

# *Diseño de Antena Patch Multibanda para Wi-Fi 2.4, 5 y Wi-Fi 6E con plano de tierra defectuosa*

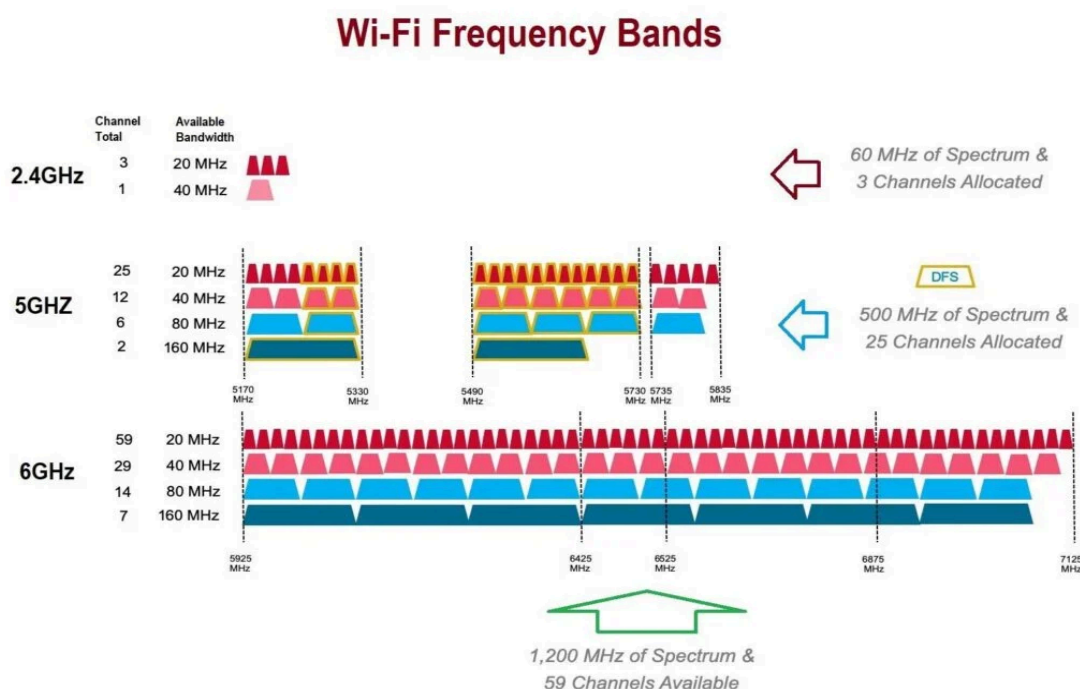


*Integrantes: Paredes Solórzano, Angélica María ; Vale, Fernando Alexis*

## **1.Introducción**

La comunicación inalámbrica es un sector de rápido crecimiento que influye significativamente en mejorar el nivel de vida de las personas. A lo largo de la evolución tecnológica, desde la primera generación hasta la actual, se han añadido nuevas tecnologías para garantizar la calidad de vida de los usuarios.

En el ámbito de las tecnologías WiFi, los dispositivos modernos que soportan WiFi 5 y WiFi 6 operan a 2,4 GHz y 5 GHz, bandas que ya no son suficientes para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad y baja latencia. Por ello, se ha desarrollado el estándar WiFi 6E (Extendido) que utiliza frecuencias de 5,925 a 7,125 GHz para aumentar la cantidad de dispositivos conectados simultáneamente y ofrecer mejores velocidades de conexión y menor latencia. Las antenas que proporcionan conexión WiFi deben ser omnidireccionales para garantizar una amplia cobertura y una conexión cómoda para el usuario. Sin embargo, la instalación de antenas adicionales incrementa la complejidad del diseño de los dispositivos y requiere más espacio.



En este contexto, la antena de parche microstrip ha añadido una nueva dimensión al crecimiento de las comunicaciones inalámbricas. Generalmente, consta de tres capas: un sustrato con una constante

dieléctrica fija, un parche metálico y una capa de tierra. Estas antenas son cruciales para los sistemas de comunicación que requieren características como tamaño compacto, peso ligero, fácil proceso de fabricación y amplio ancho de banda. Fabricadas principalmente de cobre, las antenas de parche microstrip pueden adoptar diversas geometrías, aunque las formas rectangular y circular son las más utilizadas. Su tamaño depende de la constante dieléctrica del sustrato, siendo menor con una constante más alta.

En nuestro caso, proponemos el diseño de un arreglo de antenas de 16 elementos utilizando material FR4, que nos permite acceder a las bandas de Wi-Fi 5, Wi-Fi 6 y Wi-Fi 6E. Este arreglo de antenas de parche microstrip fue simulado en CST Studio Suite 2021 y probado experimentalmente para verificar los resultados del diseño propuesto, que ofrece operación en múltiples bandas con alta ganancia estable.

## 2. Diseño del Arreglo de Antenas

Para el diseño de nuestra antena, realizamos una investigación detallada y consultamos varios artículos sobre el tema. Después de evaluar múltiples opciones, tales como un array simple con parches rectangulares [2], antenas monopolos de doble banda con elementos parásitos L invertida [3], antenas rectangulares con slots en U [4], y otras antenas monopolos [5], también se observaron antenas con aplicaciones en computadoras Laptop [6] [7] [8] [9]. Se optó por una estructura en particular como base para nuestro diseño [10], a la cual procedimos a adaptarla para nuestros datos y materiales a nuestra disposición.

La investigación abarcó desde el conocimiento sobre la red de alimentación corporativa y estructuras de tierra defectuosas[11][12][13][16], hasta la revisión de conceptos aprendidos en clase, como las matrices y sus aplicaciones.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un sustrato **FR4** con una permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de 4.3 y una tangente delta de 0.02, con un espesor de 1.6 mm.

