

# ESTADO DEL ARTE DE LAS ANTENAS QUE COMBINAN CORRUGACIONES HORIZONTALES Y VERTICALES

Jorge Teniente Vallinas

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica,  
Computadores y Sistemas  
Universidad de Oviedo  
e-mail :  
jteniente@tsc.uniovi.es  
jorge.teniente@unavarra.es

Ramón Gonzalo García y Carlos del río Bocio

Departamento de Ingeniería Eléctrica y  
Electrónica  
Universidad Pública de Navarra  
e-mail :  
ramon@unavarra.es  
carlos@unavarra.es

**Abstract-** In the present paper the state of the art, possibilities, advantages and disadvantages of the patented corrugated horn antennas that combine horizontal and vertical corrugations is being covered. These rather new type and probably not very well known yet, corrugated horn profiles; combine in the same horn antenna both horizontal and vertical corrugations. This horn antenna produces with reasonable bandwidth, low crosspolarisation, and low sidelobe levels in a physical size smaller than any other solutions. In fact, designs from 15 to 30 dB directivity have been prepared and some of them have been manufactured, tested and arranged for an emerging market that is being served by Flann Microwave Ltd. at present.

## I. INTRODUCCIÓN

Las antenas de bocina choque-gaussianas fueron descubiertas en el seno del Grupo de Antenas de la Universidad Pública de Navarra. Las posibilidades que este tipo de antenas pueden ofrecer fueron desde el primer momento de su descubrimiento muy interesantes porque las características del diagrama de radiación que se obtuvieron fueron muy prometedoras y las bocinas eran muy pequeñas. Este nuevo tipo de antenas de bocina corrugadas eran además más fáciles de fabricar que los perfiles corrugados habituales, por ello se hizo rápidamente una patente internacional para proteger la idea. [1].

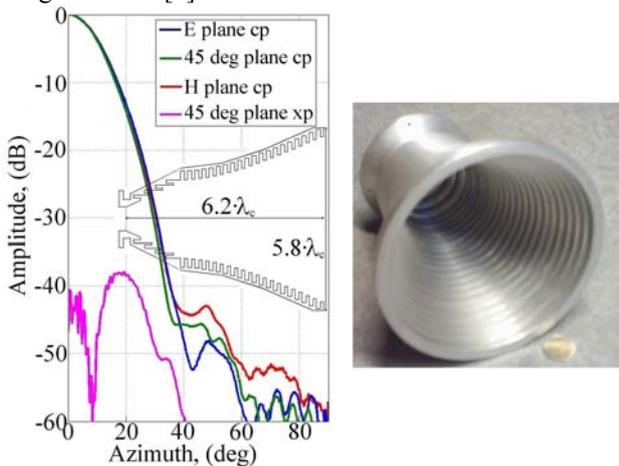


Fig. 1. Primera antena de bocina corrugada que combina corrugaciones horizontales y verticales fabricada [2] y la medida de su diagrama de radiación.

De hecho, este nuevo tipo de antenas es muy simple de entender ya que su principio de funcionamiento es el uso en combinación de dos tecnologías de fabricación de antenas de bocina de sobra conocidas. Una de estas tecnologías se usa

para la parte del cuello y consiste en corrugaciones horizontales “choques”, con ello se consigue un perfil más corto y mayor facilidad de fabricación. La idea consiste simplemente en empalmar a partir del final de las corrugaciones horizontales, corrugaciones verticales para mejorar el diagrama de radiación.

