



Simulación de antena MIFA impresa basada en el diseño del módulo ESP32

¹, Gaete, Guillermo¹ y Ortiz, Agustín²

¹isaacgaete@est.frba.utn.edu.ar, ²aortiz@est.frba.utn.edu.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se abordará el análisis de los criterios de diseño de una antena MIFA sobre circuito impreso para comunicación Wi-Fi. Tomando como caso de ejemplo el módulo ESP32, particularmente, su antena. De esta forma se abordarán las consecuencias de modificar las variables en juego en la estructura del circuito impreso respecto a los parámetros scattering. No se tomarán en cuenta las consideraciones de diseño digital, de modo que se tome como foco de análisis la etapa correspondiente íntegramente a la antena.

PALABRAS CLAVE Antena; Wi-Fi; ESP32; MIFA

Introducción

En la actualidad, es conocido que existen herramientas accesibles para el aprendizaje de distintas técnicas digitales vigentes, en conjunto a un gran número de documentos de referencia, desde muy básicos a nivel de usuario, hasta algunos muy complejos que contemplan customización de las mismas.

En el marco de la asignatura *Medidas electrónicas 2*, el equipo de trabajo analizará el diseño de una antena receptora - transmisora en 2.4Ghz según estándar Wi-Fi contenida en el módulo de desarrollo ESP32, muy afamado en la filosofía de aprendizaje impulsada por Arduino.

Dado que ambos integrantes del grupo pertenecen a un equipo docente de cursos para estas plataformas, la motivación central será la comprensión de las decisiones de diseño tomadas por el fabricante y analizar las variantes posibles tomando como referencia los fabricantes de PCB quienes proveen servicios en los desarrollos propios. Accesoriamente se busca generar material para las futuras explicaciones en el desarrollo de los cursos haciendo foco en las características notables de dicha antena.

Cada conclusión estará basada en simulaciones sobre el software CST validando las mismas.

Teoría básica de antenas

Una antena es un conductor expuesto al medio de una determinada longitud, parámetro que define la frecuencia de trabajo de la antena.

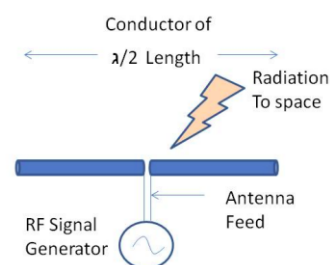


Figure 1 Representación de una antena de $\lambda/2$

Al ser excitado con una señal de RF adecuada, el conductor interactúa con el medio entregando parte de la energía eléctrica recibida en forma de radiación.

Las antenas más utilizadas en PCB son aquella de $\lambda/4$ ya que reducen el tamaño del elemento radiante a costas de ne-

cesitar un plano de masa adecuado (Cypress) para proporcionar el un camino para el retorno de corriente adecuado.

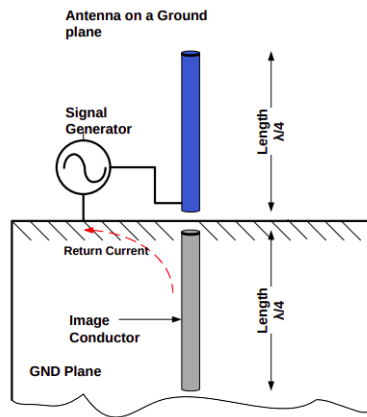


Figure 2 Representación de una antena de $\lambda/4$

De este tipo podemos encontrar:

- Antenas de cable
- Antenas diseñadas en el circuito impreso
- Antenas cerámicas

En nuestro caso el estudio se centra en las antenas diseñadas en el circuito impreso ya que son las utilizadas por la mayoría de los módulos de desarrollo que incluyen WiFi como el ESP32.

Antena MIFA

Si bien el módulo ESP32 presenta dos variantes topológicas sobre el mismo tipo de antena, se elige aquella que está implementada en las placas que disponemos de modo que los resultados sean extrapolados en un futuro sobre casos más allá de la simulación.

Particularmente, la antena **MIFA**, por su siglas en inglés (meandered inverted-F antenna - antena serpenteante F invertida) es un tipo de antena monopolo, las cuales comprenden entre otras las típicas antenas radiales, rectas con un extremo del dipolo a tierra, donde la longitud de la misma está determinada por la longitud de onda a transmitir. La antena MIFA, en este sentido tiene el plano de tierra paralelo a ella conectado por una vía en la cara contraria a la antena impresa (se verá en detalle más adelante). Respecto a la antena monopolo clásica, presenta la ventaja de ser más corta (comparando en idéntica frecuencia de trabajo) y permite, por diseño, adaptar su impedancia.

Materiales y métodos

Se propone para el estudio, una aplicación típica del módulo para contemplar un caso realista para el análisis. *Materiales:*

- Módulo ESP32
- Router WiFi (referencia simulable)
- Placa de referencia para el análisis de lóbulos de transmisión

Si bien la metodología empleada se basa íntegramente en simulaciones, no se perderá el foco de la aplicación práctica respecto a las consecuencias de los distintos diseños e implementaciones.

El software empleado es **CST Studio suite - Student edition** versión 2020.

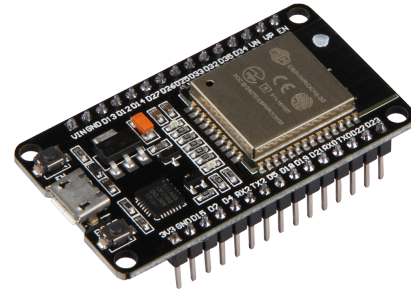


Figure 3 módulo ESP32

Dado que la antena, como es un dipolo (único puerto), se mide el parámetro S_{11} y el lóbulo de transmisión como punto de partida a las conclusiones.

Para las distintas consideraciones respecto a los parámetros a variar, se hará uso del modelo de línea de transición como recomienda [O.Losito \(2014\)](#). De esta manera, se empleará recursivamente la simulación a los efectos de definir la influencia de cada parámetro de forma individual y su peso en el conjunto de cambios propuestos.

Datos disponibles

Se trabajará sobre las hojas de datos del fabricante del módulo ESP32, **ESPRESSIF SYSTEMS**, quienes facilitan las especificaciones de interés como lo son particularmente las características del sustrato, espesor y tipo de material de las pistas y geometría en general del diseño.

