

Diseño, construcción y caracterización de un arreglo de 4 guías de onda ranurada

David Morales Rodriguez, Fabiola Martínez Zúñiga, Jorge Roberto Sosa Pedroza

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco
dmoralesr1700@alumno.ipn.mx, fmartinezzu@ipn.mx, jsosa@ipn.mx

URL ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6942-8785>, <https://orcid.org/0000-0002-2588-7854>, <https://orcid.org/0000-0001-6668-9347>

Resumen— En este artículo, se presenta una metodología para el diseño de un arreglo de antenas de guías de onda con ranuras en la pared estrecha para la banda S en la frecuencia de 3.5 GHz, las antenas que conforman el arreglo fueron diseñadas con ecuaciones que definen el ancho, la inclinación y la longitud de las ranuras. El arreglo de antenas de guías de onda fue diseñado usando un software especializado en el modelado 3D. El arreglo de antenas de guías de onda está conformado por 4 antenas de guías de onda con 26 ranuras inclinadas separadas media longitud de onda. En la construcción del arreglo de antenas se utilizaron tubos comerciales de aluminio que cumplan con el estándar WR-284 de guías de onda para reducir los costos. La ganancia del arreglo de antenas es de alrededor de 27.5 dBi, con ancho de haz horizontal de 3.1° y lóbulos secundarios de -12.05 dB.

Palabras Clave — Arreglo de antenas, Banda S, Guía de onda ranurada, WR-284.

Abstract— In this paper, a methodology for the design of a narrow wall slotted waveguide antenna array for S band at the 3.5 GHz frequency is presented, the antennas that make up the array were designed with equations that define the width, tilt and length of the slots. The waveguide antenna array was designed using specialized 3D modelling software. The waveguide antenna array consists of 4 waveguide antennas with 26 tilted slots spaced half a wavelength apart. In the construction of the antenna array, commercial aluminum tubes that with the WR-284 waveguide standard were used to reduce costs. The gain of the antenna array is about 27.5 dBi, with a horizontal beamwidth of 3.2° and -13.15 dB side lobes.

Keywords— Antenna array, S band, Slotted waveguide, WR-284.

I. INTRODUCCIÓN

Los primeros arreglos de antenas de guías de ondas con ranuras fueron desarrolladas en Canadá durante la segunda guerra mundial, debido a que este tipo de antenas tiene la característica de ser altamente directivas, un ancho de haz reducido, lóbulos secundarios de baja intensidad y el poder manejar altas potencias por lo que sus aplicaciones inmediatas fueron en los sistemas de radares militares terrestres y aéreos para la detección y seguimiento de objetivos, con el tiempo este tipo de antena fueron utilizadas para otras aplicaciones como lo son la teledetección desde los aviones y vehículos espaciales, en los enlaces de comunicaciones por microondas, la predicción

meteorológica, la vigilancia del medio ambiente, los estudios sobre el cambio climático, entre otros [1].

Como se mencionó anteriormente se utilizan las guías de ondas rectangulares para diferentes aplicaciones esto porque son estructuras que permiten la propagación de electromagnética, con bajas pérdidas, la posibilidad de manejar altos nivel de potencia y estas estructuras pueden operar en diversas bandas de frecuencias desde 1 GHz hasta 220 GHz, esto dependiendo las dimensiones que posea la guía de onda rectangular [2]. Además si en la guía de onda rectangular se le colocan ranuras sobre alguna de las paredes con una separación entre cada una de ellas por $\lambda_g/2$, donde λ_g es la longitud de onda dentro de la guía de onda, esto producen perturbaciones en la distribución de corriente en la superficie de la guía de onda rectangular lo cual hace que estas ranuras irradian energía electromagnética de tal forma que se comporta como un dipolo eléctrico complementario, donde existen dos tipos de ranuras que son utilizadas comúnmente las cuales son ranuras longitudinales en la pared ancha y ranuras inclinadas en la pared estrecha[3], en los últimos años se han trabajado ampliamente sobre este tipo de antenas para diferentes aplicaciones como los son radares de vigilancia aérea, marítima y terrestres, así como en comunicaciones de microondas [4- 8]. Para este trabajo seleccionamos trabajar con la pared estrecha de la guía de onda rectangular en la que se colocaran 26 ranuras inclinadas las cuales estarán separadas por $\lambda_g/2$ y la separación entre cada guía de onda ranurada es de $0.8\lambda_0$ esto por la forma en la que se están alimentando cada una de las guías de onda ranuradas, el trabajo está organizado de la siguiente forma: La Sección II describe el diseño de una guía de onda ranurada y así como la conformación de arreglo de las guías de onda ranuradas. La Sección III muestra la comparación de los resultados del modelado contra la construcción.

