



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

VIABILIDAD DE ANTENAS Y DISPOSITIVOS DE ALTA
FRECUENCIA EN IMPRESORA 3D.

Estibaliz Moreno Mateos

Pamplona, 20 de febrero de 2014



Índice

1 Introducción

1.1 Motivación	5
1.2 Antecedentes y descripción del Proyecto Final de Carrera.....	6

2 Conceptos generales

2.1 Introducción	8
2.2 Impresora 3D.....	8
2.3 Empresa online I. materialise	9
2.3.1 Materiales de impresión	10
2.3.1.1 Impresión con poliamida.....	10
2.3.1.2 Impresión con latón	11
2.3.1.3 Impresión con prime gray (plástico)	12
2.4 Empresa online shapeways	14
2.4.1 Impresión en latón	14
2.4.2 Impresión en plástico (Frosteddetailplastic)	15
2.5 Proceso electrolítico	17
2.5.1 Galvanotecnia.....	18
2.6 Spattering	19
2.6.1 Maquina Q150R MODULAR COATING SYSTEM.....	20



2.7 Guías de onda.....	21
2.8 Roscado.....	22
2.9 LPKF MiniContac RS.....	24

3 Situación inicial

3.1 Introducción.....	26
3.2 Descripción.....	26
3.2.1 Prototipos realizados para la incorporación de circuitos.....	27
3.2.2 Piezas del motor de Sputtering.....	30
3.2.3 Prototipo Tee (Divisor de potencia).....	33
3.2.4 Acoplador.....	34
3.2.5 Antenas de bocina.....	35
3.2.6 Red de captación Hanning.....	36
3.2.7 SplineHorn.....	38
3.2.8 Pieza transición HIB.....	40
3.2.9 Pieza transición VIV.....	41
3.2.10 Polarizador de campo.....	42
3.2.11 Horn de ganancia estándar.....	43
3.2.12 Guía de ondas.....	44
3.3 Metalización de las antenas y dispositivos de alta frecuencia.....	46
3.3.1 Proceso Electrolítico.....	46
3.3.2 LPKF minicontac RS.....	50
3.3.3 Sputtering magnetrón.....	51



4 Análisis de los resultados

4.1.	Introducción	54
4.2.	Resultados del proceso de metalización	54
4.3.	Analizador de Redes	58
4.3.1.	Medidas con el analizador de redes	59
4.4.	Análisis de los resultados	61
4.4.1.	Análisis de los resultados del acoplador	61
4.4.2.	Antena de plástico larga	63
4.4.3.	Antena de plástico corta	64
4.4.4.	Análisis de los resultados de las antenas de ganancia estándar	64
4.4.5.	Análisis de los resultados de las Guías de onda	66

5 Conclusiones

Conclusiones y líneas futuras	69
-------------------------------------	----

6 Bibliografía

Bibliografía	71
--------------------	----

7 Resumen

iii



Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. En 1984, algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta transformaron la tecnología de impresión con tinta a impresión con materiales. A lo largo de las últimas décadas, ha habido una gran variedad de aplicaciones de la tecnología de impresión 3D que se han desarrollado a través de varias industrias. Las impresoras 3D depositan el material deseado en una serie de capas sucesivas para crear un objeto procedente de un formato digital.

Los primeros prototipos de fabricación fueron capa por capa en 1992 por la empresa 3D systems. La primera máquina funcionaba con un láser UV que iba solidificando un fotorpolímero, el cual fabricaba capa por capa partes tridimensionales. En 1999 se hizo la impresión de los órganos con las propias células del paciente. En 2005 el Dr. Adrian Bowyer fundador de la empresa RepRap, construyó una impresora 3D para crear productos de bajo coste a diario. En 2006 se construye la primera máquina de tipo SLS (sintetización de laser). Básicamente, este tipo de máquina utiliza un láser para fundir materiales en el proceso de impresión 3D. Este descubrimiento abrió las puertas a la personalización masiva y a la demanda de fabricación de piezas industriales, y más tarde, de prótesis. Ese mismo año, Object, un proveedor de materiales e impresoras 3D, creó una máquina con la capacidad de imprimir en múltiples materiales, incluyendo polímeros y elastómeros. La máquina permite que una parte sea fabricada con una gran variedad de densidades y propiedades de material. En 2008, tras su lanzamiento en 2005, el proyecto RepRap saca a la luz Darwin, la primera impresora 3D con capacidad de imprimir la mayoría de sus propios componentes, permitiendo a los usuarios que ya tienen una, hacer



más impresoras para sus amigos o incluso reparar componentes de la suya. Este mismo año, Shapeways lanza una página web beta privada para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad permitiendo que artistas, arquitectos y diseñadores presenten sus diseños en 3D como objetos físicos baratos. En 2009, Industrias MakerBot, una compañía de hardware de código abierto para las impresoras 3D, comienza la venta de kits de montaje que permiten a los compradores fabricar sus propias impresoras 3D y productos. En 2011, Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñaron y planearon el primer avión impreso en 3D. Este avión no tripulado se construye en siete días, con un presupuesto de 7.000€. La impresión 3D permite que sus alas tengan forma elíptica, una característica normalmente cara que ayuda a mejorar la eficiencia aerodinámica y reduce al mínimo la resistencia inducida. Además, KorEcologic nos presenta Urbee, un prototipo de coche que trata de ser lo más eficiente posible con el medio ambiente, siendo toda su carrocería diseñada e impresa en 3D. Trata de ser un coche eficiente en cuanto a consumo de gasolina y en cuanto a su coste de producción. Su precio oscilará entre los 12.000€ y 60.000€ siempre y cuando sea comercialmente rentable. Ese mismo año, La empresa I.materialise fue la primera empresa en ofrecer un servicio de impresión 3D de oro de 14 Kilates y plata de ley. Esta opción permitió abrir un nuevo mercado a los joyeros con diseños más económicos utilizando este material.

1.2 Antecedentes y descripción del Proyecto Final de Carrera

El objetivo de este proyecto es ayudar a la empresa Anteral a medir la viabilidad de sus antenas y dispositivos de alta frecuencia en impresora 3D. Para ello, se diseñaron ciertos prototipos nuevos, y se utilizaron también ciertos realizados hace años para poder comparar los resultados. Alguno de los prototipos a realizar se encuentra en la empresa Anteral realizados con fresadora mecánica, queriendo obtener resultados parecidos imprimiendo dichos prototipos en plástico.

Una vez impresos dichos prototipos, se metalizan con diferentes procesos como Sputtering o procesos químicos ya que se quiere que la impresión 3D sea en plástico.

Una vez metalizados los prototipos, se medirá mediante un analizador de redes los parámetros pertinentes.



Se concluirá si es viable o no la impresión en plástico para luego poder comercializar con dichas antenas y dispositivos de alta frecuencia. De ser así, los dispositivos y antenas realizados en impresora 3D y plástico prime gray serán comercializables a bajo coste, se abaratará el precio en más de la mitad que si se realizara con fresadora y los resultados podrían ser muy parecidos.

En definitiva, nuestro objetivo será conocer estas limitaciones e intentar solventarlas en la medida de lo posible.



Capítulo 2

Conceptos generales

2.1 Introducción

Aunque no es nuestra intención analizar en detalle todas las características de la impresión en 3D se van a detallar conceptos necesarios para la realización de este proyecto.

Así, este proyecto final de carrera pretende ver la viabilidad de la fabricación de antenas y dispositivos de alta frecuencia en impresora 3D, es importante conocer las limitaciones que puede presentar dicha impresión, pero de igual manera es importante analizar las formas de solventar algunas de estas limitaciones y ver si puede ser viable o no la fabricación en 3D de antenas y dispositivos de alta frecuencia.

2.2 Impresora 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de realizar impresiones de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos de piezas por ordenador en prototipos reales o 3D. En la actualidad son utilizados para la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. La aplicación más común es el de las prótesis



médicas, donde resultan ideales dada la facilidad para adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente.

Los modelos comerciales son actualmente de dos tipos; de compactación, en las que una masa de polvo se compacta con estratos y de adicción, o de inyección de polímeros. Donde el propio material se añade por capas.

Según el método empleado para la compactación del polvo, se pueden clasificar en impresoras 3D de tinta e impresoras 3D de láser. Las primeras utilizan una tinta aglomerante para compactar el polvo. El uso de una tinta permite la impresión en diferentes colores. Y estas últimas, utilizan un láser que transfiere energía al polvo haciendo que se polimerice. Después se sumerge en un líquido que hace que las zonas polimerizadas se solidifiquen.

Una vez impresas todas las capas sólo hay que sacar la pieza. Con ayuda de un aspirador se retira el polvo sobrante, que se reutilizará en futuras impresiones. Las impresoras 3D tienen demostrada cierta toxicidad para la salud en ambientes cerrados. No deben usarse por personas no profesionales debido al alto riesgo de toxicidad (cáncer y derrames cerebrales).

2.3 Empresa online I. materialise

Materialise NV, con sede en Leuven, Bélgica, es una empresa especializada en fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D. Después de su creación, Materialise se centra en la investigación y desarrollo de soluciones para la transmisión de datos a las máquinas de fabricación aditiva. En 1991, la compañía lanzó mímica y en 1992, Magics. Calcula modelos en 3D de superficies a partir de datos de imágenes apiladas, como la tomografía computarizada (CT), Microscopía Confocal, Micro CT y resonancia magnética (MRI) a través de la segmentación de imágenes. Magics importa datos de formatos CAD y exporta archivos imprimibles en formato STL.

I.materialise (Ref.7) es un servicio de impresión en 3D online para todas las personas con creatividad para el diseño y la cabeza llena de ideas. Se puede crear, compartir y vender sus diseños, subiendo el diseño se puede ver al instante el precio de los

modelos, eligiendo una amplia gama de materiales y colores y ajustando la escala del diseño con el tamaño ideal haciendo tantas copias como se desee. Ofrece 17 materiales que incluyen metales y cerámicas, más de 70 combinaciones posibles de colores y acabados. También ofrece la posibilidad de asesoramiento técnico de expertos.

2.3.1 Materiales de impresión

I.materialise (Ref.7) ofrece una amplia variedad de materiales de impresión en 3D de alta calidad. Hay 17 materias diferentes y 70 posibles combinaciones de colores y acabados. Entre ellos los más destacados son la poliamida, prime gray, latón, bronce, oro, cerámica, etc.

2.3.1.1 Impresión con poliamida

Los modelos de poliamida se construyen a partir de un polvo muy fino blanco y granular. El resultado es un material fuerte, algo flexible que puede resistir ciertos impactos y cierta presión. La superficie tiene un aspecto granular de arena, y es ligeramente poroso. (Fig. 2.1)



Figura 2.1. Prototipos en impresora 3D fabricados en poliamida.

Se utiliza sintetización selectiva por láser para construir el diseño con este material. Los modelos se imprimen capa por capa por un láser que dibuja las líneas en el polvo, que se funde con el fin de formar una capa fina del modelo. La impresora tiene una cámara de

impresión que se calienta justo hasta por debajo del punto de fusión del polvo, el haz del láser añade la energía para fundir el polvo para formar un modelo sólido. Después que se termina un trabajo de impresión, el resultado es un gran bloque de polvo climatizado con los modelos impresos contenidos en el interior. (Fig. 2.2). El grosor de la pared puede ser como máximo de 0,8 a 1mm y los detalles mínimos son de 0,3 mm. El tamaño máximo es de 650x330x560mm.

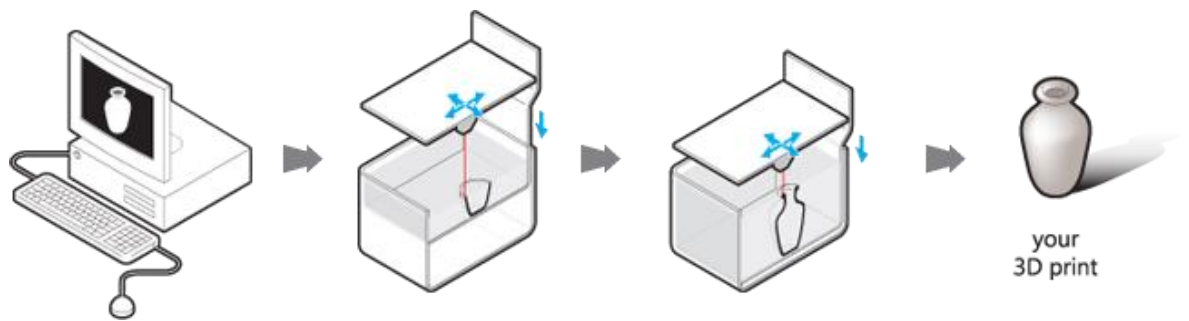


Figura 2.2. Método de impresión con poliamida

2.3.1.2 Impresión con latón

El latón (Brass) es una aleación de cobre y zinc y tiene un acabado en oro o dorado. Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones en las que la gente está buscando un reemplazo más económico para los materiales preciosos. El latón chapado en oro de 18 K puede tener el mismo nivel de detalle que el oro y la plata. (fig. 2.3)



Figura 2.3 Prototipos en impresora 3D fabricados en latón con acabado dorado.

El proceso de impresión en 3d de los prototipos hechos de este material utiliza un tipo de cera, una estereolitografía que utiliza una resina similar a la cera.

