

MEJORAS DE LOS PARAMETROS DE RADIACION DE UNA ANTENA CHOQUE-GAUSSIANA PARA COBERTURA GLOBAL

Jorge Teniente Vallinas
Dpto. de Ing. Eléctrica y Electrónica
Universidad Pública de Navarra
jorge.teniente@unavarra.es

Ramón Gonzalo García
Dpto. de Ing. Eléctrica y Electrónica
Universidad Pública de Navarra
ramon@unavarra.es

Carlos del Río Bocio
Dpto. de Ing. Eléctrica y Electrónica
Universidad Pública de Navarra
carlos@unavarra.es

Abstract.- Extremely low sidelobe horn antennas are often required for the actual technology. This type of horn antennas is important to avoid interference with other systems.

In this paper a novel design, consisting in attaching together a choked-waveguide antenna with a classical pure gaussian output corrugated horn is presented. A radiation pattern with very low sidelobes and crosspolar levels in a very short profile is obtained.

This antenna shape was firstly presented in [1]. In this paper an improvement in size, weight, bandwidth and crosspolar level of the design is shown.

This idea of horn antenna has been patented and PCT extended to several countries; Flann Microwave Ltd. has the rights to commercialize it and has sold several antennas of this type at the moment.

I. INTRODUCCIÓN

Las antenas de bocina con perfiles de tipo gaussiano, (GPHA's que por sus siglas en ingles significa: "Gaussian Profiled Horn Antennas"), aparecen como una de las mejores opciones de diseño para antenas de bocina corrugadas. Sin embargo, para hacer uso de uno de estos perfiles, se debe utilizar como alimentador un dispositivo (antena, transición o guía) que genere un modo híbrido HE_{11} [3,4,5,6]. Para obtener un modo híbrido a la entrada de una GPHA corrugada se suele utilizar un convertor de modos TE_{11} a HE_{11} , que puede definirse bien con un perfil lineal o gaussiano. El problema de esta solución es que suele dar lugar a antenas bastante largas. Para reducir el tamaño de la antena completa, que suele venir determinado por el tamaño del convertor de modo TE_{11} a HE_{11} , las soluciones actuales se basan en diseños empíricos obtenidos por medio de un código de optimización [7].

Durante el desarrollo de perfiles empíricos para ser utilizados como conversores de modo TE_{11} a HE_{11} y así alimentar una GPHA corrugada, se concluyó que cualquier dispositivo que obtenga algo parecido a un modo híbrido HE_{11} a su salida se puede conectar a una GPHA corrugada y mejorar sus prestaciones. En esta categoría algunos ejemplos que pueden valer son las bocinas tipo Potter [8] y las bocinas con choques de radiofrecuencia [9].

Las bocinas tipo Potter poseen un ancho de banda estrecho, aunque pueden ser muy cortas, son simples de fabricar y su masa es pequeña porque están hechas de guía lisa. Por ello las bocinas tipo Potter a veces pueden ser una estupenda posibilidad. Por otro lado las bocinas con choques de radiofrecuencia ofrecen mayores anchos de banda al

mismo tiempo que son bastante fáciles de fabricar además de ser incluso más cortas que las bocinas tipo Potter.

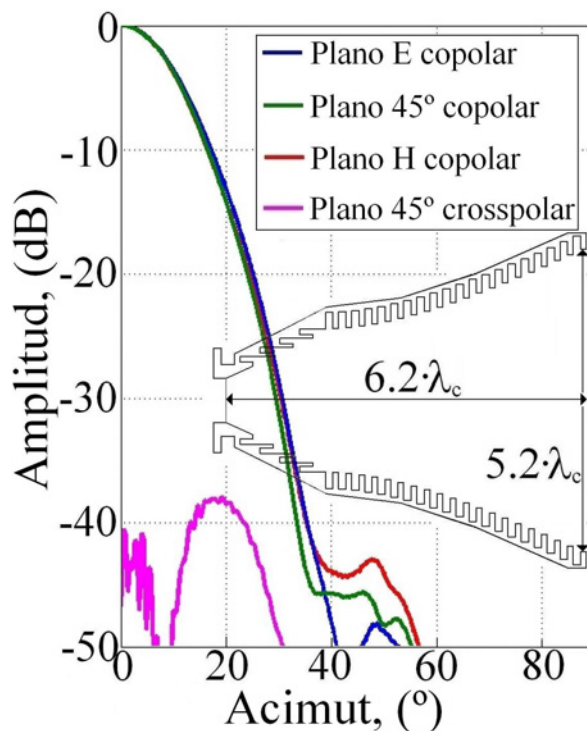


Fig. 1. Diagrama de radiación medido a f_c de la primera antena choque-gaussiana para aplicaciones de TT&C con cobertura global desde satélite geoestacionario [1]

