

3º Test TPO 2012-2013

Por una guía rectangular vacía de dimensiones $a=1,5b$ se propaga en el modo fundamental una onda electromagnética de 6 GHz y de potencia $2,2 \cdot 10^5$ W, cuya longitud de onda dentro de la guía es $90,45$ mm.

1) La anchura de la guía es:

- a) 15 mm
- b) 20 mm
- c) 30 mm ← por descarte
- d) 40 mm

2) La frecuencia de corte del modo fundamental es:

- a) 2,5 GHz
 - b) 5,0 GHz ← $f_{c10} = \frac{c}{2a}$
 - c) 7,5 GHz
 - d) 10 GHz
- $f_{c10} = 5$ GHz es la única por debajo de 6 GHz que casa con un valor de $a \rightarrow a = 30$ mm

3) La frecuencia de corte del segundo modo es:

- a) 5 GHz
- b) 7,5 GHz ← $f_{c0,1} = 7,56$ GHz
- c) 10 GHz
- d) 15 GHz

4) El rango de frecuencias en el que se propagan única y exclusivamente dos modos es:

- a) 5-10 GHz
 - b) 7,5-10 GHz
 - c) 7,5-9,6 GHz ← $f_{c11} = 9,01$ GHz
 - d) 5,0-9 GHz
- Terce modo

5) El máximo de amplitud del campo eléctrico es:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

6) Si el eje x coincide con el lobo mayor de la guía y el eje con el lobo menor de la guía, la expresión del campo eléctrico para el modo fundamental es:

a) $\vec{E} = \left[E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \hat{y} + E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \hat{z} \right] e^{-j\beta z}$

b) $\vec{E} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \hat{x}$

c) $\vec{E} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{b}\right) e^{-j\beta z} \hat{y}$

d) Ninguna de las anteriores.

7) El máximo valor de la constante dieléctrica ϵ_r que puede tener un material que se introdujera en la guía para que a la frecuencia de 6 GHz se propague en único modo es: El ϵ_r va en la raíz del denominador: $f_{c0,1} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} \cdot \frac{1}{b}$ 2º modo

a) $\epsilon_r = 1,12$

b) $\epsilon_r = 1,25$ $f_{c0,1} = 6,76$ GHz \rightarrow se pasa \rightarrow se propaga en solo modo ~~se propaga en 2 modos~~

c) $\epsilon_r = 1,5625$ $f_{c0,1} = 5,9956$ GHz \rightarrow no se pasa de 6 GHz \rightarrow se propagan 2 modos.

d) $\epsilon_r = 2$ \rightarrow CORRECTA $f_{c0,1} = 5,9956$ GHz \rightarrow no se pasa de 6 GHz \rightarrow se propagan 2 modos.

Si se introduce en la guía un material que tuviera $\epsilon_r = 4$, $\tan \delta = 10^{-4}$ y la frecuencia de trabajo es de 6 GHz.

8) Se propaga por la guía:

a) Un modo

b) Dos modos

c) Tres modos

d) Más de tres modos.

9) La atenuación que sufrirá el modo fundamental en dB/m es:

a) 25 dB/m

Cartagena99

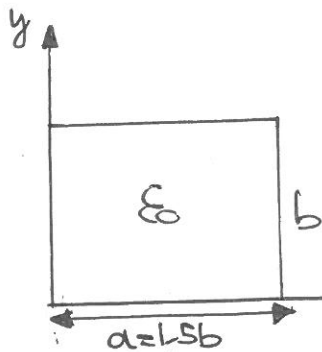
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

a) 25 mm

c) 50 mm

Solución 3º Test TPO



Mode fundamental (TE₁₀)

$$f_T = 6 \text{ GHz}$$

$$\lambda_{g10} = 90,45 \text{ mm}$$

$$P_{TMF} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$\lambda_{g10} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{c10}/f_T)^2}} = \frac{v_0}{\sqrt{f_T^2 - f_{c10}^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{f_T^2 - f_{c10}^2}} = 90,45 \text{ mm} \rightarrow f_{c10} = \sqrt{f_T^2 - \left(\frac{c_0}{\lambda_g}\right)^2} = \sqrt{(6 \cdot 10^9)^2 - \left(\frac{3 \cdot 10^{11}}{90,45}\right)^2} = 5 \text{ GHz}$$

$$f_{c10} = \frac{c_0}{2a\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c_0}{2a} \rightarrow a = 30 \text{ mm}; b = 20 \text{ mm}$$

2) $f_{10} = 5 \text{ GHz}$

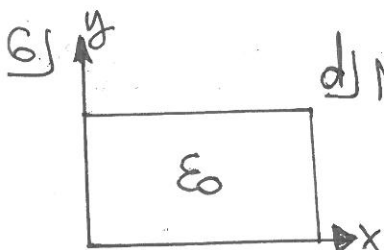
3) $f_{cTE_{01}} = \frac{c_0}{2b} = 7,5 \text{ GHz}$

4) $f_{cTE_{20}} = \frac{c_0}{2a} \cdot 2 = 10 \text{ GHz}$

5) $f_{cTE_{11}} = f_{cTM_{11}} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} = 9,01 \text{ GHz} \rightarrow$ de 7,5 GHz a 9,01 se propagan 2 modos.