## 3. Marco Tecnológico

En la actualidad, la creciente demanda en el área de las telecomunicaciones ha llevado a la integración de diferentes tecnologías en equipos de usuario de tamaño reducido. Esto ha fomentado el desarrollo de antenas compactas, conocidas como antenas microstrip. Aunque estas antenas tienen ventajas como peso ligero y tamaño pequeño, presentan desventajas en cuanto a diseño, ancho de banda reducido, baja eficiencia y pérdidas ocasionadas por ondas superficiales.

### 3.1 Estructuras de Tierra Defectuosas (DGS)

Las antenas microstrip son susceptibles a presentar pérdidas cuando se encuentran en diferentes tipos de sustratos, lo que ha impulsado la creación de soluciones para mejorar su rendimiento. Para abordar estos problemas, se emplean diversas técnicas, como el uso de materiales de alta permitividad para mejorar la eficiencia y el desarrollo de diseños innovadores que optimizan la distribución de corriente y minimizan las pérdidas.

Otra solución efectiva es la Estructura de Tierra Defectuosa (DGS, por sus siglas en inglés)[16] [5][12][19][20]. La DGS consiste en introducir ranuras geométricas uniformes o no uniformes en el plano de tierra de los circuitos de microondas. Este método permite mejorar la ganancia y el ancho de banda de la antena sin aumentar sus dimensiones, optimizando parámetros como S11 y VSWR. Además, la reducción del plano de tierra puede lograr un incremento del ancho de banda, permitiendo la capacidad de trabajar en múltiples bandas.

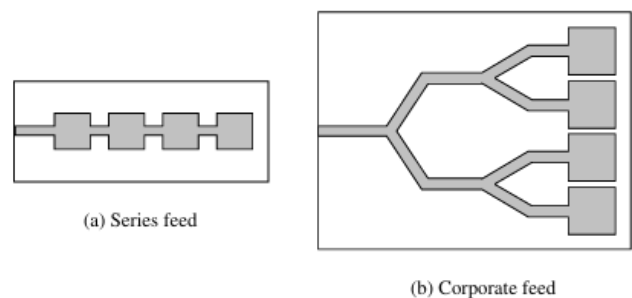
### 3.2 Matrices de Antenas

Como estudiamos en el curso, las antenas microstrip se utilizan no solo como elementos individuales sino que son muy populares en matrices. Las matrices o arrays son agrupaciones de antenas que se caracterizan por la unión de elementos similares excitados a través de una red de alimentación. Las matrices son muy versátiles y se utilizan, entre otras cosas, para sintetizar un patrón requerido que no se puede lograr con un solo elemento[1].

### 3.3 Red de Alimentación Corporativa

Los elementos pueden ser alimentados por una sola línea o por varias líneas en una disposición de red de alimentación, siendo las más conocidas la red de alimentación serie y la red de alimentación corporativa.

La antena diseñada utiliza la técnica de alimentación corporativa (Corporate feed networks), la cual es la técnica de alimentación más utilizada para fabricar conjuntos de antenas[14]. En este método, la potencia incidente se divide y distribuye por igual entre los elementos individuales de la antenna. Este tipo de alimentación se emplea para divisiones de potencia de  $2^n$  (donde  $n=2,4,8,16,32$ , etc.) [1]. El ancho de banda del array está limitado por el ancho de banda de los elementos radiantes y de las líneas de transmisión (Garg et al., 2001).



### 3.4 Antenas Patch: Circulares y Rectangulares

Las antenas patch son conocidas por su ligereza y menor tamaño en comparación con otros tipos de antenas comúnmente utilizadas en satélites. Sin embargo, presentan el inconveniente de causar corrientes superficiales, lo que provoca una disminución en la eficiencia, ganancia y ancho de banda de la antena.

Este fenómeno también puede ser analizado a través del estudio de las líneas Microstrip. En una línea Microstrip, existen varias ondas presentes, algunas de ellas son [17]:

- Ondas Espaciales: Son las ondas que son enviadas al espacio libre, pierden magnitud y se atenúan conforme aumenta la distancia. En el diseño de antenas, tienen gran importancia ya que son las radiadas, mientras que si se habla de líneas de transmisión o circuitos microstrip estas ondas significan pérdidas en la aplicación buscada y por lo tanto tratan de eliminarse.
- Ondas Superficiales: Éstas ondas se desplazan a lo largo de la superficie del dieléctrico, en lugar de irradiarse hacia el espacio libre. A medida que las ondas superficiales se propagan, parte de la energía se disipa en forma de calor debido a las pérdidas dieléctricas y de conducción, lo que puede reducir la eficiencia de la antena. Por otro lado, pueden interferir con las ondas radiadas, alterando el patrón de radiación de la antena y afectando su directividad y ganancia. Otro efecto puede ser la introducción de errores en el acoplamiento de las impedancias en el circuito.

- Ondas de Fuga: Similares a las ondas superficiales. Las ondas inicialmente son reflejadas en el plano tierra como superficiales, viajan en el dieléctrico en dirección de la tira conductora, posteriormente, cuando las ondas alcanzan la entre cada del sustrato y el espacio libre, una parte de las ondas es reflejada nuevamente mientras que otra se fuga al espacio libre. Este proceso se repite y como una parte sale al espacio libre, la magnitud de las ondas que se van reflejando dentro del sustrato va decreciendo con la distancia hasta que desaparecen después de cierto recorrido.

### Antenas Circulares

En las antenas circulares, existe un solo grado de libertad: el radio. Este parámetro controla la frecuencia de resonancia, la impedancia de entrada y el patrón de radiación. Las antenas circulares son ideales para proporcionar un haz omnidireccional, lo que las hace útiles en aplicaciones donde se necesita cobertura en todas las direcciones[1],[15].