Partiendo de estas conclusiones, se desarrolló una antena como combinación de ambas ideas, en concreto, se diseñó una antena tipo choque-gaussiana, la antena de choque convierte el modo TE_{11} a la entrada a un modo HE_{11} y la posterior parte gaussiana se encarga de mejorar las prestaciones del conjunto. Se puede afirmar que actualmente esta antena choque-gaussiana, es para muchísimas aplicaciones la mejor y la más compacta de las soluciones posibles. El estudio sobre sus posibilidades y sus prestaciones acaba realmente de iniciarse [1] y algunos de sus parámetros de radiación como los niveles de polarización cruzada y el ancho de banda ya se han mejorado sustancialmente a partir de la primera de estas antenas desarrollada en [1]. Este papel va a mostrar el estado actual de la tecnología en el diseño de este tipo de antenas para aplicaciones de cobertura global.

II. ESTADO DEL ARTE EN ANTENAS DE COBERTURA GLOBAL

Las antenas de cobertura global se utilizan habitualmente para telemetría "Telemetry", seguimiento "Tracking" y control (TT&C) desde un satélite geoestacionario y necesitan

un diagrama de radiación de una ganancia aproximada de 20.8 dB o un corte -3 dB a 8.7° del patrón copolar, dado que éste es el ángulo subtendido por la tierra desde un satélite geostacionario.

Algunos buenos ejemplos de estas antenas para cobertura global se pueden encontrar en [1,10,11,12].

Para una antena de cobertura global se suele exigir que el nivel de lóbulo lateral sea mínimo. Sin embargo, más que hablar del nivel de lóbulo lateral, sería más lógico hablar para estas antenas de las eficiencias de iluminación y de "spillover" tomando el cono desde el que el satélite geostacionario ve la tierra (semiángulo de 8.7°) como el ángulo con el que calcular estas eficiencias. El producto de ambas eficiencias debería ser maximizado para obtener la mejor antena posible para cobertura global.

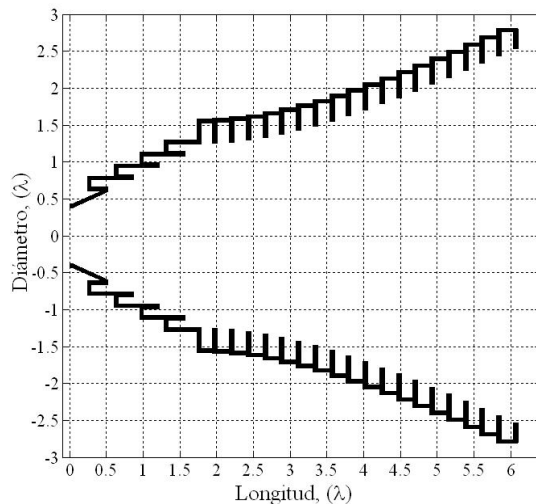


Fig. 2. Nuevo perfil para la antena choque-gaussiana para TT&C con un grosor de pared de $\lambda_c/20$

III. SOBRE EL LÓBULO LATERAL Y LA RADIACIÓN EN DIRECCIONES NO DESEADAS "SPILLOVER RADIATION"

En la referencia [1] se presentaba una antena choque-gaussiana que exhibía un patrón de radiación medido con un lóbulo lateral, a la frecuencia de trabajo, de -43 dB, (ver figura 1). Esta antena choque-gaussiana, como extensión de las antenas de tipo GPHA corrugada, presenta un diagrama de radiación realmente muy similar al diagrama de radiación de un modo gaussiano fundamental hasta la aparición del primer lóbulo lateral.

