

Diseño e Implementación de Antenas para el Laboratorio de la FIEE

Design and Implementation of Antenna for FIEE Laboratory

Esequiel Zavala Huavel¹, Víctor Cruz Ornetta², Lita Martha soto nieto³, Jesús Villanueva Napuri⁴, Johnatan Giraldo Chavarria⁵ y Omar Escurra Ichpas⁶

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Resumen— El presente trabajo tiene por objetivo mejorar el equipamiento del laboratorio de antenas y para ello se ha diseñado e implementado arreglos de antenas log periódica en un rango de frecuencias de 200MHz hasta 1000MHz. En la realización de este proyecto se consideró la geometría del dispositivo para caracterizarlas y luego desarrollar el diseño. Luego de haber realizado un análisis exhaustivo de los diferentes modelos de antena, se procedió a diseñar y desarrollar la construcción de una antena log-periódica y finalmente ejecutar las pruebas mecánicas y eléctricas con la instrumentación disponible.

Abstract— This paper aims to improve antennas laboratory and for it is designed and implemented periodic antenna arrays logo in a frequency range of 200MHz to 1000MHz. In this project the geometry of the device is considered to characterize and then develop the design. After completing a thorough analysis of the different antenna models, we proceeded to design and develop the construction of a log-periodic antenna and finally executing the mechanical and electrical tests available.

Palabras Claves - Antena, dipolo, antena VHF, antena UHF, antena log-periódica.

Key Words - Antenna, dipole, antenna VHF, UHF antenna, log-periodic antenna.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objetivo mejorar el equipamiento del laboratorio de antenas y para ello se ha diseñado e implementado antenas log-periódica en un rango de frecuencias de 200MHz hasta

1000MHz. En el desarrollo de este proyecto se ha considerado la geometría, así como las características y propiedades del modelo de antena de interés, para finalmente proceder al diseño, tomando en consideración lo indicado por C.A.Balanis y de la IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, [1], [2].

Por su forma, podemos clasificar las antenas como:

- a) **Antenas de cable**; como, por ejemplo, los dipolos, mono polos, espiras, helicoides (ver Fig. 1). Las antenas de televisión que habitualmente encontramos en los edificios están formadas por un conjunto de dipolos.
- b) **Antenas de apertura** como, por ejemplo, las bocinas Fig. 2. y las antenas microtiras (ver Fig.4).

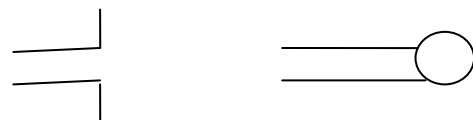


Fig.1 Antenas de hilo.

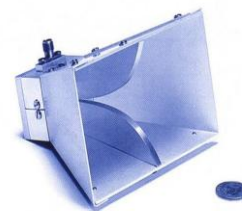


Fig.2 Antena bocina.

- c) **Reflectores**: antenas formadas por un reflector, generalmente con perfil parabólico, y la antena situada en el foco del reflector. Las grandes antenas de observación del espacio son un ejemplo de ellas ver Fig.3.

- d) **Agrupaciones de antenas** cuando se junta más de una antena para conseguir determinadas características

¹ Esequiel Zavala Huavel, E-mail: ezavalah@unmsm.edu.pe

² Víctor Cruz Ornetta, E-mail: vcruzor@gmail.com

³ Lita M. Soto Nieto, E-mail: lsoton@unmsm.edu.pe

⁴ Jesús Villanueva Napuri, E-mail: jvon@hotmail.com

⁵ Johnatan Giraldo Chavarria, E-mail: johnataning@hotmail.com

⁶ Omar Escurra Ichpas, E-mail: oesic94@gmail.com

Recibido: Mayo 2015 / Aceptado: Junio 2015

de radiación, como las antenas para estación base de telefonía móvil la cual es una agrupación de doble banda y doble polarización [10], [11].



