

Antena Yagi-Uda (marzo de 2020)

Nicolás Patalagua ~ Paula Oviedo

Abstract: En este documento se evidencia el diseño y la simulación de una antena del tipo Yagi, a través del software de simulación ANSYS. Para este diseño se tuvo como base estructural un dipolo construido en clase.

I. INTRODUCCIÓN

ANSYS, Inc, se concibe como un software de simulación ingenieril, usado comúnmente para predecir el funcionamiento y reacción de un producto en un ambiente real. Por su parte cuenta con una serie de plataformas destinadas a realizar, generar, modelar y diseñar diversos entornos, productos y ambientes de simulación.

Para la práctica de diseño y simulación de una antena Yagi, se usó *ANSYS Electronics Desktop*, enfocado hacia alcanzar una serie de valores tanto en la impedancia de la antena como en la ganancia de la misma. En torno a la antena, las antenas de tipo Yagi fueron ideadas en primer momento como artefactos de guerra, para ser usados como arma radioactiva. Los resultados de varios experimentos no fueron los deseados por lo cual se abandonó este proyecto, que más tarde sería incorporado en el viejo continente y en Norteamérica para ser usado en la producción comercial de sistemas de difusión.

II. MARCO CONTEXTUAL

- **ANSYS:** *ANSYS, Inc* Swanson Analysis Systems, fundada en 1970, desarrolla, comercializa y brinda soporte a la ingeniería a través de un software de simulación, el cual permite predecir el funcionamiento y reacción de un producto en ambientes y condiciones específicas de un entorno real. Se hizo famosos en el año 2008, cuando el instituto nacional de estándares y tecnología (NIST), lo usara para modelar los hechos del desplome del edificio World Trade Center 7 durante los atentados del 11 de septiembre de 2001. [1]

ANSYS se encuentra dividido en tres herramientas principales o módulos, el primero es llamado pre-procesador, en este se realiza la creación de geometría y mallado, posterior a este se encuentra el procesador y post-procesador, los cuales están provistos de interfaz gráfica. [1]

- **ANSYS Electronics Desktop:** Es la principal plataforma unificada para la simulación electromagnética de circuitos y sistemas. Las herramientas estándar de oro como ANSYS HFSS, Maxwell, Q3D Extractor y Simplorer se construyen de forma nativa en el Escritorio Electrónico, que sirve

como un pre/postprocesador universal para estas herramientas. [2]

- **Antena Yagi-Uda:** Es una antena de direccional o directiva, capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada aumentando de esta forma la potencia emitida hacia el receptor o desde la fuente deseados lo cual evita interferencias introducidas por fuentes no deseadas.[3]

Fue inventada por el ingeniero eléctrico y doctor en ciencias técnicas japonés Hidetsugu Yagi [4], de la universidad imperial de Tohoku, y en una menor parte por Shintaro Uda. Esta antena fue patentada hasta el año 1926, su invención se dio mediante el diseño de una estructura simple de dipolo, combinada con elementos parásitos conocidos como reflectores y directores, con lo cual se logra una antena de alto rendimiento. Sin embargo, el uso de esta en el país Nipón se da solo hasta la Segunda guerra mundial, cuando las tropas imperiales se enteran del uso como antena de radar que le daba el ejército aliado. [5]

- **Dipolo:** Se refiere a un tipo de antena transmisora o receptora de ondas del espectro de radiofrecuencia, dándose lugar como las más simples desde el punto de vista teórico. [6]

El dipolo en su versión más sencilla consiste en dos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro y de radio mucho menor que el rango. [7]

- **Impedancia:** Comúnmente denotada con la letra Z, se define como la medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión o diferencia de potencial (Voltaje). [8]

La impedancia extiende el concepto de resistencia a los circuitos que usan corriente alterna y posee tanto magnitud como fase, lo que la diferencia de la resistencia que solo posee la magnitud. Es por esto que cuando un circuito es alimentado con corriente continua, su impedancia es igual a la resistencia, ósea una impedancia con Angulo de fase cero. [8]