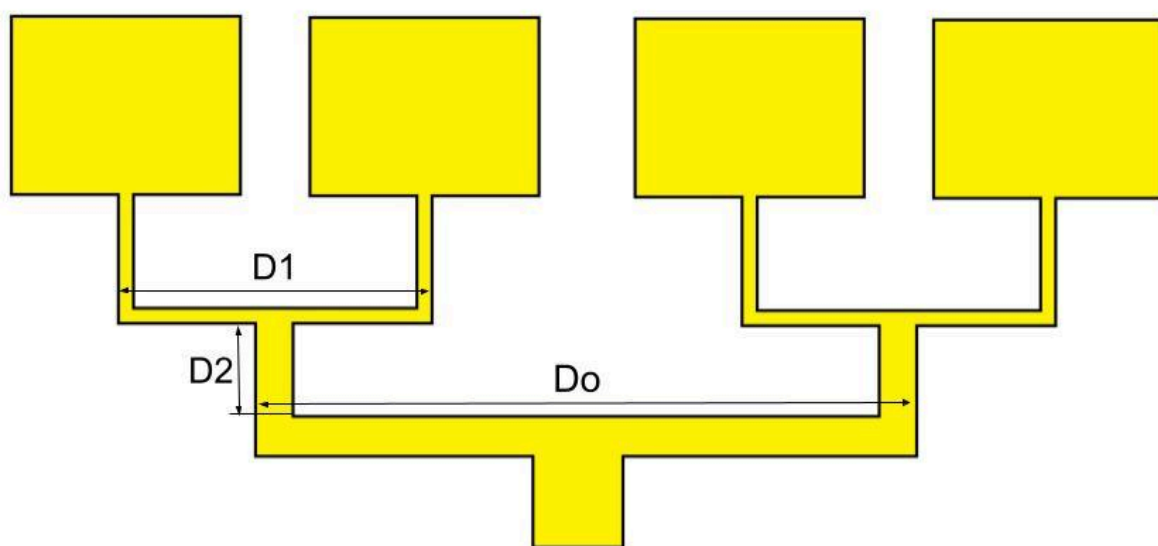
### Antenas Rectangulares

Por otro lado, las antenas rectangulares tienen dos grados de libertad: la longitud (L) y el ancho (W). La longitud L controla la frecuencia de resonancia [1], mientras que el ancho W controla la impedancia de entrada y el patrón de radiación.

### Combinación de Antenas Circulares y Rectangulares

La combinación de antenas circulares y rectangulares puede aprovechar las ventajas de ambos tipos [18]. Mientras las antenas circulares proporcionan una cobertura omnidireccional, las rectangulares permiten un control más preciso de la frecuencia de resonancia y la impedancia de entrada. Esta combinación puede optimizar el rendimiento de las antenas en diversas aplicaciones de telecomunicaciones y radar.

## **3.5 Adaptación de Impedancia**



$$D_0 = 2\lambda \quad , \quad D_1 = \lambda \quad , \quad D_2 = \lambda/4$$

Para el armado de la red de alimentación partimos de una simplificación del conjunto de elementos considerando solo los 4 elementos como se observa en la figura anterior. A partir de allí calculamos la impedancia de entrada de un único parche utilizando la ecuación:

$$R_{in} = 90 \frac{(\epsilon_r)^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)$$

Para la adaptación de impedancias de la red de alimentación se utilizaron transformadores de  $\lambda/2$  y  $\lambda/4$ . Partimos de los elementos radiantes que tienen una impedancia de entrada  $Z_{in}=252,14[\Omega]$ . Se conectan mediante líneas de transmisión de longitud de  $\lambda/2$  cada una o una única línea de longitud de  $\lambda$ . Al unir las en paralelo, la impedancia total se calcula utilizando la siguiente fórmula:

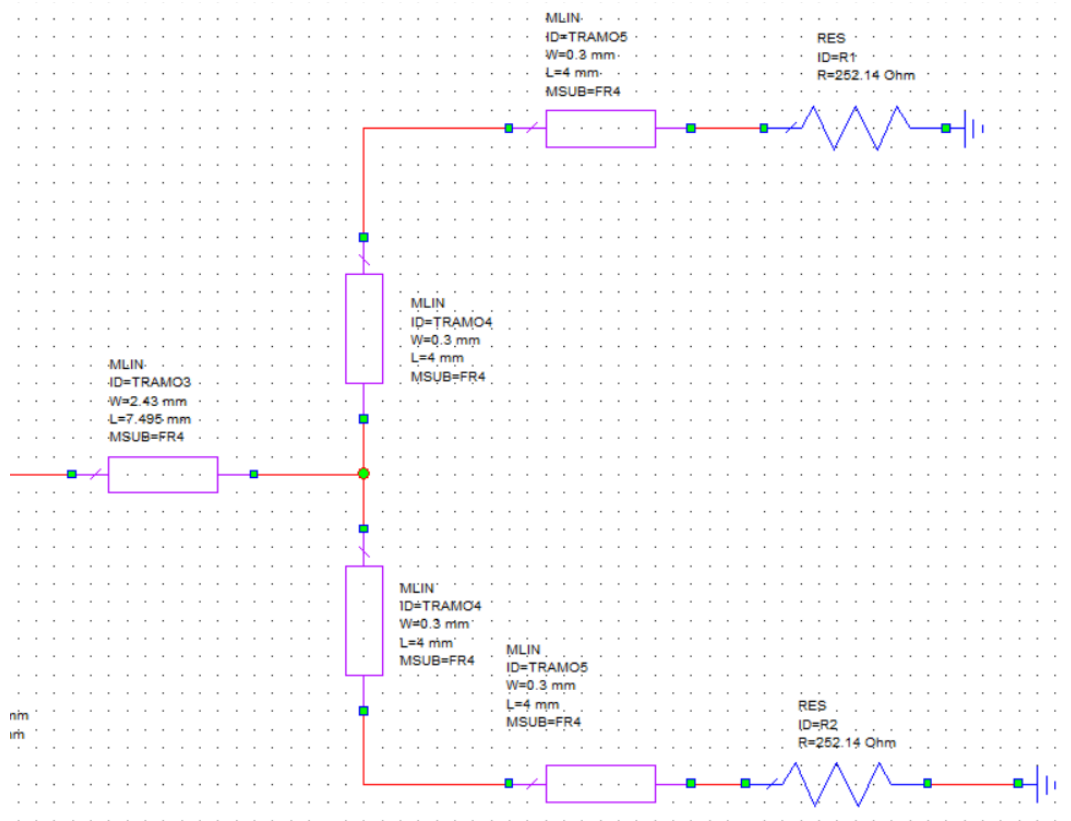
Bajo el supuesto que  $Z_1=Z_2$ , se obtiene la impedancia en ese punto. Para conseguir una impedancia total de  $50[\Omega]$  se necesita de una impedancia de  $100[\Omega]$  en paralelo en la entrada. Para lograr esto, se utilizó primero un transformador de  $\lambda/4$  para obtener los  $100 [\Omega]$  requeridos y posteriormente se usaron líneas de longitud de  $\lambda$  para mantener el valor de  $100[\Omega]$  , logrando así una impedancia total de  $50[\Omega]$  en paralelo .