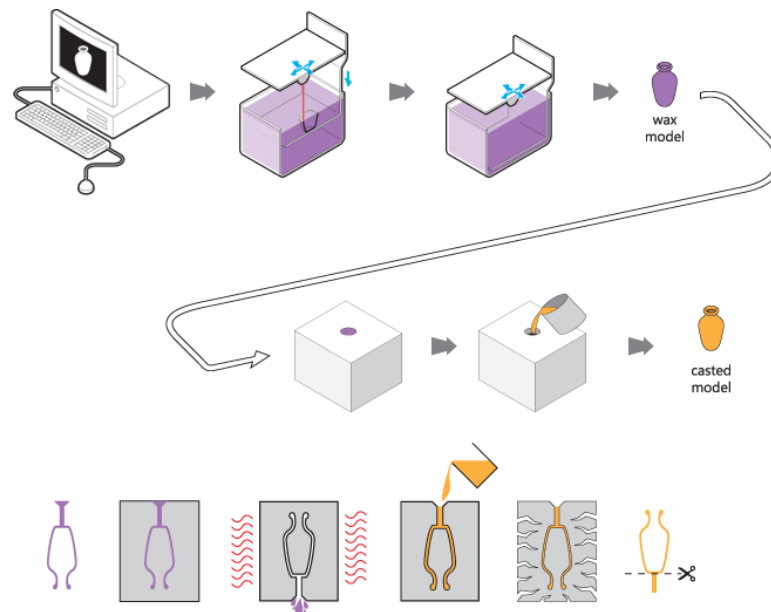


Figura 2.4. Método de impresión con latón

En primer lugar, uno o más canales de inyección de cera se adjuntan al modelo y se cubre con un yeso fino. Cuando el yeso se solidifica, forma del molde para la fundición del bronce. El molde de yeso se pone entonces en un horno y se calienta durante varias horas. Hasta un punto en el que la cera está completamente derretida. Entonces, el metal fundido se vierte para llenar las cavidades dejadas por la cera. Una vez que el latón se ha enfriado y solidificado, el molde de yeso se rompe y los modelos de latón, se retiran a mano. Por último, el modelo se lija. Podemos verlo en la siguiente figura (fig. 2.4). El espesor mínimo de pared es de 0,5mm, los detalles mínimos de 0,3mm y el tamaño máximo de la pieza tiene que ser de 88x63x125mm.

2.3.1.3 Impresión con prime gray (plástico)

Prime gray es adecuado para los modelos con funcionalidad limitada. La superficie del material es muy suave, mucho más suave que casi todos los otros materiales de impresión 3D. El color es la Fuerza Aérea Gray y el materiales muy bueno al tacto. El

material tiene una resistencia mecánica media. Libertad de diseño limitado debido a la estructura necesaria para apoyar sus modelos durante la impresión.



Figura 2.5 Prototipos en impresora 3D fabricados en prime gray.

Se utiliza la estereolitografía para construir su diseño con este material. A partir de un modelo 3D, se construye un modelo cortándolo en capas delgadas a través de un software especializado. Se crea una estructura de apoyo, donde sea necesario, con el fin de hacer frente a proyecciones y cavidades.

El proceso se lleva a cabo en un tanque grande, y comienza cuando una capa de polímero líquido se extiende sobre una plataforma. Esta máquina a continuación, utiliza un láser controlado por ordenador para dibujar la primera capa sobre la superficie de un polímero líquido, que se endurece cuando es golpeado por el láser. El modelo entonces se baja y la siguiente capa se dibuja a continuación, directamente en la parte superior de la anterior. Esto se repite hasta que se termine el modelo. De esta manera, capa por capa, un objeto se extrae en el líquido por el haz, hasta que las capas se consolidan.

Cuando el objeto se completa, se levanta fuera del tanque a través de la plataforma de soporte al igual que el aumento de un submarino a la superficie del agua. Los soportes se retiran manualmente después de que el modelo se toma de la máquina. En la figura 2.6 podemos verlo:

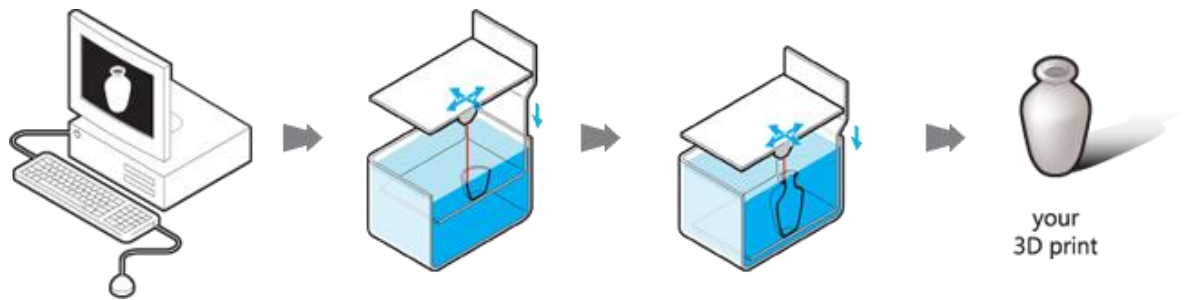


Figura 2.6 Método de impresión en prime gray

El prototipo tarde de 15 a 20 días en recibirse.

2.4 Empresa online shapeways

Shapeways (Ref.8) es una fundación, con sede en el mercado de la impresión 3D holandesa es una empresa de nueva creación. Los usuarios cargan archivos de diseño y Shapeways imprime los objetos para ellos o para otros. Los usuarios pueden tener objetos impresos de una variedad de materiales.

El 20 de junio del 2012, Shapeways imprimió y vendió más de un millón de objetos creados por el usuario. El 19 de octubre 2012 Shapeways abrió una nueva fábrica de impresión 3D en Queens, Nueva York, que podría albergar 50 impresoras industriales y llevar a cabo millones de productos de consumo diseñados por año.

En 2013 Shapeways emplea a más de 90 personas. La sede se encuentra en Nueva York y oficinas en Eindhoven y Seattle. A continuación se explicaran los tipos de materiales más comunes que Shapeways ofrece para impresión 3D.

2.4.1 Impresión en latón

El latón es un metal sólido disponible en tres acabados para diferentes tipos de productos.

El latón chapado en oro y latón pulido se pulen para darles un acabado liso y brillante. El latón pulido tiene una coloración amarilla brillante y con 22k chapado, modelos chapados en oro se parecen a auténticos objetos de oro. Ambos son perfectos para joyas y objetos preciosos.

El latón crudo tiene un aspecto mate rústico, con superficies rugosas (manchas de color). Es ideal para objetos de aspecto antiguo, piezas funcionales, prototipos y modelos de joyas de metal que le gustaría para pulir y terminar usted mismo. Modelos de latón se fabrican utilizando un proceso de cinco pasos complejo. En primer lugar, el modelo está impreso en cera con una alta resolución de la impresora 3D especializado. Se pone entonces en un recipiente donde un yeso líquido se vierte alrededor del recipiente. La cera se funde en un horno, y el yeso restante se convierte en el molde. El latón fundido se vierte en este molde y se pone a endurecerse. El yeso se rompe, revelando el nuevo producto. El latón chapado en oro se limpia cuidadosamente y se pule a mano. Luego pasa por un proceso de galvanoplastia final para añadirle una capa exterior de oro 22k. Hay que tener en cuenta que el pulido y chapado pueden desgastar o completar tanto los detalles muy finos de la pieza como los bordes. Se entrega en 10 días hábiles, y el pulido en 15 días hábiles.



Figura 2.7 Prototipos en impresora 3D fabricados en latón.

2.4.2 Impresión en plástico (Frosted detail plastic)

Frosted Detalle y Frosted Ultra Detalle se componen de un polímero acrílico UV que es capaz de hacer detalles muy finos que son perfectos para las miniaturas, maquetas de trenes, y todo lo que requiere un acabado suave y detallado. En particular, si se tiene la



intención de pintar el modelo, el detalle realmente bueno. Frosted Ultra detalle es frágil, especialmente en torno al espesor mínimo de la pared. Paredes más gruesas se traducirá a los modelos más fuertes. El material es resistente ligeramente flexible. Debido al proceso de impresión que necesitamos hay que colocar un material de soporte por debajo del modelo. Este material de soporte puede crear pequeñas líneas de impresión en algunas partes, en particular si la pieza tiene superficies planas. Estas líneas de impresión son pequeñas y no son muy notables, sin embargo, se exageran cuando se pinta.

Este material se imprime utilizando el modelado Multijet (MJM). El plástico fundido se deposita sobre una plataforma de aluminio de construcción en capas con varias boquillas, esencialmente, como una letra grande que se extiende a través de la capa de estructura. Como los chorros de material calentado sobre la placa de construcción, que se solidifica instantáneamente. Después de cada capa que se deposita, se polimeriza, con una lámpara UV. La siguiente capa se aplica, y a través de este proceso de capas repetidas de termoplástico se acumulan y se realiza un modelo. Cuando finaliza la impresión, se elimina los modelos de la bandeja y las ponemos en un horno que derrite el material de soporte de cera. A continuación, se ponen los modelos en un baño de aceite de ultrasonidos para eliminar los restos de cera que quedan, y luego un baño de agua ultrasónico para eliminar cualquier aceite en el modelo. Por último, se examina los modelos y se secan manualmente.

Este material es impermeable, no apto para lavavajillas y no es reciclable. Es resistente al calor a grados 80C/176F. Las temperaturas muy altas pueden cambiar significativamente las propiedades del material.



FrostedDetail



Frosted Ultra Detail



Figura 2.8 Prototipos en impresora 3D fabricados en plásticos.

2.5 Proceso electrolítico

La electrolisis consiste en la descomposición química de una sustancia por medio de la electricidad, electro, electricidad y lisis, destrucción. El proceso se realiza cuando la corriente eléctrica circula desde el cátodo hacia el ánodo, siempre que entre ellos haya una sustancia conductora (electrolito). Una de las aplicaciones es la galvanoplastia, que consiste en cubrir los metales o plásticos para aumentar su duración y resistencia a la corrosión. En este caso aplicaremos el cobre. Los ánodos de cobre en bruto se suspenden en un baño de sulfato cúprico acidulado con ácido sulfúrico. Los cátodos son láminas delgadas de cobre puro recubierto de grafito, para que el metal depositado por la corriente eléctrica pueda separarse después fácilmente; las láminas se suspenden alternativamente con los ánodos en el mismo baño. Cuando pasa la corriente, los iones cobre se descargan en el cátodo, que va engrosando gradualmente por el metal puro adherido, a la vez que en el ánodo se disuelve una cantidad equivalente de cobre, formando iones cúpricos. Si las impurezas del cobre son de elementos más activos, situados encima de él en la serie electromotriz de los metales, pasan a la disolución y quedan en ella. Si están por debajo del cobre en dicha serie, no se disuelven, y caen al fondo de las cubas, debajo de los ánodos, como barro anódico, del que se recuperan el oro, la plata y el platino.

En el depósito o baño electrolítico se deposita un baño de un metal sobre otro metal por electrólisis. Este procedimiento se lleva a cabo por motivos decorativos o para proteger de la corrosión al segundo metal. Los cubiertos de baño de plata por ejemplo, consisten en una base de hierro con un recubrimiento fino de plata metálica. En un proceso de depósito electrolítico el objeto a bañar constituye el cátodo de la célula electroquímica. El electrolito contiene iones del metal que constituyen el baño. Estos iones son atraídos hacia el cátodo, donde se reducen a átomos metálicos.

El electrolito suele ser sulfato de cobre en el caso de un baño de cobre. Algunos plásticos también pueden bañarse, primero debe hacerse conductor al plástico recubriéndolo con polvo de grafito.



2.5.1 Galvanotecnia

Proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base generalmente metálica. Los objetos se galvanizan para evitar la corrosión, para obtener una superficie dura o un acabado atractivo, para purificar metales (como en la refinación electrolítica del cobre), para separar metales para el análisis cuantitativo o como es el caso de la electrotipia, para reproducir un molde. Los metales que se utilizan normalmente en galvanotecnia son: cadmio, cromo, cobre, oro, níquel, plata y estaño. Las cuberterías plateadas, los accesorios cromados de automóvil y los recipientes de comida estañados son productos típicos de galvanotecnia.

En este proceso, el objeto que va a ser cubierto se coloca en una disolución (baño) de una sal del metal que va a recubrir el objeto, y se conecta a un terminal negativo de una fuente de electricidad externa. Otro conductor, compuesto a menudo por el metal recubridor, se conecta al terminal positivo de la fuente de electricidad. Para el proceso es necesaria una corriente continua de bajo voltaje, normalmente de 1 a 6 V. Cuando se pasa la corriente a través de la disolución, los átomos del metal recubridor se depositan en el cátodo o electrodo negativo. Esos átomos son sustituidos en el baño por los del ánodo (electrodo positivo), si está compuesto por el mismo metal, como es el caso del cobre y la plata. Si no es así, se sustituyen añadiendo al baño periódicamente la sal correspondiente, como ocurre con el oro y el cromo. En cualquier caso, se mantiene un equilibrio entre el metal que sale y el metal que entra en la disolución hasta que el objeto está galvanizado. Los materiales no conductores pueden ser galvanizados si se cubren antes con un material conductor como el grafito. La cera o los diseños de plástico para la electrotipia, y las matrices de los discos fonográficos se recubren de esta manera.

Para asegurar una cohesión estrecha entre el objeto a ser recubierto y el material recubridor, hay que limpiar el objeto a fondo, ya sea sumergiéndolo en una disolución ácida o cáustica, o bien utilizándolo como ánodo en un baño limpiador durante un instante. Para eliminar irregularidades en las depresiones de la placa y asegurar que la textura de su superficie es de buena calidad y propicia para el refinado, hay que controlar cuidadosamente la densidad de la intensidad de corriente (amperios por metro cuadrado de



superficie de cátodo) y la temperatura. Con frecuencia se añaden al baño ciertos coloides o compuestos especiales para mejorar la uniformidad de la superficie de la placa.

Algunos metales, en concreto el cromo, tienen poco poder para desprenderse, es decir, tienden a recubrir excesivamente las protuberancias y dejan las grietas del ánodo completamente desnudas.

2.6 Sputtering

El proceso de Sputtering consiste en la extracción de átomos de la superficie de un electrodo debido al intercambio de momento con iones que bombardean los átomos de la superficie. Con esta definición está claro que el proceso de Sputtering es básicamente un proceso de ataque, frecuentemente utilizado para la limpieza de superficies y la delineación de pistas. Sin embargo, como en el proceso de Sputtering se produce vapor del material del electrodo, es también un método utilizado en la deposición de películas, similar a la evaporación.

Con el término deposición por Sputtering se enmarcan una gran cantidad de procesos, pero todos tienen en común el empleo de un blanco del material que va a ser depositado como cátodo en la descarga luminosa. El material es transportado desde el blanco hasta el sustrato donde se forma la película. De esta forma se depositan películas de metales puros o aleaciones utilizando descargas de gases nobles. Es también posible depositar materiales compuestos por Sputtering utilizando blancos elementales con gases reactivos. Así se depositan óxidos y nitruros de metales en atmósferas reactivas de oxígeno y nitrógeno, respectivamente.

