

“ GENERACIÓN DEL MODO HE₁₁ A PARTIR DE UNA GUÍA CIRCULAR LISA MONOMODO “

*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 taper design to obtain the HE₁₁ corrugated circular waveguide mode exciting with a pure TE₁₁ monomode smooth circular waveguide mode.

The proposed corrugated taper has a longitudinal section composed of two hyperbolic profiles in series, one concave and the other convex united at a point, such that the derivative is continuous. Superimposed there is an additional tapering of the corrugation depth that goes from $\lambda/2$ at taper input to $\lambda/4$ within the first hyperbola.

This original synthesis procedure has been successfully tested by computational simulation. The calculation method has been validated by experimental results of other authors.

1.- INTRODUCCIÓN

En muchas aplicaciones, en las que no tenemos que manejar generadores de alta potencia, se utilizan fuentes de baja potencia como por ejemplo diodos Gunn, que emiten mediante oportunas transiciones su energía en la forma de campo del modo fundamental de guía circular lisa TE₁₁.

En los casos en los que debemos radiar la energía de esta fuente bien sobre un experimento o sobre un subreflector, el patrón de radiación que presenta este modo no es el indicado para conseguir buenas propiedades de directividad ya que el haz no es simétrico y presenta altos niveles de lóbulos laterales y polarización cruzada. Por ello se hace necesario convertir esta forma de energía en otra más propicia para su radiación, el modo HE₁₁ de guía circular corrugada, por las buenas características de radiación que presenta. De hecho, este modo, se denomina modo cuasi-gaussiano por su parecido con el haz gaussiano fundamental.

Como es bien conocido, el modo HE₁₁ esta formado por una mezcla de modos de guía lisa de aprox. un 85% de TE₁₁ y un 15% de TM₁₁ desfasados convenientemente. Existen tres formas distintas de conseguir esta mezcla. La primera de ellas se basa en el control en el acoplo de modos en un salto de guía lisa con su posterior desfase[1]; la segunda, consiste en una transición en guía circular corrugada de la profundidad de la corrugación de $\lambda/2$ a $\lambda/4$ manteniendo constante el radio de entrada y el de salida de la guía[2], y la tercera consiste en utilizar antenas cónicas en las que controlemos el acoplo entre los modos de interés[3].

Hasta ahora no existen demasiados diseños en guía circular corrugada en los que obtengamos la mezcla deseada a la salida y a la vez realicemos un cambio deseado entre el radio de salida y el de entrada (paso de guía monomodo a guía sobredimensionada). En este artículo, presentamos el diseño original de una transición de diámetro en guía circular corrugada con el que vamos a obtener el modo propio de este tipo de guía, HE₁₁, a partir del modo fundamental de guía circular lisa monomodo TE₁₁.

Como se mostrará mas adelante, con este diseño podremos controlar el ancho del haz (“beam waist” ó ω_0) del haz gaussiano que generamos lo que nos permitirá simular las condiciones de trabajo reales del haz de alta potencia.

En este artículo se propone un procedimiento de síntesis original que ha sido comprobado con éxito mediante la utilización de herramientas de simulación computacional. Además el método de cálculo se ha validado con resultados experimentales de otros autores[1],[2] y [3].

2.- FORMA DEL COMPONENTE DISEÑADO

Como se ha comentado en la introducción, existen varias formas para generar el modo propio de guía circular corrugada HE₁₁. Aquí propondremos un diseño en el que se producirá un cambio de radio entre la entrada y la salida para la obtención de un haz con las características deseadas.

El dispositivo que se propone, tiene una sección longitudinal compuesta por dos perfiles hiperbólicos colocados en cascada, uno cóncavo y otro convexo unidos en un punto de tal forma que la derivada sea continua en dicho punto. Superpuesto a esta forma de perfil se encuentra otro que nos define la forma de variación de la profundidad de la corrugación, que variará entre $\lambda/2$ en la entrada del dispositivo hasta $\lambda/4$ a una longitud L_1 dentro de la primera hipérbola.

La fórmula básica que define su forma es la siguiente :

$$r(z) = R_{in} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{\alpha \cdot k \cdot R_{in}^2} \right)^2}$$

donde R_{in} es el radio de entrada de la antena, k es el número de onda en el vacío y α es un parámetro que controla la forma de apertura del componente.

El perfil simétrico viene definido por :

$$f(z) = \begin{cases} r(z) & \text{si } z < \frac{L_T}{2} \\ -r(L_T - z) + 2 \cdot r\left(\frac{L_T}{2}\right) & \text{si } z \geq \frac{L_T}{2} \end{cases}$$

donde L_T es la longitud total del componente.

