

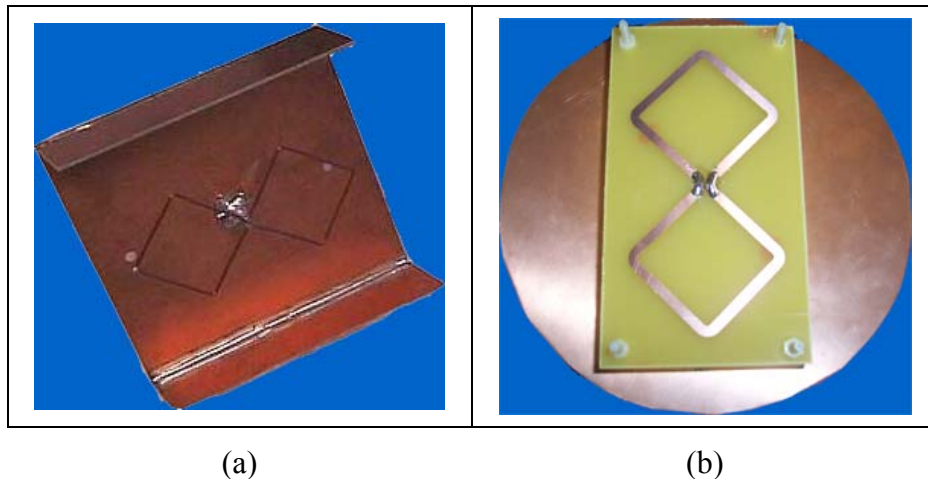
## 4.1 Antena Bi-Cuadrada.

La antena **Bi-cuadrada** consiste en una combinación de monopolos  $\lambda/4$ , todos ellos formando dos cuadrados y unidos por una de sus esquinas como muestra la **FIGURA 4.1 (b)** para poder alimentar la antena.

Para la fabricación de una antena se debe tener en cuenta dos elementos importantes como son la frecuencia a la que trabajara la antena y el material utilizado para la fabricación. Cuando hablamos de material, nos estamos refiriendo a los elementos que se utilizaran para su fabricación, como por ejemplo, láminas de cobre (antenas de apertura, como las bocinas), hilos conductores (antenas de hilo), etc. que son materiales robustos a la hora de manejarlos, y solo son fáciles de usar con herramientas preparadas para ello.

Por este motivo se ha basado en el diseño de una antena impresa (PCB) para **Wireless LAN** mediante una placa de fibra de vidrio, un conector SMA, y tornillos de poliamida.

En la **Figura 4.1** se representan dos antenas Bi-cuadradas realizadas mediante procedimientos diferentes.



**FIGURA 4.1:** (a) Imagen de una antena Bi-Cuadrada fabrica con cobre rígido.  
(b) Imagen de la antena Bi-Cuadrada fabricada en circuito impreso.

En la **Figura 4.1 (a)** se muestra una antena Bi-cuadrada fabricada a partir de hilo de cobre rígido, tres placas metálicas, un conector y gran experiencia a la hora de soldar, mientras que en la **Figura 4.1 (b)** se muestra la antena Bi-cuadrada fabricada en circuito impreso que hemos desarrollado durante la realizaron de este proyecto. En los apartados siguientes se explica el proceso de fabricación con más detalle de la antena de la **Figura 4.1 (b)**.

La antena esta englobada dentro del grupo de las antenas de hilo, por el aspecto de las pistas de l antena, que son líneas de un grosor y con espesor despreciable.

Lo que se pretende conseguir con este estudio sobre antenas impresas para Wireless LAN, es la fácil y cómoda fabricación de la antena sin necesidad de tener que recurrir a herramientas especiales para ello.

## **4.2 Diseño. Consideraciones iniciales.**

En el proceso de diseño del fotolito para la impresión de la antena Bi-cuadrada utilizaremos un programa de diseño para que sea más fácil su fabricación. El programa elegido es el **QCAD**. Este programa es similar al AutoCad, para el que este mas familiarizados con él.

**QCAD** es uno de los programas mas extendidos de diseño grafico por ordenador. Al utilizar este tipo de programa nos evitamos tener que empezar desde cero cada vez que queramos variar el diseño. A partir de un diseño inicial, que será en el que mas tiempo se dedique, podremos variar las dimensiones y parámetros de cada diseño con el objeto de ajustar y optimizar sus propiedades eléctricas.

