

CAPÍTULO 5.

CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN.

Ya tenemos todos los circuitos diseñados con nuestra herramienta de diseño, y también hemos diseñado su *layout*, que nos muestra el aspecto que tendrá el circuito que vamos a construir físicamente. En este capítulo, el objetivo es doble: por un lado, a partir de ese *layout* que ya disponemos, exportarlo al software que controla el dispositivo que va a implementar físicamente nuestro circuito. En nuestro caso, la máquina de la que disponemos se llama LPKF Protomat C20. Dicha máquina está gestionada por un programa, llamado *Boardmaster*, que es el software que controla la máquina, y le indica los cortes que debe realizar, las trayectorias de desplazamiento, etc.

Una vez que hemos construido la placa con el circuito, pasamos al segundo objetivo del capítulo, que es la caracterización del dispositivo. Para ello, vamos a medir los parámetros-S de cada placa con la ayuda de una serie de dispositivos. Puesto que los parámetros-S llevan información de magnitud y fase, necesitamos un analizador vectorial de redes, a la vez que una serie de cables y conectores que nos permitirán conectar la placa al analizador de forma fiable y con un comportamiento de error predecible. Aquí entrará en juego la calibración del dispositivo, que será un factor determinante para la correcta caracterización de los distintos dispositivos cuya respuesta queremos conocer de la manera más fiable y precisa posible. De la calidad de la calibración del analizador vectorial de redes dependerá la precisión de la caracterización de los dispositivos. De ahí que dicha calibración sea primordial en el proceso de fabricación y caracterización de los circuitos.

5.1. FILTRO DE LÍNEAS.

5.1.1. Construcción del circuito.

En el capítulo anterior terminamos de diseñar el dispositivo. Ahora vamos a pasar a construirlo. Una vez que tenemos el fichero “.hgl” exportado desde el ADS, pasamos a importarlo al *CircuitCAM*, donde obtendremos un fichero de extensión “.cam”. En este programa vamos a indicarle a la máquina cómo debe realizar la implementación física del filtro: por dónde van los cortes, cuál es la zona en la que tiene que realizar el fresado o *milling*, las herramientas de corte a usar por el LPKF *ProtoMat C20*, los tipos de brocas a usar para cada corte, etc.

La placa tiene una serie de capas, que pasamos a enumerar a continuación:

- Board Outline: es el contorno de la placa.
- Top Layer: es la zona de cobre de la placa.
- Drill Plated: es la capa donde van los taladros para las soldaduras (en caso de que haya).
- Bottom Layer: es el plano que no lleva cobre.

En este caso, puesto que el dispositivo es de una sola cara y con una sola capa, el proceso resulta relativamente sencillo. Así pues, las herramientas a usar serán las siguientes:

- Para el corte exterior (*CuttingOutside*), usaremos la broca de 2mm (*Contour Router 2.0 mm*). Es importante dejar dos pequeñas zonas en los vértices sin cortar para que no se caiga la pieza durante el proceso de corte del borde exterior, de manera que cuando se termine el proceso se pueda sacar sin problemas la placa de la pieza donde ha sido diseñada, simplemente limando o cortando con cuidado estas dos zonas.
- En el resto de la placa que no corresponde al filtro, y que por tanto no debe llevar cobre, vamos a realizar una labor de fresado (*milling*) en la que quitaremos el cobre que no pertenece al circuito. Para ello, usaremos como herramienta de fresado la denominada *End Mill 1.0 mm*.
- En las zonas más cercanas a las líneas del filtro habrá que usar una herramienta de mayor precisión, puesto que es la zona más crítica de fresado. Por ello, usaremos una herramienta denominada *Universal Cutter 0.2 mm*.

El proceso a seguir para que la máquina realice las operaciones que darán lugar a la placa es el siguiente:

- 1) Importamos el fichero “.cam” al ordenador que está conectado con la máquina. Este ordenador contiene también una versión del *CircuitCAM*, donde definiremos los cortes, y una versión del *Boardmaster*, que es la parte software de control de la máquina.

- 2) *Edit > Contour Routing :*

- Layer: *Board Outline*
- Destination Layer: *Cutting Outside*
- Tool: *Contour Router 2.0 mm*

- 3) Definimos los puntos en los que la máquina no va a cortar para que no se caiga



la placa. *Breakout Tab.*

- 4) Ahora vamos a definir la zona de *rubout*, que es donde se va a realizar la labor de fresado o extracción del cobre. Para ello, se define el rectángulo que va a ser la zona de *rubout*, y se lleva a la capa *Rubout Top*.

- 5) En caso de que hubiera que hacer vías para soldar los conectores, el proceso a seguir sería el siguiente:

Pad/Hole > Properties > Drill Plated > LPKF Prototype > LPKF Drilling Tools > Spiral drill 0.8mm.

- 6) Vamos a realizar el aislamiento. Éste puede ser parcial o total. El aislamiento parcial deja solamente unos canales de aislamiento entre el cobre que pertenece al circuito y el resto del cobre. Este tipo de aislamiento no se realiza para líneas *microstrip*, sino para líneas *microstrip coplanares*. La ventaja que tiene este tipo de aislamiento es que desgasta mucho menos las herramientas, con lo que duran más y supone por tanto un ahorro económico, puesto que dichas herramientas suelen ser caras porque son muy específicas y de mucha precisión. Por otro lado, tiene como inconveniente la capacidad parásita que se forma entre las zonas de cobre del dispositivo y del resto de la placa, lo cual se convierte en algo todavía más engorroso en circuitos muy compactos y con muchos elementos, incluidos elementos de montaje superficial. Sin embargo, estas capacidades parásitas sólo afectan a alta frecuencia, lo cual se convierte en decisión del diseñador, en función de las restricciones del diseño, realizar un tipo de aislamiento u otro. Así pues, realizamos el proceso siguiente:

Edit > Insulate:

- *Capa Top*
- *Remove Spikes*: elimina los picos de las trayectorias durante el proceso de fresado (en la pestaña *Advanced*). Es un ajuste fino para quitar algunos picos a la hora de establecer los cortes.
- *Tools*: las que aparecen por defecto.
- *Layout Tracking*: indica el sentido del corte. Según cómo coloquemos la placa en la máquina, nos interesará definir un sentido de corte u otro, de tal manera que se reduzcan los defectos y las trayectorias sean más óptimas.

Si ahora ejecutamos el proceso (*Run*) el programa calculará las trayectorias más óptimas, y representará en pantalla un modelo con una zona en verde, correspondiente a los trazos más finos, y por tanto se fresará con una herramienta más precisa (*Universal Cutter 0.2 mm.*), y otra zona en azul, que se corresponde con los trazos más gruesos, y se lijará con la herramienta menos precisa (*End Mill 1.0 mm*).



- 7) Exportamos el fichero , es decir, pasamos el fichero al formato “.lmd”, que es el que sabe leer el software de control de la máquina, con lo cual se crea el fichero de extensión “.lmd”. En la Figura 5.1 podemos ver el fichero generado, en el que se muestran claramente todos los cortes que va a realizar la máquina, al igual que las trayectorias de los mismos.

