

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS TIPO SEPTUM PARA BANDA  
DE ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:  
CHRISTIAN ALEXANDER CARRIÓN CRUZ  
JENNY ANDREA CHANCUSIG COLIMBA**

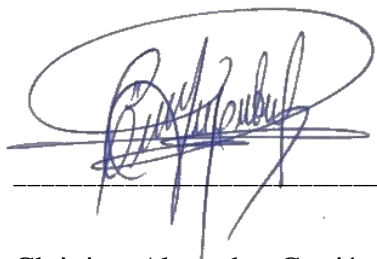
**TUTOR:  
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

**Quito, Septiembre de 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

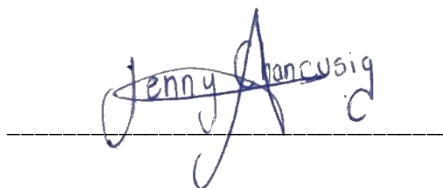
Nosotros Christian Alexander Carrión Cruz y Jenny Andrea Chancusig Colimba, con documentos de identificación N° 1721259214 y N° 1721417937 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS TIPO SEPTUM PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Christian Alexander Carrión Cruz

CI: 1721259214



Jenny Andrea Chancusig Colimba

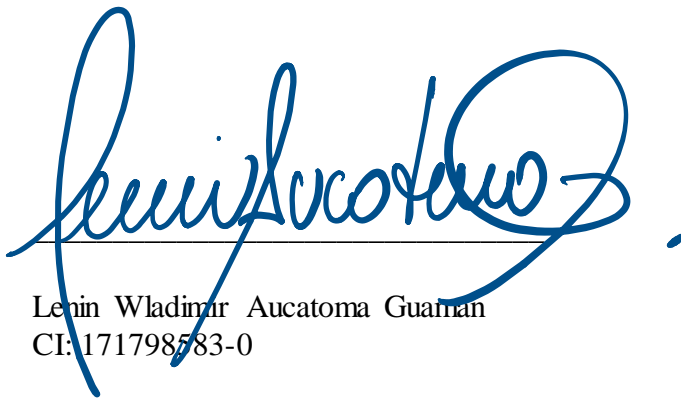
CI: 1721417937

Quito, Septiembre del 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS TIPO SEPTUM PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA realizado por Christian Alexander Carrión Cruz y Jenny Andrea Chancusig Colimba, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre de 2021



Lenin Wladimir Aucatoma Guaman  
CI: 171798583-0

# Diseño de un arreglo de antenas tipo Septum para banda de onda milimétrica.

Aucatoma Guamán Lenin  
Wladimir

Ingeniería Electrónica  
Docente Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
laucatoma@ups.edu.ec

Carrión Cruz Christian  
Alexander

Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
ccarrionc@est.ups.edu.ec

Chancusig Colimba Jenny  
Andrea

Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
jchancusig@est.ups.edu.ec

**Resumen**— En este artículo se presentan arreglos lineales Nx1 tipo septum compuestos de un grupo de antenas con características idénticas que se ajustan para la banda de onda milimétrica a una frecuencia de 60 GHz utilizando el software de simulación Ansys HFSS con un límite de antenas N=4. En el arreglo lineal 2x1 se obtuvo una ganancia de 2.8dB con un ancho de haz de 212°, el arreglo lineal 3x1 un valor de ganancia de 4.5dB con un ancho de haz de 64° y el arreglo lineal 4x1 una ganancia de 4.9 dB y un ancho de haz de 62° por ello se determinó a mayor número de antenas tipo septum aumenta la ganancia en comparación a una antena individual y su patrón de radiación es más directivo. Realizando un análisis comparativo en el aumento de antenas en cada arreglo lineal el coeficiente de reflexión S11 y VSWR aumentan en comparación a la antena individual.

**Palabras Clave**— Arreglo de antenas, parámetros de dispersión, VSWR, Onda milimétrica, Patrón de radiación.

**Abstract**— This article presents septum type Nx1 line arrays composed of a group of antennas with identical characteristics that are adjusted for the millimeter wave band at a frequency of 60 GHz using the Ansys HFSS simulation software with an antenna limit of N = 4. In the 2x1 line array a gain of 2.8dB was obtained with a beam width of 212°, the 3x1 line array a gain value of 4.5dB with a beam width of () and the 4x1 line array a gain of 4.9 dB and a beam width of 62°, for this reason, a greater number of septum type antennas was determined, increases the gain compared to an individual antenna and its radiation pattern is more directive. Carrying out a comparative analysis between each arrangement, the 4x1 linear arrangement is identified as the best experimental fit with a reflection coefficient of S11 at -19.027 dB and VSWR of 1.951.