Algunos parámetros ajustables son:

- Longitud de los dipolos.
- Grosor de la línea.
- Forma de las puntas de los cuadrados.

A la hora de diseñar la antena por ordenador partimos de las consideraciones iniciales siguientes, si  $c=3 \cdot 10^8$  m/s y  $f=2.442$  MHz,  $\lambda=c/f=0,1228$  metros, la longitud teórica de los dipolos será de  $0,0307$  metros ( $30,7$  milímetros).

- Longitud dipolo: 30,7mm.
- Grosor de la línea: 1mm.
- Cuadrados idénticos de 90°.
- Unión de los dos cuadrados separados por una línea de 1mm.

Con las características descritas anteriormente ya sería posible fabricar una antena impresa, solo haría falta excitarla y ya estaría lista para utilizarse como elemento radiante, pero el uso que se le quiere dar a la antena Bi-cuadrada es para utilizarse de manera que radie direccionalmente, para ello se ha pensado en unir la antena impresa a una plataforma que haga de reflectante y así convertir nuestra antena Bi-cuadrada en una antena direccional. En la **Figura 4.2** se muestra un ejemplo de antena omnidireccional y antena direccional respectivamente. Lo que se quiere conseguir con este estudio es la de obtener una antena que radie en una dirección determinada del espacio, y para ello utilizaremos un plano de masas.

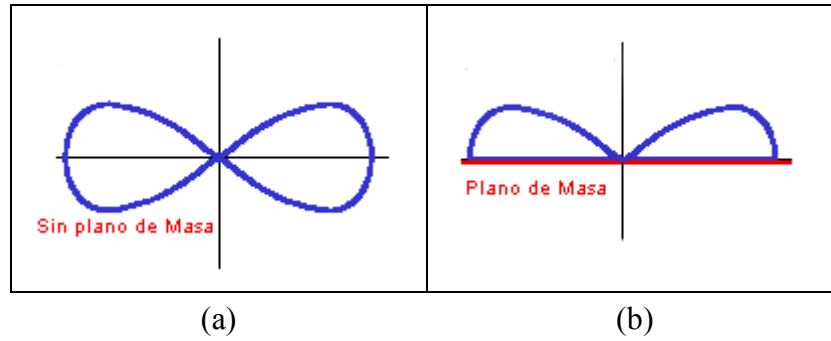


FIGURA 4.2: (a) Imagen del diagrama de radiación de un dipolo, (b) imagen de la misma antena con un plano de masas a una cierta distancia.

Después de tener claras las medidas teóricas iniciales de la antena es conveniente fabricar la plataforma circular que hace las funciones de plano de masas y de reflectante a la hora de radiar. La dimensión de la plataforma no es necesario variarla, ya que la finalidad de está es la de crear una imagen del diagrama de radiación y que la antena radie en una dirección. La dimensión mínima de la placa estará relacionada con la longitud de onda de la señal a utilizar, de forma que partir de  $4,5 \cdot (\lambda/4)$  se puede considerar como un plano infinito sin error apreciable para la antena.

$$\frac{\lambda}{4} = \left[ \frac{c/f}{4} \right] = \frac{3 \cdot 10^8}{2442 \cdot 10^6} = \frac{0,1228}{4} = 0,0307 \text{ metros}$$

$$l_{\text{plataformac\_circular}} \approx 4,5 \cdot (l_{\text{dipolo}_{\lambda/4}}) \approx 0,138 \text{ metros}$$

$$\frac{\lambda}{4} \ll l_{\text{plataformac\_circular}}$$

Cuando tengamos la plataforma circular separaremos el PCB<sup>1</sup> de la plataforma mediante unos tonillos de *poliamida*<sup>2</sup> y mantendremos sujeta el PCB a los tonillos con tuercas también de poliamida.

El plan de trabajo para el diseño de la antena es crear un prototipo inicial de la antena con las características anteriores, imprimirla en una placa de PCB, montarla sobre la plataforma circular y a partir de los resultados obtenidos en la medida de reflexión con el analizador de espectros ir variando alguna de las características del diseño inicial y ver los cambios que se producen.

### 4.3 Creación de una placa PCB (*Printed Circuit Board*).

Para la creación de una Placa de Circuito Impreso genérica se necesitan los siguientes elementos:

<sup>1</sup> PCB: Printed Circuit Board.

