

# NUEVAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE ANTENAS DE BOCINA CORRUGADAS

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.-** The present paper deals with the design of modern corrugated horn antennas for extremely low sidelobe level with the use of the well known corrugated Gaussian Profiled Horn Antenna (corrugated GPHA's) to improve the radiation pattern features and reduce the antenna size.

Basic design rules will be given to start with an appropriate profile which can be quickly used as input profile for modern optimization codes to improve antenna characteristics, i.e. its size.

## I. INTRODUCCIÓN

El diseño de antenas de bocina corrugadas en guía circular ha estado basado, durante mucho tiempo, en el control de la mezcla de modos de guía necesario para excitar apropiadamente el modo fundamental de guía circular corrugada ( $HE_{11}$ ). Esto se ha debido a las excelentes propiedades de radiación que presenta este modo híbrido, (ver figura 1). Además, es algo bien conocido que este modo híbrido puede descomponerse mediante una combinación de los modos de guía lisa  $TE_{11}$  y  $TM_{11}$  en las proporciones 85% frente a 15% respectivamente y con la fase adecuada entre ellos. Debido a ello, las antenas de bocina se han venido diseñando para, a partir de una distribución de campo del modo  $TE_{11}$  existente a la entrada de la antena, conseguir mediante determinadas variaciones de radio obtener en su apertura la cantidad requerida del modo  $TM_{11}$  en amplitud y fase para aproximadamente formar un modo  $HE_{11}$ . Las primeras antenas que se diseñaron para conseguir la mezcla comentada se conocen como antenas de tipo Potter en honor a su inventor [1,2,3].

Otra técnica se basa en el uso de una guía circular corrugada, donde la mezcla 85% de  $TE_{11}$  y 15% de  $TM_{11}$  ( $HE_{11}$ ) se corresponde con el modo fundamental de este tipo de guía. Ésta técnica desarrollada en [2,3,4,5] consiste en una adaptación gradual entre guía lisa circular y guía corrugada de profundidad de corrugación  $\lambda/4$ , (ver figura 2). La ventaja de las antenas de bocina corrugadas es fundamentalmente la respuesta en frecuencia que es de gran ancho de banda.

La directividad, ganancia, lóbulos laterales y polarización cruzada son los principales requerimientos de diseño para la mayoría de aplicaciones que atañen a las antenas de bocina. Otros requerimientos, relevantes en aplicaciones espaciales, son el peso y el tamaño, los cuales han de ser minimizados, [6,7].

Durante las dos últimas décadas, muchas de las aplicaciones en las que se ha requerido utilizar antenas de bocina de altas prestaciones (satélites, radiotelescopios) han sido equipadas con antenas de bocina del tipo cónico corrugado. De hecho, las antenas de bocina cónicas

corrugadas son una de las mejores posibilidades para superar requerimientos de patrones de radiación exigentes. Durante la última década han surgido otro tipo de perfiles de bocinas corrugadas más cortos y de mejores prestaciones, los perfiles Gaussianos [8].

En este papel se va a presentar, un breve resumen de cómo diseñar una antena de bocina cónica corrugadas, el cual ayudará a comprender el método de diseño utilizado para el desarrollo de antenas de bocina corrugadas basadas en perfiles de tipo Gaussiano.

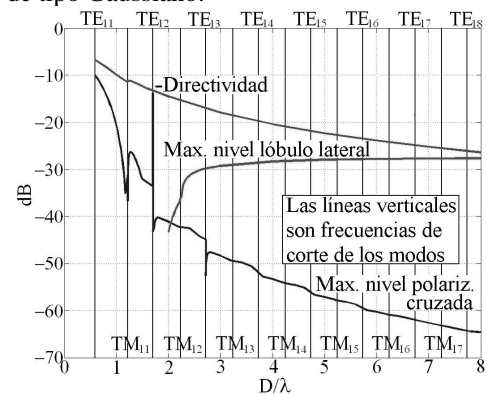


Fig. 1. Propiedades de radiación de modo  $HE_{11}$  frente a diámetro de apertura

## II. DISEÑO DE BOCINAS CÓNICAS CORRUGADAS

El modo  $HE_{11}$  es un modo de excelentes propiedades de radiación porque tiene un 98.1% de pureza con el modo gaussiano fundamental y tiene una componente crosspolar muy baja. En una antena de bocina cónica corrugada, un modo  $HE_{11}$  de bastante pureza se genera justo después del adaptador de impedancias entre guía lisa y guía corrugada. Si el ángulo de la antena no es muy grande, (inferior normalmente a 20 grados), este modo es suavemente guiado a la apertura de la bocina.

