

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 986**

51 Int. Cl.:

**F42B 10/46** (2006.01)

**F41H 5/04** (2006.01)

**H01Q 1/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2013 PCT/EP2013/071193**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14057051**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2013 E 13774433 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 2906902**

54 Título: **Paredes de radomo antibalístico compuestas**

30 Prioridad:

**12.10.2012 US 201261713179 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**30.10.2018**

73 Titular/es:

**DSM IP ASSETS B.V. (100.0%)  
Het Overloon, 1  
6411 TE Heerlen, NL**

72 Inventor/es:

**KOLAK, LEWIS y  
MIROTZNIK, MARK**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 687 986 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Paredes de radomo antibalístico compuestas.

Las realizaciones descritas en la presente memoria se refieren a radomos que pueden emplearse de manera útil en un sistema de radar compuesto de una antena de radar. Las realizaciones de los radomos descritos en la presente memoria tienen propiedades tanto antibalísticas como de transmisión electromagnética y, por consiguiente, son particularmente útiles para su uso en sistemas de radar que pueden exponerse a amenazas balísticas, p.ej., sistemas de radar a bordo de varios vehículos, embarcaciones y aeronaves de combate.

Un radomo es una cubierta electromagnética para un sistema de radar, a saber, un sistema que comprende una antena de radar, y se usa para proteger el sistema de elementos y amenazas ambientales como, por ejemplo, protegerlo, por ejemplo, del viento, lluvia, granizo y similares. Un requisito importante de un radomo es que el radomo no afecta de manera sustancialmente adversa a una onda de radar que atraviesa el radomo; sino también cuando una onda de radar reflejada entra otra vez a través del radomo que se recibirá por la antena de radar. Por lo tanto, el radomo debe, en principio, tener dos cualidades primarias, a saber, suficiente integridad estructural y durabilidad para los elementos ambientales y transparencia electromagnética adecuada (a saber, rendimiento electromagnético adecuado que provee una eficacia de transmisión satisfactoria de ondas de radar a través del radomo).

El rendimiento electromagnético de un radomo se mide, normalmente, por la capacidad del radomo de minimizar la reflexión, distorsión y atenuación de ondas de radar que atraviesan el radomo en una dirección. La eficacia de transmisión es análoga a la transparencia aparente del radomo con respecto a las ondas de radar y se expresa como un porcentaje de la potencia transmitida del radar medida cuando no usa una cubierta de radomo en el sistema. Dado que los radomos pueden considerarse dispositivos electromagnéticos, la eficacia de transmisión puede optimizarse mediante el ajuste del radomo. El ajuste de un radomo se lleva a cabo según varios factores, incluido el grosor de la pared de radomo y la composición de aquella. Por ejemplo, mediante la cuidadosa elección de materiales que tienen una constante dieléctrica y tangente de pérdidas determinadas, cada una de ellas es una función de las frecuencias de onda transmitidas o recibidas por el sistema de radar, el radomo puede ajustarse. Un radomo que se ajusta pobremente atenuará, dispersará y reflejará las ondas de radar en varias direcciones, con un efecto perjudicial en la calidad de la señal de radar.

Se hace referencia a las estructuras de pared de radomo previas conocidas con respecto a las cuales se ha descubierto que tienen un buen rendimiento como una construcción A-sándwich. Una pared de radomo A-sándwich contiene un panel compuesto que contiene un núcleo expandido, p.ej., un panal o un núcleo que contiene espuma, delimitado por caras que, normalmente, contienen una lámina de epoxi/fibra de vidrio. El grosor de toda la construcción en sándwich, núcleo y caras es de aproximadamente un cuarto del grosor de longitud de onda para ángulos de incidencia cercanos de las ondas de radar. Dichas paredes de radomo A-sándwich se describen, por ejemplo, por los documentos EP 0 359 504; EP 0 470 271; GB 633,943; GB 821,250; GB 851,923; US 2,659,884; US 4,980,696; US 5,323,170; US 5,662,293; US 6,028,565; US 6,107,976; y US 2004/0113305.

Mientras dichas construcciones A-sándwich previas conocidas exhiben transparencia electromagnética apropiada y proveen suficiente integridad estructural para proteger el sistema radar de amenazas ambientales generales, no proveen protección antibalística. Por supuesto, es evidente que varios vehículos de combate que emplean un sistema de radar (p.ej., vehículos de infantería, aeronaves tripuladas y no tripuladas, y embarcaciones navales) están potencialmente sujetos a amenazas balísticas de fuera opuestas. Será, por lo tanto, muy beneficioso si las estructuras de pared de radomo pudieran proveerse no solo con propiedades de transparencia electromagnética adecuadas, sino también con propiedades antibalísticas adecuadas. Del documento WO 2012/080317 A1 que representa el punto de partida de la presente invención, se conoce una estructura de pared de radomo que unifica dichas propiedades, y es hacia el objetivo de proveer dichas mejoras que las realizaciones descritas en la presente memoria se encuentran orientadas.

En general, las estructuras de pared de radomo compuestas según la presente invención comprenden un núcleo libre de espacios vacíos, sólido, interno y antibalístico y capas de superficie antirreflectantes (AR) externas que atrapan al núcleo, en donde las capas de superficie externas antirreflectantes son estructuras de superficie de sublongitud de onda que exhiben estructuras en relieve empotradas. Según ciertas realizaciones, el núcleo antibalístico comprende una pila comprimida de monocapas de poliolefina unidireccionales angularmente inclinadas (p.ej., polietileno o polipropileno, en especial polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE, por sus siglas en inglés)) según se describe en mayor detalle más abajo. Las láminas de las caras y/o una o más capas de concordancia de impedancia pueden posicionarse, de manera opcional, entre el núcleo antibalístico y una (o ambas) de las capas AR externas para unir el núcleo a la(s) capa(s) de superficie AR y/o ajustar, de manera selectiva, la estructura de pared de radomo a la frecuencia de transmisión y recepción asociada al sistema de radar.

Las estructuras de pared de radomo compuestas exhibirán, normalmente, una eficacia de transmisión electromagnética en una frecuencia de 2 a 40 GHz de 90% o mayor. Según ciertas realizaciones, por lo tanto, una pérdida de transmisión de 0,5 dB y menos ocurrirá en un rango de frecuencia de 2 a 40 GHz.

Además de la transparencia de radar según se advierte más arriba, las estructuras de pared de radomo según las realizaciones descritas en la presente memoria exhibirán propiedades antibalísticas, en especial, propiedades antibalísticas Nivel Estándar III del Instituto Nacional de Justicia (NIJ, por sus siglas en inglés). Dichas propiedades antibalísticas aseguran que dicha protección pueda proporcionarse por la estructura de pared de radomo contra un proyectil con revestimiento metálico (FMJ, por sus siglas en inglés) de 150 granos (9,6 gramos) y 7,62 mm que tiene V50 de alrededor de 2800 fps (alrededor de 847,0 m/s) y una energía cinética de entre alrededor de  $3,37 \times 10^3$  a alrededor de  $3,52 \times 10^3$  julios.

Algunas realizaciones preferidas incluirán un núcleo antibalístico compuesto de una pila comprimida de monocapas de polietileno unidireccionales angularmente inclinadas. La pila de monocapas de polietileno unidireccionales angularmente inclinadas puede ser en la forma de cintas de polietileno unidireccionales, especialmente cintas formadas por polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE).

Las capas de superficie externas antirreflectantes (AR) según la invención son estructuras de superficie de sublongitud de onda (SWS, por sus siglas en inglés), por ejemplo, una estructura SWS compuesta de una película de polipropileno que se micromecaniza (p.ej., mediante láser) para exhibir estructuras en relieve empotradas que son apropiadas para frecuencias de banda X (8-18 GHz).

Otras capas funcionales pueden interponerse entre el núcleo antibalístico y las capas de superficie AR. Por ejemplo, al menos una capa de cara compuesta de una matriz de resina reforzada (p.ej., resina de éster de cianato, resina epoxi o similares) puede interponerse entre el núcleo y una capa respectiva (o cada una) de las capas de superficie AR. El refuerzo de la matriz de resina en dicha(s) capa(s) de cara puede incluir vidrio, grafito, carbono y rellenos de refuerzo estructural similares en fibra, malla, partículas u otras formas. Algunas realizaciones preferidas incluirán capa(s) de cara formadas por una matriz de resina de éster de cianato reforzada con vidrio.