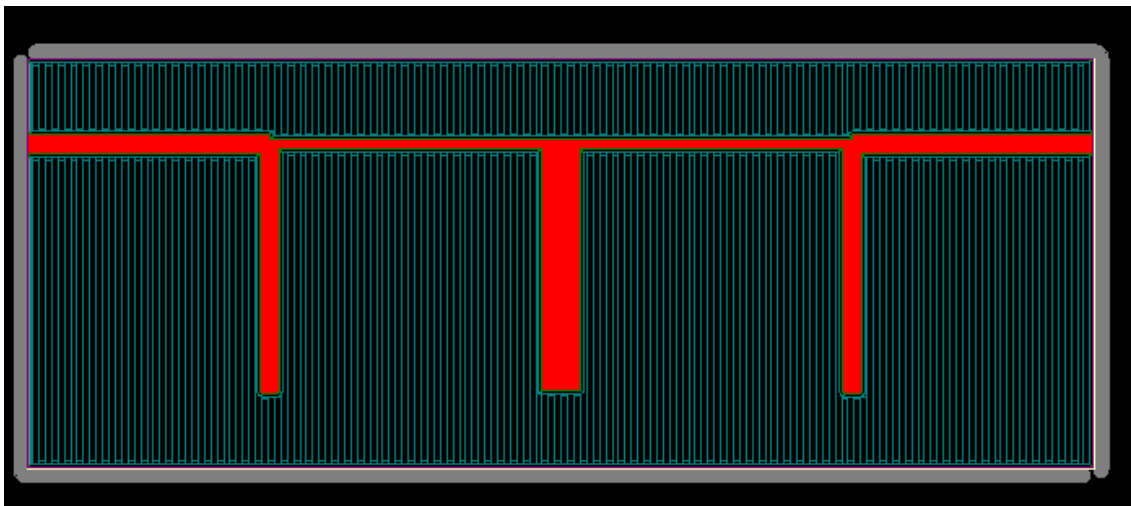


Figura 5.1. *Layout* con las trayectorias de corte que seguirá la máquina

El programa que controla la máquina LPKF *Protomat C20* se llama *Boardmaster*. La máquina tiene tres puntos de referencia, que se denominan *Home*, *Pausa* y *Cambio*. El punto de referencia *Home* es donde se encuentra la máquina por defecto. Es un punto de referencia respecto del cual se hacen medidas, por ejemplo para el posicionamiento del circuito en la placa de trabajo. El punto de referencia *Pausa* es donde se coloca la máquina para, o bien hacer modificaciones software con el controlador de la máquina (para hacer, por ejemplo, cambios en la distribución de los dispositivos), o bien para poner, quitar, ajustar...la placa de cobre de trabajo sobre la que vamos a realizar el diseño. El punto de referencia *Cambio* se usa para hacer el cambio de herramienta. En la Figura 5.2 podemos ver dichos puntos de referencia.

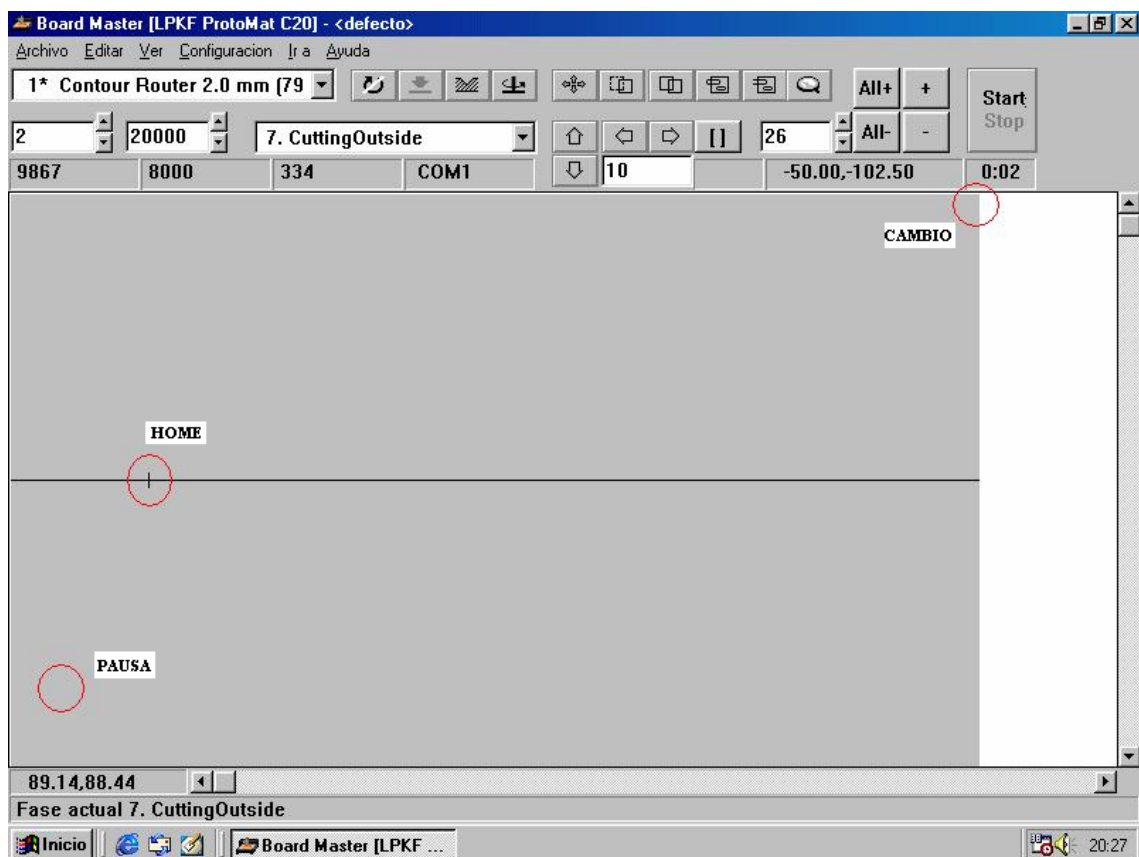


Figura 5.2. Puntos de referencia.

Los pasos a seguir para llevar a cabo finalmente la realización física del dispositivo son los siguientes:

- Importamos el fichero “.lmd”, que por defecto lo colocará en el centro de la pantalla.

- Colocamos el diseño de la placa donde más nos interese, ya que podemos importar varios circuitos a la vez. La colocación de dichos circuitos es importante, ya que una buena distribución nos permitirá optimizar el espacio y por tanto ahorrar en el número de placas de cobre a utilizar, ya que dichas placas no son baratas, y por tanto es importante ajustar el espacio usado. En la Figura 5.3 podemos ver un ejemplo de cómo colocar las placas de forma que optimicemos el espacio, y en la Figura 5.4 tenemos un ejemplo de una placa de trabajo, que como se puede comprobar recibe múltiples pruebas y usos.

