

## FILTROS PARA TUNELES DE CALENTAMIENTO O SECADO POR MICROONDAS

Por

Javier Bará Temes

E.T.S. Ing. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Barcelona  
Apdo. 30.002, Barcelona, 34.

### RESUMEN

Para un tipo de filtro de entrada/salida se demuestra la insensibilidad aproximada de su comportamiento a variaciones de la carga en el túnel, y se presenta un diseño realizado para un prototipo de secadero de azulejos cerámicos que ha de trabajar con formatos de espesores variables entre 5 y 20 mm. y humedades entre el 1% y el 7%.

### INTRODUCCION

Un túnel de calentamiento y/o secado por microondas ha de funcionar con la entrada y salida abiertas, lo que supone cuidadosas precauciones para reducir el nivel de radiación en el exterior por debajo de los límites permitidos.

Estos límites estaban hasta el presente regulados en la mayor parte de países occidentales, en 5-10 mW/cm<sup>2</sup> a 5 cm del punto de radiación si bien en la actualidad la tendencia es reducir este nivel a 1 ó 2 mW/cm<sup>2</sup> (1 mW/cm<sup>2</sup> ya vigente en Canadá, 1 ó 2 mW/cm<sup>2</sup> a 2450 MHz de probable próxima adopción en USA).

El problema del túnel se agrava cuando tenga que admitir diversas situaciones de carga (materiales de espesores diferentes, por ejemplo) sin tener que modificar la estructura de los filtros de entrada salida.

El objetivo del diseño es alcanzar unos niveles de radiación en los

equipos, previos a su venta, de 0,1-0,2 mW/cm<sup>2</sup>, para garantizar la permanencia dentro de las normas durante toda su utilización industrial.

Estructura básica

Partimos de las siguientes hipótesis:

- La frecuencia es constante (la desviación de los tubos es normalmente inferior a 25 MHz, es decir, < 1%, incluyendo todos los efectos de diferencias entre magnetrones, variaciones de tensión de alimentación y efecto de tracción de carga).
- Las zonas de entrada y salida (anchas y de escasa altura) se pueden considerar guías de onda propagando uno o varios modos TE<sub>no</sub>. La longitud eléctrica en estas guías será función de la carga de las mismas.

De todas las estructuras posibles formadas con secciones de líneas de transmisión en λ/4 o λ/2, la que presenta propiedades más adecuadas a nuestros fines es la de la fig. 2.

Z<sub>rad</sub> representa la impedancia de radiación de la apertura al exterior y el generador V<sub>g</sub>, Z<sub>g</sub> el efecto de excitación del interior del túnel.

Para una sección de línea de longitud l y constante de propagación β se tiene |1|:

$$|\bar{Y}| = \frac{j}{\text{sen } \phi} \begin{vmatrix} -\cos\phi & 1 \\ 1 & -\cos\phi \end{vmatrix}, \quad \phi = \beta l \quad (1)$$

En las proximidades de λ/4, φ = (π/2) (1+δ) = π/2 + x, con δ la variación relativa de longitud eléctrica; si x << 1:

$$|\bar{Y}| \approx j \begin{vmatrix} x & 1 \\ 1 & x \end{vmatrix}, \quad \text{error} (|\bar{Y}_{ij}|) = 0 (x^2) \quad (2)$$

Con el mismo grado de aproximación la admitancia de entrada, con la línea cargada con  $\bar{Y}_L$ , vale:

$$\bar{Y}_i \approx jx + \frac{1}{jx + \bar{Y}_L} \approx \frac{1}{jx + \bar{Y}_L} \quad (3)$$

De la fig. 3 y de (1) y (2) se puede obtener:

$$\frac{V_2}{V'_1} = \frac{1}{j} \frac{1+jx\bar{Z}_i}{\bar{Z}_s}, \quad \left| \frac{V_2}{V'_1} \right| \approx \frac{1}{|\bar{Z}_s|} = \left| \frac{Z_0}{Z' \tan \beta' l'} \right| = \gamma \quad (4)$$

de forma que para las N células de la fig. 2 la atenuación relativa a la situación en la fig. 1 vale

$$L = 10 \log (\gamma^N) = N 10 \log \gamma \quad (5)$$

que es independiente de la longitud eléctrica de las secciones serie (si bien no lo es de la impedancia  $Z_0$ ) en tanto sea válida la aproximación  $x^2 \ll 1$ . (Nótese que para una variación relativa del 15% es  $x^2 = 0,055$ ).

#### CRITERIOS DE DISEÑO

Se trata de diseñar un filtro para un prototipo de túnel de secado de azulejos cerámicos de 10 kw de potencia, con una boca de acceso de aproximadamente 70 cm. de ancho y altura no inferior a 2 cm. para permitir el paso de los formatos mas gruesos.