Para poder evaluar la bondad de una antena para aplicaciones de cobertura global se deben evaluar las eficiencias de iluminación y de "spillover", que pueden ser calculadas por medio de las ecuaciones integrales que vienen dadas en [9]. La eficiencia de iluminación informará de la uniformidad de la potencia radiada sobre la tierra, y la eficiencia de "spillover" determinará la energía que radiará la antena y que no incidirá directamente sobre la tierra, o sea, aquella radiación fuera del cono de 8.7° desde el que el satélite geostacionario ve la tierra.

IV. SOBRE LA PRECISIÓN DE FABRICACIÓN

Calcular la precisión que es necesario alcanzar en la fabricación de un diseño de antena de bocina corrugada para que no se alteren sus propiedades de manera significativa es bastante sencillo. Consiste en incluir en el programa de

simulación un generador aleatorio de valores que modifiquen las dimensiones físicas, hasta un determinado valor máximo, del diseño a construir; afectando de esta manera a los valores de longitud y radio del perfil. Realizando varias simulaciones de este tipo para cada valor máximo de error y verificando los resultados de la antena y los máximos cambios en el patrón de radiación asumibles se sabe de manera fiable la precisión en fabricación que se necesita.

El patrón de radiación medido para la antena choque-gaussiana de la figura 1 validó el cálculo teórico de la precisión de fabricación. Para esta antena, la precisión de fabricación ($\pm 0.0017 \cdot \lambda_c$, ± 0.05 mm a la frecuencia central de 9.5 GHz) se hizo coincidir con el máximo valor del generador aleatorio y en simulación y medida los patrones copolares apenas cambiaron respecto a los ideales.

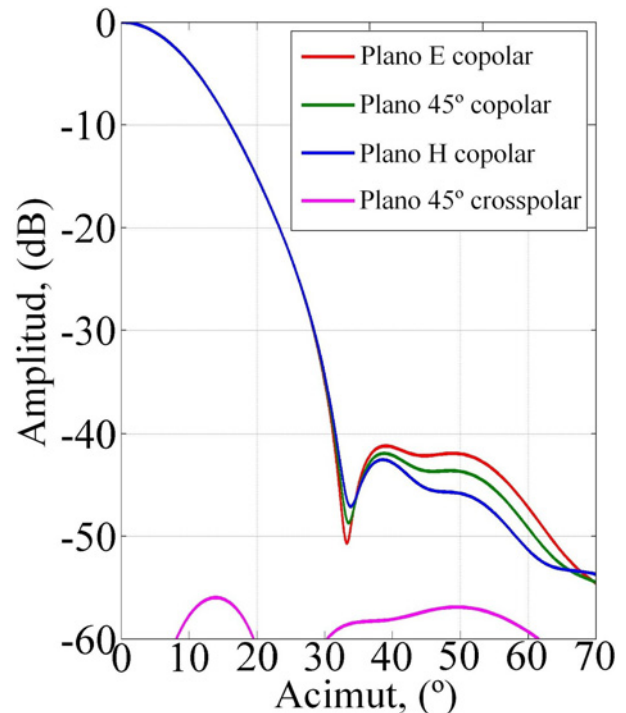


Fig. 3. Patrón de radiación simulado del Nuevo diseño de bocina choque-gaussiana

Sin embargo, y a diferencia de la simulación, la medida de la polarización cruzada resultó algunos dB's más alta de lo previsto. Esta desviación se atribuye a errores de fabricación que no se tuvieron en cuenta durante el proceso de simulación como son la no concentricidad perfecta entre las corrugaciones fabricadas en la antena.

Otra ventaja de fabricación en las bocinas choque-gaussianas es que evitan en la región de entrada de la antena hacer el complicado transformador de profundidad de corrugación de $\lambda/2$ a $\lambda/4$ común al resto de antenas de bocina corrugadas. Este transformador, que adapta el modo TE_{11} que viaja por la guía lisa a la guía corrugada, presenta una profundidad de la primera corrugación del cuello que es del orden del radio de la guía lisa monomodo, lo que complica muchísimo el proceso de fabricación con métodos de torneado convencionales.

V. NUEVO DISEÑO DE ANTENA CHOQUE GAUSSIANA PARA COBERTURA GLOBAL

Desde el descubrimiento de las buenas propiedades de radiación de la bocina choque-gaussiana presentada en [1] se

ha hecho un gran esfuerzo investigador para mejorar su tamaño, su peso, sus niveles de polarización cruzada y su ancho de banda.