La estructura de pared de radomo puede proveerse en cualquier forma cuando se forma como parte de un radomo para proteger antenas de radar asociadas a un sistema de radar. Por consiguiente, la estructura de pared puede ser plana o curva. Normalmente, el radomo y su estructura de pared asociada serán convexamente curvas.

Estos y otros aspectos de la presente invención serán más claros después de una consideración cuidadosa de la siguiente descripción detallada de una realización a modo de ejemplo actualmente preferida de aquella.

La Figura 1 es una vista en perspectiva en sección transversal de una estructura de pared de radomo según una realización de la presente invención;

las Figuras 1A y 1B ilustran, respectivamente, en mayor detalle, la capa antirreflectante (AR) empleada en la estructura de pared de radomo de la Figura 1;

la Figura 2 es un cuadro de pérdida de transmisión (dB) versus frecuencia (GHz) para una estructura de pared de radomo según una realización de la presente invención y otras estructuras de pared de radomo comparativas realizadas según el Ejemplo 1 de más abajo;

las Figuras 3A y 3B son cuadros de pérdida de transmisión (dB) de frecuencia (GHz) versus ángulo de incidencia (grados) de una estructura de pared compuesta de panel de radomo no antibalística convencional y una estructura de pared de radomo antibalística de una realización según la presente invención según se ilustra en la Figura 2;

las Figuras 4 y 5 son cuadros de pérdida de transmisión (dB) versus frecuencia (GHz) y porcentaje (%) de potencia transmitida versus frecuencia (GHz), respectivamente, para una estructura de pared de radomo según una realización de la presente invención y otras estructuras de pared de radomo comparativas realizadas según el Ejemplo 2 de más abajo.

Las estructuras de pared de radomo compuestas según se describen en la presente memoria exhiben propiedades tanto antibalísticas como de transparencia de radar. Las estructuras de pared de radomo pueden, por consiguiente, emplearse, de manera útil, para formar radomos, p.ej., estructuras normalmente en forma de domo que protegen antenas de radar. Un radomo puede ser plano, ojival o similar, pero, normalmente, se prefiere que sea en forma de domo. Los radomos se encuentran en aeronaves, vehículos, embarcaciones marítimas, y en instalaciones terrestres.

Según se ha descrito previamente, las estructuras de pared de radomo compuestas según se describen en la presente memoria comprenderán, en general, un núcleo libre de espacios vacíos, sólido, interno y antibalístico y capas de superficie externas que atrapan al núcleo. Una o más capas funcionales diferentes pueden posicionarse, de manera opcional, entre el núcleo antibalístico y una (o ambas) de las capas de superficie AR externas para mejorar la unión del núcleo a las capas de superficie AR y/o ajuste selectivo de la estructura de pared de radomo a la frecuencia de transmisión y recepción asociada al sistema de radar.

El núcleo antibalístico es, más preferiblemente, un material polimérico sólido, libre de espacios vacíos (p.ej., una poliolefina seleccionada de polietileno y/o polipropileno) que tiene múltiples monocapas de polímero orientadas unidireccionalmente cruzadas y comprimidas en un ángulo unas con respecto a las otras. Según algunas

realizaciones preferidas, cada una de las monocapas se compone de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) esencialmente desprovisto de resinas de unión.

El UHMWPE que forma las monocapas puede ser en la forma de cintas según se describe en los documentos US 7,993,715 y 8,128,778. Preferiblemente, las cintas usadas para formar el núcleo tienen un ancho de al menos 2 mm, más preferiblemente de al menos 5 mm, más preferiblemente de al menos 10 mm. Aunque solo se encuentran limitadas por aspectos prácticos, las cintas pueden tener un ancho de, como máximo, 400 mm, o algunas veces de, como máximo, 300 mm, o alguna vez de, como máximo, 200 mm.

Las cintas pueden tener una densidad de área de entre 5 y 200 g/m<sup>2</sup>, a veces de entre 8 y 120 g/m<sup>2</sup>, o a veces de entre 10 y 80 g/m<sup>2</sup>. La densidad de área de una cinta puede determinarse mediante el pesaje de una superficie convenientemente cortada de la cinta. Las cintas pueden tener un grosor promedio de, como máximo, 120 μm, a veces de, como máximo, 50 μm, y a veces de entre 5 y 29 μm. El grosor promedio puede medirse p.ej. con un microscopio en diferentes secciones transversales de la cinta y promediando los resultados.

Las poliolefinas apropiadas que pueden usarse en la fabricación de las cintas son, en particular, homopolímeros y copolímeros de etileno y propileno, que pueden también contener pequeñas cantidades de uno o más de otros polímeros, en particular otros alqueno-1-polímeros.

Resultados particularmente buenos se obtienen si el polietileno (PE) lineal se selecciona como la poliolefina. Se comprende, en la presente memoria, que el polietileno lineal significa polietileno con menos de 1 cadena lateral por cada 100 átomos de carbono, y preferiblemente con menos de 1 cadena lateral por cada 300 átomos de carbono; una cadena o ramificación lateral que, en general, contiene al menos 10 átomos de carbono. Las cadenas laterales pueden medirse, de manera apropiada, por FTIR en una película moldeada por compresión de 2 mm de grosor, según se menciona en, p.ej., el documento EP 0269151. El polietileno lineal puede además contener hasta 5% molar de uno o más alquenos diferentes que son copolimerizables con aquel como, por ejemplo, propeno, buteno, penteno, 4-metilpenteno, octeno. Preferiblemente, el polietileno lineal es de alta masa molar con una viscosidad intrínseca (IV, según se determina en soluciones en decalin a 135°C) de al menos 4 dl/g; más preferiblemente de al menos 8 dl/g. También se hace referencia a dicho polietileno como polietileno de ultra alta masa molar. La viscosidad intrínseca es una medida para el peso molecular que puede determinarse más fácilmente que los parámetros de masa molar reales como Mn y Mw. Existen varias relaciones empíricas entre IV y Mw, pero dicha relación depende altamente de la distribución del peso molecular. Según la ecuación  $M_w = 5,37 \times 10^4 [IV]^{1,37}$  (es preciso ver el documento EP 0504954 A1) un IV de 4 u 8 dl/g será equivalente a Mw de alrededor de 360 o 930 kg/mol, respectivamente.

Las cintas pueden también prepararse mediante la alimentación de un polvo polimérico entre una combinación de correas sin fin, mediante el moldeo por compresión del polvo polimérico a una temperatura por debajo del punto de fusión, a la que también se hace referencia como la temperatura de fusión, de aquel y mediante el laminado del polímero moldeado por compresión resultante seguido del estirado. Dicho proceso se describe, por ejemplo, en el documento EP 0 733 460 A2. El moldeo por compresión puede también llevarse a cabo mediante la retención temporal del polvo de polímero entre las correas sin fin durante la transmisión. Ello puede, por ejemplo, realizarse mediante la provisión de platinas de presión y/o rodillos en conexión con las correas sin fin. Preferiblemente, UHMWPE se usa en el presente proceso y necesita ser estirable en el estado sólido.

Otro proceso preferido para la formación de cintas comprende alimentar un polímero a una extrusora, extruir una cinta a una temperatura por encima del punto de fusión de aquel y estirar la cinta de polímero extruida. Preferiblemente, las cintas de polietileno se preparan por un proceso gel. Un proceso de hilatura de gel apropiado se describe en, por ejemplo, los documentos GB-A-2042414, GB-A-2051667, EP 0205960 A y WO 01/73173 A1, y en el documento "Advanced Fibre Spinning Technology", Ed. T. Nakajima, Woodhead Publ. Ltd (1994), ISBN 185573 182 7. Dichos procesos pueden modificarse fácilmente para producir cintas mediante el uso de un troquel de extrusión ranurado. En pocas palabras, el proceso de hilado en gel comprende preparar una solución de una poliolefina de alta viscosidad intrínseca, extruir la solución en una cinta a una temperatura por encima de la temperatura de disolución, enfriar la cinta por debajo de una temperatura de gelificación y, de esta manera, gelificar, al menos parcialmente, la cinta, y estirar la cinta antes, durante y/o después de la retirada al menos parcial del disolvente.

