

EVALUACIÓN DE ABSORBEDORES DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS CON DISEÑO PLANAR MULTICAPAS FABRICADOS CON MATERIAL VEGETAL Y MINERAL

EVALUATION ABSORBERS OF ELECTROMAGNETIC WAVES WITH MULTILAYERS PLANAR DESIGN MADE WITH MINERAL AND PLANT MATERIAL

Carlos Alberto Alfaro Camargo¹

Fecha de recepción: 17 de mayo 2016

Fecha de aceptación: 20 de setiembre 2016

Resumen

La demanda de los equipos eléctricos y electrónicos que ha generado el adelanto tecnológico presenta un inconveniente, irradiar de forma intencional o no cantidades variables de energía electromagnética alrededor de su espacio circundante. Lo que conlleva a que la interacción de estos equipos produzca interferencia electromagnética, cuyas consecuencias son: mal funcionamiento, perturbaciones en las comunicaciones y riesgo para la salud. La verdadera razón es para utilizarlos en recintos cerrados para ensayos de compatibilidad electromagnética, como sustituto a los importados, lo que implica una previa evaluación de sus propiedades y un diseño que considere su forma, estructura, coeficiente de reflexión y atenuación. En este trabajo se tratará de construir absorbedores de señal que trabajará con un rango de 30 MHz a 5 GHz del espectro radioeléctrico a través de un material absorbente de prueba de ondas electromagnéticas que consta de carbón mineral, madera (cañaguante) (*Tecoma spectabilis*), cactus (*Stenocereus griseus*) y poliuretano de geometría planar. Las ecuaciones pueden ser resueltas explícitamente para algunos casos y configuraciones particulares (por ejemplo, incidencia normal). El absorbedor se construyó por capas con un espesor homogéneo para cada mezcla, entre el poliuretano con cactus, cañaguante, y carbón mineral, luego se evaluó su coeficiente de atenuación en el laboratorio de comunicaciones de la facultad de ingeniería de la universidad del Zulia. Los resultados obtenidos fueron óptimos, dado que cada capa fue evaluada con la mayor rigurosidad posible lo cual indica que se pueden construir absorbedores de ondas electromagnéticas con material del medio a bajo costo recomendando su uso.

Palabras claves: Atenuación, ondas electromagnéticas, antenas, cámara, absorbente.

Abstract

The demand for electrical and electronic equipment that generated the technological advance presents a drawback, intentionally radiate or varying amounts of electromagnetic energy around your surrounding space. Leading to the interaction of these devices produce electromagnetic interference, the consequences are: malfunctions, disruptions in communications and health risk. The real reason is for use in enclosed areas for electromagnetic compatibility testing, as a substitute for imports, which implies a prior assessment of their properties and a design that considers the shape, structure, reflection coefficient and attenuation. In this paper we try to build signal absorbers work with a range of 30 MHz to 5 GHz radio spectrum through a material absorbing electromagnetic wave test consisting of coal, wood (cañaguante) (*Tecoma spectabilis*) cactus (*Stenocereus griseus*) and planar geometry polyurethane. The equations can be solved explicitly for some particular cases and configurations (eg, normal incidence). The absorber is constructed in layers with a uniform thickness for each mixture, between the polyurethane with cactus, cañaguante, and coal, them the attenuation coefficient evaluated in the laboratory of communications for the Faculty of Engineering of the

¹ Docente licenciado en matemática y física, Magister e Física, docente de la Universidad de la Guajira, Maicao la guajira Colombia docente_fisica@uniguajira.edu.co perteneciente al grupo de investigación InecTIC, escritor del libro Etnoastronomías y otras.

University of Zulia. The results were excellent, as each layer was assessed with the greatest rigor possible indicating that you can build electromagnetic wave absorbing material of low-cost medium to recommending its use.

Keywords: *attenuation, electromagnetic waves, antennas, camera, towel.*

1. Introducción

El estudio de los fenómenos de Interferencia Electromagnética - IEM y la solución a los problemas que ésta ocasiona, han adquirido una notable relevancia en el desarrollo y desempeño de los modernos dispositivos, equipos y sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones. En el ámbito mundial, el entorno en el que interactúan los equipos se hace cada día más complejo debido a dos factores principales: la creciente vulnerabilidad de estos dispositivos y equipos y, al mismo tiempo, su capacidad de interferir el funcionamiento de otro equipo. La Interferencia Electromagnética - IEM se define, entonces, como cualquier perturbación electromagnética que se manifiesta en la degradación de la operación, el mal funcionamiento o la falla de un dispositivo, equipo o sistema eléctrico, electrónico o de telecomunicaciones. Aunque, tradicionalmente, el concepto ha sido asociado con fenómenos de radiación o conducción de campos electromagnéticos, este tiene una acepción más amplia que incluye fenómenos como armónicos, transitorios, rayos, descargas electrostáticas, ruido, fluctuaciones de tensión, etc.