**Keywords**— Antenna array, dispersion parameters, VSWR, Millimeter wave, Radiation pattern.

## I. INTRODUCCIÓN

La inclinación hacia una nueva tecnología conocida como redes de quinta generación (5G) utilizadas en redes móviles basadas en ondas milimétricas (mmW) que corresponden a un rango de longitud de onda de 10 mm a 30GHz que se acorta a 1 mm a 300 GHz y viene dada por  $\lambda = c / f$ , ofreciendo latencias de 1ms [1], éstas redes inalámbricas llegan a velocidades de datos en Gigabit por segundo (Gbps) ofreciendo mayor cobertura, conectividad y rendimiento [1][2]. Una de las ventajas de las bandas de ondas milimétricas es facilitar un espectro electromagnético mayor en comparación con las bandas de microondas [3]. Al ser éstas bandas más altas suministran mayor ganancia, permitiendo el uso de arreglos de antenas para mejorar la ganancia de potencia de forma que neutralice las pérdidas de transmisión de datos para ondas milimétricas [3].

Las polarizaciones septum figuran ser atractivas para bandas de ondas milimétricas (mmW) debido a sus propiedades: baja complejidad, facilidad de fabricación [4]. Utilizan polarizaciones circulares (CP) a partir de excitaciones lineales [6], disminuyendo la interferencia en el trayecto de las ondas electromagnéticas, permitiendo un aumento de robustez contra el desvanecimiento de las señales [5]. El polarizador septum al estar ubicado en el centro de una guía de onda rectangular incrementa el ancho de banda de la antena, además de optimizar la polarización de la antena se puede circundar la dirección y distribución de propagación del campo electromagnético [7]. Suprimiendo la excitación y resonancia que existe en la apertura de la guía de onda logrando un mejor rendimiento de la señal [7].

Se propone diseñar arreglos lineales Nx1 para demostrar el aumento de ganancia en comparación a una antena individual septum conforme se incrementa el número de antenas, y observar el comportamiento en: patrón de radiación mediante

graficas dimensionales y tridimensionales, ancho de banda (BW), coeficiente de dispersión S (1.1), relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR).

## II. DISEÑO DE LA ANTENA

En los arreglos lineales  $N \times 1$  se limitó como estudio en un máximo de  $N=4$  elementos, obteniendo por prueba y error 3 diseños propuestos con valores de  $N= 2, 3, 4$ . Cada antena se caracteriza por llevar dos polarizaciones de forma triangular dentro de una guía de onda tipo bocina rectangular, excitada mediante un lumped port con una impedancia de entrada 50 (ohm) a una frecuencia de 60GHz.

En la figura 1 se muestra las mediciones de las capas de la antena tomando como base el trabajo de investigación de una antena individual tipo septum debido a que opera a una frecuencia de 60 GHz [6].

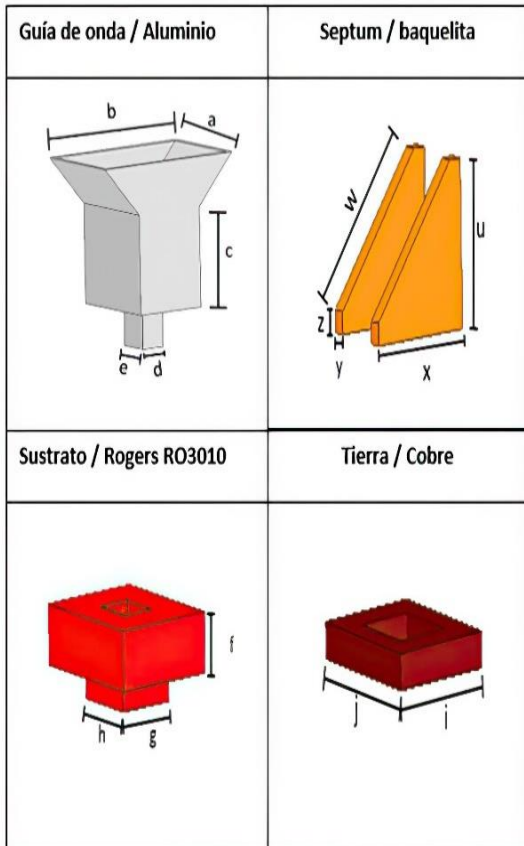


Figura 1. Partes de la antena Septum / material

### A. Arreglo lineal $2 \times 1$ ( $N=2$ )

El arreglo lineal está compuesto por 2 antenas idénticas en dimensiones y materiales como se indica en la Tabla 1. Cada antena presenta un sustrato y GND individual, las antenas se encuentran juntas como se indica en la figura 2.

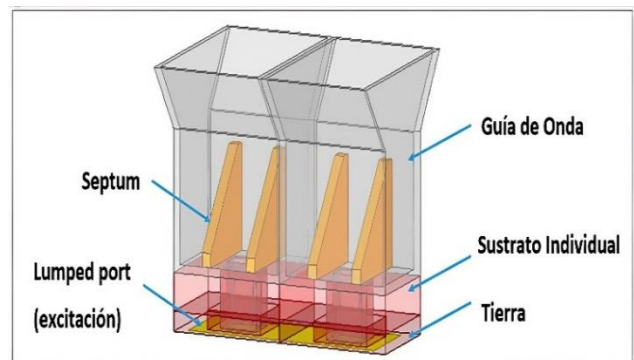


Figura 2. Arreglo lineal de antenas  $2 \times 1$ .