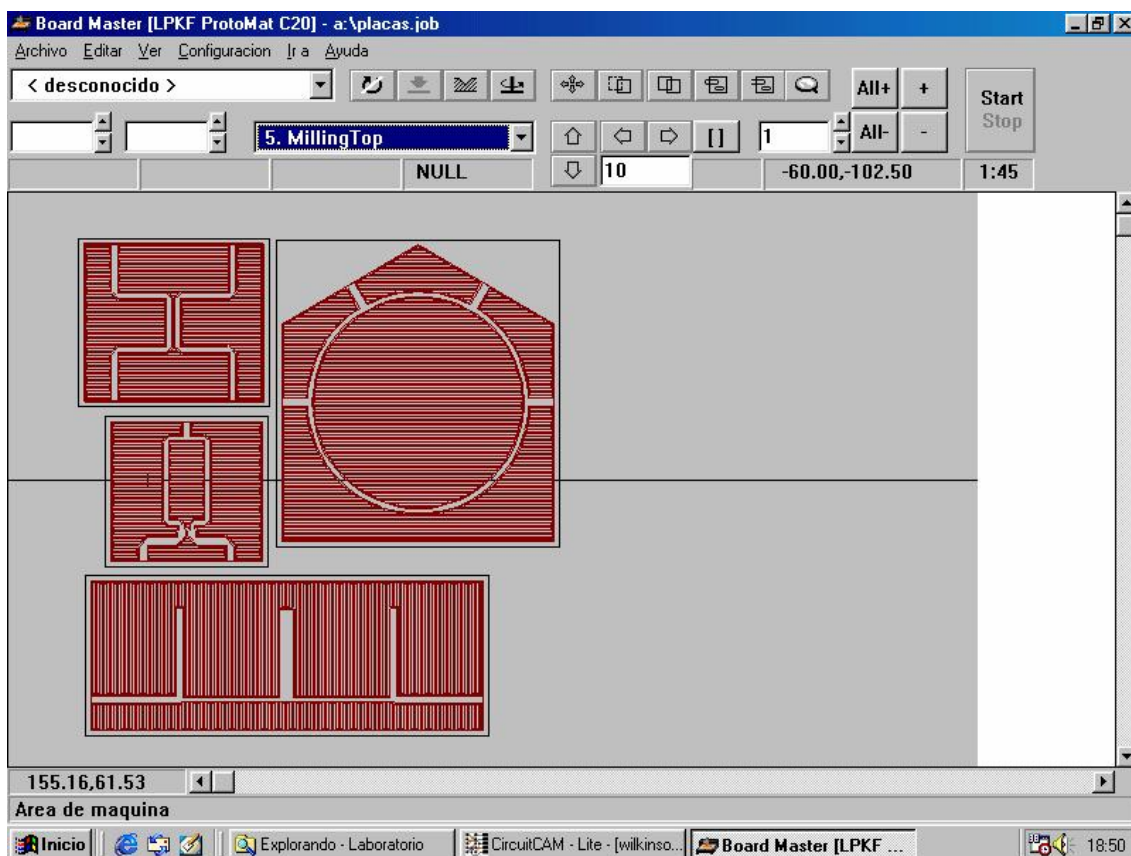


Figura 5.3. Optimización del espacio.

- Comprobamos físicamente donde hemos colocado realmente el circuito haciendo pruebas con la máquina. Este paso es importante porque no siempre se corresponden los límites físicos que aparecen en el programa de control con los límites reales. Cuando estemos satisfechos con su posicionamiento, queda ya todo listo para realizar el proceso.

En la Figura 5.5 se muestra una fotografía de la máquina durante el proceso de creación de un circuito. Conviene resaltar que, aunque es un proceso automático, puesto que es el software de la máquina el que controla todo el proceso, exige también un trabajo de cierta consideración por parte del diseñador, ya que el intercambio de piezas de corte y fresado debe hacerse manualmente, y es un proceso que requiere cierta precisión para que la herramienta corte adecuadamente, sin pasarse ni quedarse corta, y no estropee la superficie del circuito. Por ello, es un proceso que requiere un tiempo considerable de trabajo, y puede requerir refinamientos posteriores del trabajo realizado por la máquina, como por ejemplo el lijado de pequeñas superficies que hayan quedado sin fresar correctamente (provocados, entre otros, por el desgaste de las herramientas o por la mala colocación de la herramienta), nuevas pasadas de la máquina por secciones mal procesadas, etc.

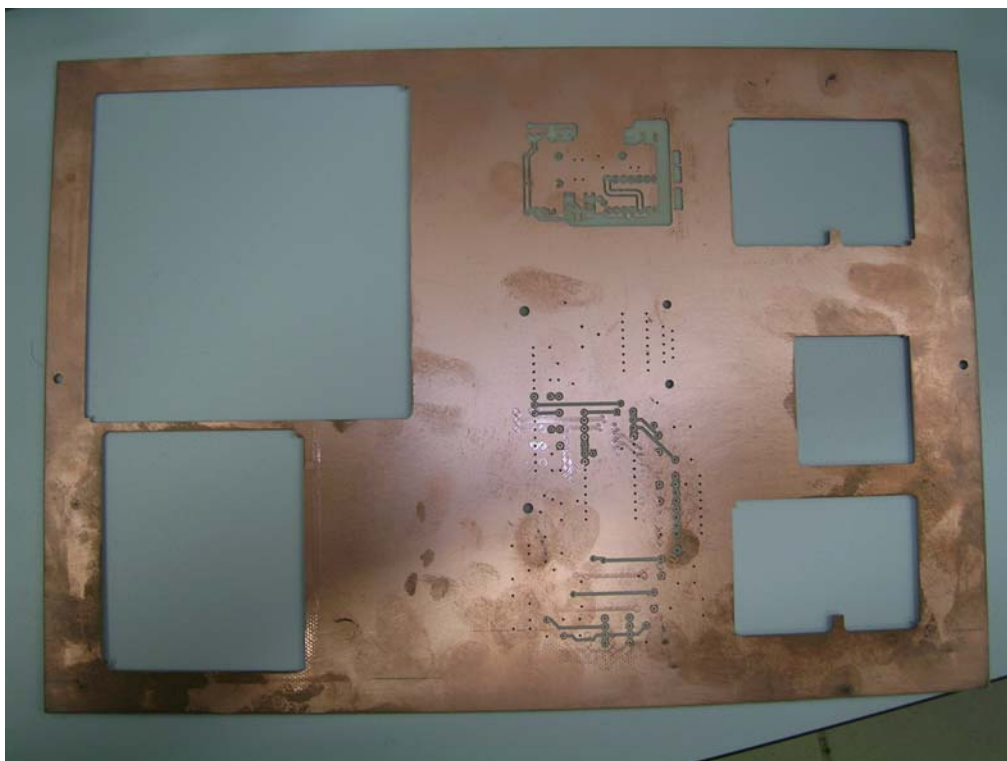


Figura 5.4. Placa de pruebas.

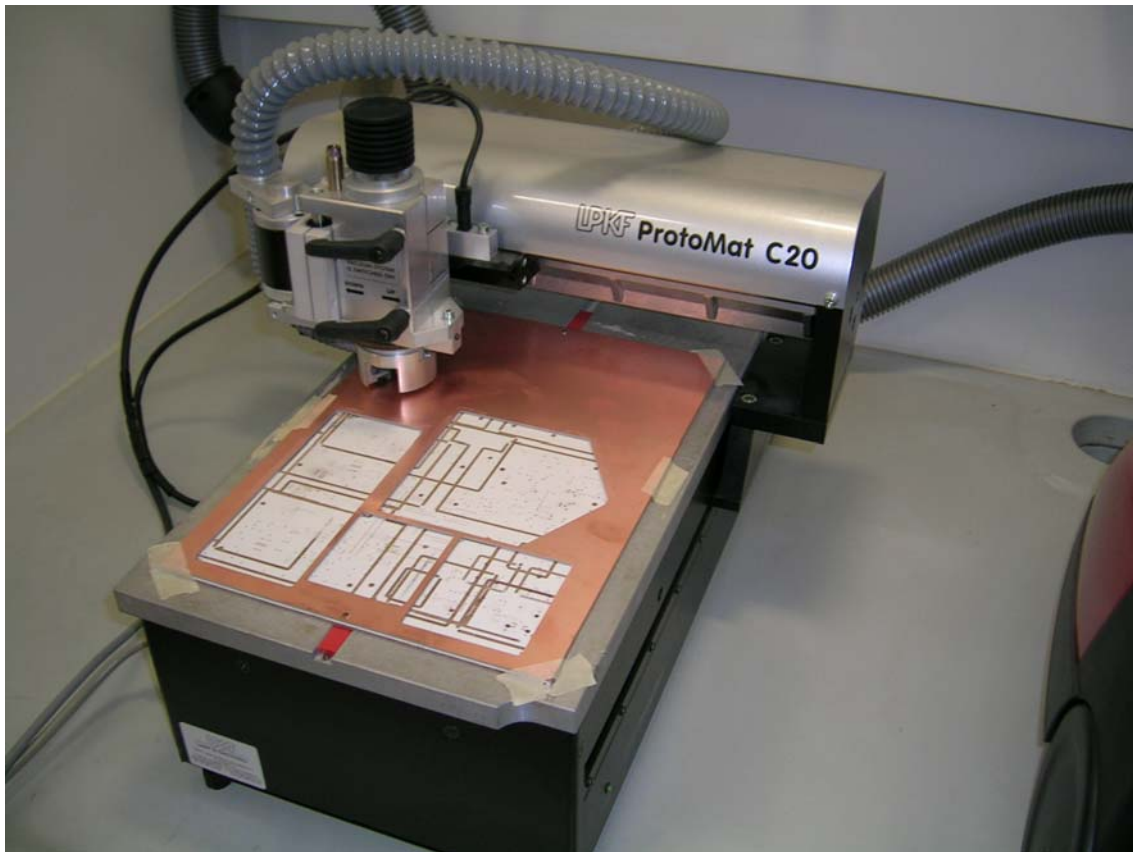


Figura 5.5. Proceso de creación de la placa.

