

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN



DISEÑO AVANZADO DE ARREGLOS DE ANTENAS

MONOGRAFÍA

Tema: Arreglo de Antena de un Radar OTH

Autores:

- Díaz, Leandro
- Llanes, Adrian
- Saavedra, Zenón

Profesor: Dr. Ing. Fernando Alberto Miranda Bonomi

Contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Desarrollo	4
Etapa 1	4
Etapa 2	7
4. Conclusiones	10
5. Referencias Bibliograficas	11

1. Resumen

En esta monografía se presenta una propuesta de proceso de diseño de un arreglo de antenas para ser utilizado como transmisor de un sistema de Radar Sobre Horizonte por Onda de Cielo (OTHR por sus siglas en inglés).

Se proponen dos distribuciones de arreglos planares: una *rectangular* y otra *circular*, mostradas en las figuras Figura 1 y Figura 2. Para esto, se hará uso de herramientas de cómputo para calcular y simular las características de un arreglo dado incluyendo: la distribución de sus elementos, ancho del haz principal, directividad del haz principal y respuesta en frecuencia.

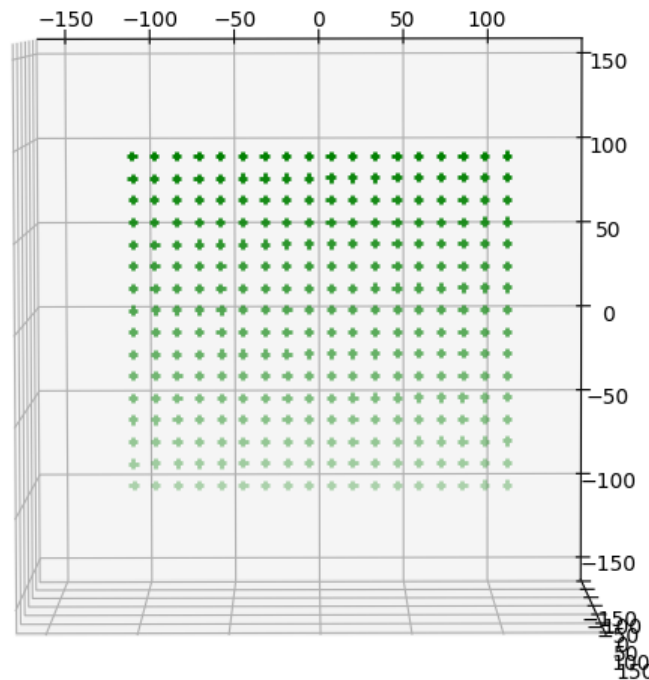


Figura 1. Disposición de un arreglo *Rectangular*, con $18 * 16$ elementos.

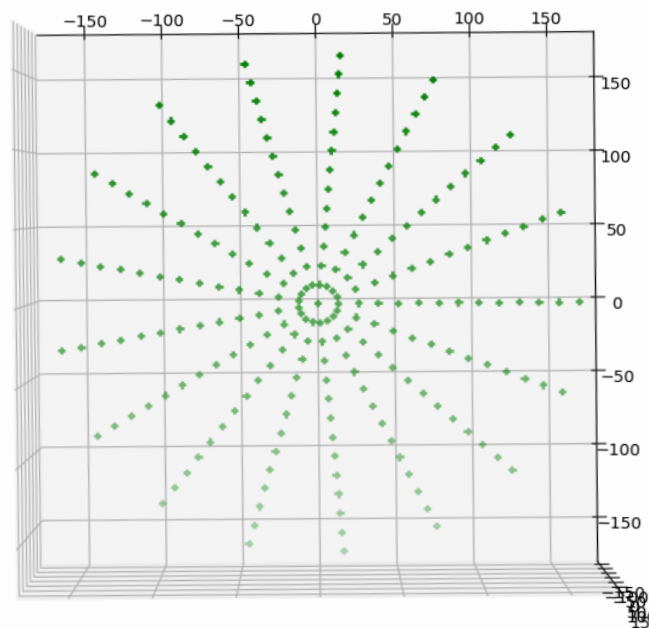


Figura 2. Disposición de un arreglo *Circular*, con 13 anillos y 17 elementos por anillo.

2. Introducción

A continuación, se introducen un conjunto de términos comunes a utilizar al momento de trabajar con arreglos de antenas.

Arreglo de Antenas: Se encuentra compuesto por un número finito de elementos (antenas) ordenados con alguna distribución espacial y alimentados de tal forma de obtener un diagrama de radiación específico (ver Figura 3). Existen arreglos lineales planares y conformados (distribuidos sobre una superficie).

El funcionamiento de un arreglo se basa en la interacción de las radiaciones de los distintos elementos del arreglo, haciendo que las interferencias de los campos radiados por cada elemento proporcionen el patrón de radiación deseado.

Para obtener un determinado patrón de radiación, un camino posible es combinar variaciones de la distancia física entre elemento y a su vez la fase y amplitud de alimentación de cada elemento.