Para la longitud de onda en las secciones horizontales se toma aproximadamente la de una onda plana, ya que con  $a = 70$  cm. es  $f_c \ll f$  (experimentalmente se observó que en la boca del túnel sólo se excitan de forma apreciable los modos  $TE_{10}$  y  $TE_{20}$ ).

Deben de tenerse en cuenta los siguientes extremos:

- 1) La longitud de onda en el filtro varía con el grado de humedad de los azulejos ( $\epsilon_r$  entre 4 y 6,5 aproximadamente) y con el espesor de los mismos  $|Z|$  (ver fig. 5).
- 2) Dado que  $\gamma$  es proporcional a  $\left| \frac{Z_0}{Z'_0} \right|^N$  interesa que  $b \ll b'$ .
- 3) Sin filtro, se han medido a la entrada y salida del túnel valores máximos de densidad de potencia a 5cm de  $\approx 200$  mW/cm<sup>2</sup> por lo que la atenuación requerida para bajar a 0,1 mW/cm<sup>2</sup> es de 32 dB. Para preveer situaciones accidentales de trabajo en situación de carga reducida, tolerancias en la construcción, modificaciones introducidas por el sistema de transporte, etc. tomaremos como atenuación mínima necesaria 62 dB (factor  $10^3$  en relación con el valor anterior).

PROYECTO DE FILTRO

Atendiendo a los criterios anteriores se ha diseñado la estructura básica de la fig. 6 a partir de los datos del circuito equivalente de la conexión de dos guías dadas por Marcuvitz (3). Lamentablemente no existen datos cuando la guía está cargada con dieléctrico, e incluso la validez de las presentadas por Marcuvitz, dado su proceso de obtención, es dudosa.

El efecto de la presencia del dieléctrico se ha tenido en cuenta suponiendo varios valores de  $b$ , ya que en primera aproximación puede suponerse que es equivalente a una guía con un  $b_{eq}$  menor que el real.

La longitud eléctrica se ha calculado para un valor medio de  $\epsilon_{ef}^{-1/2} = 0,85$ , valor más probable para los formatos mas corrientes ( $l_2 = 0,7 - 1,0$  mm).

Para una estructura de 10 secciones (longitud total 26 cm) se obtienen los siguientes valores teóricos de atenuación  $L$ .

$b_{eq} = 25 \quad 20 \quad 15 \text{ cm.}$

$L = 110 \quad 152 \quad 215 \text{ dB}$

Es decir el filtro funciona mejor con azulejos más gruesos, pero incluso en el caso de ausencia de carga ( $b = 25$  cm) la atenuación obtenida es superior en 48 dB a la necesaria.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un diseño de filtro que promete una atenuación en el caso mas desfavorable de 110 dB con una longitud inferior a 30 cm. Si bien los defectos de construcción y el efecto del sistema de transporte, no considerado aquí, degradarán sin duda estos valores, se espera conseguir mas de 62 dB propuestos como objetivo.

En la actualidad se está terminando la construcción de los filtros y se confía en poder aportar medidas experimentales durante la presentación.

REFERENCIAS

- [1].- J.L. Altman; "Microwave Circuits", Van Nostrand 1964.
- [2].- J. Bará; "Algunos aspectos del secado de azulejos cerámicos por microondas", Reunión anual de la Comisión B del Comité Español de la URSI, Barcelona, 1981, pp. 288 - 293.
- [3].- N. Marcuvitz; "Waveguide Handbook", Boston Technial Publishers, Inc., 1.964

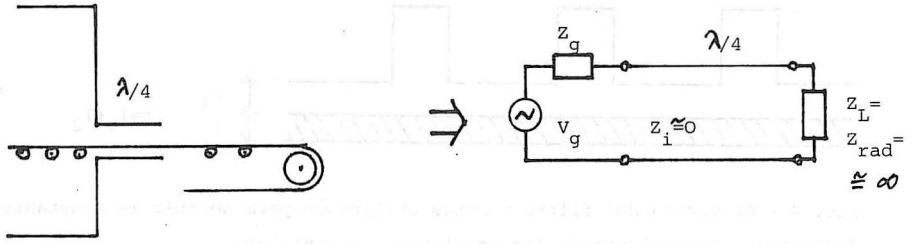


Fig. 1.- Disposición básica salida/entrada sin filtro. La sección en  $\lambda/4$  produce un cortocircuito aproximado, mientras el efecto del interior del túnel está representado por el generador  $(V_g, Z_g)$