Por último, quedaría soldar los conectores coaxiales y elementos de montaje superficial (en caso de que fueran necesarios) al circuito, y rociarlo con un spray que sirve para “barnizar” de cierta forma al circuito, protegiendo la zona de cobre de arañazos, partículas de polvo y el deterioro que sufre con el paso del tiempo por estar en contacto con el aire.

Así, en la Figura 5.6 podemos ver el aspecto final del filtro paso de bajo.

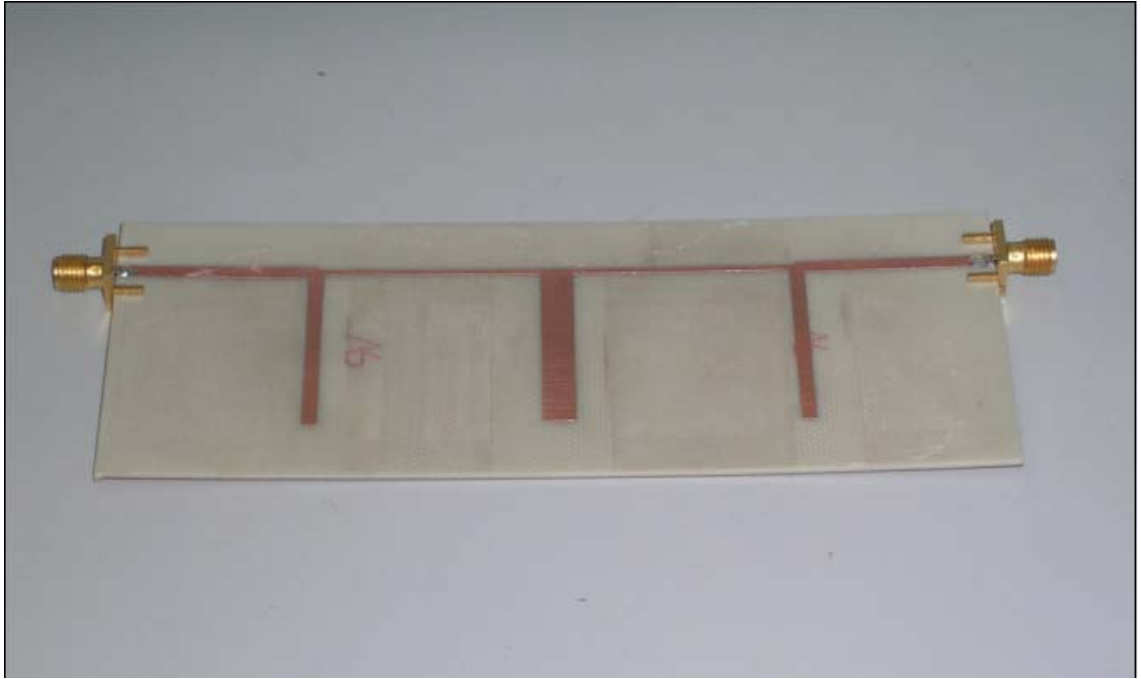


Figura 5.6. Implementación física del filtro paso de bajo.

5.1.2. Caracterización del circuito.

Ya hemos implementado físicamente la placa. Ahora hay que probar que su funcionamiento es el esperado, tal y como aparece en la respuesta en frecuencia en el ADS. Para ello, tendremos que caracterizarlo, es decir, medir los parámetros-S de la placa con un dispositivo capacitado para ello, que en nuestro caso será un analizador vectorial de redes, y posteriormente contrastar los resultados obtenidos en el analizador de redes con los valores simulados en el software de diseño ADS.

Para hacer las mediciones de los parámetros-S de la placa, haremos uso de un analizador vectorial de redes. En nuestro caso, hemos usado un analizador de redes de la marca Hewlett Packard, en concreto el modelo *8712B RF Network Analyzer*. En la Figura 5.7 podemos ver una fotografía tomada de dicho analizador.

