

# Caracterización de la antena del radar SON-9A

**Yuniet Díaz Lazo**

Correo electrónico:yuniet.dl@gmail.com  
Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

**Artículo Original**

**Nelson Chávez Ferry**

Correo electrónico:nelson@electronica.cujae.edu.cu  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

**Pedro Arzola Morris**

Correo electrónico:pedro.amorris@gmail.com  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

## Resumen

El radar SON-9A fue diseñado y construido en los años 60 en la antigua Unión Soviética y fue ampliamente utilizado en la guerra de Vietnam, sin embargo, su tecnología es aún empleada para fines de investigación. Estos sistemas podían operar en cuatro frecuencias desde 2,700 hasta 2,800 MHz con una frecuencia de repetición (PRF) de 1,707 Hz. El Grupo de Radar del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría desarrolla actualmente la instalación de un radar experimental de diseño propio que emplea la antena del SON-9A. Esto se realiza con el objetivo de aprovechar el método de seguimiento por coordenadas angulares de este radar que se basa, en la exploración cónica del haz y además poder efectuar mediciones polarimétricas de los ecos procedentes de los blancos. El primer paso hacia esta modernización es obtener una caracterización completa del patrón de radiación del mismo, pues no existe bibliografía a tales efectos y se necesita conocer en detalle dicha característica. Para conseguirlo se ha modelado la antena utilizando la herramienta CST Microwave Studio 2009, la cual ha permitido obtener una idea bastante fidedigna del funcionamiento real del equipo.

Palabras claves: reflector parabólico, barrido cónico, radar, simulación de antenas asistida por computadora

Recibido: 23 de mayo del 2014 Aprobado: 11 de noviembre del 2014

## INTRODUCCIÓN

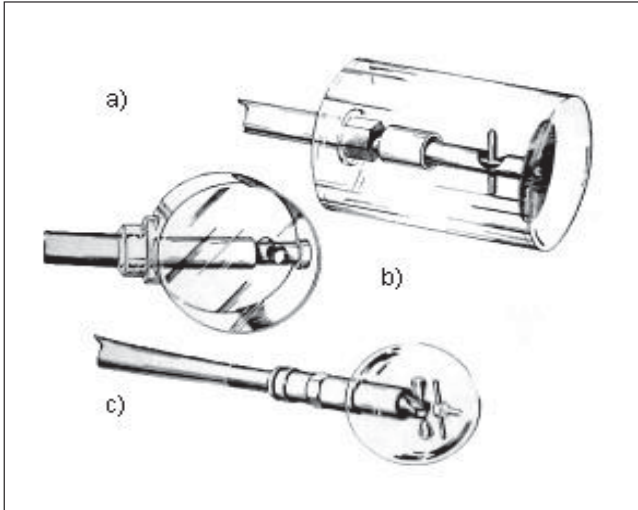
El Grupo de Radar del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, Cujae, se encuentra desarrollando un radar experimental que utilizará la antena del radar SON-9A como elemento radiante. Para esto es de gran interés dominar los detalles relacionados con el patrón de radiación de la misma pues constituye un punto de partida en la toma de decisiones sobre las modificaciones necesarias a realizarle a la propia antena. En ese sentido, dicho estudio permitirá valorar la factibilidad de instalar un reflector y emisor nuevos, manteniendo el mismo pedestal de forma que se conserve

la exploración cónica. Así también se prevé añadir al sistema la posibilidad de realizar mediciones polarimétricas ampliando su utilización a disciplinas como la meteorología y los estudios ionosféricos de radiación solar, los cuales están vinculados a importantes instituciones científicas del país.

La antena del SON-9A, al igual que el resto del sistema, es también de fabricación soviética. Esta antena consta de un reflector parabólico alimentado de forma trasera mediante un excitador como los que se muestran en la figura 1. Estos dispositivos fueron diseñados para seguimiento de blancos mediante la técnica de barrido cónico (en inglés *conical scan*).

La documentación sobre este diseño en particular es bastante escasa, por lo cual se han validado algunos cálculos empleando las expresiones teóricas existentes en la bibliografía genérica consultada.

El presente material tiene el objetivo de ratificar que el dispositivo realiza un barrido cónico según lo reportado en [1], además de aprovechar las ventajas de la computación para caracterizar detalladamente el comportamiento de la antena.



**Fig. 1. Alimentadores posteriores a guía de onda coaxial: a) Reflector de disco; b) Reflector cilíndrico; c) Reflector dipolar [2]**

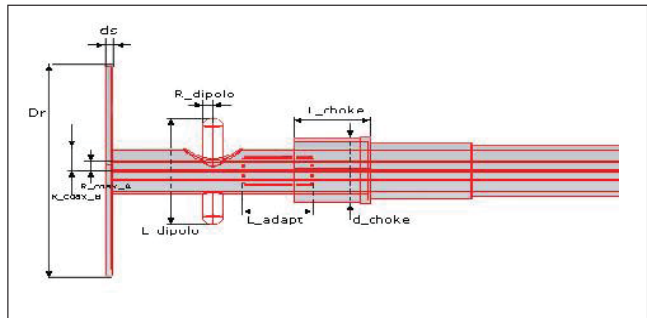
## MATERIALES Y MÉTODOS

Para modelar el sistema se utilizó el método de la medición tomando y registrando las dimensiones físicas de los componentes con ayuda de un pie de rey el cual presenta un error instrumental de 0,025 cm, exceptuando el caso de los dos primeros elementos (D y f) los cuales fueron medidos con otro instrumento cuyo error es de 0,05 cm. Los valores registrados se relacionan en la tabla 1 y son mostrados detalladamente en las figuras 2 y 3.