Fig.3 Reflector parabólico. Foto de Lasalle online antenas

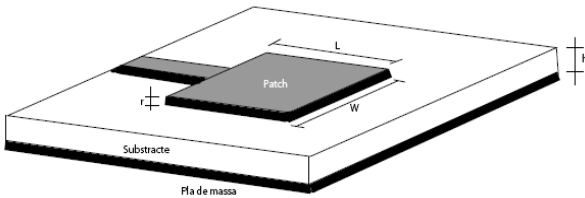


Fig.4 Antena microtira.

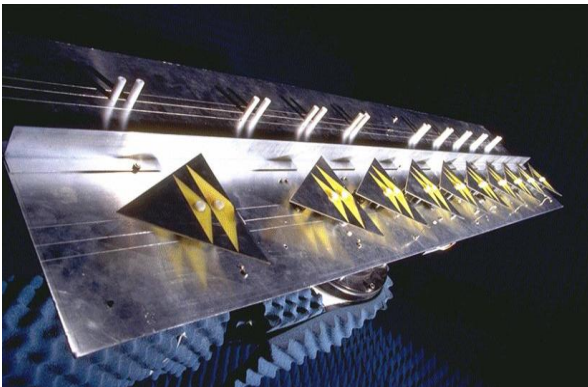


Fig.5 Agrupación de antenas. Foto de Lasalle online antenas

Por su comportamiento podemos clasificar:

- a) **Antenas de banda ancha:** cuando las antenas pueden trabajar en un margen muy amplio de frecuencias. Por ejemplo tenemos antenas de bocina para realizar medidas radioeléctricas en cámara anecoica desde un rango de 700 MHz a 6 GHz sin necesidad de cambiar la antena.
- b) **Antenas miniatura:** cuando la antena presenta dimensiones más pequeñas que la longitud de onda. La dimensión está directamente relacionada con su comportamiento electromagnético.
- c) **Antenas multifrecuencia:** antenas que pueden operar con características muy similares para diferentes sistemas de telecomunicación. Las antenas de estación base y terminales móviles que

operan a GSM900 y GSM1800 son casos de antenas multifrecuencia [4].

II. METODOLOGÍA

Fase I. Se reunió toda la documentación necesaria referente a la construcción de una antena de banda ancha.

Fase II. Una vez analizada la documentación de la fase previa se procedió a analizar la geometría de las antenas para seleccionar lo más adecuado.

Fase III. Realizar las pruebas en el INICTEL y otras instituciones.

III. ESTADO DEL ARTE

Es interesante mencionar cuáles son las tendencias actuales, tanto de investigación básica como de interés comercial. Por un lado, la evolución de los métodos numéricos, junto con los procesadores más rápidos, permiten analizar antenas en estructuras embarcadas, como barcos, aviones, satélites, coches, y experimentar el comportamiento de la antena en el espacio libre.

Miniaturizar el elemento radiante es sumamente importante para facilitar la integración en el dispositivo. El diseño de este tipo de antenas lleva consigo diversos parámetros como la radiación de la antena teniendo en cuenta el cuerpo humano, propagación y multitrayecto. Esto hace que sea un campo de investigación interesante. Otro ejemplo es la integración de una antena en un chip, juntamente con toda la parte de radiofrecuencia, como filtros y amplificadores. Es lo que se llama *system-on-chip*. [5].

Las antenas que puedan operar en varios sistemas de comunicación con características similares de radiación se llaman antenas multifrecuencia. Como se experimentó en el proyecto es complicado lograr que la antena presente propiedades similares en varias bandas de frecuencia.

Las antenas dieléctricas es otro campo de interés. Generalmente pensamos que las antenas sólo son estructuras metálicas. Sin embargo, existe la posibilidad de diseñar antenas dieléctricas del mismo modo que un conductor fija unas condiciones determinadas de contorno (campo eléctrico tangencial nulo en su superficie), las dieléctricas fijan otras y, así, podemos encontrar bocinas construidas exclusivamente con dieléctrico, por ejemplo, las lentes. Ver [6].

La necesidad de incrementar la capacidad de las redes inalámbricas ha motivado la investigación de métodos que mejoren la capacidad de selección espacial. En este sentido, los sistemas de antena inteligente (*smart antennas*, *MIMO - multiple Input Multiple Output*) dotan de mayor capacidad, mejor calidad de servicio y más tiempo de vida de las

baterías en las unidades móviles. Las antenas inteligentes están basadas en una agrupación de antenas y un algoritmo de formación de haz.