El problema de Interferencia Electromagnética - IEM no es exclusivo de los equipos y dispositivos electrónicos aeronáuticos, ni es de reciente aparición. Los primeros problemas de IEM se iniciaron hacia 1830 con la invención del telégrafo, y se empezaron a intensificar hacia finales del siglo XIX, cuando aparecieron y comenzaron a interactuar las redes telegráficas y telefónicas con los generadores de energía eléctrica y las líneas de transmisión de alta tensión. Después de la primera guerra mundial se desarrollaron nuevas técnicas de transmisión de señales y nuevos materiales, complicando así el problema de IEM. Estas dificultades llevaron a la ingeniería a tratar de reducir la gravedad del problema. El gobierno norteamericano creó en 1934 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), para regular el uso de las comunicaciones inalámbricas. Posteriormente, otros países fueron creando organizaciones similares: Alemania, con sus normas VDE, y Suiza, con su Comité Internacional Special des Perturbations Radioelectriques (CISPR), establecidos para determinar métodos y límites de IEM. En Colombia, hasta hace muy poco tiempo el tema ha comenzado a ser estudiado, a pesar de que el país está ubicado en la zona con mayor Interferencia Electromagnética.

2. Material y métodos

Esta investigación fue de tipo proyectiva, debido a que implicó el diseño y creación de un dispositivo como solución a una situación determinada a partir de un proceso investigativo.” (Hurtado, 2008). El diseño de investigación fue de fuentes mixtas porque abarcó tanto fuentes documentales como pruebas experimentales en el laboratorio. La investigación partió de consultas y revisión de diversas fuentes bibliográficas, como libros, textos y autores para brindar todo el apoyo teórico a la investigación. Para reforzar y establecer los criterios teóricos que sustenten la evaluación se realizaron pruebas de laboratorio con el fin de cuantificar o medir la eficacia del absorbedor planar a base de carbón mineral, cactus, poliuretano, madera pulverizada (cañahuate).

En la estructura escogida Como absorbente fue planar, se pudo calcular su conductividad σ y permitividad relativa ϵ_t , además, se puede distribuir arbitrariamente estos parámetros y fijar la cantidad total del absorbente. Es de anotar que la libertad que existe para escoger los materiales de las distintas capas, el diseño de absorbentes es muy complejo. En primer lugar, la mayoría de los dieléctricos utilizados en absorbentes tienen $\epsilon_t \geq 2$, lo que hace difícil conseguir una impedancia lo suficientemente grande como para que se aproxime a Z_0 . Para reducir la constante dieléctrica efectiva a $\epsilon_t \approx 1$ se podría pensar en utilizar un material como es el caso de polímeros de muy baja densidad. La idea principal fue colocar el absorbedor de ondas electromagnéticas entre la antena emisora y la antena receptora de la señal de la onda electromagnética, para ello se tuvo en cuenta cuanta energía se reflejará, y por supuesto la energía que absorbió.

Las dimensiones de este absorbedor de ondas electromagnéticas a base de madera pulverizada(cañahuate), carbón mineral (cerrejón Colombia), cactus pulverizado y poliestireno, tuvo las siguientes medidas 23 cm de ancho, por 30 cm de altura; cada una de las capas fue uniforme. Cada material se mezcló con poliuretano tomando en cada muestra patrón su masa, y de acuerdo a la efectividad del insumo así fue su cantidad, luego de realizar las mediciones en el departamento de física eléctrica de la Universidad del Zulia Maracaibo. Para este proyecto se construyó de un molde hecho con marcos de madera con un espesor de 5 cm, tendrá tres capas conformadas de cañahuate pulverizado, cactus pulverizado y carbón mineral; para la consistencia y maleabilidad de los materiales se mezcló con poliuretano.