Cuanto más suave y gradual sea el guiado del modo  $HE_{11}$  a la apertura de la bocina, más pura será la potencia en este modo en ella frente a otros modos espurios que puedan aparecer como los  $HE_{1n}$  o  $EH_{1n}$ . Para antenas de altas prestaciones, por lo tanto, el ángulo ha de ser reducido, con lo que para un determinado diámetro de apertura la longitud de la bocina aumentará.

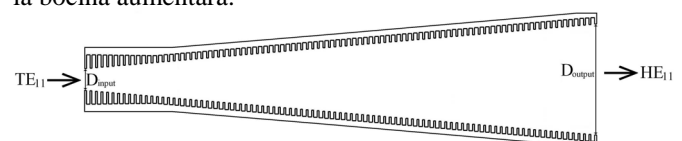


Fig. 2. Antena de bocina cónica corrugada

De entre las especificaciones necesarias para el diseño de una antena de bocina cónica corrugada, la directividad necesaria o más específicamente, la caída del patrón de

radiación a un determinado ángulo, fijará con bastante precisión el diámetro de apertura, dado que la distribución de campo en ella es asumible completamente con el modo  $HE_{11}$ .

Para las antenas de bocina cónicas corrugadas, hay diagramas para anchuras de haz de a -3 dB y -10 dB que definen el patrón copolar de la antena por medio del ángulo del perfil y del diámetro de la apertura [3]. Si consideramos diseños donde los lóbulos laterales y/u hombros han de estar por debajo de -20 dB (lo cual es habitualmente requerido para este tipo de antenas), las curvas de directividad pueden ser fácilmente convertidas a las curvas de anchura de haz a -3 dB o a -10 dB o a cualquier otra anchura de haz necesaria. La figura 3a permite seleccionar el diámetro de apertura apropiado de una antena cónica corrugada para una determinada directividad de diseño requerida.

El ángulo del perfil cónico normalmente viene impuesto por el máximo nivel de lóbulos laterales admisible en las especificaciones, (ver figura 3b).

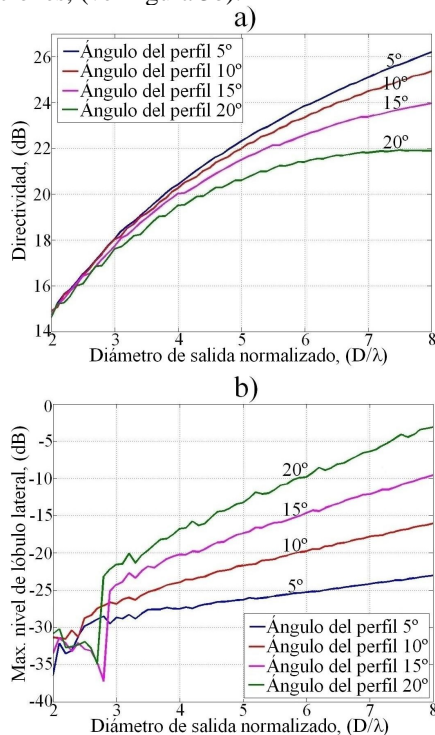


Fig. 3. a) Curvas de directividad para diseño de bocinas cónicas corrugadas  
b) Curvas de máximo lóbulo lateral para diseño de bocinas cónicas corrugadas (los hombros están incluidos y son considerados como lóbulos)

Estas antenas son sencillas de diseñar, pero como contrapartidas se tiene que el nivel de lóbulo lateral para directividades moderadas (por encima de 18 dB) no puede ser inferior a -30 dB, (ver figuras 3b y 1), y, además, la eficiencia del modo  $HE_{11}$  con el modo fundamental del espacio libre (gaussiano fundamental) a pesar de ser elevada, puede ser mejorada si se emplean otras técnicas de diseño que aseguren la presencia controlada de otros modos  $HE_{1n}$  en la apertura.

### III. DISEÑO DE BOCINAS GAUSSIANAS CORRUGADAS

Las antenas de bocina gaussianas (GPHA's que por sus siglas en inglés significa: "Gaussian Profiled Horn Antennas" fueron inicialmente propuestas en el año 1995 durante la investigación realizada en [8,9].

Como los modos gaussianos son solución de la ecuación paraxial del espacio libre, toda radiación (de acuerdo con la

condición paraxial) propagada en el espacio libre puede representarse mediante modos gaussianos.

