



Diseño de una antena cilindro parabólica offset en la banda X para el radar FURUNO

Daryl Ortega González, Pedro Arzola Morris

RESUMEN / ABSTRACT

En un radar costero se requiere además de un patrón de radiación directivo un nivel de lóbulos secundarios o parásitos pequeño. Con el objetivo de reducir a 3° el ancho del haz de media potencia de la antena original del radar FURUNO, en el presente artículo se muestra al lector el diseño de una antena cilindro parabólica de foco desplazado en la banda X a 9,4 GHz. Se plantea el análisis por separado de la antena en dos planos. En el plano vertical se propone como antena excitadora una antena de bocina sectorial H. En el plano horizontal se propone un arreglo lineal uniforme de 129 elementos. De los resultados obtenidos se ve como con el diseño presentado se logra una mayor directividad, un aumento de la ganancia en aproximadamente 8dB lo que trae como consecuencia un aumento en la relación Ganancia-Temperatura de ruido, niveles de lóbulo secundarios de -25 dB y además, de forma teórica, se logra aumentar en más de dos veces el alcance del radar costero.

Palabras claves: antena cilindro parabólica, foco desplazado, arreglo lineal, FURUNO.

In coastal radar, In addition to a direct radiation pattern, a level of secondary lobes or small parasites is required. With the aim of reduce the width of the half-power beam of the original FURUNO radar antenna to 3° , in this article the reader is shown the design of an offset parabolic cylindrical reflector antenna in the X band at 9.4 GHz. The analysis of the antenna in two planes is proposed separately. In the vertical plane, a sector horn antenna is proposed as an excitation antenna. In the horizontal plane, a uniform linear array of 129 elements is proposed. From the results obtained it is seen how with the presented design a greater directivity is achieved, an increase of the gain in approximately 8dB which results in an increase in the noise Gain-Temperature ratio, secondary lobe levels of -25 dB and in addition, theoretically, it is possible to increase the scope of the coastal radar by more than twice.

Key words: *parabolic cylindrical antenna, offset focus, linear array, FURUNO*

Design of an offset parabolic cylindrical antenna in the X band for the FURUNO radar

1. –INTRODUCCIÓN

Desde el inicio del diseño de antenas las antenas reflectoras destacan por su versatilidad y popularidad [1]. Poseen gran directividad, alta ganancia y flexibilidad en el patrón de radiación[2, 3] por lo que son utilizadas en diversas áreas[4-6]. Su utilización es frecuente en la recepción de señales de satélite, los grandes radiotelescopios[7], las bases terrenas para la comunicación con satélites geoestacionarios, los radioenlaces a frecuencias de banda milimétrica o en aplicaciones de radar. Las antenas reflectoras constan, entre otros elementos, de uno o varios

reflectores[8] que se analizan mediante técnicas de trazado de rayos u óptica geométrica (OG), seguida del análisis de los campos en la abertura, la determinación de las corrientes superficiales por el principio de equivalencia[7] y el cálculo de los campos radiados. Un análisis más detallado de la radiación requiere el estudio de la difracción en los bordes. El análisis también puede realizarse a partir de las corrientes inducidas en la superficie del reflector, técnica que se denomina óptica física[9].

Se destacan varios tipos de antenas con reflector de acuerdo a la geometría de la superficie reflectora[10], al número de elementos que conforman el sistema[11] y a la configuración de la antena excitadora respecto a una o varias superficies reflectoras[12]. Entre las más usadas se resaltan las antenas que utilizan superficies parabólicas, cilindro parabólicas, hiperbólicas y elípticas[8] ; así como las antenas reflectoras de foco primario[13], de foco desplazado u offset[14], de doble reflector, en configuración Cassegrain[8], entre otras.

La antena con reflector cilindro parabólico tiene la propiedad de que los rayos salientes de la línea focal al reflejarse en la superficie se convierten en un conjunto de rayos paralelos[7]. Igualmente por el principio de reciprocidad los rayos paralelos que inciden de forma normal al receptor convergen en la misma línea focal[15]. Desde otra óptica se puede decir que la superficie convierte un frente de onda esférico en un frente de onda plano[9]. Para estas antenas la superficie se forma por el desplazamiento de la parábola a lo largo de un eje. Una antena reflectora en configuración offset elimina algunos problemas que tradicionalmente tienen las antenas con foco centrado como las pérdidas de bloqueo, los lóbulos laterales causados por la difracción y la polarización cruzada[8].

Los criterios para el diseño de estas antenas varían en relación con la aplicación a la que están destinadas. Algunos criterios son: Ganancia[16], eficiencia, facilidad de construcción, dimensiones, Ancho del Haz de Media Potencia(HPBW)[17], entre otras. El parámetro que se tiene en cuenta en este artículo y, por lo tanto, el criterio de diseño de la antena cilindro parabólica en la banda X es el de HPBW.

Nuestro país en consonancia con la dirección de Tropas Guarda Fronteras (TGF) dirige sus esfuerzos a la fabricación en Cuba del primer radar, todo esto con capital humano cubano. A partir de aquí la jefatura de TGF pretende abarcar la total vigilancia de las costas cubanas mediante el emplazamiento de radares costeros. En el marco del concepto de sustitución de importaciones e independencia tecnológica se pretende la fabricación de un radar cubano en una segunda etapa del proyecto y la adaptación de un radar naval de la marca FURUNO a uno costero en una primera etapa del mismo. Para ello se plantea la necesidad del desarrollo de una antena cilindro parabólica para radar costero a partir de una antena de radar naval que servirá como línea focal. Con esta solución se resuelve el problema consistente en que el ángulo del patrón de radiación de la antena del radar naval FURUNO por el plano vertical es muy elevado, parámetro este que se necesita reducir al menos hasta 3° . De esta forma se adapta mejor la antena a las condiciones de la exploración sobre la superficie marítima, evitando radiación innecesaria por encima del nivel del mar. El objetivo del presente artículo es mostrar al lector el diseño de una antena de tipo cilindro parabólica offset a 9,4 GHz a partir de una antena de radar naval con una reducción significativa del ángulo de radiación en el plano vertical para obtener las características propias de una antena de radar costero.