Los principales parámetros que caracterizan un arreglo de antenas son:

Patrón de Radiación: Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección (coordenadas en azimut y elevación), lo más habitual es representar la densidad de potencia radiada, aunque también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase.

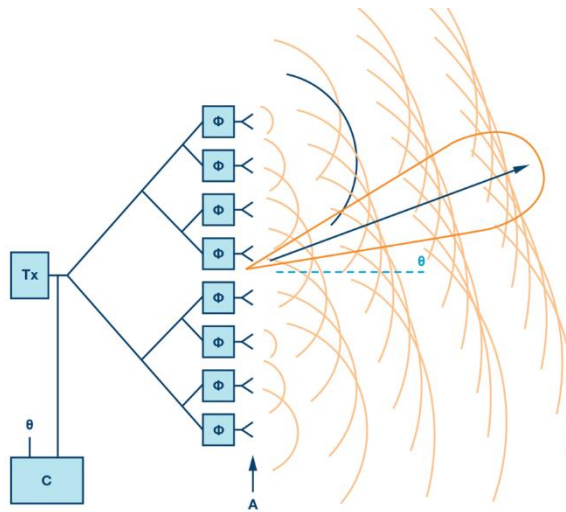


Figura 3. Ilustración del beamforming

Factor de Arreglo: Es el patrón de radiación del arreglo considerando que cada elemento es un radiador isotrópico.

Ancho del Haz: Es el margen angular, medido en grados, de direcciones entre las que la intensidad del patrón de radiación está por encima del 50% para la dirección de apuntamiento.

Directividad: Se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que irradia con la misma potencia total. Se mide en [dBi]

Relación de lóbulo principal a secundario: Es el cociente, medido en [dB], entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.

Relación delante-atrás: Es el cociente, medido en [dB] entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y sentido opuesto.

Un tipo particular de arreglos son los planares y al estudiar estos es conveniente utilizar un sistema de coordenadas esféricas (ver Figura 4). Esta figura muestra una matriz de elementos en una celosía rectangular con un número par de elementos a lo largo del eje x y también a lo largo del eje y.

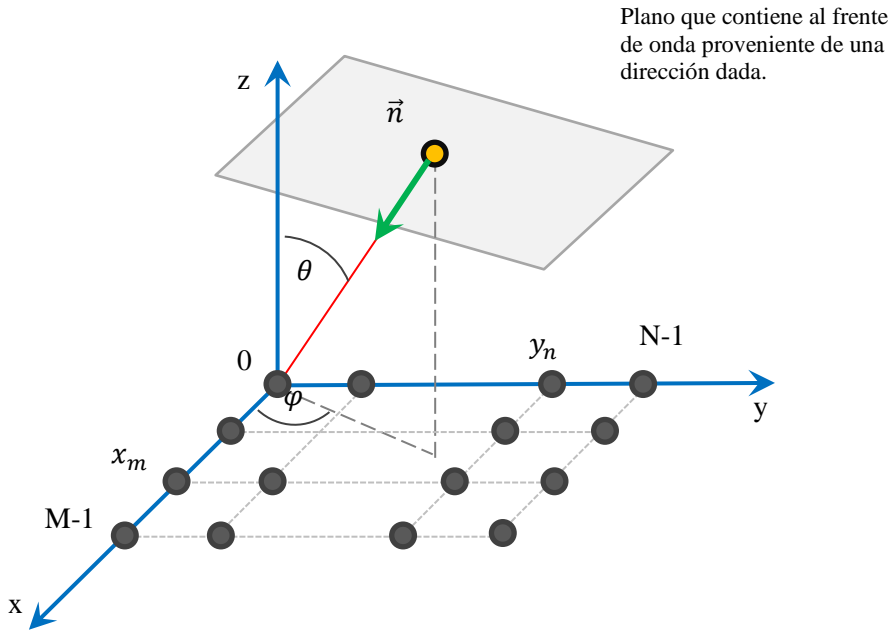


Figura 4: Geometría de arreglo planar.

En un arreglo planar el campo eléctrico (E) del arreglo de antena se representa por las siguientes expresiones:

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \text{Patron}_{n,m}(\theta, \varphi) \cdot F(\theta, \varphi) \quad [1.1]$$

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{n,m} \cdot e^{(-2j\pi d_{n,m})} \quad [1.2]$$

$$d_{n,m} = \overline{p(x_m, y_n, z) \vec{n}(x_0, y_0, z_0)} \quad [1.3]$$

$$d_{n,m} = x_m \cdot \cos(\varphi) \sin(\theta) + y_n \cdot \sin(\varphi) \sin(\theta) + z \cdot \cos(\theta) \quad [1.4]$$

En donde:

$F(\theta, \varphi)$: Factor de Arreglo

$\text{Patron}_{n,m}(\theta, \varphi)$: Patrón de radiación del elemento ubicado en la fila n y columna m.