Tabla 1. Dimensiones y materiales del arreglo  $2 \times 1$ .

Diseño 1 Arreglo lineal $2 \times 1$			
Parte de la antena	Cotas	Medidas (mm)	Material
Guía de Onda	a	1.2	Aluminio
	b	1.9	
	c	1.0	
	d	0.3	
	e	0.4	
Sustrato	f	0.408	Roger TMM 10
	g	0.5	
	h	0.6	
Tierra	i	0.9	Cobre
	j	1.2	
Polarización Septum	u	0.955	Baquelita
	w	0.75	
	x	0.8	
	y	0.1	
	z	0.1	

### B. Arreglo lineal $3 \times 1$ ( $N=3$ )

El arreglo lineal está compuesto por 3 antenas idénticas en dimensiones y materiales como se indica en la Tabla 2. Las antenas están sin separación con sustrato y GND individual como se indica en la figura 3.

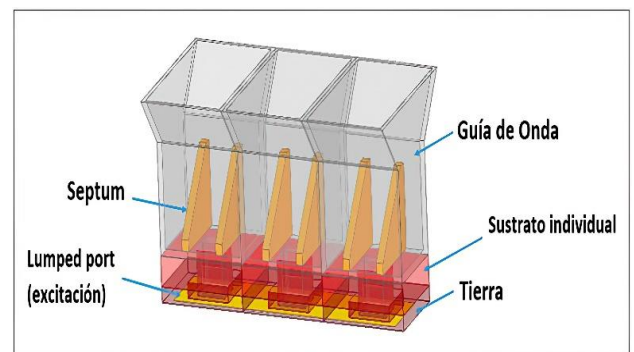


Figura 3. Arreglo lineal de antenas  $3 \times 1$  en el software ANSYS HFSS.

Tabla 2. Dimensiones y materiales del arreglo lineal 3x1.

<b>Diseño 2 Arreglo lineal 3x1</b>			
Parte de la antena tipo Septum	Cotas	Medidas(mm)	Material
Guía de Onda	a	1.2	Aluminio
	b	1.9	
	c	1.0	
	D	0.3	
	e	0.4	
Sustrato	f	0.408	Roger TMM 10
	g	0.5	
	h	0.6	
Tierra	i	0.9	Cobre
	j	1.2	
Polarización Septum	u	0.955	Baquelita
	w	0.75	
	x	0.8	
	y	0.1	
	z	0.1	

C. Arreglo de antenas 4x1 (N=4)

En la figura 4 se presenta un arreglo lineal de antenas 4x1 con mediciones descritas en la Tabla 3. Las antenas están unidas entre sí con sustrato y GND individual. El material utilizado en el sustrato dieléctrico es Rogers 03010 con una permitividad relativa  $\epsilon_r = 10.2$ .

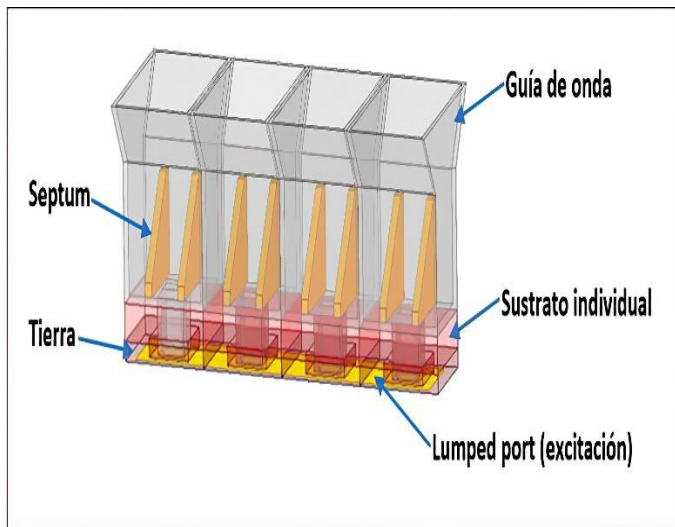


Figura 4. Arreglo lineal de antenas 4x1 en el software ANSYS HFSS.

Tabla 3. Dimensiones y materiales del arreglo lineal 4x1.

<b>Diseño 3 Arreglo lineal 4x1</b>			
Parte de la antena tipo Septum	Cotas	Medidas(mm)	Material
Guía de Onda	a	1.2	Aluminio
	b	1.9	
	c	1.0	
	d	0.3	
Sustrato	e	0.4	Rogers R03010
	f	0.408	
	g	0.5	
Tierra	h	0.6	Cobre
	i	0.9	
Polarización Septum	j	1.2	Baquelita
	u	0.955	
	w	0.75	
	x	0.8	
	y	0.1	
	z	0.1	

En la Tabla 4 se observa la permitividad de cada material utilizado correspondiente a cada arreglo lineal con mejor ajuste.

Tabla 4. Permitividad relativa y tangente de pérdida dieléctrica.