2.- DISEÑO DEL REFLECTOR CILINDRO PARABÓLICO A 9,4 GHZ[7, 8]

El diseño parte de la configuración de antena reflectora offset o de foco desplazado. El diseño de antenas de apertura y en particular antenas cilindro parabólicas posee una gran flexibilidad y existen muchos estudios del tema a lo largo de los años[18, 19]. En este caso el diseño debe cumplir con normas específicas para que el reflector sea compatible con la antena original del radar FURUNO mostrada en la figura 1 y que se usará como alimentador. Además se debe lograr que el diagrama direccional final del conjunto de la antena en la zona lejana tenga un HPBW de 3° por el plano vertical (Plano H).

Para lograr que el diseño sea compatible con las especificaciones del radar y del HPBW en ambos planos en la zona lejana se deben cumplir las siguientes características: Frecuencia de operación de 9,4 GHz , diámetro del reflector(D) 80 cm, polarización lineal, ganancia mayor a 30 dB, eficiencia mayor al 50 %, Ancho del Haz de Media Potencia(HPBW) del sistema en el plano vertical y horizontal (Plano E) de 3° y 2° respectivamente, HPBW del alimentador de 23° en el plano vertical y 2° en el plano horizontal, nivel de lóbulos secundarios de -25 dB o menor, nivel de campo en los bordes del reflector de -10 dB. Adicionalmente, se considera de importancia que el diseño sea de fácil construcción y de bajo costo, de forma tal que su implementación sea factible con los materiales y tecnología disponibles en el país.

El diámetro del reflector se elige de forma tal que el patrón de radiación en la zona lejana tenga un ángulo de 3° por el plano vertical. Como criterio para la banda X aproximadamente a nuestra frecuencia de operación (9,4GHz), el tamaño del reflector es de 80 cm[20].



Figura 1
Antena original del radar FURUNO.

Se escoge -10 dB de nivel de la señal en los bordes del reflector cilindro parabólico como un criterio para la elección del nivel de campo en los lóbulos laterales o parásitos de la antena los cuales deben ser por debajo de -25 dB[7]. Realmente el criterio para la antena de un radar costero es de -17 dB. En este caso se toma como parámetro de diseño -25 dB para tener un margen de error.

2.1.- GEOMETRÍA DEL REFLECTOR CILINDRO PARABÓLICO

En un reflector offset el foco no está ubicado en el centro de la superficie[21] sino a un lado de la misma como se ve en la figura 2(a). El único parámetro inicial que se conoce con respecto a la geometría del reflector es que su diámetro (para una cilindro parabólico ancho de la abertura rectangular) debe ser de aproximadamente 80 cm para obtener un HPBW en el plano H de 3°. Para hacer uso de las ecuaciones se debe conocer al menos la altura del borde inferior con respecto al eje focal (D'). Luego se determina la altura del centro (H); además se debe conocer la distancia focal (f) para cumplir con el cálculo del resto de los ángulos y medidas. Se toma un valor de D'=10 cm. Es necesario decir que para la estimación inicial de algunos parámetros del diseño no se cuenta con un criterio restrictivo que permita asumir valores iniciales, por lo tanto, se compromete la validez del resto de los cálculos.

Para estimar un valor de distancia focal se debe conocer que el diagrama direccional del patrón de radiación del alimentador en ese plano a -3 dB es de 23°. Primeramente se puede calcular cual sería el ángulo a -10 dB de ese mismo patrón de radiación a través de:

$$\frac{BW[Lv1\ 2(dB)]}{BW[Lv1\ 1(dB)]} = \sqrt{\frac{Lv1\ 2(dB)}{Lv1\ 1(dB)}} \quad (1)$$

Donde BW es el ancho del patrón de radiación para un nivel (Lv) determinado. Esto brinda un valor de ángulo del haz al nivel de -10 dB de 42° aproximadamente. Luego se calcula el valor de N correspondiente a la función analítica del patrón de radiación a través de la ecuación (2):

$$N = \frac{-Lv1(dB)}{20 \log[\cos(\text{beamwidth}_{Lv1(dB)}/4)]} \quad (2)$$

El valor de N es de 68.49 aproximadamente. Para dicho valor de N la función $\cos^{2N}(\theta/2)$ toma la forma aproximada del alimentador, la cual es una buena aproximación de un patrón de radiación para el excitador de las antenas reflectoras.

Este valor de N es una medida de comprobación del diseño. Es decir cuando se fija la geometría y se busca el valor del patrón, este debe coincidir aproximadamente.

Al aplicar la ecuación (3):

$$\psi_0 = 2 \tan^{-1} \frac{1}{4f/D} \quad (3)$$

En donde $\psi_0 = 21^\circ$, se obtiene $f = 107.918 \text{ cm}$ aproximadamente que es una medida estimada del valor inicial de la distancia focal para cumplir los parámetros de niveles de potencia de -10 dB en los bordes de la parábola.

El valor de D' se elige tomando en cuenta que el alimentador no debe obstruir la señal reflejada por el reflector, además el centro de fase del alimentador debe estar ubicado en el punto focal del paraboloide patrón.

A partir de los valores geométricos iniciales del diseño y los de estimación y al hacer uso de las ecuaciones para la geometría parabólica offset[8] se obtienen los resultados finales del diseño resumidos en la Tabla 1. Los resultados se extraen de un programa en Mathcad creado con ese propósito, donde ψ_0 es el ángulo desde el eje de la parábola al centro del cono del reflector delimitado por los segmentos que van desde el foco hasta los bordes de la superficie reflectora. El reflector subtende un ángulo $2\psi_e$ alrededor de esta línea central, ψ_f es el ángulo desde el eje z hasta el centro del diámetro proyectado, ψ_c es el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

Tabla 1
Resultados geométricos del diseño del reflector cilindro parabólico

Parámetros	Valor
D	80cm
D'	10cm
F	106.2cm
H	50cm
f/D	0.59
f/Dmod	1.327
ψ_0	25,659°
ψ_e	20,268°
ψ_f	26,493°
ψ_c	76,753°