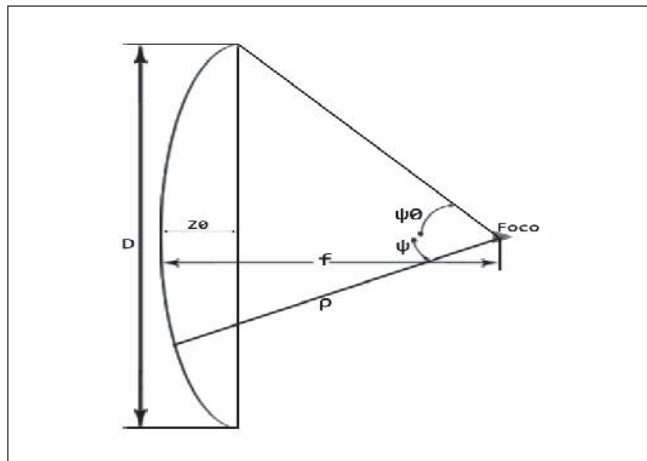
La modelación en ordenador fue llevada a cabo mediante la aplicación CST Microwave Studio 2009. El CST constituye una herramienta muy poderosa y profesional para la simulación de problemas de alta frecuencia. Permite realizar la modelación y optimización de forma rápida a la vez que con una alta precisión de puertos, guías de onda, antenas, filtros y demás dispositivos de radiofrecuencia. El CST está optimizado para la simulación de antenas eléctricamente grandes como son los reflectores parabólicos [3].

Para describir este sistema luego de modelarse con la herramienta antes mencionada, se han realizado barridos de frecuencia para observar el comportamiento de las pérdidas por retorno ( $S_{11}$ ). Se han hallado además los patrones de radiación tanto del alimentador como del conjunto, así como la ganancia y la eficiencia de radiación.

Variable	Valor (cm)	Error relativo porcentaje	Dimensión
D	153	0,033	Diámetro del reflector (error instrumental de 0,05cm)
f	45,2	0,11	Distancia focal (error instrumental de 0,05cm)
Dr	9	0,278	Diámetro del reflector pequeño (secundario)
ds	0,2	12,5	Espesor del reflector pequeño (secundario)
d_choke	3,1	0,806	Diámetro de Choke
L_choke	2,525	0,99	Longitud interior del Choke que ajusta al ancho del haz
L_adapt	5	0,5	Longitud del adaptador de simetría
L_dipolo	5,1	0,49	Longitud del elemento radiante vertical
R_dipolo	0,4	6,25	Radio del elemento radiante vertical
R_coax_A	0,45	5,556	Radio del coaxial interior
R_coax_P	1,1	2,273	Radio del coaxial exterior



**Fig. 2. Excitador del sistema**



**Fig. 3. Geometría del reflector parabólico**

### Geometría del reflector parabólico

Para ilustrar la fundamentación teórica se exponen algunas ecuaciones y fórmulas empleadas en la caracterización y cálculo de la antena en estudio.

La característica más distintiva de un reflector parabólico con respecto a otras antenas es la de transformar el frente de onda esférico radiado desde el excitador colocado en el foco de la parábola, en un frente de onda plano. Las ecuaciones generales empleadas para el diseño de estos dispositivos se corresponden a las estudiadas para el paraboloide en la geometría de cuerpos y son las siguientes:

$$r^2 = 4f(f + z) \quad (1)$$

$$\rho = f / \cos^2(\psi / 2) \quad (2)$$

Donde la ecuación (1) refiere coordenadas rectangulares y la (2) coordenadas polares, siendo  $f$  la longitud del foco,  $D$  el diámetro,  $\rho$  la distancia del foco al reflector, y  $\psi$  el ángulo que forma la trayectoria desde el foco a cualquier punto de la superficie del reflector con respecto al eje  $z$ . La figura 3 ilustra estos elementos.

La profundidad del reflector desde el borde exterior hasta su centro se define por:

$$Z_0 = \frac{D^2}{16f} \quad (3)$$

Con frecuencia se emplea el parámetro razón *foco/diámetro* ( $f/D$ ) en lugar de trabajar con estas dimensiones por separado para facilitar el manejo de las dimensiones físicas cuando se diseña u optimiza un reflector. El semiángulo de abertura, desde el foco a los bordes de la parábola, se calcula según indica la ecuación (4):

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

De geometría se conoce que al colocar un plano de abertura imaginario en el foco, el recorrido (foco-reflector-plano de abertura) de todos los rayos de la onda es el mismo y por lo tanto dicho plano, para el caso de una antena, es una superficie con fase. Los reflectores de foco corto (pequeña  $f/D$ ) tienen una iluminación menos uniforme en los bordes que los de foco largo (gran  $f/D$ ). Si es muy pequeña la distancia focal disminuye el área útil del paraboloide. Una gran distancia focal a su vez provoca que mucha de la energía radiada desde el excitador se pierda por desbordamiento (en inglés *spill-over*) en el reflector.

Si se considera que en el foco de la parábola se sitúa un radiador isotrópico, debido a la diferencia de recorrido de la onda esférica, en el borde de la parábola la amplitud del campo es menor que para el rayo que incide en la zona del

eje focal. De modo que la iluminación no es uniforme, debido a la atenuación adicional por recorrido [4], de ahí que sea necesario realizar un ajuste.