Fabricantes

Respecto a las variantes que analizaremos, tomamos como referentes de fabricación de circuitos impresos a las empresas:

A nivel internacional:

- PCBWay
- Next PCB
- JLC PCB
- PCB gogo

Y a nivel local:

- Daichi circuitos S.A.
- Ernesto Mayer S.A.
- SEI circuitos impresos

Se toma como referencia las especificaciones disponibles por cada proveedor para decidir en un ejercicio simple cual de ellos sería la mejor opción en el diseño final. No habrá referencia alguna a los costos de fabricación.

Diseño

El diseño tendrá como referencia una de las dos variantes más habituales en antenas **MIFA**. En la imagen puede verse la topología básica del diseño. No obstante, se analizará oportunamente las referencias dimensionales.

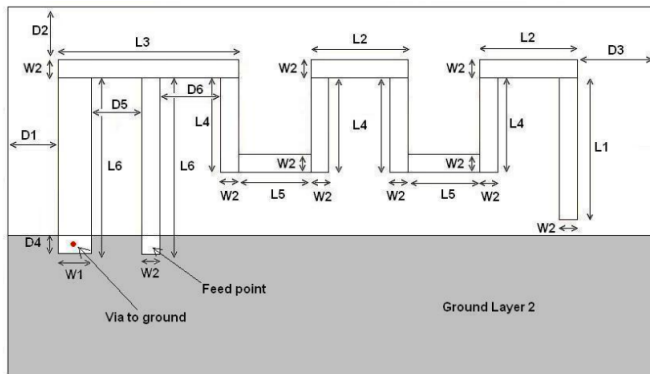


Figure 4 referencia dimensional de antena MIFA



Figure 5 Coordenadas en CST

Diseños en CST

Previo al análisis, se debe hacer mención a la nomenclatura que se emplea.

Las coordenadas quedan enmarcadas en los ejes y versores de las ternas $(X,Y,Z) \Rightarrow (u,v,w)$

Respecto a los ángulos, CST impone al ángulo entre **Z** y el plano **XY** como θ (theta) y al ángulo entre **X** y el plano **YZ** como ϕ (phi)

Reproducción del diseño del modulo

En primera instancia se muestran a modo de calibración de la herramienta CST, y como primer acercamiento a la misma, el diseño al pie de la letra con las dimensiones y materiales informadas por el fabricante de EST32.

Se debe hacer mención a la necesidad de establecer parámetros, tantos como sean posibles, en vista que el diseño inicial, no fue para nada simple. Relativizar las cotas, si bien fue muy prometedor, no es lo indicado para cada dimensión planteada.

En el diseño se informan las siguientes cotas, en referencia a la figura 4:

Dentro de CST, el diseño inicial contempla desde el puerto de entrada (indicado con la medida $W2$), teniendo en cuenta la conexión al plano de masa con la vía sugerida en la nota de aplicación [TI \(2008\)](#) sobre la traza indicada con la medida $W2$ para cumplir con esta característica del tipo monopolo de la antena.

En la vista del diseño inicial, se aprecia que la morfología empleada se cumple dimensionalmente así como en lo que respecta al plano de tierra. De esta manera, en el primer ensayo se busca, al menos un acercamiento lo más fiel posible al diagrama polar, lobular y a la curva de S_{11} en función de la frecuencia de operación.

| Ref | Medida |
|-----|---------|
| L1 | 3.94 mm |
| L2 | 2.70 mm |
| L3 | 5.00 mm |
| L4 | 2.64 mm |
| L5 | 2.00 mm |
| L6 | 4.90 mm |
| W1 | 0.90 mm |
| W2 | 0.50 mm |
| D1 | 0.50 mm |
| D2 | 0.30 mm |
| D3 | 0.30 mm |
| D4 | 0.50 mm |
| D5 | 1.40mm |
| D6 | 1.70 mm |

Cuadro 1 medidas originales ESP32

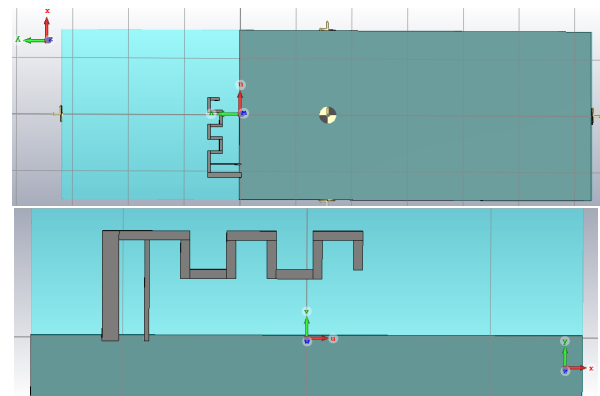


Figure 6 Diseño inicial de la placa

Inicialmente, se opta por una vía completamente solida. En los que respecta a los resultados iniciales, a continuación se exponen los gráficos más significativos de la simulación. El fabricante sugiere comenzar con un sustrato, en principio, exagerado dimensionalmente, aunque no da mayores precisiones al respecto. El tamaño del sustrato, es en si una de las primeras variantes a analizar. Como se aprecia, no se tiene en cuenta las medidas **D1**, **2** y **3**.

Respecto de la ubicación de la antena se parte de la siguiente posición respecto del sustrato creado.

Durante la etapa de caracterización y las simulaciones, la ubicación de la antena es un parámetro a modificar por lo que para realizar comparaciones respecto de los resultados se utiliza la disposición indicada en la figura 7

Diagramas polares de directividad inicial

A continuación se detallan los valores iniciales de simulación respecto a cada ángulo.

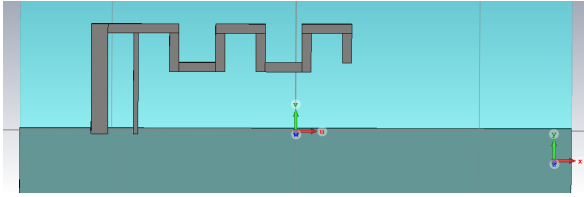


Figure 7 Posición de la antena respecto de los bordes del sustrato

Diagrama de directividad para $\phi = 0$

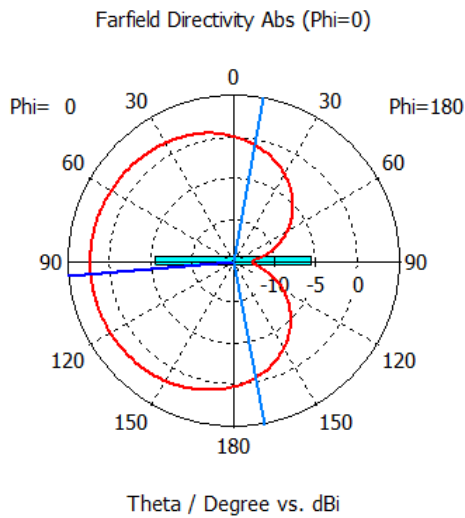


Figure 8 Diagrama polar $\phi = 0$

Se aprecia (figura 8) el lóbulo principal radiando desde la antena hacia la dirección opuesta al plano de masa, visto desde la figura 6, hacia la izquierda. Lo cual es coherente respecto a las sugerencias de diseño expuestas en la nota de aplicación [Espressif Systems \(2016\)](#). En la misma recomienda dejar espacio libre en la dirección de Y positivos.