Esta fórmula solo vale con el TE₁₀

$$P_{TE_{10}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ W} = \frac{|E_0|^2 \cdot a \cdot b}{4 \cdot Z_{TE_{10}}} = \frac{E_0^2 \cdot a \cdot b}{4 \eta_0} \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f_T}\right)^2} \rightarrow E_0 = 10 \text{ V/m}$$



d) Ninguna de las anteriores.

$$\vec{E}_{TE_{10}} = E_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta_g z} \hat{y}$$

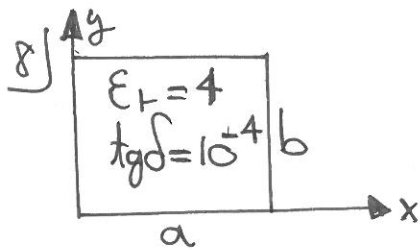
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

modo a 6 GHz es aquella en la que:

$$\epsilon_r = \left(\frac{7,5}{5}\right)^2 = 1,5625$$



$$f_r = 6 \text{ GHz}$$

al Más de tres modos

TE₁₀, TE₀₁, TE₁₁, TM₁₁ mínimo

$$f_{cTE_{11}} = f_{cTM_{11}} = \frac{c_0}{2\sqrt{4}} \cdot \sqrt{\frac{1^2}{a^2} + \frac{1^2}{b^2}} = 4,5 \text{ GHz}$$

$$\alpha_d = \frac{1}{2} \text{tg}\delta \cdot \frac{\beta_0}{\sqrt{1 - (f_c/f_r)^2}} = \frac{1}{2} \text{tg}\delta \cdot \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}{\sqrt{1 - (f_c/f_r)^2}} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2\pi \cdot 6 \cdot 10^9 \sqrt{4}}{3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{1 - (2,5/6)^2}}$$

$$= 0,013823 \text{ Npm}^{-1} = 0,1206 \text{ dBm}^{-1}$$

↑
INP = 8,7 dB

Yo podría d ya que quizás la $\text{tg}\delta = 10^{-5}$.

$$\lambda_{g10} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_c/f_r)^2}} = \frac{v_0}{\sqrt{f_r^2 - f_c^2}} = \frac{c_0/\sqrt{4}}{\sqrt{(6 \cdot 10^9)^2 - (2,5 \cdot 10^9)^2}} = 27,5 \text{ mm}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

SEPTIEMBRE 2008

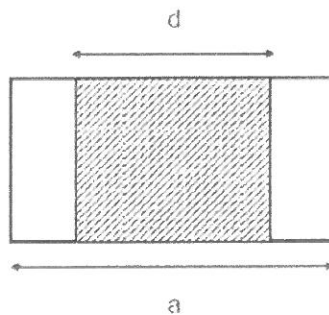
PROBLEMA 3

El campo eléctrico asociado a una onda electromagnética que se propaga por el interior de una guía rectangular en el modo fundamental tiene la siguiente expresión:

$$\vec{E} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z) \exp(j\omega t) \hat{y}$$
$$\beta_z = 51,30 \text{ m}^{-1} \quad \omega = 2\pi \cdot 3,5 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$$

El segundo modo tiene una frecuencia de corte un 60% superior a la frecuencia de corte del modo fundamental.

- Determine las dimensiones de la guía y las frecuencias de corte de los tres primeros modos
- Determine, respecto de la potencia total que se propaga por la guía, qué porcentaje de potencia se propaga a través de una sección central de la guía de anchura d en el caso en el que $d = a/2$. (Ver figura)



Si no ha podido determinar las dimensiones de la guía, para resolver los siguientes apartados elija los siguientes valores: $a = 30 \text{ mm}$; $b = 18,75 \text{ mm}$
Si la guía se rellena por un dieléctrico con permitividad eléctrica $\epsilon_r = 4$ y tangente de pérdidas $\tan \delta = 0,001$, determine:

- Rango de frecuencias en los que ocurre propagación en un único modo
 - Longitud de la guía para que una onda electromagnética, cuya frecuencia es la central del intervalo calculado en el apartado anterior, se atenúe 10 dB.
 - Longitud de la guía para que una onda electromagnética, cuya frecuencia es la mitad de la frecuencia del apartado anterior, se atenúe 30 dB.
- a) En la expresión del campo eléctrico, vemos que no tiene componente $\hat{z} \rightarrow$
 \rightarrow luego es un modo TE y sólo tiene componente $\hat{y} \rightarrow$ como es el modo fundamental \rightarrow Se trata del modo TE₁₀