- **Ganancia:** denotada con la letra S, es una magnitud que define la relación entre la amplitud de una señal de salida (Output signal) respecto a la señal de entrada (Input signal), es decir es una magnitud adimensional o magnitud de dimensión uno (magnitud sin dimensión física asociada), la cual se mide en unidades del sistema internacional como

el belio y sus submúltiplos como el decibel *dB*, comúnmente usado para expresar la relación entre dos calores de presión sonora, tensión o potencia eléctrica. [9]

- **VSWR:** *Voltage Standing Wave Ratio*, se define específicamente como el comportamiento del voltaje en relación a mínimos y máximos), es un fenómeno de onda estacionaria entre una línea de transmisión y su carga en el extremo. Su traducción al idioma español es *ROE*, o *Relación de Onda Estacionaria*, el cual implica una relación de razón geométrica entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo existente; usualmente es usado en líneas de transmisión de potencia de baja frecuencia y es común en radiofrecuencia. [10]
- **AWG:** *American Wire Gauge*, es usado con un sistema de referencia de clasificación de calibres o espesor de elementos metálicos de sección circular como alambres o rectangulares como láminas, la principal característica de este sistema de referencia es que entre mayor sea el número, menor será su espesor. [11]

III. DISEÑO

El diseño de la antena Yagi, siguió los parámetros de construcción de la misma, basados en el diseño y la simulación de un dipolo simple, al cual le serían añadidos un director y un reflector como se muestra en la imagen 1.

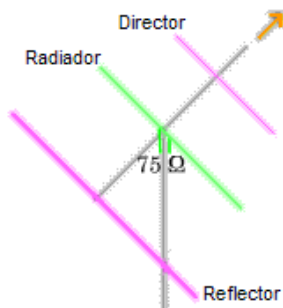


Imagen 1: Esquema de una antena Yagi

El dipolo diseñado, modelado y simulado en clase serviría como el conductor, el cual actúa como radiador. Por su parte los elementos parásitos, los cuales no son activos y tampoco se conectan a la línea de transmisión sin embargo reciben energía a través de la inducción mutua, estos son clasificados como reflectores y directores.

El funcionamiento de la Yagi en virtud del principio de reciprocidad permite demostrar las propiedades de una antena como la impedancia, la ganancia, entre otras, tanto en emisión como en la recepción. La Yagi está formada por un elemento alimentado, representado por el **dipolo simple** el cual es comúnmente conocido como radiador, por su parte el elemento parásito situado delante del elemento alimentado y que refuerza el campo hacia adelante es llamado **director** y los elementos situados detrás y que refuerzan el campo hacia adelante se llaman **reflectores**.

Por otra parte, para el diseño de una antena Yagi, no solo se tiene que tener en cuenta su estructura y funcionamiento, sino también las propiedades eléctricas de la misma, como lo es la tensión y corriente, el diagrama de emisión, la polarización, la impedancia y resonancia.

Para la construcción de la antena se realizó el diseño básico con un elemento director, un elemento reflector y un elemento activo. La longitud del elemento activo o **dipolo** fue establecida en $\lambda/2$, es decir la mitad de la longitud de onda. El **reflector** al ser ligeramente más grande tomó una medida de 0.18λ , es decir 18% más que $\lambda/2$; por su parte el **director**, es un 10% más corto que el *dipolo*, pero fue tomado como 0.09λ .

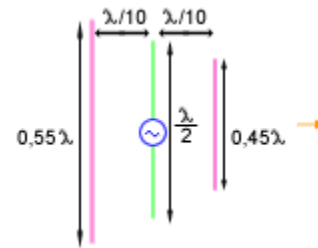


Imagen 2: Diseño básico de una Yagi

Los **cálculos** realizados para el diseño de la antena estuvieron dados por ecuaciones que permitieran hallar los valores de longitud y separación de los elementos de la antena en una frecuencia de **1.5 GHz**.

