

“ DISEÑO OPTIMO DE ANTENAS DE BOCINA MULTIMODO PARA EXCITAR UN HAZ GAUSSIANO FUNDAMENTAL DE ALTA PUREZA ”

*Ramón Gonzalo, Carlos del Río, Jorge Teniente y Mario Sorolla.
Grupo de Microondas y Milimétricas. Universidad Pública de Navarra
Campus Arrosadía s/n. E-31006 Pamplona, España
Tfno : 948 169023 Fax: 948 169169 e.m.: ramon@upna.es*

ABSTRACT

In this paper, we present an original and optimal multimode horn antenna design to excite the fundamental Gaussian beam from an overmoded waveguide. In particular, we focus the study in overmoded circular corrugated waveguide.

The main idea to design this multimode horn antenna, is to increase the waveguide radius as the desired gaussian mode expands. This principle has also been applied to smooth circular waveguides to excite higher order Gaussian beams from TE_{0n} modes.

The horn antenna design considered here, improves the gaussian conversion efficiency, the cross-polarisation and the sidelobes level of some good mixture (aprox. 85% of TE_{11} and 15% of TM_{11}).

1.- INTRODUCCION

Las antenas de bocina corrugadas, se han convertido en los últimos tiempos en la elección preferida como alimentadores de antenas parabólicas de altas prestaciones para comunicaciones, radar, sensores remotos, etc.... Las razones fundamentales para ello son dos; la primera, se debe a la gran simetría en el diagrama de radiación al que dan lugar lo que ofrece la posibilidad de conseguir antenas con gran ganancia y bajo “spillover”, y la segunda, se debe a su baja polarización cruzada que es un parámetro muy importante en sistemas de polarización dual.

Además, existen otro tipo de aplicaciones de alta potencia trabajando a frecuencias milimétricas que vienen siendo objeto de estudio en las últimas décadas en los que el diseño de los componentes de guía de onda es crítico debido al alto coste de fabricación y mantenimiento de estos sistemas. El fin de estos estudios es incrementar la eficiencia total del sistema, y uno de los componentes que influye en las pérdidas originadas en el sistema son las antenas utilizadas para radiar la energía.

Hasta hoy en día, se utiliza como modo de salida de este tipo de antenas corrugadas el HE_{11} , por tener un patrón de radiación cuasi-gaussiano. Este modo se consigue partiendo del modo fundamental de guía lisa TE_{11} mediante un adaptador a guía circular corrugada [1] y [2]. Al final de éste, se consigue una mezcla de modos TE_{11} y TM_{11} adecuada en potencias y fases que da lugar al modo HE_{11} .

Las antenas actuales se diseñan para conseguir dicha mezcla a la salida [3]. En este artículo veremos como es posible conseguir mezclas de modos TE_{1n} y TM_{1n} que dan lugar a mezclas mucho más gaussianas que la que se viene utilizando hasta hoy, además de ofrecer mejores características en sus parámetros relevantes (mayor eficiencia de conversión al gaussiano fundamental, más simetría, menores lóbulos laterales, menor polarización cruzada,).

Para conseguir estas mezclas se presentan una serie de antenas de bocina conversoras de modos, que son capaces de generar las mezclas anteriormente comentadas a partir de modo HE_{11} que tengamos en su entrada; este tipo de antenas fueron utilizadas con éxito en [4] para la obtención de haces Gaussianos de orden superior.

2.- MODOS GAUSSIANOS - MODOS EN GUÍA.

Como se demuestra en [5], existen soluciones de la ecuación paraxial de Helmholtz en el espacio libre con estructuras de campo muy parecidas a algunos modos de guía. El caso más claro de este fenómeno lo tenemos en el modo gaussiano fundamental ψ_0^0 , que puede ser excitado bastante eficientemente por el modo HE_{11} de guía corrugada; de ahí que se diga, muy acertadamente, que el HE_{11} tiene un patrón de radiación cuasi-gaussiano.

Este modo lo podemos obtener como una mezcla de modos TE_{11} y TM_{11} de aprox. un 85% y un 15% respectivamente, con lo que podemos suponer que es posible desarrollar el modo gaussiano fundamental ψ_0^0 como mezcla de modos TE_{1n} y TM_{1n} . Además, éstos modos forman base con lo que se asegura la posibilidad de desarrollar el gaussiano fundamental como una combinación lineal de modos TE_{1n} y TM_{1n} .