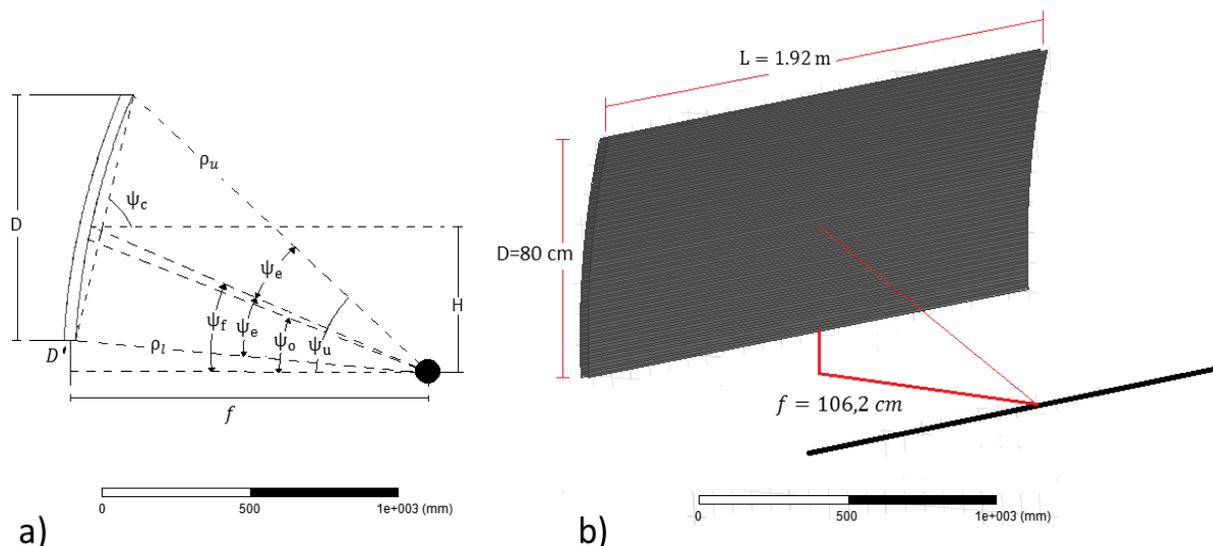


Figura 2

Antena cilindro parabólica offset a) Vista lateral, b) Vista frontal.

Además $x_b=0,863$ cm el punto más profundo del reflector, $\rho_u=120,285$ cm y $\rho_l=111,418$ cm son las distancias al borde superior e inferior respectivamente. Finalmente se toma como criterio del largo del cilindro parabólico $L=1,92$ m, ya que la antena original del radar FURUNO posee 1m de longitud. El diseño de la antena se puede ver en la figura 2 (b).

3.- DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA ANTENA DE BOCINA PLANO H[7, 20]

Para el estudio de la característica de radiación de la antena cilindro parabólica en el plano vertical no es necesario tener en el foco una línea de fase. Como lo que se pretende es que el diagrama de radiación del excitador tenga un HPBW de 23° en ese plano una antena cuyo patrón de radiación brinde esa característica puede ser sustituida en la posición del foco para el análisis del patrón de radiación en el campo lejano del sistema de excitador y reflector. Para -10 dB el ancho del haz es de 42° .

En el diseño se trabaja con una polarización horizontal ya que esta es la manera en que la antena alimentadora origina del radar FURUNO, que es una guía de onda ranurada, irradia la señal. Con tal propósito se propone el diseño de una antena de bocina sectorial plano H con la ventaja de poder tener flexibilidad en el diseño de la bocina dado el requerimiento de HPBW en ese plano. Las antenas de bocina poseen múltiples aplicaciones[22] y su uso como antena alimentadora es ampliamente tratado en la bibliografía [7-9]. Los datos iniciales del diseño se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
Parámetros iniciales para el diseño de la bocina sectorial plano H

Parámetros	Valor
f	9.4 GHz
Guía de onda	WR-90
a	2,286 cm
b	1,016 cm
T	3/8
Ancho del haz a -10dB	42°

Ancho del haz a -3dB	21°
----------------------	-----

En la Tabla 2 a y b representan el ancho y la altura de la guía de onda WR-90. El error máximo de fase (t) en la boca de la bocina para el valor óptimo de directividad en una bocina sectorial plano H es de $3/8$ [7]. Al partir de este valor y del nivel de campo en el eje de las ordenadas de -10dB se hace uso de la figura 3.

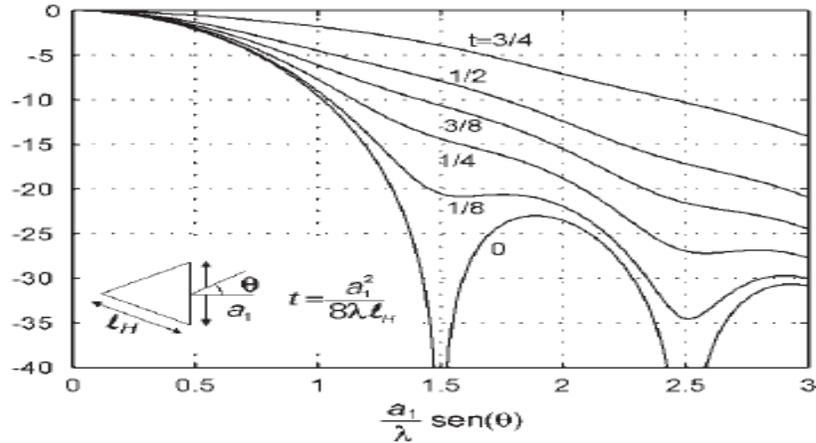


Figura 3
Intensidad relativa del campo en una bocina sectorial plano H.

y se obtiene en las abscisas el valor de 1.42. Se tiene entonces:

$$\frac{a_1}{\lambda} \sin(\theta) = 1.42 \quad (4)$$

Donde a_1 representa el ancho de la abertura en la boca de la bocina. A partir de que el valor de $\theta=21^\circ$, la mitad de HPBW, entonces $a_1 = 3.966\lambda = 12.65 \text{ cm}$.