Un último caso de gran relevancia es la aplicación de la geometría fractal al diseño de antenas [8]. La aplicación de dicha geometría es útil para el diseño de antenas eléctricamente pequeñas, multifrecuencia y de alta directividad.

III. PARÁMETROS DE LA ANTENA DE TRANSMISIÓN

A. Impedancia de entrada

Una antena presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en el puerto de entrada. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia f_0 si la parte imaginaria de la impedancia de entrada en f_0 es cero. Una antena presenta generalmente muchas resonancias, que denominamos “modos”, [7].

Generalmente el transmisor se encuentra distante de la antena y la conexión se realiza mediante una línea de transmisión o guía de ondas, que participa también en esta adaptación, considerando su impedancia característica, atenuación y longitud.

Por debajo de un determinado valor, como por ejemplo $ROE < 3$ en los casos menos restrictivos, puede considerarse que una antena está bien adaptada cuando la adaptación es perfecta $\rho = 0$ y $ROE = 1$, y cuando la desadaptación es total $|\rho| = 1$; $ROE = \infty$, donde el coeficiente de onda estacionaria ROE está definida por:

$$ROE = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{z_L - z_0}{z_L + z_0} \quad (2)$$

donde Z_L es la impedancia de la antena y Z_0 es la impedancia de referencia.

B. Coeficiente de desadaptación de impedancia en transmisión (Ca_T)

El Ca_T establece la relación entre la potencia que se entrega a la antena (PAN) y la potencia que se hubiera podido entregar si ésta hubiera estado perfectamente adaptada en condiciones de máxima transferencia de potencia (PAMAX). Ver fig.6.

$$Ca_T = \frac{P_A}{P_{A_{max}}} = 1 - |\rho|^2 = 1 - \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 \quad (3)$$

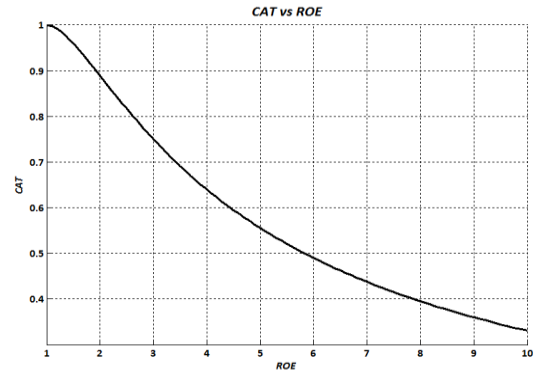


Fig. 6. Coeficientes de desadaptación de impedancias.

C. Eficiencia de radiación

En la impedancia la parte real se puede dividir en dos, una llamada resistencia de radiación (R_r) y otra llamada resistencia de pérdidas (R_Ω). Por lo tanto se define la eficiencia de radiación como:

$$n_r = \frac{P_r}{P_r + P_\Omega} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad (4)$$

donde P_Ω es la potencia disipada a causa de las pérdidas en la antena, pérdidas en el dieléctrico o en el conductor, y P_r es la corriente en los terminales de la antena. La eficiencia total se define como:

$$n_t = n_r (1 + |\rho|^2) \quad (5)$$

Por lo tanto, se debe intentar maximizar el producto adaptando la antena y al mismo tiempo, utilizando materiales y estructuras geométricas eficientes, [9].

Un nuevo término llamado *mismatch loss*, que indica las pérdidas por desadaptación. Como orden de magnitud, una $ROE=2$, significa una pérdida por desadaptación de 0.5dB. Por lo tanto, en el mejor de los casos (eficiencia de radiación del 100%), se radiará un 88.9% de la potencia entregada a la antena, ver Tabla 1.