Una técnica de deposición de materiales basada en el principio de Sputtering antes mencionado y, que poseen en la empresa Anteral, es la de Sputtering Magnetron. Se caracteriza por utilizar campos magnéticos transversales a los campos eléctricos en la superficie del blanco (ver [fig.2.9](#)). La aplicación de este campo magnético transversal da lugar a cambios importantes en el proceso básico de Sputtering. Los electrones secundarios generados en el blanco no bombardean el sustrato debido a que son atrapados en trayectorias cicloidales cerca del blanco, así disminuye la temperatura a la que se calienta el sustrato y disminuye el daño por radiación. Este hecho permite recubrir sustratos que no resistan temperaturas altas (como plásticos) y superficies sensibles. Además en esta

técnica las velocidades de deposición son más altas que en el Sputtering tradicional, pudiendo utilizar la técnica combinada con Sputtering reactivo.

El sistema de Sputtering magnetrón se basa en tres cátodos y un porta substratos giratorio. Este sistema es utilizado en el crecimiento de películas compuestas y multicapas de nitruros metálicos (Ti, Al, Zr, etc) con fines fundamentalmente de aplicaciones como recubrimientos duros.

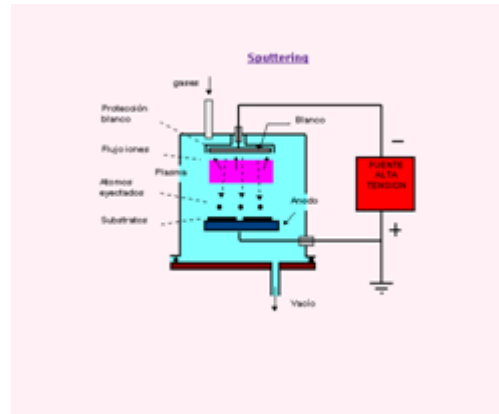


Figura 2.9 Proceso de Sputtering

2.6.1 Maquina Q150R MODULAR COATING SYSTEM

Esta es la maquina utilizada en el proceso de Sputtering para metalizar las piezas en plástico. El Q150R es un sistema de recubrimiento versátil y compacto giratorio bombeado, idealmente para electrónica de barrido y de preparación de muestras para otro revestimiento de aplicaciones. Consta de un revestidor de bombardeo iónico compacto, adecuado para depositar capas de granos finos. Además, está equipado con un sistema de magnetrón que desvía la alta energía de los electrones generados durante el proceso de

pulverización catódica. Esto ayuda a crear las condiciones frías de pulverización catódica que permitan eliminar los térmicos y asegurar bien la estructura de grano dentro de las películas bombardeadas. En la siguiente figura podemos ver la máquina de Sputtering de la empresa Anteral:



Figura 2.10 Máquina de Sputtering

2.7 Guías de onda

Las antenas que se van a utilizar y los dispositivos de alta frecuencia que se van a imprimir son todos de guía de onda. Algunos sistemas de telecomunicaciones utilizan la propagación de ondas en el espacio libre, sin embargo también se puede transmitir información mediante el confinamiento de las ondas en cables o guías. En altas frecuencias las líneas de transmisión y los cables coaxiales presentan atenuaciones muy elevadas por lo que impiden que la transmisión de la información sea la adecuada, son imprácticos para aplicaciones en HF(alta frecuencia) o de bajo consumo de potencia, especialmente en el caso de las señales cuyas longitudes de onda son del orden de centímetros, esto es, microondas y milimétricas.

La transmisión de señales por guías de onda reduce la disipación de energía, es por ello que se utilizan en las frecuencias denominadas de microondas y milimétricas con el mismo propósito que las líneas de transmisión en frecuencias más bajas, ya que se presentan poca atenuación para el manejo de señales de alta frecuencia.



Este nombre, se utiliza para designar los tubos de un material de sección rectangular, circular o elíptica, en los cuales la energía electromagnética ha de ser conducida principalmente a lo largo de la guía y limitada en sus fronteras. Las paredes conductoras del tubo confinan la onda al interior por reflexión, debido a la ley de Snell en la superficie, donde el tubo puede estar vacío o relleno con un dieléctrico. El dieléctrico le da soporte mecánico al tubo (las paredes pueden ser delgadas), pero reduce la velocidad de propagación y aumenta las pérdidas.

En las guías, los campos eléctricos y los campos magnéticos están confinados en el espacio que se encuentra en su interior, de este modo no hay pérdidas de potencia por radiación y las pérdidas en el dieléctrico son muy bajas debido a que suele ser aire. Este sistema evita que existan interferencias en el campo por otros objetos, al contrario de lo que ocurría en los sistemas de transmisión abiertos

2.8 Roscado

Para hacer el roscado en las piezas y prototipos a imprimir en impresora 3D, se utiliza esta tabla donde los agarres, denominados flanges en inglés, y los tornillos tendrán o bien métrica europea o métrica inglesa. Por lo tanto a la hora de diseñar los prototipos se tienen en cuenta estas medidas:



TABLA DE TALADROS PREVIOS AL ROSCADO

METRICO ISO			METRICO ISO FINO			UNF			BSF			PG			
M	PASO	Ø Broca	M	PASO	Ø Broca	UNF	PASO	Ø Broca	BSF	PASO	Ø Broca	PG	PASO	Ø Broca	
1		0,25	0,75	2,5	0,35	2,15	0	80	1,30	3/16"	32	4	7	20	11,5
1,1		0,25	0,85	3	0,35	2,65	1	72	1,60	1/4"	26	5,20	9	18	14,0
1,2		0,25	0,85	3,5	0,35	3,15	2	64	1,80	5/16"	22	6,60	11	18	17,25
1,4		0,3	1,1	4	0,50	3,5	3	56	2,10	3/8"	20	8,10	13,5	18	19,0
1,6	0,35	1,25	4,5	0,50	4,0	4	48	2,40	7/16"	18	9,50	16	18	21,25	
1,7	0,35	1,3	5	0,50	4,5	5	44	2,70	1/2"	16	11	21	16	27,0	
1,8	0,35	1,45	5,5	0,50	5,0	6	40	3,00	9/16"	16	12,7	29	16	35,5	
2	0,4	1,6	6	0,75	5,2	8	36	3,50	5/8"	14	14	36	16	45,5	
2,2	0,45	1,75	7	0,75	5,2	10	32	4,10	3/4"	12	16,5	42	16	52,5	
2,3	0,45	1,9	8	0,75	7,2	12	28	4,70	7/8"	11	19,5	48	16	58,0	
2,5	0,45	2,05	8	1,00	7,0				1"	10	22,5				
2,6	0,45	2,10	9	0,75	8,2	1/4"	28	5,50	1 1/8"	9	25,5				
3	0,5	2,5	9	1,00	8,0	5/16"	24	6,90	1 1/4"	8	28,75				
3,5	0,6	2,9	10	0,75	9,2	3/8"	24	8,50	1 1/2"	8	34,8				
4	0,7	3,3	10	1,00	9,0	7/16"	20	9,90							
4,5	0,75	3,7	10	1,25	8,8	1/2"	20	12,90							
5	0,8	4,2	11	0,75	10,2	5/8"	18	14,50							
6	1,00	5,00	11	1,00	10,0	3/4"	16	17,50							
7	1,00	6,00	12	1,00	11,0	7/8"	14	20,40							
8	1,25	6,8	12	1,25	10,8	1"	12	23,30							
9	1,25	7,8	12	1,50	10,5	1 1/8"	12	26,50							
10	1,50	8,5	14	1,00	13,0	1 1/4"	12	29,50							
11	1,50	9,5	14	1,25	12,8	1 3/8"	12	32,70							
12	1,75	10,2	14	1,50	12,5	1 1/2"	12	36,50							
14	2	12	15	1,00	14,0										
16	2	14	15	1,50	13,5										
18	2,5	15,5	16	1,00	15,0										
20	2,5	17,5	16	1,50	14,5										
22	2,5	19,5	17	1,00	16,0										
24	3	21	17	1,50	15,5										
27	3	24	18	1,00	17,0										
30	3,5	26,5	18	1,50	16,5										
33	3,5	29,5	18	2,00	16,0										
36	4	32	20	1,00	19,0										
39	4	35	20	1,50	19,5										
42	4,5	37,5	20	2,00	18,0										
45	4,5	40,5	22	1,00	21,0										
48	5	43	22	1,50	20,5										
52	5	47	22	2,00	20,0										
56	5,5	50,5	24	1,00	23,0										
60	5,5	54,5	24	1,50	22,5										
64	6	58	24	2,00	22,0										
68	6	62	25	1,00	24,0										
			25	1,50	23,5										
			25	2,00	23,0										
			26	1,50	24,5										
			27	1,00	25,0										
			27	1,50	25,5										
			27	2,00	25,0										
			28	1,00	27,0										
			28	1,50	26,5										
			28	2,00	26,0										

UNC		
UNC	PASO	Ø Broca
1	64	1,50
2	56	1,80
3	48	2,10
4	40	2,30
5	40	2,60
6	32	2,85
8	32	3,50
10	24	3,90
12	24	4,50
1/4"	20	5,20
5/16"	18	6,60
3/8"	16	8,00
7/16"	14	9,40
1/2"	13	10,75
9/16"	12	12,25
5/8"	11	13,90
3/4"	10	16,50
7/8"	9	19,50
1"	8	22,25
1 1/8"	7	25,00
1 1/4"	7	28,25

ROSCAS CÓNICAS		
	ROSCA	Ø Broca
Gas cónica	1/8"	8,1
	1/4"	10,7
	3/8"	14,25
	1/2"	17,7
	3/4"	23
	1"	29
NPT	1 1/4"	37,6
	1 1/2"	43,5
	2"	55
	1/16"	6,10
	1/8"	8,5
	1/4"	11,00
NPTF	3/8"	14,5
	1/2"	18,00
	3/4"	23
	1"	29
	1 1/4"	38
	1 1/2"	44
2"	56,4	
NPTF	1/16"	6,25
	1/8"	8,6
	1/4"	11,1
	3/8"	14,7
	1/2"	17,85
	3/4"	23,4
1"	29,4	
1 1/4"	38,1	
1 1/2"	44	
2"	56,4	



Figura 2.11 Tabla para el roscado



2.9 LPKF MiniContac RS

El LPKF Contac RS y RS MiniContac son sistemas de placas con taladros pasantes especialmente desarrollados para la producción profesional de placas de circuito impreso del prototipo y la producción de lotes pequeños, con una incomparable facilidad de uso. Los sistemas son ideales para cualquier situación rápida de prototipos PCB. Emplean Technology Blackhole formaldehído confiable para la metalización directa. El Contac RS ofrece la mayor capacidad de tamaño del tablero de cualquier solución de chapado LPKF, así como un depósito calentado para el chapado de estaño químico (el recubrimiento de estaño es excelente para la soldadura óptima de placas de circuitos chapados a través del agujero y la protección de oxidación). Un baño de fregadero está conectado a través de un suministro externo de agua para la etapa de limpieza.

El LPKF MiniContac RS maneja tarjetas de circuitos del tamaño de 9 "x 13" (230 x 330 mm). El sistema está completamente cerrado y no necesita conexión externa. El LPKF Contac y RS MiniContac RS utilizan conmutable chapado pulso inverso, la producción de cobreado más uniforme para las relaciones de aspecto difíciles y agujeros más pequeños. Chapado de impulsos inversos también son muy útiles para los orificios pequeños del PCB de alta densidad y mejora la fiabilidad de la producción durante la soldadura. El proceso de metalización a través de hoyos comienza con la limpieza de las placas de circuito. La PBC se desengrasan, entonces pre-tratada, entonces activada. Un baño galvánico añade la capa de cobre, y después de enjuagar y limpiar, las juntas están listas para la soldadura. El LPKF Contac RS ofrece un baño fregadero adicional para aclarar la electrónica y un baño de estañado químico.

El microprocesador LPKF MiniContac RS es fácil de usar, con una pantalla de cuatro líneas con una interfaz de usuario basada en menús. Controlar el LPKF MiniContac RS a través de Ethernet y programarlo para informar automáticamente la información del proceso. Una señal acústica indica el final del proceso.

El LPKF MiniContac RS utiliza sólo cuatro baños químicos, que se pueden cambiar simplemente y fácilmente cuando sea necesario. El LPKF Contac RS utiliza sólo seis baños, los cuales también se pueden cambiar fácilmente cuando sea necesario.



Figura 2.12 Maquina LPKF contac RS



Capítulo 3

Situación inicial: Realización y metalización de antenas y dispositivos de alta frecuencia

3.1 Introducción

Para llevar a cabo la realización de este proyecto se han realizado diversas antenas en impresión 3D en plástico, poliamida o resina. Estos materiales reducen el coste de las antenas y dispositivos en 3D significativamente, pero nos encontramos con una limitación. El plástico no es un material conductor, por lo tanto hay que metalizarlo mediante procesos químicos. Para ello, hemos utilizado diversos métodos, los cuales alguno de ellos no ha dado los resultados esperados. Por último, se han analizado los resultados obtenidos en el analizador de redes del laboratorio para saber si dichas antenas son viables o no y ver si en un futuro podrían comercializarse.

3.2 Descripción

En líneas generales, se van a explicar las antenas realizadas con Ansys HFSS (Ref.1), las modificaciones pertinentes antes de subirlas a I.materialise (Ref.7). Se van a explicar las diferentes funcionalidades de las antenas que se van a realizar en plástico, que posteriormente habrá que metalizarlas. Las antenas o dispositivos se explican a continuación. Tenemos diversos prototipos realizados para la incorporación de circuitos, un acoplador, un divisor de potencia, unas antenas de bocina, unas piezas para el motor de Sputtering que a continuación se irán explicando punto por punto.

3.2.1 Prototipos realizados para la incorporación de circuitos

Este prototipo es una carcasa donde interiormente va el circuito en silicio hecho con un proceso drie. La caja aporta sujeción y los flanges necesarios para la correcta sujeción del circuito. Tiene 8 pines de alineamiento y va sujeto con 4 tornillos de métrica 2. Los agarres, denominados flanges en inglés, están realizados en otra métrica diferente, y no en la métrica inglesa 4.40..