$A_{n,m}$: Excitación del elemento ubicado en la fila n y columna m

$d_{n,m}$: Distancia entre elemento ubicado en la fila n y columna m y un plano que contiene al frente de onda.

p : Punto del espacio que representa la ubicación de cada elemento, con coordenada $(x_m, y_n, 0)$.
 \vec{n} : Vector normal de un plano que contiene el frente de onda proveniente en una determinada dirección. $\vec{n} = (\cos(\varphi) \sin(\theta), \sin(\varphi) \sin(\theta), \cos(\theta))$.
 N : Cantidad de elementos sobre el eje y del plano
 M : Cantidad de elementos sobre el eje x del plano

3. Desarrollo

El arreglo transmisor de un radar OTH por Onda de Cielo debe ser capaz de trabajar en la banda de HF siendo esta la banda de funcionamiento del radar. Por otro lado, el ancho del haz en acimut define una de las dimensiones de la huella del radar (o área DIR por sus siglas en inglés “Dwell Interrogation Region”), mientras la segunda dimensión se define por el ancho del pulso transmitido (Ver Figura 5).

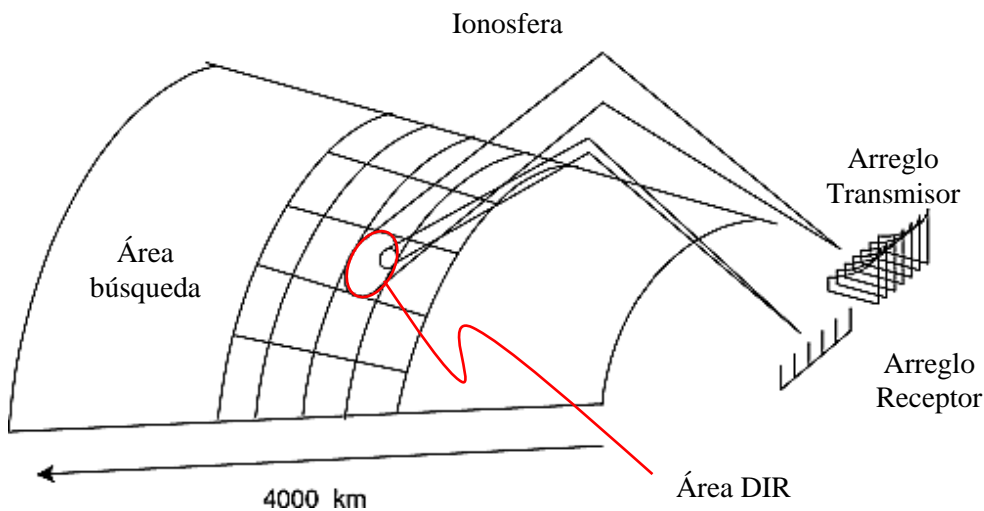


Figura 5. Zonas de exploración de un Sky-Wave OTHR

En la tabla 1 se encuentran las especificaciones típicas de un radar OTH [4]. Estas servirán como base para guiar el análisis propuesto.

Parámetro	Valor
Directividad mínima	20 [dBi]
Ancho de Haz Elevación	< 40 °
Ancho de Has en Acimut	< 10 °
Frecuencia	3-30 MHz

Tabla 1: Especificaciones del arreglo de antenas Transmisor.

Etapas 1

Para diseñar un arreglo que cumpla con las especificaciones, el primer paso es definir la forma y cantidad de elementos que tendrá. Se consideran dos casos:
A. Un arreglo *rectangular* que es generado según los siguientes *parámetros de entrada*:

1. Cantidad de elementos en la dirección x, N_x
2. Cantidad de elementos en la dirección y, N_y
3. Separación entre elementos para ambas direcciones (en función de la longitud de onda), d

Con estos parámetros se genera un arreglo planar con $N_x \times N_y$ elementos, separados una distancia d dada en longitudes de onda. Cada eje contiene N elementos monopolos distribuidos uniformemente. La Figura 1 muestra un ejemplo.

B. Un arreglo *circular* que es generado según los siguientes *parámetros de entrada*:

1. Cantidad de anillos, A_n
2. Cantidad de elementos por anillo, N
3. Separación entre anillos (en función de la longitud de onda), d

Con estos parámetros se genera un arreglo planar con A_n anillos concéntricos, separados radialmente una distancia d dada en longitudes de onda. Cada anillo contiene N elementos. La Figura 2 muestra un ejemplo.

En ambos casos, el elemento puntual que se toma es un monopolo vertical de un cuarto de longitud de onda.