El ajuste de iluminación en el borde (en inglés *edge taper*) es un parámetro que describe la región cercana al extremo a donde no llega la energía con uniformidad. Esta variación normalmente se multiplica al patrón de radiación del alimentador (sumándose cuando se trabaja en dB) en la abertura, este ajuste se calcula según la expresión (5), trabajando con  $\psi_0$  en grados ( $^\circ$ ), donde el patrón de radiación se modela con una ley coseno cuadrado ( $\cos^2$ ).

$$et_{dB} = 20 \log(\cos^2 \frac{\psi_0}{2}) \quad (5)$$

Tomando como ejemplo un caso para el cual el ajuste de iluminación calculado sea -1,94 dB y considerando un alimentador cuyo patrón tiene los -10 dB justamente sobre el extremo de la parábola, una vez realizado el ajuste se obtiene una iluminación de la abertura de -11,94 dB.

A partir de esto se puede concluir que dicha iluminación está en función del semiángulo de abertura y del patrón de radiación del alimentador. Por esta razón se establece una relación de compromiso entre ambos parámetros. Si se ilumina el reflector con un haz estrecho, se escapa poca potencia de excitación más allá de los límites del mismo, pero este no se iluminaría de forma adecuada por lo que no se emplearía con eficiencia la superficie disponible, al mismo tiempo, el lóbulo principal y uno o más lóbulos secundarios del excitador provocan una iluminación no uniforme apareciendo regiones de contrafase. Aumentando el ancho del haz del excitador mejora la iluminación, pero se incrementa el desbordamiento. Los valores de mayor eficiencia ocurren cuando, el semiángulo de abertura del reflector coincide aproximadamente con el ancho del haz de excitación en -10 dB por debajo del lóbulo principal [5].

#### Alimentadores

Los alimentadores de los reflectores parabólicos, pueden emplear tanto líneas a coaxial como guías de ondas (GO) para transmitir la señal hasta el elemento radiante y pueden ser alimentados frontal o posteriormente. En la alimentación posterior el coaxial o GO proyecta la señal a través del reflector requiriendo de algún dispositivo al final de la línea para redirigir la energía hacia atrás al reflector principal. Este dispositivo se conoce como reflector secundario. En alimentación delantera la línea o GO se acerca al reflector desde el frente radiando energía directamente hacia él [6].

La alimentación delantera es la más comúnmente utilizada acompañada de excitadores tipo bocina, sin embargo, la posterior es más costosa al llevar doble reflector por lo cual se encuentra mayormente en aplicaciones militares así como diseños tipo Cassegrain; en la figura 1 se muestran algunos alimentadores posteriores a línea coaxial que pueden trabajar con el reflector del SON-9A.

Los alimentadores deben satisfacer dos condiciones fundamentales:

1. Deben ser configurados y colocados de forma que iluminen el reflector adecuadamente.
2. Deben terminar el coaxial o la GO de forma que la razón de onda estacionaria (ROE) esté cerca de la unidad.

La elección de la distancia focal de la parábola depende del patrón de iluminación del alimentador, además, hay que tener en cuenta que el ángulo de media potencia requerido en el alimentador disminuye con el aumento de la distancia focal, debe hacerse más estrecho, pero la ganancia disminuye también, así como aumentan los niveles de lóbulos laterales y trasero causados por la radiación directa del alimentador. Un compromiso práctico coloca a este dispositivo un poco fuera del foco del paraboloide [2].

El patrón del alimentador debe ser amplio en el plano para el cual el ángulo del reflector se requiere pequeño. Esto es necesario para que el reflector pueda ser iluminado más o menos uniformemente a lo largo de su amplia dimensión sin que ocurra desbordamiento de energía en sus bordes en la dimensión estrecha.

La figura 1 muestra tres alimentadores traseros a línea coaxial comúnmente usados con paraboloides de radar diseñados para  $\lambda = 10$  cm; se debe notar que cada alimentador incluye un reflector. La directividad del excitador es mayor en el plano eléctrico, en cambio, la iluminación del paraboloide en el plano magnético es un poco más uniforme (menos estrecha) por lo cual estas antenas se trabajan mayormente con polarización horizontal [2].

#### Barrido cónico del radar "SON-9A"

Una configuración muy empleada en aplicaciones de seguimiento es el conocido barrido cónico (en inglés *conical scan*) y se basa en hacer rotar el haz del radar de forma circular sobre una dirección de referencia registrando de forma continua la señal de retorno. Esta inclinación provoca a su vez igual desviación del haz con respecto al eje central el cual al rotar describe un cono en el espacio cuyo vértice es el reflector parabólico y cuyo eje se conoce como el eje de barrido [7]. La antena del SON-9A objeto de este trabajo cuenta con esta característica.

La figura 4 muestra una GO coaxial utilizada como radiador del sistema. Esta forma un barrido cónico cuando el sistema de alimentación es rotado mecánicamente. El dipolo (vertical) de media onda es el principal elemento radiante, el disco (reflector secundario) minimiza la radiación directa hacia adelante y el *choke* provoca un desacoplamiento de corrientes en la superficie exterior de la GO. En la parte exterior de la guía se crea una onda estacionaria, entre el *choke* y el reflector. Como resultado aparecen dos dipolos radiando, uno polarizado horizontalmente y el otro verticalmente. La magnitud y fase de  $I_2$  con respecto a  $I_1$  dependen de la posición del *choke*. En general, las dos corrientes tienen magnitudes desiguales y están desfasadas entre sí [2].