Mediante el uso de este tipo de perfiles de bocina, la adaptación entre la guía de ondas y el espacio libre es casi perfecta, siendo ésta, la forma más natural de adaptación entre los dos medios.

La mayoría de las aplicaciones actuales en telecomunicaciones, telecontrol y sistemas de telemetría trabajan con el modo gaussiano fundamental  $\Psi_{00}$  como el principal modo de radiación de espacio libre. Para obtener por medio de una antena de bocina un modo  $\Psi_{00}$  de alta pureza, la versión corrugada de la GPHA apareció, [10,11,12]. Ésta versión corrugada de las GPHA's es muy interesante para conseguir los requerimientos más exigentes en directividad, ganancia y niveles de lóbulos laterales y polarización cruzada, reduciendo además la longitud total de la antena y por lo tanto su peso.

Debido a la definición de haces gaussianos, el modo  $\Psi_{00}$  no tiene lóbulos laterales ni polarización cruzada, así que exhibe mejores prestaciones que el modo híbrido  $HE_{11}$  en radiación.

El proceso de diseño de una GPHA corrugada empieza igual que en una bocina cónica corrugada con la lista detallada de especificaciones; directividad, máximos niveles de lóbulo lateral y polarización cruzada, pérdidas de retorno, etc. Sin embargo, y a diferencia de las anteriores, el diseño de bocinas corrugadas gaussianas sigue un camino muy diferente como se verá en los próximos párrafos.

El perfil de una GPHA esta definido básicamente por la fórmula de expansión de un haz gaussiano. Sabiendo que la expansión de un haz gaussiano esta dada por:

$$\varpi(z) = \varpi_0 \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot z}{k \cdot \varpi_0^2} \right)^2} \quad (1)$$

donde  $\varpi_0$  es el valor de cintura de haz ("beamwaist") en  $z=0$  y  $k=2\pi/\lambda$  es el número de onda en el espacio libre. El correspondiente perfil de guía que genera una GPHA, sigue la curva de expansión del haz gaussiano y esta dada por:

$$R(z) = r_0 \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot z}{k \cdot \varpi_0^2} \right)^2} \quad (2)$$

donde  $r_0=D_0/2$  es el radio de entrada de la GPHA y  $\varpi_0=\alpha \cdot r_0=\alpha \cdot D_0/2$  es el valor de cintura del haz en  $z=0$  relacionado con  $D_0$  (diámetro de entrada) a través del parámetro  $\alpha$ . Éste parámetro controla el ángulo de apertura de la bocina para una determinada frecuencia y un determinado radio de entrada.

El campo a la entrada de una GPHA corrugada puede ser cualquiera que tenga una difracción controlada. En principio, cualquier modo de guía o mezcla de modos de guía con baja amplitud cerca de las paredes metálicas de la bocina es válido para alimentarlas; pero si lo que se quiere es obtener una haz gaussiano fundamental de elevada pureza, el modo  $HE_{11}$  es una de las mejores distribuciones de campo posible a su entrada. Los campos radiados que produzca la GPHA corrugada presentan características de propagación gaussianas debido a su gran similitud con un gaussiano fundamental.

El parámetro  $\alpha$  puede variar entre 0.5 y 0.8, con un valor óptimo que dependerá de la pureza del modo  $HE_{11}$  a su

entrada pero que se suele situar normalmente alrededor de 0.6. El último parámetro a definir en el diseño de una GPHA corrugada es la longitud del perfil,  $L$ . Para definir la longitud se ha desarrollado una fórmula empírica con un parámetro llamado factor de longitud,  $f$ , (ver ecuación 3).

$$L = \lambda \cdot \overline{D}_0 \cdot \sqrt{f \cdot \left[ 1 + (\overline{D}_0)^2 \right]} \quad (3)$$

donde  $\overline{D}_0 = D_0/\lambda$  es el diámetro de entrada de la GPHA corrugada normalizado.