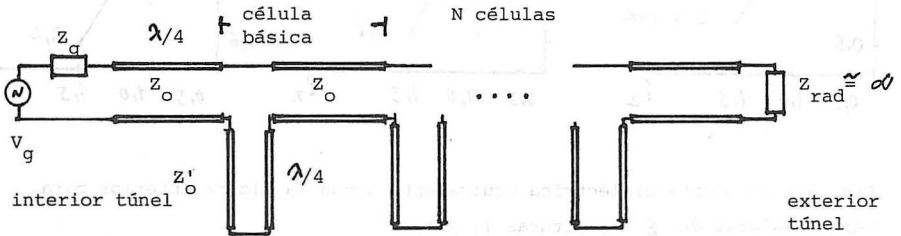


Fig. 2.- Estructura de salida/entrada con filtro formado por N células básicas idénticas.

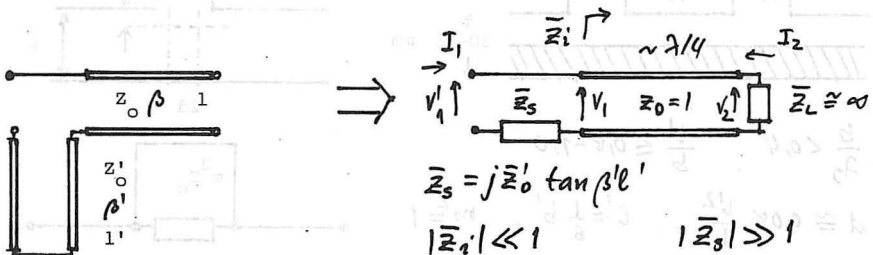


Fig. 3.- Célula básica y estructura equivalente utilizada para su análisis

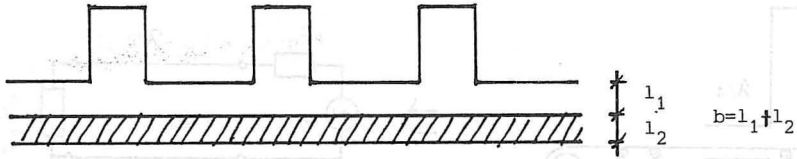


Fig. 4.- Geometría del filtro y datos utilizados para definir la constante dieléctrica equivalente de las secciones horizontales.

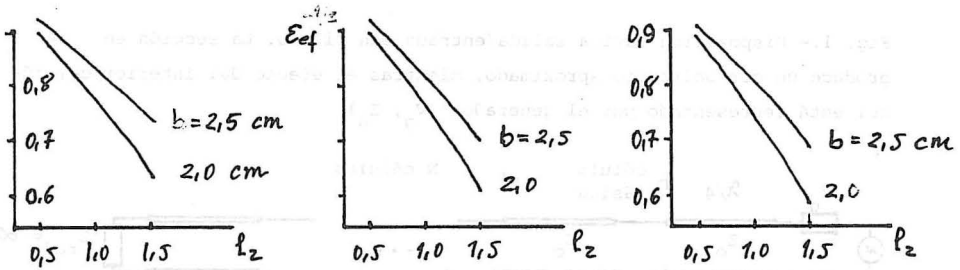
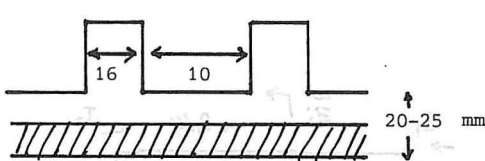


Fig. 5.- Constante dieléctrica equivalente según la figura anterior para varios valores de  $\epsilon_r$  y alturas  $l_1$  y  $l_2$ .



$$\frac{b}{\lambda_g} < 0,4 \quad \frac{l'}{b} \leq 0,8-1,0$$

$$d \cong 0,08 \frac{b^2}{\lambda_g}, \quad l' = \frac{1}{6} b', \quad m^2 = 1$$

$$z'_0 / z_0 = \epsilon_{ef}^{1/2} (b'/b)^{1/2}$$

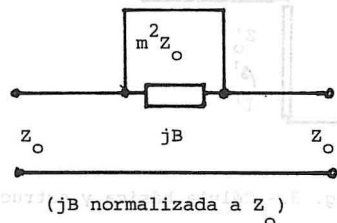
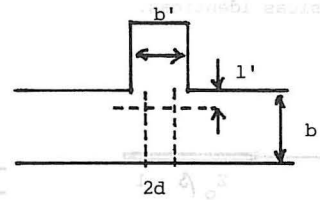


Fig. 6.-Análisis del circuito equivalente de la unión de las guías verticales y horizontales según los datos proporcionados por Marcuvitz.