<b>Permitividad Relativa de cada material</b>		
Material	Permitividad ( $\epsilon_r$ )	Tangente de pérdida dieléctrica
Aluminio	1	0
Baquelita	4.8	0.002
Cobre	1	0
Rogers RO3010	10.2	0.0035
Rogers TMM 10	9.2	0.0022
Taconic CER-10	10	0.0035

III. SIMULACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó varios diseños mediante ajuste experimental para analizar el comportamiento de antenas septum en los arreglos lineales Nx1 con modificaciones en los materiales, dimensiones, separación entre antenas con el incremento de antenas, cumpliendo con parámetros de dispersión S (1,1) menores o igual a -15 dB a una frecuencia cercana o igual a 60 GHz, relación de onda estacionaria de voltaje VSWR entre 1 a

2, incrementar la ganancia máxima en comparación a la ganancia 2.23 dB de una antena individual tipo septum [6]. Analizando las gráficas dimensionales y tridimensionales de sus patrones de radiación a un ángulo Phi ( $\Phi$ ) de 90° sobre los -3 dB.

#### A. Cambios de materiales en las antenas

En el proceso del diseño que se realizó en los arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1 se analizó que tipo de material es el más adecuado para cada parte de la antena según los parámetros de estudio.

#### Tierra y Guía de onda

En la guía de Onda tipo bocina Rectangular y en la Tierra no existió ninguna variación ya que todos los materiales conductores presenta una permitividad relativa de 1, por lo tanto, se optó por utilizar un material de aluminio en la guía de onda usado por su bajo peso y su resistencia a la corrosión debido que su densidad de masa es de 2.70 gramos por centímetro cúbico [3] y cobre en la Tierra porque tiene alta conductividad térmica, eléctrica y resistente a la corrosión. [4]

#### Sustrato

En cada ajuste la permitividad relativa fue el motivo de estas variaciones en los parámetros cumpliendo con las siguientes características: a menor permitividad relativa existe un incremento en la fase de frecuencia, un decremento en el VSWR y un valor menor en la potencia máxima, además un mayor número de lóbulos nulos en el patrón de radiación bidimensional, pero al ser un valor mayor de permitividad relativa ocurre lo contrario a lo mencionado anteriormente.

En el arreglo 4x1 se logra obtener una frecuencia de 60.0 GHz con el material Rogers R03010 que consta de un laminado de PTFE rellenos de cerámica excelentes para la miniaturización de circuitos, elegido por su estabilidad eléctrica y mecánica en todas las frecuencias proporcionando una plataforma estable para aplicaciones de alta frecuencia [2].

#### Separación entre antenas en los arreglos lineales

Se separó a una distancia de 0.1 mm en cada arreglo lineal 2x1, 3x1 y 4x1 compartiendo un mismo sustrato y tierra experimentando valores de VSWR mayores a 2 lo cual no cumple con los valores dentro de este estudio de igual manera el coeficiente de reflexión es mayor -15dB debido a esto se optó en juntar las antenas con sustrato y tierra individual para cada elemento.

#### Variaciones en las dimensiones en las antenas

Con cambios en valores entre 0.1 mm y 0.2 mm en cada parte de la antena respecto a la variación de dimensiones y la apertura

de la guía de onda en los arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1 se obtiene como resultado un valor menor a -15dB en el coeficiente de reflexión y una ganancia similar en comparación a la antena individual (2.23 dB) cumpliendo con las mismas dimensiones para los 3 arreglos lineales descritos en la Tabla 1,2 y 3.

#### B. Parámetros de dispersión ( $S_{1,1}$ )

En la figura 5 se muestra el coeficiente de reflexión de los arreglos lineales con un límite de estudio de  $N=4$ , en una banda de análisis entre 50 a 70 GHz debido a la presencia de variaciones dentro de la banda de dominio público para las comunicaciones inalámbricas donde se debe obtener valores menores a -15dB, que comprende la relación entre potencia reflejada y la potencia transmitida, correspondiente a 3.16/100 es decir se está aprovechando al menos el 96.84% de la potencia de entrada.

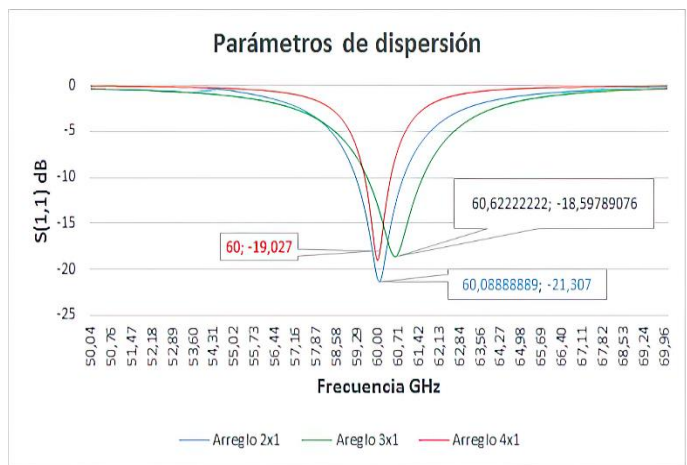


Figura 5. Parámetros de dispersión  $S_{1,1}$  en función de la frecuencia para cada diseño.