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

la guía. Como no dicen nada, suponemos el vacío.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{3.5 \cdot 10^9} = 0.08571 \text{ m}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}} \rightarrow \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2} = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \rightarrow 1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2 = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right)^2 - 1 \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{f_{c10}}{f} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right)^2} ; f_{c10} = f \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right)^2} = 3.5 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0.08571}{0.1224}\right)^2}$$

$$f_{c10} = 2.5 \text{ GHz}$$

Nos dicen que el segundo modo tiene una frecuencia un 60% superior al fundamental \rightarrow si la guía fuera óptima, la frecuencia sería el doble, luego NO ES UNA GUÍA ÓPTIMA ($a \neq 2b$).

$$f_{c10} = 2.5 \text{ GHz} \rightarrow 2.5 \text{ GHz} \cdot \frac{60}{100} = 1.5 \text{ GHz superior.}$$

$$\text{Segundo modo} \rightarrow f_c = 2.5 \text{ GHz} + 1.5 \text{ GHz} = 4 \text{ GHz}$$

$$f_{c10} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{a} \rightarrow a = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{f_{c10}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot \frac{1}{2.5 \cdot 10^9} = 0.06 \text{ m} = 60 \text{ mm}$$

$$\lambda_0 = \frac{V_0}{f} \rightarrow V_0 = \lambda_0 \cdot f = 0.08571 \cdot 3.5 \cdot 10^9 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

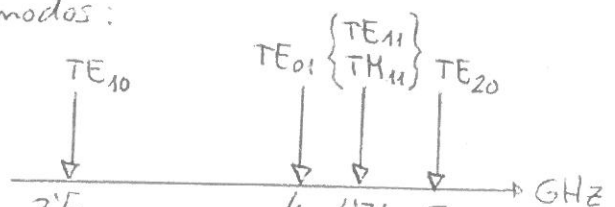
$$\text{Usando el segundo modo} \rightarrow TE_{01} \rightarrow f_{c01} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{b} \rightarrow b = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{f_{c01}}$$

$$b = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot \frac{1}{4 \cdot 10^9} = 0.0375 \text{ m} = 37.5 \text{ mm}$$

Si observamos las frecuencias de corte de los modos:

$$TE_{10} \rightarrow f_{c10} = 2.5 \text{ GHz (fundamental)}$$

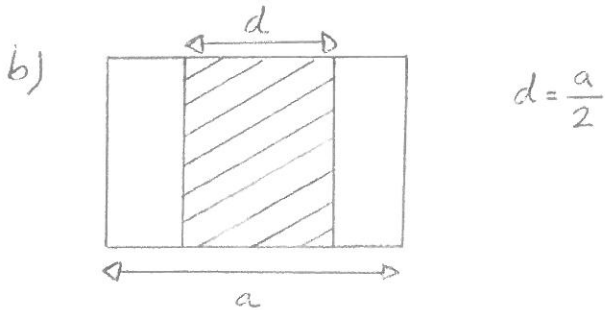
$$TE_{01} \rightarrow f_{c01} = 4 \text{ GHz}$$



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

Cartagena99



Comparamos la potencia total con la de la zona central.

$$P_{TOTAL} = \oint_S \langle \vec{S}_t \rangle \cdot d\vec{S} = \iint_S \frac{1}{2} \operatorname{Re} [\vec{E}_t \times \vec{H}_t] \cdot d\vec{S}$$

$$P_{TOTAL} = \int_{x=0}^a \int_{y=0}^b \frac{1}{2} \frac{|E_{0y}|^2}{Z_{TE}} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx \cdot dy = \iint \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{Z_{TE}} dx \cdot dy$$

Para el modo fundamental (TE_{10}), sabemos que la potencia total es:

$$P_{TOTAL} = \frac{1}{4} \frac{|E_{0y}|^2}{Z_{TE}} \cdot a \cdot b$$

Calculamos ahora la potencia en la sección central de la guía:

$$P_{sección} = \int_{x=\frac{a}{4}}^{\frac{3a}{4}} \int_{y=0}^b \frac{1}{2} \frac{|E_{0y}|^2}{Z_{TE}} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx \cdot dy = \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \int_{x=\frac{a}{4}}^{\frac{3a}{4}} \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot b \cdot dx =$$

$$= \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \cdot b \cdot \int_{x=\frac{a}{4}}^{\frac{3a}{4}} \frac{1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right)}{2} dx = \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \cdot \frac{b}{2} \left[x - \frac{\sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \cdot a}{2\pi} \right]_{\frac{a}{4}}^{\frac{3a}{4}} =$$

$$= \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \cdot \frac{b}{2} \left[\left(\frac{3a}{4} - \frac{a}{4}\right) - \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi \cdot 3a}{4a}\right) \cdot a}{2\pi} - \frac{\sin\left(\frac{2\pi a}{4a}\right) \cdot a}{2\pi}\right) \right] =$$

$$= \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \cdot \frac{b}{2} \left[a - \left(\frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \cdot a}{2\pi} - \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot a}{2\pi}\right) \right] = \frac{|E_{0y}|^2}{2 \cdot Z_{TE}} \cdot \frac{b}{2} \left[a - \frac{a}{2\pi} (-1 - 1) \right] =$$