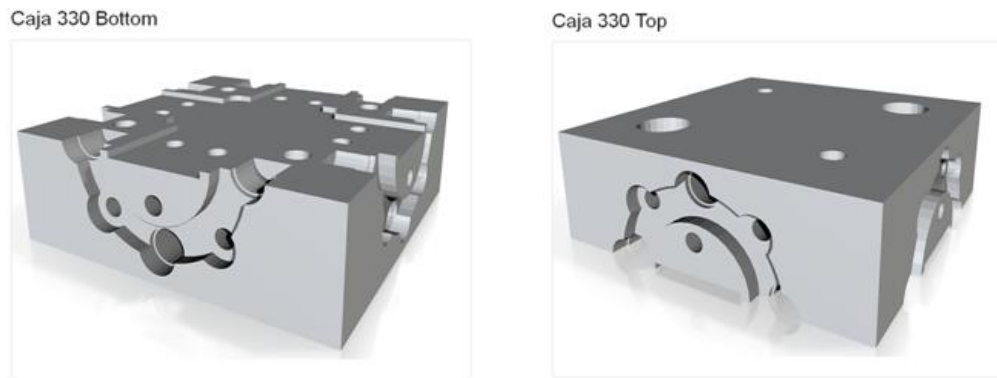


Figura 3.1. Caja 330 bottom y top

Después de la realización con el programa de simulación HFFS se subió el prototipo a I.materialise (Ref. 7) y Shapeways (Ref.4), para ver los costes de los prototipos en los diferentes materiales en los cuales se puede imprimir. La página web I.materialise (Ref. 7) da varias opciones, entre ellas se puede ver el precio. Se observa que a menor tamaño de pieza menor coste de la pieza. Es una página más sencilla que la de Shapeways (Ref. 8), se van a comparar precios en las dos páginas antes de realizar el pedido. La caja de arriba 330 Bottom cuesta 14.96 Euros en prime gray y en Shapeways (Ref. 7) 20.3 Euros. La diferencia de precio es de 5 Euros. La caja 330 top cuesta 14.96 Euros en plástico Prime gray y en la segunda página el coste es de 20.3 Euros. Dichas piezas en latón bañado en oro vienen a costar 100 Euros en I.materialise (Ref. 7) y 115 Euros en Shapeways (Ref. 8). Se eligió la primera web para el pedido de las piezas para abaratar

costes, además que en su política podemos leer que a partir de los 100 Euros de pedido los gastos de envío corren a cuenta de ellos. Esta ventaja no nos la podemos encontrar en la web de la empresa Shapeways (Ref. 8) ya que es una empresa Estadounidense y los gastos de envío son más elevados, además de que podría haber ciertos problemas en la aduana. Aquí podemos ver el prototipo después de la impresión en plástico prime gray:



Figura 3.2 Caja 330 bottom y top

Este siguiente modelo también es una caja FSA que aporta sujeción y flanges a un circuito que va en el interior.

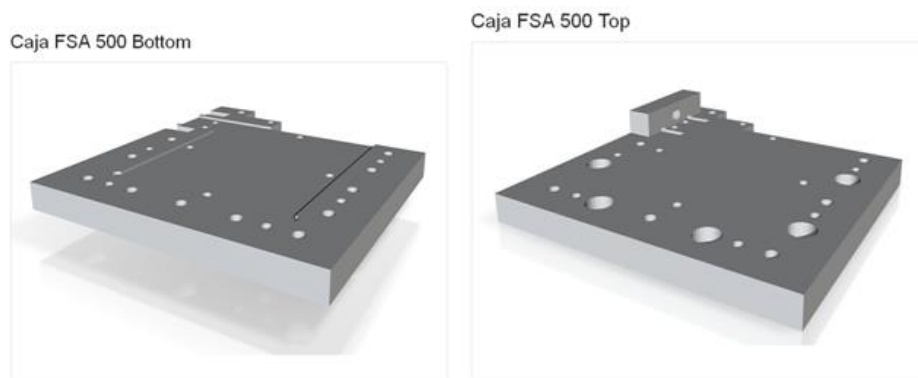


Figura 3.3 Caja FSA Bottom y top

La primera pieza tiene un precio de 24.60 Euros en I.materialise (Ref. 7) en material plástico Prime Gray y de 33.3 Euros en Shapeways (Ref. 8). La segunda pieza varía muy poco el precio respecto a la primera, ya que las modificaciones de las dos

mitades son insignificantes y viene a costar 24.72 Euros en I.materialise (Ref. 7) y 33.4 Euros en Shapeways (Ref. 8).

En latón bañado en oro, el coste vendría ser alrededor de 172 Euros en I.materialise (Ref. 7) y 210 Euros en Shapeways (Ref. 8). Como podemos ver, la diferencia es muy significativa. En la siguiente figura podemos ver dicho prototipo después de la impresión en 3D en I.materialise (Ref. 7):



Figura 3.4 Caja FSA Bottom y top en plastico

Aquí podemos ver otro modelo de guías que cuestan 6.25 Euros cada pieza en prime gray en la primera empresa ya citada y por 5.33 Euros en la segunda. Aquí, podemos ver que hay un Euro de diferencia entre una y otra. Pero si miramos el precio del Latón bañado en oro vemos que en I.materialise (Ref. 7) viene a costar 23.42 Euros y en Shapeways (Ref. 8) 32.6 Euros, por lo tanto hay una diferencia significativa de 10 euros.



Figura 3.5 Guia top y Bottom

Este prototipo, es muy parecido al anterior antes explicado pero en una sola pieza, la cual llamamos guía 02 y podemos ver en la siguiente figura (3.6). El precio es de 7.71 Euros en prime gray en I.materialise (Ref. 7) y de 6.7 Euros en Shapeways (Ref. 8) . Como podemos ver, es mejor fabricar la pieza de una vez que en dos veces, ya que abaratas el coste de la misma. En latón bañado en oro la pieza cuesta en I.materialise (Ref. 7) 24.96 Euros y en Shapeways (Ref. 8) 41 Euros. Aquí podemos darnos cuenta, que casi tenemos 25 Euros de diferencia entre una empresa y la otra.



Figura 3.6. Guia 02

Así es como quedaron los dos prototipos de la figura (3.5 y 3.6) impresos en plástico prime gray:

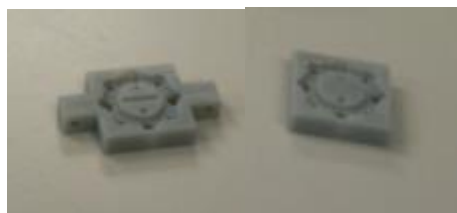


Figura 3.7 Resultados de las guias

3.2.2 Piezas del motor de Sputtering

Se han diseñado ciertos modelos de piezas para la mejora del funcionamiento del motor de Sputtering. Dicha máquina viene de serie con un soporte que hace que los átomos vayan direccionalmente perpendiculares a la pieza a metalizar. Por lo tanto se ha diseñado unas piezas para que los átomos lleguen en más ángulos a la pieza que se quiere metalizar, así se pueda proceder a que los átomos lleguen uniformemente por todo el interior. Se imprimieron en plástico Prime gray, y después de probarlas han dado muy buen resultado.

Estas son las piezas fabricadas, a la izquierda vemos el diseño de la pieza y a su derecha el resultado obtenido después de la impresión en 3D en plástico:

La primera pieza, es el eje, el cual se mueve en diferentes ángulos y los átomos pueden penetrar en zonas que antes no llegaban. El precio de esta pieza en material plástico Prime Gray es de 7.83 Euros.



Figura 3.8 Eje motor

El siguiente prototipo es la pieza soporte motor, que es la que va encima del eje. Arriba se pone otro soporte donde irá la pieza a metalizar. El precio de esta pieza es de 16.39 Euros.

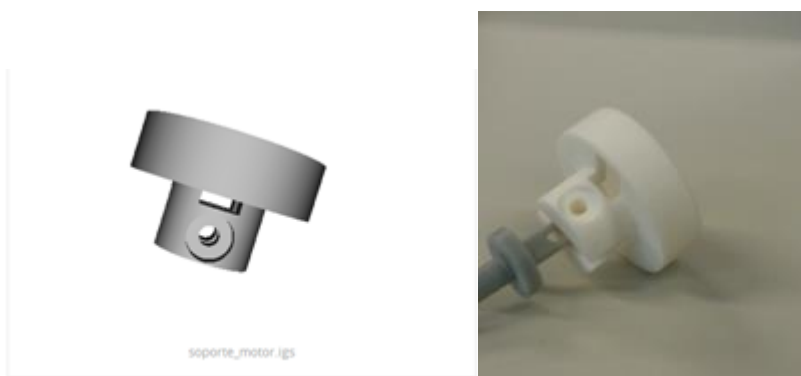


Figura 3.9 Pieza soporte motor

Y por último la pieza soporte wafer, donde se pone los prototipos a metalizar. El precio es de 62.71 Euros en Prime Gray. Podemos ver que el precio de esta pieza es considerablemente más alto. Pero si esta pieza se hubiera construido en metal habría tenido un coste significativamente más elevado, por lo tanto se ha reducido mucho el coste al imprimir en plástico.



Figura 3.10 Pieza soporte wafer

Después de haber probado el funcionamiento de dichas piezas, han sido un gran éxito, ya que antes los prototipos que no eran planos no se lograba que llegaran las partículas al interior, y se han conseguido que muchos de ellos se metalicen. En otras palabras, usando dichas piezas se ha logrado que los prototipos se metalicen enteros por el interior cosa que antes no se había conseguido hacer correctamente. Ya que estas piezas nos permiten libertad de giro para que los átomos entren en más direcciones y no solo perpendicularmente.

3.2.3 Prototipo Tee (Divisor de potencia)

El siguiente prototipo que se realizó es un divisor de potencia. Su funcionalidad es repartir la potencia que recibe a su entrada entre las salidas, de forma igualitaria. Los divisores de potencia se emplean en radiofrecuencia y microondas, comunicaciones ópticas, para enviar a varios dispositivos la potencia recibida por una sola puerta, manteniendo las impedancias adaptadas para tener un bajo nivel de potencia reflejada.

Dependiendo de la aplicación su realización tecnológica varía, pudiendo ser transformadores para aplicaciones de Radio frecuencia, circuitos microstrip para microondas y circuitos en guía ondas o en fibra óptica. En este caso, el diseño es una transición de guía microstrip a guía de onda WR-10 en la banda de 75 a 110 GHz. Un circuito de silicio hecho en la drie va dentro de la pieza, y las ondas saldrán por las dos guías. Como este dispositivo se quiere realizar en plástico, se ha dividido en dos partes para su correcta impresión.

En la figura 3.11 se puede ver el divisor de potencia en I.materialise:

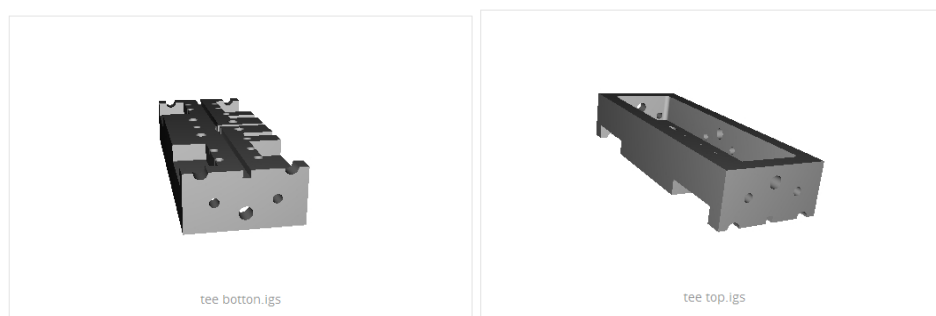


Figura 3.11 Tee bottom and top

Después de haber comparado diversos prototipos y precios en las dos páginas web citadas, se ha decidido hacer todos los pedidos pertinentes en I.materialise (Ref. 7) . Así,

que el coste de esta pieza tanto la de arriba como la de abajo vienen a costar lo mismo: 13.32 Euros en Prime Gray y 83.48 Euros en latón. No se han realizado pedidos en la otra empresa online, ya que en proporción el precio es bastante más elevado y no la calidad sería parecida ya que el fin es imprimirlo en plástico Prime gray para su posterior metalización.

Esta pieza no llego a pedirse ni fabricarse por las limitaciones que se obtuvieron con el siguiente prototipo, que se explicaran a continuación.

3.2.4 Acoplador

El acoplador es un dispositivo de cuatro puertos con una serie de propiedades. Consta de dos líneas de transmisión y un mecanismo de acoplo entre ellas. Permite detectar y separar las ondas incidente y reflejada presentes en una línea de transmisión. Una parte de la onda viaja del puerto 1 (entrada) al 2 (puerto directo) y se acopla al puerto 3 (puerto acoplado). El 4 es el puerto aislado. Seguidamente una porción de onda viaja del puesto 2 al puerto y se acopla al 4 pero no al 3. Lo mismo pasa con los puesto 3 y 4 de forma análoga. Los parámetros básicos a determinar a la hora de caracterizar el funcionamiento es el acoplo, la directividad y el aislamiento.

En este diseño en concreto, se pusieron 4 flanges de métrica 4.40 inglesa en los extremos de las guías y métrica 2 para los agujeros donde van los tornillos, para que la caja quede más sujeta. Los pines de alineamiento tienen un diámetro de 1.6 mm. Va hasta 110GHz y tiene unos 10dB de acoplo.



Coupler_block_lower_part_final.igs



Coupler_block_upper_part_final.igs

Figura 3.12 Acoplador

El precio de la parte de arriba en Prime gray fue de 25.51 Euros y la parte baja pieza de 25.53 Euros.