Diagrama de directividad para $\phi = 90$

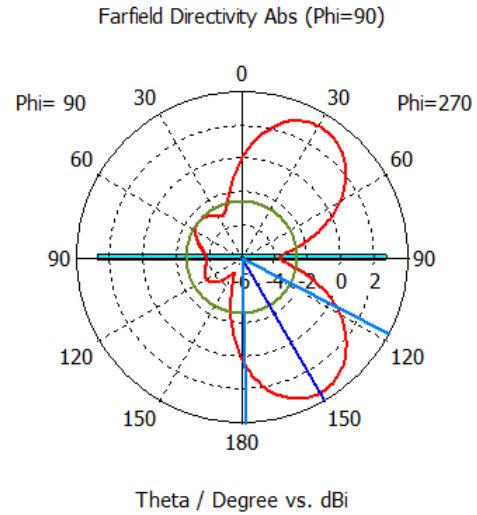


Figure 9 Diagrama polar $\phi = 90$

En este caso (figura 8), visto desde el borde derecho con referencia en la la vista 6, se concluye rápidamente que se transmite preferentemente el la dirección X, donde se encuentra la terminación de la antena, la cual, como se verá, genera un dipolo capacitivo respecto al plano de masa.

Diagrama de directividad para $\theta = 0$

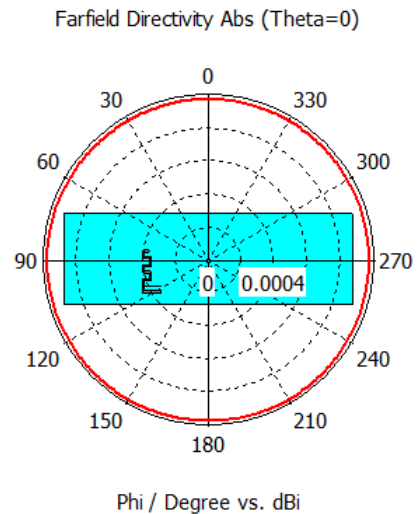


Figure 10 Diagrama polar $\theta = 0$

Se adjunta la imagen al solo efecto de enmarcar de forma completa las vistas. No obstante es interesante ver el campo de radiación relativamente homogéneo en la figura 10.

Impedancia y parámetros iniciales

De forma inmediata puede obtenerse un acercamiento a la frecuencia de trabajo de la antena tomando como indicador el parámetro S11, el mismo, como se muestra en la figura 11

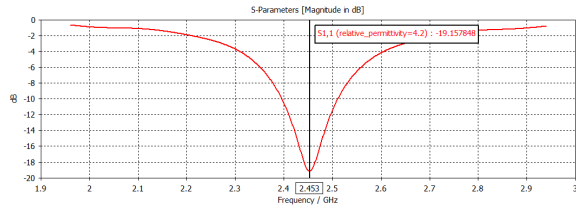


Figure 11 S11 vs frec

Accesoriamente, mediante el gráfico de la impedancia (Z11) (figura 12) se puede comprobar la adaptación, en este caso a 50Ω, con un mínimo corrimiento.

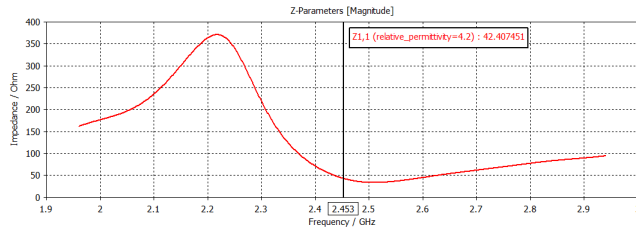


Figure 12 Z11 vs frec

Modificaciones en la morfología de la antena

En esta serie de simulaciones se procede a realizar cambios en la forma de la antena afectando aquellos parámetros de los que depende el largo y ancho de las trazas que conforman la antena.

Cambios en *vert_leg_n*

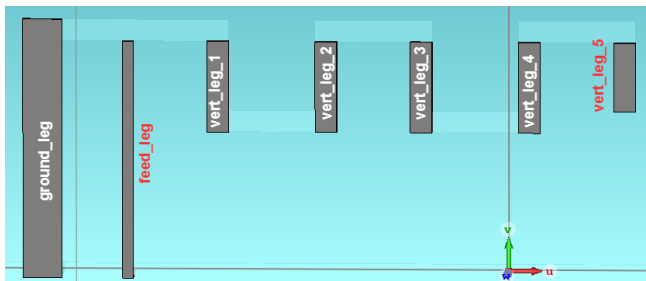


Figure 13 Pistas verticales

Variando el largo de las 4 pistas verticales (*vert_leg_1-4*) se efectuaron 8 mediciones distintas con un offset desde -1mm a +1mm respecto del layout de referencia.

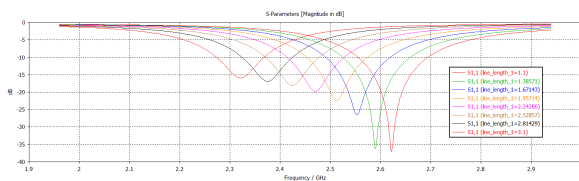


Figure 14 Parámetro S11 en función del largo de las pistas verticales

Para analizar el comportamiento respecto de campo lejano de la antena se toman los dos casos extremos 1,1mm y 3,1mm, en

cada uno de ellos se observa una frecuencia donde el valor de S11 es mínimo.