Para la elección de la dirección de apuntamiento, se deben evaluar ambas coordenadas. Para la de azimut, el patrón de radiación puede girar típicamente alrededor de 120° . Para el arreglo *Circular*, dada su simetría es de esperar que su comportamiento sea uniforme en los 360° y se adopta $\varphi = 50^\circ$. En el caso de la elevación, los valores de exploración están típicamente entre 30° y 95° . Para simplificar este análisis, es conveniente tomar un ángulo alejado de la tierra para evitar interferencias. Desde este punto de vista, se toma $\theta = 30^\circ$. Para el arreglo *Rectangular*, se adoptan los mismos parámetros de apuntamiento. Posteriormente en la etapa 2, una vez desnormalizado, se podrá evaluar la respuesta en frecuencia para este parámetro.

Dado que la separación entre elementos está normalizada para la frecuencia en esta etapa, se propone primero identificar los pares: (N_x, N_y) para el arreglo *Rectangular* y (A_n, N) para el arreglo *Circular* que cumplen los requisitos de ancho de haz en ambos ejes (azimut y elevación).

Para esto, se calculó el ancho del haz principal en elevación y en azimut (ver Figuras 6.b y 7.b) para los rangos:

-de 5 a 20 elementos para eje X y para eje Y con el arreglo *Rectangular*, y

-de 5 a 15 anillos y 10 a 50 elementos por anillo con el arreglo *Circular*.

Para que sean representables en las figuras mostradas, no se muestran todos los decimales usados en el cálculo.

Se puede observar que el eje de Cantidad de Anillos ajusta el ancho más rápidamente que el de Cantidad de Elementos.

Por medio de estas figuras se puede identificar un rango de entradas donde sea mejor iterar. En el caso Circular, para el eje de elevación θ , el rango de entrada por debajo de 10° está dado a partir de 12 anillos y de 10 elementos por anillo. Para el eje de azimut, se flexibilizará un poco el estudio tomando el rango de 12 a 50 elementos por anillo. De la misma forma se procede con el caso Rectangular, definiendo el par de entrada *inicial* para cada tipo de arreglo:

- Rectangular: $(N_x = 18, N_y = 16)$,

-Circular: $(A_n = 14, N = 17)$.