<sup>2</sup> poliamida: material plástico, dieléctrico.

- Una placa positiva fotosensible.
- Un fotolito positivo transparente.
- Una insoladora.
- Baño revelador.
- Baño atacador.
- Cubetas, pinzas y guantes de látex para la manipulación.

La **placa virgen positiva fotosensible**, es una placa de baquelita o de fibra de vidrio (nuestro caso) con una de sus caras cubiertas con una lámina de cobre barnizada con una sustancia sensible a la luz ultravioleta. La placa se degradaría si la luz ultravioleta incidiera sobre ella, provocando el revelado de la placa.

El **fotolito**, no es más que una lámina de papel transparente con el dibujo del diseño de la pista que queremos imprimir en la placa. Es importante que las líneas sean totalmente opacas y perfectamente definidas.

La **insoladora**, es un aparato de forma rectangular con dimensiones parecidas a las de una hoja de A4 que en su interior encontramos varios focos luminiscentes por debajo y por arriba. Se introduce primero el fotolito con el diseño a imprimir, luego la placa de fibra de vidrio y encima de esta una lamina transparente que lo cubre todo, se cierra la caja y se crea el vacío, para que no se produzca en el dibujo impreso ninguna imperfección que afectaría al diseño, e inmediatamente se activan los focos luminiscentes que imprimen la placa. Después de varios minutos ya tendremos la placa impresa.

El **baño revelador**, consiste en una disolución de NaOH en agua. Cuando hayamos insolado la placa, la introduciremos en la cubeta con el baño revelador, y después de unos minutos la sacaremos de la cubeta.

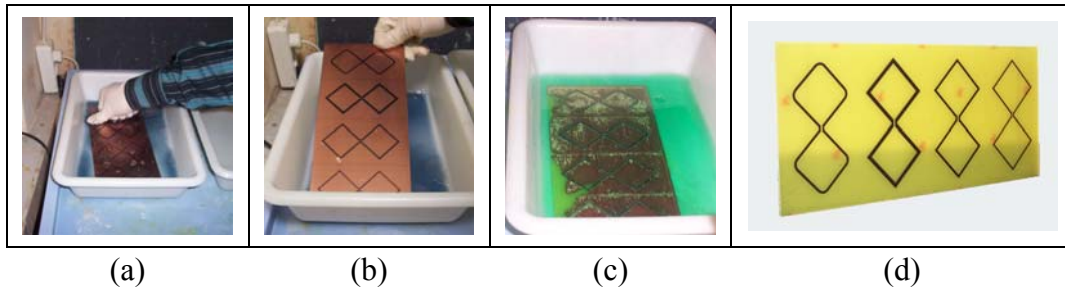
El **baño atacador**, es la disolución de ácido clorhídrico y de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). Esta combinación acabara de revelar la placa, es decir, hará desaparecer todo es cobre que no nos hace falta.

Después de este proceso limpiaremos con agua clara la placa, y le pasaremos con un pañuelo un poco de Alcohol de 96° para acabar de limpiar la placa de la antena.

En la **Figura 4.3** y **Figura 4.4** se muestra los distintos pasos hasta obtener nuestra PCB.



**FIGURA 4.3:** Laboratorio de insolación de PCB



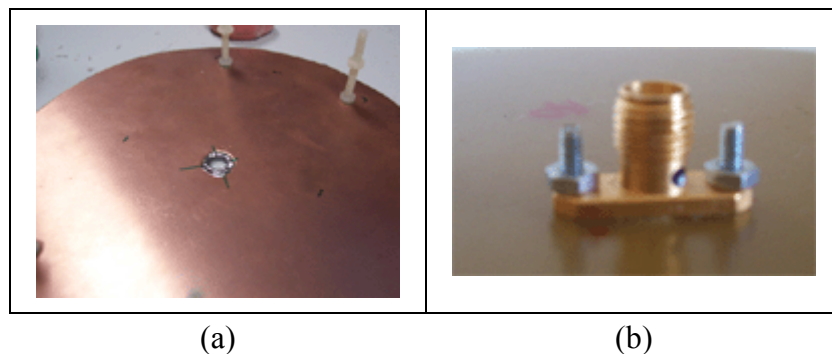
**FIGURA 4.4:** (a) Baño revelador, frotamos la placa para que se eliminen las impurezas para rápido (b) Después del baño (c) Baño atacador (d) Resultado final.