II. DISEÑO DEL ARREGLO DE ANTENAS

Para el diseño de una antena se deberá partir del estándar WR-284 esto ya que dicho estándar trabaja en la banda de frecuencia de 2.6 GHz hasta 3.95 GHz, teniendo esto en cuenta en la Tabla 1 se presentan los requerimientos de diseño del arreglo de antenas y en la Figura 1 se muestran las dimensiones aproximadas que tendrá el arreglo de 4 guías de onda ranuradas:

Tabla 1.- Requerimiento del arreglo de antenas.

Requerimiento	Requisito
Frecuencia de diseño	3.5 GHz
Frecuencia de operación	Banda S (3.4 GHz a 3.6 GHz)
Ancho de banda	200 MHz
Ancho de haz	≈3°
Ganancia	≈27 dB
Modo de propagación	TE _{1,0}

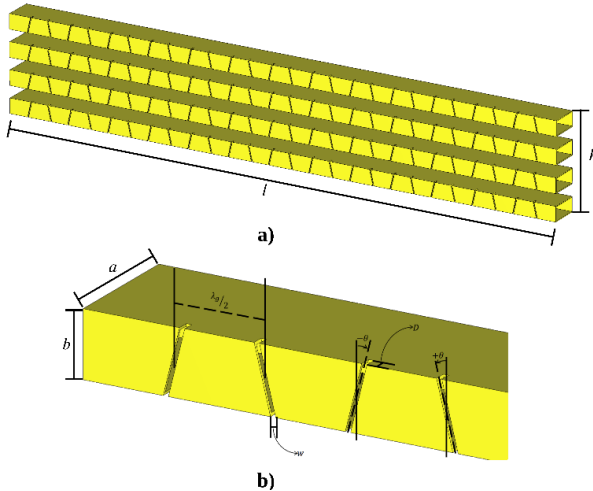


Figura 1.- Geometría de la antena. a) Arreglo de 4 antenas de guías de onda ranurada, b) Acercamiento a una antena de guía de onda ranurada.

En la Figura 1a) se muestra el arreglo de 4 antenas de guías de onda ranurada posee un largo l y un alto h , mientras que en la Figura 1b) se hace un acercamiento a una guía de onda ranurada para destacar parámetros importantes como lo son a y b las cuales hacen referencia a la pared ancha y estrecha respectivamente, $\lambda_g/2$ que es la separación que existe entre cada ranura, w es el ancho de ranura, D es la profundidad de la ranura y $\pm\theta$ es la inclinación de la ranura.

A. Diseño de las antenas de guía de onda ranurada

Para comenzar con el diseño de una antena de guía de onda ranurada partimos del estándar WR-284 el cual trabaja en la frecuencia de interés, este estándar tiene dimensiones internas de 2.84 in [72.136 mm] x 1.34 in [34.036 mm] ($a \times b$), con esto se buscó en el mercado un tubo comercial de PTR de aluminio que posea dimensiones cercanas a las establecidas por el estándar, en este caso el tubo comercial que se encontró tiene dimensiones externas de 3 in [76.2 mm] x 1.5 in [38.1 mm] y un espesor de pared de 0.0625 in [1.5875 mm], se caracterizó el tubo comercial en modo de propagación TE₁₀ con las siguientes ecuaciones [2]:

$$\lambda_c = 2a \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (2)$$

Donde tenemos que a hace referencia la dimensión de la pared ancha, λ_0 es la longitud de onda del espacio libre, λ_c es la

longitud de onda de corte dentro de la guía de onda y λ_g es longitud de onda dentro de la guía de onda.