Cartagena99

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

Comparando ambas potencias:

$$\frac{P_{TOTAL}}{P_{SECCIÓN}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \frac{|E_{0y}|^2}{Z_{TE}} \cdot a \cdot b}{\frac{|E_{0y}|^2}{4 Z_{TE}} \cdot b \cdot \left(\frac{\pi+2}{2\pi}\right) a} = \frac{2\pi}{\pi+2} = 1'222$$

$$P_{TOTAL} = 1'222 \cdot P_{SECCIÓN} \rightarrow \frac{P_{SECCIÓN}}{P_{TOTAL}} = \frac{1}{1'222} = 0'8183 \cdot 100\% = 81'83\%$$

La potencia en la sección central es del 81'83% de la potencia total en la guía. Esto es normal ya que el campo \vec{E} en la guía es mayor en el centro que en las proximidades de las paredes.

c) Dieléctrico de la guía $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_r = 4 \\ \tan \delta = 0'001 \end{array} \right\}$

Al variar el dieléctrico del interior, han cambiado las propiedades de la guía y también las frecuencias de corte de los modos.

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{c} \cdot \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 3'5 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \sqrt{4} = 146'6 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{\beta_0} = \frac{2\pi}{146'6} = 0'04285 \text{ m}^{-1} \rightarrow v_0 = \lambda_0 \cdot f = 0'04285 \cdot 3'5 \cdot 10^9 = 1'5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f_{c_{10}} = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1'5 \cdot 10^8}{2} \cdot \frac{1}{0'06} = 1'25 \text{ GHz} \quad (TE_{10})$$

$$f_{c_{01}} = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{1}{b} = \frac{1'5 \cdot 10^8}{2} \cdot \frac{1}{0'0375} = 2 \text{ GHz} \quad (TE_{01})$$

$$f_{c_{11}} = \frac{v_0}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2} \approx 2'3585 \text{ GHz} \quad \left\{ \begin{array}{l} TE_{11} \\ TM_{11} \end{array} \right\}$$

$$f_{c_{20}} = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{2}{a} = 2 \cdot f_{c_{10}} = 2'5 \text{ GHz} \quad (TE_{20})$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

d) Nuestra frecuencia de trabajo es ahora:

$$f_T = \frac{1'25 \text{ GHz} + 2 \text{ GHz}}{2} = 1'625 \text{ GHz.}$$

$$\tan \delta = 0'001 \longrightarrow \alpha = \frac{\beta_0 \cdot \tan \delta}{2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f_T}\right)^2}} = \frac{68'06 \cdot 0'001}{2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1'25 \cdot 10^9}{1'625 \cdot 10^9}\right)^2}} = 0'05326 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi \cdot f_T}{c} \cdot \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 1'625 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{4} = 68'06 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha \text{ (dB/m)} = 8'68 \cdot \alpha \text{ (m}^{-1}\text{)} = 0'4623 \text{ dB/m}$$

$$A \text{ (dB)} = \alpha \text{ (dB/m)} \cdot L \text{ (m)} \longrightarrow \boxed{L \text{ (m)} = \frac{A \text{ (dB)}}{\alpha \text{ (dB/m)}} = \frac{10}{0'4623} \approx \boxed{21'63 \text{ m}}}$$

Es la longitud de la guía para atenuar 10 dB.

e) Ahora, nuestra frecuencia de trabajo será:

$$f_T = \frac{1'625 \text{ GHz}}{2} = 812'5 \text{ MHz.}$$

La frecuencia de corte del modo fundamental (TE_{10}) es de 1'25 GHz.

Esto quiere decir que estoy trabajando por debajo de la frecuencia de corte de la guía, por lo que no existe propagación de la onda en la guía.

Con un poco que "me nueva" voy a tener mucha atenuación.

En estas condiciones la constante de propagación es real.

$$\gamma \equiv \alpha \equiv \text{REAL} \longrightarrow \alpha = \beta_0 \sqrt{\left(\frac{f_{c10}}{f_T}\right)^2 - 1}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

GUÍA CIRCULAR

PROBLEMA 3. (3.5 Ptos.)

En una guía circular el campo eléctrico total para un modo mn en el interior de una guía vacía con un radio a para una frecuencia $4f_T$ viene dado por:

$$E(r, \phi, t) = \left(\frac{-20}{r} \cdot J_2(1116'66 \cdot r) \cdot [-0'707 \cdot \text{sen}(2 \cdot \phi) + 0'707 \cdot \cos(2 \cdot \phi)] \hat{r} \right. \\ \left. + \frac{11166'6}{r} \cdot J_2'(1116'66 \cdot r) \cdot [0'707 \cdot \cos(2 \cdot \phi) + 0'707 \cdot \text{sen}(2 \cdot \phi)] \hat{\phi} \right) \\ e^{-j183'46 \cdot \pi \cdot z} e^{j2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} t}$$

Donde las variables r y Φ vienen dadas en metros y radianes respectivamente, y t en segundos.