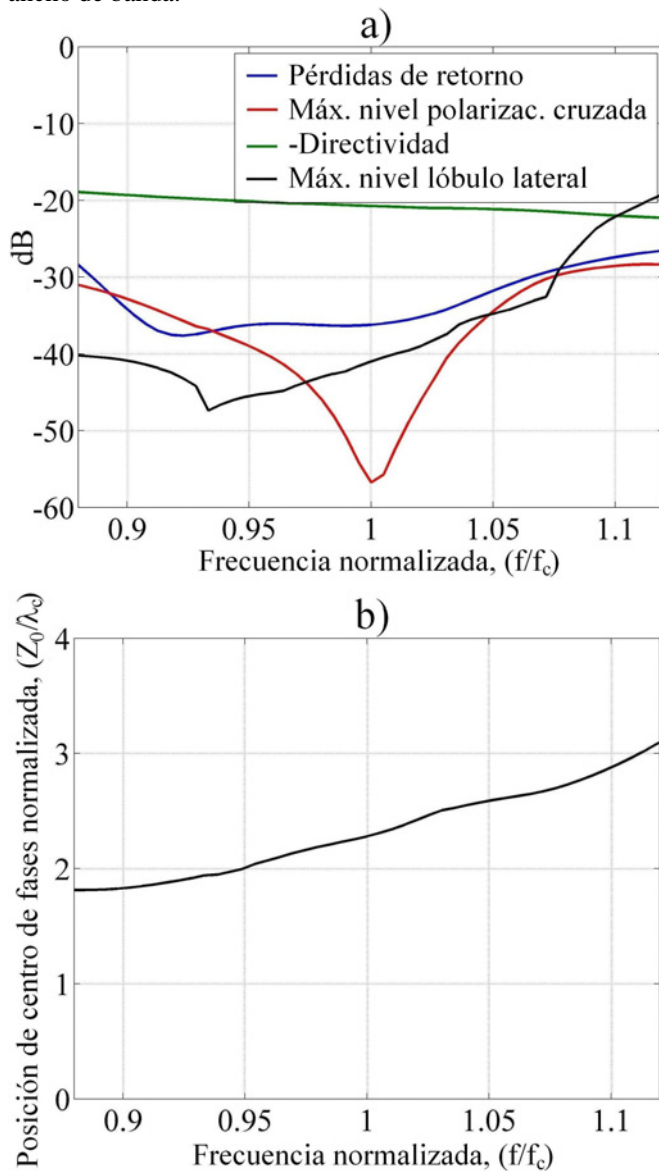


Fig. 4. Características en banda del patrón de radiación simulado para el nuevo diseño de bocina choque-gaussiana
a) Pérdidas de retorno, máximos niveles de polarización cruzada y de lóbulo lateral y directividad frente a frecuencia normalizada
b) Variación en banda de la posición del centro de fases normalizada respecto a la apertura de la bocina

El tamaño puede ser mejorado ligeramente, ya que se está cerca de los límites mínimos. En cambio, el peso de la antena se puede mejorar significativamente reduciendo la anchura de los dientes de corrugación verticales. Esta mejora en el peso hace a esta antena adecuada para aplicaciones de espacio.

Los niveles crosspolares se han mejorado sustancialmente alcanzándose en simulaciones valores por debajo de -60 dB, pese a que estos valores de polarización cruzada son difícilmente alcanzables en medidas reales debido a las imprecisiones de fabricación.

Las pérdidas de retorno de las antenas choque-gaussianas es un parámetro que no debe de preocupar, de hecho en este tipo de antena es realmente sencillo conseguir más de un 30% de ancho de banda de pérdidas de retorno por debajo de -30 dB, además no aparecen nunca resonancias a bajas

frecuencias como ocurre en el transformador de profundidad de corrugación de las bocinas corrugadas habituales [15].

Sin embargo, a pesar de haber mejorado sustancialmente el nivel de polarización cruzada de las antenas choque-gaussianas, se puede decir que sus propiedades de radiación copolares y crosspolares se degradan más rápido al variar la frecuencia de trabajo que para una antena corrugada convencional.