El estirado, preferiblemente estirado uniaxial, de la cinta producida puede llevarse a cabo por medios conocidos en la técnica. Dichos medios comprenden el estiramiento de extrusión y el estiramiento de tracción en unidades de estirado apropiadas. Con el fin de lograr una resistencia y rigidez mecánicas aumentadas, el estirado puede llevarse a cabo en múltiples etapas. En el caso de las cintas de polietileno de ultra alto peso molecular preferidas, el estirado se lleva a cabo, normalmente, de manera uniaxial en un número de etapas de estirado. La primera etapa de estirado puede, por ejemplo, comprender el estirado a un coeficiente de estirado de 3. En caso de que la poliolefina sea UHMWPE, un proceso de múltiple estirado se usa, preferiblemente, donde las cintas se estiran con un factor de 9 para temperaturas de estirado de hasta 120°C, un coeficiente de estirado de 25 para temperaturas de estirado de hasta 140°C, y un coeficiente de estirado de 50 para temperaturas de estirado de hasta y por encima de 150°C. Mediante el estirado múltiple a temperaturas crecientes, los coeficientes de estirado de alrededor de 50 y más pueden alcanzarse. Ello resulta en cintas de alta resistencia, por medio de lo cual para cintas de polietileno de ultra alto peso molecular, un rango de resistencia de 1,2 GPa a 3 GPa puede obtenerse fácilmente.

Las cintas estiradas resultantes pueden usarse como tales o pueden cortarse en su ancho deseado, o dividirse a lo largo de la dirección de estirado. Para cintas UHMWPE, la densidad de área es, preferiblemente, menor que 50 g/m<sup>2</sup> y, más preferiblemente, menor que 29 g/m<sup>2</sup> o 25 g/m<sup>2</sup>. Preferiblemente, las cintas tienen una resistencia a la tracción de al menos 0,3 GPa, más preferiblemente de al menos 0,5 GPa, incluso más preferiblemente de al menos 1 GPa, más preferiblemente de al menos 1,5 GPa.

Múltiples cintas de poliolefina formarán una monocapa y cada monocapa puede entonces apilarse en una desviación con respecto al estirado unidireccional de las cintas con otras monocapas adyacentes con el fin de formar el núcleo. Las cintas pueden ubicarse lado a lado de manera superpuesta o limitadas por el borde. Según algunas realizaciones, las cintas de cada monocapa pueden tejerse según se describe, por ejemplo, en el documento WO 2006/075961. En este aspecto, una capa tejida puede fabricarse con urdimbres tipo cinta y tramas que comprenden las etapas de alimentar urdimbres tipo cinta para ayudar a la formación de calada y enrollado de tela; insertar la trama tipo cinta en la calada formada por dichas urdimbres; depositar la trama tipo cinta insertada en la línea de formación de la tela; y enrollar la capa tejida producida; en donde la etapa de insertar la trama tipo cinta implica sujetar una cinta de trama en una condición esencialmente plana por medio de la fijación, y tirar de esta a través de la calada. La cinta de trama insertada se corta preferiblemente de su fuente de suministro en una posición predeterminada antes de depositarse en la posición de línea de formación de la tela. Cuando se tejen cintas, elementos de tejido especialmente diseñados se usan en el proceso de tejido. Elementos de tejido particularmente apropiados se describen en el documento US 6,450,208. Estructuras tejidas preferidas son ligamentos tafetán, ligamentos panamá, tejedurías del raso y sarga interrumpida. Un ligamento tafetán es más preferido.

Preferiblemente, la dirección de la trama en la capa de un hilo se encuentra debajo de un ángulo con la dirección de trama de la capa en un hilo adyacente. El ángulo es de alrededor de 90°.

En otra realización, la capa de cintas contiene una matriz de cintas dispuestas de manera unidireccional, a saber, cintas que se encuentran a lo largo de una dirección común. Mientras las cintas pueden superponerse parcialmente a lo largo de su longitud, pueden también limitarse por el borde a lo largo de su longitud. Si se encuentran superpuestas, el área de superposición puede ser de entre alrededor de 5 µm a alrededor de 40 mm de ancho. Preferiblemente, la dirección común de las cintas en la capa de un hilo se encuentra debajo de un ángulo con la dirección común de las cintas en la capa de un hilo adyacente. El ángulo de corte al bies entre monocapas adyacentes puede ser de entre alrededor de 20 a alrededor de 160°, a veces de entre alrededor de 70 a alrededor de 120°, e incluso a veces en un ángulo de alrededor de 90°.

Las cintas pueden entonces comprimirse bajo una temperatura por debajo de la temperatura de punto de fusión del polietileno, preferiblemente de 110 a 150°C y bajo una presión de 10 a 100 N/cm<sup>2</sup>. La monocapa resultante puede entonces montarse en una pila con otras monocapas.

La pila de monocapas de capa sesgada, preferiblemente desprovistas de resinas o materiales de unión puede entonces comprimirse bajo presión aumentada y temperatura elevada durante un tiempo suficiente para formar el núcleo antibalístico. Según algunas realizaciones, el núcleo puede contener entre 70 a 280 monocapas de polietileno comprimidas en un ángulo unas con respecto a otras.

La pila de monocapas puede comprimirse a una temperatura por debajo del punto de fusión del UHMWPE. Normalmente, la compresión de la pila de monocapas puede lograrse a una temperatura de compresión de entre alrededor de 90 a alrededor de 150°C, a veces de entre alrededor de 115°C a alrededor de 130°C, opcionalmente enfriándose hasta por debajo de 70°C a una presión sustancialmente constante. Temperatura de compresión significa la temperatura en la mitad del grosor de la pila comprimida de monocapas. Las presiones de compresión de entre 100 a 180 bar, a veces de entre 12 a 160 bar durante un tiempo de compresión de entre alrededor de 40 a alrededor de 180 minutos pueden emplearse.

El núcleo antibalístico puede, de manera adicional o alternativa, comprender monocapas que contienen fibras unidireccionalmente (UD) orientadas según se describe de manera más completa, por ejemplo, en las Patentes de Estados Unidos Nos. 5,766,725 y 7,527,854 y la Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos No. 2010/0064404. Las fibras en el núcleo antibalístico pueden tener una resistencia a la tracción de entre 3,5 y 4,5 GPa. Las fibras tienen, preferiblemente, una resistencia a la tracción de entre 3,6 y 4,3 GPa, más preferiblemente de entre 3,7 y 4,1 GPa o más preferiblemente de entre 3,75 y 4,0 GPa. Las fibras de polietileno de alto rendimiento o las fibras de polietileno altamente estiradas que consisten en filamentos de polietileno que se han preparado por un proceso de hilado en gel como, por ejemplo, se describe en los documentos GB 2042414 A o WO 01/73173, se usan incluso más preferiblemente. La ventaja de dichas fibras es que tienen una resistencia a la tracción muy alta combinada con un peso liviano, de modo que son, en particular, muy apropiadas para su uso en artículos resistentes a la balística de peso ligero.

Las fibras UD que forman las monocapas pueden unirse por medio de un material de matriz que puede abarcar las fibras en su totalidad o en parte, de modo que la estructura de la monocapa se retiene durante el manejo y la realización de láminas preformadas. El material de la matriz puede aplicarse en varias formas y maneras; por ejemplo como una película entre monocapas de fibra, como una cinta de unión transversal entre las fibras

unidireccionalmente alineadas o como fibras transversales (transversales con respecto a las fibras unidireccionales), o mediante la impregnación y/o integración de la fibras con un material de matriz.

5 El grosor del núcleo rígido puede variar siempre que tenga propiedades antibalísticas. Según su uso en la presente memoria, la expresión "propiedades antibalísticas" significa que el artículo logra una protección de Nivel Estándar III del Instituto Nacional de Justicia (NIJ) contra un proyectil con revestimiento metálico (FMJ) de 150 granos y 7,62 mm que tiene V50 de 2800 fps. En general, el grosor del núcleo puede variar de alrededor de 10 mm a alrededor de 60 mm, a veces de entre alrededor de 15 mm a alrededor de 40 mm. Algunas realizaciones del núcleo tendrán un grosor de alrededor de 25 mm (+/- alrededor de 0,5 mm).

10 El núcleo antibalístico según se describe previamente queda preferiblemente atrapado entre un par de capas de superficie antirreflectantes (AR) externas. Las capas de superficie AR pueden ser un recubrimiento o una película de material para lograr la transparencia de radar deseada. Según algunas realizaciones, las capas de superficie AR son estructuras de sublongitud de onda (SWS) que son apropiadas para frecuencias de banda X (8-18 GHz).