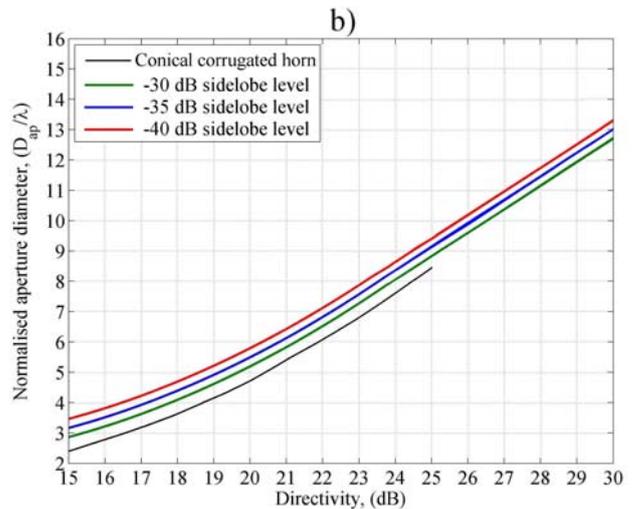
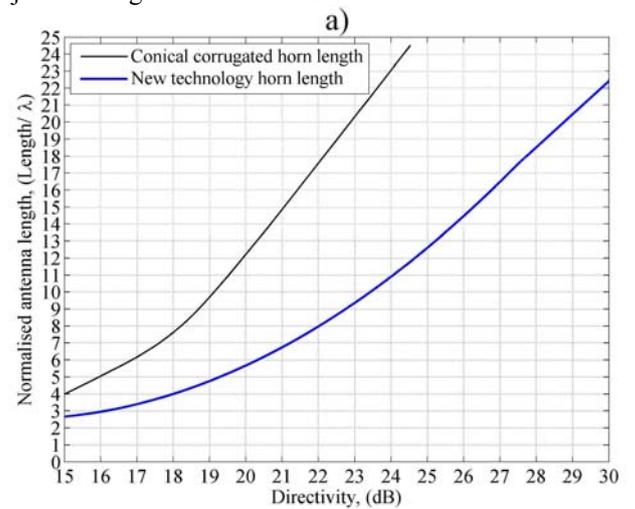


Fig. 2. Tamaño de las antenas que combinan corrugaciones horizontales y verticales.  
a) Longitud de la bocina respecto a su directividad (ganancia).  
b) Diámetro de la apertura frente a directividad.

## II. TAMAÑO DE LAS ANTENAS DE BOCINA CORRUGADAS

Una de las principales ventajas de esta relativamente nueva tecnología es su tamaño, ver figura 2. De hecho su longitud es al menos la mitad de la longitud de un perfil

habitual de antena de bocina corrugada cónica, manteniendo además un ancho de banda aceptable (>20%). El diámetro de la apertura es el mismo que para el resto de antenas de bocina y su diámetro debe de ser elegido no solo para determinar la directividad del diseño, sino además para seleccionar el nivel de lóbulo lateral máximo que se requiera en una determinada aplicación. Normalmente perfiles gaussianos se eligen para la segunda parte de corrugaciones verticales.

En la figura 2 también se representa el tamaño de una antena de bocina cónica corrugada con el lóbulo lateral entre -20 a -25 dB; hoy en día hay otros perfiles de bocinas con corrugaciones verticales que resultan mucho más cortos que las clásicas bocinas cónicas corrugadas, pero al menos hasta el momento no hay ninguno que combine tamaño reducido con buen ancho de banda y sencillez de fabricación [2,3,4], al menos comparando con los diseños que en este artículo se presentan.

Centrándonos en el tamaño total de estos nuevos perfiles, en la figura 2 se presenta una grafica del tamaño máximo para un 20% de ancho de banda. Si los requerimientos de ancho de banda son más estrechos, un perfil más corto que el que nos da la figura 2 se puede conseguir fácilmente.