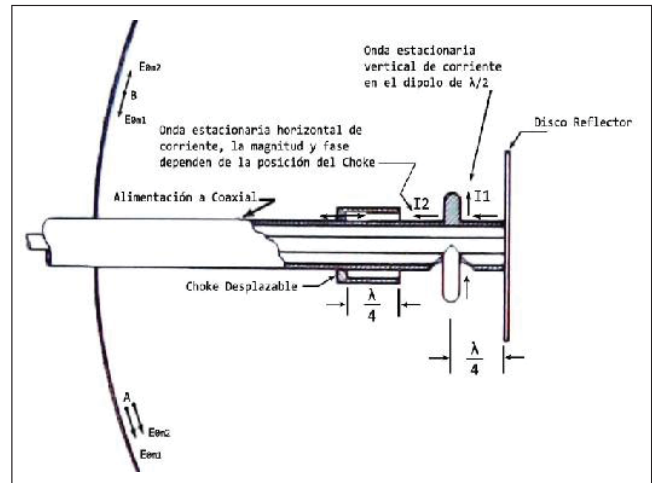


Fig. 4. Principio de barrido cónico

Cuando las direcciones de referencia de las corrientes son como muestra la figura anterior, la componente de campo eléctrico  $E_{om}$  tiene la misma dirección de referencia en puntos de la superficie parabólica por debajo del eje y direcciones de referencia opuestas en los puntos que se encuentran por encima del eje. Por lo tanto, las magnitudes y fases en los puntos como A y B son diferentes y en consecuencia el plano de apertura de la parábola no es una superficie de fase constante. El patrón puede ser determinado dividiendo el plano de apertura de la parábola en ranuras/líneas/segmentos, donde todos los puntos contenidos radian en fase pero los campos para varios segmentos no están en la misma fase. El lóbulo resultante es desviado hacia los segmentos que se están retrasando en fase, como ocurre en los arreglos y como consecuencia se inclina el eje del patrón de radiación (eje de barrido) algunos grados con respecto al eje central, este ángulo se ajusta variando la posición del *choke* [2].

Al girar el dipolo del excitador, si el objetivo se encuentra en el eje de barrido, la amplitud de las señales reflejadas se mantiene constante (o cambia gradualmente con la distancia). En cambio, si este se mueve fuera del eje, la amplitud de las señales retrodispersadas cambia con cada barrido. Por ejemplo, si el blanco se halla a la izquierda del eje de barrido, las señales recibidas tendrán máxima potencia cuando el haz recorra la región izquierda del cono e inmediatamente decrecerán al mínimo cuando este recorra la región derecha [7].

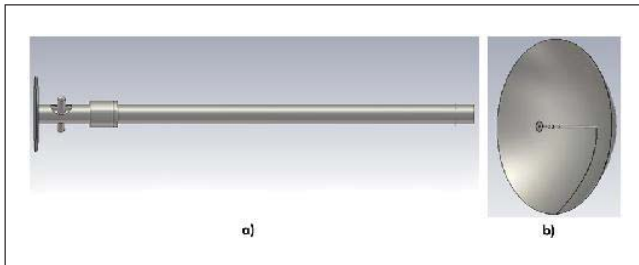
La información instantánea de la posición del haz relativa al eje de barrido, así como la potencia de señal retrodispersada son registradas en un ordenador, que se encarga de realizar el procesamiento correspondiente y controlar el movimiento de la antena a través de servomecanismos. De esta forma se lleva a cabo el seguimiento del blanco automáticamente logrando, por lo general, una gran precisión.



## RESULTADOS

### Cálculos y simulaciones realizadas

Se han modelado en tres dimensiones tanto el excitador como el sistema completo quedando ambos tal como se aprecia en las figuras 5a) y 5b) respectivamente. Existen algunos detalles no visibles en la imagen como el adaptador de impedancias, debido a que se encuentra en el interior de la GO.



**Fig. 5. Sistema modelado en 3 dimensiones: a) Alimentador de la antena del radar SON-9A; b) Conjunto alimentador + reflector**

En este punto son realizados algunos cálculos preliminares los cuales aparecen en la tabla 2. Con estos datos se han realizado las simulaciones requeridas.

Tabla 2 Parámetros calculados		
Variable (unidad)	Valor	Dimensión
$f/D$	0,288 9	Relación foco/diámetro
$\psi_0$ (rad)	1,426 7	Semiángulo de apertura en radianes, calculado a partir de (4)
$\psi_0$ (°)	81,744 8	Semiángulo de apertura en grados
$Z_0$ (cm)	32,368 6	Profundidad de la parábola, calculada a partir de (3) con la $f/D$ teórica
$et$ (dB)	-4,855 1	Ajuste de iluminación de bordes, calculado según (5)
$A$ (m <sup>2</sup> )	1,838 3	Abertura del reflector según $A=\pi \cdot r^2$

### DISCUSIÓN

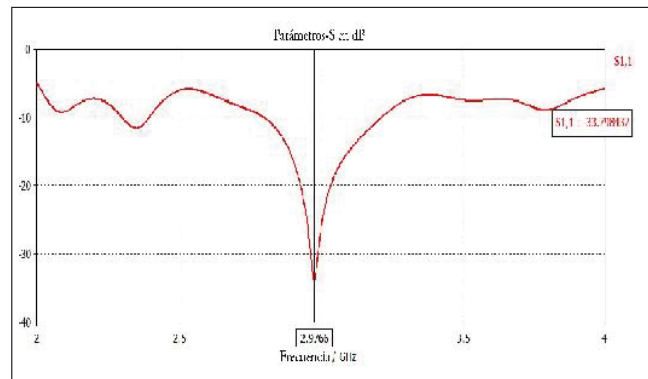
En la figura 6 se muestra el gráfico de las pérdidas por retorno, obtenidas para el excitador de la parábola, en un rango de frecuencias de 2 a 4 Ghz, donde se obtuvo un punto de mínima pérdida (-33,8dB) a 2,97Ghz aproximadamente. Este valor concuerda perfectamente con la longitud de onda reportada en la literatura ( $\lambda = 10,1$ cm) [1]. Es de interés también el ancho de banda obtenido que es de unos 415 Mhz para un 14 % de la banda, lo que demuestra que se puede trabajar de forma aceptable desde los 2,8 Ghz hasta 3,21 Ghz.