15 La expresión "estructura de sublongitud de onda" (abreviada como "SWS") se refiere a una capa de material que tiene rejillas en relieve de superficie con un tamaño más pequeño que la longitud de onda de la radiación incidente. Las capas antirreflectantes pueden, por ejemplo, formarse según las técnicas descritas en los documentos de Mirotznik y otros, *Broadband Antireflective Properties of Inverse Motheye Surfaces*, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 58, No. 9, septiembre 2010 y Mirotznik y otros, *Iterative Design of Moth-Eye Antireflective Suraces at millimeter wave Frequencies*, *Microwave and Optical Technology letters*, Vol. 52, No. 3, marzo 2010. Según ciertas realizaciones, las capas SWS externas de la estructura de pared de radomo compuesta se formarán con una película de polipropileno micromecanizada (p.ej., mediante láser) que tiene un grosor de entre alrededor de 2 a alrededor de 10 mm, a veces de entre alrededor de 4 a alrededor de 6 mm. Una película de polipropileno con un grosor de entre alrededor de 4,5 a alrededor de 5 mm puede usarse según ciertas realizaciones.

25 La película de polipropileno puede mecanizarse mediante láser para lograr una densa pluralidad de estructuras en relieve empotradas que consisten en una cavidad superior en general cilíndrica y una abertura inferior en general cilíndrica posicionada de manera concéntrica con respecto a la cavidad. La profundidad y el diámetro promedio de la cavidad superior pueden abarcar de entre alrededor de 4,0 a alrededor de 6,0 mm cada una. Preferiblemente, para frecuencias de banda K, la profundidad y el diámetro promedio de la cavidad superior serán, normalmente, de alrededor de 4,64 mm y 5,16 mm, respectivamente. La profundidad y el diámetro promedio de la abertura inferior serán, normalmente, de entre alrededor de 2,5 a alrededor de 3,00 mm y de entre alrededor de 4,5 a alrededor de 5,0 mm, respectivamente. Para frecuencias de banda K, la profundidad y el diámetro promedio de la abertura inferior serán, normalmente, de alrededor de 4,88 mm y alrededor de 2,78 mm, respectivamente. Las estructuras en relieve empotradas se posicionan, de manera simétrica, en una densa pluralidad de filas y columnas descentradas con los centros de estructuras en relieve empotradas adyacentes separados entre sí por entre alrededor de 5,0 a alrededor de 7,0 mm, normalmente alrededor de 6,0 mm.

35 Las superficies de ojo de polilla pueden proyectarse hacia afuera o ser cavidades invertidas hacia adentro. Preferiblemente, para las realizaciones descritas en la presente memoria, las superficies de ojo de polilla son cavidades invertidas hacia adentro. Esencialmente, una superficie de ojo de polilla crea una constante dieléctrica eficaz ( $\epsilon$ ) que aumenta la eficacia de transmisión de una señal electromagnética, en especial, que pasa del aire ( $\epsilon$  aire  $\approx 1,0$ ) a la capa exterior del radomo. Ello también puede lograrse con capas de película apiladas con grosores y propiedades dieléctricas ajustadas de manera específica. La presente técnica puede usarse con una amplia variedad de materiales, sin embargo, actualmente se prefiere usar un plástico microondas de poliestireno reticulado (poliestireno REXOLITE®) en conjunto con una estructura SWS de técnica de ojo de polilla inversa. Otro material que puede emplearse de manera satisfactoria es un material plástico de baja pérdida (p.ej., el material ECCOSTOCK® HiK) que tiene una constante dieléctrica que abarca de 3,0 a 15. La superficie de ojo de polilla puede fabricarse mediante una máquina CNC según las especificaciones que se determinan por la respuesta de frecuencia deseada de la estructura según las técnicas conocidas para aquellos con experiencia en la presente técnica.

50 Capas adicionales pueden emplearse entre el núcleo antibalístico y las capas de superficie AR externas para mejorar la unión del núcleo a las capas de superficie AR y/o la concordancia de impedancia de la estructura de pared de radomo con un rango de frecuencia de radar deseado.

55 La adhesión entre el núcleo antibalístico y la lámina de cara se logra preferiblemente por el uso de un adhesivo termoplástico. Particularmente preferidos son los grados de ionómero de resinas termoplásticas como, por ejemplo, un copolímero de ácidos etileno/metacrílico (E/MAA) en el cual los grupos de ácidos MAA se han neutralizado de forma parcial con iones de sodio. Una resina actualmente preferida para dicho propósito es la resina termoplástica de ionómero de sodio SURLYN® 8150.

La unión de la superficie del núcleo antibalístico y la lámina de cara puede también lograrse por técnicas de tratamiento de plasma y/o corona.

Una capa adicional que puede emplearse es una lámina de cara formada por una capa de matriz de resina reforzada que se interpone entre la capa AR y el núcleo antibalístico. Las matrices de resina como, por ejemplo, resinas de éster de cianato y/o resinas epoxi pueden emplearse para dicho propósito. Las resinas de éster de cianato son conocidas en la técnica como unas que tienen propiedades eléctricas y térmicas deseables. Resinas de éster de cianato se describen, por ejemplo, en el documento US 3,553,244. El curado de dichas resinas se ve afectado por el calentamiento, en particular, en presencia de catalizadores como, por ejemplo, aquellos descritos en los documentos US 4,330,658; US 4,330,669; US 4,785,075 y US 4,528,366. Por una resina de éster de cianato también se entiende en la presente memoria una mezcla de resinas de éster de cianato como, por ejemplo, aquellas descritas en los documentos US 4,110,364; US 4,157,360, US 4,983,683; US 4,902,752 y US 4,371,689.

Preferiblemente, la resina de éster de cianato es una resina de éster de cianato retardante de la llama como, por ejemplo, aquella descrita en la Patente de Japón No. 05339342 y en el documento US 4,496,695, que describen mezclas de ésteres de cianato y epoxies bromados, o poli(éter de fenileno) (PPE, por sus siglas en inglés), ésteres de cianato y epoxies bromados. Más preferiblemente, la resina de éster de cianato es una mezcla retardante de la llama de ésteres de cianato bromados según se describe en los documentos US 4,097,455 y 4,782,178 o una mezcla de ésteres de cianato con los bis(4-vinil bencil éter)es o bisfenoles bromados según se describe en los documentos US 4,782,116 y 4,665,154. Mezclas de ésteres de cianato con poli(fenileno éter)es bromados, policarbonatos o pentabromobencilacrilatos según se describe en la Patente de Japón No. 08253582 también son apropiados para su utilización en la presente invención.

Resinas epoxi apropiadas que se usarán en la formación de la matriz de resina de la capa de cara pueden, por ejemplo, ser aquellas que comprenden un monómero epoxi o resina en cantidades que abarcan de alrededor de 20% en peso a alrededor de 95% en peso, según el peso total de la formulación de recubrimiento. Algunas realizaciones incluirán de alrededor de 30% en peso a alrededor de 70% en peso de monómero epoxi en una formación de recubrimiento curable. Resinas epoxi pueden usarse, incluidas las Resinas EPON de Shell Chemical Company, Houston, Tex., por ejemplo, Resinas EPON 1001F, 1002F, 1007F y 1009F, así como las Resinas EPON en polvo serie 2000, por ejemplo, Resinas EPON 2002, 2003, 2004 y 2005. La resina o monómero epoxi pueden tener una alta densidad de reticulado, una funcionalidad de alrededor de 3 o mayor, y un peso equivalente a epoxi menor que 250. Epoxies a modo de ejemplo que pueden emplearse según las realizaciones de la invención incluyen las resinas epoxi novolaca de The Dow Chemical Company (Midland, Mich.) D.E.N. 431, D.E.N. 438 y D.E.N. 439.

Un agente curante para la resina epoxi puede también añadirse en cantidades de alrededor de 1% en peso a alrededor de 10% en peso del componente epoxi. El agente curante puede ser un catalizador o un reactivo, por ejemplo, la diciandiamida reactiva. De alrededor del 1% en peso a alrededor del 50% en peso de disolvente epoxi, según el peso de la formulación de recubrimiento, puede también incluirse en las formulaciones de recubrimiento. Disolventes epoxi pueden añadirse para licuar la resina o monómero epoxi o ajustar la viscosidad de aquellos, o cuyo trietilfosfato y etilenglicol se prefieren. Un disolvente epoxi separado puede no necesitarse según algunas realizaciones de la invención en donde el epoxi es líquido a temperatura ambiente o en donde un monómero fluorado o componente surfactante de la formulación de recubrimiento actúa como un disolvente para el epoxi.