Calcule:

- Calcule el campo magnético total. Compruebe las condiciones de contorno para el campo magnético.
- Impedancia del citado modo
- ¿De que modo se trata? Justifique la respuesta y calcule la frecuencia de corte del citado modo. (DATO: Además de ser nulo $E_{\phi}=0$ en el centro de la guía solo existe otro nulo en el interior de la guía($r < a$))
- Dimensión de la guía y longitud de onda en la guía, λ_G para el modo fundamental a la frecuencia f_T .
- Calcule el valor del campo para $r=0.25a$ y $\Phi=1.5708$ radianes, indique en que dirección irá y el modulo y fase
- Calcule la constante de atenuación (dB/m) en el modo fundamental producida por un dieléctrico de tangente de pérdidas $\tan \delta=0.02$ a una frecuencia $1.5f_c$ del modo fundamental
- Calcule la constante de atenuación (dB/mm) en el modo fundamental producida a una frecuencia $0.5f_c$ del modo fundamental

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

PROB 3 SEPT 2004



modo $\begin{cases} TE_{mn} \\ TM_{mn} \end{cases}$
 frecuencia de trabajo $f = 4f_T$

¡¡OJO!! Hay una errata en el \vec{E}_{TOT} dado.

$$\vec{E}_{TOT}(r, \phi, z) = \left[\begin{aligned} & -20 J_2(1116'66 \cdot r) \left[-0'707 \cdot \cos(2\phi) + 0'707 \cdot \sin(2\phi) \right] \hat{r} + \\ & + \frac{1116'66}{r} J_2'(1116'66 \cdot r) \left[0'707 \cos(2\phi) + 0'707 \cdot \sin(2\phi) \right] \hat{\phi} \end{aligned} \right] \cdot e^{-j 183'46 \pi \cdot z} \cdot e^{j 2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} \cdot t} \quad , (V/m)$$

a) Aplicamos Maxwell-Faraday: $\nabla \times \vec{E} = -j \omega \mu_0 \vec{H} \Rightarrow \vec{H} = \frac{\nabla \times \vec{E}}{-j \omega \mu_0}$, (A/m)

Calculamos el rotacional del campo dado en cilíndricas, teniendo en cuenta que:

$\vec{E}_{TOT}(r, \phi, z) = E_r(r, \phi, z) \hat{r} + E_\phi(r, \phi, z) \hat{\phi}$, por tanto:

$$\vec{H} = \frac{1}{-j \omega \mu_0} \left[\begin{aligned} & -\frac{\partial E_\phi}{\partial z} \hat{r} + \frac{\partial E_r}{\partial z} \hat{\phi} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r \cdot E_\phi)}{\partial r} - \frac{\partial E_r}{\partial \phi} \right] \hat{z} \end{aligned} \right] =$$

$$= \frac{1}{-j \omega \mu_0} \left[\begin{aligned} & +j 183'46 \pi \cdot E_\phi \cdot \hat{r} - j 183'46 \pi \cdot E_r \cdot \hat{\phi} + \frac{1}{r} \left[(1116'66)^2 \cdot J_2''(1116'66 r) \left[0'707 (\cos 2\phi + \sin 2\phi) \right] \right. \\ & \left. + 20 J_2'(1116'66 \cdot r) \left[-1'414 \cdot \cos(2\phi) - 1'414 \cdot \sin(2\phi) \right] \right] e^{-j 183'46 \pi z} \cdot e^{j \omega t} \end{aligned} \right]$$

$-j 183'46 \pi z \cdot e^{j \omega t} \left[-183'46 \pi \cdot 1116'66 \cdot \dots \right] \hat{z}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



$+ \frac{40}{\omega \mu_0} J_2(1116'66 r) \left[-0'707 \cdot \cos(2\phi) - 0'707 \cdot \sin(2\phi) \right] \hat{z}$, (A/m)

La condición de contorno del campo magnético es: $\hat{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1)|_S = 0$; como la guía es de conductor perfecto llegamos a: $B_{\text{normal}} = 0$, es decir, la componente normal de $\vec{B} = \mu \vec{H}$ en $r = a$ debe ser nula.