Las ecuaciones de las longitudes las siguientes:

$$\text{Reflector: } \frac{\lambda}{2} = \frac{150}{1.5 \cdot 10^6} [m]$$

$$\text{Dipolo: } 0.95 \frac{\lambda}{2} = \frac{142.4}{1.5 \cdot 10^6} [m]$$

Las ecuaciones del director:

$$\text{Director: } 0.900 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{1.5 \cdot 10^6} [m]$$

Y las ecuaciones de separación:

$$\text{Dipolo – reflector: } 0.18\lambda = \frac{54}{1.5 \cdot 10^6} [m]$$

$$\text{Dipolo – Director: } 0.09\lambda = \frac{27}{1.5 \cdot 10^6} [m]$$

En torno al radio y al λ , usados, se tomó como referencia el AWG 23 y 24, respectivamente.

AWG	Ø [Pulg]	Ø [mm]	Ø [mm"]
18	0.0403	1.02	0.623
19	0.0359	0.912	0.653
20	0.0320	0.812	0.518
21	0.0285	0.723	0.410
22	0.0253	0.644	0.326
23	0.0226	0.573	0.258
24	0.0201	0.511	0.205
25	0.0179	0.455	0.162
26	0.0159	0.405	0.129
27	0.0142	0.361	0.102
28	0.0126	0.321	0.0810

Imagen 3: Tabla de referencia AWG

El AWG 23 tiene un diámetro $\phi=0.573$ mm, por tanto, el radio establecido es de $r=0.2865$ mm, y en un segundo momento se redujo este valor usando el AWG 24 con un diámetro $\phi=0.511$ mm, el cual representa un radio de 0.2555.

lambda	192	mm
radio	0.2865	mm

Imagen 4: Variables establecidas

El diseño final en ANSYS Electronics Desktop, fue el siguiente:

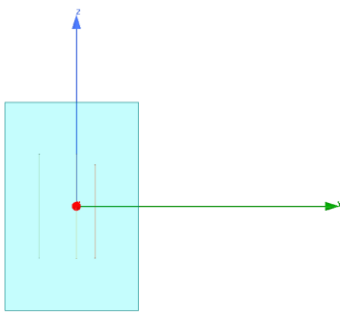


Imagen 5: Vista frontal Antena Yagi Versión 5.6

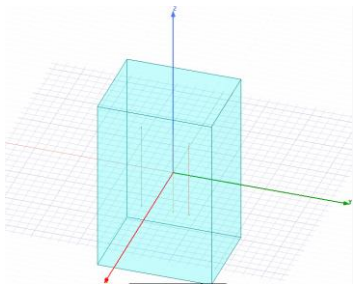


Imagen 6: Vista 3D Antena Yagi Versión 5.6



Imagen 7: Vista detallada Antena Yagi Versión 5.6

IV. RESULTADOS

Como ya se dijo se establecieron dos parámetros distintos en el radio AWG, el primero fue $r=0.2865$ mm y el segundo $r=0.2555$ mm, y un $\lambda=192$ mm.

El sweep de análisis fue establecido para realizar un *linear step* que comienza en 1.3 GHz y finaliza en 1.6 GHz, con pasos de 0.05 GHz. Y se crearon tablas de resultados para el parámetro S en dB, el parámetro Z tanto en la parte real como en la imaginaria y un último plot con el VSWR en dB.

Para cada gráfico se estableció un marcador en x en la frecuencia 1.5 GHz, la cual estamos analizando, los resultados solicitados para el parámetro S o ganancia, es de $s=-20$ dB o menor, para la impedancia o Z el valor solicitado es de 50Ω , en la parte real y un valor entre -1 y 1 en la parte imaginaria.

Los resultados obtenidos para $r=0.2555$ mm fueron los siguientes:

1. S=-33.51

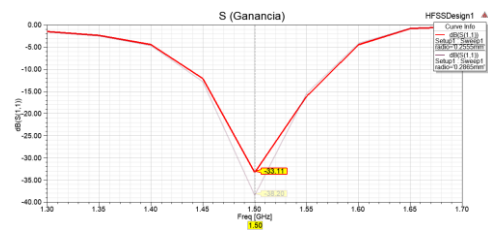


Imagen 8: Plot del parámetro S en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