Las láminas de cara según ciertas realizaciones de la invención exhibirán, preferiblemente, una constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) de, como máximo, 6,0, a veces de, como máximo, 5,0, e incluso a veces de, como máximo, 4,0. Según algunas realizaciones, las láminas de cara exhibirán una constante dieléctrica. Preferiblemente, dicha constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) de las láminas de cara serán de entre alrededor de 2,0 a alrededor de 4,0, a veces de entre 3,0 y 3,75. Una lámina de cara formada por una resina de éster de cianato reforzada con vidrio con una constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) de entre alrededor de 3,5 a alrededor de 3,7 puede emplearse de manera ventajosa.

La constante dieléctrica y pérdida dieléctrica de la resina epoxi pueden medirse, de manera rutinaria, con una línea de transmisión electromagnética posicionada en una sala libre de ruido electromagnético mediante el uso de una sonda coaxial. Preferiblemente, la pérdida dieléctrica de las láminas de cara reforzadas es de, como máximo, 0,025, más preferiblemente de, como máximo, 0,0001. Preferiblemente, dicha constante dieléctrica es de entre 0,0001 y 0,0005.

Las láminas de cara pueden ser en la forma de una película de un solo hilo o múltiples hilos, una malla, fibras, puntos, parches, y similares. Preferiblemente, las capas de lámina de cara son en la forma de una malla, más preferiblemente de una película. En general, las capas de lámina de cara se aplican directamente en una superficie de cara respectiva del núcleo antibalístico como una composición de resina parcialmente curada o no curada que se cura posteriormente durante un proceso de consolidación de los múltiples hilos contenidos por el material de la invención. Las láminas de cara pueden interponerse entre cada una de las capas de superficie AR externas y el núcleo antibalístico o pueden, de manera opcional, solamente interponerse entre una superficie de núcleo y una capa de superficie AR adyacente correspondiente.

La matriz de resina que forma las láminas de cara se refuerza, más preferiblemente, con un material de relleno fibroso o particulado apropiado. Por consiguiente, la matriz de resina de la lámina de cara puede incluir vidrio fibroso o particulado, grafito y/o materiales de carbono. Se prefieren las fibras de vidrio, p.ej., fibras de S-vidrio o E-vidrio.

Las capas de superficie AR externas y capas de concordancia de impedancia opcionales pueden montarse en el núcleo antibalístico mediante cualquier medio convencional. Las diferentes capas de la preforma de pared de radomo, por consiguiente, montada pueden entonces consolidarse sujetándolas a presión, preferiblemente a una temperatura por debajo de la temperatura de fusión ( $T_m$ , por sus siglas en inglés) de la poliolefina, según se determina por DSC. Presiones útiles incluyen presiones de al menos 50 bar, a veces de al menos 75 bar, y otras veces de al menos 100 bar. La temperatura de consolidación puede ser de entre  $10^\circ\text{C}$  por debajo de la  $T_m$  y  $T_m$ , a veces de entre  $5^\circ\text{C}$  por debajo de la  $T_m$  y  $2^\circ\text{C}$  por debajo de la  $T_m$ . La temperatura usada debe encontrarse por encima de la temperatura de curado de la resina de éster de cianato. Las temperaturas apropiadas cuando se usan cintas UHMWPE son de entre  $120^\circ\text{C}$  y  $150^\circ\text{C}$ , más preferiblemente de entre  $130^\circ\text{C}$  y  $140^\circ\text{C}$ .

La adhesión de las láminas de cara al núcleo antibalístico puede mejorarse sujetando las superficies del núcleo a las cuales se aplican las láminas de cara a un tratamiento de corona y/o tratamiento de plasma.

Se advierte que la invención se refiere a todas las combinaciones posibles de las características descritas en las reivindicaciones. Las características descritas en la descripción pueden además combinarse.

Se advierte además que el término "que comprende(n)" no excluye la presencia de otros elementos. Sin embargo, también se comprenderá que una descripción de un producto que comprende ciertos componentes también describe un producto que consiste en dichos componentes. De manera similar, también se comprenderá que una descripción de un proceso que comprende ciertas etapas también describe un proceso que consiste en dichas etapas.

La invención se elucidará aún más con los siguientes ejemplos sin encontrarse limitada a ellos.

### Ejemplos

Ejemplo 1

La Figura 1 anexa es una vista en perspectiva en sección transversal esquemática de una estructura de pared de radomo 10 según una realización de la presente invención. La estructura de pared de radomo 10, según se muestra en la Figura 1, incluye un núcleo antibalístico 12 formado por monocapas UHMWPE consolidadas, según se describe previamente, atrapadas entre capas de superficie AR externas 14-1, 14-2, respectivamente. Las capas de superficie AR 14-1, 14-2 en la realización que se muestra están formadas por plástico microondas de poliestireno reticulado con estructura SWS (poliestireno REXOLITE® 1422). Las capas de superficie AR 14-1, 14-2 son superficies de ojo de polilla, es decir, cada capa de superficie 14-1, 14-2 incluye estructuras de superficie de sublongitud de onda (SWS) micromecanizadas en la forma de cavidades, algunas representativas de las cuales se identifican por los numerales de referencia 14-1a, 14-2a, respectivamente.

Las respectivas láminas de cara de un solo hilo de material de éster de cianato reforzado con S-vidrio 16-1, 16-2 se interponen entre el núcleo antibalístico 12 y cada una de las capas de superficie AR 14-1, 14-2, respectivamente.

El núcleo antibalístico 12 tiene un grosor de alrededor de 25,4 mm, mientras las capas de superficie AR 14-1, 14-2 tienen, cada una, un grosor de alrededor de 9,525 mm. Las láminas de cara de un solo hilo 16-1, 16-2 son de alrededor de 11 mils (alrededor de 0,279 mm) de grosor.

Las capas de superficie AR 14-1, 14-2 se han estructurado según se muestra en las Figuras 1A y 1B. En este aspecto, la capa de superficie AR 14-1 se ilustra a modo de ejemplo en las Figuras 1A y 1B, comprendiéndose que la capa de superficie AR 14-2 se ha configurado de manera similar. De manera específica, cada una de las estructuras SWS 14-1a se encuentra en la forma de cavidades que incluyen una cavidad superior en general cilíndrica 14-1b y una abertura en general cilíndrica 14-1c. Las dimensiones de diámetro y profundidad  $D_1$  y  $d_2$ , respectivamente, de la cavidad superior en general cilíndrica 14-1b son de alrededor de 5,195 mm y de alrededor de 4,640 mm, respectivamente. Las dimensiones de diámetro y profundidad  $D_3$  y  $d_4$  de la abertura inferior 14-1c son de alrededor de 2,778 mm y de alrededor de 4,885 mm, respectivamente. Estructuras adyacentes de las estructuras SWS 14-1a se han separado por una distancia  $D_5$  de alrededor de 6,00 mm. Según se muestra en la Figura 1A, las estructuras SWS 14-1a se encuentran alineadas en filas con cada una de las estructuras 14-1a desplazada por media distancia  $D_5$  de separación con respecto a las estructuras 14-1a en una fila adyacente.

La estructura de pared de radomo compuesta de la Figura 1 que tiene las capas de superficie AR 14-1, 14-2 según se muestra en las Figuras 1A y 1B, está sujeta a radiación de incidencia normal en una cámara anecoica entre las frecuencias de alrededor de 10 GHz a alrededor de 40 GHz. La pérdida de transmisión de radiación (dB) se traza contra la frecuencia y se compara con una estructura de pared de radomo de construcción A-sándwich convencional que contiene un núcleo de panel. Además, la estructura de la Figura 1 se ha probado también en ausencia de las capas de superficie AR externas. Los resultados aparecen en la Figura 2.

Como puede verse, la realización de la invención ha obtenido menos de 0,5 dB de pérdida de transmisión a lo largo de las frecuencias de interés, a saber, 26 a 40 GHz. Además, las características de pérdida de transmisión de radiación de la realización según la invención han sido comparables con la construcción de pared de radomo A-sándwich convencional de la técnica anterior que tiene un núcleo de panel en el rango de frecuencia de interés de 26 a 40 GHz.