D. Intensidad de radiación

Una característica fundamental de una antena es su capacidad para radiar en una dirección, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Por lo tanto, será conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro que permita establecer una comparación entre diferentes antenas: intensidad de radiación. Antes de este paso, se tiene que definir el marco de referencia en el que se encuentra situada la antena con la que se quiere caracterizar. Para dicho efecto, se utiliza un sistema de coordenadas que permite definir cómodamente una

dirección en el espacio: coordenadas esféricas. El sistema de coordenadas esféricas define los vectores unitarios r^{\wedge} , Θ , φ , que forman una base ortogonal.

TABLA I
RELACIÓN SWR, COEFICIENTE DE REFLEXIÓN, Y MISMATCH LOSS

SWR	S11, ρ (dB)	1- ρ ² (%)	1- ρ ² (dB)
6	-2.9	49.0	-3.10
3	-6.0	75.0	-1.20
2	-9.5	88.0	-0.50
1.5	-14.0	96.0	-0.20
1.1	-26.4	99.8	-0.01

La onda electromagnética radiada por una antena se compone de una intensidad de campo eléctrico E [V/m] y una intensidad de campo magnético H [H/m], ambas

Magnitudes vectoriales ligadas por las ecuaciones de Maxwell.

E. Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las diferentes direcciones del espacio (sistema de coordenadas esférico) a una distancia fija. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia, expresa el campo eléctrico en función de las variables angulares Θ y φ . El diagrama de radiación cobra relevancia en la zona de campo lejano, es decir, en la zona donde la forma del diagrama es invariante en función de la distancia.

Como el campo magnético se deriva directamente del campo eléctrico, la representación puede realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

En campo lejano, la densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, algo que hace que la representación gráfica de un diagrama de potencia contenga la misma información que un diagrama de radiación de campo. Ver Fig. 7.

F. Directividad de una antena

Esta se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección en una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia de la antena transmisora.

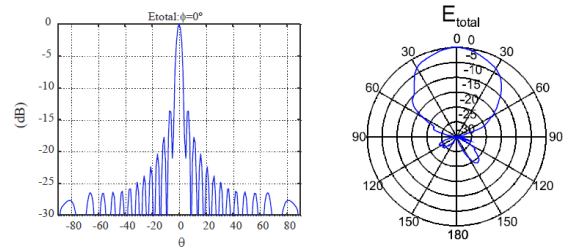


Fig. 7. Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas y polares.

Podemos decir que si una antena es muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección. Por ejemplo una antena tipo reflector parabólico para observación astronómica tiene mucha directividad (50dB). Esto le permite apuntar en una determinada dirección para recibir la señal y no recibir de otras direcciones, [7].

G. Polarización

La polarización de una antena en una dirección dada se define como “la polarización de la onda radiada cuando ésta se encuentra excitada”. La polarización generalmente se define en la dirección en la que la antena radia el máximo de potencia, ya que los enlaces se diseñan para que sean eficientes en la dirección de máxima radiación. La polarización de la onda radiada varía con la dirección respecto al centro de la antena, por lo que diferentes partes del diagrama de radiación pueden tener diferentes polarizaciones. Fig.8.

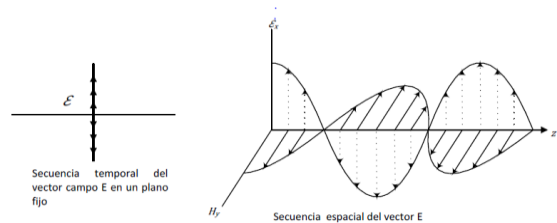


Fig.8 Onda polarizada verticalmente.

V. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA LOGO PERIÓDICA

La antena logoperiódica es un caso particular de una antena auto escalable donde la antena no lo es para cualquier factor de escala K sino para un determinado conjunto de valores. Estrictamente la antena no es independiente de la frecuencia sino más bien multifrecuencia. De todos modos si las bandas son próximas la antena es de banda ancha. El ejemplo más común es la agrupación logo periódica de dipolos. Ver Fig. 9.