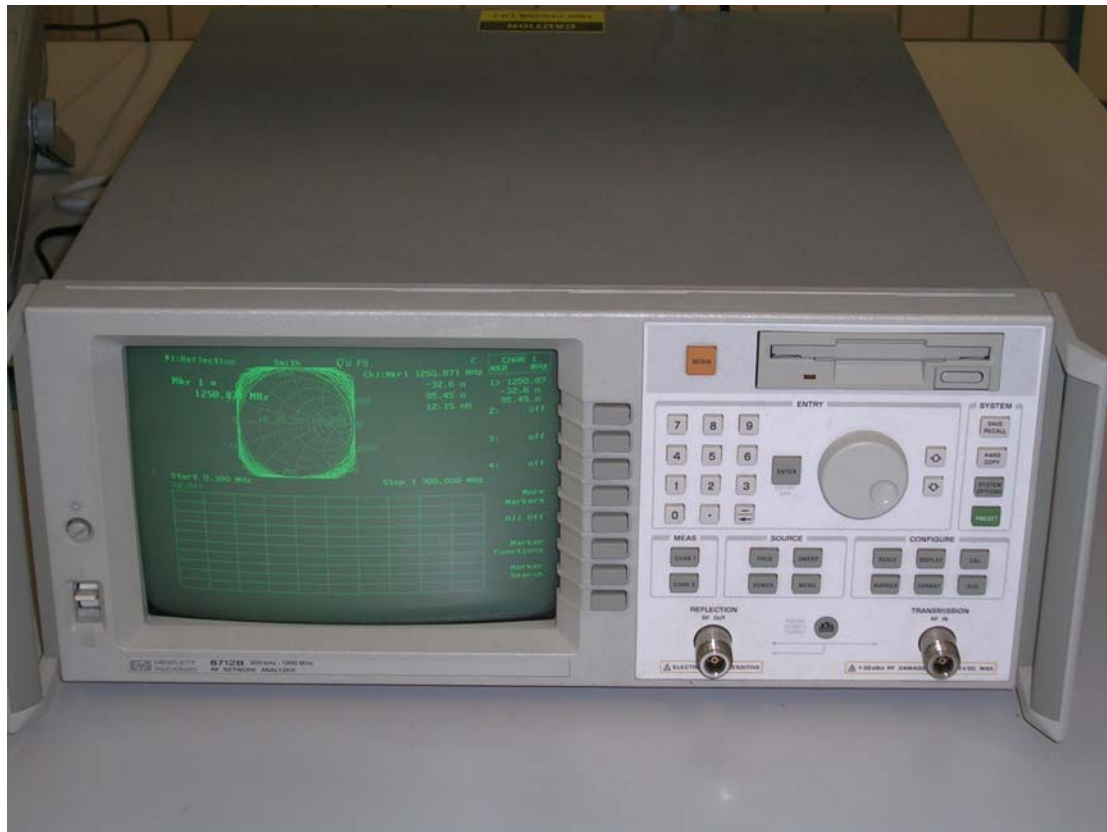


Figura 5.7. Analizador de redes Hewlett Packard 8712B RF Network Analyzer

En primer lugar, antes de hacer las mediciones pertinentes, habrá que realizar una calibración del analizador de redes, ya que sin esta calibración la precisión en las medidas disminuye considerablemente. Para hacer la calibración, tenemos que usar un kit de calibración, ya sea el que estándar que trae el analizador u otro que tengamos o hayamos creado especialmente para hacer estas mediciones, en cuyo caso habría que introducir sus parámetros en el analizador. Puesto que de este tema se habla ampliamente en otra sección del proyecto, no vamos a profundizar más en el tema, y se hace referencia al apartado de calibración para más información. En esta ocasión vamos a usar el juego de calibración que trae el analizador por defecto, el cual contiene un load de 50 ohmios, un short, un open y un thru. Así pues, seleccionamos en el panel frontal del analizador el botón de calibración (CAL) y vamos siguiendo las instrucciones que nos indica el analizador. En la Figura 5.8 se muestra una fotografía del kit de calibración propio que trae el analizador de redes.

Tenemos que hacer una calibración de reflexión en respuesta, con lo cual nos pedirá que introduzcamos el load, el open y el short. Es importante destacar que para hacer la calibración debemos tener conectados los cables y los adaptadores coaxiales que vayamos a usar para medir la placa, ya que estos introducen errores que se corrigen con la calibración, y por tanto si los colocamos posteriormente a la calibración, dichos errores no se corregirán, con lo cual la precisión de las medidas se verá seriamente mermada. En la Figura 5.9 mostramos los cables y los adaptadores coaxiales usados para la medición de los parámetros del circuito.



Figura 5.8. Kit de calibración del analizador de redes.



Figura 5.9. Cables y adaptadores coaxiales.

Una vez que esté calibrado el analizador vectorial de redes, conectamos la placa al analizador por medio de los cables y adaptadores para realizar las medidas de los parámetros-S. Para ello, tenemos que ir conectando los distintos puertos del circuito a la entrada (RF IN) y salida (RF OUT) del analizador de redes, en función de si hacemos medidas de transmisión (S_{ij}) o reflexión (S_{ii}).

Es muy importante colocar las terminaciones de 50 ohmios en los puertos que queden al aire, i.e., sobre los que no se realizan medidas en ese momento, para que no haya pérdida ni reflexión de potencia y por tanto las mediciones sean correctas. En la Figura 5.10 se muestra una fotografía del proceso de medición.

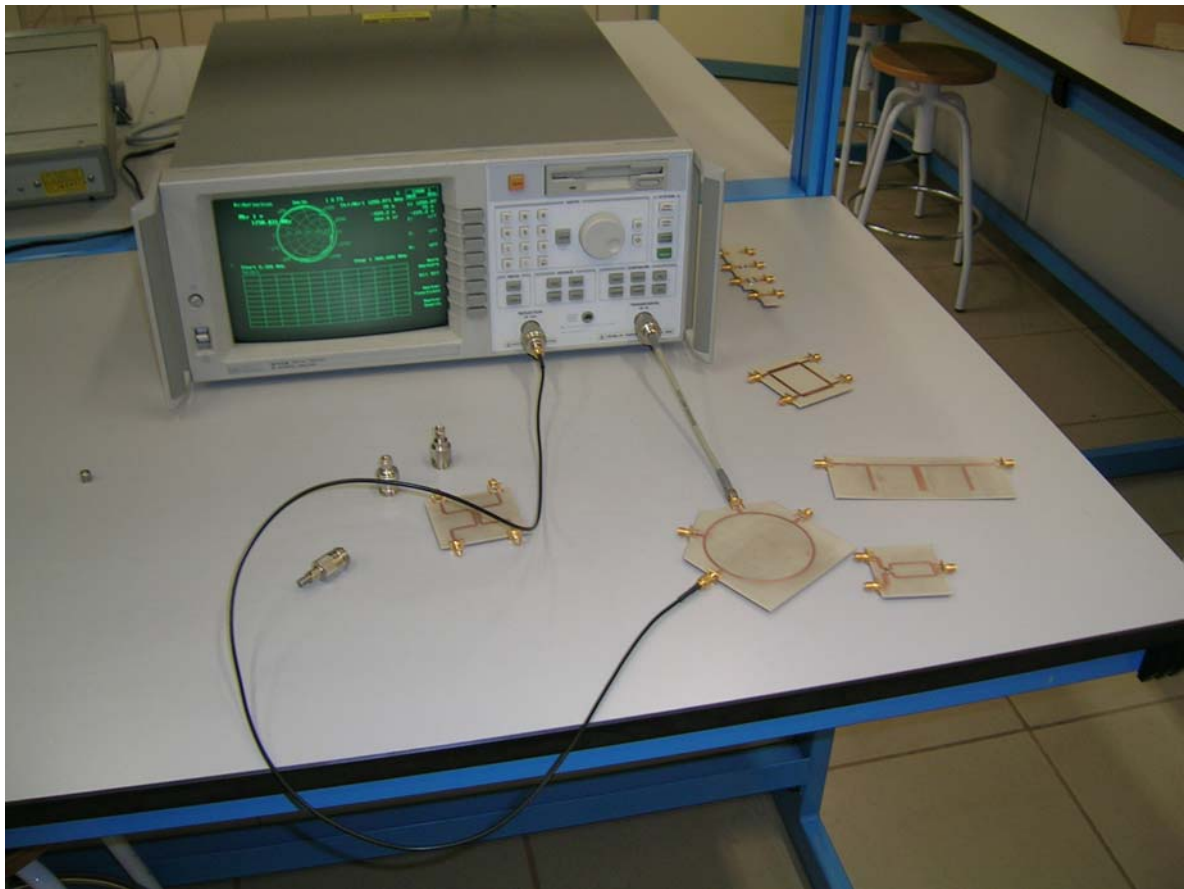


Figura 5.10. Proceso de medición de una placa.

Haciendo mediciones de transmisión (para los S_{ij} , con $i \neq j$) y reflexión (para los S_{ii}) obtenemos los distintos parámetros de la matriz de *scattering*. Dichos coeficientes los vamos salvando, mediante una representación en polares (módulo y fase), que se consigue con el botón *FORMAT > more formats > polar*, en distintos ficheros de un disco, para poder contrastar luego los resultados experimentales con los simulados en el ADS.

Conviene resaltar que los datos salvados en el analizador vectorial estén en *modo texto*, de forma que al exportarlos al programa ADS, mediante un formato adecuado que posteriormente le daremos para que los entienda el programa, dicho programa sea capaz de recuperar dichos datos y presentarlos de forma inteligible en el software, a fin de realizar la comparación entre las simulaciones y los datos reales. El proceso de volcado de datos al programa ADS y comparación de los resultados experimentales con los teóricos se verá en el siguiente capítulo.

5.2. DIVISOR DE WILKINSON.

5.2.1. Construcción del circuito.

Tras haber diseñado el circuito en el capítulo cuarto, pasamos a construirlo. Una vez que tenemos el fichero “.hgl” exportado desde el ADS, que es el fichero que contiene el *layout* del circuito, pasamos a importarlo al CircuitCAM, donde obtendremos un fichero de extensión “.cam”. En dicho programa pasaremos a indicarle las distintas zonas de corte, taladrado y fresado sobre la placa, así como las distintas herramientas que se encargarán de ello, y las capas sobre las que se realizarán tales acciones. En la Figura 5.11 se muestra el aspecto que tendrá finalmente el dispositivo antes de pasarle el fichero al controlador software de la máquina *Protomat C20*, que como ya hemos comentado es el programa *Boardmaster*.