Por que ésto fuera así, debería ser nula en $r = a$ la componente \hat{r} de \vec{H} , y por tanto debería ser:

$$J_2' (1116'66 \cdot a) = 0$$

Como no sabemos de qué modo se trata no podemos saber directamente si esta condición se cumple, pero suponemos que el campo eléctrico dado sí cumple que: $\hat{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = \vec{0} \Leftrightarrow E_{z \text{ tang}}|_S = E_{1 \text{ tang}}|_S$. Al ser el conductor perfecto debe ser cero la componente tangencial de \vec{E} en $r = a$, es decir debe ser cero la componente $\hat{\phi}$ del campo eléctrico en $r = a$, y por tanto se debe cumplir que:

$$J_2' (1116'66 \cdot a) = 0 \quad \text{por lo que la condición de contorno para el campo magnético también se cumple.}$$

b) Sabiendo que en \hat{z} la dirección de propagación se cumple que:

$$\vec{E}_t = Z_{\text{modo}} (\vec{H}_t \times \hat{z}) \quad \text{ó} \quad E_r \hat{r} + E_{\phi} \hat{\phi} = Z_{\text{modo}} ((H_r \hat{r} + H_{\phi} \hat{\phi}) \times \hat{z}) = Z_{\text{modo}} (-H_r \hat{\phi} + H_{\phi} \hat{r})$$

Por tanto:

$$\boxed{Z_{\text{modo}}} = \frac{E_r}{H_{\phi}} = \frac{E_{\phi}}{-H_r} = \frac{\omega \mu_0}{183'46 \cdot \pi} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Identificando} \\ e^{j2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} t} = e^{j\omega t} \end{array} \right\} = \frac{(2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10}) (4\pi \cdot 10^{-7})}{183'46 \cdot \pi} = \boxed{8219'58} \text{ (}\Omega\text{)}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$V_1'(\hat{r}) = \frac{1}{\omega \mu_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10}} = 0'045865$$

c) Sabemos que se trata de un modo TE porque el campo \vec{E} no tiene componente en \hat{z} . Por otro lado sabemos que en las guías circulares, el subíndice de las funciones de Bessel es el subíndice m , siendo el modo TE_{mn} . Por eso en nuestro caso $m=2$.
 Por tanto por la tabla dada sólo tenemos 3 posibilidades:

| TE | m_1 | m_2 | m_3 |
|------|-------|-------|-------|
| $2n$ | 3'05 | 6'7 | 9'96 |

Por otro lado sabemos que en los modos TE_{mn} el argumento de las funciones de Bessel que tenemos es: $\frac{P'_{mn}}{a} r$, es decir que en los modos TE_{mn} las funciones de Bessel que aparecen son $J_m\left(\frac{P'_{mn}}{a} r\right), J_m''\left(\frac{P'_{mn}}{a} r\right), \dots$ siendo $P'_{mn} = X'_{mn}$ los ceros de J_m' , que para J_2' son los números de la tabla anterior.

Así pues la componente ϕ de \vec{E} , E_ϕ tiene la siguiente función de Bessel:

$$J_2'(1116'66 \cdot r), \text{ que debemos identificarla con: } J_2'\left(\frac{P'_{2n}}{a} \cdot r\right)$$

Esta función $J_2'\left(\frac{P'_{2n}}{a} r\right)$ se anula siempre en $r=a$ ya que

$P'_{2n} = 3'05, 6'7, 9'96, \dots$ son los ceros de J_2' . Si $n=1$ tendríamos

$$\text{que } 1116'66 = \frac{P'_{21}}{a} = \frac{3'05}{a}, \text{ pero no querria decir que } J_2'\left(\frac{3'05}{a} r\right)$$

se anula en $r=a$ y en ningún r más dentro de la guía, en

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

d) Como el modo es el TE_{22} tenemos que:

$$J_2'(1116'66 r) = J_2'\left(\frac{P_{22}'}{a} r\right) = J_2'\left(\frac{6'7}{a} r\right), \text{ por tanto:}$$

$$\boxed{a} = \frac{6'7}{1116'66} = 0'006 \text{ m} \approx \boxed{6 \text{ mm}}$$

$$\lambda_G = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \text{ (m)} \quad \text{dado: } \lambda_0 = \frac{c_0}{f} \text{ (m)} \text{ y } f = 4f_T$$

$f_c = f_c \text{ del modo dominante. (TE}_{11}\text{)}$

En el enunciado nos dicen que el modo dado está dado a la frecuencia $4f_T$ e identificándolo sabemos que: $e^{j2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} t} = e^{j\omega t}$

Por tanto $\omega = 2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} \Rightarrow f = 60 \cdot 10^{10} = 4f_T \Rightarrow \boxed{f_T = 150 \text{ GHz}}$

Por otro lado $f_c = f_{cTE_{11}} = \frac{P_{11}'}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{184 \cdot 5 \cdot 10^8}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 14'64 \text{ GHz}$

y finalmente: $\boxed{\lambda_G} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{f^2 - f_c^2}} = \boxed{\text{aproximadamente } 2 \text{ mm}}$

e) $\vec{E}(r=0'25a, \phi=\frac{\pi}{2}) = \left\{ \frac{1116'66}{15708} = \frac{6'7}{a} \right\} = \left[20 \cdot J_2(6'7 \cdot 0'25) 0'707 \hat{r} - \frac{1116'66}{0'25a} \cdot J_2'(6'7 \cdot 0'25) 0'707 \hat{\phi} \right] \cdot e^{-j\beta_0 z} \cdot e^{j\omega t} =$

$$= \left[14'14 \cdot J_2(1'675) \hat{r} - 526319'08 \cdot J_2'(1'675) \hat{\phi} \right] \cdot e^{-j183'46\pi z} \cdot e^{j2\pi \cdot 60 \cdot 10^{10} t}, \text{ V/m}$$