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

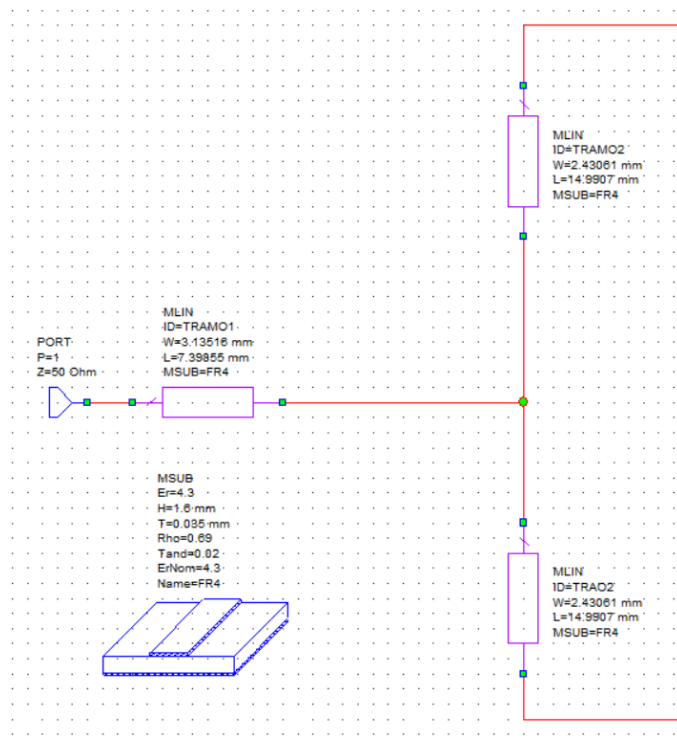
En AWR utilizamos el TXline para obtener las longitudes y anchos de las líneas de transmisión que se utilizarían en este tipo de red de alimentación. A partir de estos datos se trabajaron en la simulación y se fueron modificando hasta conseguir la respuesta deseada.

Los valores teóricos obtenidos fueron:

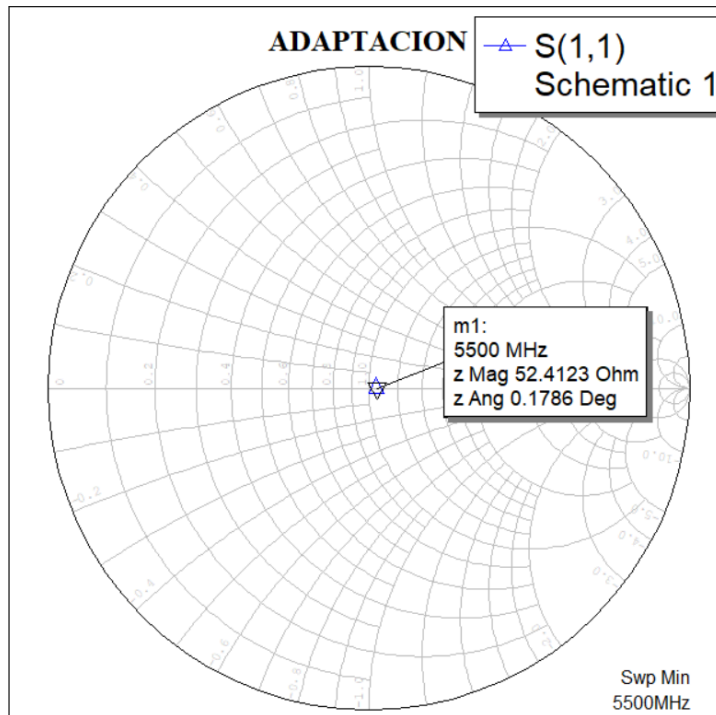
Gráfico 1 se observan los valores originales de longitud y ancho que obtuvimos de los tramos 5,4 y 3.



En este segundo gráfico presentamos los tramos 2 y 1 con los valores de longitud que obtuvimos originalmente.



A continuación colocamos la Carta de Smith donde observamos si la adaptación que realizamos fue correcta.



De la gráfica podemos apreciar que se necesitan ajustar los valores para que esté bien adaptada pero estos valores nos dan una base para empezar a ajustar a las características que deseamos en nuestra antena.