En la figura 1, se presentan las mezclas de modos teóricas necesarias para obtener el gaussiano ψ_0^0 en función de la relación existente entre el radio en el que definimos los modos de guía y el ω_0 (“beam waist” o ancho mínimo del haz) del haz gaussiano.

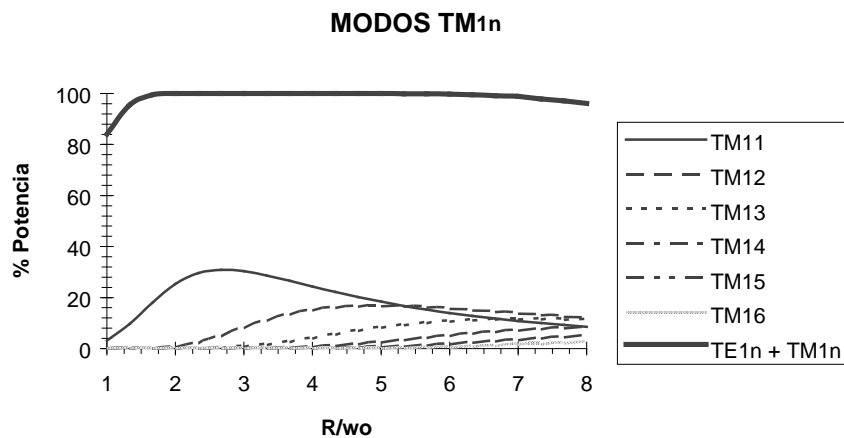
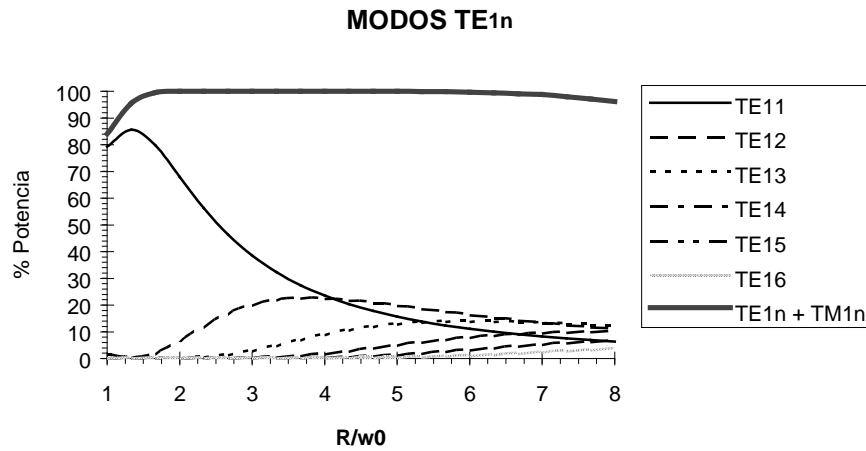


Figura 1 : Representación, para diferentes radios (R), de los porcentajes de modos TE_{1n} (a) y TM_{1n} (b) de guía necesarios para generar un haz gaussiano ψ_0^0 .

Estas gráficas son totalmente independientes de la frecuencia, con lo que para una relación fija entre el radio R y ω_0 tendremos la misma mezcla independientemente de la frecuencia a la que estemos trabajando, siempre y cuando no existan modos de dicha mezcla en corte a esa frecuencia. También, es importante resaltar que el único dato importante del gaussiano para la obtención de estas mezclas es el ancho mínimo del haz, con esto queremos resaltar que si tenemos fijos el valor de R y el ω_0 del gaussiano del que queremos obtener su mezcla, independientemente de la posición de éste, las mezclas son las mismas, solo se produce una variación de las fases de estos modos para corregir el efecto de expansión del gaussiano.

3. ANTENAS DE BOCINA CORRUGADAS ADAPTADORAS DEL GAUSSIANO FUNDAMENTAL

Una vez vista la posibilidad teórica de expresar un haz gaussiano fundamental como combinación de modos de guía, se nos plantea la posibilidad de diseñar un componente capaz de generar esas mezclas teóricas. En este artículo nos centramos en el estudio para la generación del modo gaussiano ψ_0^0 , pero como se ve en [4] es aplicable a cualquier familia de modos en guía, circular o no, con cierto parecido a una estructura gaussiana.