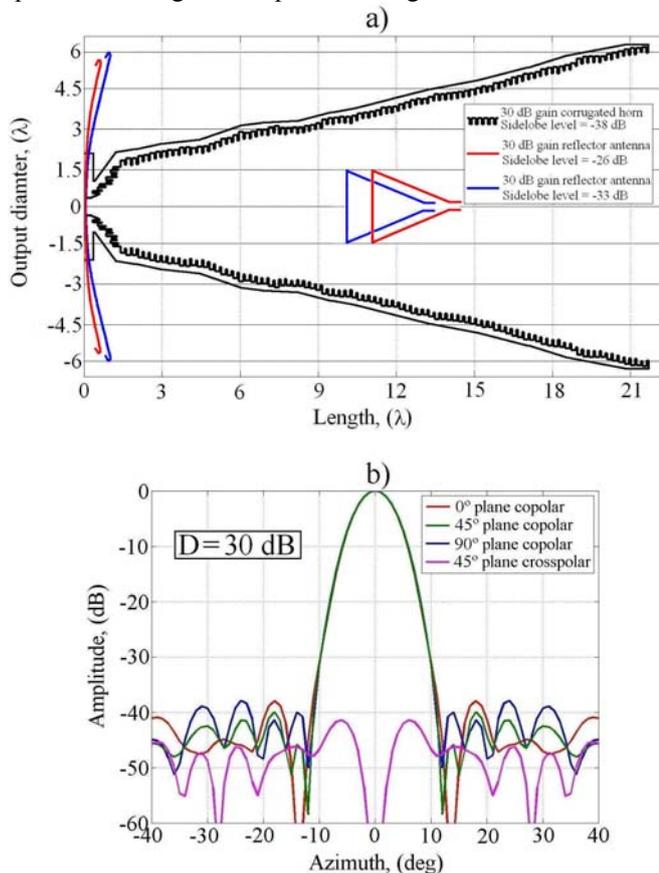


Fig. 3. Antena de bocina corrugada de 30 dB de ganancia frente a reflector parabólico ideal de 30 dB de ganancia.  
a) Comparación de tamaños.  
b) Diagrama de radiación en campo lejano de la antena de bocina corrugada de 30 dB de ganancia.

Llegados a este punto, puede ser de interés comparar el tamaño de esta nueva tecnología de diseñar antenas de bocina con reflectores parabólicos. Para ello sabemos que las antenas con reflector parabólico tienen la siguiente fórmula:

$$G = 10 \cdot \log_{10} \left( \eta \cdot \left( \frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \right) \quad (1)$$

donde  $D$  es el diámetro de la apertura del espejo parabólico,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $\eta$  es el factor de eficiencia de la apertura.

Una antena parabólica muy bien diseñada puede llegar a alcanzar una eficiencia total de la apertura de alrededor  $\eta \approx 0.65$  o algo más. Esto significa que para obtener una antena de 30 dB de ganancia necesitamos un diámetro del espejo parabólico de alrededor de  $12.5 \cdot \lambda$ .

Para hacer la comparación entre este tipo de antenas de bocina corrugadas y los reflectores parabólicos, hemos hecho uso de un programa llamado ANDERA [9]. De hecho el objeto de este estudio era conocer el tamaño, (diámetro y longitud total), de una antena de reflector parabólico ideal para una ganancia de 30 dB dependiendo del nivel de lóbulo lateral exigido.

	Reflector parabólico 1	Reflector parabólico 2	Bocina corrugada
Directividad	30 dB	30 dB	30 dB
Diámetro	$11.2 \cdot \lambda$	$12 \cdot \lambda$	$13 \cdot \lambda$
Distancia focal	$11.1 \cdot \lambda$	$10.2 \cdot \lambda$	-----
Longitud total	$14.1 \cdot \lambda$	$13.2 \cdot \lambda$	$22 \cdot \lambda$
Nivel de iluminación en el borde del reflector	-11 dB	-16 dB	-----
Eficiencia, ( $\eta$ )	0.808	0.704	-----
Nivel de lóbulo lateral	-26 dB	-33 dB	-38 dB

Tabla 1. Tabla comparativa entre una antena de bocina corrugada de 30 dB de ganancia y un reflector parabólico ideal de 30 dB de ganancia.

