 440 Degrees F.
Compressive Strength (PSI)	110 Modulus (KSI) 15
Shear Strength (PSI)	60 Modulus (KSI) 2.5
Cell Size	1/4 in.
Bonding Materials	Standard Adhesives

Microsorb HCS-PYR-X-PC Typical Performance

Type	1.0 GHz.	1.5 GHz.	2.0 GHz.	3.0 GHz.	4.0 GHz. & Above
HCS-PYR-4PC	—	20	25	30	40 to 50
HCS-PYR-6PC	20	25	30	35	40 to 50
HCS-PYR-8PC	30	35	40 to 50		
HCS-PYR-12PC	35	40 to 50			
HCS-PYR-18PC	40 to 50				

Microsorb Technologies

Preliminary Technical Bulletin

MTI PRESS

December 1997

Microsorb H

Microsorb H is a hair type, broadband microwave absorber similar to the "hair" version developed in the early days of absorber fabrication.

Microsorb H is a series of low cost broadband microwave absorbers for use in isolating adjacent antennas such as parabolic dish and horn antennas. Microsorb H could be used as an inexpensive material for decoupling adjacent members of antenna arrays. It is well suited for moderate performance anechoic chambers and in less sensitive areas of high performance chambers

Microsorb H is light-weight and flexible. It is composed of enmeshed, rubberized, lossy fibers, and is supplied in sheets of 2 feet by 2 feet. Other sizes are available on special order. Thickness is dependent on the lowest operating frequency as shown in the table of properties. The standard color of the absorber is white for good light reflectance. Other

colors are available on special order. Microsorb H meets the requirements of UL900.

Installation of Microsorb H is very simple. It is secured to flat or gently curved surfaces by use of a non-flammable contact adhesive such as Microbond OF

Microsorb H Physical Characteristics

Type	Thickness in Inches	Frequency Range GHz.
H-1	1.0	5 - 40
H-2	2.0	2 - 40
H-4	4.0	1 - 40
H-8	8.0	0.6 - 40
		Reflectivity - 20 DB
Weight : 0.33 to 1.7 lbs./ft ²		Service Temp : 350° F.
Color : White		Other colors available

Microsorb Technologies Inc.

14A Airport Drive
Hopedale, MA 01747



(508) 634-1900



(508) 634-1903

Warranty: This information is, to the best of Microsorb Technologies knowledge, accurate as of the date indicated. This information relates only to the specific materials designated herein and is not intended for the application or use of the materials with any other materials or in any process. The information is intended as a general guide only and does not constitute a warranty or representation whatsoever and MICROSORB TECHNOLOGIES HEREBY DISCLAIMS ALL EXPRESS AND IMPLIED WARRANTIES ARISING FROM THE USER'S RELIANCE ON OR USE OF THIS INFORMATION

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- [1] **ANTENNAS.**
John D Kraus.
Mc Graw Hill. U.S.A. 1988.
- [2] **ELECTROMAGNETIC ANECHOIC CHAMBERS..**
A fundamental design and specification guide.
Leland H. Hemming.
John Wiley & Sons, Inc.. U.S.A. 2002.
- [3] **ANTENNA THEORY, ANALYSIS AND DESIGN.**
C. A. Balanis.
John Wiley & Sons, Inc, New York, USA, 1997.
- [4] **ANTENAS.**
A. Cardama, L. Jofre, J. M. Rius, J. Romeu, S. Blanch.
Edicions UPC. Barcelona, España, 1993.

CATÁLOGOS

- [5] **MICROWAVE MATERIALS.**
Theory, Design and Test.
Paul F. Dixon. Technical Director.
Microsorb Technologies Inc., April 1993.
- [6] **ANTENNA MEASUREMENT PRODUCTS.**
Nearfield Systems, Inc.
<http://www.nearfield.com>.
- [7] **TEST AND MEASUREMENT 2000 CATALOG.**
Agilent Technologies.
<http://www.agilent-tech.com>.

ARTÍCULOS

- [8] **MEASUREMENTS OF THE RF POWER ANGULAR DISTRIBUTION.**
A.A. Alexandridis, K. Dangakis, P. Kostarakis, A. Kourtis.
International Workshop on Mobile Communications focused on UMTS and IMT-2000, Chania, Crete, Greece, pp 320-324, June 1999.

**[9] A NEW METHOD FOR ANTENNA RADIATION PATTERN
DETERMINATION**

P. Kostarakis, K. Dangakis, A.A. Alexandridis.

ICT 2000 International Conference on Telecommunications.

Proceedings Volume 2.

Acapulco, México, pp 887-890, May 2000.