Este es el resultado de la impresión del acoplador en impresora 3D:

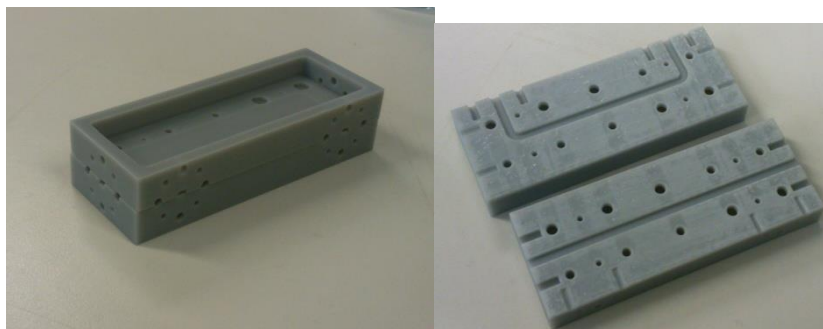


Figura 3.13 Acoplador en impresora 3D

3.2.5 Antenas de bocina

Una antena de bocina es una antena que consiste en una guía de onda en la cual el área de la sección se va incrementando progresivamente hasta un extremo abierto, que se comporta como una apertura. Estas antenas son ampliamente utilizadas como antenas en UHF y frecuencias de microondas, por encima de 300 MHz. Se utilizan como alimentadores (llamado bocinas de alimentación) para estructuras de antena más grandes, tales como antenas parabólicas, antenas como estándar de calibración para medir la ganancia de otras antenas y como antenas directivas para dispositivos tales como pistolas de radar, puertas automáticas, y radiómetros de microondas. Sus ventajas son directividad moderada (ganancia), amplio ancho de banda, y que la construcción de las antenas es simple. Como podemos observar, la primera antena tiene la guía menos ancha que la segunda, si se hace más ancha tiene que ser la guía más larga porque si no la onda pasante rebota. La primera antena de bocina tiene unos 16 dB de ganancia y la segunda 20 dB.

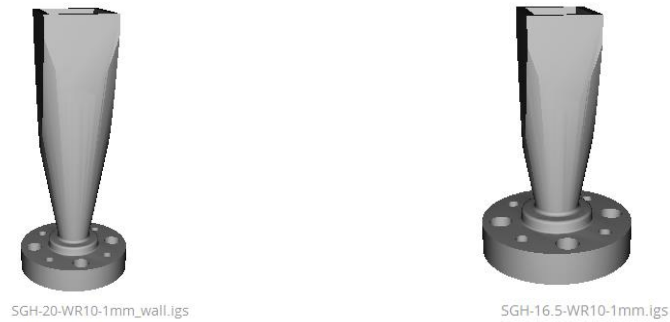


Figura 3.14 Guia top

El precio de estas antenas es de 9.96 Euros y 7.87 Euros respectivamente en prime gray en I.materialise (Ref. 7) .

3.2.6 Red de distribución con enventanado Hanning

Aunque los siguientes prototipos se fabricaran cuando yo haya acabado el proyecto, se hicieron las modificaciones pertinentes y se prepararon para la impresión en 3D. El software utilizado fue Ansys HFFS 15.0 donde se hicieron modificaciones respecto a los flanges y el sistema de agarre. Todos lo Flanges, llevan métrica inglesa 4.40 y el sistema de agarre se hace dependiendo las dimensiones de la pieza. Para las piezas más pequeñas se suele utilizar métrica 1 y para las más grandes métrica 3 para que el agarre sea más fuerte. La métrica 2 es la más utilizada para el caso de la impresión de las piezas en 3D realizadas, ya que las piezas son pequeñas.

Este prototipo es una copia de una antigua antena realizada en metal. Ahora quiere mejorarse, fabricándose en plástico y metalizándola posteriormente para reducir el coste.

Esta es la red de adaptación Hanning WR-10, con este prototipo de guías, se hizo una caja que envolviera las respectivas guías poniendo un flange al final de la guía que está sola y otro flange de 8 puertos a la salida de las 8 guías. En la figura 3.15 podemos ver el sistema de guías al cual se le puso la caja. A la salida del flange de 8 puertos se colocara la bocina que posteriormente puede visualizarse en la foto. (Fig 3.15). Al ser una pieza que ya

está fabricada quiso aprovecharse la bocina metálica para no tener que volver a fabricarse. La métrica usada es la métrica 4.40 inglesa para los agujeros de los tornillos de los flanges.

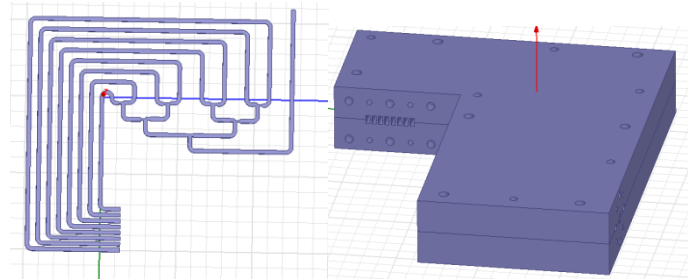


Figura 3.15 Prototipo de guías y caja con flanges en HFFS

Como podemos ver después de ponerle la carcasa a las guías, se hizo el sistema de agarre para atornillar las dos partes de la caja y obtener una mayor sujeción. Para ello, se utilizó la métrica 3 para los tornillos y los pines de 1.6mm. Se pusieron 8 pines de alineamiento.

Así es como quedo una de las partes de la red de adaptación Hanning: Se pueden ver los pines de alineamiento entre las guías entre otros para una correcta sujeción de la pieza, y 13 agujeros para los tornillos de métrica 3 para la correcta sujeción de la pieza de la parte de arriba con la parte de abajo. Las guías han sido restadas a la caja como se puede ver en la figura 3.16.

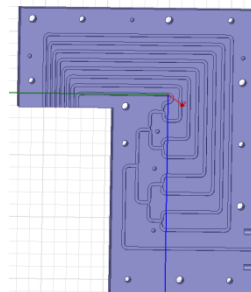


Figura 3.16 Estructura de la caja red de adaptación hanning

El precio en I.materialise de estas dos piezas es de 120.48 Euros la parte de arriba y de 120.50 Euros la parte baja.



Figura 3.17 Estructura de la caja red de adaptación hanning en Imaterialise

Se quiere que el resultado final equivalga a la siguiente imagen (Fig 3.18), sabiendo que los resultados variarían levemente pero el coste se abarataría significativamente.

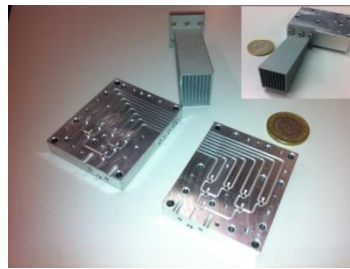


Figura 3.18 Diseño en metal

La pieza estará fabricada en plástico y posteriormente se metalizará para reducir el coste y poder reutilizar la bocina que sale en la foto para esta pieza. Primero se imprimieron otras piezas para hacer pruebas con plástico, y como de momento hay ciertas carencias, este prototipo se imprimirá posteriormente.

3.2.7 SplineHorn

Esta antena de bocina Spline está diseñada para la banda de 94 GHz. Es una antena de pared lisa que está optimizada para cubrir la frecuencia de las comunicaciones por satélite o bien aplicación de radares. Esta banda suele estar cubierta por una bocina corrugada, pero el diseño de paredes lisas que aquí se presenta ofrece una solución económica y alternativa de alto rendimiento y de menor peso.

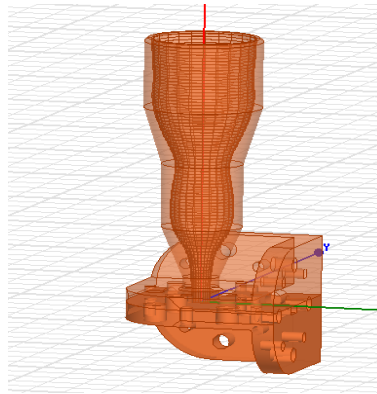


Figura 3.19 SplineHorn en HFSS

Este diseño, se hizo para la banda de 94 GHz y en HFSS se añadieron los flanges necesarios al final de las guías de ondas y el sistema de sujeción de la antena. Como se quiere hacer en plástico prime gray mediante I.materialise (Ref.7), se va a imprimir en dos piezas, por un lado la bocina y por otro la parte de debajo de la antena. Para los flanges se utilizó métrica 4.40 inglesa y para el sistema de agarre se utilizaron agujeros para tornillos de métrica 3, donde los inferiores que tienen que tener rosca y en la pieza superior tienen que ser pasantes. Por lo tanto, donde irán los tornillos de fijación en la parte de arriba serán de 2.5 mm de diámetro y los pasantes serán de 3.1 mm de diámetro. Los pines, son de 1.6 mm como de habitual.

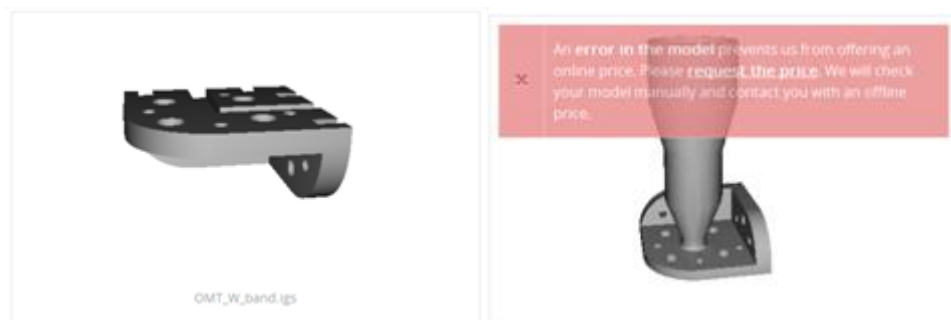


Figura 3.20 SplineHorn en Imaterialise

Esta pieza tiene un coste de 8.09 Euros y la parte de arriba con la bocina da un error que los de la empresa I.materialise tiene que revisar para poder hacer el pedido, por lo tanto se esperará a hacer el pedido más adelante.

3.2.8 Pieza transición HIB

También se hicieron las modificaciones de esta pieza transición HIB, poniéndole métrica 1 y 2 a los tornillos, pero la pieza me la dieron echa para hacer las modificaciones pertinentes y pedirla en I.materialise. La pieza es esta:

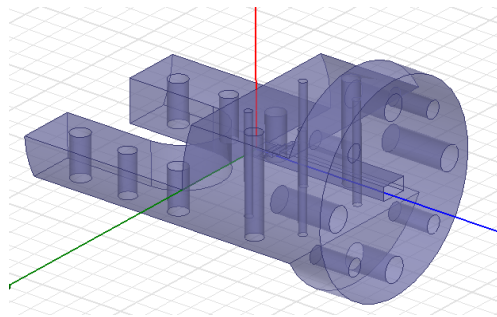


Figura 3.21 Pieza transición HIB

Dicha pieza es una transición de guía de onda a microstrip para una frecuencia de 75-110 GHz. La potencia entra por la guía y se convierte de microstrip a guía de onda.

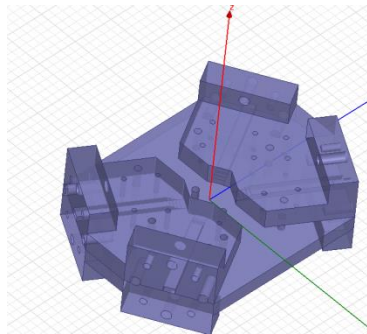
Para imprimirla en I.materialise hay que hacerlo en dos partes, la de arriba y la de abajo. Con un coste de 7.23 Euros la parte de arriba y 8.01 Euros la parte de abajo en material prime gray.



Figura 3.22 Pieza transición HIB en Imaterialise

3.2.9 Pieza transición VIV

La pieza transición VIV que podemos ver es un híbrido en cuadratura, que consiste en un acoplador direccional de cuatro puertas. En el caso ideal, la potencia incidente en cualquier puerta se divide por igual entre las dos puertas de salida con 90 grados de diferencia de fase y la cuarta está aislada. La forma del híbrido en cuadratura consiste en dos líneas de transmisión (guías rectangulares) paralelas acopladas entre sí a través de otras líneas de transmisión. Como no influyen corrientes a través de este plano de simetría, un acoplador puede dividirse por el plano E sin importar que un contacto imperfecto entre las dos mitades pueda afectar al funcionamiento del circuito.

*Figura 3.23 Pieza transición VIV*

Para imprimirla en I.materialiase hay que hacerlo en dos partes, la de arriba y la de abajo. Con un coste de 12.50 Euros cada pieza de la parte de arriba, por lo tanto serían 25 Euros y 20.35 Euros la parte de abajo en material prime gray. Es bastante más cara que la anterior pieza.



Figura 3.24 Pieza transición VIV en Imaterialise

3.2.10 Soporte para polarizador de campo

Un filtro polarizador es un material con transmitancia selectiva a una determinada dirección de oscilación del campo electrico de una onda electromagnetica como la luz. Se quiso ver el resultado de este polarizador imprimiendo el soporte en plastico.

Estos fueron los prototipos realizados en HFFS los cuales se imprimieron en plastico en Imaterialise (Ref. 7):



Figura 3.25 Polarizador de campo en Imaterialise

Los precios de dichos soportes, son de 15 Euros, 23 y 13.45 Euros respectivamente. Una vez recibido el pedido, se añadió el polarizador para hacer las pruebas en el laboratorio, este fue el resultado:



Figura 3.26 Polarizador de campo en Imaterialise

3.2.11 Bocinas de ganancia estándar

Una antena de bocina es una antena que consiste de un metal de guía de ondas con forma de bocina. Las bocinas son ampliamente utilizados como antenas en UHF y frecuencias de microondas, por encima de 300 MHz. Se utilizan como alimentadores para estructuras de antena más grandes, tales como antenas parabólicas, antenas como estándar de calibración para medir la ganancia de otras antenas, y como antenas directivas para dispositivos tales como pistolas de radar, abridores de puertas automáticas, y radiómetros de microondas. Sus ventajas son directividad moderada, baja VSWR, amplio ancho de banda, y la construcción simple y ajuste. La ganancia de la bocina oscila hasta 25 dB siendo el valor más típico de 10 a 20 dB. En este caso tenemos 26 dB de Ganancia.