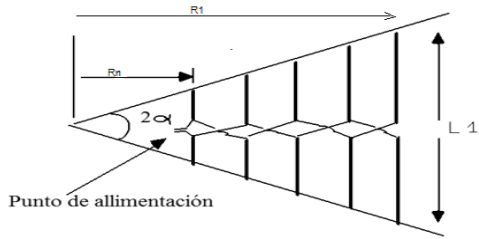


Fig. 9 Antena logoperiódica. L_1 : largo del dipolo mayor
 R_1 : distancia desde el origen hasta el dipolo mayor.
 α : ángulo del origen.

En la estructura de la Fig. 9 existen las siguientes relaciones:

$$\frac{d_{n-1}}{2L_n} = \delta \quad (7)$$

$$\frac{x_n}{x_{n-1}} = \frac{L_n}{L_{n-1}} = \tau \quad (8)$$

$$h_n = \frac{L_n}{2} \quad (9)$$

Siendo,

τ - factor de esala

δ - constante de espaciado

Como se ve, la longitud, el radio y la distancia al vértice de un dipolo y su adyacente están relacionados con τ .

Cuando se cambia la frecuencia dentro la banda de trabajo se observa que la corriente máxima en la entrada se consigue cuando la región activa encuentra al menos dos dipolos “cuasi resonantes”. Es decir que la relación de frecuencias que determinan el ancho de banda de trabajo B_F sea algo menor que la relación de longitudes de los dipolos mayor y menor que deben ser de $\lambda/2$ para las dos frecuencias límite y, teóricamente, dicha relación debía coincidir con B_F . Esta relación se llama “ancho de banda de estructura B_{ES} y está dada por:

$$B_{ES} = \frac{h_1}{h_n} = \tau^{1-n} \quad (10)$$

Los dos anchos de banda están relacionados por:

$$B_F = \frac{B_{ES}}{B_{RA}} \quad (11)$$

Siendo B_{RA} el ancho de banda de la región activa y que viene dada por:

$$B_{RA} = 1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \tan(\alpha) \quad (12)$$

Conocida B_{RA} y B_F podemos determinar B_{ES} por:

$$B_{ES} = B_F B_{RA} \quad (13)$$

Primero fijaremos los parámetros previos como son las frecuencias de la banda de trabajo las resistencias de entrada y escoger los valores de τ , δ , y α que optimicen los resultados [13] y [14].

Escoger las frecuencias límite F_S (frecuencia superior) y F_I (frecuencia inferior) para determinar sus longitudes de onda:

$$\lambda_s = 300/F_S \text{ (MHz)}$$

$$\lambda_l = 300/F_I \text{ (MHz)}$$

Se ha visto que las longitudes de los dipolos mayor y menor no corresponden exactamente con la media longitud de onda lo que hace que se considere “un ancho de banda estructural “diferente al ancho de banda definido por la relación de frecuencias. Se considera un factor de corrección de la longitud de cada uno de los dipolos.

Para el dipolo mayor su longitud viene dada por:

$$L_1 = K_1 \lambda$$

donde el factor K_1 se ha calculado por la ecuación $K_1 = 1.01 - 0.519\tau$. Así mismo la longitud del dipolo menor es: $L_n = K_2 \lambda_s$ y K_2 se calcula como:

$$K_2 = 7.08\tau^3 - 21.3\tau^2 + 21.98\tau - 7.30 + \delta(21.82 - 66\tau + 62.12\tau^2 - 18.29\tau^3)$$

Elegimos τ entre 0.8 y 0.9 entonces se determina el ancho de banda B_F y las longitudes de onda. Se calcula ahora: $\delta = \delta_{OPT} = 0.243\tau - 0.051$. Se puede calcular $\tan(\alpha) = 4\delta/(1-\tau)$. Así que se puede calcular el ancho de banda estructural B_{ES} , el ancho de banda de trabajo B_F y el ancho de banda de la región activa B_{RA} .