3. Diseño y construcción de las placas absorbentes

Etapa 1: Para la primera fase se construirá 3 moldes de madera con un espesor de 3cm para garantizar la uniformidad de las capas. Se mezcló poliuretano con:

- a) Madera (cañahuate) (*Tecoma spectabilis*)
- b) Carbón mineral.
- c) Cactus (yotojoro) (*Stenocereus griseus*)

Cada mezcla se depositó en cada molde, se tomaron los tiempos para medir el tiempo de secado.

Etapa 2 (Caracterización)

- Se tomó a prueba cada capa por separado en el laboratorio
- Se tabularon los resultados obtenidos para ser comparados
- Se unieron las tres capas y se sometieron a prueba, luego se comparó los resultados con los resultados individuales de cada capa.
- Se obtuvieron las conclusiones de las mediciones hechas.

Premisas de Diseño : Para establecer las premisas de diseño se realizó una recolección de información teórica la cual permitió describir la forma y los elementos para la construcción del absorbedor planar a base de material mineral y vegetal, tomando como fuentes principales a consultar, los antecedentes de esta investigación (Hyland, 2000). (López, 2011) (Araujo, 2011) y Sebastián (1999). Realizada la revisión bibliográfica, se procedió a realizar un estudio detallado de los criterios que intervinieron al momento del diseño del absorbedor planar, las cuales son:

- materiales (Sikaflex, yotojoro- cactus, cañahuate y carbón mineral)
- Rango de frecuencia de Trabajo: 2.41 GHz., fija
- grosor de la capa 1 cm.
- construcción de tres capas uniforme con dimensiones de 30cm x 20cm como se muestra en la figura .1 Área efectiva para el dispositivo bajo prueba: 600 cm²,0.06m²



Figura 1: Dimensiones del molde
Fuente: Alfaro C. . Elaboración propia

Nuestro analizador de espectro mide directamente la potencia recibida, el mismo posee un generador de 1 mW de salida, por lo que no es necesario calcular nada, solo se limita a realizar operaciones de resta entre los db recibido con la presencia de absorbedores - db emitido sin la presencia de los absorbedores.

Capa de carbón mineral

Para la construcción de esta capa se utilizaron 295 gr de carbón pulverizado con 475 gr de Sikaflex, con un espesor de 1 cm con dimensiones de 20cm x 30cm, presentando un color negro envejecido, la forma se muestra en la figura 2.



Figura 2: *Capa de poliuretano y carbón*
Fuente: Alfaro C. . *Elaboración propia*

Capa de cactus (yotojoro)

La construcción de esta capa fue tediosa, dado que nos tocó pulverizar el yotojoro, para ello se utilizó una Pulidora Industrial Dewalt De 4 - 1/2 Pulgadas con 13 Amp, potencia de 850W-2.3 Hp, con 9000 rpm como se muestra en la figura 4.3. Luego de pulverizarla se mezcló con sikaflex con un espesor de 1 cm con dimensiones de 20 cm x 30cm.



Figura 3: *Pulverización del cactus*
Fuente: Alfaro C. . *Elaboración propia*

Para realizar esta mezcla se tomó 235 gr de yotojoro (cactus) con 295 gr de Sikaflex presentando una capa de color característico.

En esta capa se utilizaron 271 gr de cañahuate pulverizado con 205 gr de Sikaflex con un espesor de 1 cm con dimensiones de 20cm x 30cm presentando un color característico.

Tiempo de secado

Las capas fueron sometidas a 48 horas de secado al aire libre para mayor consistencia de su estructura.

Montaje

Para las mediciones de la eficacia del absorbedor planar multicapas fabricados con material vegetal y mineral se procedió a realizar el siguiente montaje como se muestra en la figura 4 Consiste en un arco de madera el cual estaba graduado para ubicar las antenas emisora y receptora con ángulo de 0° a 180°. Variando el ángulo de las antenas cada 5° para que el analizador de espectros calculará el coeficiente de reflexión de la onda emisora; este procedimiento se realizó 20 veces promediando los resultados. Bajo el std. IEEE 1128.



Figura 4: Montaje dispositivo equipado con antenas en un arco graduado.
Fuente Alfaro C. . Elaboración propia

En primera instancia se midió la potencia de la onda reflejada sin absorbedor datos que recoge la siguiente tabla, en el analizador de espectro muestra la potencia reflejada sin el absorbedor, Luego se colocó el absorbedor con las capas de carbón, cañahuate y cactus y se procedió a medir la potencia reflejada. Luego de la obtención de las respectivas mediciones se procedió a tabular los resultados arrojados donde se relacionan la variación del ángulo de incidencia la potencia recibida sin el absorbedor, la potencia recibida con el absorbedor y el coeficiente de reflexión. Este último se calcula mediante un analizador de espectros.