La pequeña abertura de la guía de ondas causa significativa difracción de las ondas que salen, lo que resulta en un patrón de radiación amplio sin mucha directividad. La conicidad de la bocina cambia la impedancia gradualmente a lo largo de la longitud de la bocina. Esto actúa como un transformador de adaptación de impedancia, lo que permite la mayor parte de la energía de las ondas para irradiar hacia fuera el extremo de la bocina en el espacio, con la reflexión mínima. El cono funciona de manera similar a una línea de transmisión cónica, o un medio óptico con un índice de refracción que varía suavemente. Además, la amplia abertura de la bocina proyecta las ondas en un haz estrecho. Se realizaron 3 prototipos de antenas diferentes, una pequeña, mediana y grande, las cuales tienen 17, 20 y 26 dB de ganancia respectivamente.

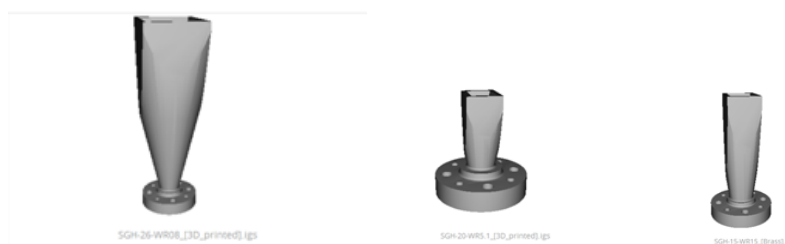


Figura 3.27 Antenas de bocina en 3D

La grande tiene un precio de 14.56 Euros, la mediana de 9.11 Euros y la pequeña 7.32. Se fabricaron en plástico Prime Gray. En la figura (3.28) vemos el resultado de la impresión del prototipo de antena mediana:



Figura 3.28 Antenas de bocina impresas en plástico Prime Gray

3.2.12 Guía de ondas

Si una simple guía de ondas abierta de composición se utiliza como una antena, sin la bocina, el repentino final de las paredes conductoras provoca un cambio brusco de impedancia en la abertura, de la impedancia de la onda en la guía de ondas a la impedancia del espacio libre. Cuando las ondas de radio viajan a través de la guía de ondas golpean la apertura, esta impedancia refleja una fracción significativa de la energía de las ondas hacia atrás de la guía hacia la fuente, por lo que no toda la energía se irradia. Las ondas reflejadas causan ondas en la guía de onda, se aumenta la VSWR. Además, la pequeña abertura de la guía de ondas causa significativa de difracción de las ondas que salen de

ella, lo que resulta en un patrón de radiación amplia sin mucha directividad. Pueden ser de campo de direcciones E y H , lo que hace posible una amplia variedad de diferentes perfiles de sujeción. Si separamos en un punto los dos conductores, los campos que crean las corrientes ya no se anularán entre sí, si no que se creará un campo eléctrico y magnético que formará una onda que se podrá propagar por el espacio.

Según esto, dependiendo del punto desde el que separemos el conductor, tendremos una longitud en los elementos radiantes (H) variable. Al variar esta longitud, la distribución de corriente variará, y la onda se creará y se propagará. Para ver esto, hicimos en HFFS una guía de onda en plástico Prime Gray. Este es el prototipo de guía de onda que se realizó en el plano H:



Figura 3.29 Guía de onda en el plano H

El precio de esta primera pieza es de 7.09 Euros y de la segunda de 12.50 Euros.

Este es el prototipo de guía de onda que se realizó en el plano E:



Figura 3.30 Guía de onda en el plano E

El precio de esta primera pieza es de 7.09 Euros y de la segunda de 7.53 Euros.

3.3 Metalización de las antenas y dispositivos de alta frecuencia

3.3.1 Proceso Electrolítico

Se han utilizado varias técnicas para la metalización de las antenas, unas con mejores resultados que otras. Empezaremos por las antenas que han sido metalizadas por un proceso electrolítico, con cobre. Este proceso químico se realiza mediante dos placas de cobre que se introducen en una combinación de diferentes ácidos y otros componentes. En un cubo donde se realiza la mezcla, se introducen 4 litros de agua destilada. El agua tiene que ser destilada ya que queremos que no tenga componentes químicos que puedan interferir a la hora de mezclar los componentes. Luego, se le añade una bolsa de cobre sulfato y se remueve, volviéndose el agua de un color azul claro. Seguidamente, se añade 560 ml de ácido sulfúrico y se le suman 50 ml de cupracido MU. Como el ácido sulfúrico es peligroso ya que puede causar serios daños en la piel y ojos se han utilizado guantes, mascarilla, bata y gafas para prevenir cualquier imprevisto. Además, se ha utilizado una campana de humos para que los gases no se concentren en la habitación ya que puede ser peligrosa la inhalación de dichos gases tóxicos.



Figura 3.31 Proceso Electrolítico y materiales utilizados

Se coge un tapón de cupracido parte A y un tapón de cupracido parte B y se introducen en la mezcla. Se renueva la mezcla durante unos segundos para que se mezcle todo homogéneamente. Se introducen las dos placas de cobre enganchadas con unas pinzas

al cubo para que no queden cubiertas por la mezcla. Las dos placas de cobre van unidas mediante un alambre de cobre. Las placas de cobre (ánodos) se conectan al terminal positivo (cable rojo) de la fuente de corriente del laboratorio. El cátodo, serán el trozo metálico (también de cobre) donde se pondrán las antenas a metalizar, que irá conectado al terminal negativo de la fuente (cable negro). Los dos cables, tanto positivo como el negativo se han unido mediante cinta aislante para evitar cortocircuitos.



Figura 3.32 Mezcla del proceso electrolítico

Para metalizar el primer prototipo, previamente hay que conducir el plástico, el primer método utilizado fue bañar la antena con laca y grafito en polvo. La laca sólo se echó en la superficie donde queríamos metalizar, en el flange de una de las antenas y en la otra en el flange y el interior de la misma. Para quitar el grafito sobrante se ha utilizado una pistola de aire a presión. Con un voltímetro se midió la conductividad y los resultados no fueron muy favorables.



Figura 3.33 Antenas bañadas en grafito

Cuando está todo listo, se enchufa la fuente de corriente y se pone a 1 A. Pasados 5 minutos se comprueba si la mezcla da resultados. Se mira y se vuelve a dejar más tiempo.



Figura 3.34 Fuente de corriente alterna

Vemos que se va metalizando, por lo tanto la dejamos durante media hora y volvemos a sacar. No se ha conseguido que el interior de la antena se metalice. Como los resultados no eran los esperados, ya que el interior de las antenas no se metalizaban, se hizo una prueba con dos tipos de pintura que incorporaba el kit. Pintura de cobre y de grafito.

Estos dos tipos de pinturas conductoras se han puesto en un trozo de silicio para medir con el voltímetro su conductividad. Contra más resistencia tengamos menos conductividad. Comprobando la resistencia con el voltímetro en el lado donde se aplica la pintura de cobre es de 10mega Ohmnios y en la de grafito de 21 mega Ohmnios. El trozo de silicio sin pintura tenía una resistencia de 23 mega Ohmnios. Por lo tanto, se puede decir que ninguna de las dos pinturas es buena conductora ya que la resistencia es alta. También se ha intentado con el grafito en polvo, para poder ver la diferencia y la resistencia estaba alrededor de 5 kilo Ohmnios. A partir de los 0 Ohmnios es cuando podríamos decir que un material es conductor. El método más conductor se concluyó que era la pintura de cobre.



Figura 3.35 Pruebas de pintura en silicio

Después de meter las antenas en el proceso químico con la pintura de cobre, el resultado fue muy parecido al utilizar grafito en polvo, tampoco se consiguió metalizar el interior de las antenas. Al día siguiente, volvimos a probar a cambiar la intensidad de 1A a 2A y el proceso fue mucho más agresivo y siguió sin metalizarse internamente, se removió la mezcla por si el problema era que se habría solidificado la mezcla por abajo. Se cambia la posición de la antena para haber si se consigue metalizar el interior de poliamida y la antena de prime gray que sólo se quería metalizar el flange se ha lavado bien con agua. Se ha limado con una lima fina ya que la capa de cobre era muy gruesa y había quedado porosa y con granos. La corriente se ha bajado a 0.5 A para obtener mejores resultados. Al cabo de una hora, el interior de la antena seguía sin metalizarse.

En la Fig(3.36) podemos ver el resultado del proceso, para prototipos planos sí que sería válido, pero al tener que metalizar prototipos por dentro no es un método valido. Por lo tanto recurrimos a otro método de metalización, LPKF minicontac RS.



Figura 3.36 Metalización mediante proceso electrolítico

3.3.2 LPKF minicontac RS

Después de volver a ponerse mascarilla, gafas, guantes y bata se procedió a la metalización de una de las antenas que se habían intentado metalizar con el proceso electrolítico. Se limo antes ya que tenía un aspecto poroso y se había oxidado. Luego mediante unos trozos de cable, se ató la antena al mando que utiliza la máquina para el proceso. Después de leer las instrucciones programamos la máquina y se mete la antena en la primera cuba. Se ha esperado 15 minutos y luego se ha limpiado con agua la pieza y se ha metido en la segunda cuba.



Figura 3.37 Máquina LPKF de la empresa Anteral

La primera y segunda cuba tienen el fin de limpiar la antena. 5 minutos después, se sacó la pieza y se limpió con agua destilada y se secó con un secador especial que llega hasta los 500 grados como podemos en la siguiente figura(3.38).



Figura 3.38 Secado de antena

Luego se metió en la cuba 3, que es donde se encuentra el líquido acelerador que es lo que le da la conductividad a la antena. A los 15 minutos, después de que la máquina nos avise con un leve pitido, se saca el mango y se lava la antena con agua. Se secó la antena a menos de 55 grados para que la antena se impregne bien del acelerador. Finalmente, se cambia la plancha o mango para la cuba 4, ya que aquí es donde se realiza el proceso químico. La máquina da error ya que pone que la corriente es menos de 1 A. Por lo tanto, se ha intentado alargar los cables que sujetan la antena para que quede más bajo pero el error continuaba. Después de leer las instrucciones se pudo saber que el problema estaba en la limpieza de la máquina, los ácidos anteriormente utilizados habían inutilizado esa cuba. La salida que le dimos fue en meter la antena en el antiguo proceso electrolítico ya creado, con el líquido acelerador de la máquina LPKF minicontac RS. Al probar la conductividad con el voltímetro, se ve que es bastante más conductivo que la pintura de cobre. Se ha mirado la antena y sí que da mejores resultados que lo probado anteriormente, pero lo de dentro sigue sin metalizarse. Se cambia de posición por si acaso se consigue que el cobre llegue pero tampoco se obtuvieron resultados. Por lo tanto, se recurrió al método Sputtering Magnetrón que es el método que tienen para metalizar en Anteral.

3.3.3 Sputtering magnetrón

Se trata de un bombardeo iónico que se produce en una cámara de vacío, donde el cobre es bombardeado con moléculas de gas ionizadas que desplazan átomos de la sustancia. Estos átomos llegan a un material blanco, llamado sustrato, y se adhiere a nivel atómico y se crea una película muy fina. Como la deposición catódica se lleva a cabo a un nivel atómico, la película y el sustrato tienen una unión casi irrompible, se produce una película que es uniforme, extremadamente delgada y casi irrompible. Los magnetrones se utilizan en el proceso de pulverización catódica para ayudar a controlar la trayectoria de los átomos desplazados que vuelan al azar alrededor de la cámara. La cámara se llena con un gas de baja presión, el más usado es el argón.

En la siguiente imagen se puede ver dos de los prototipos a metalizar en la máquina del laboratorio de Sputtering Q150R:



Figura 3.39 Metalización por Sputtering

Podemos ver que el cobre que se queda adherido a las paredes de la máquina, por lo tanto se desperdicia cierta cantidad de cobre. El cobre es un material barato pero posteriormente se le da un baño de oro, por lo tanto cierta cantidad de oro es desechada subiendo el coste del prototipo a metalizar.



El Sputtering sí que es un método que nos ha dado buenos resultados como veremos en el siguiente capítulo, los prototipos se han cubierto con cobre, y después se le da una micra de oro para evitar la oxidación de cobre a largo plazo. Cuando se metalicen todas las piezas en la impresión 3D se procederá al análisis de los resultados.



Capítulo 4

Resultados: Análisis de los resultados

4.1. Introducción

Se van a ver los resultados de la metalización después de aplicar los diferentes procesos. Veremos qué tipos de procesos de metalización dan mejores resultados a la hora de metalizar dichos prototipos. Después, se han realizado diferentes simulaciones para comprobar la viabilidad de los prototipos realizados en 3D. Se han realizado en la sala limpia, conectando los dispositivos en un analizador de redes del laboratorio. Para entrar en la sala limpia del edificio, se utiliza gorro, calzas y bata con el fin de no contaminar ni meter partículas de fuera en la sala. No se han podido realizar las medidas de todos los prototipos explicados en el anterior capítulo, pero se explicaran las que se han realizado y los resultados obtenidos.

4.2. Resultados del proceso de metalización

Los resultados de la metalización con cobre del proceso químico de la electrolisis no han sido los esperados, no se ha conseguido realizar la metalización interior de los prototipos a pesar de haberlo intentado de distintas maneras. Por lo tanto recurrimos a la técnica del Sputtering, donde se explicaran los resultados obtenidos.

Empezamos con el prototipo del acoplador, el cual se metalizo mediante el proceso de Sputtering. Se utilizaron una micra de cobre y 200 nanómetros oro para llevar a cabo la metalización. Aquí podemos ver la metalización con cobre mediante esta técnica, tanto el interior como los flanges se han cubierto correctamente de cobre.



Figura 4.1 Acoplador metalizado en cobre

Luego se aplican 200 nanómetros de oro ya que el cobre es muy sensible a la oxidación. En la figura(4.2) podemos ver el coplador tras aplicarle la capa de oro:



Figura 4.2 Metalización en oro

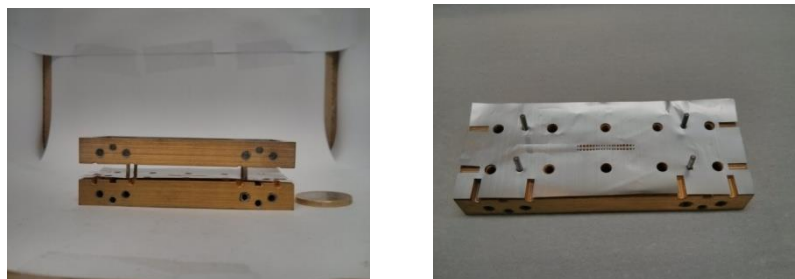


Figura 4.3 Acoplador después de proceso de Sputtering

El acoplador está listo para analizarlo en el laboratorio, pero no se han obtenido los resultados esperados.