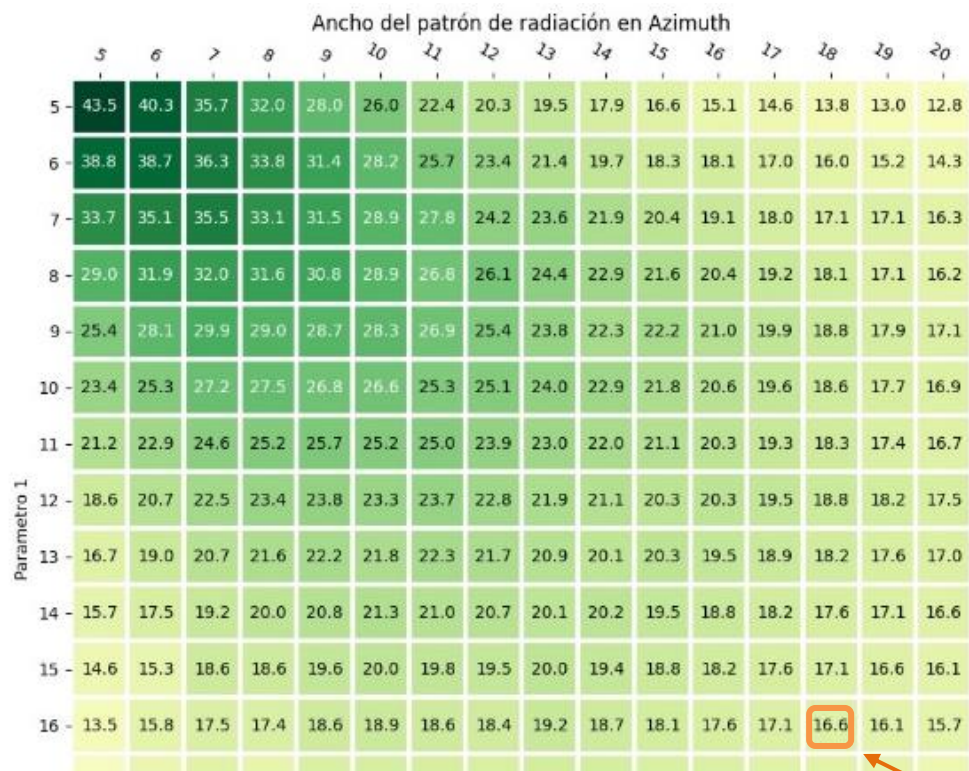


Figura 6.a. Ancho del arreglo Rectangular en azimuth



Figura 6.b. Ancho del arreglo Rectangular en elevación

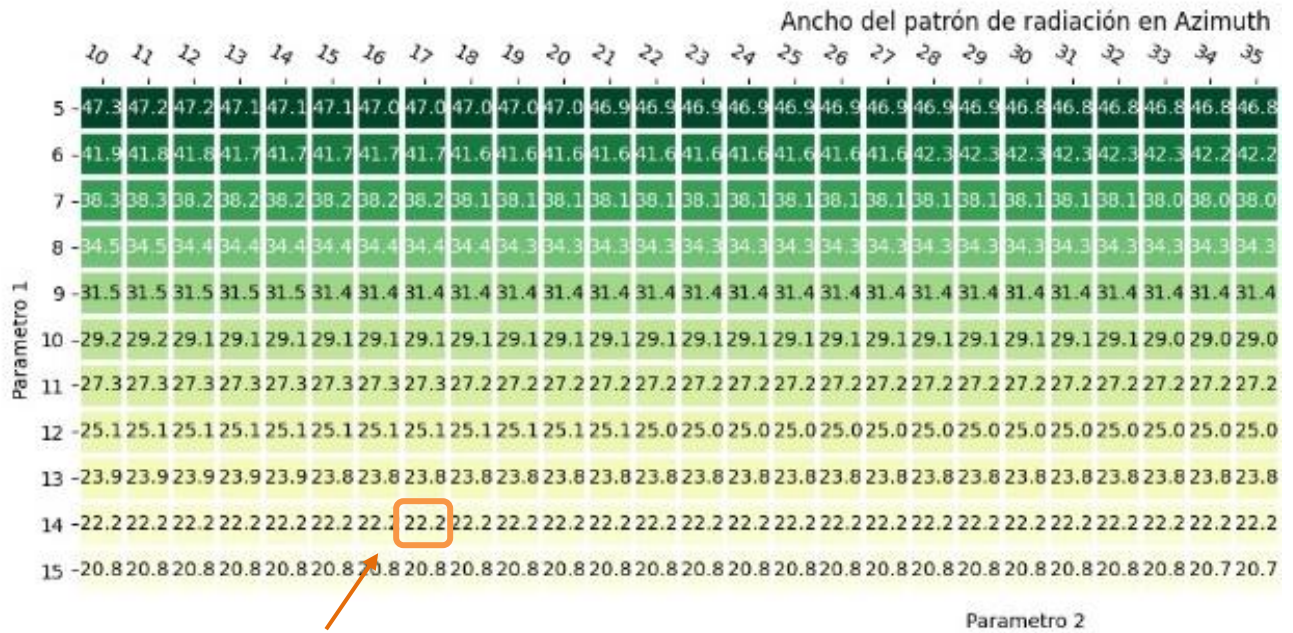


Figura 7.a. Ancho del arreglo Circular en azimuth

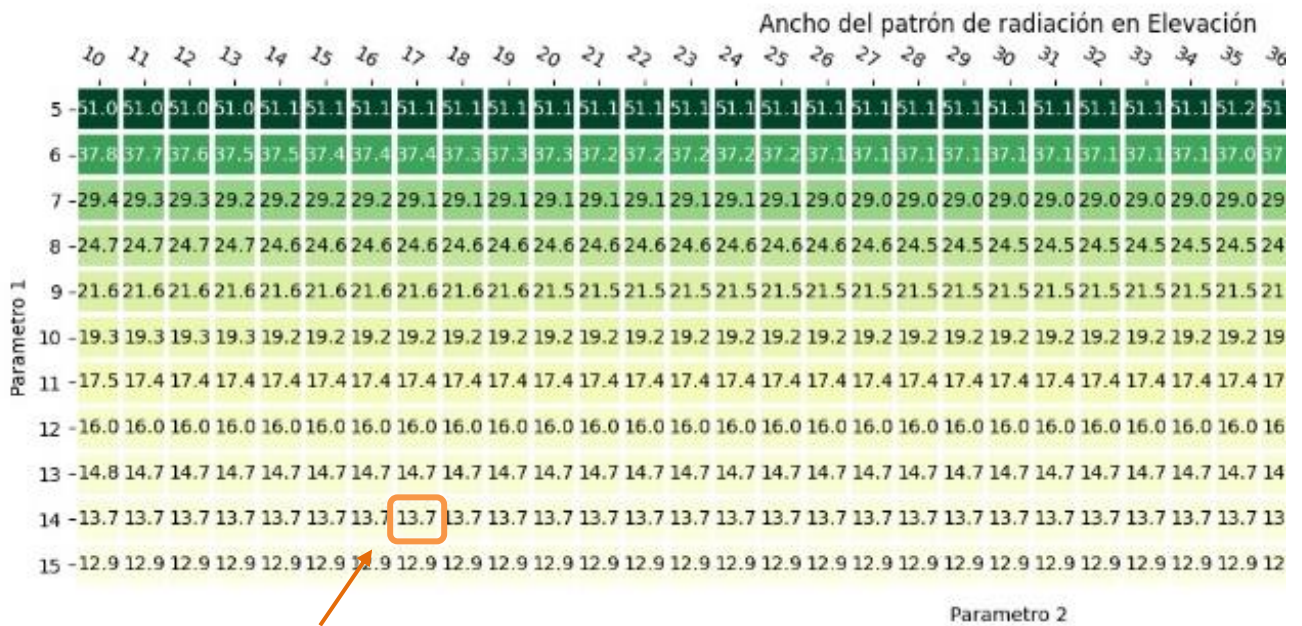


Figura 7.b. Ancho del arreglo Circular en elevación

Etapa 2

El siguiente paso es desnormalizar la frecuencia para obtener una distribución espacial en metros, a la que podamos evaluar su respuesta en frecuencia dentro del rango de frecuencias especificado.