Tabla 1

Resultados arrojados del coeficiente de reflexión por el analizador de espectros

Ángulo posición de antenas	ángulo de incidencia	(dB) "Sin Absorbedor"	(dB) "Con Absorbedor"	coeficiente de reflexión (dB)
0°-----180°	0	-65.9	-22.2	43.7
5°-----180°	87.5	-68.1	-42.4	25.7

5°-----175°	85	-65.6	-41.3	24.3
10°-----175°	82.5	-67.7	-43.2	24.5
10°-----170°	80	-68.1	-44.8	23.3
15°-----170°	77.5	-69.9	-46.7	23.2
15°-----165°	75	-71.9	-47.21	24.69
20°-----165°	72.5	-72.1	-34.3	37.8
20°-----160°	70	-76	-28.3	47.7
25°-----160°	67.5	-73.9	-30.8	43.1
25°-----155°	65	-66.7	-28.9	37.8
30°-----155°	62.5	-66.7	-30.7	36
30°-----150°	60	-64	-23.9	40.1
35°-----150°	57.5	-63.2	-25.9	37.3
35°-----145°	55	-61.3	-30.2	31.1
40°-----145°	52.5	-61.8	-24.9	36.9
40°-----140°	50	-60.6	-30.2	30.4
45°-----140°	47.5	-64.1	-36.7	26.4
45°-----135°	45	-62.8	-38.3	24.5
50°-----135°	42.5	-64.5	-37.3	27.2
50°-----130°	40	-70.3	-30.4	39.9
55°-----130°	37.5	-68.8	-26.4	42.4
55°-----125°	35	-66.7	-27.7	39
60°-----125°	32.5	-76	-27.9	48.1
60°-----120°	30	-62	-24.5	37.5
65°-----120°	27.5	-61.7	-22.3	39.4
65°-----115°	25	-63.5	-21.6	41.9

Fuente: *Elaboración propia*

4. Procedimiento

Se utilizó método arco, en el que utiliza una transmisión y una antena de recepción. La antena de transmisión emite la señal al absorbedor, y la reflexión es recogida por la antena de recepción. Se utilizó diferentes ángulos de incidencia que se obtuvieron variando la antena de transmisión a lo largo del arco. La antena receptora se mueve también al ángulo correspondiente de la reflexión. El absorbedor de RF se colocó

en el suelo de un área determinada. El absorbedor de RF es entonces iluminado por una onda incidente, que es producida por un transmisor antena que es excitado por un pulso de corta duración. La onda reflejada es recogida por una antena de recepción, y es procesada digitalmente para obtener la reflectividad del absorbedor de RF sobre el ancho de banda de frecuencias de interés. De la tabla se puede concluir que en la media que se varié el ángulo entre las dos antenas menos se refleja la onda incidente, mas es efectivo el absorbedor es donde muestra menores valores para la potencia.