En el arreglo lineal 2x1 muestra un coeficiente de reflexión de -21.3071 dB equivalente a 7.4/1000 es decir se está aprovechando el 99.26% de la potencia de entrada con un desfase de 0.0889 GHz con respecto a 60GHz. El arreglo 3x1 muestra un coeficiente de reflexión de -18.5979 dB equivalente a 1.38/100 por ende el 98.62% se transmite y el 1.38% se pierde con un desfase de 0.6222 GHz en relación a la frecuencia de estudio. El arreglo 4x1 tiene un coeficiente de reflexión de -19.027 dB equivalente a 1.25/100 que corresponde de las 100 muestras el 98.75% se transmite y el 1.25% se pierde con una frecuencia de resonancia de 60.0 GHz.

Por esta razón al aumentar antenas al arreglo lineal su coeficiente de reflexión sube con respecto a la antena individual de -22.3952dB, pero mejora la frecuencia de resonancia a 60GHz como se indica en el arreglo lineal 4x1 descrito en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de dispersión

Arreglo Lineal	Frecuencia (GHz)	S1,1 (dB)
Antena individual	60.0889	-22.3952
2x1	60.0889	-21.3071
3x1	60.6222	-18.5979
4x1	60.0	-19.027

El coeficiente de reflexión con mejor ajuste es el arreglo 2x1 debido a que se aprovecha la potencia de transmisión un 0.64% más que el arreglo 3x1 y 0.51% más que el arreglo 4x1, pero el arreglo lineal que se acerca a 60GHz es el arreglo 4x1 siendo así el más óptimo.

C. Relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)

En la figura 6 se identifica los valores de VSWR de cada arreglo lineal en función de la frecuencia de resonancia donde se debe obtener entre 1 a 2 para un mejor acople entre el arreglo lineal y la fuente de alimentación.

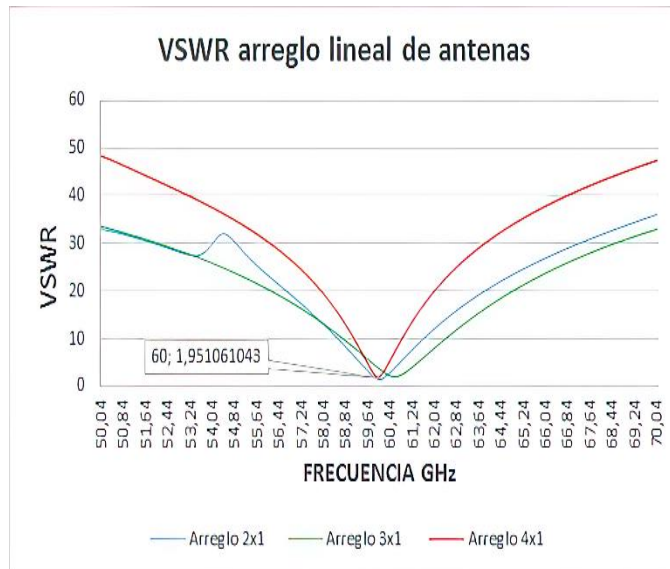


Figura 6. VSWR de los 3 diseños propuestos.

En el arreglo lineal 2x1 tiene una relación de onda estacionario mayor de 0.18 en comparación a la antena individual (1.32), el arreglo 3x1 un 0.73 y el arreglo 4x1 un 0.63, por esta razón al aumentar antenas al arreglo lineal su VSWR aumenta en comparación a la antena individual como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de VSWR de cada diseño

Arreglo Lineal	Frecuencia(GHz)	VSWR
Antena individual	60.08	1.3210
2x1	60.0889	1.4982
3x1	60.6222	2.0510
4x1	60.0	1.9511

Dicho esto el arreglo 4x1 tiene un VSWR de 1.9511 alejado del modelo ideal de acoplamiento de 1 pero con una frecuencia resonante de 60 GHz, a pesar de tener un valor alto cumple con los parámetros establecidos como favorables dentro del estudio.

D. Ancho de Banda

En la Tabla 7 se muestra los anchos de banda de cada diseño con referencia a 2 de VSWR siendo el límite de estudio de un valor aceptable correspondientes a las figuras 7a, 7b, 7c.

Tabla 7. Ancho de banda

Arreglo Lineal	FRECUENCIA (GHz)	BW (MHz)
2x1	60.0889	390
3x1	61.2444	51
4x1	60.0	40



Figura 7a. BW del arreglo lineal tipo septum 2x1.





Figura 7b. BW del arreglo lineal tipo septum 3x1.