## 4.4 La base circular.

La Plataforma circular, como se ha explicado brevemente al principio de este capítulo, es de 140mm de diámetro aproximadamente. Este plato es un PCB sin insular, es decir, solo se le ha quitado el revestimiento que llevan las placas de fibra de vidrio.

En el centro de la placa hemos hecho un agujero para poder pasar el cable que une la PCB de la antena y el conector SMA. El agujero será lo mas pequeño posible para que solo pueda pasar el cable, aproximadamente de 0,5mm.

Por el otro lado de la placa introduciremos el conector. Es un conector SMA-hembra para chasis, pero podríamos haber utilizado cualquier otro conector, como por ejemplo un conector N.



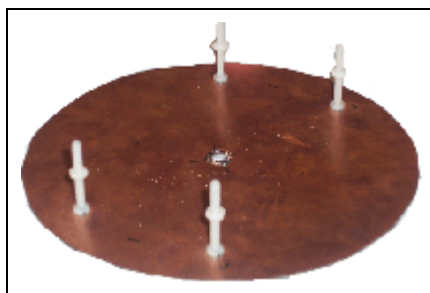
**FIGURA 4.5:** (a) Imagen del agujero en el centro de la placa, plano conductor (b) Imagen del lado del no conductor con el conector.

## 4.5 Sistema de sujeción PCB-Plano infinito.

Para poder sujetar la plataforma circular y el PCB (antena impresa) se optó por utilizar cuatro tornillos no conductores para no afectar al comportamiento de la antena. En concreto se eligieron tornillos y turcas de poliamida de 3mm de diámetro.

En el apartado de optimización del diseño, aparece un esquema con la posición de los tornillos en la placa circular.

Al utilizar este sistema de sujeción tenemos la ventaja de poder variar la distancia de separación entre la antena impresa y la plataforma. Situaremos la PCB (antena) entre dos tuercas del tornillo de poliamida para poder sujetarla con fuerza.



**FIGURA 4.6:** Imagen de la plataforma con los cuatro tornillos de poliamida.

## 4.6 Cable Coaxial de 50Ω.

Para unir el conector SMA-hembra de la placa circular y la antena utilizamos un cable coaxial de 50Ω con pocas pérdidas a la frecuencia de trabajo. En el mercado hay muchos tipos de cable y de muchos diámetros, pero interesa que sea un cable pequeño, de unos 2 o 3 milímetros de grosor para no tener problemas a la hora de soldar.

Cables posible para la antena	Diámetro (mm)	Recubrimiento Exterior	Blindaje (dB)	Atenuación (dB/100 metros)				
				450 MHz	900 MHz	2.4 GHz	3.5 GHz	5.8 GHz
<b>LMR® 195</b>	<b>5.0</b>	<b>PE Negro</b>	<b>90</b>	<b>25.5</b>	<b>36.5</b>	<b>61.1</b>	<b>74.7</b>	<b>98.1</b>
RG-58	5.0	PVC-IIA	40	34.8	54.1	81.3	101.0	135.0
<b>LMR® 100A</b>	<b>2.7</b>	<b>PVC Negro</b>	<b>90</b>	<b>51.9</b>	<b>74.9</b>	<b>127.7</b>	<b>157.6</b>	<b>210.3</b>
RG-174	2.8	PVC-IIA	40	59.4	85.0	143.0	175.0	230.0

**FIGURA 4.7:** Imagen los tipos de cable posible para la antena.

Sea conseja utilizar el cable coaxial RG-174 o LMR 100A, por sus pequeñas dimensiones y bajas pérdidas.

Tipo de Cable	Diámetro (mm)	atenuación (dB/100m)
LMR® 100A	2.7	127.7
RG 174	2.8	143.0

**Tabla 4.1:** Cables más adecuados.

La gama de cables que hay en el mercado es muy amplia, y cuanto mayor sea el diámetro del cable, mejor será su rendimiento, y menor la atenuación (dB/m), pero para nuestro caso, era necesario un cable de reducidas dimensiones.

Al ser un cable tan fino, es muy complicado pelar el cable de manera manual para poder soldarlo al conector y a la antena.