Después de ser caracterizado el tubo comercial se procede a calcular la conductancia g para conocer la inclinación θ y la profundidad de la ranura D , donde se tiene que considerar que el largo de las ranuras es de alrededor de $0.4625\lambda_g$ y un ancho de ranura $w \ll \lambda_g/10$, esto con las siguientes ecuaciones [3]:

$$g = \frac{30\lambda_0^3\lambda_g}{73\pi a^3 b} \left[\frac{\sin(\theta) \cos\left(\frac{\pi\lambda_0 \sin(\theta)}{2\lambda_g}\right)}{1 - \left(\frac{\lambda_0 \sin(\theta)}{\lambda_g}\right)^2} \right]^2 \quad (3)$$

$$D = \frac{0.4625\lambda_g - \frac{b}{\cos(\theta)}}{2} \quad (4)$$

Donde para encontrar la máxima conductancia de radiación por ranura hizo un barrido de las inclinaciones θ de las ranuras desde $\pm 5^\circ$ hasta $\pm 15^\circ$ para conocer el comportamiento de la conductancia y la profundidad, los resultados se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2.- Comportamiento de conductancia y profundidad de la ranura

θ [°]	g	D [mm]
±5	0.47	7.0
±6	0.05	6.9
±7	0.26	6.9
±8	0.49	6.8
±9	0.11	6.8
±10	0.18	6.7
±11	0.50	6.7
±12	0.18	6.6
±13	0.11	6.6
±14	0.50	6.5
±15	0.25	6.4

De la Tabla 2 se observa que las dos inclinaciones que presentan una mayor conductancia de radiación son en $\pm 11^\circ$ y $\pm 14^\circ$ ambos con una conductancia de alrededor de 0.5, pero para nuestro caso decidimos utilizar la inclinación de $\pm 14^\circ$ debido que con las herramientas que contamos para la construcción de las antenas nos resulta mejor trabajar con esta inclinación y su correspondiente profundidad de ranura, en la Tabla 3 se muestran los parámetros para la construcción de una antena.

Tabla 3.-Parámetros de construcción de una antena

Parámetros	Valor
Longitud de onda (λ_0)	85.7 mm
Longitud de onda dentro de la guía de onda (λ_g)	≈106 mm
Ancho de ranura ($\frac{\lambda_g}{30}$)	3.5 mm
Inclinación de ranura	±14°
Profundidad de ranura	6.5 mm
Separación entre ranuras	≈53 mm
Número de ranuras por antena	26

Con los datos de la Tabla 3 se modeló la antena de guía de onda ranurada para posteriormente pasar a la construcción de esta, en la Figura 2 se presenta una gráfica comparativa de los coeficientes de reflexión.

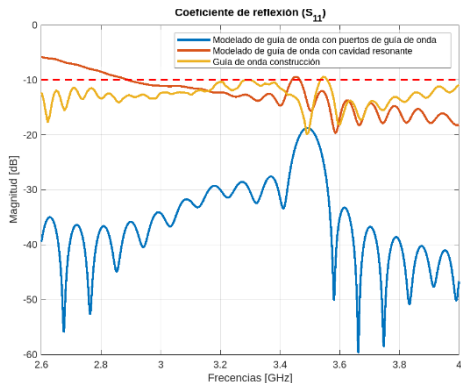


Figura 2.- Gráfica comparativa entre el modelado contra lo construido.

En la Figura 2 se presentan tres diferentes casos donde el trazo de color azul es el modelado de la guía de onda en condiciones ideales la cual presenta un coeficiente de reflexión de -19 dB para la frecuencia de 3.5 GHz, el trazo de color naranja es el modelado de la guía de onda a la cual se le adicionó una cavidad resonante para alimentar la guía de onda con un coeficiente de reflexión de -14 dB en la frecuencia de 3.5 GHz y el trazo de color amarillo muestra el comportamiento de la construcción de una guía de onda con coeficiente de reflexión de alrededor de -16dB.

Después se procedió a replicar tres antenas más de guías de onda en las cuales se cuidó el tener las mismas condiciones para su elaboración de tal forma que todas presentaran comportamientos parecidos entre ellas, y así poder conformar un arreglo de cuatro antenas de guías de onda, normalmente para este tipo de arreglos de antenas se considera una separación entre antenas de $0.5\lambda_0$, pero por cuestiones mecánicas debido a la forma en la que se incorporó la cavidad resonante a las guías de onda nos resulta imposible el poder tener una separación de $0.5\lambda_0$, en la Figura 3 se muestra dicho problema.