En primer lugar se realizó una simulación utilizando una longitud mayor al valor de referencia de 2.1mm:

- *largo* = 3,1mm
- *frecuencia central* = 2,322Ghz (según figura 14)

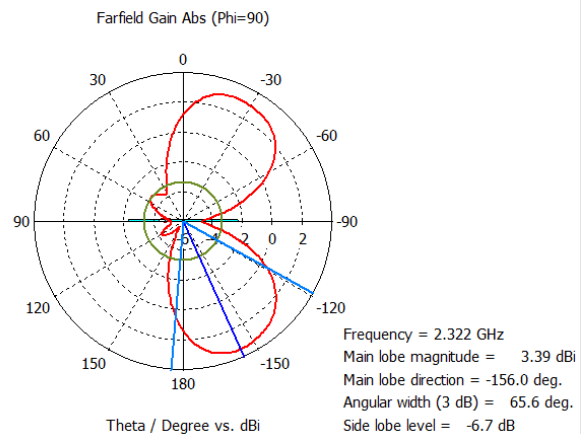
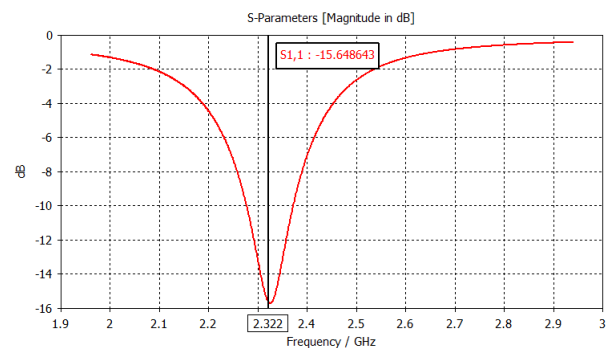


Figure 15 S11 para *largo* = 3,1mm

Por otro lado se realizó una simulación utilizando una longitud menor:

- *largo* = 1,1mm
- *frecuencia central* = 2,623Ghz (según figura 14)

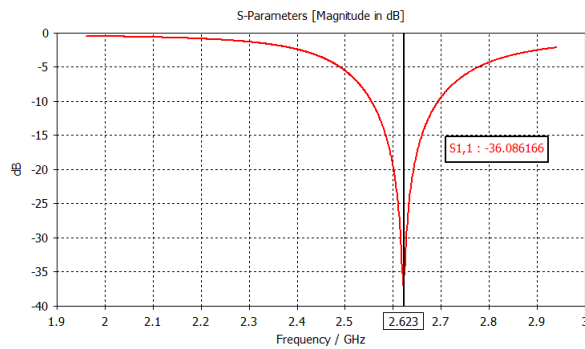


Figure 16 S11 y farfield para $largo = 1.1\text{mm}$

Cambios en $horz_leg_n$

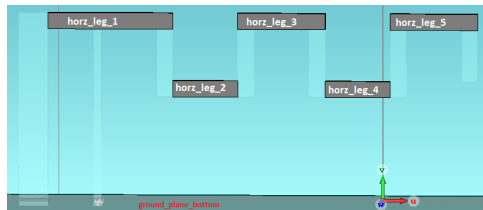


Figure 17 Pistas horizontales

Se realizo el mismo análisis, pero en este caso variando el largo de las 4 pistas horizontales (hor_leg_1-4). Se efectuaron 8 mediciones distintas con un offset desde -1mm a +1mm respecto del layout de referencia.

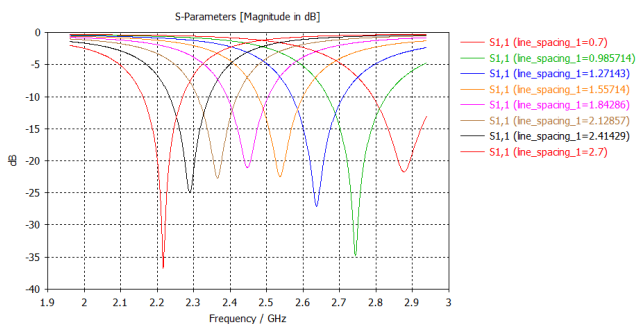


Figure 18 Parámetro S11 en función del largo de las pistas horizontales

Se volvió a calcular el campo lejano en los casos extremos 0.7mm y 2.7mm .

En primer lugar se realizo una simulación utilizando una longitud de 2.7mm :

- 2.7mm
- $frecuencia\ central = 2.2131\text{GHz}$ (según figura 18)

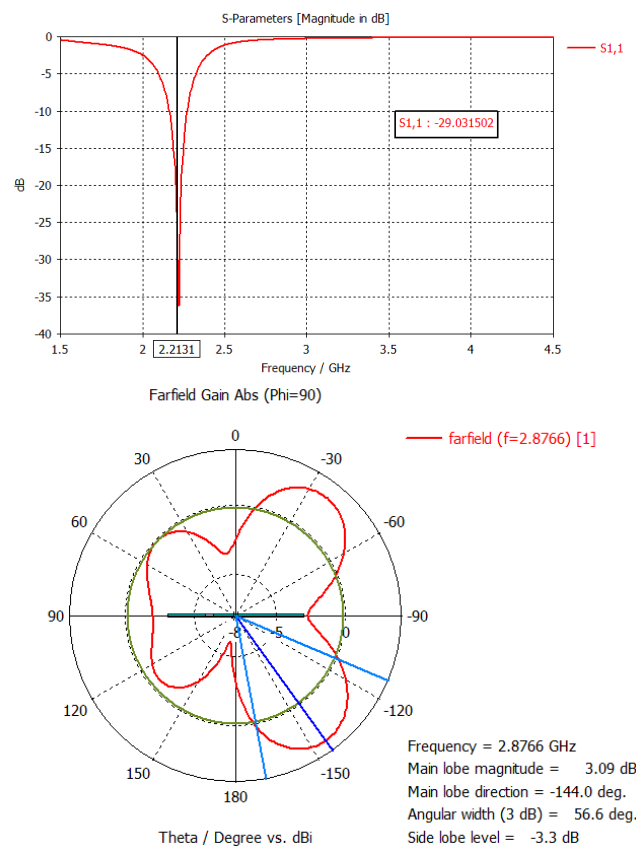


Figure 19 S11 y farfield para 2.7mm

Por otro lado se realizo una simulación utilizando una longitud menor, de 0.7mm :

- 0.7mm
- $frecuencia\ central = 2.87\text{GHz}$ (según figura 17)