En la figura 3a se presenta la comparación de tamaños de la antena de bocina corrugada y los reflectores parabólicos de la tabla 1. De hecho, en el diseño de los reflectores se ha asumido que el alimentador tenía una respuesta cos-q ideal de 16 dB de ganancia. La longitud de las antenas con reflector parabólico ideal es alrededor del 40% menor que el ejemplo propuesto de bocina corrugada. No obstante, teniendo en cuenta el nivel de lóbulo lateral, el reflector parabólico necesitaría niveles de iluminación en el borde bastante menores y esto significa que para conseguir la misma ganancia es necesario un reflector parabólico bastante mayor ya que  $\eta$  será más reducida, (ver tabla 1 para entender la reducción del lóbulo lateral en un reflector parabólico).

De todas formas, el ancho de banda de un reflector parabólico vendrá dado por el ancho de banda del alimentador; además el bloqueo de esta configuración no se ha tenido en cuenta; y ello afectará al comportamiento del sistema completo. Para evitar el bloqueo, una configuración "offset" se podría haber seleccionado, pero eso supondría un incremento en el nivel de polarización cruzada. También se ha asumido que el nivel de iluminación en el borde del reflector no cambia con la frecuencia, esto producirá un cambio en el nivel de lóbulo lateral y la eficiencia del reflector parabólico completo.

El interés de esta comparación es remarcar que en algunos casos, normalmente para ganancias entre 22 a 30 dB, una antena corrugada de este tipo podría quizás ser considerada para sustituir a un reflector parabólico para cumplir los requerimientos de las aplicaciones más exigentes a cambio de un poco más de longitud del sistema ya que el diámetro sería el mismo exactamente para un determinado nivel de lóbulos laterales. También debe ser tenido en cuenta que una antena de bocina presenta una mayor fiabilidad que una antena con reflector por ser un único bloque de metal.

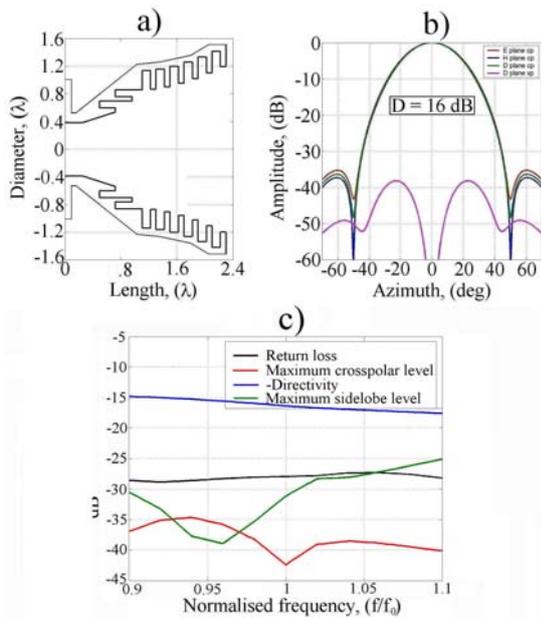


Fig. 4. Bocina corrugada compacta de 16 dB de ganancia.  
 a) Perfil de la antena de bocina.  
 b) Diagrama de radiación a  $f_0$ .  
 c) Propiedades en radiación.

### III. EJEMPLOS

En las figuras 4, 5 y 6 se presentan varios tipos de antenas, diseñadas por medio de esta tecnología.

El ancho de banda del diseño de 16 dB de ganancia (figura 4) es de alrededor del 20% con una adaptación de -25 dB en el caso peor, un nivel máximo de polarización cruzada de -35 dB y un nivel de lóbulo lateral inferior a -30 dB en una longitud de tan solo  $2.3\lambda$ .