Se calcula la distancia entre los dipolos extremos

$$L = \frac{\lambda_l}{4} \left[1 - \frac{1}{B_{ES}} \right] \tan(\alpha) \quad (14)$$

y el número de elementos (dipolos) del sistema son:

$$N = 1 + \frac{L_n B_{ES}}{L_n \frac{1}{\tau}} \quad (15)$$

El elemento más largo es: $L_1 = K_1 \lambda_l$ y los siguientes elementos se determinan a partir de L_1 :

$$L_2 = L_1/\tau, L_3 = L_2/\tau, L_4 = L_3/\tau, \dots, L_N = L_{N-1}/\tau$$

Las distancias que separan los dipolos se calculan de la siguiente manera. La distancia entre el primer (más largo) y segundo dipolo viene dada por:

$$d_{1-2} = \left[\frac{L_1 - L_2}{2} \right] \text{ctan}(\alpha) \tag{16}$$

y la operación se repite para el resto hasta llegar a $d_{(N-1)-1}$, α : ángulo del origen, con valores típicos de $10^\circ < \alpha < 45^\circ$ y $0.7 < \tau < 0.95$.

Si α es alta, τ es bajo y viceversa. Para $\tau = 0.859$; $\delta = 0.066$, $\alpha = 28.106^\circ$.

Para la obtención de τ y δ recurrimos al diagrama que se muestra en la Fig.10.

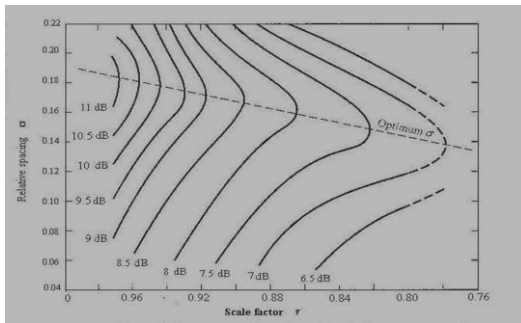


Fig.10. Diagrama para obtención de τ y δ

Aplicando las fórmulas de la parte superior obtenemos la longitud de los dipolos. Ver Tabla 2.

TABLA 2
LONGITUD DE LOS DIPOLOS

L1	84,8250000cm
L2	72,8646750cm
L3	62,5907558cm
L4	53,7654593cm
L5	46,1845295cm
L6	39,6725108cm
L7	34,0786868cm
L8	29,2735920cm
L9	25,1460155cm
L10	21,6004273cm
L11	18,5547671cm
L12	15,9385449cm
L13	13,6912101cm
L14	11,7607495cm
L15	10,1024838cm
L16	8,67803357cm

Igualmente se calculó la distancia de los dipolos. Ver tabla 3.

TABLA 3
DISTANCIA DE LOS DIPOLOS RESPECTO AL VÉRTICE

R1	79,76000000cm
R2	68,51384000cm
R3	58,85338856cm
R4	50,55506077cm
R5	43,42679720cm
R6	37,30361880cm
R7	32,04380855cm
R8	27,52563154cm
R9	23,64451749cm
R10	20,31064053cm
R11	17,44684021cm
R12	14,98683574cm
R13	12,87369190cm
R14	11,05850135cm
R15	9,499252656cm
R16	8,159858031cm

Después de estos resultados se procedió a implementar y construir la antena como se muestran en la Fig. 11, 12, y 13.



Fig.11. Preparando los dipolos.



Fig.12. Conjunto de dipolos.



Fig.13. Antena logoperiódica concluida.

VI. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como parte del desarrollo del proyecto es realizar las mediciones de la antena logoperiódica con un analizador de redes cuyo resultado se muestra en la Fig. 14 y 15.

De acuerdo a las pruebas mediante un analizador de redes se pudo comprobar que la logoperiódica tiene un comportamiento característico para este tipo de

antenas. Tiene un ROE de 2.8 para 220MHZ y un ROE de 3.14 para 330MHZ.

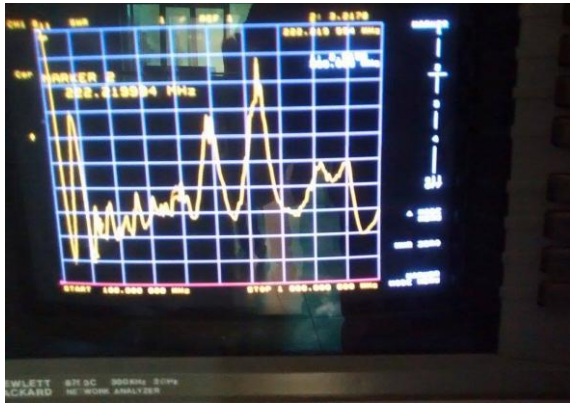


Fig.14. Resultado del analizador de redes.