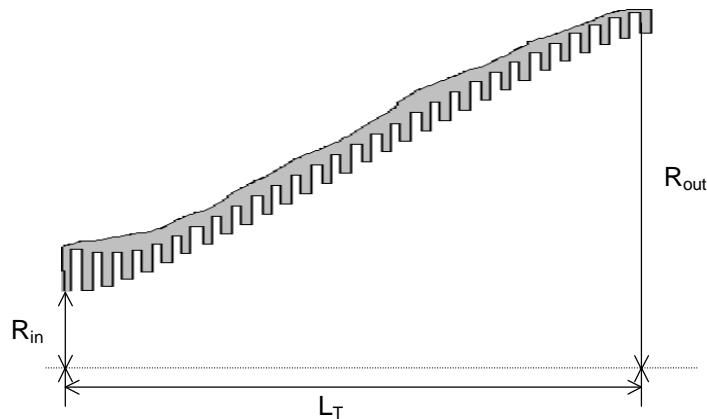


Figura 1 : Representación gráfica de la forma del componente $f(z)$ que se propone.

Como hemos comentado anteriormente, superpuesta a la forma del perfil se encuentra un “taper” de variación de la profundidad de corrugación. En la entrada del dispositivo, la profundidad de corrugación será $\lambda/2$ (λ es la longitud de onda en el espacio libre) variando de forma lineal hasta $\lambda/4$ en una longitud L_1 ; manteniéndose con este valor hasta el final del dispositivo.

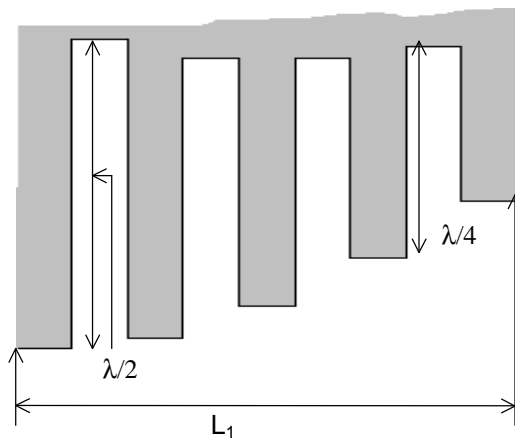


Figura 2 : Representación de la forma de variación de la corrugación superpuesta al componente.

La elección de la longitud para la variación de la profundidad de la corrugación es bastante crítica. Se ha podido comprobar de forma experimental, que ésta se debe corresponder con la longitud necesaria para que el radio interior de la guía corrugada, al final del convertidor, sea tal que se empiece a propagar el modo TM_{11} .

Las características fundamentales que presenta este componente son:

- corta longitud,
- el control que se puede realizar sobre el HE_{11} resultante,
- la gran simetría en campo y en el diagrama de radiación que se consigue,

- la continuidad del componente (terminación con pendiente nula) que facilita el acoplo en cascada de otros dispositivos.
- es recíproco, por lo que a partir del HE_{11} de guía corrugada somos capaces de generar el modo TE_{11} de guía lisa.

3.- RESULTADOS

En este apartado vamos a mostrar los resultados que se consiguen con estos componentes, para ello realizaremos dos ejemplos con la misma forma pero con distinta frecuencia, comprobando de esta manera la total independencia de la frecuencia de trabajo de este componente. Es importante recalcar que esto último será válido siempre que partamos de guía monomodo.

En primer lugar, escogemos $\alpha=1.3$; $R_{in} = 2.096$ mm, frecuencia de trabajo 53.2 GHz ($\lambda=5.6391$ mm), y longitud total $L_T=24$ mm. Como características de la corrugación tenemos $p=1$ mm, $L_1=8$ mm y $w=p/2$ (ver figura 2).

La mezcla de modos resultante a la salida del componente es la siguiente :

MODO	% Potencia	Fase (°)	MODO	% Potencia	Fase (°)
TE_{11}	88.4775	145.5979	TM_{11}	9.3369	154.3532
TE_{12}	0.6822	86.64	TM_{12}	1.3931	142.7589

Tabla 1

Otro posible diseño con los siguiente parámetros, $\alpha=1.3$; $R_{in} = 2.2032$ mm, frecuencia de trabajo 8 GHz, longitud total $L_T=100$ mm y características de la corrugación $p=\lambda/3$ mm y $L_1=28$ mm, da como resultado la siguiente mezcla :

MODO	% Potencia	Fase (°)	MODO	% Potencia	Fase (°)
TE_{11}	86.7268	-86.2587	TM_{11}	13.0885	-77.698

Tabla 2

Los patrones de radiación, plano E, plano H y polarización cruzada correspondientes a estos resultados se muestran en la figura 3.