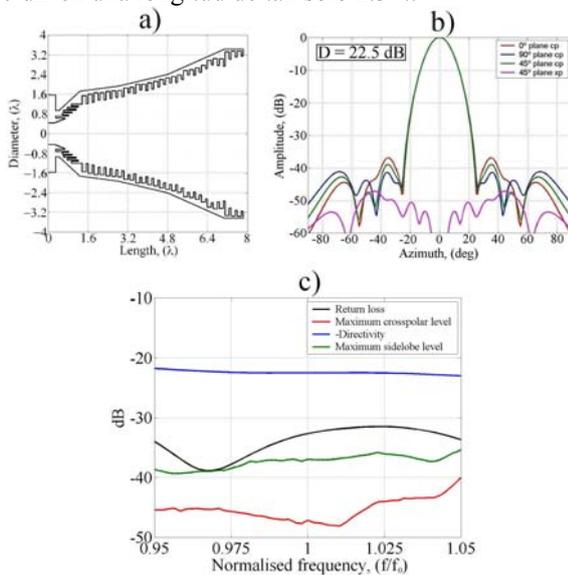


Fig. 5. Bocina corrugada compacta de 22.5 dB de ganancia.  
 a) Perfil de la antena de bocina.  
 b) Diagrama de radiación a  $f_0$ .  
 c) Propiedades en radiación.

El ancho de banda del diseño de 22.5 dB de ganancia (figura 5) es de alrededor del 10% con una adaptación de al menos -30 dB, un nivel de polarización cruzada inferior a -40 dB y un nivel de lóbulo lateral inferior a -35 dB en una longitud de tan solo  $7.9\lambda$ .

El diseño de 24 dB de ganancia (figura 6) tiene un ancho de banda de un 20% aproximadamente con una adaptación mejor que -25 dB, un nivel de polarización cruzada inferior a -43 dB y un nivel de lóbulo lateral inferior a -35 dB en tan solo  $10.5\lambda$  de longitud.

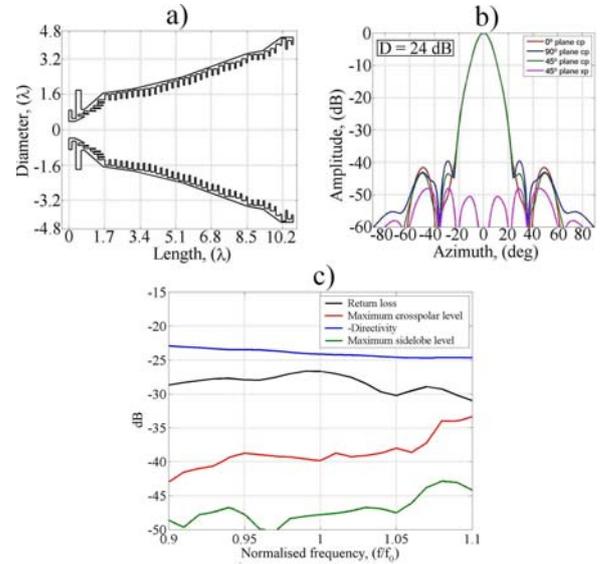


Fig. 6. Bocina corrugada compacta de 24 dB de ganancia.  
 a) Perfil de la antena de bocina.  
 b) Diagrama de radiación a  $f_0$ .  
 c) Propiedades en radiación.

Los diseños de 22.5 y 24 dB de ganancia no tienen un perfil de corrugación muy habitual cerca de la apertura. Los cambios en las corrugaciones de cerca de la apertura se deben a procesos de optimización de los parámetros de radiación para cumplir especificaciones específicas (estabilidad del centro de fases, iluminación constante en banda...).

El proceso fino de optimización para la obtención de los diseños finales se hizo con el código del programa Microwave Wizard. De hecho, para cada diseño particular se exige un refinamiento determinado de cada uno de los parámetros de radiación, según los requisitos concretos que se quieran alcanzar. Sin embargo, debemos de tener siempre en cuenta que a pesar de que un código de optimización siempre puede ayudar muchísimo a alcanzar el mejor diseño posible, una buena solución inicial siempre debe de ser preparada para cualquier código de optimización.