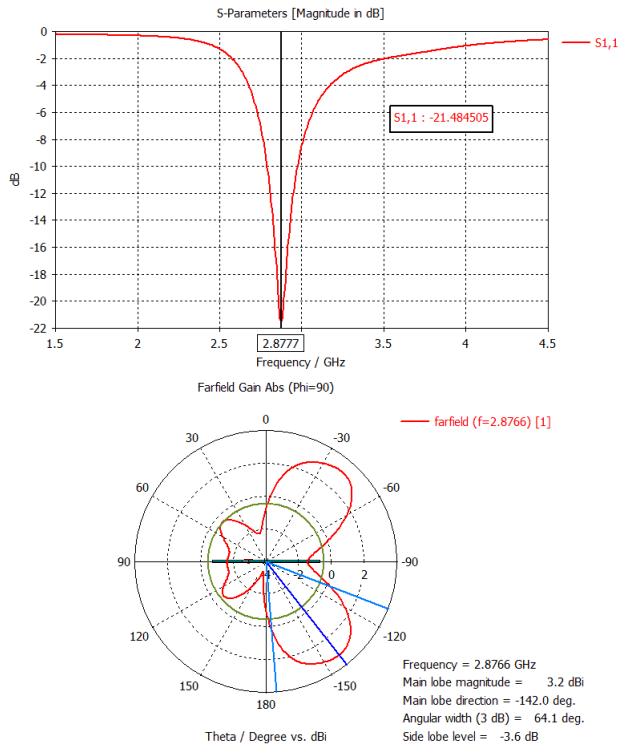


Figure 20 S11 y farfield para 0,7mm

Cambios en el ancho de pista

En esta serie de pruebas se modifico el ancho de la pista que forma la antena.

El valor de referencia es de 0.5mm por lo que se procede a realizar 8 mediciones alrededor de este valor desde 0.25mm a 0.75mm.

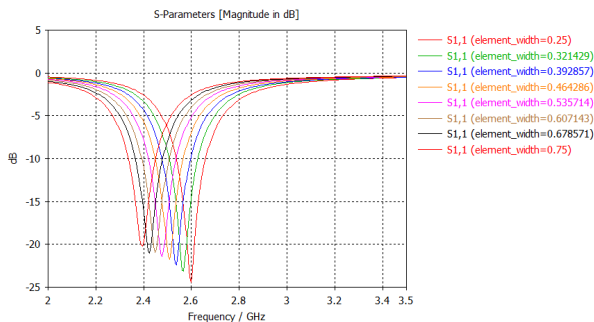


Figure 21 Parámetro S11 en función espesor de pista

Cambios en el largo del elemento final

El ultimo elemento de la antena sirve como elemento de ajuste fino de la frecuencia e impedancia de la antena. Por lo tanto realizando modificaciones en el mismo se puede hacer un ajuste fino en los parámetros de la antena.

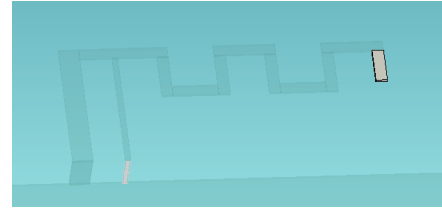


Figure 22 Vista del elemento final de la antena

Para comprobar esto se realizaron 8 mediciones desde 1.1mm a 3.1mm de largo.

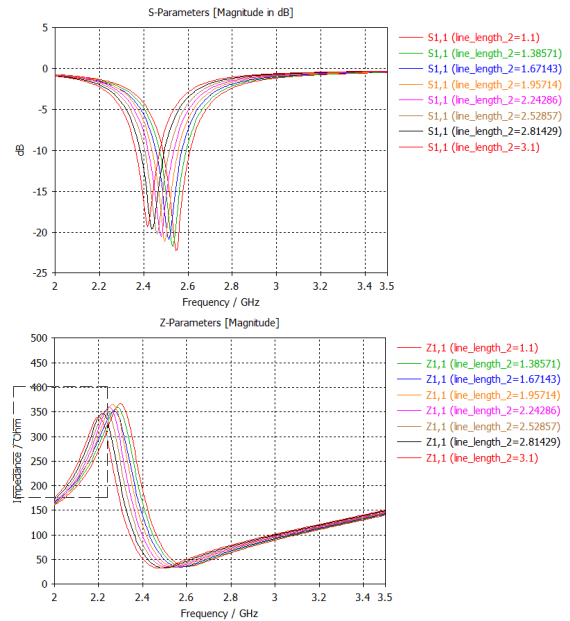


Figure 23 Parámetro S11 e impedancia de la antena en función del largo del elemento final

De este conjunto de modificaciones podemos decir que, como es de esperar, a mayor longitud del elemento radiante por un aumento de las pistas verticales u horizontales se observa una menor frecuencia de trabajo. Esto tiene correspondencia con el aumento de la longitud de onda. En las 4 serie de cambios que se realizaron respecto de la forma de la antena se observa este efecto.

Tanto en [21] como en [23] si bien las modificaciones son menores, se observa que esto tiene impacto en la longitud final de la antena.

Es interesante analizar la relación entre el parámetro S11 y las características del campo lejano de la antena:

- A mayor ancho de banda del parámetro S11, como se observa por ejemplo en la figura 15 la antena tiene un ángulo de directividad mayor.
- Lo mismo se aprecia con la potencia en dBi, la antena con menor ancho de banda en el parámetro S11 tiene una ganancia mayor (3.39dBi vs 3.61dBi)

Cambios sobre el sustrato

Se ataca el diseño desde diferentes modificaciones del diseño de referencia, inicialmente se analiza el cambio respecto al sus-

trato, tanto en el cambio de material como en la morfología del mismo.

Cambios de material ϵ_r

$\epsilon_r = 1$ El caso trivial muestra los siguientes cambios:

- Se deforman levemente el diagrama polar en lo que a directividad refiere.
- La frecuencia de trabajo se mueve de forma inversamente proporcional al ϵ_r
- A medida que decrece la permitividad relativa, la impedancia en el punto de operación

Gráficos de referencia:

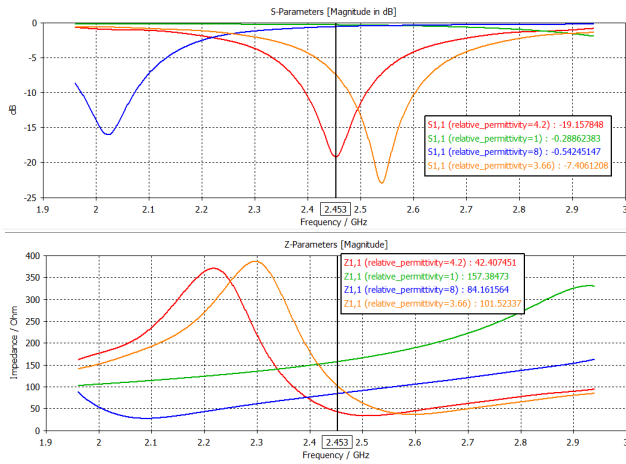


Figure 24 S11 y Z11 a diferentes ϵ_r

Como conclusión parcial, puede decirse que es conveniente un epsilon menor, lo cual, de forma aislada mejora la adaptación. A su vez se deberá optar por cambios que compensen el corrimiento en la frecuencia de trabajo.