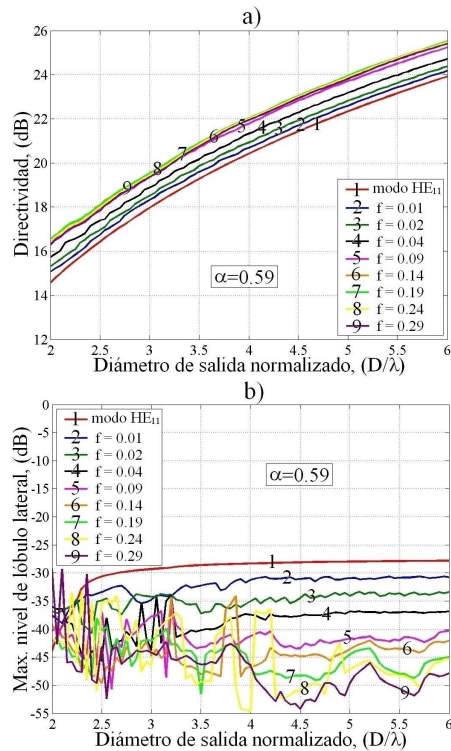


Fig. 4. a) Directividad de una bocina corrugada gaussiana respecto a  $L$ . b) Máximo lóbulo lateral de una bocina corrugada gaussiana

El factor de longitud,  $f$ , puede ser cualquier número entre 0.01 y 0.3. Cuanto mayor sea este número, más larga será la bocina gaussiana. El mejor valor para haces radiados de elevada eficiencia con un gaussiano fundamental y no excesiva longitud (esto significa bajos lóbulos laterales en el diagrama de radiación) es  $f=0.1$ , pero valores entre 0.05 y 0.1 son normalmente suficientes y los más usados para obtener perfiles cortos con no demasiado diámetro de apertura, (ver figura 4).

La principal diferencia en el diseño de GPHA corrugadas frente a bocinas corrugadas cónicas es el diámetro que define la anchura de haz del diagrama de radiación. Mientras que en las GPHA corrugadas el control de la directividad se hace a partir de su diámetro de entrada, ( $D_0$ ), en las bocinas cónicas corrugadas la directividad es controlada a través de su diámetro de apertura, ( $D_{output}$ ).

#### IV. TIPOS DE CONVERTORES DE MODOS $TE_{11}$ A $HE_{11}$

Como ha sido comentado anteriormente, las GPHA corrugadas necesitan en su entrada un modo apropiado, por ejemplo un modo  $HE_{11}$  de bastante pureza, para producir diagramas de radiación de buenas prestaciones. Entonces, una vez diseñada una GPHA corrugada, se debe definir que tipo de convertor de modo  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$  usar para alimentarla. Este convertor de modos normalmente comienza de guía circular

lisa monomodo propagando únicamente el modo  $TE_{11}$  y termina en el diámetro de apertura requerido para conectarse con la antena GPHA.

En la literatura se pueden encontrar diversos tipos de convertores de modo  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$ . Uno de estos convertores es la bocina propuesta por Potter, [1]; su desventaja es un ancho de banda reducido. Otro tipo de convertor  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$  puede ser simplemente una bocina cónica corrugada, su desventaja es su tamaño. Además, una GPHA corrugada con valores grandes del parámetro  $\alpha$  (por encima de 1.5 normalmente) puede ser otra posibilidad de convertor de modo  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$  con la misma desventaja que la el convertor cónico corrugado pero con mejores características de ancho de banda. Sin embargo hay otras posibilidades de diseñar este convertor mucho más corto y con suficiente ancho de banda, una posibilidad es el convertor simétrico basado en tecnología GPHA corrugada [13], otra posibilidad es la reducción del perfil cónico por medio de un perfil con forma de serpentina [14] o incluso un perfil diseñado empíricamente por medio de códigos informáticos [15].