Luego se calcula $l_H = 5.24\lambda = 16.72 \text{ cm}$ a través de la ecuación (5):

$$t = b_1^2 / (8\lambda l_H) \quad (5)$$

Una vez obtenidos estos valores solo falta calcular la longitud axial de la bocina a través de la ecuación 6. El valor de p_h obtenido fue de 12.8 cm. La antena diseñada se muestra en la figura 4:

$$\rho_h = (a_1 - a) \left[\left(\frac{l_h}{a_1} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (6)$$

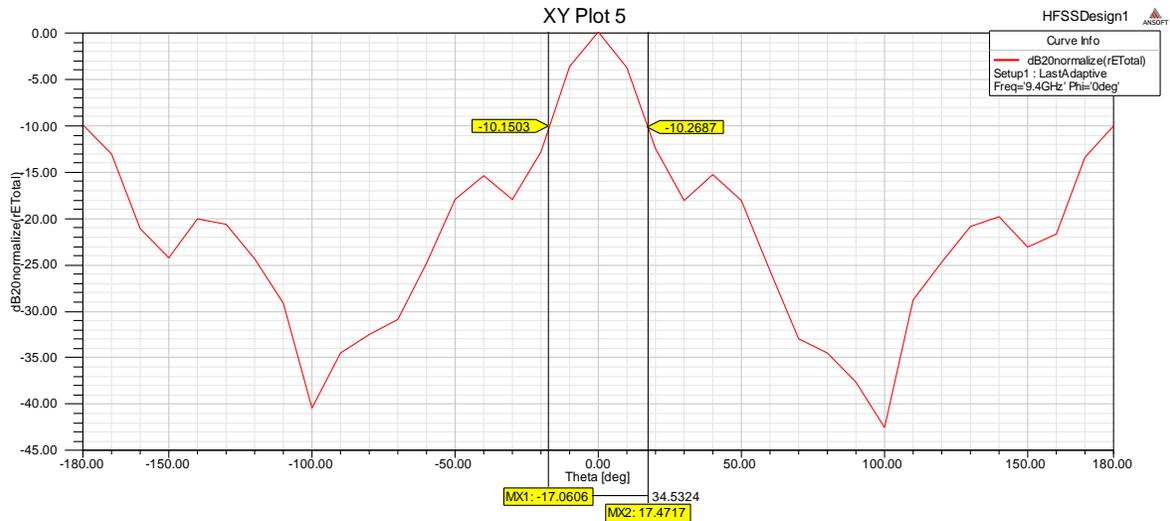


Figura 6
Patrón de radiación de la antena sectorial plano H para $\Phi=0$.

En la figura 6 se aprecia cómo hasta los $\theta = \pm 90^\circ$ el patrón de radiación evidencia una tendencia a disminuir su nivel de potencia relativo de forma monótona. El patrón de radiación obtenido en la simulación puede catalogarse de consistentes. Se evidencian niveles del primer lóbulo secundario de -16 dB.

La figura 7(a) muestra el diagrama polar del patrón de radiación donde se aprecian de forma más clara el nivel de lóbulos traseros característicos de las antenas de bocina. En la figura 7 (b) se muestra el patrón de radiación en 3D.

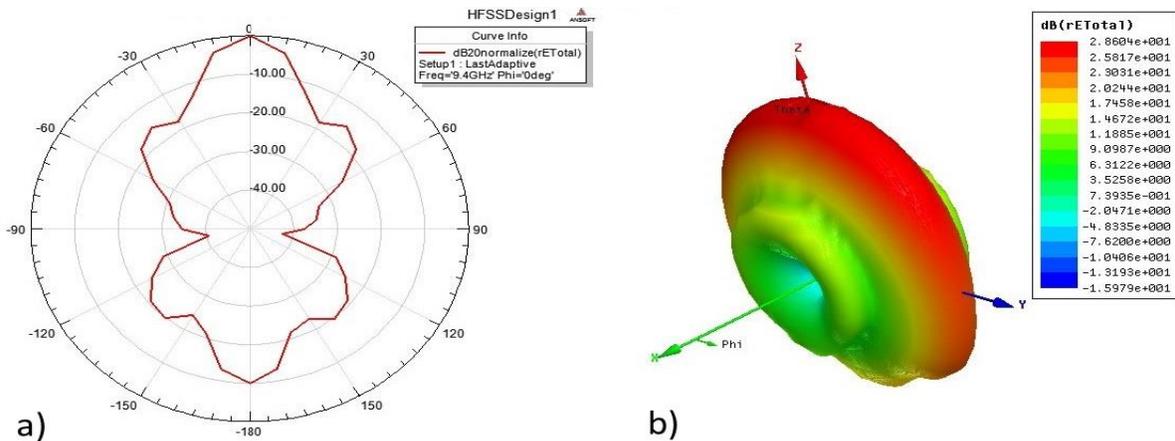


Figura 7
Diagrama de radiación de la antena de bocina sectorial plano H. a) Diagrama polar, b) Diagrama en 3D.

4.- DISEÑO Y ANÁLISIS DEL ARREGLO LINEAL DE DIPOLOS EN EL PLANO E[7]

Con el objetivo de obtener la característica direccional deseada en el plano horizontal se plantea el diseño de un arreglo lineal de dipolos con disparo broadside (lateral), de esta forma se obtiene el máximo de radiación en la dirección normal al eje del arreglo ($\theta=90^\circ$) y se logran 2° en el plano E (plano horizontal). Como el campo no se ve modificado en este plano por el reflector ya que este es una línea recta que equidista de la línea de alimentación, el

campo lejano del sistema es prácticamente el mismo que el del excitador. Por lo que se mantiene un haz de 2° en el plano horizontal.

En este acápite se aplica el método de diseño conocido como síntesis ya que existe la necesidad, como se ve usualmente en la práctica, de obtener una antena (en este caso un arreglo uniforme de antenas) a partir de una característica de radiación deseada. El método de síntesis a emplear es el de la Transformada de Fourier en el cual dada una descripción completa del patrón deseado se determina la distribución de excitación de fuentes continuas o discretas.

Se parte de los siguientes datos iniciales mostrados en la Tabla 3:

Tabla 3
Parámetros iniciales para el diseño del arreglo de dipolos

Parámetro	Valor
Frecuencia	9.4 GHz
L(largo de la línea en el eje del arreglo)	1.92m
d(distancia entre elementos)	$\lambda/2$
β (diferencia de fase entre elementos)	0

A partir de los datos anteriores se obtiene que el número de elementos discretos (N) para la longitud de la línea dada es de 129.