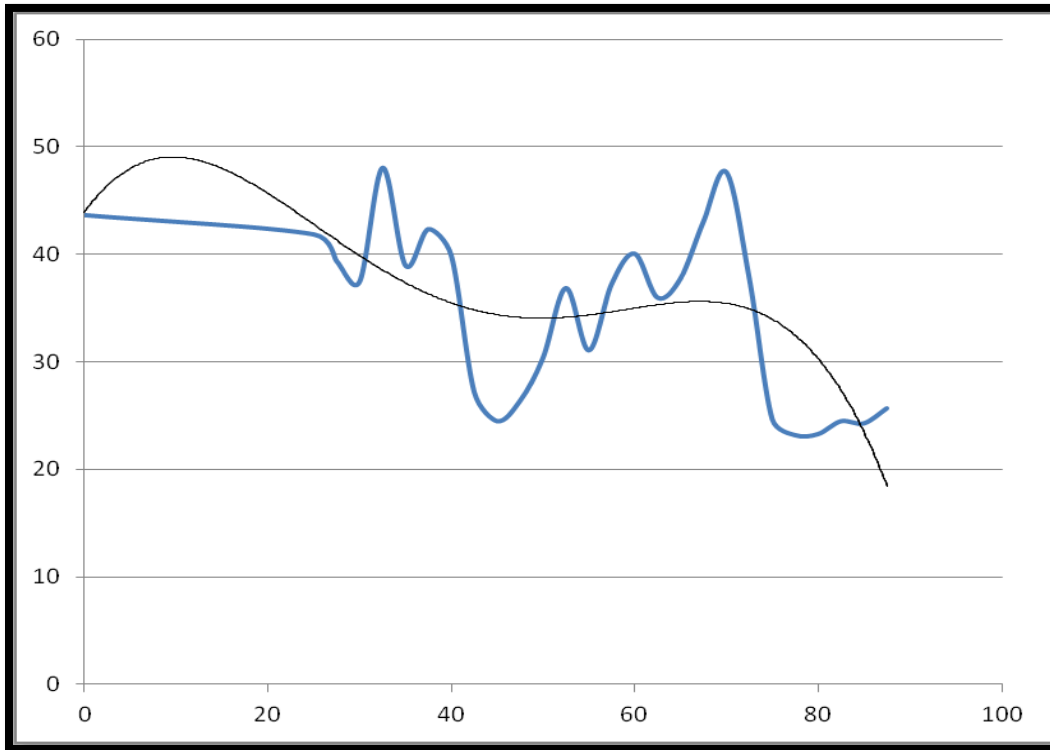


Figura 5: Muestra coeficiente de reflexión Vs el ángulo de incidencia medidos en dB.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior es una curva de interpolación polinómica de grado 4 (curva en negro) y la curva en azul corresponde a las mediciones.

Diseño de absorbedor electromagnético

Un absorbedor es un material con pérdida que disipa en su interior toda la energía de una radiación electromagnética que incida sobre él, de forma que no hay radiación reflejada de nuevo al exterior. Esta disipación de energía se podría realizar por el efecto Joule en forma de calor al circular la corriente por los conductores, los conductores tienen una impedancia intrínseca baja y por consiguiente actúan como muy buenos reflectores a una radiación incidente externa; sin embargo, esta disposición de energía se puede producir en estructuras formadas por múltiples capas con distintas propiedades eléctricas. En la superficie, la impedancia intrínseca es muy próxima a la impedancia de la onda incidente, pero su conductividad va aumentando gradualmente con la distancia en el interior de forma que el coeficiente de reflexión en la frontera de cada capa se mantiene tan pequeño como sea posible y al mismo tiempo se permite la disipación progresiva por efecto Joule de la energía de la onda incidente.

Factores importantes en el diseño de absorbedores

Es muy importante tener en cuenta las apreciaciones hechas por el Doctor José Luis Sebastián Franco en su libro fundamentos de compatibilidad electromagnética “un buen absorbente debe tener un espesor del orden de una longitud de onda de la frecuencia más baja de operación, ya que las ondas no se ven afectadas por estructuras considerablemente más pequeñas que su longitud de onda y que la dispersión de la radiación en la superficie depende no solo de sus propiedades absorbentes sino también de su forma geométrica.” En la simulación, el absorbente está formado por múltiples capas superpuestas con distintas propiedades eléctricas y el campo electromagnético puede tener cualquier ángulo de incidencia y estar polarizado paralela o perpendicularmente a la superficie de la estructura. Algunas empresas como *Holland Shielding Systems B.V* se han dedicado a la construcción de absorbedores con base de Ferrita dado que es ligero y flexible y absorbe las ondas electrónicas, también reduce el ruido y absorbe los golpes. Dependiendo del espesor, la absorción cubre un rango de 30 MHz a 5GHz. El tipo más grueso es más eficaz para frecuencias bajas. Adhesivos conductores y no conductores pueden ser aplicados ya sea en la parte superior o inferior, o ambas cosas.

Los materiales de absorción EMI se encuentran entre los productos de alta tecnología, tales como los dispositivos electrónicos de LCD, ordenadores portátiles y de sobremesa. Los materiales de absorción de ondas electromagnéticas se componen de materiales dieléctricos mezclados con ferrita, un material magnético, en diferentes formas y tamaños. Debe ser capaz de absorber la energía electromagnética perpendicularmente y con grandes ángulos incidentes en una amplia gama de frecuencias.