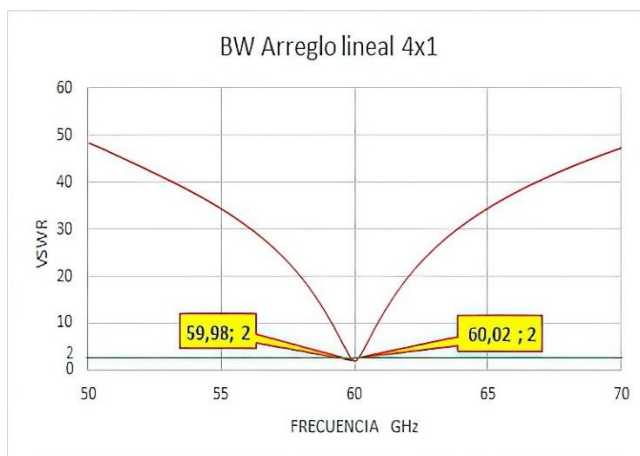


Figura 7c. BW del arreglo lineal tipo septum 4x1.

Dicho esto a mayor número de antenas el ancho de banda disminuye drásticamente es decir tenemos un estrecho canal de transmisión.

#### E. Patrón de radiación

Se define como patrón de radiación a la representación esquemática de la energía radiada de una antena en el espacio. En el arreglo 2x1 muestra un patrón de radiación parecido a la antena individual en el diagrama 3D describiendo un ancho de haz de 212° dando como resultado un patrón de radiación omnidireccional. En el arreglo 3x1 y en el arreglo 4x1 muestra un patrón de radiación directiva con un ancho de haz de 64° y 62° con 2 entradas de lóbulos nulos vista desde el plano E, por esta razón al aumentar antenas al arreglo lineal el patrón de radiación es más directiva como se muestra en la figura 8.

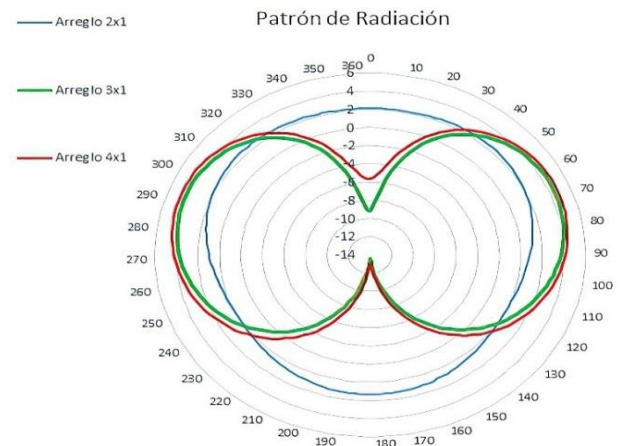


Figura 8. Patrones dimensionales de radiación

En la figura 9 muestra los diagramas de radiación tridimensionales con vista general y superior a una frecuencia de excitación de 60 GHz y poder visualizar de mejor manera en que dirección irradia al aumentar elementos septum al arreglo lineal.

Tomando el arreglo lineal 4x1 tipo septum con mejor ajuste se puede observar en la figura 9 que forma un patrón de radiación tridimensional en forma de rosquilla o toroidal, esto indica que a lo largo del eje z se transmite muy poca potencia que correspondería a la radiación directamente sobre la antena y en el plano XY perpendicular al eje Z la radiación es máxima.

#### F. Ganancias

En el arreglo lineal 2x1 incrementa su ganancia en 0.57 dB en comparación a una antena individual es decir un 25.56%, con el aumento de una antena (arreglo 3x1) se obtiene un incremento de 2.27dB que indica un 101,79% en comparación a la antena individual y un incremento de 1.7dB (60.71%) con respecto al arreglo lineal 2x1 y adicionando un elemento (arreglo 4x1) se obtiene un incremento de 2,67dB (119,73%) con respecto a la antena individual y al arreglo lineal 3x1 una diferencia de 0.4dB (8.89%). Por esta razón se puede observar que con el aumento de antenas en el arreglo lineal aumenta su ganancia como se indica en la Tabla 8, debido a que muestra un patrón de radiación más directivo.

Tabla 8. Ganancia de cada diseño

	Ganancia máxima [dB]
Antena Individual	2.23
Arreglo lineal 2x1	2.8
Arreglo lineal 3x1	4.5
Arreglo lineal 4x1	4.9