En definitiva, la longitud que vamos a utilizar para unir el PCB y el conector viene dado por la separación de la plataforma y el PCB, que será en torno a los 15mm, una pequeña distancia en comparación a las características de atenuación de la **Figura 4.7**.

En la **Figura 4.8** podemos observar como el vivo del cable se suelda al conector, mientras que la malla se separa y junta para posteriormente soldarla a la placa circular.

El proceso de soldadura del cable al conector y a la placa es lo mas critico de todo el proceso de soldadura, ya que si no se suelda con cuidado, tendremos muchas perdidas introducidas por el cable.



**FIGURA 4.8:** Imagen del conector SMA-hembra soldado al cable coaxial.

## **4.7 Montaje del diseño de la antena Bi-Cuadrada.**

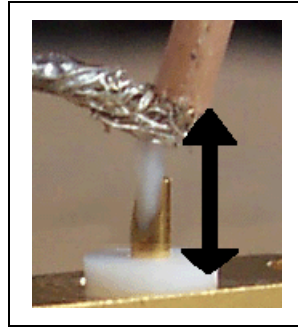
Después de explicar los componentes que se van a utilizar a la hora de montar la antena Bi-cuadrada, es aconsejable montar la antena de la manera que sigue:

- Fabricar el PCB.
- Fabricar la Placa Circular.
- Pelar cable coaxial, separando malla y vivo. (longitud 15mm).
- Pegar los tornillos de poliamida a la base.

Cuando ya tengamos todos los componentes preparados, cada vez que queramos montar un PCB distinto para poder medirlo solo tendremos que des-soldar el PCB de los cables que lo alimentan.

A la hora de soldar el cable coaxial al conector es conveniente soldar el cable al conector antes de poner el conector en la base. De este modo será más precisa y fácil la soldadura.

La **unión del vivo al conector es fundamental** que sea lo mas precisa posible y con la **mínima separación**. Esta soldadura es la más crítica de todas y la más complicada, ya que sus dimensiones son muy reducidas.



**FIGURA 4.9:** Imagen de la separación del vivo y el conector SMA-hembra.

También la soldadura de la malla a la plataforma circular será con la mínima separación posible, ya que es en estos dos casos donde tendremos más pérdidas debidas a la soldadura.

En el momento en el que tengamos montado la placa circular con el conector y el cable, el siguiente paso será montar el PCB de la antena y ya tendríamos montada la antena y lista para medir.

## **4.8 Optimización del diseño de la antena Bi-Cuadrada.**

Partiendo de las dimensiones iniciales que se detallan en la **Tabla 4.2** montamos la antena con los distintos PCB. Todos ellos diferentes en algún parámetro, ya sea en el grosor de la línea, el la longitud del dipolo o en el acabado de los cuadros.

DISEÑO	Longitud	Grosor	Puntas 90°
1	30,7	1	Recto
2	30,7	1.5	Recto
3	30,7	2	Recto
4	30,7	2	Redondo

**TABLA 4.2:** Primeras montajes del PCB.

Al medir en el Analizador del Espectros la respuesta de las antenas anteriores, las medidas de reflexión no estaban centradas a la frecuencia de 2.442MHZ, si no que estaban desfasadas alrededor de unos 400MHz.

A pesar del desfase, el prototipo que mejor adaptación presentaba era la de mayor grosor, y entre el acabado de las puntas redondeadas o cuadradas, era ligeramente mejor el PCB con las puntas redondeadas (aprox. 2dB).

Como la longitud del dipolo esta en relación con la frecuencia de trabajo de la antena y a partir de los anteriores resultados de desfase del ancho de banda de trabajo, utilizamos una regla para centrar nuestra antena al ancho de banda de trabajo cambiando la longitud de la antena:

Tenemos una  $\lambda$  asociada a la frecuencia de máxima adaptación de la antena que corresponde a una frecuencia de 2.107MHz, y a la vez asociada a una longitud que corresponde a la longitud del dipolo, 30.7 mm y lo que queremos es que la antena sea valida para la frecuencia de 2.442MHz.

En el cuadro siguiente se explica el proceso matemático y se obtiene la longitud optima de  $l_2=26,448mm$ .

A partir de esta longitud de 26,448mm, mediante el programa de diseño variamos las longitudes de los diseños anteriores, y también cambiamos el grosor de la pista a 3mm.