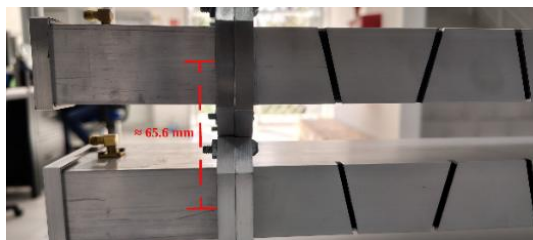


Figura 3.- Separación entre guías de onda con las bridas.

Como se observa en la Figura 3 que la separación entre cada guía de onda es cercana a $0.8\lambda_0$, por lo que fue necesario que se hicieran pruebas mediante el modelado del arreglo de antenas en la cual se consideró la separación de $0.8\lambda_0$, para comprobar que esta separación no afecte a la ganancia, lóbulos secundarios, el ancho de haz que se estaba buscando, en las Figuras 4 y 5 se muestran los diagramas de radiación del modelado, en uno de los diagramas se hace una comparativa de dos arreglos de antenas uno con una separación de $0.5\lambda_0$ y $0.8\lambda_0$ y mientras que en el otro diagrama se presenta el diagrama de radiación del arreglo de antenas con cavidades resonantes cómo

alimentadores, y en la Figura 6 se presentan el diagrama de radiación para la frecuencia de 3.5 GHz y 3.55 GHz las obtenidos de la caracterización en una cámara anecoica que se encuentra en el Laboratorio Nacional en Telecomunicaciones y Antenas (LaNTA).

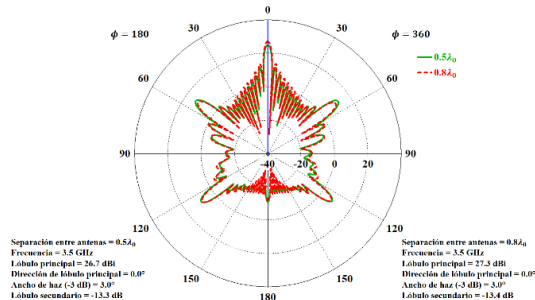


Figura 4.- Comparación de diagrama de radiación del modelado de un arreglo de antenas.

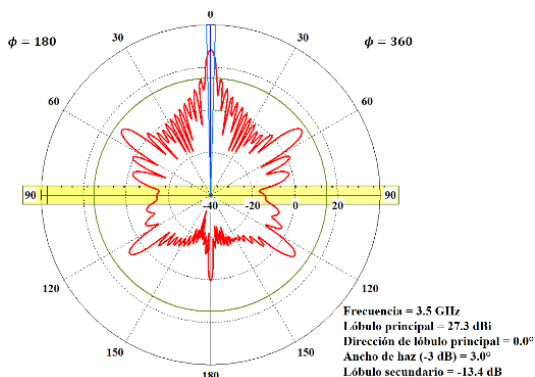


Figura 5.- Diagrama de radiación del modelado de un arreglo de antenas con cavidad resonante.

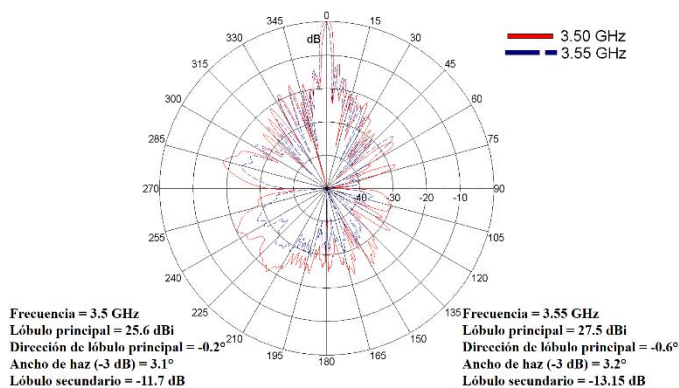


Figura 6.- Diagrama de radiación del arreglo de antenas construido caracterizado en 3.5 GHz y 3.55 GHz.