Carbón mineral

El carbón solo sin ninguna aleación, es un no metal aun cuando una variedad suya, el grafito posea características conductivas y guarde ciertas semejanzas con los semimetales este elemento presenta una gran afinidad al momento de enlazarse con cualquier otro elemento, ya que forma configuraciones muy estable, la idea es que el carbón transforme la onda en calor al momento que esta haga fricción con la superficie del mismo. (López y Brito, 2006)

Cactus (*Stenocereus griseus*)

Es de mucha variedad y de mucha existencia El cactus es la más famosa de las plantas suculentas y se caracteriza por la presencia de púas y de tejido pulposo para conservar el agua en los tallos, hojas y raíces cuando tienen que soportar períodos de sequía. El sentido etimológico de la palabra cactus proviene del griego káktos, que se cree que utilizaban para designar a alguna planta parecida al cardo. Estas plantas suculentas son de origen americano, en concreto de las regiones desérticas de Estados Unidos y México, la Guajira Venezolana y Colombiana aunque se han extendido por todo el mundo gracias a su gran adaptabilidad a los diferentes climas y ambientes, es una planta muy común, se pulverizó para extraer de ella un polvo que mezclado con poliuretano para que sirviera como insumo para la construcción de un absorbedor de ondas de forma planar, para (López, 2011) el cactus se le atribuye la propiedad de absorbedor de ondas electromagnética, no se tiene un registro científico sobre tal afirmación solo se cree que por el hecho de poseer una gran cantidad de agua almacenada sea un excelente absorbedor.

Cañaguatate (*Tecoma spectabilis*)

Árbol de madera durísima, tronco recto y delgado cuya principal característica son los ramos enhiestos de bellísimas flores amarillo-dorado que echa durante el verano. Antes de la floración permanece cubierto de hojas ovoidales de textura aterciopelada y verde opaco, que se caen totalmente cuando aparecen las flores, quedando vestido únicamente con los profusos ramos amarillos. Su fruto es una vainilla larga y enroscada donde vienen las semillas. Su madera se utiliza en la fabricación de muebles, puertas y ventanas. Pertenece a la familia de las *bignoniáceas*, especie *Tebebuia chrysantha* y su nombre científico es: *Tecoma spectabilis*. En algunas regiones le llaman *chicala* o *chicalá* y en Venezuela *araguaney*.llamado así por los Caribe Al igual que con el cactus se utilizó madera (cañaguatate) que es un árbol muy abundante en la Guajira Colombiana, se

plana pulverizar para mezclarlo con poliuretano para utilizarlo como insumo para la construcción del absorbedor con geometría planar. (Araujo, 2011)

Poliuretano

El poliuretano es un agente químico, ampliamente utilizado en diversos procesos industriales. Fue en 1937, cuando el químico alemán, Otto Bayer, logró la primera sintetización del poliuretano. Su fabricación a nivel industrial, comenzó en los inicios de la década de los 40, hoy en día, el poliuretano, es muy usado en fabricación de pinturas sintéticas, destacándose, la de los automóviles. Las cuales logran una alta adherencia al metal y gran resistencia a la inclemencia del tiempo. Ya sea en verano o en invierno. Asimismo, el poliuretano, en la actualidad, también es utilizado en la fabricación de espumas, incluso en la fabricación de paneles aislantes, para cámaras frigoríficas; logrando un muy buen aislamiento del frío. El Proceso que requiere de la inyección de agua, en el poliuretano. Lo que provoca que el material, se infle literalmente. Pero la gracia en su utilización como aislante, es que a diferencia de las esponjas normales, las cuales presentan poros abiertos, el poliuretano logra un acabado sin poros. Sin aquella cualidad, sería inútil su utilización en el campo de la refrigeración industrial. El poliuretano es por lo general la mezcla de dos componentes o sistema bicomponente, el A y el B, en una proporción estequiométricamente definida por el químico que diseña la fórmula.

Existen además poliuretanos monocomponentes, como por ejemplo los habitualmente usados en la industria de la construcción. Este material es de muy bajo costo y abundante en el mercado, se utilizará como el insumo con lo que se mezclarán los otros componentes del absorbedor. (Chem-Trend, 2011) .para el diseño de las placas se utilizó **Sikaflex -1a** es un sellador elástico de alto desempeño, de un solo componente, con base en poliuretano, para el sello de juntas arquitectónicas o estructurales con fuertes movimientos.