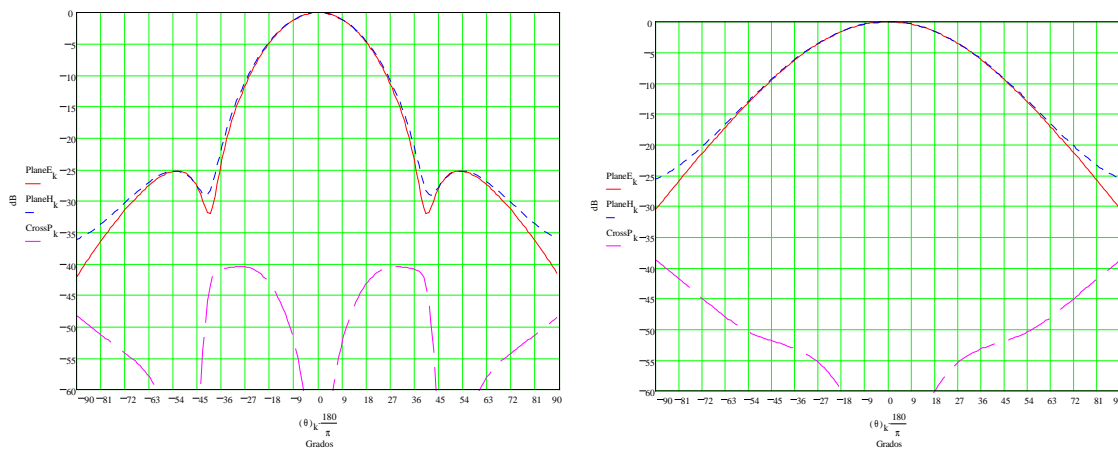


Figura 3 : Representación del los patrones de radiación de la mezcla de la tabla 1 (izquierda) y de la tabla 2 (derecha).

Como se ve en la figura 3, los resultados obtenidos son bastante buenos, la simetría de la mezcla es muy elevada correspondiéndose con un HE_{11} (patrón de radiación cuasi-gaussiano[4]).

Para verificar que estas mezclas corresponden a una estructura propia de guía circular corrugada, se llevo a cabo la prueba de introducirla en una guía corrugada de radio interior constante e igual al de salida de los diseños anteriores, comprobando que la mezcla de modos a la salida era similar a la de entrada.

Debido al uso de corrugaciones, el dispositivo es inherentemente de banda ancha. Para certificar esto se muestran los resultados obtenidos para la antena diseñada en el segundo ejemplo a una frecuencia de 7.2 GHz.

MODO	% Potencia	Fase (°)	MODO	% Potencia	Fase (°)
TE_{11}	88.3911	53.0525	TM_{11}	11.4157	62.0632

Tabla 3

En todos estos ejemplos la potencia reflejada que existe en la entrada del componente es muy pequeña (<0.2%).

Debemos indicar que el valor de α no puede ser elegido arbitrariamente, debido a que controla la forma de apertura del componente. Si es muy pequeño el componente se abre muy rápido de tal forma que se pierde el control sobre la mezcla de salida; de forma parecida ocurre si es muy grande, en este caso no se produciría casi conversión. Un criterio de diseño bastante bueno radica en escoger $\alpha=1.3$ ó valores próximos a él. Este parámetro controla el valor de ω_0 del haz cuasi-gaussiano que se consigue a la salida y deberá ser optimizado para cada caso.

Por otro lado, existe un parámetro importante en este diseño como es la relación entre el radio de entrada y el de salida. Si queremos que sea grande, dado que α está relativamente fijado, la longitud total deberá ser mayor que si elegimos una relación menor.

Deberemos ir probando para diferentes valores de longitud y α hasta conseguir los resultados que deseemos.

4.- APLICACIONES

Como hemos visto, el componente funciona bien para cualquier frecuencia, presenta un gran ancho de banda y además, según diseños, puede ser bastante corto, lo que da lugar a que pueda ser utilizado en un gran número de aplicaciones. Por ejemplo, en comunicaciones por satélite, radar, radioastronomía, etc., en las que a partir del modo de guía monomodo debemos obtener un haz lo más simétrico posible y con bajos lóbulos laterales para radiar sobre el subreflector de la antena.

Actualmente, se está diseñando una antena en la que se incluye este componente. La idea principal de este diseño es caracterizar una línea de transmisión de alta potencia en condiciones de baja potencia; por tanto es necesario hacer la siguiente conversión $TE_{11} \rightarrow HE_{11} \rightarrow \psi_0^0[5]$ (Gaussiano fundamental). La fuente de alta potencia es un gyrotrón que emite un haz gaussiano fundamental con un ω_0 de 18 mm. Para ello, es necesario, a partir del TE_{11} de guía monomodo a 53.2 GHz obtener un haz lo más gaussiano posible y con el mismo ω_0 que el de la fuente de alta potencia, para simular de la forma más real posible, las condiciones de alta potencia y evitar riesgos al personal que efectúa la medida.

5.- CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el diseño original de un componente que adapta el modo TE_{11} de guía circular monomodo al modo HE_{11} de guía circular corrugada.

Este componente presenta como características fundamentales el cambio que se realiza entre el radio de entrada del dispositivo y el radio de salida, el control que se puede realizar sobre el ω_0 resultante, su validez para cualquier frecuencia, su corta longitud, el ancho de banda y la buena adaptación que presenta en su entrada.

6.- REFERENCIAS

- [1] Potter, P.D., "A New Horn Antenna With Suppressed Sidelobes and Equal Beamwidths", Microwave J, 1963, pp. 94-95.
- [2] 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, Nº 2, February 1992, pp. 301-309.
- [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] Cap. 13. "Gyrotrons Oscillators, Their principles and Practice" edited by C.J. Edgcombe. 1993
- [5] Gonzalo R., Del Río, C., Teniente, J. y Sorolla, M., "Diseño Óptimo de antenas de Bocina Multimodo para Excitar un Haz Gaussiano Fundamental de Alta Purezza". U.R.S.I. Madrid 1996.