$\lambda_1$  asociada a  $f_1$  correspondiente a la máx. Adaptación.

$$l_1 / \lambda_1 = X;$$

$$l_2 / \lambda_2 = X;$$

Igualamos ambas ecuaciones y tendremos:

$$l_2 = X \cdot \lambda_2 = \frac{l_1}{\lambda_1} \cdot \lambda_2 = l_1 \cdot \frac{c/f_2}{c/f_1} = l_1 \cdot \frac{f_1}{f_2}$$

y obtenemos:

$$l_2 = l_1 \cdot \frac{f_1}{f_2} = 30,7 \cdot \frac{2,107}{2,442} = 26,448mm$$

$$l_2 = 26,448mm$$

Donde:

$\lambda_1$ : 30,7mm.

$f_1$ : 2.107MHz.

$f_2$ : 2.442MHz.

$c=3 \cdot 10^8$  m/s

Este desfase del ancho de banda esta provocado por la composición del PCB, ya que no se comporta igual que una línea con una superficie determinada. El comportamiento electromagnético es influenciado por el tipo de dieléctrico que se ha usado para la fabricación de la fibra de vidrio, (permitividad relativa del medio). A efectos de estudio de este proyecto, no es de interés conocer al detalle las características técnicas de la fibra de vidrio.

Montamos los nuevos diseños de antenas sobre la base y los medimos.

DISEÑO	Longitud	Grosor	Puntas 90°
5	26,448	2	Recto
6	26,448	2	Redondo
7	26,448	3	Redondo
8	26,448	3	Recto

**TABLA 4.3:** Segundo montaje de PCB.

De los montajes de la **Tabla 4.3** los que presentaban mejor adaptación eran los de mayor grosor. Y en este caso, no había desfase del Ancho de Banda, si no que se obtenía un gran ancho de Banda adaptado, que es lo que nos interesaba.

Para obtener el diseño final, que se detalla en el Capítulo 5-Medidas y conclusiones, se realizaron alrededor de 12 prototipos distintos todos ellos a fin de obtener el mejor de todos ellos.

Los principales parámetros que se fueron variando hasta ajustarlo a nuestras necesidades fueron la longitud del dipolo, el grosor de las pistas y el acabado de las puntas.

A continuación se detallan en las **Figura 4.10**, **Figura 4.11** y **Figura 4.12** los parámetros que se han utilizado para diseñar el PCB, la antena Wireless LAN y la placa de masa, respectivamente.

En la **Figura 4.10** se muestran los dos diseños de PCB. Uno con las puntas redondeadas (mejora de 2dBs), y el otro con las puntas cuadradas.

Se detallan todas las medidas de nuestro diseño, pero no es estrictamente necesario que por ejemplo el tamaño de la placa de fibra de vidrio tengas esas dimensiones (110x61mm), al igual que los agujeros que se hagan en el PCB deberán ser del mismo tamaño, o aproximado, al de los tornillos de poliamida.

Tampoco es necesario que sean tornillos de poliamida, o que sean tornillos. La finalidad de los tornillos es la de poder ir separar la base circular y el PCB y reducir los lóbulos secundarios al máximo. Se puede cambiar la poliamida por otro material, siempre y cuando sea de material dieléctrico.

En el prototipo con las puntas redondeadas, el Campo Eléctrico no se acumula tanto en las puntas como en el caso de las puntas cuadradas, mejorando así el diseño.