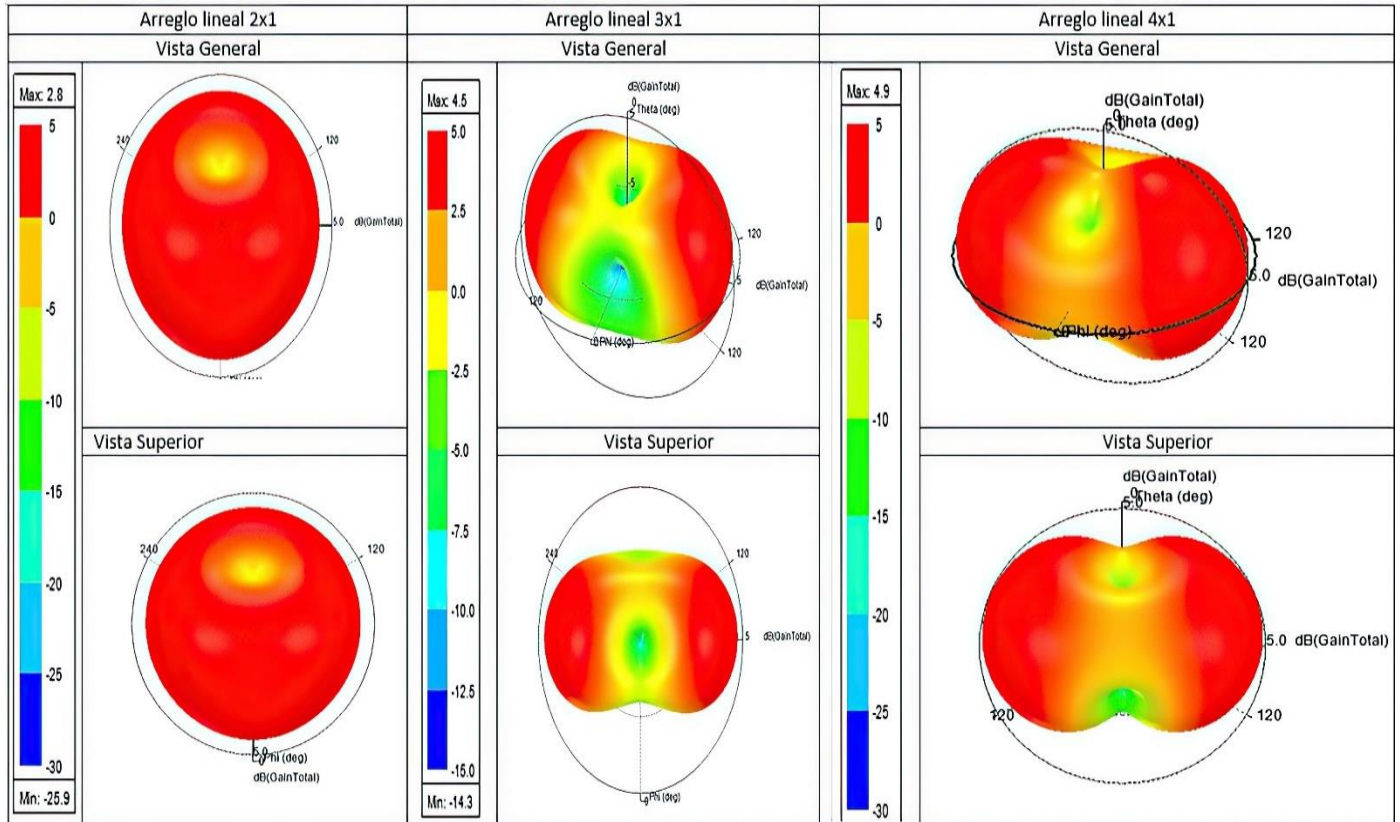


Figura 9. Patrones tridimensionales de radiación con vista general y vista superior.

En la figura 10 se muestra la intensidad del campo eléctrico (E) que pasa por el lumped port donde se genera en la parte interna de la guía de onda.

Los campos eléctricos y magnéticos son campos vectoriales, donde la magnitud del campo eléctrico alrededor de una carga eléctrica denominada como fuente del campo eléctrico que se extiende hacia afuera en el espacio circundante, originados en cargas positivas y termina en cargas negativas. Donde un campo eléctrico divergente es aquel en el que la intensidad del campo cambia con la distancia [11].

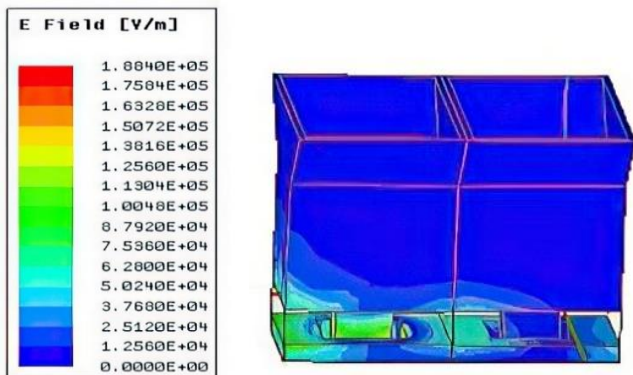


Figura 10a. Intensidad de campo eléctrico E arreglo 2x1.

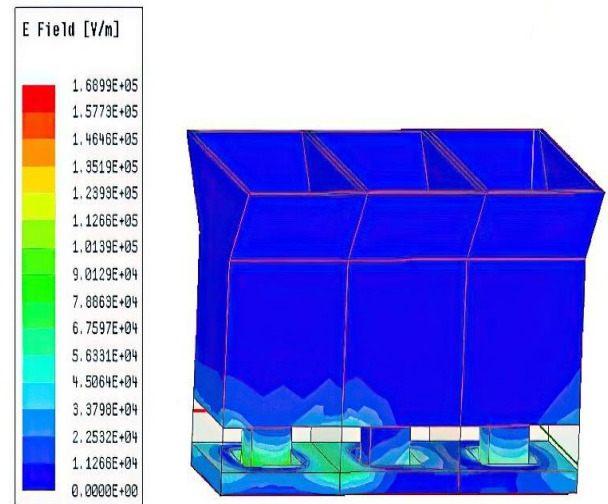


Figura 10b. Intensidad de campo eléctrico E arreglo 3x1.