El componente diseñado debe ser capaz de adaptar de la forma más óptima posible las soluciones de campo del interior de la guía de onda con los modos del espacio libre; por lo que parece lógico pensar en un componente de tipo antena de bocina cuya variación de radio sea siempre creciente.

A partir de esto, surge el diseño de una antena que viene definida con la misma forma de expansión que presenta un haz gaussiano. Matemáticamente se expresa con la siguiente fórmula:

$$r(z) = r_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_0^2}\right)^2} \quad (1)$$

donde r_0 es el radio inicial de la bocina, λ la longitud de onda, y ω_0 el ancho mínimo del haz gaussiano fundamental asociado al que queremos generar.

En la figura 2 se puede ver la forma de esta antena. Como hemos dicho la antena es corrugada debiéndose escoger como periodo de la corrugación $p \leq \lambda/3$; $d = p/2$ y profundidad de corrugación $h = \lambda/4$.

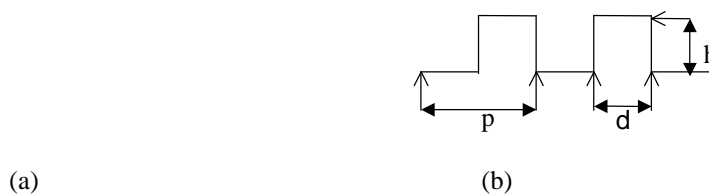


Figura 2 : Forma de la antena corrugada (a) y definición de la corrugación (b).

La entrada de estas antenas debe ser una estructura de campos parecida a la del gaussiano que queremos mejorar. En este artículo nos hemos centrado en la mezcla que da lugar al HE_{11} que podrá variar entre un 90-80% de TE_{11} y un 10-20% de TM_{11} respectivamente, con desfases relativos entre estas mezclas de 0° a 15° .

A la salida de esta antena se consigue un mezcla de modos que presenta alta simetría entre plano E y plano H, alta eficiencia de correlación con el gaussiano ψ_0^0 (mayores del 99%) (ver tabla 1), bajos lóbulos laterales, baja polarización cruzada,...

Mezcla de entrada	$\eta_{\text{PLANO E}}$				$\eta_{\text{PLANO H}}$			
	0°	5°	10°	15°	0°	5°	10°	15°
80(TE_{11})-20(TM_{11})	99.4	99.4	99.3	99.1	99.3	99.2	99.2	99.0
85(TE_{11})-15(TM_{11})	99.7	99.7	99.7	99.4	99.5	99.4	99.3	99.2
90(TE_{11})-10(TM_{11})	99.2	99.4	99.2	99.0	99.0	98.9	98.9	98.8

Tabla 1 : Eficiencia de las diferentes mezclas que se obtienen a la salida de una antena.

En la figura 3, se presenta un posible diagrama de radiación que se consigue a la salida de la antena dada por la fórmula (1). Como se puede observar en la dicha figura, las características de los parámetros más importantes de este tipo de antenas son bastante buenos, tenemos que la simetría es muy elevada y tanto los niveles de polarización cruzada como de lóbulos laterales son muy bajos.

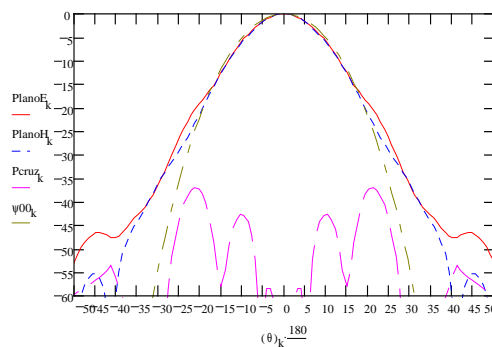


Figura 3 : Patrón de radiación plano E y plano H de la mezcla de modos que se obtiene a la salida de una antena de $L=100\text{mm}$ en cuya entrada tenemos una mezcla de modos 85% TE_{11} y 15% TM_{11} , polarización cruzada y el gaussiano ψ_0^0 .