Para el caso del arreglo Rectangular, se utiliza $f_{\text{diseño}} = 20 \text{ [MHz]}$ correspondiendo a una separación $d = 3,75 \text{ [m]}$. Para el caso Circular, la frecuencia $f_{\text{diseño}} = 5 \text{ [MHz]}$ elegida para desnormalizar corresponde a una separación radial entre elementos $d = 9 \text{ [m]}$.

Con esto, más la reutilización de funciones utilizadas previamente, es posible evaluar y obtener la respuesta en frecuencia de los arreglos para el *ancho del haz principal* (ver Figura 8 y Figura 9).

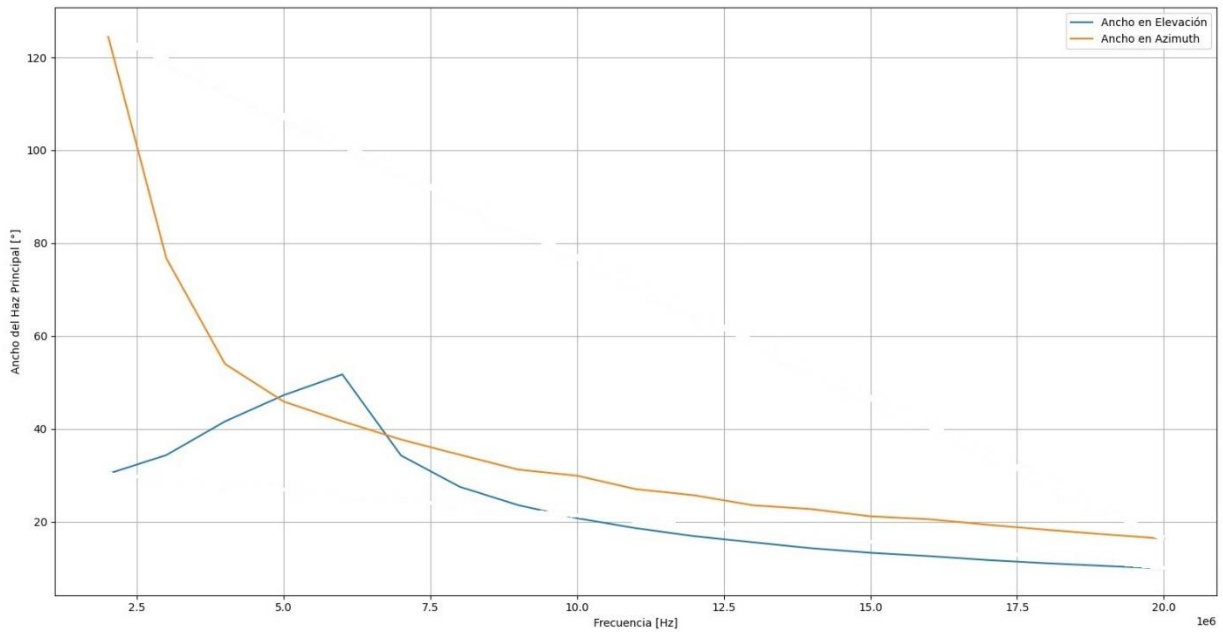


Figura 8. Respuesta en frecuencia del Ancho del Haz Principal para el arreglo Circular