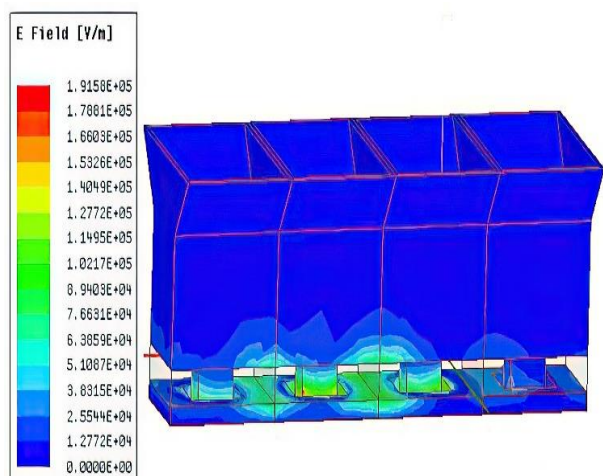


Figura 10c. Intensidad de campo eléctrico E arreglo 4x1.

En el arreglo lineal 2x1, 3x1 y 4x1 muestra que el flujo de la intensidad del campo eléctrico se genera desde el lumped port pasando por la apertura de la guía de onda de la antena, al aumentar número de antenas en cada arreglo el campo eléctrico genera menor intensidad en el último elemento agregado generando mayor flujo en el centro del arreglo de antenas.

#### V. CONCLUSIONES

En los arreglos lineales al aumentar el número de antenas septum el coeficiente de reflexión y la relación de voltaje de onda estacionaria sube con respecto a la antena individual, esto se debe a que cada antena tiene un sustrato y tierra individual en cada arreglo sin separación entre antenas.

Se concluye que mientras más antenas septum dispongan el arreglo lineal aumenta su ganancia y su patrón de radiación es más directiva en plano E obteniendo un ancho de banda más angosto logrando en el arreglo lineal 4x1 un ancho de banda BW de 40MHz como mejor diseño.

#### VII. REFERENCIAS

- [1] J. Kim, S. Yoon, E. Jung, J. W. Lee, T. K. Lee, and W. K. Lee, "Triangular-shaped stepped septum polarizer for satellite communication," *IEEE Antennas Propag. Soc. AP-S Int. Symp.*, pp. 850–855, 2011.
- [2] X. Cheng et al., "Analysis and design of a wideband endfire circularly polarized septum antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, no. 11, pp. 5782–5792, 2018.
- [3] T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney, A. F. Molisch, E. Mellios, and J. Zhang, "Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation

(5G) Wireless Networks-With a Focus on Propagation Models," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 12, pp. 6210–6225, 2017.

- [4] H. F. Bermúdez, E. Astaiza y L. Muños, "Cambios del patrón de radiación en arreglos lineales de dipolos de microcinta a 2,4 GHz en presencia de elementos parásitos," *Tecno Lógicas*, vol. 18, n° 35, pp. 16-35, 2015
- [5] B. Li, C. X. Hao, and X. Q. Sheng, "A dual-mode quadrature-fed wideband circularly polarized dielectric resonator antenna," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 1035–1037, 2009.
- [6] Osorio Garzón, Mauricio Alexander. "Análisis de parámetros de dispersión para antena septum en onda milimétrica utilizando software de simulación," Enero 2020. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18361>. [Último acceso: 04 6 2021].
- [7] Ming Hui Chen, G. N. Tsandoulas; "A wide-band square-waveguide array polarizer," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 21, pp. 388-390, May 1973.
- [8] N. Nikolic, A. Weily, I. Kekic, C. Data, S. L. Smith, and K. W. Smart, "A Septum Polarizer with Integrated Square to Circular Tapered Waveguide Transition," pp. 719–725, 2018.
- [9] D. Davis, O. J. Digiondomenico, and J. A. Kempic, "A new type of circularly polarized antenna element," 1967 *IEEE Group on Antennas and Propagation*.
- [10] H. E. Schrank, "Polarization measurements using the septum polarizer," *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, vol. 20, pp. 224– 230, 2003.
- [11] Betancor Arroyo, Ángel. "Diseño y estudio de una antena de polarización circular para la banda KA," Septiembre 2017. [En línea]. Available: [http://oa.upm.es/49914/1/PFC\\_ELIAS\\_BETANCOR\\_ARROYO.pdf](http://oa.upm.es/49914/1/PFC_ELIAS_BETANCOR_ARROYO.pdf) [Último acceso: 01 7 2021].