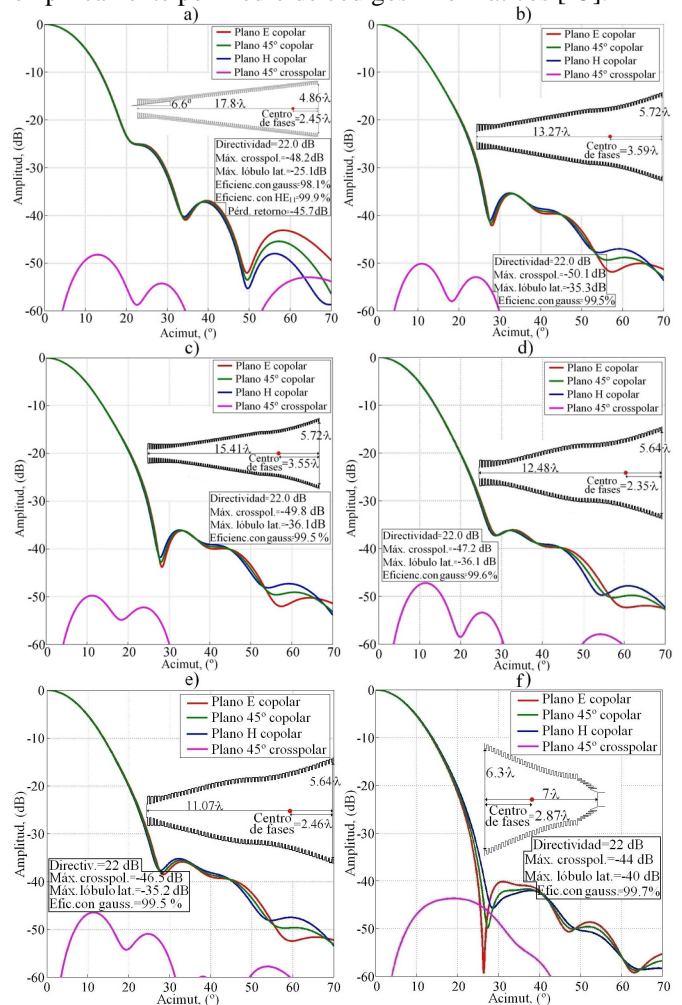


Fig. 5. Diseños de bocinas corrugadas para una directividad de 22 dB  
a) Bocina corrugada cónica clásica  
b) Cónica corrugada + gaussiana corrugada  
c) Gaussiana corrugada + gaussiana corrugada  
d) Gaussiana simétrica corrugada + gaussiana corrugada  
e) Convertor propuesto en [15] + gaussiana corrugada  
f) Alimentador a base de choques + gaussiana corrugada

De cualquier forma, una de las posibilidades avanzadas para el diseño de este tipo de bocinas es el convertor  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$  basado en choques de radiofrecuencia [16]. La principal



ventaja de este diseño es su tamaño, (muy reducido), con la principal desventaja de un ancho de banda más reducido que en un alimentador corrugado clásico.

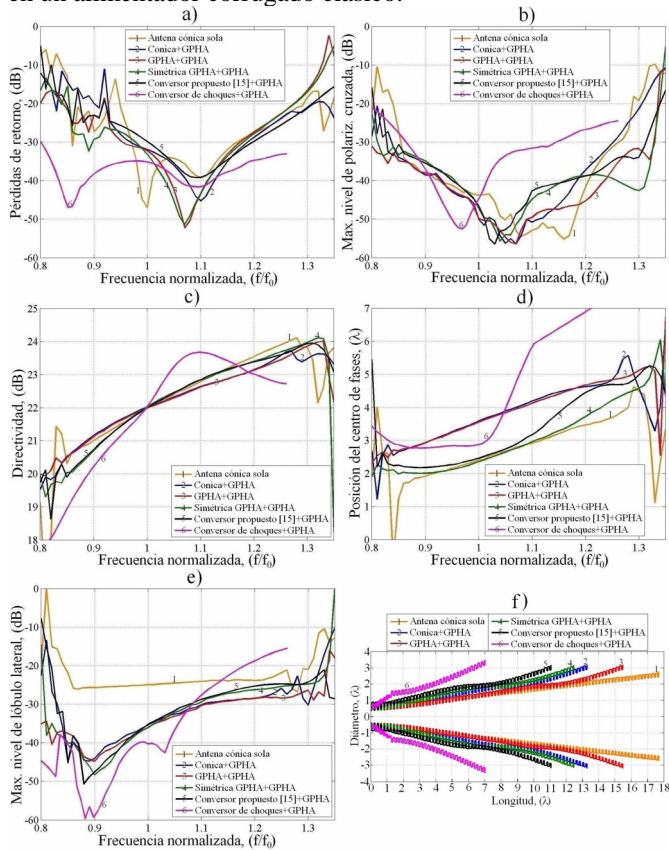


Fig. 6. Comparación del ancho de banda de los diferentes diseños  
a) Pérdidas de retorno b) Nivel máximo de polarización cruzada  
c) Directividad d) Posición normalizada del centro de fases  
e) Máximo nivel de lóbulo lateral  
f) Comparación longitudes de antenas

## V. DISEÑOS DE DIFERENTES TIPOS DE BOCINAS CORRUGADAS CON 22 DB DE DIRECTIVIDAD

A modo de comparación, una antena cónica corrugada con 22 dB de directividad y -25 dB de nivel de lóbulo lateral (figura 5a), ha sido diseñada frente a varios modelos de GPHA corrugadas con diferentes modelos de convertidores de modo  $TE_{11}$  a  $HE_{11}$  con la misma directividad pero con -35 dB de nivel de lóbulo lateral (figuras 5b, 5c, 5d y 5e). Para el último diseño y más corto se definen -40 dB de lóbulo lateral (figura 5f). Todos los diseños tratarán de minimizar las pérdidas de retorno y la polarización cruzada en el máximo ancho de banda posible. La comparativa de los principales resultados se presenta en la figura 6.