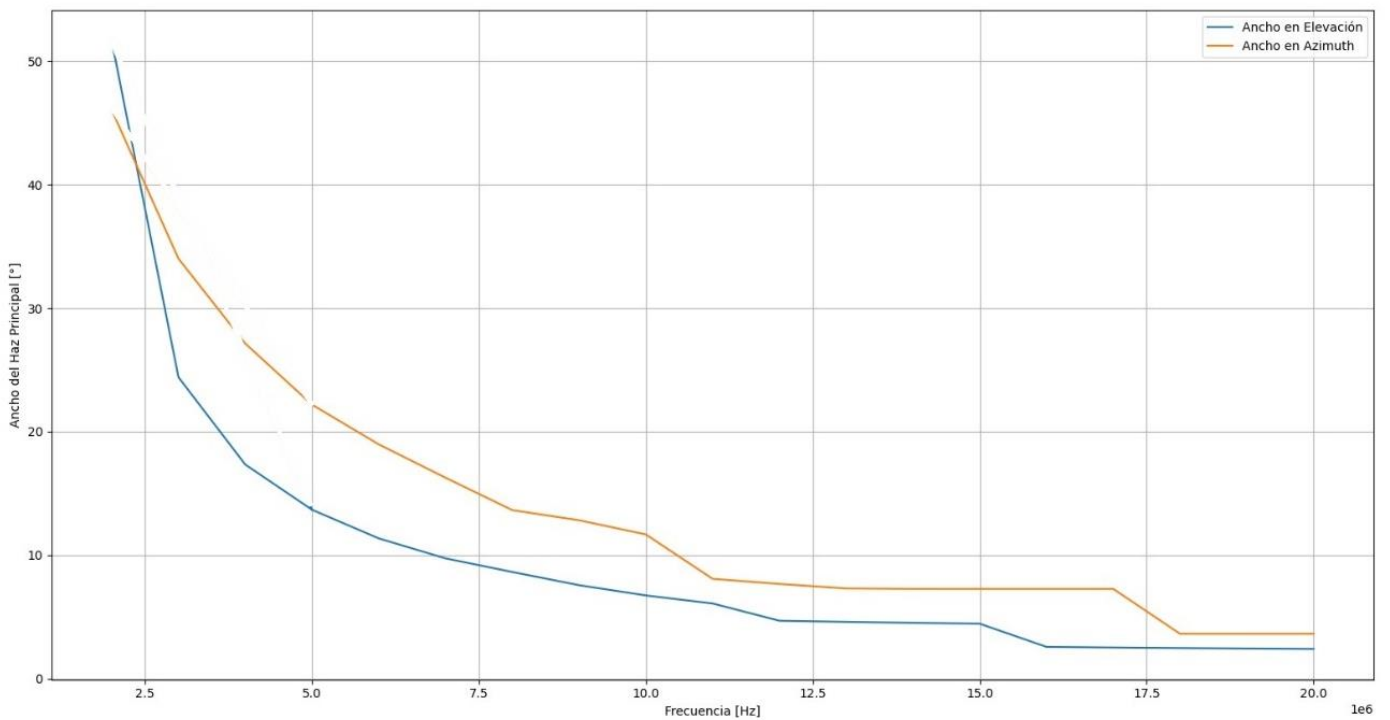


Figura 9. Respuesta en frecuencia del Ancho del Haz Principal para el arreglo Circular

Asimismo, los patrones de radiación correspondientes se muestra en la Figura 10 y Figura 11.

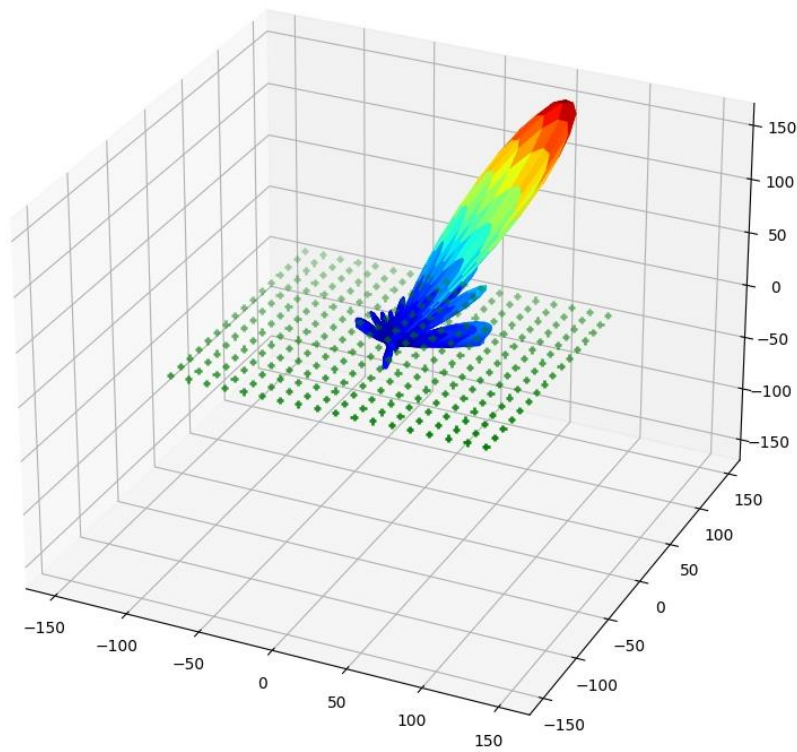


Figura 10. Patrón de radiación. Arreglo de 18 anillos y 16 elementos por anillo. Separación de $0,25 \lambda = 3,75 [m]$ para 20 MHz.