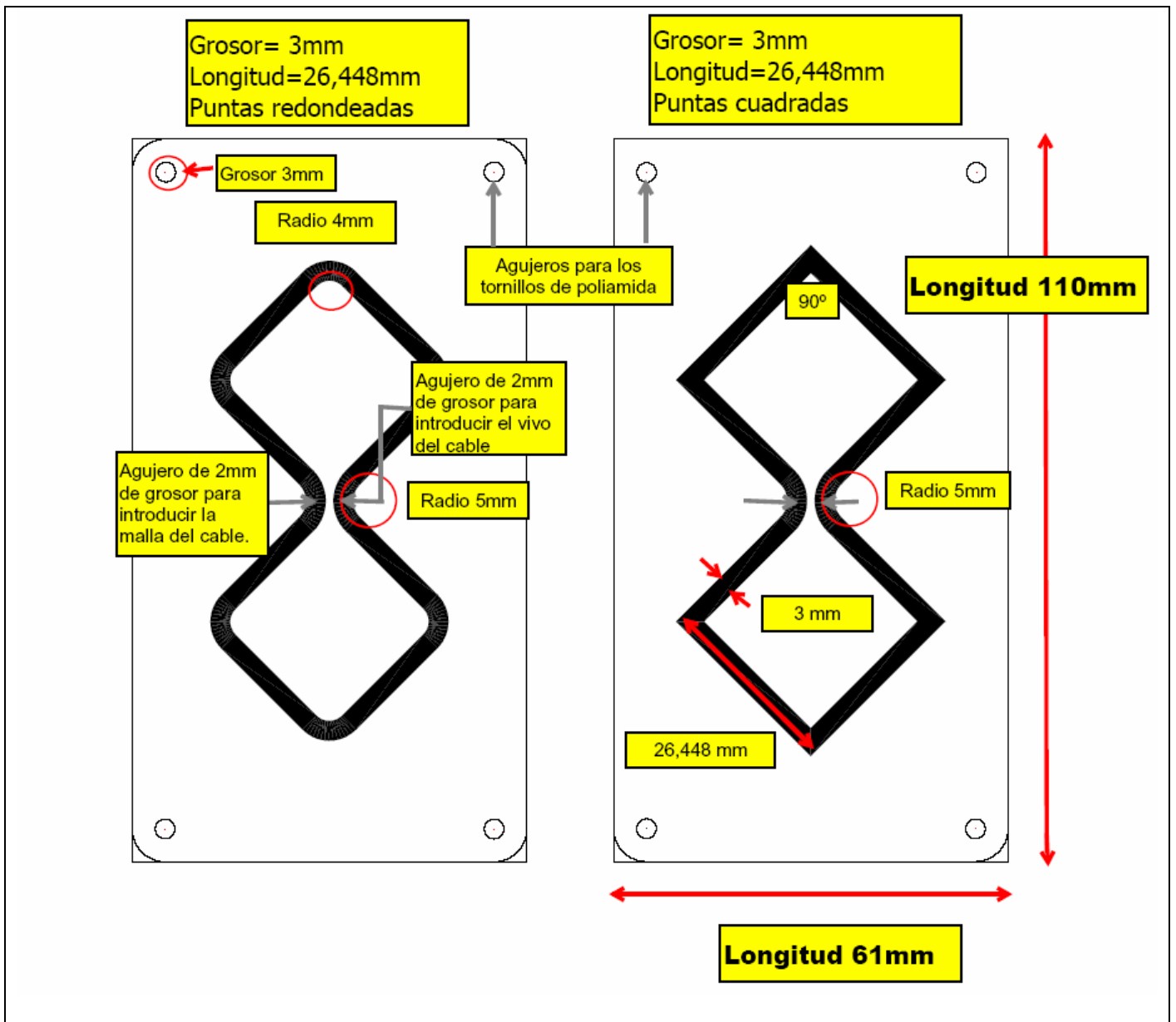


FIGURA 4.10: Prototipo de antenas Bi-Cuadradas.

En la **Figura 4.10** se muestran los diseños óptimos de los PCB de la antena impresa para Wireless LAN que se han obtenido.

En el Capítulo 5.-Medidas y Conclusiones se describen en detalle sus características de las antenas.