## VI. CONCLUSIONES

Este papel presenta un estudio del estado del arte de las GPHA corrugadas. Sus ventajas frente a las bocinas cónicas corrugadas han sido mostradas.

Resumiendo, se puede decir que conseguir anchos de banda por encima del 30% en las pérdidas de retorno de las bocinas corrugadas suele ser uno de sus principales problemas. Los diseños basados en el uso de una GPHA corrugada con un alimentador de choques presentan un ancho de banda superior al 30% en el parámetro de pérdidas de retorno, sin embargo este diseño presenta anchos de banda

más pobres en el resto de parámetros de radiación. Actualmente se está realizando un importante esfuerzo investigador para mejorar las prestaciones de este diseño.

Por último comentar que cuando se diseñan antenas de bocina, el nivel máximo de lóbulo lateral se debe elegir teniendo en cuenta el ancho de banda a usar. El peor caso de lóbulo lateral será siempre la frecuencia más alta de la banda.

## REFERENCIAS

- [1] P. D. Potter, "A New Horn Antenna with Suppressed Sidelobes and Equal Beamwidths", *Microwave Journal*, vol. VI, June 1963, pp. 71-78.
- [2] P.J.B. Clarricoats y A.D. Olver, "Corrugated Horns for Microwave Antennas", *IEE Electromagnetics Waves Series 18*, Capítulos 5, 6 y 7, Peter Peregrinus, 1984.
- [3] A.D. Olver, 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.
- [4] G.L. James, "Analysis and design of  $TE_{11}$  to  $HE_{11}$  corrugated cylindrical waveguide mode converters", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-29, Páginas 1059-1066, 1981.
- [5] B. Maca, Thomas, G.L. James y K.J. Greene, "Design of high-performance wideband corrugated horns for Cassegrain antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-34, pp. 750-757, 1986.
- [6] G.L. James, "Design of wide-band compact corrugated horns", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-32, Páginas 1134-1138, 1984.
- [7] C. Granet, T.S. Bird y G.L. James, "Compact low-sidelobe corrugated horn for global earth coverage", *Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation International Symposium and URSI Radio Science Meeting*, Orlando, Florida, 11-16 Julio 1999, Páginas 712-715.
- [8] C. del Río, R. Gonzalo, M. Sorolla y M. Thumm, "Antenas de Bocina Convertoras de Modos de Guía de Onda a Estructuras Gaussianas", *Patente española N. P.9501922*. Universidad Pública de Navarra, (UPNA), Septiembre 1995.
- [9] C. del Río, R. Gonzalo, M. Sorolla y M. Thumm, "Optimal Horn Antenna to Excite High Order Gaussian Beam Modes from  $TE_{0m}$  Smooth Circular Waveguide Modes", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 47, No. 9, Páginas 1440-1448, Septiembre 1999.
- [10] R. Gonzalo, C. del Río, J. Teniente y M. Sorolla, "Optimal Horn Antenna Design to excite High Purity Gaussian Beam using Overmoded Waveguides", *21st. International Conference on Infrared and Millimeter Waves*, Berlin, Alemania, Julio 1996.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] H. Deguchi, M. Tsuji, H. Shigesawa y S. Matsumoto, "A compact low-cross-polarization horn antenna with serpentine-shaped taper", *IEEE Antenna and Propagation Symposium*, 8-13 de Julio de 2001, Boston, USA, Páginas 320-323, 2001.
- [15] S.G. Hay, S.J. Barker, C. Granet, A.R. Forsyth, T.S. Bird, M.A. Sprey y K.J. Greene, "Multibeam Earth Station Antenna for a European Teleport Application" *2001 IEEE AP-S International Symposium and URSI Radio Science Meeting*, 8-13 de Julio de 2001, Boston, USA.
- [16] 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*, Vol. 1, No. 11, Páginas 200-202, Noviembre 2002.
- [17] J. Teniente, "Modern Corrugated Horn Antennas", *Manuscrito de Tesis Doctoral. Publicado por la FUNDACIÓN EPSON IBERICA y el Instituto de Tecnóica*, C/ Gran de Gràcia, 140, Pral. 2a. 08012 Barcelona, España. Julio 2003.