### IV. SOBRE EL LÓBULO LATERAL Y LA RADIACIÓN ESPÚREA

El nivel de lóbulo lateral es una de las ventajas de este tipo de antenas de bocina corrugadas. En la actualidad, muchísimas aplicaciones requieren antenas con lóbulos laterales muy bajos para superar las especificaciones.

Niveles de lóbulo lateral muy bajos son importantes para evitar interferencias con otros sistemas, pero a menudo es complicado definir cual es ese nivel máximo de lóbulo lateral requerido. En estos casos es muchísimo mejor hablar de la radiación espúrea "*spillover radiation*",  $\eta_s$ , la cual es la cantidad de potencia no deseada que sale de la región de interés [3,4]. La radiación espúrea incrementa el nivel de la relación señal-ruido de manera bastante dramática.

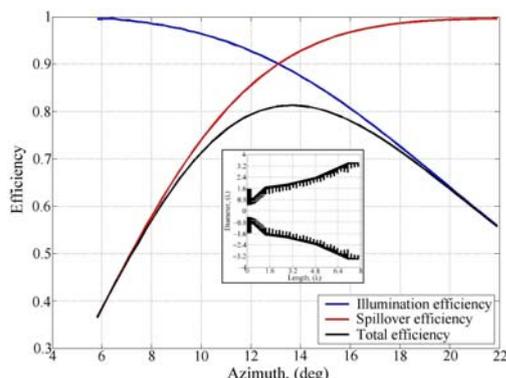


Fig. 7. Eficiencias de Iluminación, “spillover” y su producto dependiendo del ángulo de azimut de la antena de la figura 5 para  $f_0$  con -40 dB de lóbulo lateral.

Sin embargo, para tener una idea correcta acerca de la potencia radiada dentro de una cierta región angular, la eficiencia de iluminación debe de ser considerada. La eficiencia de iluminación,  $\eta_i$ , es una medida de como de uniformemente iluminada está una cierta región angular.  $\eta_i$  es de hecho el cociente entre la directividad de la bocina en la región angular y la directividad de una bocina uniformemente iluminada con el mismo tamaño de apertura.

La máxima eficiencia total ocurre cuando el producto de ambas eficiencias,  $\eta_i \cdot \eta_s$ , se maximiza, ver figura 7.

	$\eta_i$	$\eta_s$	$\eta_i \cdot \eta_s$
-20 dB	0.885	0.720	0.637
-25 dB	0.885	0.846	0.749
-30 dB	0.885	0.896	0.793
-40 dB	0.885	0.919	0.813

Tabla 2. Comparación de la eficiencia de “spillover” dependiendo del nivel de lóbulo lateral del alimentador.

En la tabla 2 hemos hecho el cálculo de estas eficiencias para la antena de la figura 5 cuando el nivel de lóbulo lateral es aproximadamente -40 dB. Hemos además alterado dicho diagrama de radiación incrementando únicamente el lóbulo lateral para recalcular la  $\eta_s$  en otros tres casos; -30 dB, -25 dB y -20 dB, permaneciendo inalterado el haz principal.



Fig. 8. Conjunto de antenas de bocina corrugadas fabricadas por Flann Microwave Ltd. con corrugaciones horizontales y verticales.

La tabla 2 nos indica lo críticamente que el nivel de lóbulo lateral afecta a la  $\eta_s$  y de hecho a la eficiencia total.

En un ambiente muy ruidoso como en una ciudad muy poblada con millones de teléfonos móviles y otros aparatos radiantes, la radiación espúrea puede a menudo determinar la elección de este tipo de antenas de bocina debido a la necesidad de reducir el tamaño y incrementar el nivel de la relación señal-ruido.