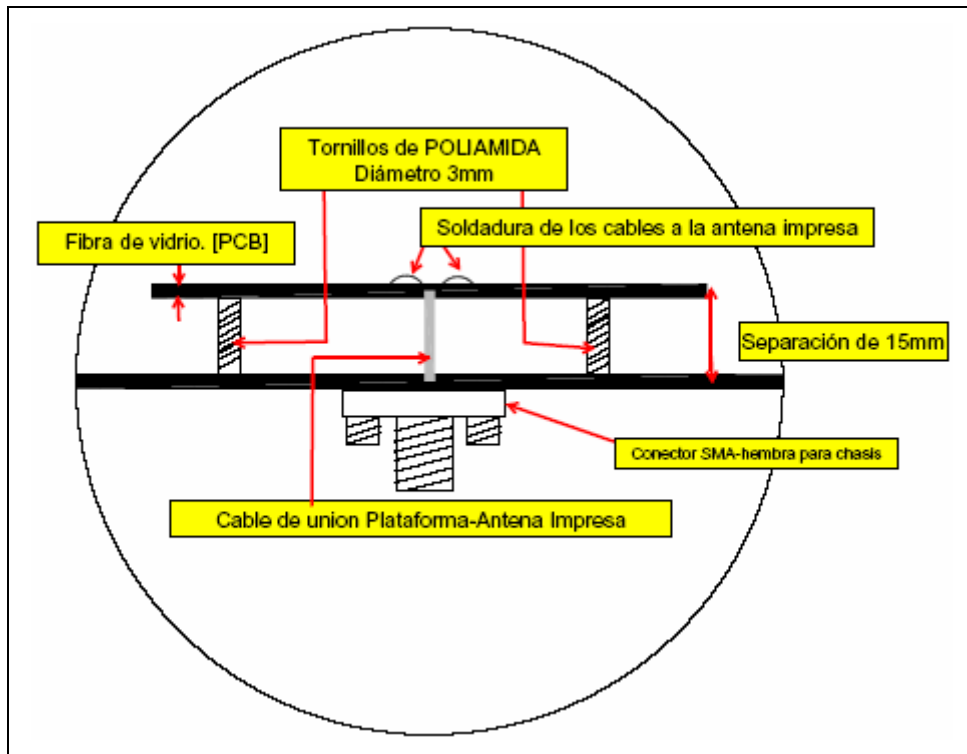


FIGURA 4.11: Prototipo de antenas **Bi-Cuadradas**.

La **Figura 4.11** muestra una vista lateral de la antena impresa y la base reflectora con las medidas óptimas. Este es un dibujo orientativo, no es a escala. En el **Anexo I** se adjunta los diseños a escala del prototipo utilizado.

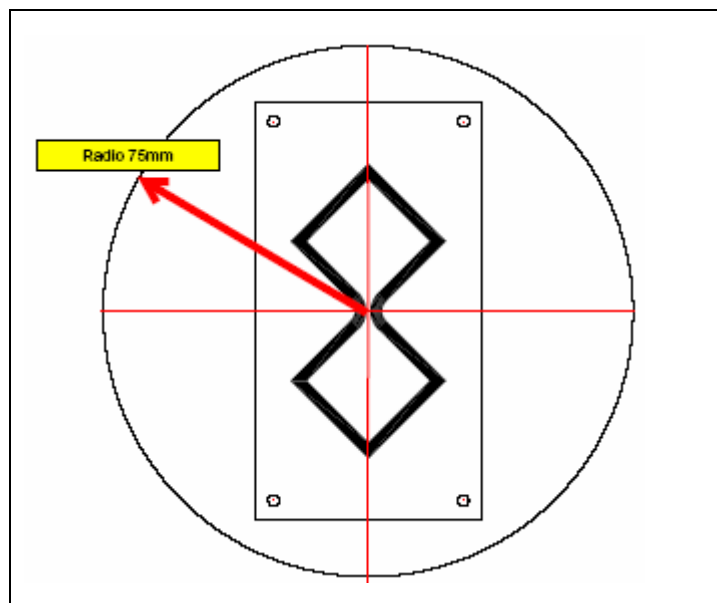


FIGURA 4.12: Prototipo de la plataforma circular de la antena **Bi-Cuadradas**

## **4.9 Problemas relacionados con el montaje de la antena Bi-Cuadrada.**

Como en todo proceso de fabricación siempre hay inconvenientes. De todos los encontrados durante el proceso de realización de este proyecto hay que destacar:

- **Soldadura crítica del Cable**, tanto en la parte del conector como de la base. El problema radica en las dimensiones reducidas del cable utilizado para alimentar la antena (PCB). La soldadura del cable al conector se debe realizar en dos fases. La primera soldar el vivo del cable al conector e introducir el cable soldado al conector por el agujero de la base para posteriormente soldarlo a la base. Y la segunda, introducir y soldar el vivo y la malla del cable por los agujeros realizados en el PCB de la antena.
- El uso de un **cable no adecuado para las transmisiones a 2.442MHz** se debe descartar de inmediato, ya que las respuestas con cables no adecuados puede producir reflexiones indeseadas.
- Especial cuidado a la hora de **pelar los cables**, ya que son de muy pequeñas dimensiones.