En una serie de simulaciones más extensas se alcanza un valor de ϵ que mejora la condición de adaptación solo en función de esta variable como se aprecia en la figura 25, donde se toma nota de la frecuencia de trabajo en cada punto.

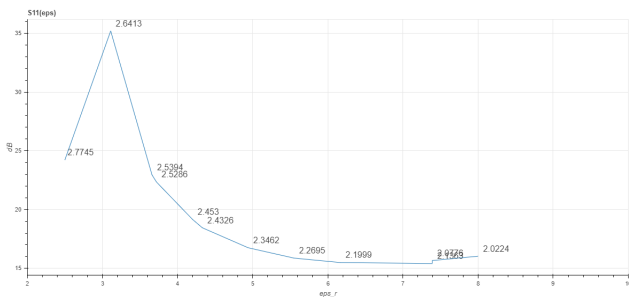


Figure 25 S11 en función de ϵ_r

En este sentido, de poder optar por un materia cuya permitividad relativa esté en torno a $\epsilon_r = 3,11$, se obtendrá en lo que respecta a este parámetro, la mejor adaptación.

Por ultimo, se estimo una relación funcional en base a los puntos simulados distanciados entre si linealmente con la herramienta *Curve Fitting*, paquete de *Matlab*:

$$S_{11}(\epsilon_r) = \frac{p_2 \epsilon_r^2 + p_1 \epsilon_r + P_0}{\epsilon_r^5 + q_4 \epsilon_r^4 + q_3 \epsilon_r^3 + q_2 \epsilon_r^2 + q_1 \epsilon_r + q_0} \quad (1)$$

cuyos coeficientes de mayor a menor subíndice son:

- $p = [21030, 6477, -117700]$
- $q = [111.7, -2803, 24600, -78960, 84220]$

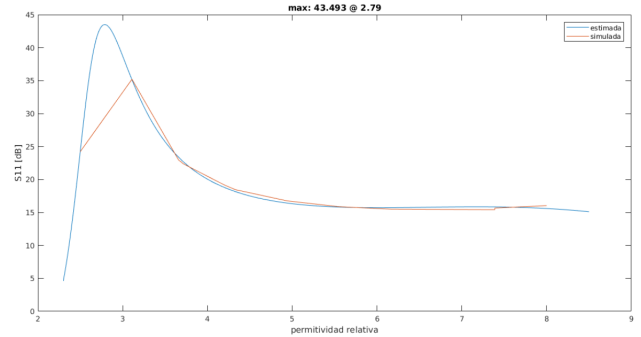


Figure 26 S11 en función de ϵ_r estimada

Al repetir la simulación en la vecindad de ese máximo estimado, se encuentra que el máximo real se encuentra para un $\epsilon_r = 2,95$, con un valor de $S_{11} = 50,9$. Tomaremos este valor como referencia a cotejar contra la oferta de materiales disponibles en futuras secciones. La figura 27 muestra la simulación con el detalle planteado tomando como fundamento la estimación.

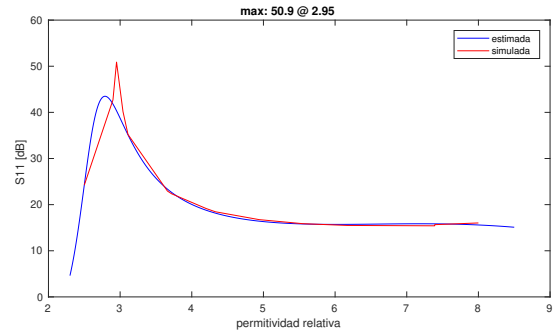


Figure 27 Curva de $S_{11}(\epsilon_r)$ detallada

Accesoriamente, se destaca que la morfología del lóbulo de radiación es estable frente a estos cambios.

Cambios del espesor del sustrato

Se opta por mantener las variables constructivas de referencia fijas de manera de ver únicamente la influencia del espesor del sustrato cuyo material es el FR4, dado que el mismo es un estándar para cualquier fabricante.

A diferencia de las estimaciones previas, en esta ocasión, está perfectamente tabulada la oferta más habitual para esta medida, con lo cual, la simulación se acota a estos valores. En la imagen 28 se aprecia una mejor adaptación para *espesor* = 0,8mm, no obstante, la frecuencia de dicho pico sufre un corrimiento. Se analiza posteriormente como aprovechar las variantes de diseño para usar este espesor en la medida de lo posible.

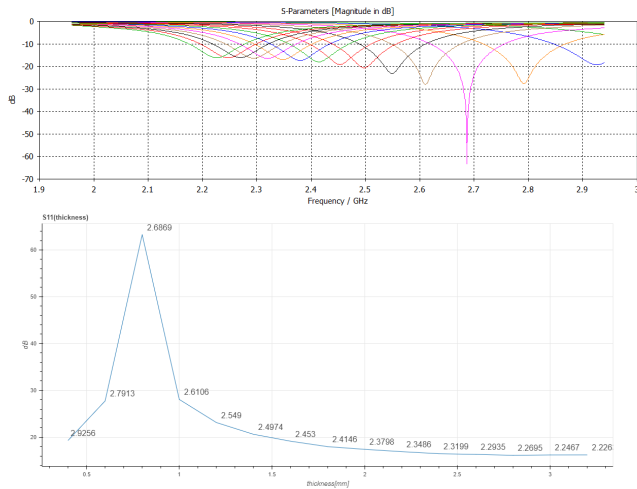


Figure 28 S_{11} pico para cada espesor con las frecuencias de ocurrencia

Cambios en el tamaño del sustrato

Sin mayores análisis, se logra apreciar que la adaptación mejora pero la potencia irradiada decrece. Dada la dificultad para concluir a través de la experimentación con estas cotas, se toma como cota mínima la implementada por el fabricante, la cual permite cierta soltura perimetral a los efectos de modificar el diseño aprovechando las características vistas hasta el momento.