4.1.- CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE EXCITACIÓN

El patrón de radiación deseado debe tener aproximadamente 2° en el plano horizontal. El Factor del Arreglo (AF) ideal aproximado conveniente se muestra en la ecuación (7):

$$AF(\Psi) = \begin{cases} 1 & \frac{\pi}{2} - 1^\circ \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} + 1^\circ \\ 0 & \text{En otra parte} \end{cases} \quad (7)$$

Al tener en cuenta que el espaciado entre elementos es $d = \lambda/2$, el largo de la línea es de 1.92 m, el arreglo es Broadside ($\beta=0$) y el número de elementos es 129 entonces al hacer uso de la ecuación (8) para números impares y al ajustar los límites de integración entre $\pm\psi$, se obtienen los coeficientes de excitación normalizados. El valor de amplitud con el que tiene que ser alimentado cada elemento del arreglo a lo largo de la línea de 1.92 m para obtener el AF deseado se ve en la figura 8.

$$a_m = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} AF(\Psi) e^{-jm\Psi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} AF(\Psi) e^{-jm\Psi} d\Psi \quad -M \leq m \leq M \quad (8)$$

Donde $\psi = kd \cos\theta + \beta$, $N=2M+1$ y $k = 2\pi/\lambda$ es la constante de propagación.

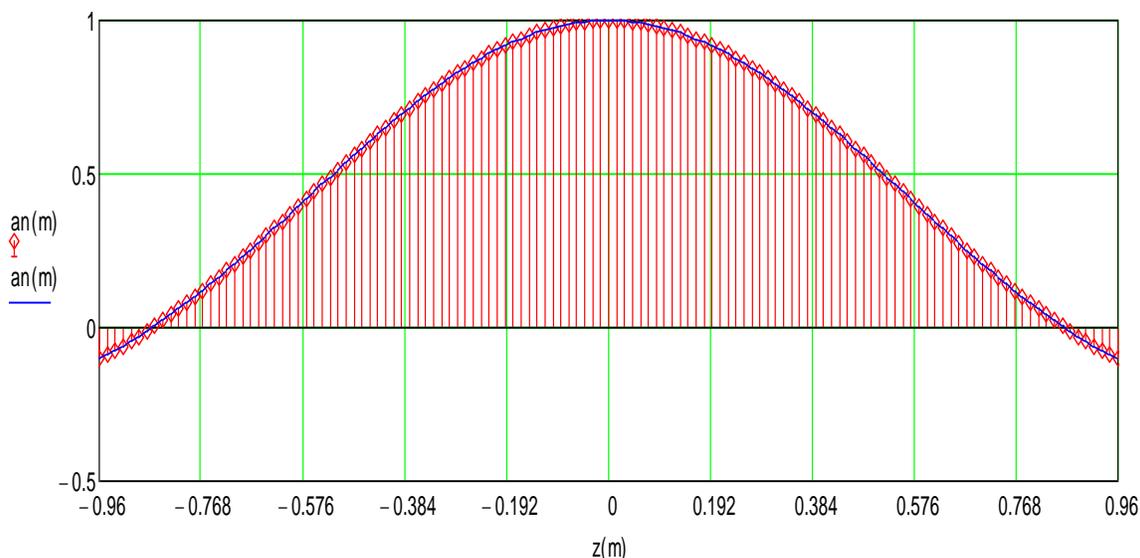


Figura 8
Coefficientes de excitación de los elementos discretos del arreglo.

5.- ANÁLISIS DE LA ANTENA CILINDRO PARABÓLICA

El análisis de la antena cilindro parabólica se lleva a cabo por separado en el plano vertical (plano H) y el plano horizontal (plano E). En el plano H, como se ha mencionado anteriormente, el reflector presenta la forma de una parábola, comportándose el campo en este plano de manera análoga a una antena de reflector parabólico con la misma fuente de excitación. En este caso el campo en la abertura rectangular para este plano se ve afectado por la forma de la superficie parabólica y el campo lejano en este plano es aproximadamente igual al del reflector parabólico. Por otro lado el campo en el plano E no sufre variaciones producto de la superficie porque a lo largo de la línea de alimentación formada por el arreglo de dipolos la superficie se comporta como una línea recta que equidista de la propia línea de alimentación.

Primeramente se verá el comportamiento de la característica direccional a partir del modelo de predicción del sistema reflector-alimentador.

5.1- PREDICCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE RADIACIÓN EN AMBOS PLANOS [6,19]

Como la antena en el plano horizontal se comporta de la misma manera que el arreglo lineal de dipolos, el estudio se concentra en el plano H. Para el modelo de predicción teórica se emplean las ecuaciones de la característica direccional de la antena parabólica[9]. Los resultados arrojados por Mathcad se muestran en la figura 9 donde se ve el patrón de radiación del sistema normalizado en dB.

El patrón de radiación muestra una característica aproximadamente decreciente excepto en el primer lóbulo secundario que alcanza un nivel de -36 dB. En promedio el nivel de lóbulo secundario con respecto al máximo es de -35 dB. El HPBW se corresponde con el criterio de diseño en este plano que es de 3° por lo que se valida la correcta elección del diámetro (D) del reflector. El diagrama de radiación es simétrico con respecto a 0° ya que, a pesar de que la antena es offset, se ilumina con igual cantidad de energía el borde superior e inferior. La iluminación de -10 dB en los bordes provoca que el nivel de lóbulos secundarios decaiga 25 dB aproximadamente con respecto al máximo de radiación en la dirección de 0° .