La figura 7 muestra el patrón de radiación en 3 dimensiones (3D) [8] del mejor resultado hallado en la banda de trabajo

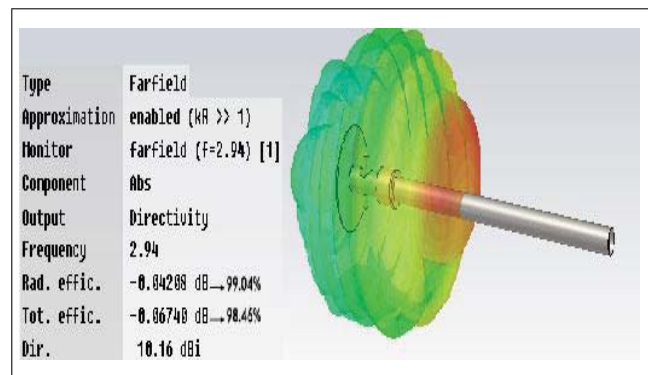
siendo este a 2,94 Ghz. En dicha figura se distingue una ganancia pico de 10,16 dBi y una eficiencia de radiación de 99,04 % la cual se considera muy optimista.

Se observa además que la máxima intensidad de radiación está desplazada hacia la mitad superior del eje, esto es provocado por el *choke* con el objetivo de lograr una inclinación en el haz y en consecuencia el barrido cónico al rotar el sistema. Respecto a la ubicación del excitador cabe decir que este es ajustable en la práctica, se coloca en el foco físico de la parábola y se desplaza por lo general algunos pocos centímetros hacia adelante hasta conseguir el mejor resultado de iluminación y ganancia del conjunto, en general esto se logra cuando el foco coincide con la posición del reflector del excitador. A través del CST se pudo comprobar que la región óptima para emplazarlo es a 44,2 cm del centro del reflector.

En la figura 8 se presenta el patrón de radiación obtenido para el plano vertical ( $E$ ) en un sistema de coordenadas rectangulares 8a), así como en un sistema de coordenadas polares 8b), siendo notable el ancho angular del haz de  $40,2^\circ$  así como el nivel de lóbulos laterales que es de -5,2 dB con respecto al lóbulo principal. La magnitud del lóbulo principal es de 10,2 dBi siendo más directiva en este plano que en el plano horizontal ( $H$ ) como se muestra a continuación y coincidiendo con lo explicado en [2]. En el primer caso, figura 8a), se ha delimitado con dos líneas verticales la abertura equivalente al reflector ( $163^\circ$ ) calculada a partir de la expresión (4), para obtener una idea más precisa de cómo es iluminado el paraboloide.



**Fig. 6. Pérdidas por retorno del sistema simulado**



**Fig. 7. Patrón de radiación del alimentador en 3D**

De igual forma, la figura 9 ilustra el patrón en el plano horizontal en coordenadas rectangulares (figura 9a) y en coordenadas polares (figura 9b). Tal como se observa, la antena es perfectamente simétrica en el plano magnético concordando con lo planteado en [2]; esta presenta un lóbulo principal de 8,9 dBi de ganancia y un ángulo de media potencia de 64,8°, por lo que en general es menos directiva que en el plano vertical. En la figura 9a) se han delimitado con líneas verticales los límites equivalentes a la abertura del reflector la cual es de  $2\psi_0 = 163^\circ$ .

El paso siguiente consistió en simular la estructura completa emisor + reflector, lo cual se puede apreciar en la figura 10. Calcular la eficiencia del conjunto completo requiere de un sistema de cómputo mucho más potente que el que se posee actualmente, debido a esto el modelo utilizado en el CST no es capaz de obtener este parámetro. El patrón de radiación del conjunto es el mostrado en la figura 10, cuyo rasgo más significativo es una ganancia de 29,36 dBi.

Si se profundiza en la eficiencia de una antena parabólica de foco primario, además del desbordamiento y de la iluminación de la abertura, influyen otros parámetros que dependen de la naturaleza de la radiación del emisor como es la no coincidencia del centro de fase en los planos eléctrico y magnético, los efectos de la difracción en sus bordes, el desacople de impedancia debido a la reacción del reflector, los errores de posición en la ubicación del emisor respecto al eje focal y la naturaleza no puntual de este. Con respecto al reflector se pueden citar los errores de fase de la superficie no ideal del reflector, las pérdidas por conductividad finita del material empleado en su construcción, y los errores debidos a la tolerancia de la superficie con respecto al perfil parabólico ideal que se necesita por errores constructivos y cambios del perfil por el gradiente de temperatura. Con estas antenas la eficiencia solo alcanza valores a lo sumo de un 60%, evaluada esta experimentalmente [9].