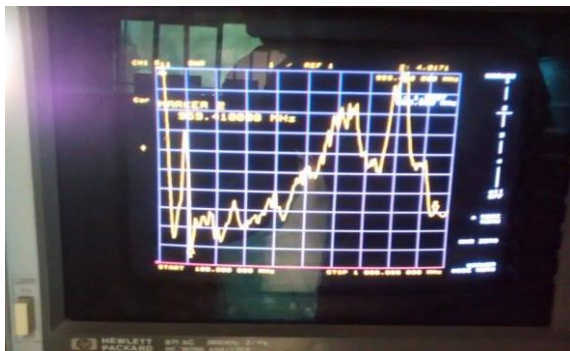


Fig.15. Resultado del analizador de redes.

Después de analizar estos resultados se deduce que se tiene que disminuir el ROE (1.5-2) para frecuencias más anchas.

V. CONCLUSIONES

Se tiene que mejorar la estructura de la antena log-periódica para lograr los objetivos finales.

La experiencia lograda por los alumnos participantes del proyecto es importante para la mejora final del proyecto.

Se hace muy necesario que los laboratorios de la FIEE dispongan de un analizador de espectro

REFERENCIAS

- [1] IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, Std 145-1983, Revision of ANSI/IEEE Std 145-1973.
- [2] C.A.Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 2on Edition, John Wiley, 1997.
- [3] S. Risco, J. Anguera, A. Andújar, A. Pérez, C. Puente, "Coupled Monopole Antenna Design for Multiband Handset Devices", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol.52, nº10, pp.359-364, Feb. 2010.

- [4] J. M. J. W. Jayasinghe, D.N. Uduwawala, and J. Anguera, "Design of Dual Band Patch Antennas for Cellular Communications by Genetic Algorithm Optimization", *International Journal of Engineering & Technology*, vol.1, nº1, pp.26-43, 2012.
- [5] S. A. Long, M. McAllister, and L. C. Shen, "The resonant cylindrical cavity antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, pp.406-412, May 1983.
- [6] M. McAllister and S. A. Long, "Resonant hemispherical dielectric antenna," *Electron. Lett.* , Vol. 20, pp. 657-659, Aug. 1984
- [7] C.Puente, "Fractal antennas", Ph.D. Dissertation at the Dept. of Signal Theory and Communications, *Universitat Politècnica de Catalunya*, 1997.
- [8] J.Anguera, "Fractal and Broadband Techniques on Miniature, Multifrequency, and High-Directivity Microstrip Patch Antennas", Ph.D. Dissertation at the Dept. of Signal Theory and Communications, *Universitat Politècnica de Catalunya*, 2003.
- [9] J. Anguera, C. Puente, C. Borja, and J. Soler, "Fractal-Shaped Antennas: a Review". *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, vol.2. pp.1620-1635, 2005.
- [10] J.Anguera, J-P Daniel, C.Borja, J.Mumbrú, C.Puente, T.Leduc, N.Laeveren, P. Van Roy, "Metallized Foams for Fractal-Shaped Microstrip Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.50, nº6, Dec. 2008, pp.20-38
- [11] T.K.Sarkar, R.J.Mailloux, A.A.Oliner, M.Salazar, D.L.Sengupta, "History of Wireless", *Wiley Interscience, Kai Chang*, Series Editor, 2006.
- [12] R. H. Johnston and J. G. McRory, "An improved small antenna radiation efficiency measurement method," *IEEE Antennas Propag. Mag.*,vol. 40, no. 5, pp. 40-48, Oct. 1998.
- [13] A.Cardama, L.Jofre, J.M.Rius, J.Romeu, S.Blanch, "Antenas", *Ediciones UPC*.
- [14] Garcia Dominguez A." Calculo de antenas" 4ª edición *Marcombo*, 2012.