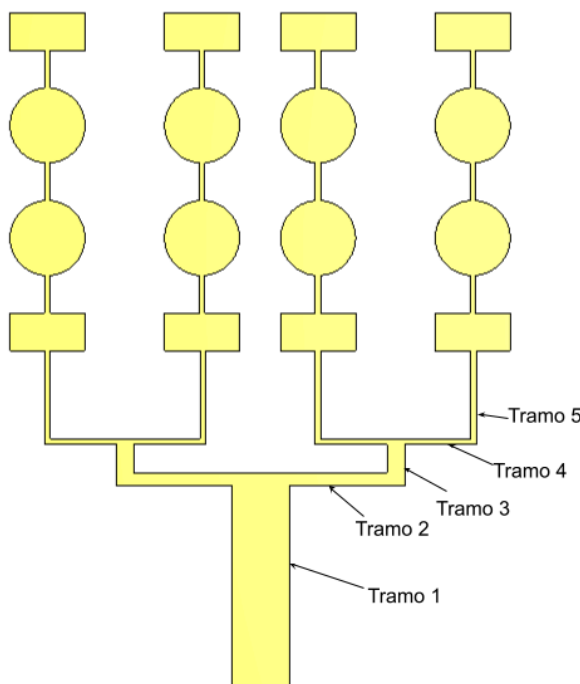
A partir de allí se realizaron ajustes en el simulador para obtener las resonancias en las zonas deseadas. Dando como resultado las diferentes dimensiones mostradas en la siguiente sección.

## 4. Diseño de la antena

### Dimensiones:

A continuación mostramos las dimensiones que tiene nuestra antena[10][20]:[hay alguna referencia al tamaño de las antenas? ]

❖ Parche:



### **Parche Rectangular:**

Ancho(a) = 4 mm. Alto(b)= 2 mm.

**Parche Circular:** Radio(r)= 2 mm.

*Las uniones entre los distintos parches tienen una dimensión de: Largo: 2 mm y un Ancho: 0.3 mm.*

Luego la parte de alimentación se dividió por tramos.

### **Tramo 1:**

Ancho: 3.07 mm. Largo: 11 mm.

### **Tramo 2:** extremo a extremo

Ancho: 0.7 mm. Largo: 13.5 mm.

### **Tramo 3:**

Ancho: 0.95 mm. Largo: 2.22 mm.

### **Tramo 4:** extremo a extremo

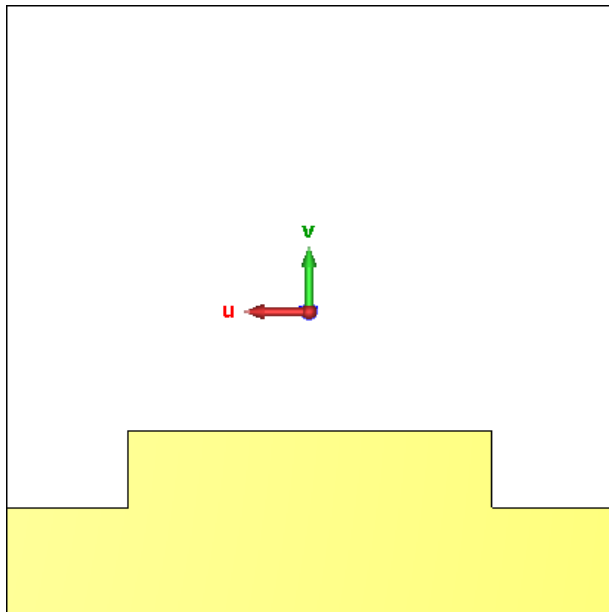
Ancho: 0.3 mm. Largo: 8 mm.

### **Tramo 5:**

Ancho: 0.3 mm. Largo: 5 mm.

❖ Tierra:

Para el mismo consideramos un bloque principal (central) y dos secundarios, las dimensiones del mismo son[10][20]:



**Bloque Principal:**

Ancho: 24 mm. Largo: 12 mm.

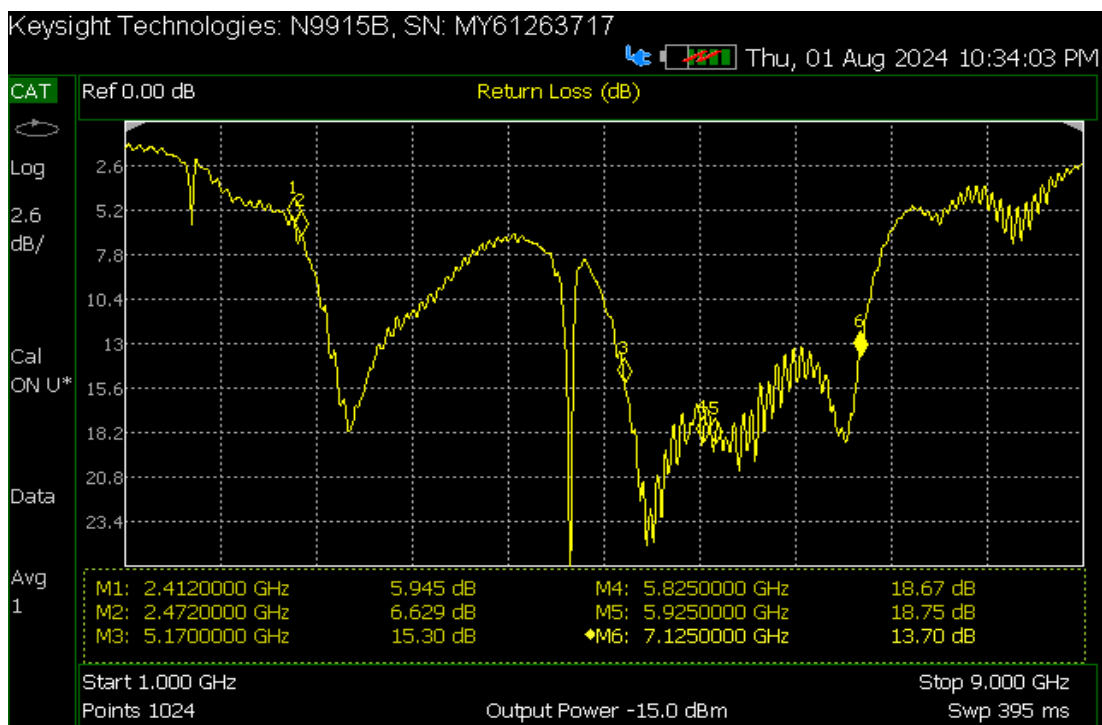
**Bloques secundarios:**

Ancho: 8 mm. Largo: 7 mm.