5 Las Figuras 3A y 3B muestran la pérdida de transmisión (dB) de una estructura de pared de radomo según la Figura 1 en ángulos incidentes de radiación variables en comparación con una construcción de pared de radomo A-sándwich convencional de la técnica anterior que tiene un núcleo de panel. Como puede verse, ambas estructuras de pared de radomo muestran que en el rango de frecuencia de interés de 26 a 40 GHz, las pérdidas de transmisión son de alguna manera comparables.

Ejemplo 2

10 El Ejemplo 1 se ha repetido sujetando una estructura de pared de radomo compuesta de la Figura 1 que tiene las capas de superficie AR 14-1, 14-2 según se muestra en las Figuras 1A y 1B, a radiación de incidencia normal en una cámara anecoica entre las frecuencias de alrededor de 4 GHz a alrededor de 40 GHz. Los resultados se muestran en las Figuras 4 y 5 anexas.

Como puede verse en las Figuras 4 y 5, en las frecuencias de banda X de 8 a 18 GHz, la estructura de pared de radomo compuesta ha exhibido una pérdida de transmisión menor que 0,2 dB y un porcentaje de potencia transmitida mayor que 95%.

15

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una estructura de pared de radomo compuesta (10) que comprende un núcleo interno, libro de espacios vacíos, sólido, antibalístico (12) y capas de superficie externas antirreflectantes (AR) (14-1) (14-2) que atrapan al núcleo, en donde las capas de superficie externas antirreflectantes son estructuras de superficie de sublongitud de onda (SWS), en donde una estructura SWS es una capa de material que tiene rejillas en relieve de superficie más pequeñas que la longitud de onda de la radiación de radar incidente.
- 10 2. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 1, que exhibe una eficacia de transmisión electromagnética en una frecuencia de 2 a 40 GHz del 90% o mayor, la eficacia de transmisión expresándose como un porcentaje de la potencia transmitida del radar medida cuando no se usa una cubierta de radomo en el sistema.
- 15 3. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 2, que exhibe propiedades antibalísticas de Nivel Estándar III del Instituto Nacional de Justicia NIJ que aseguran la protección de la pared de radomo contra un proyectil de revestimiento metálico FMJ de 7,62 mm y 150 granos (9,6 gramos) que tiene V50 de alrededor de 2800 fps (alrededor de 847,0 m/s) y una energía cinética de entre alrededor de  $3,37 \times 10^3$  a alrededor de  $3,52 \times 10^3$  julios.
4. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 1, en donde el núcleo antibalístico comprende una pila comprimida de monocapas de polietileno unidireccionales angularmente inclinadas.
5. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 4, en donde la pila de monocapas de polietileno unidireccionales angularmente inclinadas comprende cintas o fibras de polietileno unidireccionales.
6. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 5, en donde las cintas de polietileno consisten en polietileno de ultra alto peso molecular UHMWPE.
- 20 7. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 6, en donde las estructuras SWS comprenden una película de poliestireno reticulado.
8. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 7, en donde la película de poliestireno reticulado tiene un grosor de entre alrededor de 2 a alrededor de 10 mm.
- 25 9. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 8, en donde la película de poliestireno reticulado se micromecaniza para exhibir estructuras en relieve empotradas.
10. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 9, en donde centros de estructuras adyacentes de las estructuras en relieve empotradas se encuentran separados entre sí por alrededor de 6,0 mm.
- 30 11. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 1, que además comprende al menos una capa de lámina de cara (16-1) (16-2) compuesta de una matriz de resina reforzada interpuesta entre el núcleo (12) y una capa respectiva de las capas de superficie AR (14-1) (14-2).
12. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 11, en donde las capas de cara de matriz de resina incluyen un material de relleno de refuerzo fibroso o particulado.
13. La estructura de pared de radomo compuesta de la reivindicación 1, que además comprende al menos una capa de concordancia de impedancia compuesta de un material cerámico o polimérico.
- 35 14. Un radomo que comprende una estructura de pared de radomo de la reivindicación 1.
15. Un sistema de radar que comprende un radomo de la reivindicación 14.