Tabla 1. Comparación del comportamiento simulado de la nueva antena choque-gaussiana para cobertura global

Bocina	1 ^{er} diseño choque-gaussiana (medidas a $0.99 \cdot f_c$)	1 ^{er} diseño choque-gaussiana (simulación a f_c)	Diseño actual choque-gaussiana (simulación a f_c)	Gaussiano fundamental puro
Ganancia (dB)	20.5 dB	20.67 dB	20.72 dB	20.81 dB
Peso	-----	$29.86 \cdot \lambda_c^*$	$21.91 \cdot \lambda_c^*$	No aplicable
Lóbulo lateral (f_c)	-43 dB	-43 dB	-41 dB	No lóbulo lateral
Nivel crosspolar (f_c)	-38 dB	-45 dB	-56 dB	No polarización cruzada
Eficiencia de iluminación, η_i	0.990	0.990	0.990	0.990
Eficiencia de "spillover", η_s	0.472	0.484	0.490	0.500
Eficiencia total, $\eta_i \cdot \eta_s$	0.467	0.479	0.485	0.495
Longitud (λ_c)	$6.2 \cdot \lambda_c$	$6.2 \cdot \lambda_c$	$6.1 \cdot \lambda_c$	No aplicable
Diámetro (λ_c)	$5.2 \cdot \lambda_c$	$5.2 \cdot \lambda_c$	$5.07 \cdot \lambda_c$	No aplicable
Pérdidas de retorno a f_c	-42 dB	-36.6 dB	-36.3 dB	No aplicable
Ancho de banda (%)	16%	13 %	18 %	No aplicable

* Nota para la comparación de masas: si λ_c está expresada en metros, la masa resultará en kilogramos y si λ_c está expresada en milímetros, la masa resultará en gramos

El nuevo diseño de bocina choque-gaussiana se encuentra dibujado en la figura 2. Para hacer una comparación de pesos con el primer diseño de antena choque-gaussiana [1], la masa de ambas antenas se ha calculado asumiendo una pared externa de grosor $\lambda_c/20$ y aluminio como material de fabricación, (el aluminio usado tiene una densidad de 2.702 gr/cm^3) (resultados en tabla 1). La figura 2 está hecha para este grosor de pared de $\lambda_c/20$.

Este nuevo diseño presenta una longitud de $6.1 \cdot \lambda_c$ y un diámetro de $5.07 \cdot \lambda_c$. Se ha reducido un periodo de corrugación, se ha conseguido una mejor eficiencia de "spillover", se ha reducido el nivel de polarización cruzada y se ha obtenido una mejor respuesta en banda que en el primer diseño [1]. Ver las figuras 3 y 4 y la tabla 1.

Esta nueva antena presenta en simulación un ancho de banda aproximado del 18% para unos niveles de lóbulo lateral, de polarización cruzada y de pérdidas de retorno máximos de -30 dB. Si reducimos el nivel de polarización cruzada a -40 dB y a -36 dB el de lóbulo lateral el ancho de banda disminuye al 7%.

También ha mejorado la eficiencia de "spillover", el peso y el tamaño respecto al diseño anterior presentado en [1], de hecho este nuevo diseño presenta un diente de corrugación más fino ($2/7$ del periodo de corrugación) y 1 periodo de corrugación menos, con lo que se consigue un peso un 25% inferior. Estos parámetros y otros se pueden verificar en la tabla 1.

En la tabla 1 también se pueden comparar con las antenas diseñadas los límites teóricos de eficiencia que presenta un modo gaussiano fundamental.

VI. CONCLUSIONES

Las bocinas choque-gaussianas son una solución muy atractiva en cuanto a prestaciones de radiación (pérdidas de retorno, lóbulo lateral, polarización cruzada) para requerimientos de anchos de banda inferiores al 15-20%. Además, son diseños muy compactos y ligeros para aplicaciones que requieran esos anchos de banda.

La fabricación de las bocinas choque-gaussianas es más sencilla que para el resto de bocinas corrugadas convencionales debido a la ausencia del transformador de impedancias que necesitan las segundas a su entrada. Los valores de tolerancias de fabricación son aproximadamente los mismos que para el resto de bocinas corrugadas convencionales.

El ancho de banda correspondiente a las pérdidas de retorno de las bocinas choque-gaussianas es realmente muy bueno consiguiéndose fácilmente valores por debajo de -30 dB en más de un 30% de ancho de banda y sin resonancias.