*Es decir un ancho total de 40 mm, al considerar los anchos de los bloques.*

**Mediciones:**

La medición se realizó utilizando un analizador de redes Keysight Technologies N9915B. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica adjunta, que presenta la pérdida de retorno (Return Loss) en función de la frecuencia, abarcando un rango de 1 GHz a 9 GHz



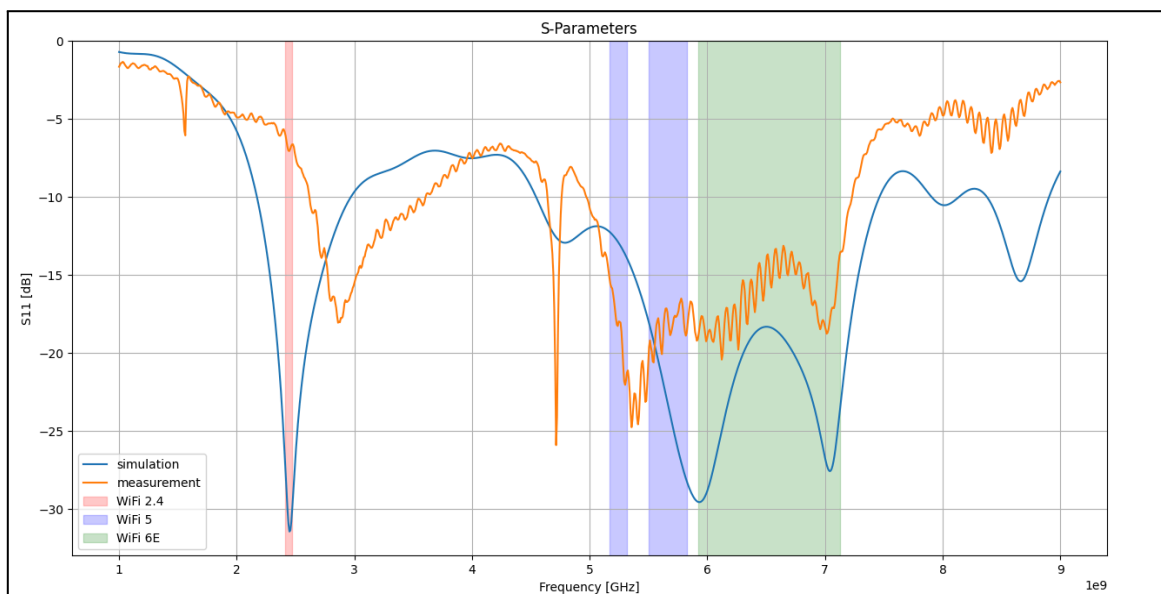
Zonas de interés:



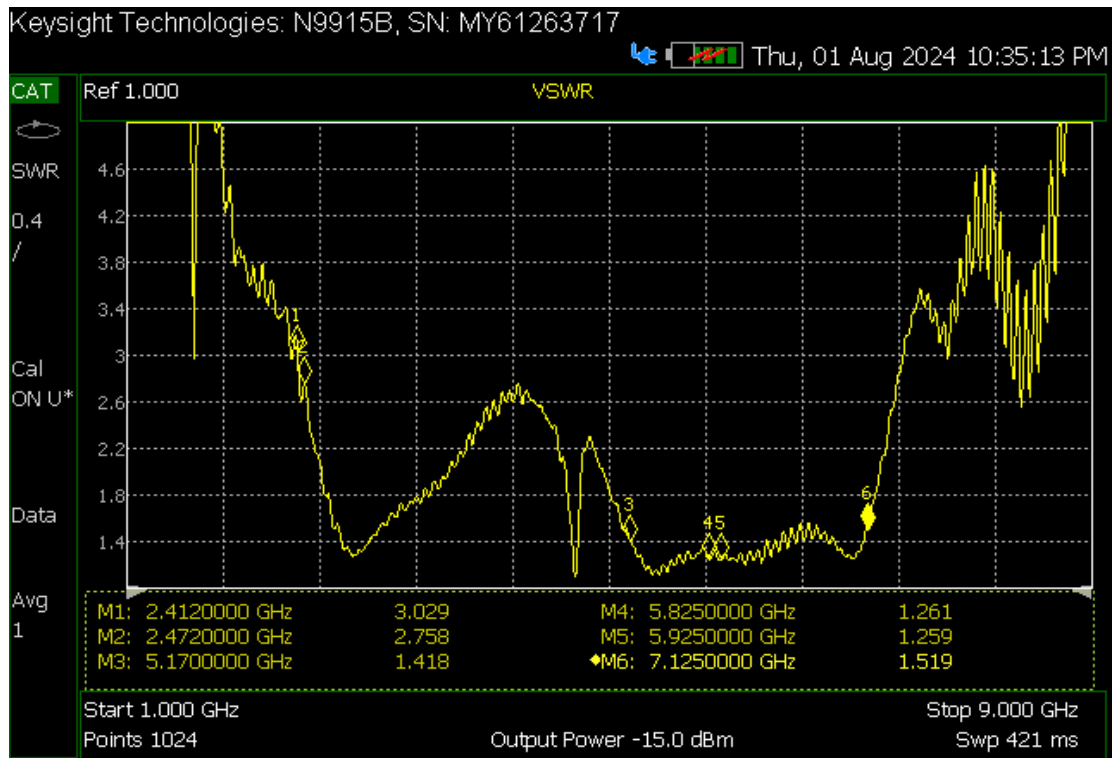
- 2.4 GHz (M1-M2): La medición mostró un desplazamiento en la banda de 2.4 GHz. Los valores medidos fueron 2.412 GHz con una pérdida de retorno de 5.945 dB y para 2.472 GHz una pérdida de retorno de 6.629 dB. En la gráfica se puede apreciar claramente un desplazamiento de la banda, por lo que es necesario un ajuste para alinearse correctamente con la banda estándar de Wi-Fi.
- 5 GHz (M3-M4): Si bien esta banda se encuentra dividida en 2 zonas las cuales van desde 5.170 GHz a 5.32GHz y 5.5 GHz a 5.825 GHz. Las mediciones mostraron resultados dentro de los parámetros esperados.
- 6 GHz (M5-M6): Ésta banda está comprendida desde 5.925 GHz a 7.125 GHz. También mostraron muy buenos resultados.