Respecto a las magnitudes en coordenada X, solamente se consideran relevantes los resultados vistos en forma tridimensional para la longitud estándar de 30mm y para una propuesta de 60mm, sobre está última se encuentran que los resultados sobre el cambio del lóbulo de radiación fueron esperables (y el decremento de potencia) según lo visto en la nota de aplicación sobre placement [Espressif Systems \(2016\)](#).

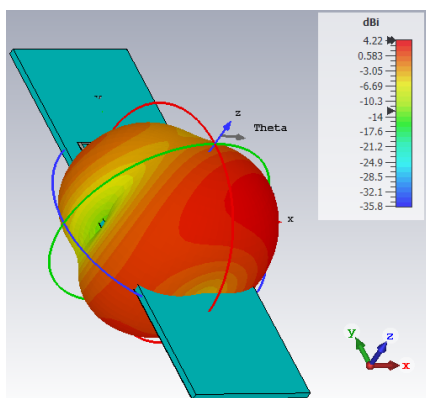


Figure 29 lóbulo de radiación para X=30mm

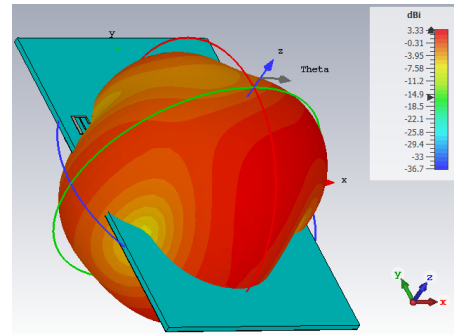


Figure 30 lóbulo de radiación para X= 30 y 60mm

En vista de lo obtenido, optaremos por conservar la longitud X tal como recomienda el fabricante. Vale aclarar que se realizó una simulación limitando la placa y la antena (en su traza terminal) en el mismo punto. No obstante carece de sentido acotar al límite esta medida dado que deberá obtenerse previamente un diseño final. Por su parte, los cambios respecto a X=30mm no revisten grandes cambios.

Si es de notar que se comprueba empíricamente que la mejor posición para colocar el módulo en cuestión es aquella donde la antena encuentre espacio libre para radiar como se aprecia en la figura 31.

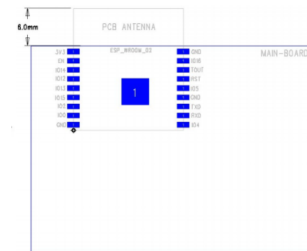


Figure 31 Posición preferida para implementación en función al lóbulo de radiación

Finalmente, se destaca que la influencia en la dirección Y no tiene consecuencias relevantes en lo que respecta a eventuales mejoras, por lo cual, estas magnitudes no se modificarán a menos que el diseño lo imponga.

Variantes sobre espesor de metal

Este es el caso donde la dispersión de los resultados en función a las opciones de fabricación no presentan diferencias significativas. Dado que en particular, el mercado local no ofrece especificaciones del espesor sino que entregan dicho dato en formato de peso por pulgada cuadrada o decímetro cuadrado, resulta un alivio que variación de las características electromagnéticas de la antena no sufran cambios importantes respecto a esta variante. En la figura 32 se exagera la variación pero se recomienda especial atención a la escala presentada.

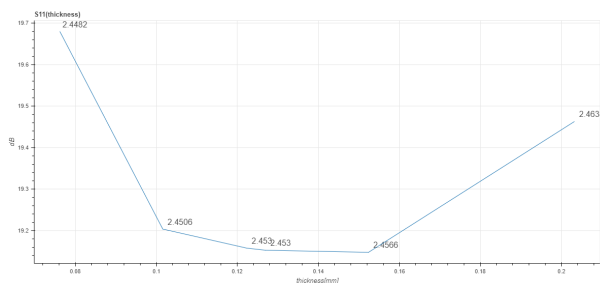


Figure 32 S_{11} pico por espesor de capa metálica con las frecuencias de ocurrencia

Integración de parámetros mejorados

A través del análisis de los resultados obtenidos del estudio aislado de los cambios en los parámetros de diseño, se busca una mejora en la antena para corroborar la practicidad de esta topología a la hora de implementar una antena impresa.

Dado que se requiere datos sobre las posibilidades admisibles en el diseño de manera continua, ha sido difícil el ida y vuelta con los fabricantes locales donde no se cuenta con una cotización automatizada. Es por ello que los cambios registrados a continuación son aquellos posibles en la cotización online de la empresa [PCBway](#)

Primera aproximación sobre mejoras posibles

Como se adelantó, será de particular interés el parámetro S_{11} cuidando la impedancia que la antena ofrecerá al circuito transmisor - receptor. Accesoriamente, se busca que el lóbulo de transmisión no sufra mayores cambios, pero a conciencia que la potencia de salida podrá verse afectada.

Para esta primera versión de la mejora se trabaja sobre la **longitud de la antena**, donde se mantiene la relación de aspecto del serpenteo y el **ancho del sustrato**, siendo este último acotado por los fabricantes citados.

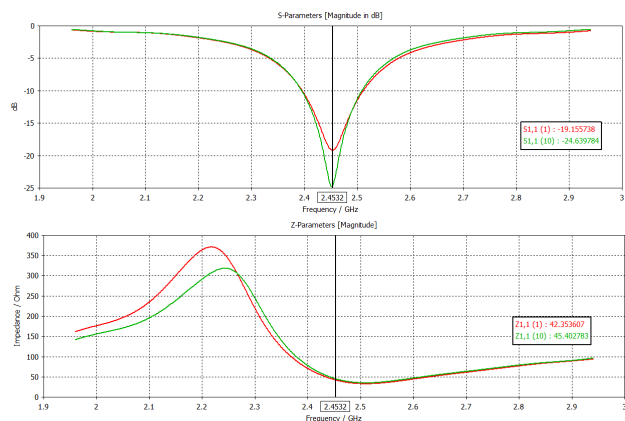


Figure 33 resultados para ancho de sustrato=1mm y espacio entre tramos de 2.22mm

El punto de partida, informado por el fabricante del módulo ESP32, [Espressif](#) comprende:

- $\epsilon_r = 4,2$ para sustrato FR4
- sustrato de 1.6mm, estándar.
- espacio entre tramos de 1.7mm

Adaptando a sabiendas que ya la longitud de la antena deja de ser $\lambda/4$, el diseño tiene un comportamiento superador en lo que refiere a la adaptación. Hemos de admitir que el decremento de la potencia transmitida en torno a 0.7 dB queda enmarcado en concepto de pérdidas pero se lo estipula como admisible en vista a la simpleza de las variantes.