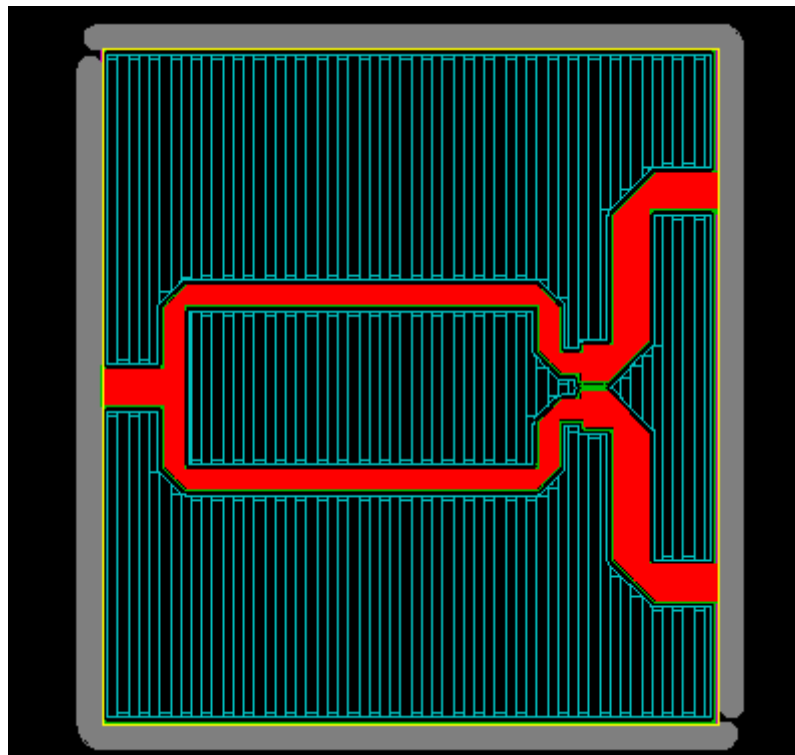


Figura 5.11. Layout con las trayectorias de corte que seguirá la máquina

Así pues, importamos el fichero “.lmd” al software de control de la máquina, colocamos la placa en una zona donde se optimice el uso de la placa de trabajo, comprobamos

mediante pruebas que físicamente el circuito está correctamente posicionado sobre la placa, y llevamos a cabo la fabricación del divisor de Wilkinson.

Una vez que terminemos el proceso de creación y depuración de los posibles fallos o restos que hayan podido derivarse del proceso de fabricación de la placa, colocamos los conectores coaxiales y los dispositivos de montaje superficial que necesite el dispositivo. Como novedad respecto a los circuitos anteriores, este dispositivo lleva una resistencia de montaje superficial de 100 ohmios de 1mm de ancho soldada en la superficie de la placa. Para elegir dicha resistencia, es conveniente buscar en los catálogos la que menor tolerancia tenga. Finalmente, rociamos la placa con un spray que sirve para “barnizar” de cierta forma al circuito, protegiendo la zona de cobre de arañazos, partículas de polvo y el deterioro que sufre con el paso del tiempo por estar en contacto con el aire.

En la Figura 5.12 podemos ver el aspecto final del divisor de Wilkinson.

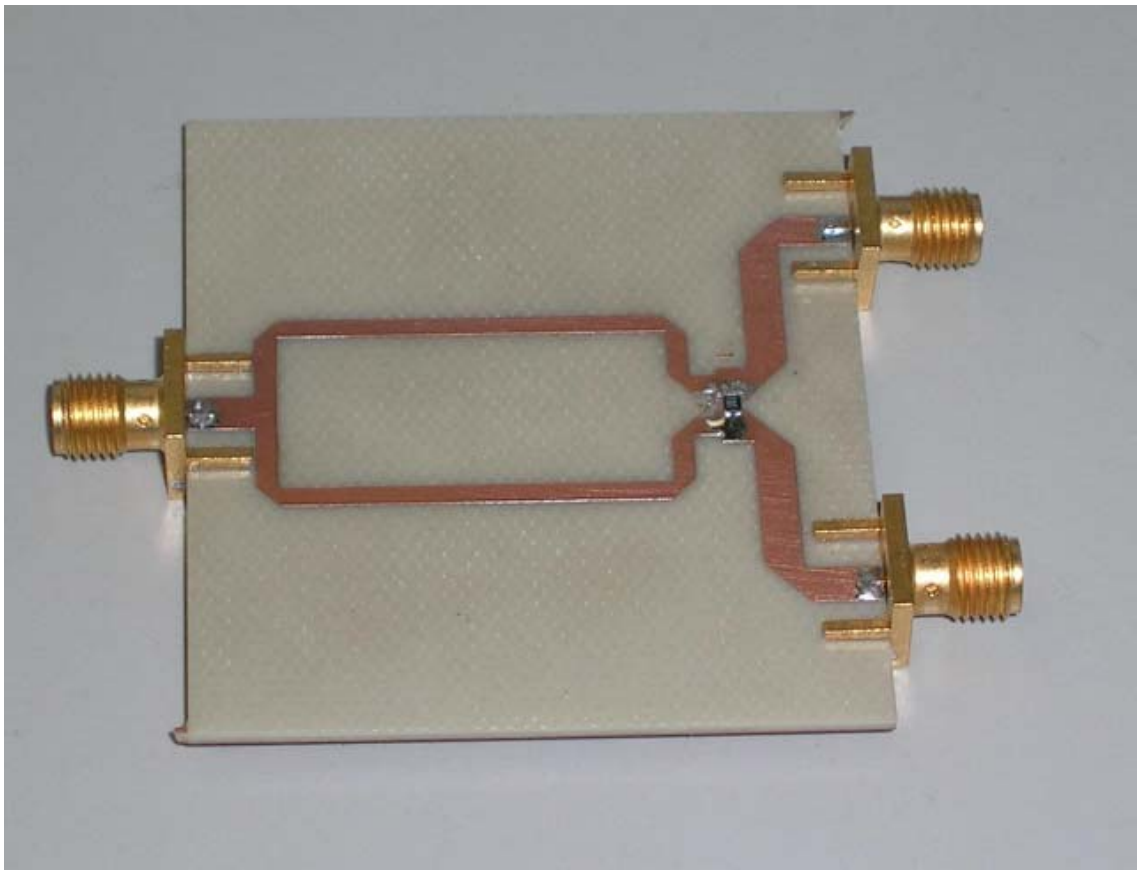


Figura 5.12. Implementación física del divisor de Wilkinson.

Es importante resaltar que el proceso de protección de la placa con el spray se realiza una vez que se ha comprobado el correcto funcionamiento del dispositivo, lo cual es a todas luces lógico. Esto que puede parecer una tontería no lo es en absoluto, ya que no siempre las placas implementadas por el dispositivo funcionarán bien o tendrán una respuesta que cumpla con las necesidades de diseño iniciales, con lo cual habrá que repetir el proceso y añadir las modificaciones necesarias para cumplir los objetivos propuestos.

5.2.2. Caracterización del circuito.

Una vez que tenemos implementada físicamente la placa, hay que probar que su funcionamiento es el esperado, tal y como aparece en la respuesta en frecuencia en el ADS. Para ello, tendremos que medir los parámetros-S de la placa con el analizador vectorial de redes y posteriormente contrastar los resultados obtenidos con los valores simulados en el software de diseño ADS.