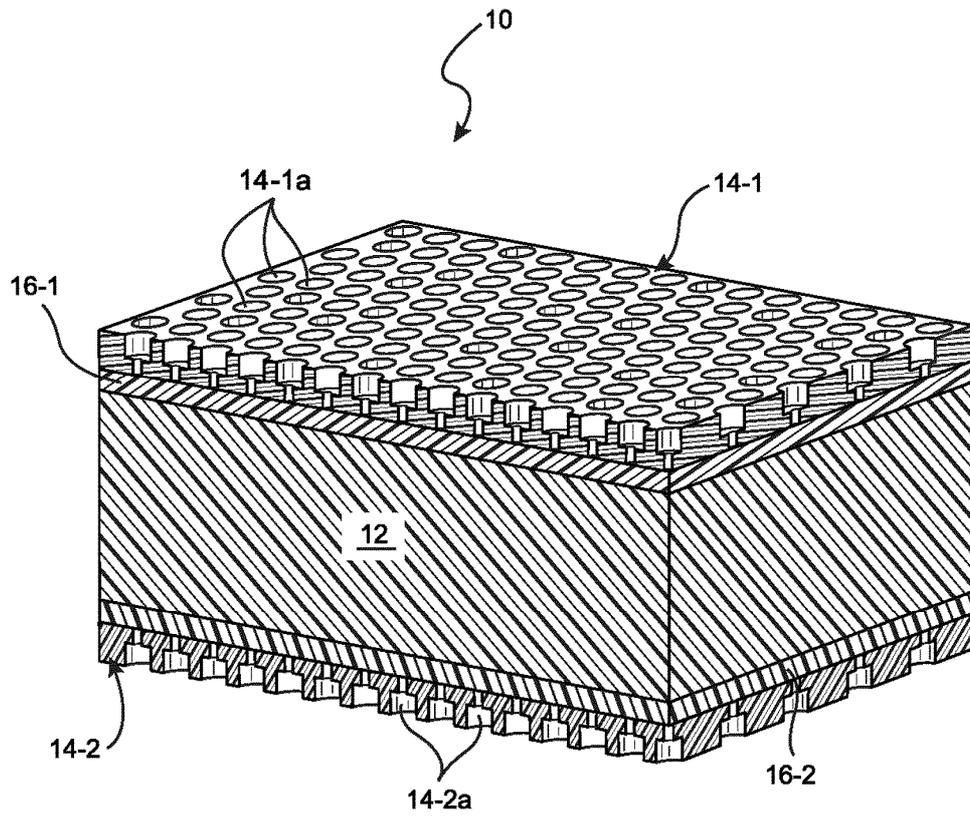


FIG. 1

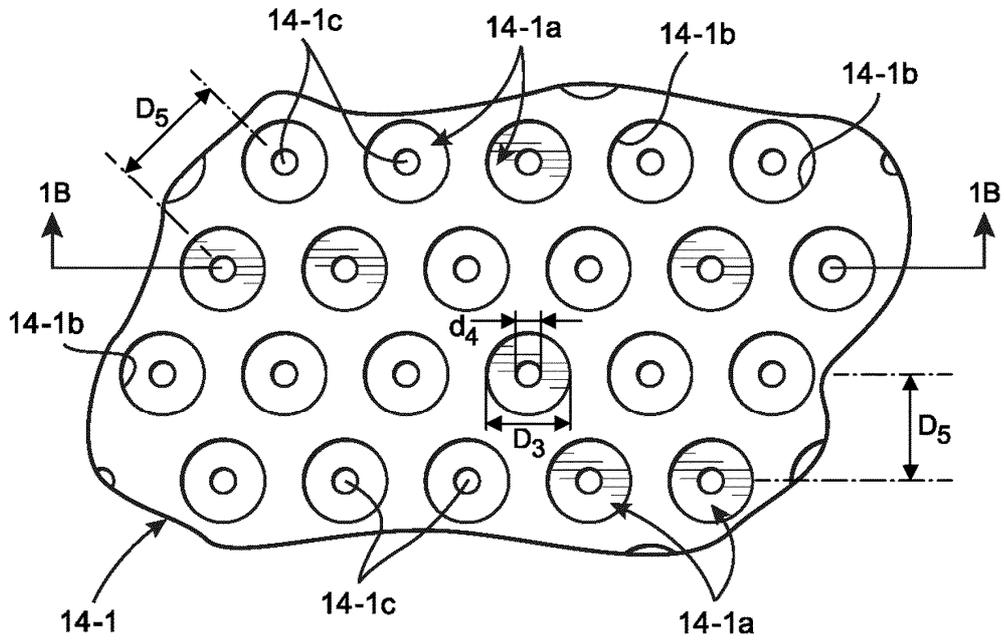


FIG. 1A

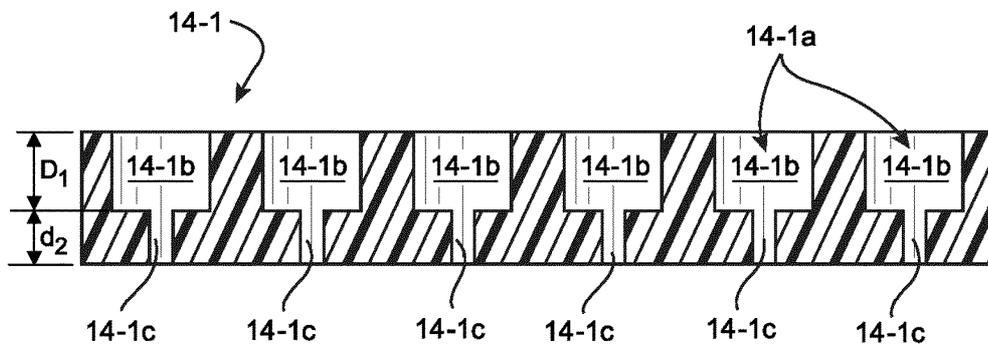
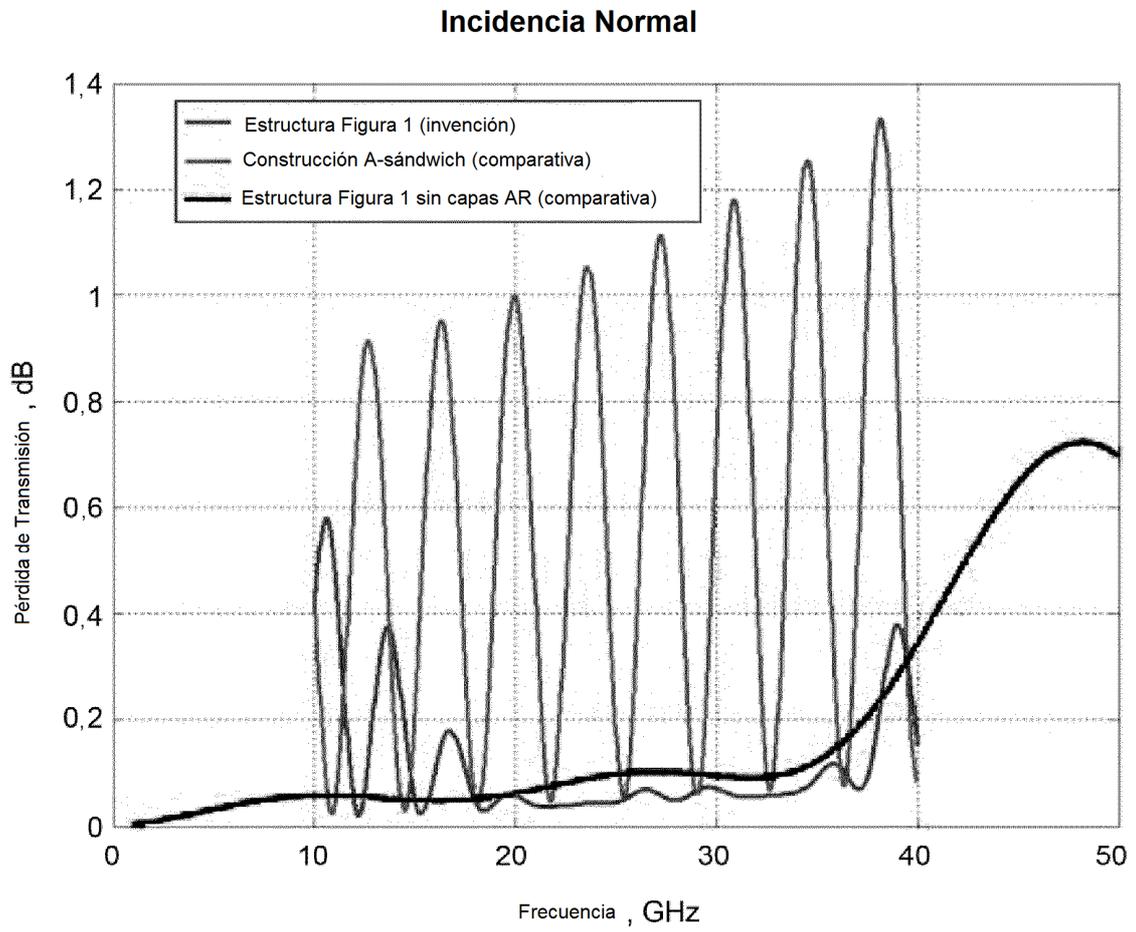