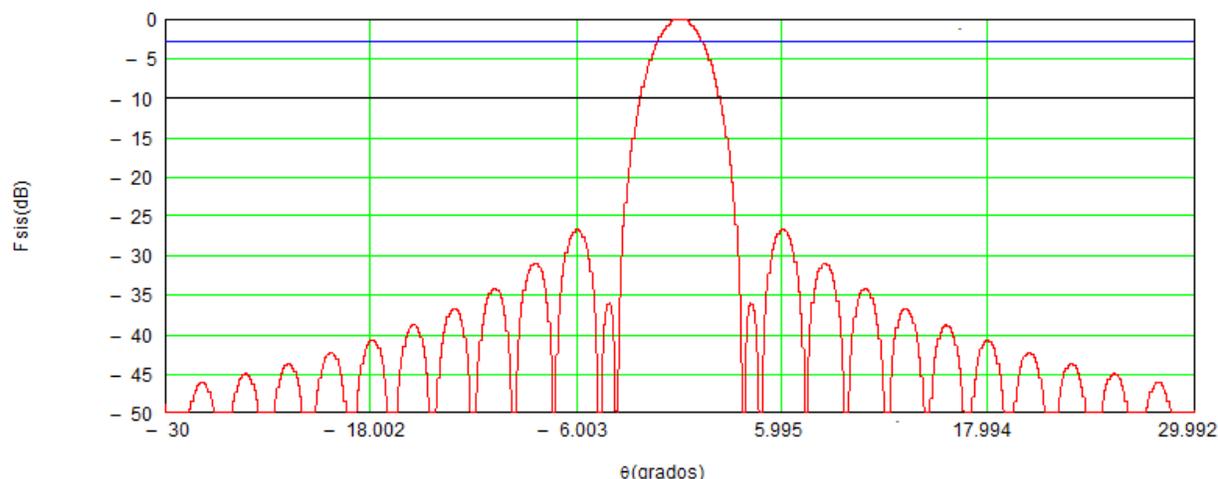


Figura 9
Patrón de Radiación del sistema normalizado en dB.

5.2- SIMULACIÓN DEL SISTEMA ALIMENTADOR-REFLECTOR

La simulación en el plano E no es de interés práctico ya que el patrón de radiación en este plano no cambia; es el mismo que el del arreglo de dipolos visto en la sección 4. Para la simulación del sistema reflector alimentador en el plano vertical se escoge como antena alimentadora la antena de bocina sectorial plano H la cual brinda buenos resultados y cumple los requerimientos de HPBW en este plano.

La antena cilindro parabólica en este plano se comporta como una antena parabólica por lo que el sistema en HFSS 13.0 queda como se muestra en la figura 10.

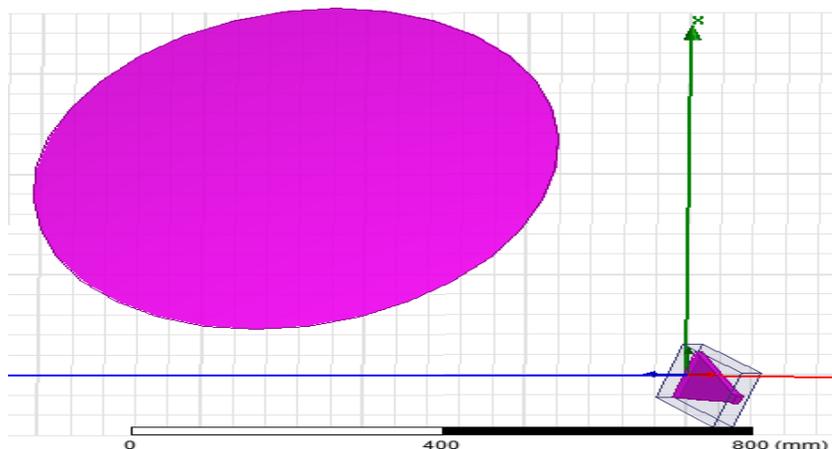


Figura 10
Modelo de la antena parabólica offset implementado en HFSS 13.0

En la figura 11 se muestra la gráfica del campo eléctrico normalizado en dB contra el ángulo θ en grados. De esta figura se extrae que el nivel de potencia relativa en dB presenta una curva aproximadamente decreciente en los máximos de cada lóbulo. Se aprecian niveles de primer lóbulo secundario de -22 dB y en promedio el nivel de lóbulos secundarios es de -30 dB lo cual se corresponde con los parámetros iniciales del diseño y con el modelo de predicción teórico. El HPBW es de $3 \pm 1^\circ$ como se ve en marcadores en la figura 11, por lo que el resultado final del diseño se cataloga de satisfactorio ya que se logró el ancho del haz en el plano vertical. La característica direccional no es simétrica producto de la configuración offset, ya que a pesar que la antena se ilumina con aproximadamente el mismo nivel de potencia en ambos bordes, la diferencia de recorrido de la onda es ligeramente distinto y además el modelo de simulación tiene en cuenta los efectos de difracción.

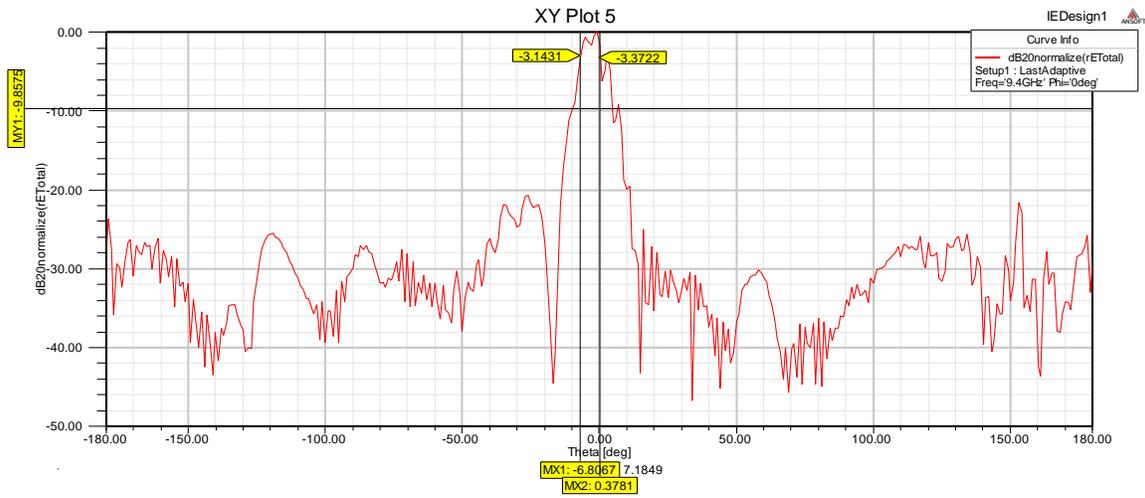


Figura 11
 Campo eléctrico normalizado en dB contra el ángulo θ en grados.

En la figura 12 (a), se muestra el diagrama polar del patrón de radiación. El patrón de radiación en 3D que se aprecia en la figura 12 (b) es aproximadamente el esperado y muestra el comportamiento del sistema en función de las coordenadas espaciales. De esta forma se da una medida aproximada de la distribución de la energía en la zona lejana, en su máximo valor (señalado en rojo en la escala de colores) es 40 dB aproximadamente.