En primer lugar, antes de realizar las mediciones, habrá que calibrar el analizador de redes, bien con el kit de calibración propio del analizador, o bien con el juego de calibración SOLT que hemos implementado nosotros, cuyo desarrollo está explícitamente detallado en el capítulo 6. Por las razones ampliamente comentadas en el desarrollo teórico de la calibración SOLT, que se ve en el capítulo 3, la respuesta del divisor de Wilkinson obtenida tras la calibración con nuestros estándares de calibración será más precisa que la obtenida con los estándares propios del analizador de redes, así que es más conveniente usar dicho kit de calibración.

Una vez que esté calibrado el analizador vectorial de redes, conectamos la placa al analizador por medio de los cables y adaptadores para realizar las medidas de los parámetros-S. Para ello, tenemos que ir conectando los distintos puertos del circuito a la entrada (RF IN) y salida (RF OUT) del analizador de redes, en función de si hacemos medidas de transmisión (S_{ij}) o reflexión (S_{ii}). Recordar la importancia de conectar las terminaciones de 50 ohmios en los puertos donde no se realicen las mediciones, para que no haya pérdida de potencia y los resultados obtenidos sean correctos.

Así pues, presentamos en pantalla los resultados en polares (magnitud y fase) de cada uno de los parámetros-S y los vamos salvando a un disco en *modo texto*, para que posteriormente los podamos exportar al ADS y que éste los entienda, una vez adaptados a un formato adecuado. Este proceso se verá en el siguiente capítulo, junto con la comparación de los resultados teóricos y los experimentales.

5.3. ACOPLADOR DE LÍNEAS ACOPLADAS.

5.3.1. Construcción del circuito.

Una vez que tenemos el fichero “.hgl”, que contiene el *layout* del circuito, exportado desde el ADS, pasamos a importarlo al CircuitCAM, donde obtendremos un fichero de extensión “.cam”. En dicho programa pasaremos a indicarle las distintas zonas de corte, taladrado y fresado sobre la placa, así como las distintas herramientas que se encargarán de ello, y las capas sobre las que se realizarán tales acciones. En la Figura 5.13 se muestra el aspecto que tendrá finalmente el dispositivo antes de pasarle el fichero al controlador software de la máquina *Protomat C20*, que como ya hemos comentado es el programa *Boardmaster*.

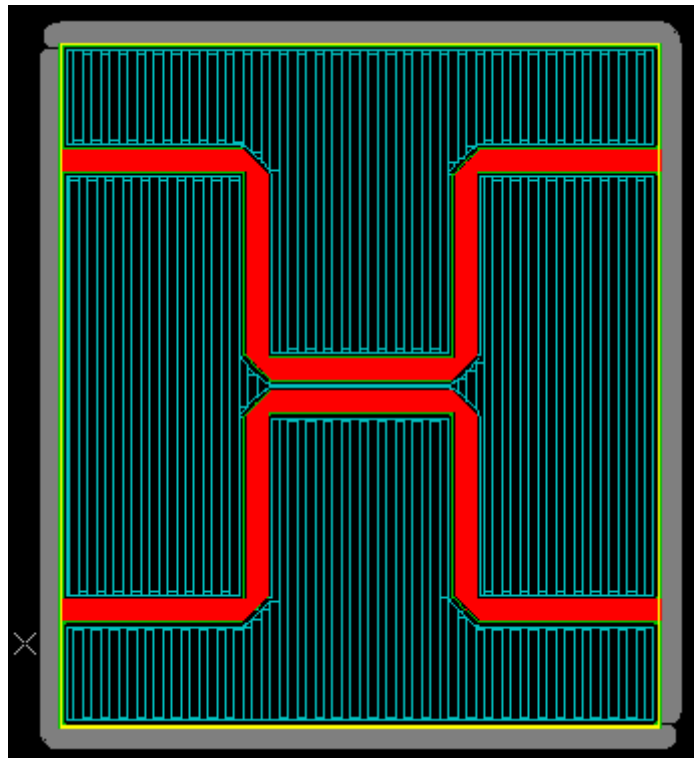


Figura 5.13. *Layout* con las trayectorias de corte que seguirá la máquina

Así pues, importamos el fichero “.lmd” al software de control de la máquina, colocamos la placa en una zona donde se optimice el uso de la placa de trabajo, comprobamos mediante pruebas que físicamente el circuito está correctamente posicionado sobre la placa, y llevamos a cabo la implementación del acoplador de líneas acopladas.

Una vez que terminemos el proceso de creación y depuración de los posibles fallos o restos que hayan podido derivarse del proceso de fabricación de la placa, colocamos los conectores coaxiales y los elementos de montaje superficial que necesite el dispositivo.

Puesto que este dispositivo no lleva componentes de montaje superficial, sólo hay que añadirle los conectores. Finalmente, rociamos la placa con un spray que sirve para “barnizar” de cierta forma al circuito, protegiendo la zona de cobre de arañazos, partículas de polvo y el deterioro que sufre con el paso del tiempo por estar en contacto con el aire. En la Figura 5.14 podemos ver el aspecto final del acoplador.

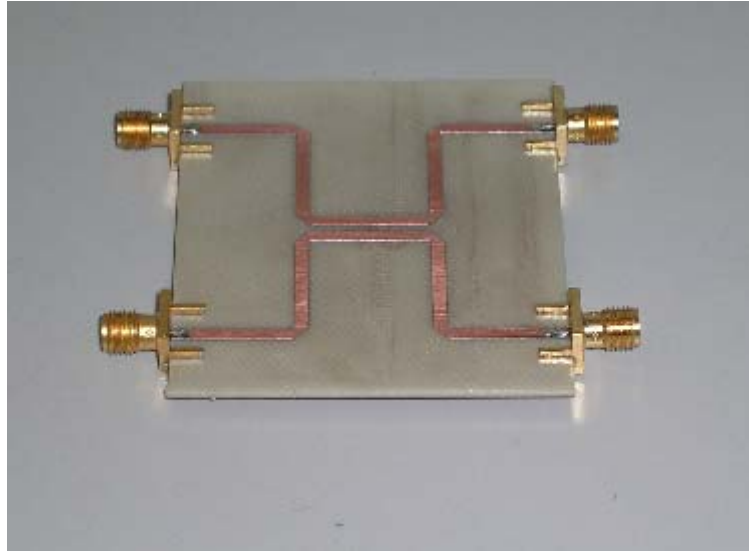


Figura 5.14. Implementación física del acoplador de líneas acopladas.

5.3.2. Caracterización del circuito.

Vamos a comprobar el correcto funcionamiento de la placa, para poder contrastarlo con los resultados teóricos simulados en el ADS. Para ello, tendremos que medir los parámetros-S de la placa con el analizador vectorial de redes, es decir, caracterizar el circuito.

En primer lugar, antes de realizar las mediciones, habrá que calibrar el analizador de redes, bien con el kit de calibración propio del analizador, o bien con el juego de calibración SOLT que hemos implementado nosotros. Por las razones ampliamente comentadas en el desarrollo teórico de la calibración SOLT, la respuesta del acoplador de líneas acopladas obtenida tras la calibración con nuestros estándares de calibración será más precisa que la obtenida con los estándares propios del analizador de redes, así que es más conveniente usar dicho kit de calibración.

Cuando esté calibrado el analizador de redes, medimos los parámetros-S del acoplador de líneas acopladas y guardamos los datos a disco. Recordar la importancia de conectar las terminaciones de 50 ohmios en los puertos donde no se realicen las mediciones, para que no haya pérdida de potencia y los resultados obtenidos sean correctos.