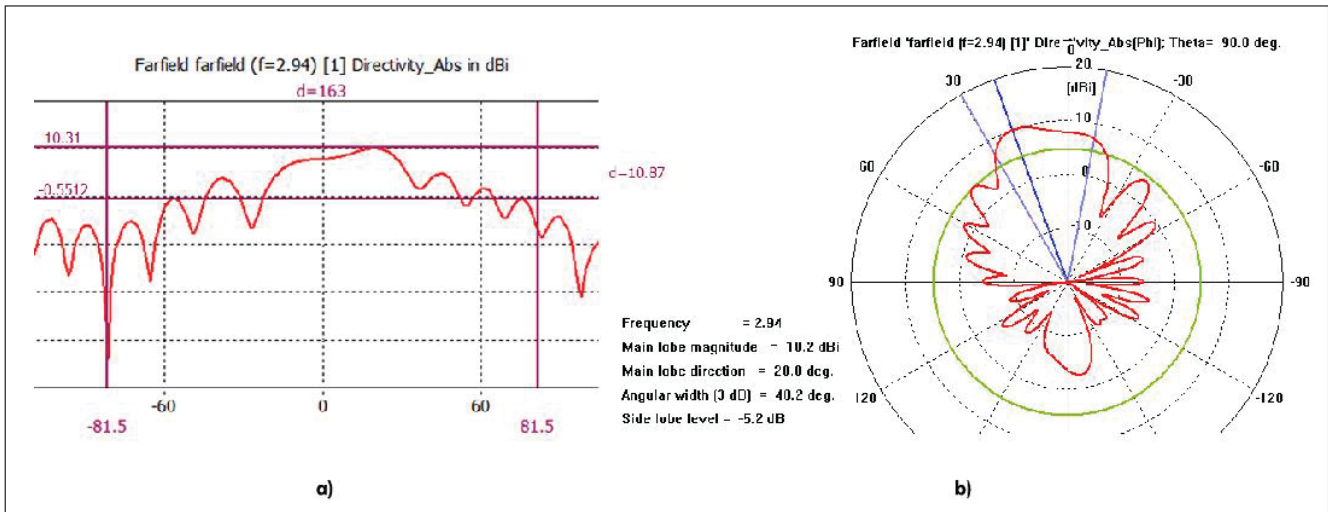


Fig. 8. Patrón de radiación en el plano vertical (E) en un sistema de coordenadas: a) Cartesianas; b) Polares

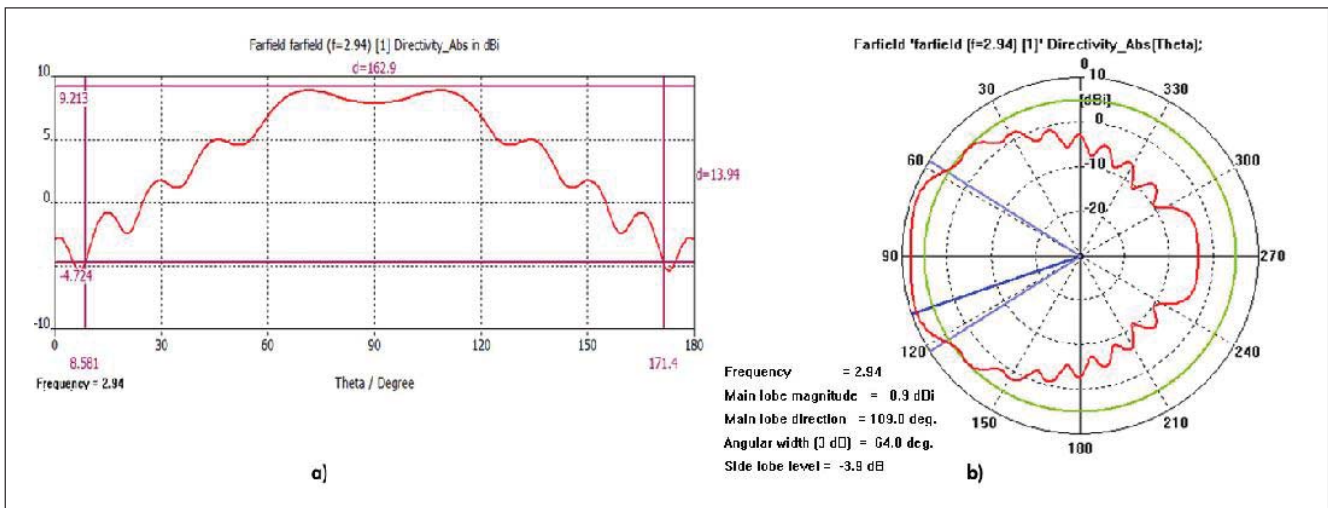


Fig. 9. Patrón de radiación en el plano horizontal (H) en un sistema de coordenadas: a) Cartesianas; b) Polares

Seguidamente se tiene el diagrama de radiación obtenido del plano eléctrico, tal como muestra la figura 11. En la figura 11b) se observa con claridad una desviación del haz con respecto al eje de  $1^\circ$ , esta inclinación se puede modificar con un corrimiento del *choke* en el dispositivo emisor. Así mismo se ha obtenido un haz con un ancho de  $5^\circ$  que se ajusta muy bien a la característica de *haz tipo lápiz* necesaria para realizar el barrido cónico. El nivel de lóbulos laterales en este plano es de  $-25,7$  dB. En la figura 11a) se aprecia cómo la inclinación del lóbulo principal afecta a todo el patrón de radiación restándole simetría en comparación con el plano horizontal presentado en la figura 11a).

En el plano magnético mostrado en la figura 12, se destaca la perfecta simetría centrada en  $0^\circ$  al igual que ocurre con el patrón del dispositivo emisor analizado en la figura 7.

En el caso del plano  $H$ , el lóbulo principal es ligeramente más ancho que en plano  $E$  ( $5,2^\circ$ ), sin embargo, el nivel de lóbulos laterales con respecto a este es de tan solo  $(-21,7$  dB) aunque no deja de ser un buen resultado. Estos resultados de simetría y directividad entre los patrones  $E$  y  $H$  también coinciden con lo planteado por [2].