Entonces, podemos apreciar que mientras la banda de 2.4 GHz necesita revisión y ajuste, el desempeño en las bandas de 5 GHz y 6 GHz es satisfactorio y cumple con los estándares esperados para aplicaciones de Wi-Fi 6E.

A continuación mostramos una gráfica más detallada entre la simulación y la medición:



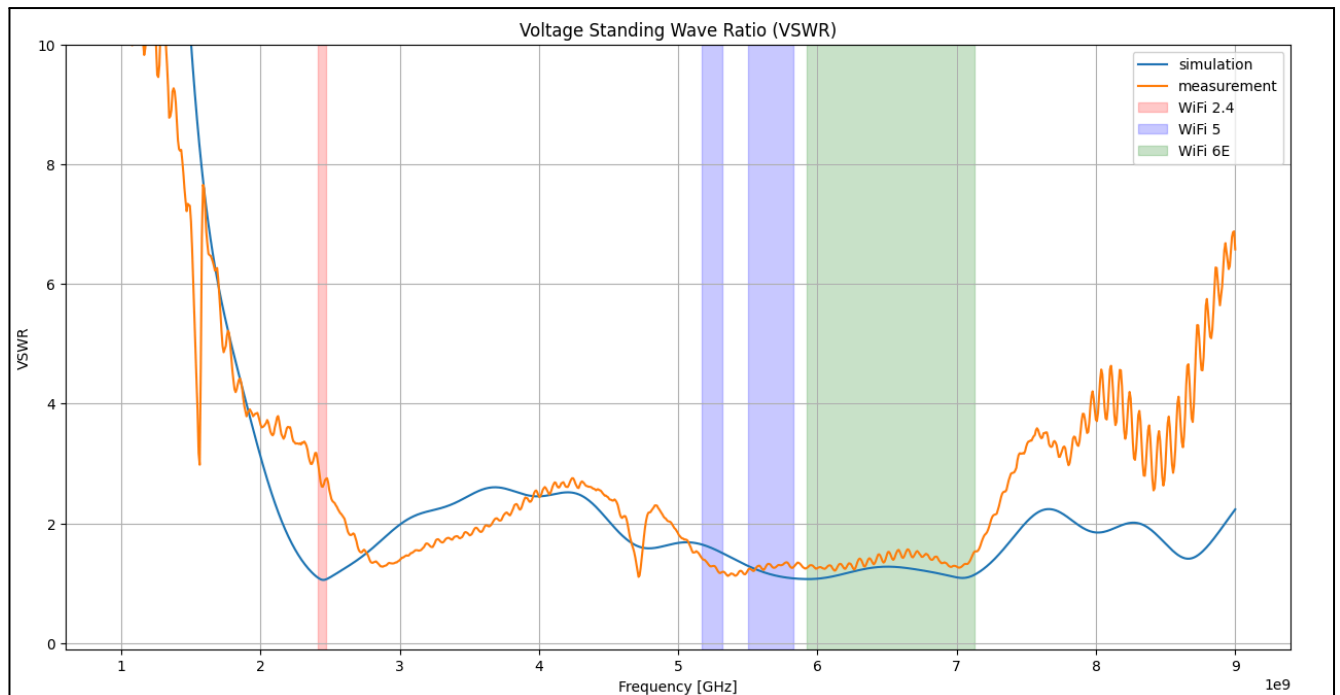
De igual manera se midió la ROE (Relación de Ondas Estacionarias)



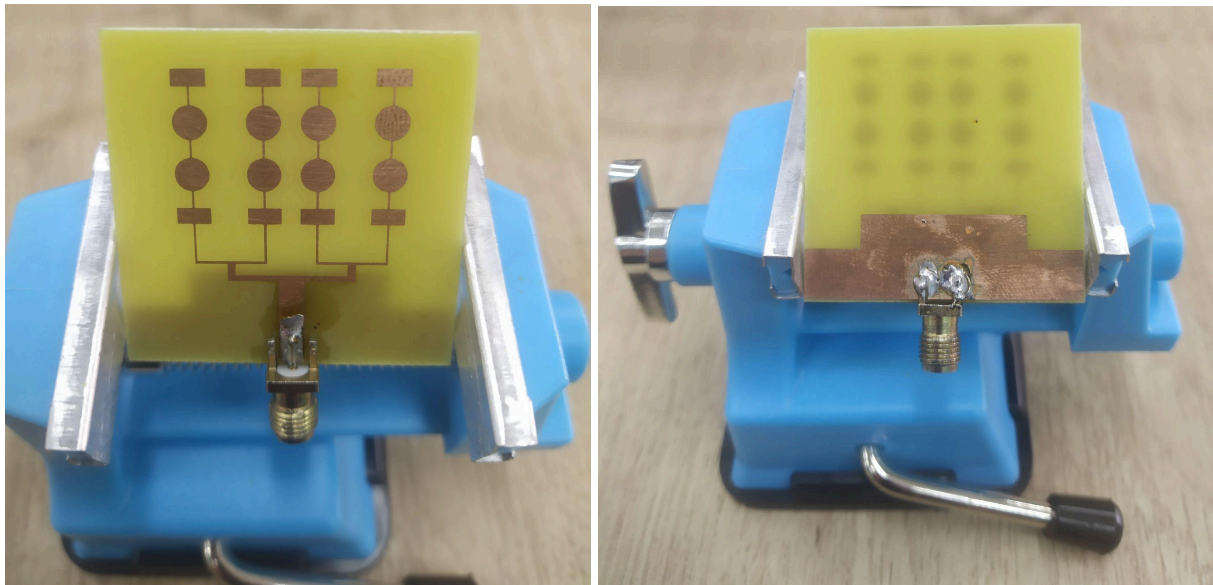
### Zonas de Interés:

- 2.4 GHz(M1-M2): Podemos ver que para M1 2.412 GHz, la ROE es de 3.029 y para M2 2.47 GHz, la ROE es de 2.758. Estos valores indican un desajuste en la banda de 2.4 GHz, ya que una ROE ideal debería ser cercana a 1 (un valor aceptable es por debajo de 2).
- 5 GHz(M3-M4): Para M3 5.17 GHz, la ROE es de 1.418 y para M4 5.825 GHz, la ROE es de 1.261. Estos valores son excelentes y muestran que la antena está bien ajustada en esta banda, con una ROE cercana al valor ideal.
- 6 GHz(M5-M6): Para M5 5.925 GHz, la ROE ES DE 1.259 mientras que para M6 7.125 GHz, la ROE ES DE 1.519. Por lo que la ROE en la banda de 6 GHz también muestra buenos resultados, con valores por debajo de 2, indicando un buen desempeño de la antena a estas frecuencias.

Para una mejor comparativa mostraremos una gráfica observando la simulación y medición obtenida:



## 5. Fotografías de la Antena Patch Multibanda en Sustrato FR4



## 6. Conclusión

En este trabajo, se presentó el diseño y evaluación de una antena patch multibanda para las bandas Wi-Fi 2.4, Wi-Fi 5 y Wi-Fi 6E, utilizando un plano de tierra defectuoso. Las simulaciones en CST Studio Suite 2021 y las pruebas experimentales confirmaron que la antena cumple con los requisitos de operación en múltiples bandas, demostrando alta ganancia y estabilidad.

Se observó una discrepancia en la banda de 2.4 GHz, donde las simulaciones mostraron un buen rendimiento, pero las mediciones experimentales no replicaron estos resultados. Esta diferencia puede deberse a tolerancias de fabricación, propiedades del sustrato y efectos de acoplamiento. Esto subraya la importancia de validar los diseños de antenas con pruebas experimentales además de simulaciones.

A pesar de esta discrepancia, los resultados generales indican que el diseño propuesto mejora la conectividad y el rendimiento en dispositivos que utilizan las nuevas tecnologías Wi-Fi. La implementación de estructuras de tierra defectuosas (DGS) y redes de alimentación corporativa fue clave para alcanzar estos resultados.

En conclusión, este trabajo establece una base sólida para futuros desarrollos en antenas patch multibanda, ofreciendo soluciones eficientes para satisfacer las demandas de las tecnologías inalámbricas avanzadas, con énfasis en la validación experimental.

## Referencias

- [1] “ Antenna Theory : Analysis and Design “. Constantine A. Balanis  
array simple
- [2] [A\\_1\\_2\\_Rectangular\\_Patch\\_Array\\_Antenna\\_for\\_6\\_GHz\\_WiFi\\_Applications](#)
- [3] [Planar Dual-Band Monopole Antenna with an Extended Ground Plane for WLAN Applications](#)
- [4] [Double U-Slot Rectangular Patch Antenna for Multiband Applications](#)
- [5] [UWB Antennas for Wireless Applications](#)
- [6] [Small Antenna Design of Triple Band for WIFI 6E and WLAN Applications in the Narrow Border Laptop Computer](#)
- [7] [TRIPLE-BAND STUB LOADED PATCH ANTENNA WITH HIGH GAIN FOR 5G SUB-6 GHZ, WLAN AND WIMAX APPLICATIONS USING DGS](#)
- [8] [Design of a Novel Triple Band Monopole Antenna for WLANWiMAX MIMO Applications in the Laptop Computer](#)
- [9] [Wi-Fi 6E Antenna Design for All-metal Housing of Notebook](#)
- [10] [A sixteen-element dual band compact array antenna for ISMBluetoothZigbeeWiMAXWiFi-2.456 GHz applications](#)
- [11] [Wideband Monopole Pentagon Shaped Slotted Antenna for WiFi6E Applications Based on Partial Ground Structure](#)
- [12] [Design and Analysis of Antennas operating at different frequency bands using CST](#)
- [13] [“Diseño de una Red de Alimentación para un Array Lineal en Tecnología Microstrip”-Sara Sanz Guirado , Titulación: Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación , Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación](#)

- [14] [\(PDF\) Design of  \$4 \times 2\$  Corporate Feed Microstrip Patch Antenna Using Inset Feeding Technique with Defective Ground Plane Structure \(researchgate.net\)](#)
- [15] [“Optimización de Antenas Microstrip Coplanar y Circular para Aplicaciones BAN a 2.45GHz” - Fredy Ballon Medina , IGnacio MEdina Cateriano](#)
- [16] [“Análisis de Líneas Serpenteadas Sobre Planos de Tierra para Aumentar el rendimiento en una Antena Microstrip en la Banda ISM” - Valeria Madelina Estrella Masabanda , Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador](#)
- [17] [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/herandez\\_a\\_r/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/herandez_a_r/capitulo3.pdf)
- [18] [Rectangular and Circular Microstrip Fed Patch Antennas](#)
- [19][\(PDF\) A Defected Ground Structure \(DGS\) Antenna for WiMAX Applications \(researchgate.net\)](#)
- [20][Miniaturized microstrip antenna array using defected ground structure with enhanced performance - ScienceDirect](#)