El siguiente prototipo al que se aplicó Sputtering son las antenas de bocina. Se consiguieron buenos resultados ya que los prototipos no eran muy largos y se consiguió metalizarlas interiormente. Se aplicó cobre y oro para su correcta metalización y este fue el resultado:



Figura 4.4 Antenas de bocina después del proceso Sputtering

Este prototipo también se le aplicó Sputtering y se logró su entera metalización:

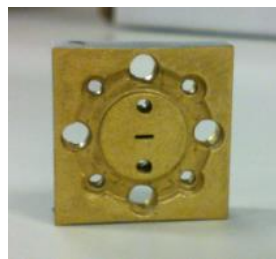


Figura 4.5 Carcasa para guía después del proceso

Para los prototipos de guía de onda también se obtuvieron resultados adecuados ya que las partículas de cobre y oro recubrieron los flanges y el interior de las guías.

Este es el prototipo en el plano H, se puede observar la metalización del flange y del interior:

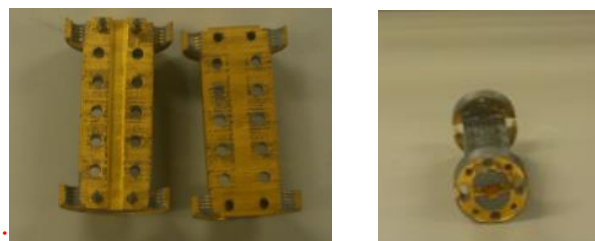


Figura 4.6 Guías de onda en el plano H

Aquí podemos ver las guías en el plano E:

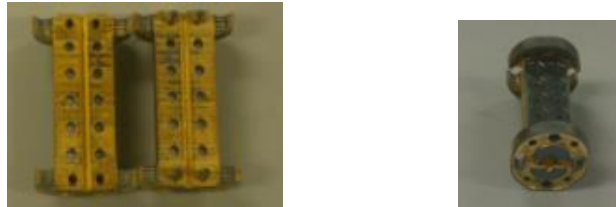


Figura 4.7 Guías de onda en el plano E

Sin embargo, en la metalización de las antenas de bocina de ganancia estándar no se obtuvieron los resultados esperados, ya que las partículas de cobre no llegaron al interior de las bocinas y no se consiguió metalizar las partes necesarias para poder llevar a cabo las medidas del laboratorio. Dado que las antenas eran estrechas, se cree que la bocina de una era demasiado grande para que las partículas de cobre recubrieran todo el interior. Sin embargo la otra, a pesar de ser pequeña, era muy estrecha, por lo que tampoco se llegó a metalizar su interior completamente. Por lo tanto hizo que se recurrieran a otras técnicas de metalización. En la figura (4.8) podemos ver el resultado del proceso:



Figura 4.8 Bocinas de ganancia Standard

Sputtering da buenos resultados en prototipos planos, pero como la capa de cobre y oro que se aplica es muy fina esto hace que haya muchas pérdidas y los resultados empeoren significativamente en el analizador de redes. Además, como el proceso de Sputtering tiene sus limitaciones en antenas de gran amplitud de bocina, y el metal no llega

bien a los extremos antes de llegar al flange, se buscó una nueva alternativa para la metalización. Se mandaron dos antenas de bocina a la empresa que mediante la técnica de metalización de aluminio por alto vacío intentó metalizar el interior de las antenas. Esta técnica consiste en evaporar el aluminio en una cámara de vacío para que se deposite sobre los sustratos. Estos sustratos pueden ser piezas de plástico como en este caso, vidrio o metal que giran dentro de la cámara de vacío para que el metal se deposite de forma uniforme en todas sus superficies. Este proceso es muy común en automóviles, luminarias y faros de pilotos.

Cuando se recibieron las piezas correspondientes, se vio que ocurría lo mismo que ocurre al aplicar Sputtering, hay cierta zona entre el flange y la bocina que no se metaliza correctamente, por lo tanto no se midieron en el laboratorio ya que no iban a dar buenos resultados. Aquí podemos ver el resultado de las dos antenas que se enviaron para metalizar con la técnica de metalización de aluminio por alto vacío.



Figura 4.9 Metalización de aluminio por alto vacío

4.3. Analizador de Redes

Después de la metalización de los prototipos, se procedió a medirlas mediante el analizador de redes. El analizador de redes es un equipo muy utilizado en electrónica de telecomunicaciones ya que permite la medida de los llamados parámetros Scattering. Estos parámetros indican el nivel de transferencia de señal y adaptación de los puertos de cualquier componente. Antes de entrar en detalle sobre el funcionamiento del analizador se hará un breve resumen acerca de los parámetros "S".



Los parámetros Scattering de un componente se definen como el nivel de señal que llega a un determinado puerto procedente desde cualquier otro. En el caso de un componente con dos puertos (entrada [1] -salida [2]) se definen los siguientes parámetros "S":

S₁₁ = V_1^-/V_1^+ Nivel de señal que se refleja en el puerto 1 por desadaptación de impedancias cuando el puerto de salida está cargado con la impedancia característica de la línea.

S₂₂ = V_2^-/V_2^+ Nivel de señal que se refleja en el puerto 2 por desadaptación de impedancias cuando el puerto de entrada está cargado con la impedancia característica.

S₂₁ = V_2^-/V_1^+ Transferencia de señal desde el puerto 1 hasta el puerto 2 cuando la salida se encuentra cargada.

S₁₂ = V_1^-/V_2^+ Transferencia de señal desde el puerto 2 hasta el puerto 1 cuando la entrada se encuentra cargada.

Como se puede apreciar estos parámetros ofrecen relaciones de tensión. Por norma general los analizadores de redes medirán relaciones de potencia, esto es, el cuadrado de los parámetros S.

4.3.1. Medidas con el analizador de redes

Lo primero que se debe hacer antes de medir cualquier componente es calibrar el equipo o bien recuperar de la memoria una calibración salvada con anterioridad. Una vez que estábamos en la sala limpia, para calibrar el equipo seguimos los siguientes pasos:

1º.- Rango de frecuencias y número de puntos. Al igual que en los analizadores de espectros se define frecuencia inicial y final de trabajo, o bien, frecuencia central y SPAN. El número de puntos indica la resolución de la medida, cuanto más puntos más resolución pero con mayor lentitud.

2º.- Potencia. El analizador mide los componentes utilizando una señal de RF cuya potencia debe ser fijada. Su valor suele estar comprendido entre 0 y 10dBm.

3º.- Menú de calibración. El equipo indicará en pantalla que se vayan conectando diversas terminaciones (circuitos abiertos, cortocircuitos, cargas, etc) que se tomarán de referencia en la posterior medida.

Una vez calibrado el equipo podemos empezar a medir cualquier parámetro del componente a través del menú de medida (MEAS) desde donde se despliega una lista con los distintos parámetros S que podemos medir (S11, S21, S12 y S22). También podremos elegir el formato de representación a través de su correspondiente menú (FORMAT), igualmente dispondremos de una lista con los distintos formatos (lineal, logarítmico, retardo, fase, etc). En la siguiente figura podemos ver el equipo utilizado por la empresa Anteral:



Figura 4.10 Analizador de redes de la empresa Anteral

Pese a su alto coste y complejidad el analizador de redes resulta un equipo de manejo básico siempre que se tengan conocimientos de electrónica de telecomunicaciones y especialmente de los parámetros scattering. En la siguiente figura (4.11) podemos ver el analizador de redes después de ser calibrado con el prototipo que se quiere medir:

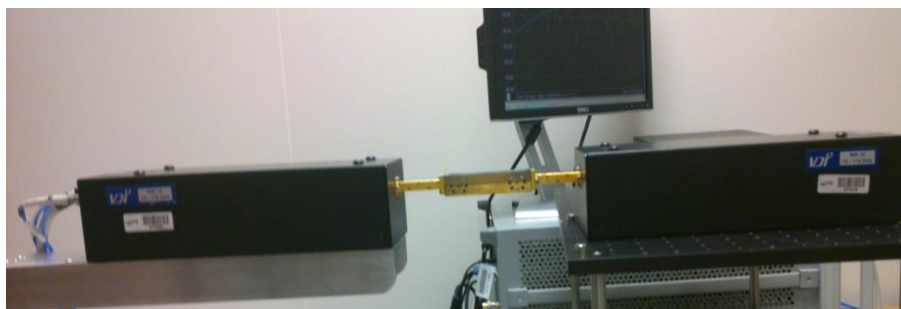


Figura 4.11 Medidas del acoplador con el analizador de redes



Figura 4.12 Medidas del acoplador con el analizador de redes y las cargas puntuales

4.4. Análisis de los resultados

4.4.1. Análisis de los resultados del acoplador

El analizador de redes mide el campo eléctrico, los parámetros S miden el comportamiento eléctrico del componente, que son los que interesan para poder medir directividad, ganancia, en definitiva, el campo eléctrico. El parámetro S12 que es el parámetro que nos interesa es la línea azul que se ve en la siguiente Fig (4.13). Tiene que estar en torno al 0, ya que las pérdidas idealmente son 0. Se hace el cociente entre el campo eléctrico emitido y el que rebota y por lo tanto idealmente daría 1. Al utilizar escala logarítmica, idealmente las pérdidas sería 0. El parámetro S11 para el primer puerto y S22 para el segundo puerto es la potencia que se trasmite, por lo tanto el cociente debería ser 0 y en escala logarítmica infinito. Por lo tanto contra más bajo sea este parámetro, mejores resultados se obtienen.

Primeramente, se analizó el acoplador. Los resultados no fueron los esperados, estaban en torno a -30 dB. Este fallo es causado por el sistema de agarre del acoplador, ya que el acoplador para fabricarlo correctamente hay que cortarlo en plano vertical, así la corriente en ese punto es prácticamente nula y no interferiría en el resultado. Pero en impresora 3D no es posible fabricar de esta manera las piezas del acoplador, por lo tanto las dos piezas se hacen en plano horizontal. Las pérdidas son muy altas ya que justo en los dos puntos donde corta es donde está el problema. La grafica puede observarse en la siguiente figura.

Se hizo una segunda medida cambiando el sistema de agarre, donde se metieron tornillos de métrica superior forzando los agujeros y se apretaron más los tornillos para volver a medirlo. Se consiguió mejorar el resultado ya que la gráfica está en torno a -12 dB a -20 dB.



Figura 4.13 Medidas de los parámetros Scattering del acoplador

En conclusión, los resultados no han sido los esperados respecto a la mala sujeción, se esperaba que los resultados no serían correctos del todo pero no tan malos, en torno a unos -5 dB. Por lo tanto se va intentar diseñar otro sistema de agarre que afecte menos al campo eléctrico, y así mejorar los resultados obtenidos. Una posible solución podría ser poner dos agarres a los lados del acoplador para que no pueda disiparse el campo eléctrico.

4.4.2. Antena de plástico larga

Esta antena da mejores resultados que la corta, ya que la apertura es mayor y más larga. Esta fabricada para una banda de 75 a 110 GHz. En este caso solo tenemos un puerto, por lo tanto se mide el parámetro S11 de la antena. El año pasado se hizo otra en metal y los resultados fueron muy favorables, ya que el campo eléctrico entraba por la guía y se radiaba hacia el interior. En esta antena, al ser de plástico, choca contra el plástico y luego radia al interior, por lo tanto los resultados serán peores. Para que una antena de estas características funcione correctamente, la guía tiene que ser de un tamaño exacto y estar centrada en el medio del flange. Como se ha explicado antes, lo ideal sería que el S11 estaría en el infinito, por lo tanto contra más baja sea la línea en la gráfica mejores resultados se obtienen. Como podemos ver en la gráfica, el S11 va de -35 dB a -20 dB. Por lo tanto los resultados son bastante adecuados para este tipo de antenas. En la siguiente figura (4.14) se puede ver la grafica que nos mostro el analizador de redes de las medidas de la antena larga:

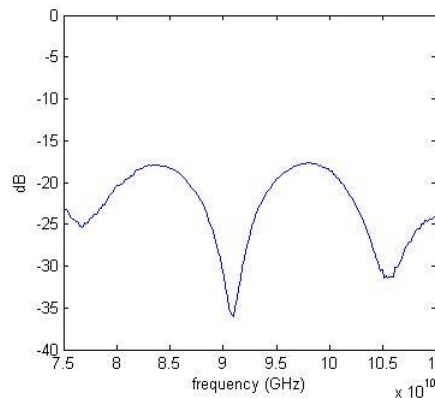


Figura 4.14 Medidas de la antena larga con el Analizador de redes

4.4.3. Antena de plástico corta

Esta antena da peores resultados que la anterior corta, ya que la apertura es mas estrecha y más corta. Está fabricada para una banda de 75 a 110 Ghz. En este caso solo tenemos un puerto, por lo tanto se mide el parámetro S11 de la antena. Para que una antena de estas características funcione correctamente, la guía tiene que ser de un tamaño exacto y estar centrada en el medio del flange. Como podemos ver en la gráfica, el S11 va de -30 dB a -15 dB. Los resultados son peores que en el caso anterior, pero para ser una antena impresa en plástico, los resultados son favorables.