Actualmente los esfuerzos de diseño de estas antenas se están enfocando en intentar incrementar los anchos de banda de funcionamiento de las mismas.

REFERENCIAS

- [1] J. Teniente, D. Goñi, R. Gonzalo y C. del Río, "Choked Gaussian Antenna: Extremely Low Sidelobe Compact Antenna Design", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Volumen: 1, Número: 11, Páginas 200-202, Noviembre 2002.
- [2] R. Gonzalo, C. del Río, D. Goñi y J. Teniente, "Antena de bocina que combina corrugaciones horizontales y verticales", *Aplicación de patente. Número: P.2002 01264*. País de prioridad: España. Fecha de prioridad: 24-05-2002 Extensión PCT a varios países: 17-05-2003 Propiedad de: Universidad Pública de Navarra (U.P.N.A.) Campus de Arrosadía, Pamplona, Navarra, España. Empresa con los derechos de comercialización: Flann Microwave, Ltd.
- [3] R. Gonzalo, J. Teniente y C. del Río, "Improved Radiation Pattern Performance of Gaussian Profiled Horn Antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 50, N. 11, Páginas 1505-1513, Noviembre 2002.
- [4] R. Gonzalo, J. Teniente y C. del Río, "Very Short and Efficient Feeder Design from Monomode Waveguide", *1997 IEEE AP-S International Symposium and URSI Radio Science Meeting*, 14-18 de Julio, Montreal, Canada.
- [5] C. del Río, R. Gonzalo y M. Sorolla, "High Purity Gaussian Beam Excitation by Optimal Horn Antenna", *Proceeding of the International Symposium on Antennas and Propagation*, Chiba, Japón, Septiembre 1996.
- [6] J. Teniente, R. Gonzalo y C. del Río, "Ultra Wide Band Corrugated Gaussian Profiled Horn Antenna Design", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Volumen: 12, Número: 1, Enero 2002.
- [7] C. Granet y T.S. Bird, "Optimization of corrugated horn radiation patterns via a spline-profile", *ANTEM 2002, 9th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics*, Montreal, Canada, 2002, páginas: 307-310.
- [8] P.D. Potter, "A new horn antenna with suppressed sidelobes and equal beamwidths", *Microwave Journal*, 1963, 6, páginas: 71-78.
- [9] A.D. Oliver, P.J.B. Clarricoats, A.A. Kishk y L. Shafai, "Microwave Horns and Feeds", *IEE Electromagnetic waves series 39*, The Institution of Electrical Engineers, 1994.
- [10] C. Granet, T. S. Bird y G.L. James, "Compact Multimode Horn with Low Sidelobes for Global Earth Coverage", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volumen: 48, Número: 7, Julio 2000
- [11] T.S. Bird, C. Granet y G.L. James, "Lightweight compact multi-mode corrugated horn with low-sidelobes for global earth coverage", *AP2000 Millennium Conference on Antennas & Propagation*, Davos, Suiza, 9 - 14 de Abril de 2000, Papel: 0085
- [12] C. Granet y T.S. Bird, "Optimization of global earth coverage horns", *JINA 2002*, páginas: 371-374.
- [13] C. Granet, T. S. Bird y G.L. James, "Comments on 'Choked Gaussian Antenna: Extremely Low Sidelobe Compact Antenna Design'", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Volumen: 2, Número: 24, Páginas 363-364, Noviembre 2003.
- [14] J. Teniente, R. Gonzalo y C. del Río, "Reply to 'Comments on 'Choked Gaussian Antenna: Extremely Low Sidelobe Compact Antenna Design''", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Volumen: 2, Número: 24, Páginas 364-366, Noviembre 2003.
- [15] J. Teniente, R. Gonzalo y C. del Río, "Estudio de Resonancias Parásitas en Antenas Corrugadas", XVI Symposium de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI'01). Villaviciosa de Odón, (Madrid), Septiembre 2001.
- [16] J. Teniente, "Modern Corrugated Horn Antennas", *Manuscrito de Tesis Doctoral. Publicado por la FUNDACIÓN EPSON IBERICA y el Instituto de Tecnológica*, C/ Gran de Gràcia, 140, Pral. 2a. 08012 Barcelona, España. Julio 2003.