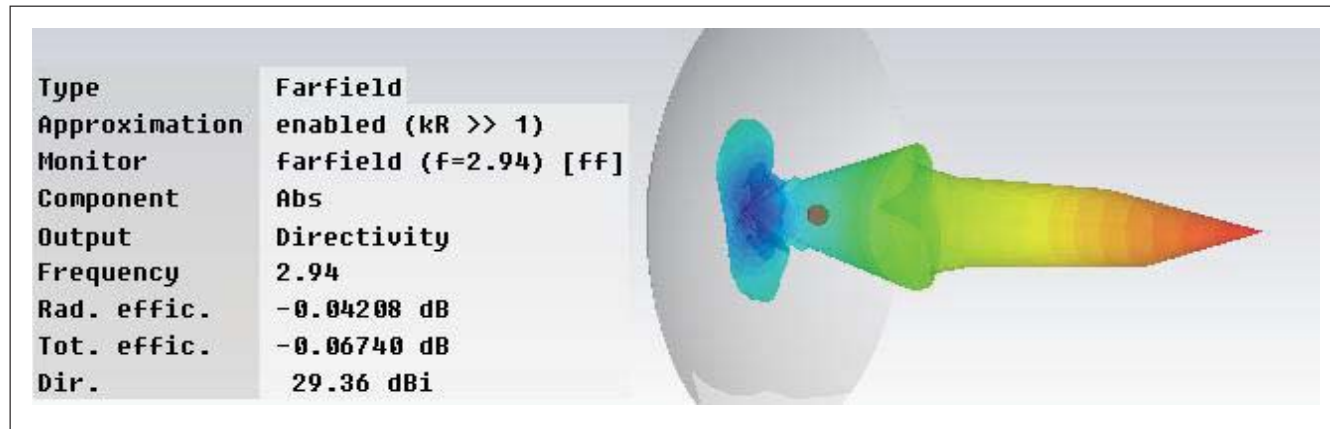


Fig. 10. Patrón de radiación en 3D de la antena del radar SON-9A

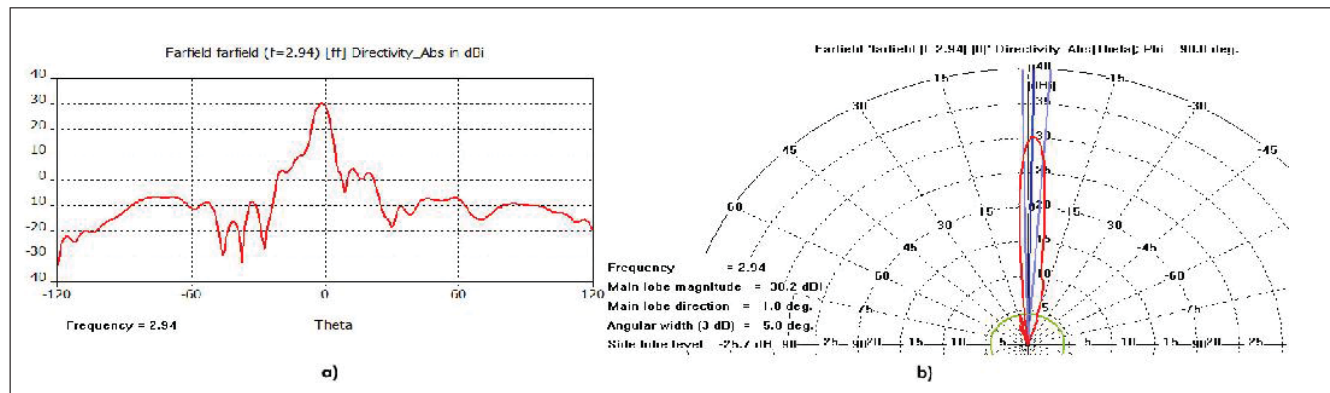


Fig. 11. Patrón de radiación en el plano vertical (E) del conjunto, representado en coordenadas: a) Cartesianas; b) Polares

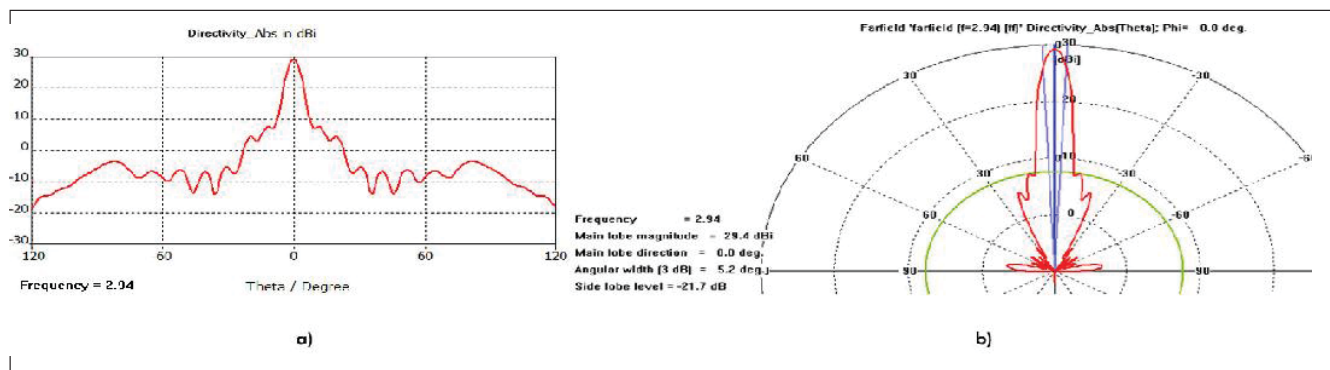


Fig. 12. Patrón de radiación en el plano horizontal (H) del conjunto, representado en coordenadas: a) Cartesianas; b) Polares



## CONCLUSIONES

Los experimentos realizados hasta aquí coinciden, en su mayoría, con los valores teóricos calculados y planteados en la literatura referida. La herramienta CST Microwave Studio ha sido de gran utilidad en la obtención del diagrama de radiación general, así como en el de cada plano de forma independiente, se ha demostrado que este sistema tiene mayor directividad en el plano eléctrico, en cambio es más uniforme en el plano magnético. Se ha puesto en evidencia que el nivel de lóbulos secundarios es mucho mejor en el plano eléctrico aunque ambos tienen valores aceptables.