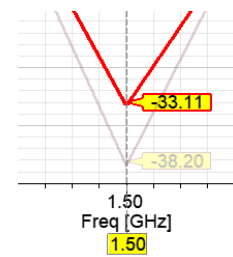


Imagen 9: Plot detallado del parámetro S de la frecuencia 1.5 GHz

2. Z real= 51.07

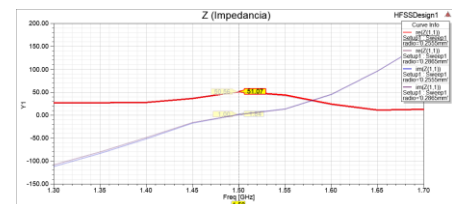


Imagen 10: Plot del parámetro Z real en las frecuencias 1.4~1.6 GHz



Imagen 11: Plot detallado del parámetro Z real en la frecuencia 1.5 GHz

3. Z Imaginario= 1.84

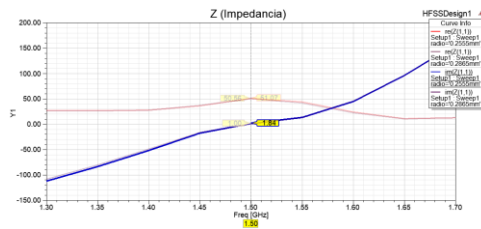


Imagen 12: Plot del parámetro Z imaginario en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

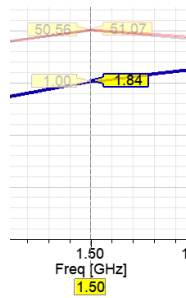


Imagen 12: Plot detallado del parámetro Z imaginario en la frecuencia 1.5 GHz

4. VSWR= 0.38

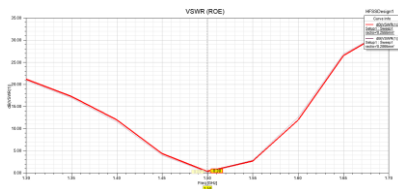


Imagen 13: Plot del parámetro ROE en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

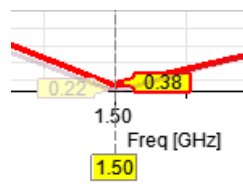


Imagen 14: Plot detallado del parámetro ROE en la frecuencia 1.5 GHz

Los resultados obtenidos para $r=0.2865$ mm fueron los siguientes:

1. S=-38.20

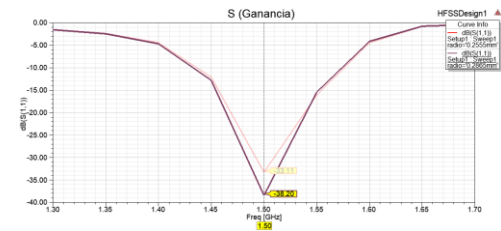


Imagen 15: Plot del parámetro S en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

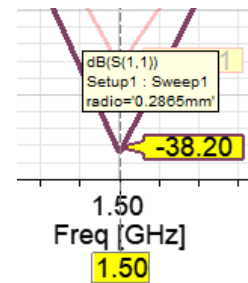


Imagen 16: Plot detallado del parámetro S de la frecuencia 1.5 GHz

2. Z real= 50.56

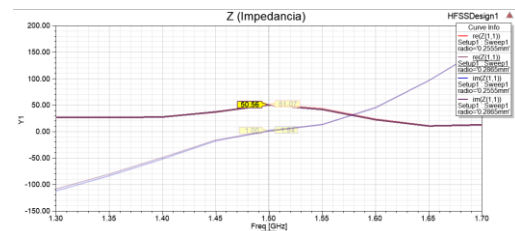


Imagen 17: Plot del parámetro Z real en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

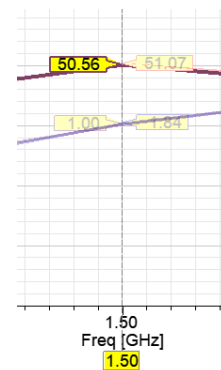


Imagen 18: Plot detallado del parámetro Z real en la frecuencia 1.5 GHz

3. Z Imaginario= 1.00

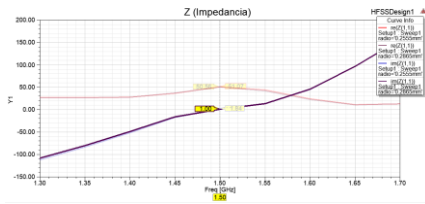


Imagen 19: Plot del parámetro Z imaginario en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