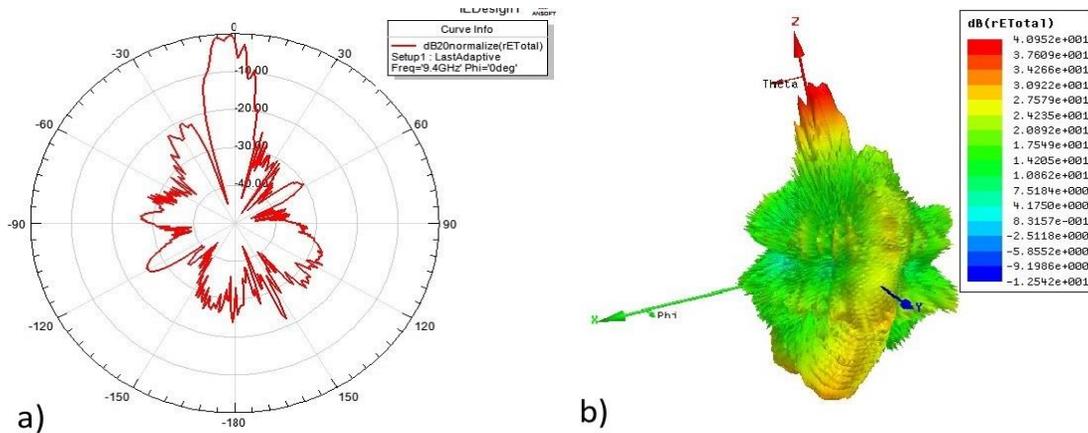


Figura 12
 Diagrama del patrón de radiación del reflector-alimentador a) Diagrama Polar, b) Diagrama en 3D.

5.3- ANÁLISIS DE LA GANANCIA

En antenas con un lóbulo principal estrecho y lóbulos secundarios pequeños como es el de la antena bajo estudio, el ángulo sólido del haz es equivalente a la multiplicación de los ángulos de media potencia en ambos planos perpendiculares. A partir de este principio una ecuación aproximada para la ganancia máxima es [7]:

$$G_0 = \frac{30000}{\theta_{1d}\theta_{2d}} \quad (9)$$

En la ecuación (9) θ_{1d} y θ_{2d} son el ángulo de media potencia en un plano y el ángulo de media potencia en un plano perpendicular al anterior respectivamente. De los datos del radar original $\theta_{1d} = 23^\circ$ y $\theta_{2d} = 2^\circ$. A partir de (9) es posible estimar la ganancia de la antenna del radar FURUNO $G_0 = 28.14$ dB. Con la antenna diseñada en el presente artículo, en la cual se logra disminuir el ángulo de radiación θ_{3dB} por el plano vertical de 23 a 3° se logra una ganancia máxima $G_0 = 36.98$ dB. Es decir casi se gana en 8 dB de ganancia.

El aumento de la ganancia tiene un impacto directo en la ecuación de radar. Cuando la misma antenna se usa para transmitir y para recibir el término: Ganancia de transmisión (G_t) se eleva al cuadrado. Al despejar la distancia queda la ecuación de alcance de radar en donde la ganancia aparece a la raíz cuadrada y la potencia a la raíz cuarta. Un aumento de la ganancia en 3 dB implica que el alcance de radar aumenta en 1.41 veces. Para lograr este mismo aumento en el alcance al variar la potencia se debe aumentar casi cuatro veces, lo cual resulta impráctico.

Con la antenna presentada en este artículo se aumenta el alcance de radar de manera teórica en 2,5 veces. La gráfica de la figura 13 revela que el pico máximo de ganancia ocurre a 23.45 dB, lo cual no deja de ser un resultado alentador.

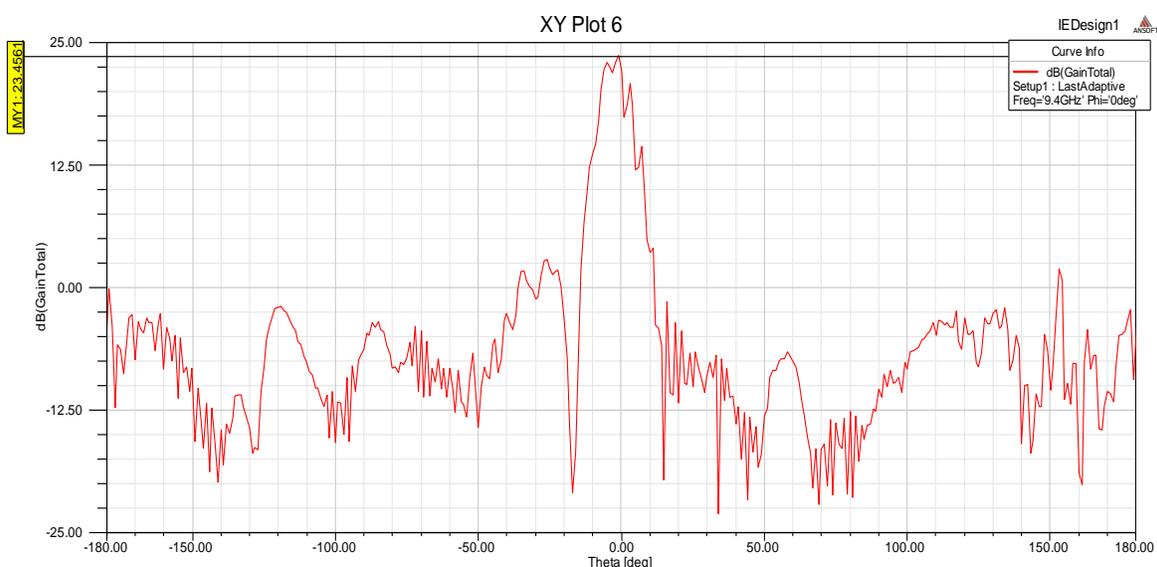


Figura 13
Ganancia total.

Se debe tener presente que la ganancia G_0 es la multiplicación de la directividad por la eficiencia de la antenna. El modelo de simulación además tiene en cuenta los efectos de difracción en los bordes por lo que la ganancia se ve afectada.