Hasta ahora no hemos comentado nada de la frecuencia de trabajo, ello se debe a que la fórmula (1) se encuentra parametrizada con dicho valor, lo que hace que los resultados sean prácticamente independientes de ella. Asimismo, tampoco se ha hecho referencia a la longitud de la antena, esto se debe a que se obtienen buenos resultados para cualquier valor de ésta, incrementándose de forma muy gradual los resultados de eficiencia cuando se alarga la antena.

En la figura 4, tenemos la representación del patrón de radiación de las mezclas de modos obtenidas cortando la antena a diferentes longitudes y el campo lejano del gaussiano ψ_0^0 . Sólo vamos a representar el Plano E de estas mezclas debido a la gran simetría que presentan.

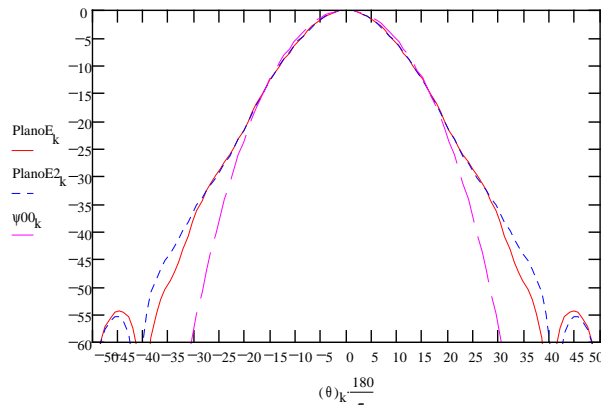


Figura 4 : Patrón de radiación del Plano E de dos mezclas de modos obtenidas en dos cortes a diferentes longitudes de la antena ($L=80$ mm y $L_2=100$ mm) definida según la ecuación (1), tomando $r_0=19.75$ mm y $\omega_0=14.22$ mm, junto con la representación del patrón de radiación de un haz gaussiano ψ_0^0 .

Los radios de la guía de los cortes representados son 36.878 mm y 43.645 mm, que van a corresponder con las mezclas de modos que existen en los puntos de abscisas 2.6 y 3.07 respectivamente de la figura 1. Puede observarse que aunque el radio de salida es distinto, el patrón de radiación que se obtiene no se estrecha, sino que es el mismo, lo que nos indica que las distintas mezclas de modos para cada caso han dado lugar a una estructura de campos propia del espacio libre.

4.- CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un estudio en el que se relaciona el modo gaussiano ψ_0^0 del espacio libre con una familia de modos de guía TE_{1n} y TM_{1n} , comprobando la posibilidad de desarrollar cualquier gaussiano como combinación de modos en guía. También, se ha presentado una familia de antenas de guía circular corrugada que es capaz de generar las mezclas de modos obtenidas en teoría a su salida consiguiendo de esta forma un modo propio del espacio libre, resolviendo el problema de adaptación entre guía y espacio libre.

Por último, decir que en el patrón de radiación de estas antenas se comprueba la mejora ostensible de los parámetros de simetría del haz, polarización cruzada, bajos lóbulos laterales y eficiencia de conversión al modo del espacio libre que ofrecían las antenas usadas hasta hoy en día.

5.- REFERENCIAS

- [1] Thumm, M., Jacobs, A., and Sorolla, M. "Design of Short High-Power TE_{11} - HE_{11} Mode Converters in Highly Overmoded Corrugated Waveguides". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 39, N° 2, February 1992, pp. 301-309.
- [2] Gonzalo R., Del Río, C., Teniente, J. y Sorolla, M., "Generación del Modo HE_{11} a partir de una Guía Circular Lisa". U.R.S.I. Madrid 1996.
- [3] Olver, A. D., Clarricoats, P.J.B., Kishk, A.A. y Shafai, L. Cap. 8 y 9 de "Microwave Horns and Feeds" IEE electromagnetics waves series 39. 1994
- [4] Del Río, C., Gonzalo, R., Sorolla, M. y Thumm, M. "Optimum Horn Antennas for High Order Mode Beam Waveguides". 21th International Conference on Infrared and Millimeter Waves. Conference Digest.1995, pp. 295-296.
- [5] Del Río, C., Gonzalo, R., Sorolla, M., Möbius, A. y Thumm, M. "High Order Mode Beam Waveguide for Technological Medium Power Millimeter Wave Applications". 21th International Conference on Infrared and Millimeter Waves. Conference Digest.1995, pp. 519-520.