a) Resultados y Discusión

Con los resultados obtenidos del coeficiente de reflexión mostrados en la Figura 2 se consideró que la respuesta obtenida de la antena de guía de onda ranurada construida es aceptable si la comparamos con el modelado, con lo que nos permitió seguir adelante y poder replicar la antena para poder conformar un arreglo de cuatro antenas parecidas, pero por la forma en la que

se incorporó una cavidad resonante para alimentar cada una de las antenas se hizo una comparativa en el modelado entra una separación entre antenas de $0.5\lambda_0$ y $0.8\lambda_0$ en la que se observó que prácticamente no hay diferencias en el diagrama de radiación a excepción de la ganancia donde presento un aumento en ganancia de alrededor de 0.5 dBi con una separación entre antenas de $0.8\lambda_0$ con respecto a una separación entre antenas de $0.5\lambda_0$, como se presentó en la Figura 4, también se observó que el modelado del arreglo de antenas con cavidades resonantes como alimentadores presentan un diagrama de radiación parecido al modelado que no incluye las cavidades resonantes como alimentadores como se presentó en la Figura 5. Finalmente se caracterizó el arreglo de cuatro antenas dentro de una cámara anecoica como se presenta en la Figura 6 para la frecuencia de 3.5 GHz donde se observó que la ganancia que se obtuvo es menor a la que se estaba esperado por el modelado por lo que se analizó el comportamiento del coeficiente de reflexión donde se observó que la frecuencia en la que presenta las menores reflexiones es en 3.55 GHz por lo que se obtuvo el diagrama de radiación en esta frecuencia en la cual presenta un comportamiento parecido al que se obtuvo del modelado del arreglo de antenas con una desviación del lóbulo principal el cual es de alrededor de 0.5° lo cual es debido al apuntamiento del arreglo con respecto a la sonda de prueba de la cámara anecoica.

III. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se presenta el diseño y construcción de un arreglo de antenas de guía de onda ranuradas para una frecuencia de diseño de 3.5 GHz, pero al momento de la construcción y caracterización del arreglo de las antenas se observó que la frecuencia de operación se encontraba desplazada 50 MHz de la frecuencia de diseñado esto se podría mejorar diseñado las antenas de guías de onda ranuradas a una frecuencia menor a la frecuencia de diseño que se desee que trabaje dichas antenas para evitar tener el corrimiento en frecuencia como el que se presentó en la construcción.

REFERENCIAS

- [1] L. Josefsson y S. R. Rengarajan, *Slotted Waveguide Array Antennas: Theory, analysis and design*. Norwich, CT, Estados Unidos de América: SciTech Publishing, 2018. DOI: 10.1049/SBEW517E.
- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4a ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, 2011.
- [3] S. Silver, *Microwave Antenna Theory and Design*, 1a ed. Mineola, NY, Estados Unidos de América: Dover Publications, 1949.
- [4] M. A. K. S. Lubis, D. P. Yusuf, F. Y. Zulkifli, y E. T. Rahardjo, "Bandwidth improvement with narrow wall slotted waveguide antenna", en *2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, IEEE, 2017. DOI: 10.1109/ICRAMET.2017.8253153
- [5] K. Anim, H. A. Diawuo, y Y.-B. Jung, "Compact slotted waveguide antenna array using staircase model of tapered dielectric-inset guide for shipboard marine radar", *Sensors (Basel)*, vol. 21, núm. 14, pp. 4745, 2021. DOI: 10.3390/s21144745
- [6] K.-R. Chou, H.-N. Lin, W.-H. Lu, H.-W. Chang, y K.-K. Tiong, "Design and operation an edge-wall slotted waveguide array antenna with ultralow side lobes for application of off-shore radar", *Journal of Marine Science and*, vol. 23, núm. 5, pp. 620–627, 2015. DOI: 10.6119/JMST-015-0226-2
- [7] Y. Wahyu y K. Paramayudha, "Design of an edge-slotted waveguide antenna array for ground-controlled interception radar", en *2021 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, IEEE, 2021. DOI: 10.1109/ICRAMET53537.2021.9650500
- [8] N. Bethart Rodríguez, T. E. Cordoví Rodríguez, R. Jiménez Hernández, y D. Beltrán Casanova, "Propuesta de antena de guía de onda con ranuras resonantes para aplicaciones wlan", *Revista Digital de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones*, vol. 19, núm. 2, pp. 55–66, 2020.