6.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se tiene que con el diseño propuesto en el presente artículo se logra disminuir el ángulo de radiación de media potencia por el plano vertical hasta 3° logrando adaptar la antenna original del radar naval FURUNO a una propia de radar costero. Además se proporcionan mejores condiciones para la exploración del área al alcanzar en el diseño lóbulos laterales de -25 dB. Se aumenta la ganancia máxima teórica en 8 dB al ser el diagrama de radiación más directivo, por lo que se aumenta la relación G_0/T_{ruido} (ganancia a temperatura de ruido) y S/N (relación señal a ruido). La antenna presentada aumenta el alcance del radar bajo estudio de forma teórica en 2,5 veces. Al aumentar G_0 el blanco es iluminado con mayor energía y llega también al receptor mayor energía producto de la reflexión; esto permite elevar el umbral de detección y la probabilidad de detección. Un enfoque a destacar es en los sistemas C-FAR (Constant False Alarm Rate) para falsa alarma constante donde se ajusta el umbral para mantener la probabilidad de falsa alarma pero se afecta la probabilidad de detección; con señales fuertes como las que provoca la antenna presentada se puede cambiar el umbral de detección sin afectar la probabilidad de detección.

REFERENCIAS

1. Hosseini A, Kabiri S, Flaviis FD. V-band High-gain Printed Quasi-Parabolic Reflector Antenna with Beam-Steering. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2016;65(4):1589-98.
2. Zhu J, Liao S, Li S, Xue Q. 60 GHz Dual-Circularly Polarized Planar Aperture Antenna and Array. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2018;66(2):1014-9.
3. Zhang S, Du J, Li P. Design of shaped offset cable mesh reflector antennas considering structural flexible property. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*. 2017;11(7):1024-30.
4. Rojas-Nastrucci EA, Nussbaum JT, Crane NB, Weller TM. Ka-Band Characterization of Binder Jetting for 3-D Printing of Metallic Rectangular Waveguide Circuits and Antennas. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2017;65(9):3099-108.
5. Lei L, Zhang G, Doviak RJ, Karimkashi S. Comparison of Theoretical Biases in Estimating Polarimetric Properties of Precipitation With Weather Radar Using Parabolic Reflector, or Planar and Cylindrical Arrays. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2015;53(8):4313-27.
6. Jana R, Bhattacharjee R. A Novel Matched Feed Structure for Achieving Wide Cross-polar Bandwidth for an Offset Parabolic Reflector Antenna System. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2015;14(1):1590-3.
7. Balanis CA. *Modern Antenna Handbook*: John Wiley And Sons; 2008.
8. Milligan TA. *Modern Antenna Desing* 2nd ed: John Wiley and Sons; 2005.
9. Stincer EP. *Antenas Teoria General*: Imprenta ITM José Martí; 2001. 527 p.
10. Manohar V, Kovitz JM, Rahmat-Samii Y. Synthesis and Analysis of Low Profile, Metal-only Stepped Parabolic Reflector Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2018;66(6):2788-98.
11. Fonseca NJG, Girard E, Legay H. Doubly Curved Reflector Design for Hybrid Array Fed Reflector Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2018;PP(99):1-.
12. CONSTANTIN D, NICOLAE PM. Analysis of a Parabolic Antenna with Fed. *Electronics, Computers and Artificial Intelligence(ECAI)*; Bucharest, ROMÂNIA 2014. p. 53-8.
13. Lazo YD, Ferry NC, Morris PA. Caracterización de la antena del radar SON-9A. *Revista Cubana de Ingeniería*. 2015;6(1):57-65.
14. Fauzi NF, Ali MT, Rahman NHA, Y.Yamada. Optimized Parabolic Reflector Antenna for Malaysia Beam Coverage. *IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE)*; Langkawi, Kedah, Malaysia: IEEE Conference Publications; 2016. p. 150-3.
15. Jazi B, Davoudi-Rahaghi B, Khajehmirzaei MR, Niknam AR. Energy Distribution Along the Focal Axis of a Metallic Cylindrical Parabolic Reflector Covered With a Plasma Layer. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2014;42(2):286-92.
16. González DO, Valdés LF, Sosa AM-M, Morris PA. Diseño de antena de bocina corrugada a 3 GHz para uso en cámaras anecoicas. *Telemática*. 2017;16(3):1-14.

17. González DO, Morris PA. Diseño de antena de bocina con corrugaciones variables para aplicaciones de Radar. Convencion Internacional Informática 2018, VIII Simposio de Telecomunicaciones; La Habana, Cuba 2018.
18. X J, Wang M, Huang H, Wu W. Circularly Polarized Patch Array Fed by Slotted Waveguide. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015;14(1):8-11.
19. Kildal PS. Aperture Efficiency and Line Feed Phase Centofeefr Parabolic Cylindrical Reflector Antenna. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1984;AP-32(6):553-61.
20. Aznar AC, Roca LJ, Casals JMR, Robert JR, Boris SB, Bataller MF. Antenas. 2da ed: Edicions UPC; 2002.
21. Ghaffar A, Alkanhal MAS. Electromagnetic Field Intensity Distribution Along the Focal Region of a Metallic Parabolic Reflector Covered With a Plasma Layer Under Oblique Incidence. IEEE Transactions on Plasma Science. 2015;43(11):3801-7.
22. Chandra A, Das S. Application of SRR to achieve performance improvement and multi-band characteristics in aperture antennas. IET Microwaves, Antennas & Propagation. 2017;11(7):990-6.

AUTORES

Daryl Ortega González, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor e Investigador, Grupo de Investigación de Radar, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. E-mail: dortegag@tele.cujae.edu.cu, fedortegag@gmail.com. Actualmente trabaja y se interesa, entre otros temas, en antenas reflectoras, reflectarray, arreglos faseados, antenas reconfigurables y antenas adaptativas.

Pedro Arzola Morris, Máster en Ciencias, Ing. Radiotécnico, profesor Auxiliar e investigador, Grupo de Investigación de Radares, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. E-mail: arzola@tele.cujae.edu.cu. Actualmente Profesor del Departamento de Telecomunicaciones, dirigente del Proyecto “Laboratorio de Radiación” del Grupo de RADAR del Departamento de Telecomunicaciones de la UTH.



Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License