Así pues, presentamos en pantalla los resultados en polares (magnitud y fase) de cada uno de los parámetros-S y los vamos salvando a un disco en *modo texto*, para que posteriormente los podamos exportar al ADS y que éste los entienda, una vez adaptados a un formato adecuado. Todo el proceso de representación de los datos experimentales en el ADS y su posterior comparación con los resultados teóricos se verá en el siguiente capítulo.

5.4. ANILLO HÍBRIDO.

5.4.1. Construcción del circuito.

Partimos de la finalización del diseño del dispositivo del capítulo anterior, con lo cual ahora pasamos a la construcción del mismo. Una vez que tenemos el fichero “.hgl” exportado desde el ADS, que es el fichero que contiene el *layout* del dispositivo, pasamos a importarlo al CircuitCAM, donde obtendremos un fichero de extensión “.cam”. En dicho programa pasaremos a indicarle las distintas zonas de corte, taladrado y fresado sobre la placa, así como las distintas herramientas que se encargarán de ello, y las capas sobre las que se realizarán tales acciones. En la Figura 5.15 se muestra el aspecto que tendrá finalmente el dispositivo antes de pasarle el fichero al controlador software de la máquina *Protomat C20*, que como ya hemos comentado es el programa *Boardmaster*.

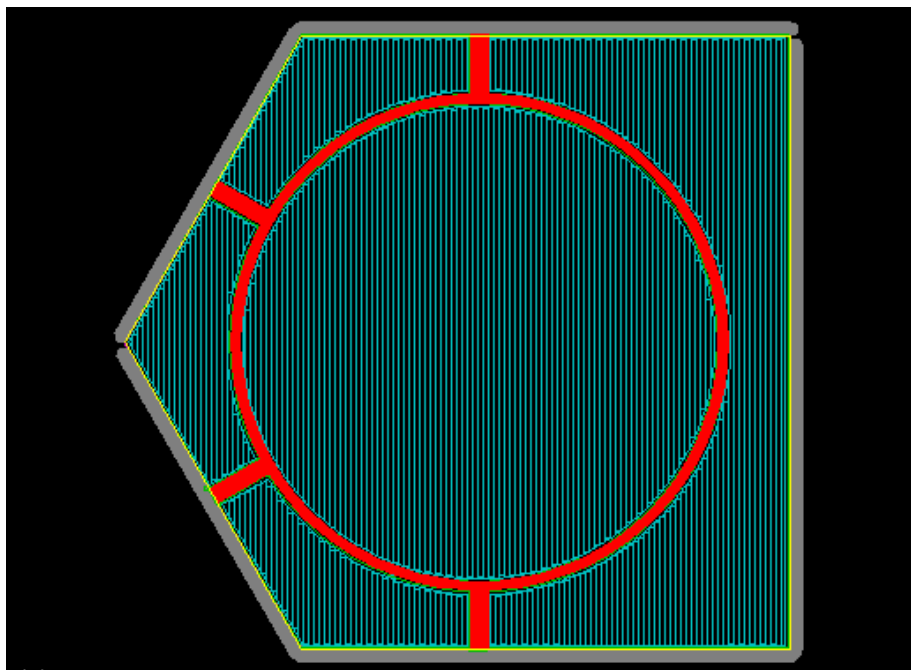


Figura 5.15. *Layout* con las trayectorias de corte que seguirá la máquina.

Así pues, importamos el fichero “.lmd” al software de control de la máquina, colocamos la placa en una zona donde se optimice el uso de la placa de trabajo, comprobamos

mediante pruebas que físicamente el circuito está correctamente posicionado sobre la placa, y llevamos a cabo la implementación del anillo híbrido.

Una vez que terminemos el proceso de creación y depuración de los posibles fallos o restos que hayan podido derivarse del proceso de fabricación de la placa, colocamos los conectores coaxiales y los elementos de montaje superficial que necesite el dispositivo. Puesto que este dispositivo no lleva componentes de montaje superficial, sólo hay que añadirle los conectores. Finalmente, rociamos la placa con un spray que sirve para “barnizar” de cierta forma al circuito, protegiendo la zona de cobre de arañazos, partículas de polvo y el deterioro que sufre con el paso del tiempo por estar en contacto con el aire. En la Figura 5.16 podemos ver el aspecto final del anillo híbrido.

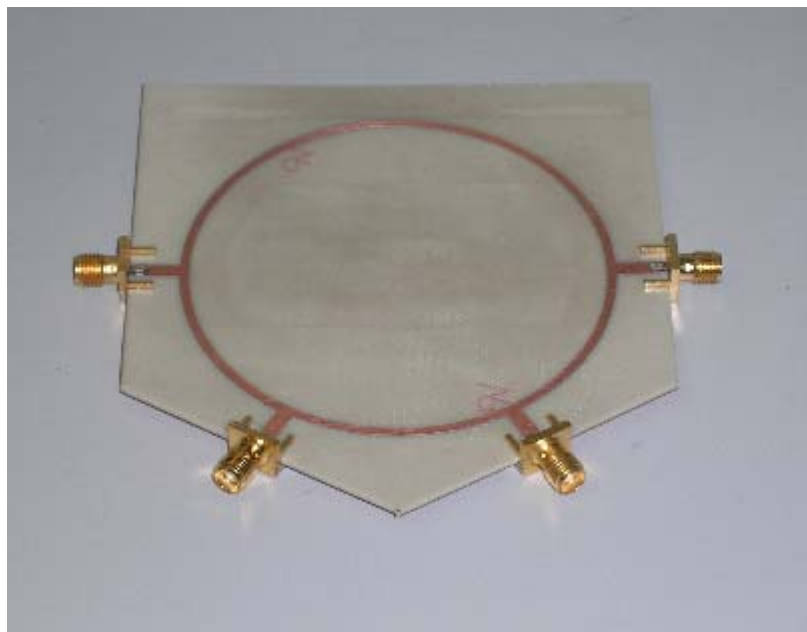


Figura 5.16. Implementación física del anillo híbrido.

5.4.2. Caracterización del circuito.

Hay que comprobar que el anillo funciona correctamente, para poder contrastar su respuesta con los resultados teóricos simulados en el ADS, aunque ya sabemos de antemano que la respuesta real no será igual que la teórica, debido a que durante el proceso de fabricación se producen una serie de imperfecciones, prácticamente inevitables, que hacen que la respuesta experimental no alcance la perfección de la simulada, la cual sería nuestro objetivo.

Así, tendremos que medir los parámetros-S de la placa con el analizador vectorial de redes, esto es, caracterizar el circuito. En primer lugar, antes de realizar las mediciones, habrá que calibrar el analizador de redes, bien con el kit de calibración propio del analizador, o bien con el juego de calibración SOLT que hemos implementado nosotros.

Como ya sabemos por lo visto en el estudio teórico, la respuesta del anillo híbrido obtenida tras la calibración con nuestros estándares de calibración será más precisa que la obtenida con los estándares propios del analizador de redes, así que es más conveniente usar dicho kit de calibración.

Cuando esté calibrado el analizador de redes, medimos los parámetros-S del anillo híbrido y guardamos los datos a disco. Recordar la importancia de conectar las terminaciones de 50 ohmios en los puertos donde no se realicen las mediciones, para que no haya pérdida de potencia y los resultados obtenidos sean correctos.

Así pues, presentamos en pantalla los resultados en polares (magnitud y fase) de cada uno de los parámetros-S y los vamos salvando a un disco en *modo texto*, para que posteriormente los podamos exportar al ADS y que éste los entienda, una vez adaptados a un formato adecuado. En el capítulo siguiente se verá todo el proceso de volcado de datos al programa ADS y la comparación de resultados teóricos y experimentales.