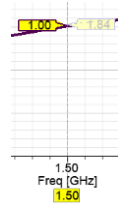


Imagen 20: Plot detallado del parámetro Z imaginario en la frecuencia 1.5 GHz

4. VSWR= 0.22

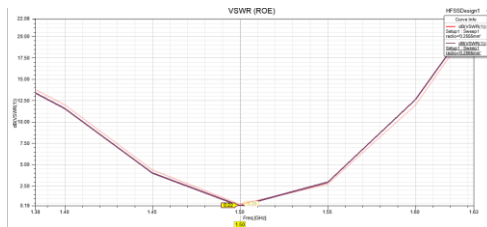


Imagen 21: Plot del parámetro ROE en las frecuencias 1.4~1.6 GHz

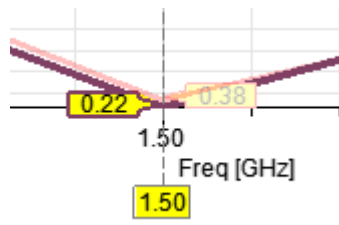


Imagen 22: Plot detallado del parámetro ROE en la frecuencia 1.5 GHz

V. CONCLUSIONES

Por el parámetro de impedancia, se puede suponer que esta antena representa una antena Yagi de emisión / recepción para radioaficionados o simplemente una antena de Wifi, debido a que se solicita un funcionamiento en la parte real de 50 Ω .

Habitualmente las antenas se diseñan para que la impedancia sea de 50 Ω o 75 Ω , las antenas de recepción de televisión funcionan con una impedancia de 75 Ω .

Al conectar el dipolo a la antena, la relación de V e L , en los terminales de la Yagi, permite modelarla como una impedancia compleja (Z), que varía con la frecuencia. Si la longitud del dipolo aumenta su impedancia de radiación se incrementa y su reactancia capacitiva disminuye.

Se puede concluir que algunas ventajas del uso de una antena Yagi, es la alta ganancia que ofrecen, la alta directividad, el fácil manejo y mantenimiento, además de la reducción en la energía disipada y una cobertura más amplia de frecuencias. Sin embargo, el diseño de una antena Yagi-Uda, presenta fallas al ser más propensas al ruido y a efectos atmosféricos como el viento, la lluvia, entre otros.

Entre las aplicaciones de la Yagi-Uda, se encuentra la comúnmente usada recepción de frecuencias de televisión, pero también es usada cuando se necesita una aplicación de una sola frecuencia.

VI. REFERENCIAS

- [1] Engineering Simulation & 3D Design Software / Ansys. <https://www.ansys.com/>. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [2] ANSYS Electronics Desktop - Software de simulación electromagnética / de análisis by ANSYS / DirectIndustry. <https://www.directindustry.es/prod/ansys/product-9123-1757799.html>. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [3] Antena direccional - EcuRed. https://www.ecured.cu/Antena_direccional. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [4] Hidetsugu Yagi. <http://www.infodorus.it/radio/fame/hyagi.htm>. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [5] Untitled Document. el 11 de junio de 2009, https://web.archive.org/web/20090611154616/http://i-eee.cincinnati.fuse.net/reiman/05_2004.htm.
- [6] Electronic Radio and Engineering. F.R. Terman. MacGraw-Hill
- [7] Classical Electricity and Magnetism. W. Panofsky and M. Phillips. Addison-Wesley
- [8] Impedancia - EcuRed. <https://www.ecured.cu/Impedancia>. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [9] Laster, Clay. Guía del Radioaficionado Principiante. Marcombo, 1984.
- [10] ¿Qué es VSWR? - telecomHall ES. <http://www.telecomhall.com/es/que-es-vswr.aspx>. Consultado el 18 de marzo de 2020.
- [11] Fink, Donald G., et al. Manual práctico electricidad ingenieros. Reverte, 1981.