Mejora en función de los parámetros más accesibles

Si bien se realizaron pruebas en torno a 200 simulaciones, alguna de ellas por pasos, no se considera necesario especificar aún más cada una de ellas.

La opción superadora vista a continuación fue generada en función al cambio del espesor del sustrato y equalizando la frecuencia de operación a través de la separación del serpenteo, manteniendo el sustrato FR4.

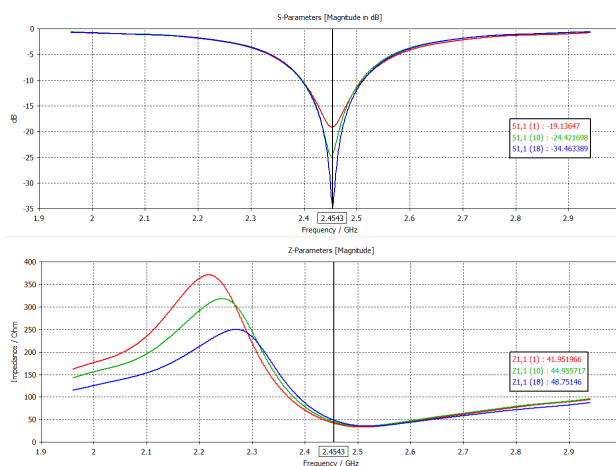


Figure 34 resultados para ancho de sustrato=0.6mm y espacio entre tramos de 2.815mm (azul) comparado contra diseño inicial y primera mejora

Por su parte, el lóbulo de radiación permanece inmutable respecto a su forma, con lo cual, las características radiantes permanecen inmutables. Respecto a la potencia, en comparación a la primera propuesta, la desviación es despreciable, por lo cual aceptamos esta última como una opción perfectamente válida.

Conclusiones

En base a la siguiente tabla de conclusiones parciales, se analizarán las combinaciones de características a modificar en lo que se sugiere como un diseño superador. Debe mencionarse que dichas conclusiones se toman de forma aislada basadas en simulaciones que modifican individualmente cada variable posible.

Con lo visto en la tabla 2, se realizaron cambios en la estructura, tanto de la antena así como en la placa en sí misma. Si bien existen estimaciones aún por probar, el equipo de trabajo se limitó a aquellas variantes que contemplaban los siguientes puntos.

- Todo cambio debe ser realizable de forma relativamente sencilla a partir del diseño de la antena. Desde este punto de vista las modificaciones más simples de implementar son aquellas en las dimensiones de la antena/ancho del sustrato.

Cuadro 2 Conclusiones generales

| Parámetro modificado | resultado obtenido |
|---|--|
| ϵ_r | A partir del máximo, decrece S_{11} al crecer ϵ . No presenta cambios morfológicos en el lóbulo de radiación. |
| Espesor de sustrato | A partir de 0.8mm, la adaptación decrece |
| Espesor del metal | No resulta significativo en el diseño |
| Longitud de sustrato en X | A mayor medida, aumenta S_{11} pero decrece la potencia y se deforma el lóbulo |
| Longitud de sustrato en Y | No presenta características relevantes |
| Variaciones en el largo, afectando pistas verticales | A mayor largo, menor frecuencia de adaptación y una menor selectividad de la antena. |
| Variaciones en el largo, afectando pistas horizontales | A mayor largo, menor frecuencia de adaptación y una menor selectividad de la antena. Además se observa un aumento de la selectividad |
| Cambios en el ancho de las pistas del elemento radiante | Se observa un pequeño cambio en la frecuencia de adaptación. |
| Ajuste del largo de traza terminal | Pequeño cambio en la impedancia, al crecer el largo, crece la impedancia. |

- El diseño se debe enmarcar en las posibilidades técnicas del proveedor de PCB de referencia. Hemos seleccionado PCBway.
- Solo serán admisibles aquellas variantes que no conlleven un incremento significativo de los costos de producción.
- De haber una mejora significativa que valga la pena estudiarse, la misma debe convivir en los plazos y costos del plan del diseño.

Por su parte, se llegó a una mejora aceptable a razón de unos pequeños cambios como se menciona en la página 10 los cuales serán tenidos en cuenta en futuras implementaciones.

Accesoriamente, más allá de posibles implementaciones sin mediar con módulos del estilo ESP32, ha sido revelador poder analizar la importancia de la ubicación de la antena en un diseño integral o aún en fase de prototipo como se vio en la página 9.

Trabajos futuros

Consideraciones sobre el factor de forma

Desde el punto de vista del manejo de potencia que hace la antena, hay 3 factores a tener en cuenta como indica Cypress:

- **Potencia reflejada:** Relacionado con el parámetro S_{11} .
- **Potencia disipada en la antena:** Representa las pérdidas en el dieléctrico y el conductor que forma parte del elemento radiante.
- **Potencia irradiada:** Es la potencia útil, la cual se analiza en términos de la directividad de la antena y los dBi, para esto se utiliza los patrones de radiación.

Como se observa en las conclusiones 10 las modificaciones se analizaron desde el punto de vista que más afecta la electrónica que rodea a la antena que es la potencia reflejada al circuito, esto se ve en el parámetro S_{11} .

Queda pendiente hacer un análisis de cómo influyen los cambios en la morfología y materiales de la antena en el factor de forma, que es en parte el responsable de la potencia disipada en la antena, como se puede ver en Cypress

Diseño en vista al lóbulo de radiación

En los ensayos expuestos se tomó como eje de discusión la adaptación en mayor medida buscando no mutar mayormente

el lóbulo inicial.

Será de interés analizar los parámetros que permitan llevar el lóbulo hacia una dirección preferida más allá de la inicial.

Referencias

- Cypress, 2018 Antenna design and rf layout guidelines esp32 hardware design guidelines.
- Espressif, 2019 Esp32 hardware design guidelines.
- Espressif Systems, A., 2016 Esp-wroom-02 pcb design and module placement guide. Espressif Systems .
- O.Losito, D., V. Dimiccoli, 2014 Meander-line inverted f antenna designed using a transmission line model. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014) .
- PCBway, 2020 online quote. PCBway webpage. <http://www.pcbway.com>.
- TI, A., 2008 Small size 2.4 ghz pcb antenna. Texas Instrument .