De hecho, en la figura 8 se presenta un conjunto de antenas de este tipo que fueron servidas por Flann Microwave Ltd. (la compañía que actualmente posee los

derechos de comercialización de esta tecnología) a una compañía de teléfonos inglesa para aplicaciones de telefonía móvil en ambientes ruidosos.

## V. CONCLUSIONES

La relativamente nueva tecnología de antenas de bocina corrugadas que combinan corrugaciones horizontales y verticales es muy prometedora porque ofrece en perfiles muy compactos unas características de radiación excepcionales con unos anchos de banda aceptables.

La fabricación de este tipo de antenas de bocina corrugadas es mucho más fácil que en el caso de bocinas corrugadas clásicas ya que supone mucha menos dificultad para los tornos hacer las corrugaciones horizontales que las profundas corrugaciones verticales de la parte del cuello que poseen el resto de bocinas corrugadas.

La radiación espúrea debe de ser tenida muy en cuenta en la actualidad para maximizar el nivel de la relación señal-ruido en aplicaciones de telecomunicaciones donde este tipo de bocinas pueden jugar un papel muy importante.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos con estas líneas agradecer a J. A Martínez Lorenzo por los cálculos de antenas con reflectores parabólicos que nos proporcionó por medio de su programa ANDERA, [9].

## REFERENCIAS

- [1] R. Gonzalo, C. del Río, D. Goñi and J. Teniente, “Horn Antenna Combining Horizontal and Vertical Ridges”, International patent number: WO03/100907. Priority country: Spain. Priority date: 24-05-2002. Property of: Public University of Navarra. PCT extension application: 17-05-2003. International publication date: 4-12-2003.
- [2] J. Teniente, R. Gonzalo and C. del Río, “Choked Gaussian Antenna: Extremely low Sidelobe Compact Antenna Design”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 1, 2002
- [3] C. Granet, T. S. Bird and G. L. James, “Comments on “Choked Gaussian Antenna: Extremely Low Sidelobe Compact Antenna Design”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 2, N. 24, pp. 363-364, December 2003.
- [4] J. Teniente, R. Gonzalo and C. del Río, “Reply to “Comments on ‘Choked Gaussian Antenna: Extremely Low Sidelobe Compact Antenna Design’”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 2, N. 24, pp. 364-366, December 2003.
- [5] J. Teniente, R. Gonzalo and C. del Río, C. “Choked-Gaussian Corrugated Horn Antenna Design Small Global Coverage Horn Antenna for TT&C with Extremely Low Sidelobe Level“ 26th ESA Antenna Technology Workshop on Satellite Antenna Modelling and Design Tools, 12-14 November of 2003, ESA/ESTEC, Noordwijk, Holland.
- [6] T. S. Bird, C. Granet, and G. L. James, “Lightweight compact multi-mode corrugated horn with low-sidelobes for global earth coverage,” in Proc. Antennas and Propagation 2000 Millennium Conf., Davos, Switzerland, April 9–14, 2000, paper 0085.
- [7] A. D. Olver, P. J. B. Clarricoats, A. A. Kishk, and L. Shafai, “Microwave horns and feeds,” in Electromagnetic Waves Series 39. London, U.K.: Institute of Electrical Engineers, 1994.
- [8] J. Teniente, R. Gonzalo and C. del Río, C. “Modern Corrugated Horn Antenna Design for Extremely Low Sidelobe Level“ 26th ESA Antenna Technology Workshop on Satellite Antenna Modelling and Design Tools, 12-14 November of 2003, ESA/ESTEC, Noordwijk, Holland.
- [9] J. A. Martínez, A. G. Pino, M. Arias, O. Rubiños, “ANDERA: A Software for the analysis and design of multi-fed and shaped reflector antennas”, AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, IEEE, Monterey CA. 2004.
- [10] J. Teniente, “Modern Corrugated Horn Antennas”, Ph. D. dissertation under direction of C. del Río. Public University of Navarra, Pamplona, Spain. 19 of September of 2003.