Con respecto a la ganancia se ha conseguido el mejor resultado (29,36 dBi) para 2,94 Ghz aunque tiene una banda de trabajo 415 Mhz comenzando a partir de los 2,8 Ghz; sin embargo, el mejor acople de impedancias fue obtenido para 2,977 Ghz.

De este modo se puede decir que el sistema de radiación ha sido completamente caracterizado. Cabe mencionar que el desarrollo este radar es objeto de varias tesis de pregrado y posgrado del Departamento de Telecomunicaciones las cuales desarrollan las diferentes líneas de aplicación de este sistema. Dichas líneas de trabajo involucran además otras instituciones científicas como el Instituto de Meteorología (INSMET) y el Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA).

## REFERENCIAS

1. MINISTERIO DE LAS FUERZAS ARMADAS DE LA URSS. Manual del radar de artillería antiaérea SCR-584-B, Servicios clasificados. [original en ruso: *Артиллерийская зенитная радиолокационная станция SCR-584-B*]. SCR-584-B]. Moscú, 1947, 420pp. Disponible en Web: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/54434?locale-attribute=ru> [consultado abril 2014].
2. REINTJES, Francis; COATES, Godfrey. *Principles of Radar*. Massachusetts. US. 3rd. edition, 1952, McGraw & Hill Book Company, INC, 985 pp. ISBN: 9780070518459.
3. SHAMSHAD, Fahad; AMIN, Mohammed. "Simulation Comparison between HFSS, CST and WIPL-D for Design of Dipole, Horn and Parabolic Reflector Antenna". *Journal of Advances in Computational Mathematics and its Applications (ACMA)* 2012, vol. 1, núm.4, pp. 203-207. ISSN: 2167-6356. Disponible en Web: <http://worldsciencepublisher.org/journals/index.php/ACMA/article/view/631> [consultado en abril 2014].
4. MAKAROV, Serguey. *Antenna and EM Modeling with MATLAB*. US., 2002. New York: John Wiley & Sons, INC, 330 pp. ISBN: 9780471218760.
5. JACOBO BERLLES, Julio. "Nuevas familias de distribuciones polarimétricas para imágenes SAR". Director: Alejandro Frery Organbide. Tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 2005. Disponible en: [http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis\\_3834\\_JacoboBerlles](http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis_3834_JacoboBerlles) [consultado abril 2014].
6. BAARS, Jacob. *The Paraboloidal Antenna in Radio Astronomy and Communication*. Swisttal / Bonn, Germany. Edit. Springer Science + Business Media, LLC, 2007, 269 pp. ISBN: 978-0-387-69733-8.
7. OKAMOTO, Ken'ichi; SHIGE, Shoichi; MANABE, Takeshi. "A conical scan type spaceborne precipitation radar" [en línea]. *34th Conference on Radar Meteorology*. Virginia, US, 2009. OCLC 466182757. Disponible en Web: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/155-272.pdf> [consultado febrero 2014].
8. HANNINEN, Ilari. "Optimization of a Reflector Antenna System" [en línea]. CST AG support and engineering. Darmstat, Germany, 2012. Disponible en Web: <https://www.cst.com/Content/Articles/article646/CST-Whitepaper-Reflector-Antenna-System.pdf> [consultado mayo 2014].
9. MILLIGAN, Thomas. *Modern Antenna Design*. 2nd edition. 2005, John Wiley & Sons, INC, 633 pp. ISBN: 978-0-471-45776-3.

## AUTORES

### Yuniet Díaz Lazo

Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, Instituto de Meteorología (INSMET), La Habana, Cuba

### Nelson Chávez Ferry

Ingeniero en Telecomunicaciones, Doctor en Ciencias, Profesor Titular, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### Pedro Arzola Morris

Ingeniero Radioelectrónico, Máster en Ciencias, Profesor Auxiliar, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba



## Description of Radiation Pattern of the Son-9A Antenna

### **Abstract**

The SON-9A radar was designed and built in the sixties at the non-existent Soviet Union and it was widely used in Vietnam's War, however its technology is still employed for researching purposes. These systems could work fine under four frequencies from 2,700 up to 2,800 MHz with a frequency of repetition (PRF) of 1,707 Hz. The Group of Radar of the Telecommunications and Telematics Department, Cujae is carrying out the setting up and installation of an experimental radar using the SON-9A antenna. That is done in order to profit the tracking method of angular coordinates of this radar based on conical scanning and to can also effectuate polarimetric measurements of the echoes coming from the targets. The first step towards this modernization is to get a whole characterization of the antenna's radiation pattern since it is only count on one bibliography and it's in Russian language. It is needed to explain from a strictly technical point of view how the pattern behaves. To achieve this, the system has been modeled using the "CST Microwave Studio 2009" tool, which has led to a fairly accurate idea of the device's operation principle.

Key words: parabolic reflector, conical scanning, radar, computer-assisted design of antennas