5. Discusión

Se realiza comparaciones de los propios resultados con estudios similares, aportaciones teóricas o prácticas y las conclusiones derivadas de los datos. Se resaltan las evidencias de las conclusiones, defendiendo la validez e importancia. Con la finalidad de sustentar la presente investigación se sometió a la discusión la revisión del material bibliográfico, trabajos especiales de grado y otras investigaciones relacionadas con el tópico. Se consultó algunos trabajos de investigación los cuales fueron tomados como antecedentes para este proyecto de investigación debido a la relación existente entre el título y contenido. Por un lado Brito y López (2006) en su trabajo presentan los diferentes materiales que son utilizados para la fabricación de cámaras anecoicas, se resaltan las espumas sólidas, que es un polímero impregnado de carbón, en el cual se aplica en el interior de las cámaras anecoicas y en especial para frecuencias entre 1 a 40 GHZ. Este producto es utilizado para reducir las ondas reflejadas por la antena fuente, para que la antena bajo prueba reciba la señal directa sin atenuaciones. Se lo encuentra en diferentes variedades de espesor que dependen de la frecuencia de trabajo de las antenas.

El trabajo presenta dos formas de absorbentes piramidales huecos que normalmente se pueden utilizar. El más común es un producto hecho con espuma absorbente de fino espesor que envuelve a una pequeña pirámide de espuma sólida. Este tipo de material es muy comercializado en Europa. El otro diseño de este producto se hace recubriendo una capa delgada de un metal con una capa plástica y enlazando este con la pirámide absorbente para darle soporte se utilizan para frecuencias menores a 1GHZ, donde los materiales absorbentes deben proporcionar un mejor funcionamiento.

Otra forma que el material puede tener es cónica. Este producto tiene la misma geometría que el material piramidal, una misma dirección y forma uniforme en toda la plancha. Esta se utiliza especialmente cuando se requiere guiar la energía a una pared específica. La reflectividad es la misma que en el material piramidal del mismo espesor, donde el campo eléctrico es perpendicular a los conos. Otro absorbente para microondas se realiza con el entrelazamiento de la espuma, es decir junta varios tipos de espesor dentro de una misma plancha. Esto le da mayor funcionamiento al material, debido a que hay más probabilidades de reflexión sobre el absorbente y mayor pérdida de energía. En consecuencia el absorbente dieléctrico multicapa

es formado de láminas uniformes de fabricados con material vegetal y mineral con espesor de las capas muestra en los resultados que es muy eficiente debido a que provee bajas pérdidas de la señal.

6. Conclusiones

El espíritu que motivó a la construcción del absorbedor planar partió de la necesidad de obtener un dispositivo con material del medio, de bajo costo que permitiera atenuar ondas electromagnéticas provenientes de cualquier fuente.

Esta investigación asumió como objetivo general la construcción de un prototipo de absorbedor de ondas electromagnéticas con geometría planar, el logro se obtuvo a través del cumplimiento de las etapas descritas en la metodología utilizada, enmarcadas en la ejecución de actividades que permitieron cumplir los objetivos específicos de este trabajo especial de grado. Para. Ello se concluye que:

- Se logró diseñar un dispositivo planar con las cuales se pudo comprobar la pertinencia del diseño geométrico.
- Se pudo comprobar que cada capa por separado es potencialmente un buen absorbedor.
- Resulta validadas las propiedades absorbentes del carbón mineral, la madera cañaguat (Tecoma spectabilis) y cactus (Stenocereus griseus).
- Se validó la efectividad del dispositivo planar multicapas a base de carbón mineral, poliuretano, cactus (Stenocereus griseus) y madera cañaguat (Tecoma spectabilis) como absorbedor de ondas electromagnéticas.

7. Recomendaciones

En caso que se desee utilizar el presente trabajo como base para futuros diseños de absorbedores de ondas electromagnéticas, se recomienda lo siguiente:

Para Investigaciones de absorbedores:

Basado en el principio de la generación de ciencia y tecnología se recomienda para el diseño de posibles absorbedores utilizar materiales de fácil accesibilidad y disponibilidad en el mercado.

Para Construcciones futuras de absorbedores:

- Tomar como punto de partida las premisas y consideraciones de esta investigación.
- Probar con otros materiales del medio que posean características de un buen absorbente.

Para la Validaciones de futuros absorbedores:

- Considerar la repetición de las mediciones propuestas al menos 20 veces con la finalidad de garantizar unos niveles bajos de incertidumbre y de errores.
- Para obtener valores de validación, adecuar equipos que cubran con toda la frecuencia de trabajo, se sugiere la utilización de equipos e insumos necesarios para trabajos en el campo de inmunidad electromagnética y compatibilidad electromagnética.