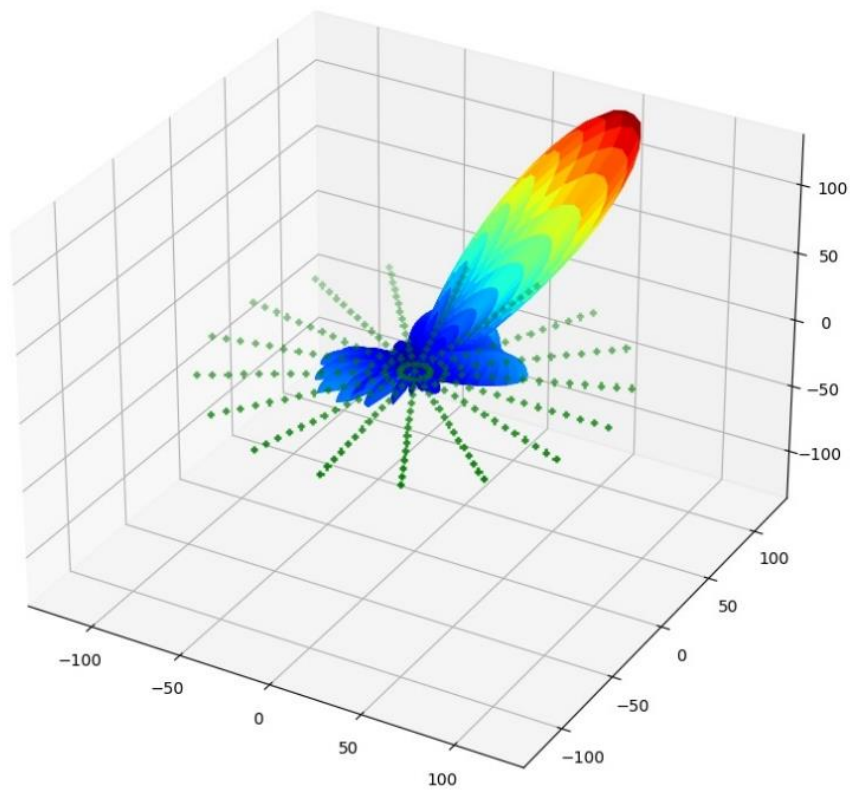


Figura 11. Patrón de radiación. Arreglo de 14 anillos y 17 elementos por anillo. Separación de $0,15 \lambda = 9 [m]$ para 5 MHz.

Se puede observar que efectivamente a medida que la frecuencia aumenta, el arreglo se comporta mejor afinando el ancho de su haz en ambos ejes. En el caso de que esta respuesta no presentara el comportamiento esperado, se puede optar por cambiar cualquiera de los parámetros elegidos hasta el momento:

- Cantidad de Elementos del Arreglo (basado en la Figura 4)
- Separación entre elementos
- Frecuencia de diseño

4. Conclusiones

La distribución *Circular* implementada en este informe presenta asimetría espacial, generando una densidad de elementos más alta en el centro que en la periferia. Normalmente es deseable una distribución más uniforme, como la rectangular planteada o bien los múltiples tipos de arreglos circulares, hexagonales y triangulares propuestos en [5].

Una solución alternativa al ancho de azimut que no cumple las especificaciones es dividir el arreglo en bandas más pequeñas de frecuencia de modo que entre todas puedan cubrir el rango propuesto. El análisis para este caso sería el mismo que el planteado, uno para cada rango de frecuencias.

La elección de $\theta = 30^\circ$ es una simplificación importante del problema que se intenta resolver. A medida que θ aumenta, el patrón comienza a deformarse en su interacción con la tierra. A su vez, aumentar el ángulo permite cubrir mayor rango, por lo que inevitablemente el haz debe seguir presentando las características necesarias para un correcto funcionamiento del sistema de radar. La flexibilidad en la elección de este parámetro dependerá en gran medida de si está diseñando un arreglo transmisor o uno receptor. Para el primer caso, se puede elegir un valor de θ holgado, mientras que para el segundo es deseable un haz más ajustado.

Este informe sirve de referencia para el diseño de nuevas disposiciones de antenas. Es posible reemplazar la función que genera la distribución espacial del arreglo y evaluar cualquier nueva distribución siguiendo los pasos mostrados.

El código fuente se puede encontrar en:

https://adrian_llanes@bitbucket.org/radaresfacet/arreglo_antenas.git

5. Referencias Bibliograficas

- [1] RICHARDS M. A., *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2005, McGrawHill, New York.
- [2] HANSEN R. C., *Phased Array Antennas*, 2009, Wiley, New Jersey.
- [3] MIRANDO BONOMI F. A., Curso de posgrado: *Diseño Avanzado de Arreglos de Antena*, 2021, Laboratorio de Telecomunicaciones FACET-UNT, San Miguel de Tucuman.
- [4] FABRIZIO, G. A. *High Frequency Over-the-Horizon Radar. Fundamental Principles, Signal Processing, and Practical Applications*, New York (United States), McGraw Hill, 2013, ISBN: 978-0387231907
- [5] Noordin, Nurul & Zúñiga Grajeda, Virgilio & El-Rayis, A.O. & Haridas, Nakul & Erdogan, Ahmet & Arslan, Tughrul. (2011). Uniform Circular Arrays for Phased Array Antenna. Proceedings of the 2011 Loughborough Antennas and Propagation Conference (LAPC). 10.1109/LAPC.2011.6114031.