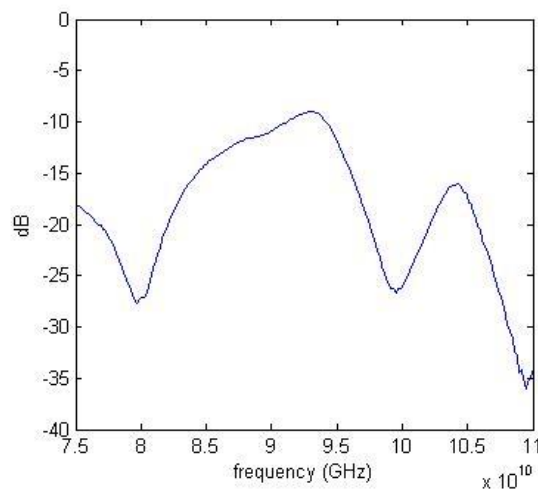


Figura 4.15 Medidas de la antena corta con el Analizador de redes

4.4.4. Análisis de los resultados de las antenas de ganancia estándar

Para llevar a cabo esta medida se midieron las antenas de ganancia estándar explicadas en el anterior capítulo 3. Se realizaron 3 prototipos de antenas diferentes, una pequeña, mediana y grande, las cuales tienen 17, 20 y 26 dB de ganancia respectivamente:

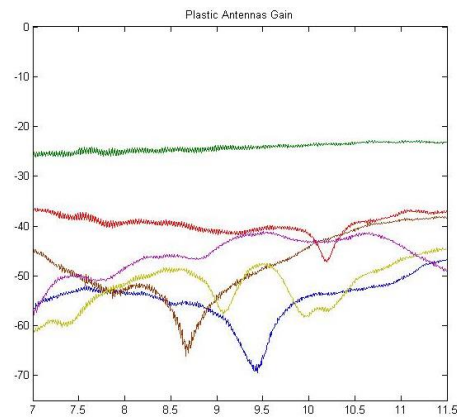


Figura 4.16 Ganancia de las antenas de ganancia estándar

Como podemos ver los resultados no son adecuados ya que la ganancia de las antenas es de 17, 20 y 26 dB y estos resultados no han podido conseguirse como vemos en la grafica (4.16).

4.4.5 Análisis de los resultados de las Guías de onda

En la siguiente figura (4.17) podemos ver el análisis del s_{21} de las guías de onda, tendrían que ser valores entorno a 0, ya que las pérdidas idealmente son 0. Se hace el cociente entre el campo eléctrico emitido y el que rebota y por lo tanto idealmente daría 1. Al utilizar escala logarítmica, idealmente las pérdidas sería 0. Por lo tanto tenemos que el S_{21} no ha dado los resultados esperados pero tampoco han sido tan malos como se puede observar, ya que están en torno a -3 y -2 dB en el plano H y en torno a -4 y -4,5 dB en el plano E.

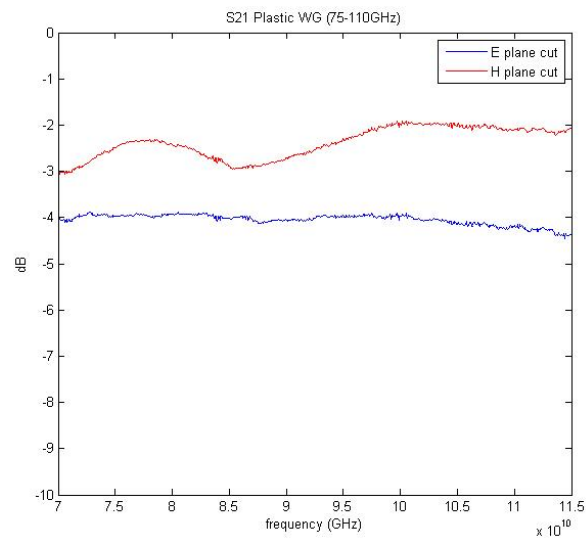


Figura 4.17 S21 de las guías de onda

Para intentar mejorar los resultados, se les dio a las guías 200 nanómetros más de cobre, ya que el Sputtering da buenos resultados pero la capa de cobre es muy fina y ello equivale a que haya muchas pérdidas. Volvió a darse una micra de oro y se consiguieron mejoras significativamente en los resultados del plano E cómo podemos observar en la figura (4.18):

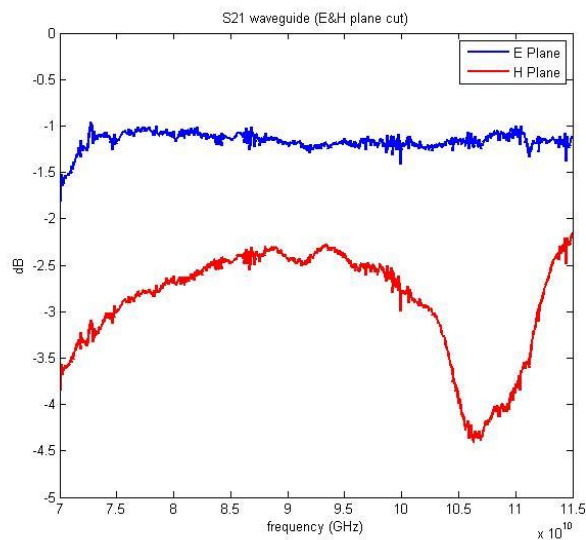


Figura 4.18 S21 de las guías de onda mejoradas

En la figura 4.19 se puede ver el último resultado del parámetro S21 de la guía de onda cortada en el plano E después de apretar aún más las partes constituyentes añadiendo arandelas, podemos ver que se han conseguido aun mejorar más los resultados, estando las pérdidas por debajo de -1 dB cuando las pérdidas teóricas de una guía de ondas maciza a estas frecuencias de banda W, de esa longitud y con acabado en oro y baja rugosidad son de alrededor de 0.3 dB. Por lo tanto, empieza a tenerse un resultado que para el bajo coste de la solución podemos considerar más que aceptable, habida cuenta que dicha guía ha costado fabricarla en total menos de 50 euros y una guía de ondas idéntica, maciza y mecanizada de dicha longitud superaría los 1000 euros en costes de fabricación.

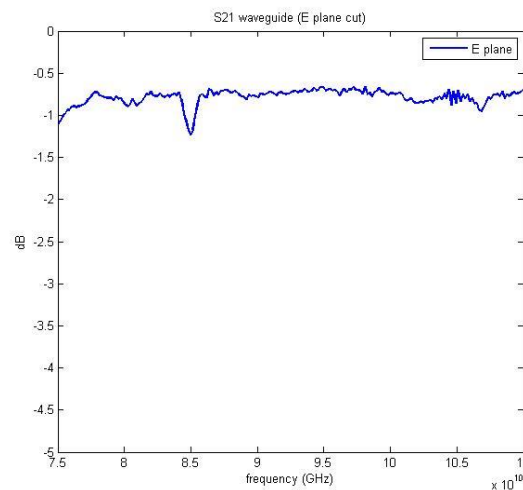


Figura 4.19 S21 de las guías de onda en el plano E



Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo comentaremos los resultados obtenidos durante la realización de este proyecto final de carrera.

Procediendo de las maneras que se han ido detallando a lo largo de los capítulos previos se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. El metalizado por medio de “sputtering” de las piezas en plástico “prime gray” provenientes de la impresora 3D de imaterialise ha dado bastantes buenos resultados, siempre que el grosor de metalizado sea suficiente, (más de 2 micras de espesor a 100 GHz).
2. El otro tipo de metalizados empleados no han dado buenos resultados, se necesita investigar más en su mejora.
3. Con el acoplador direccional no se obtuvieron los resultados esperados, la hipótesis es que el sistema de sujeción de ambas mitades no fue adecuado en el diseño del prototipo, se cree que diseñando un mejor sistema de sujeción que apriete mejor las dos mitades se obtendrán mejores resultados.
4. Las medidas de las antenas de bocina fabricadas en plástico “prime gray” se han ajustado bastante a lo que se pensaba que se obtendría, se han obtenido resultados de -20 dB en S11. Sin embargo la medida de ganancia ha sido muy mala, teniendo las antenas así fabricadas unas pérdidas inaceptables. Se supone que esto ha sido así debido a las carencias en la metalización.
5. Por motivos de limitaciones con ciertos prototipos a la hora de la metalización no se imprimió el prototipo de la ventana de Hanning ni el SplineHorn, cuando se solventen ciertos problemas con el sistema de agarre y la metalización se fabricaran en plástico Prime Gray.



6. El sistema de agarre polarizador de campo no dio los resultados esperados, por lo tanto no ha sido una opción acertada a la hora de fabricarlo en plástico Prime Gray.
7. El proceso electrolítico no ha sido una buena opción para metalizar las antenas, el cobre no llega bien a todas las caras y superficies de los prototipos. La capa de cobre es muy gruesa y la oxidación es muy rápida.
8. La metalización por Sputtering es una opción muy adecuada en prototipos planos. Aunque se desperdicia bastante material al aplicar la capa de oro, es una opción sencilla. Para prototipos que no son planos, como antenas de bocina no es un método adecuado ya que no llegan a metalizarse todas las caras.
9. El LPKF minicontac RS no ha sido una buena opción a la hora de metalizar los prototipos, no se consiguió metalizar ninguno ya que la maquina estaba dañada.
10. La metalización de aluminio por alto vacío no fue la esperada ya que no se consiguieron los resultados esperados.
11. Se cree que poco a poco se irá mejorando para poder comercializar los prototipos así fabricados y reducir el coste de manera significativa.



Bibliografía

- [Hir91] LENS-TYPE COMPACT ANTENA TEST RANGE AT MM-WAVES. T. Hirvonen, J. Tuovinen, A. Räsänen. Helsinki University of Technology, Finland, 1991.
- [Bal97] ANTENNA THEORY, ANALYSIS AND DESIGN. Constantine A. Balanis. Ed. John Wiley & Sons. Inc, 1997.
- [Car98] ANTENAS. Ángel Cardama y otros. Ed. Universidad Politécnica de Catalunya, 1998.
- [Fer01] ANTENAS. Miguel Ferrando y Alejandro Valero. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
- [Poz01] MICROWAVE ENGINEERING David M. Pozar. 4th. Edition December 2011
- [Ten05] STATE OF THE ART OF CORRUGATED HORN ANTENNAS THAT COMBINE HORIZONTAL AND VERTICAL CORRUGATIONS. J. Teniente, R. Gonzalo y C. del Río. Public University of Navarra, 2005.
- [Ref.1] Manual de usuario de Ansys HFSS V10 user guide.
- [Ref.2] Manual Q150R MODULAR COATING SYSTEM



[Ref.3] Manual LPKF MiniContac RS

[Ref.4] Cooper electroforming guide

[Ref.5] Flann microwave catalogue www.flann.com

[Ref.6] Virginia diodesinc. waveguide band designations www.vadiodes.com

[Ref.7] Empresa online I.materialise www.imaterialise.com

[Ref.8] Empresa online Shapeways www.shapeways.com



Resumen

La base de este proyecto ha consistido en medir la viabilidad de usar la tecnología de impresión 3D en plástico para la fabricación de bajo coste de dispositivos de alta frecuencia y antenas. Los prototipos eran suministrados por los estudiantes de doctorado del grupo de investigación de Antenas y por los ingenieros de la empresa ANTERAL S.L., spin off de la UPNA. Para la preparación de los prototipos a imprimir se ha utilizado la herramienta software Ansys HFSS ya que era la herramienta con la que se diseñaron casi todos los prototipos

Mediante dicho software, se han realizado las modificaciones pertinentes de los prototipos para poder ser posteriormente testeados. Básicamente dichas modificaciones consistían en añadirles tornillos cuidando la métrica utilizada para poder atornillar las piezas entre si y a los agarres estándar en guía de ondas de alta frecuencia. Habitualmente se ha usado la métrica inglesa 440 UNC para los agujeros de los tornillos de los agarres (llamados “flanges” en inglés) y métrica europea 1, 2 o 3 mm dependiendo del tamaño de la pieza para la correcta sujeción de las partes.

Una vez se acabaron los prototipos, se fueron subiendo a la página web de la empresa online i.materialise para ser fabricados. El objetivo del proyecto es la realización de los prototipos en plástico, ya que se abarata el coste en más de un 50 % y porque la resolución de los resultados en algunos de los plásticos son casi perfectas. Las piezas se reciben en un plazo máximo de dos semanas. También se pueden pedir las piezas en metal directamente, concretamente lo más habitual es en latón dorado, pero se pierde precisión ya que lo que se fabrica en impresora 3D es realmente el objeto en cera, luego se fabrica a partir de esta un molde en yeso para posteriormente crear la pieza en latón por medio de fundición en dicho molde, perdiéndose resolución, precisión y nivel de detalle en el proceso.

Nuestro objetivo ha consistido en metalizar las piezas de plástico, ya que el plástico no es conductor. Para la metalización de dichos prototipos, se han utilizado diversos métodos que redujeran lo más posible el coste de la pieza pero lo difícil es conseguir buenos resultados. Procesos químicos como la electrolisis y Sputtering han sido los utilizados para



la metalización. La metalización se lleva a cabo con cobre, ya que es un material barato pero de fácil oxidación, posteriormente, añadiendo una fina capa de oro se consigue parar la oxidación de dicho metal pero a costa de encarecer el proceso.

Quedará demostrado que la metalización con cobre en el proceso electrolítico no ha dado buenos resultados, ya que no hemos llegado a conseguir un proceso que rellene bien las oquedades más estrechas y a que el cobre en el baño electrolítico se nos oxida muy rápido. Hay que darles una capa de oro para acabar. Sputtering es una buena opción para ello, pero el tiempo que se tarda en metalizar la pieza no juega tanto a su favor y el coste del proceso es mucho más elevado. Se concluye que es el método que mejores resultados nos da para la realización de este proyecto. De esta forma conseguimos mejorar nuestros resultados, a coste de una pequeña subida del precio, ya que en la metalización por Sputtering se derrocha cierta cantidad de cobre y oro que no se adhiere a la pieza y no se podrá utilizar posteriormente.

Mediante un analizador de redes, se han comprobado los diferentes prototipos obteniendo resultados dispares, pero alguno de ellos bastante prometedor. De esta forma se han verificado que fallos tiene el proceso y se han planteado hipótesis para resolverlos.

Así, llegaremos a la conclusión de que la realización de antenas y dispositivos de alta frecuencia en 3D es viable siempre y cuando los prototipos no tengan demasiadas oquedades o sean quasi-lanos. También es importante la sujeción de las partes para minimizarlas pérdidas.

Al final del proyecto se incluyen los resultados de varias de las piezas fabricadas una vez que fueron medidas por el analizador de redes donde algunas han dado buenos resultados y en futuro podrían ser comercializadas como soluciones de bajo coste y otras no se ha conseguido que dieran buenos resultados pero nos han dado una valiosa información sobre cómo mejorar los resultados a posteriori.