FIG. 1B



**FIG. 2**

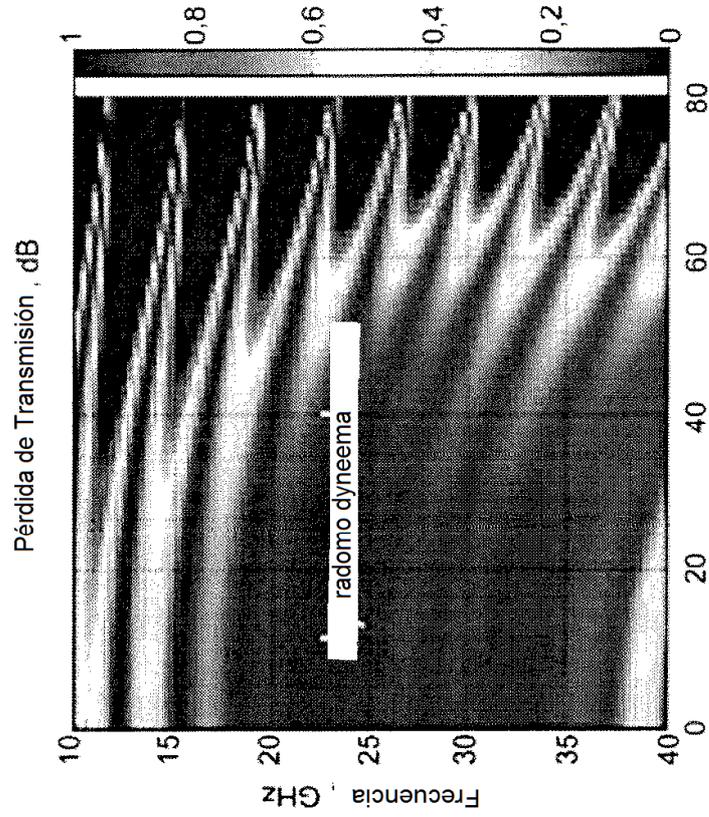


FIG. 3B

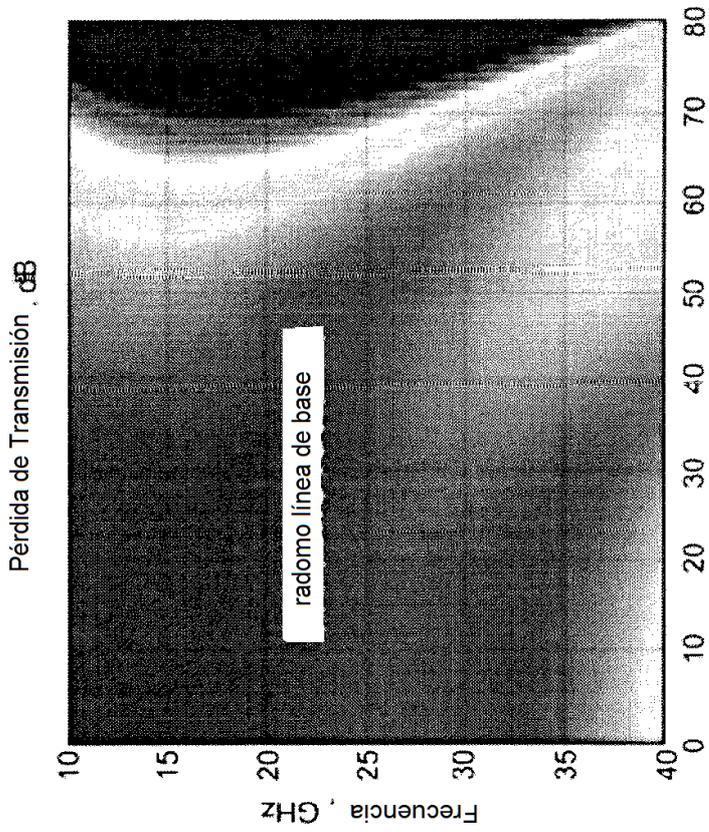


FIG. 3A

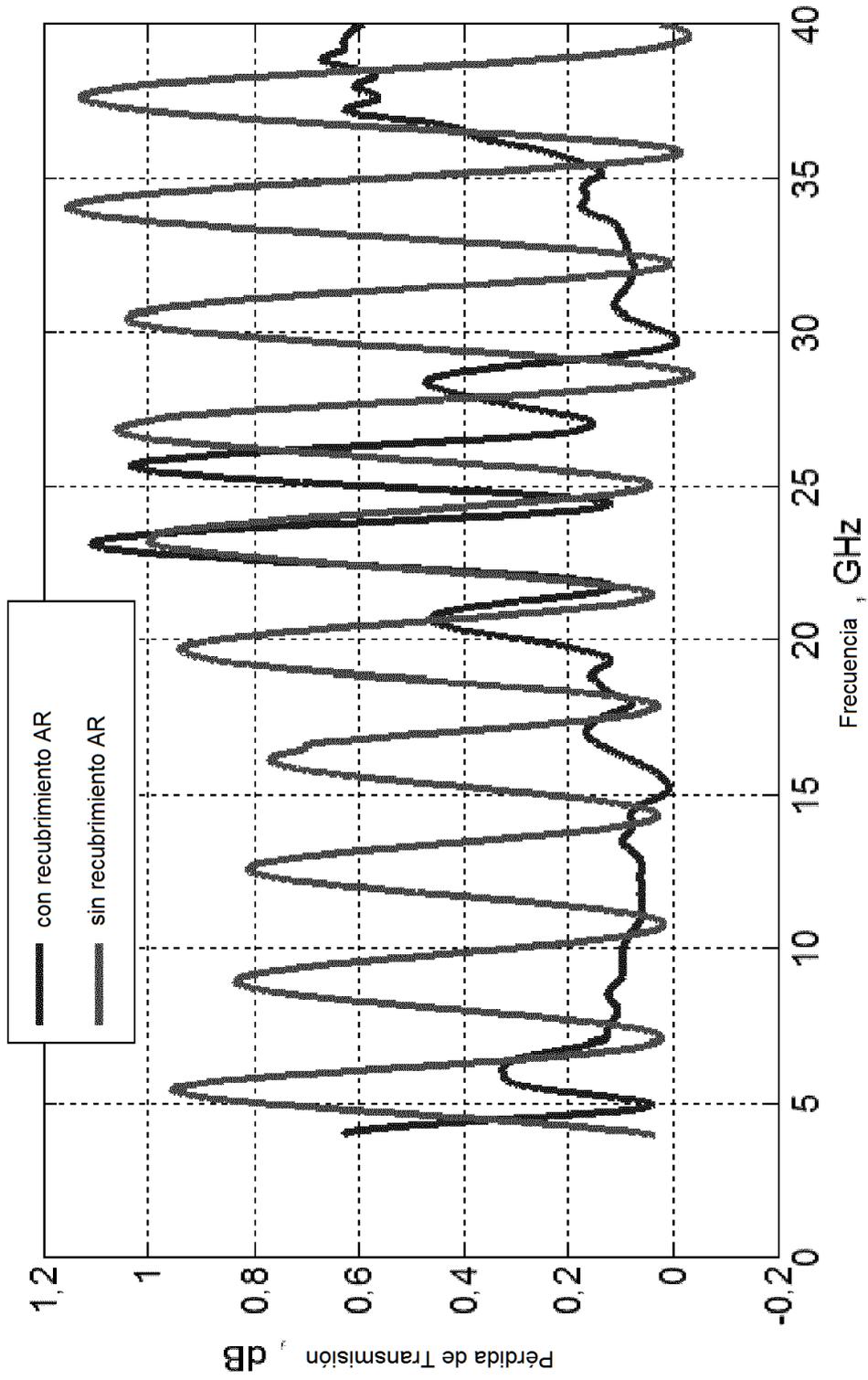


FIG. 4

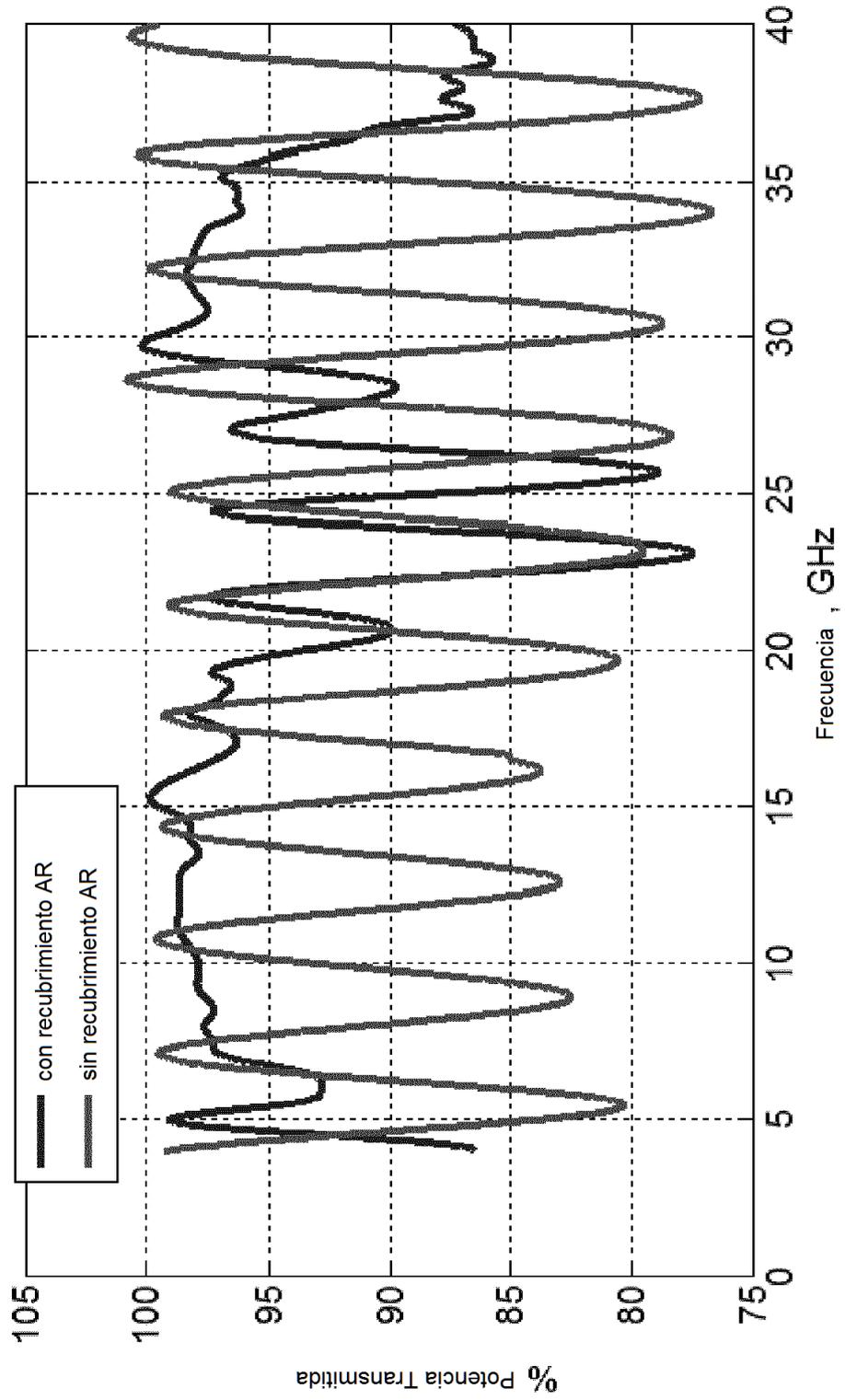


FIG. 5