REFERENCIAS

Araujo Noguera, consuelo; (consulta: 2011, mayo 27) árboles nativos...en <http://www.banrepcultural.org>

Araujo Noguera, consuelo; (2011 mayo 28) Consultado en <http://www.misrespuestas.com/que-es-el-poliuretano.html>

- Balcells, Joseph (1999). “Interferencias electromagnética en sistemas electrónicos”, Ed. Marcombo
- Bary, W. Wilson (1988). Chronic Exposure to ELF Fields May Induced Depression, Bioelectromagnetics 9.
- Brito Flórez Paulina y López campos Mónica Patricia (2006). Proyecto de grado de Ingeniería. “Diseño y Construcción de una Cámara Anecoicas para la Facultad de Ingeniería Electrónica”,
- CIER. (2004). Los campos electromagnéticos y la salud. Seminario Internacional. Asunción. Paraguay.
- CISPWAIWG 1 (1995). (ad-hoc/convenor) 13A, Second report of the CISPR/A/WGI ad-hoc group on "Determination of instrumentation for measurement of interference above 1 GHz,"
- Compañía editorial continental, S.A.
- F. C. Smith. (1999). Effective permittivity of dielectric honeycombs” IEEE Proc. Microw. Antennas and Propagation, Vol. 146, No. 1.
- Gil Pablo, (2001). Ondas electromagnéticas y salud [libro en línea] en: http://www.ondasysalud.com&rlz=1W1ADSA_es&aq=f&aqi=&aql=&oq=&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=636e364e6eacd1f5&biw=418&bih=244
- Hernández, Luis Jorge; Quiroga V, Fernando; Medina, Katalina; Guerrero S, Lina Marcela (1996) FUENTE. Que son los campos magnéticos: normas actuales. Noviembre 1996. Publicado en <http://www.who.int/peh/emf/about/WatisEMF/es/index4.html,ICNIRP,CEM>
- Jackson, John David (1966). Electrodinámica clásica. Madrid, Buenos Aires, México: Ed. Alhambra, S. A
- Javer K., Introduction to the control of electromagnetic interference: a guide to Understanding, applying and tailoring EMI limits and test methods, EMC Compliance Publisher, Huntsville, AL.
- Jung, Minseok and BOMSON, (2002) Lee 2002 Proceedings of IEEE APS international symposium,
- López Badilla, M.C. Gustavo; Naturaleza*Medio ambiente*ciencia*Flora*fauna...en: <http://waste.ideal.es/cactus.htm> (consulta: 2011, mayo 29)
- Lopez Campo,Monica; Brito Flores, Paulina; Saen Enderica, Fabian;(20011, mayo 29) vol 1 implementación de una cámara Anecoicaen la banda de 2-3 GHZ en: <http://ciecfie.epn.edu.ec/JIEE/historialXX%20JIEE/19%201implementaci%C3%A1mara%20necoica.Esp> lore
- P. Drude. (1959). “The Theory of Optics”. Dover Publications, INC. New York.
- Plonsey, Robert y Collin, Robert E. (1973). Principles and Applications of. New Deihi. New York: Ed. Tata McGraw-HILL PUBLISHING COMPANY LTDA
- Rodewald, A1995. Electromagnetic Compatibility (in German), Vieweg,
- Ronquillo E., Leija L., Chong J., (1999). Et al, “Avances en el diseño y fabricación de material absorbente”, Quinta Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CIE99, México D. F.
- Rudolph, W. (2001). An EMC Primer for Electricians (in German), VDE-Verlag,

Alfaro, C. Evaluación de absorbedores de ondas electromagnéticas con diseño planas multicapas fabricados con material vegetal y mineral. – Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación VOL 3/Nº 2 – ISSN 2313-1926/Setiembre 2016

R Rudolph, W. (2001). An EMC Primer for Electricians (in German), VDE-Verlag, udolph, W. y WInter, O. (2000). EMC according VDE 0100 (in German), VDE-Verlag,

Sandiku, Matthew N. O. (1998). Electromagnetismo. De C.V. México: Segunda Edición. Ed. Compañía editorial continental, S.A.

Sebastián, Jose Luis “Fundamentos de compatibilidad Electromagnética”, Ed. Addison - Wesley

Tim, Williams., (1997). EMC Control y limitación de Energía Electromagnética, Paraninfo.

Weir, William. (1974). Symposium on electromagnetic compatibility, Vol. 2, p. 822 Weir William B Proc. IEEE 62 33 World, Wide (2001, 5 de marzo) Web: http://www.ree.es/medio_ambieynte/pdf/REE_CEM_2001.h