El campo se propaga hacia \hat{z} y la dirección en la que está orientado es:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

BAJAS PÉRDIDAS PORQUE $\text{tg } \delta \ll 1$

$$f) \quad \alpha_d \approx \frac{1}{2} k \cdot \frac{\text{tg } \delta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}, \quad (\text{Np/m})$$

dicado: $f_c = f_{c_{TE_{11}}} = 14'64 \text{ GHz}$

$$f = 1'5 \cdot f_c = 21'96 \text{ GHz}$$

$$k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi f}{3 \cdot 10^8} = ~~460~~ 460 \text{ rad/m}$$

$$\text{tg } \delta = 0'02$$

Por tanto: $\alpha_d \text{ (dB/m)} = 8'7 \left(\frac{\text{dB}}{\text{Np}}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 460 \cdot \frac{0'02}{\sqrt{1 - \left(\frac{1'5}{1}\right)^2}} = 53'69 \text{ dB/m}$

$$g) \quad \alpha = \sqrt{\gamma_0^2 - \gamma_c^2} = \sqrt{-\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \omega_c^2 \mu_0 \epsilon_0} = \frac{\sqrt{-\omega^2 + \omega_c^2}}{3 \cdot 10^8} = \frac{\sqrt{(2\pi \cdot f_c)^2 - (2\pi \cdot 0'5 \cdot f_c)^2}}{3 \cdot 10^8} =$$
$$= \frac{2\pi}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{f_c^2 - \frac{f_c^2}{4}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 10^8} f_c = \left\{ f_c = f_{c_{TE_{11}}} = 14'64 \text{ GHz} \right\} =$$
$$= 265'54 \text{ (Np/m)}$$

$$\alpha \text{ (dB/mm)} = 265'54 \cdot 8'7 \cdot \frac{1}{1000} = 2'31 \text{ dB/mm}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FEBRERO 2006

PROBLEMA 3

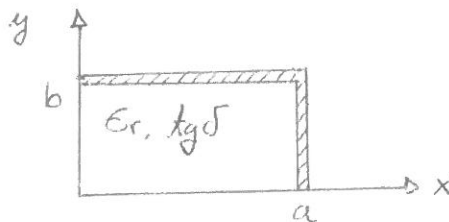
Se desea diseñar una guía rectangular con las siguientes características:

- Está rellena de un dieléctrico con constante dieléctrica de valor $\epsilon_r = 4$, y tangente de pérdidas $\tan\delta = 0.001$.
- Debe funcionar en el modo fundamental con el mayor ancho de banda posible.
- Debe transmitir la máxima potencia posible.
- La frecuencia de trabajo es de 12 GHz, la cual debe coincidir con la frecuencia central del intervalo en el que hay propagación en un único modo.

Determine:

- Dimensiones de la guía.
- Frecuencia de corte de los cuatro primeros modos.
- Valor de la máxima potencia que puede transmitir si la amplitud máxima del campo eléctrico que puede soportar el dieléctrico que ocupa el interior de la guía es 1 MV/m.
- Máxima longitud que puede tener la guía si las pérdidas deben ser inferiores a 3 dB.
- Expresión temporal del campo magnético en el interior de la guía para el modo fundamental.

a) Trabajando en el modo fundamental, el mayor ancho de banda se obtiene cuando la guía es óptima $\rightarrow a=2b$



Entonces, el modo fundamental es el transversal eléctrico 10 $\rightarrow TE_{10}$

$$f_c(TE_{10}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{a}$$

El segundo modo, en estas condiciones, es el TE_{01} y está al doble de

$$\text{frecuencia } f_c(TE_{01}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{b} \rightarrow f_c(TE_{01}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{a/2} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{2}{a} = 2 \cdot f_c(TE_{10})$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Despejamos el valor de V_0 y con ello obtenemos las dimensiones de la guía:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow V_0 = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{4}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

$$\overline{a} = \frac{V_0}{z} \cdot \frac{1}{f_c(\text{TE}_{10})} = \frac{1.5 \cdot 10^8}{2 \cdot 3 \cdot 10^9} = \underline{9.375 \text{ mm}}$$

$$a = 2b \rightarrow \overline{b} = \frac{a}{2} = \frac{0.009375}{2} = \underline{4.6875 \text{ mm}}$$

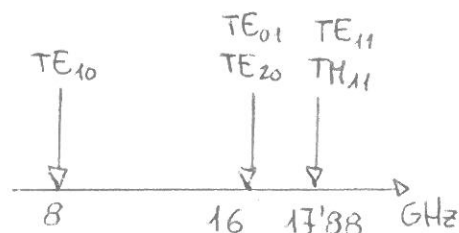
b) Calculamos las diferentes frecuencias de corte mediante la expresión:

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} = \frac{V_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

Modo Fundamental $\rightarrow \text{TE}_{10} \rightarrow f_{c_{10}} = 3 \text{ GHz}$

$\text{TE}_{01} \rightarrow f_{c_{01}} = 16 \text{ GHz.}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{TE}_{11} \\ \text{TM}_{11} \end{array} \right\} \rightarrow f_{c_{11}} = \frac{V_0}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2} = 17.88 \text{ GHz}$$



$\text{TE}_{20} \rightarrow f_{c_{20}} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{2}{a} = f_{c_{01}} = 16 \text{ GHz.}$

Por lo tanto, los cuatro primeros modos son: TE_{10} — TE_{01} — TE_{20} — TE_{11} / TM_{11}

c) Máxima potencia que se puede transmitir si $|E_0| = 1 \text{ MV/m.}$

En general, para calcular la potencia tenemos que hacer la integral en la superficie de la guía del flujo:

$$P = \oint_S \langle \vec{s} \cdot \vec{t} \rangle \cdot d\vec{S} = \iint_S \frac{1}{2} \text{Re} [\vec{E}_t \times \vec{H}_t^*] \cdot d\vec{S}$$

En el modo fundamental:

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

Cartagena99

Con estos datos, obtenemos la máxima potencia:

$$P_T(TE_{10}) = \frac{(10^6)^2}{4 \cdot 252'893} \cdot 0'009375 \cdot 0'0046875 = 43442'538 \text{ W}$$

Comprobamos que se puede transmitir mucha potencia en una guía.

d)

Sabemos el valor de la tangente de pérdidas $\rightarrow \tan \delta = 0'001$

$$\alpha = \frac{\beta_0 \cdot \tan \delta}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}} = \frac{502'654 \cdot 0'001}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{8 \cdot 10^9}{12 \cdot 10^9}\right)^2}} = 0'337 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v} = 2\pi f \cdot \sqrt{\mu \epsilon} = \frac{2\pi \cdot f}{c} \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 12 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \sqrt{4} = 502'654 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha (\text{m}^{-1}) \rightarrow \text{pasamos a } \rightarrow \alpha (\text{dB/m}) = 8'68 \cdot \alpha (\text{m}^{-1}) = 8'68 \cdot 0'337 = 2'926 (\text{dB/m})$$

$$A(\text{dB}) = \alpha (\text{dB/m}) \cdot L(\text{m}) \rightarrow \boxed{L(\text{m}) = \frac{A(\text{dB})}{\alpha (\text{dB/m})} = \frac{3}{2'926} = 1'025 \text{ m}}$$
 es la

máxima longitud para unas pérdidas de 3dB.

e)

El modo fundamental es el $TE_{10} \rightarrow$ solo tiene componente \hat{y} el campo eléctrico \vec{E} .

$$E_y = E_0 y \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{a}\right) \rightarrow \vec{E} = E_y \cdot \hat{y} = E_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{a}\right) \cdot e^{-j\beta y \cdot z} \cdot e^{j\omega t} \cdot \hat{y}$$

Para calcular el campo magnético, usamos el rotacional:

$$\vec{H} = \frac{\nabla \times \vec{E}}{-j\omega \mu} \quad \nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & E_y & 0 \end{vmatrix}$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

expresamos en el momento del tiempo:

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.

Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Cartagena99

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background pointing to the right. Below the text is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

SEPTIEMBRE 2006

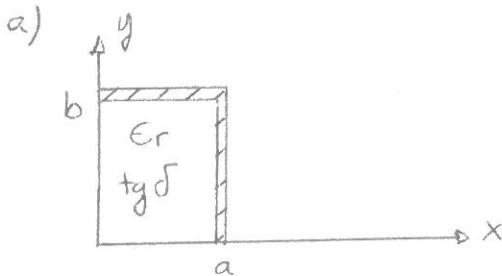
PROBLEMA 1

Se pretende diseñar una guía rectangular con las siguientes características:

- Está rellena de un material de constante dieléctrica relativa $\epsilon_r = 4$ y tangente de pérdidas $\tan\delta = 0.001$
- La relación entre la anchura y la altura es $a/b = 0.8$
- La frecuencia de trabajo es $f_i = 10$ GHz y coincide con la frecuencia central del intervalo en el que ocurre propagación en un único modo.

Determine:

- Dimensiones de la guía.
- Frecuencia de corte del modo fundamental.
- Modos que se propagarían a una frecuencia $2f_i$ el doble de la frecuencia de trabajo.
- Constante de atenuación en el modo fundamental a la frecuencia de trabajo f_i .
- Constante de atenuación en el modo fundamental a una frecuencia $0.5f_i$, la mitad de la frecuencia de trabajo



La frecuencia de trabajo coincide con la frecuencia central del intervalo en el que ocurre propagación en un único modo \rightarrow Buscamos el modo fundamental que sucede en la frecuencia de corte más baja $\rightarrow a < b \rightarrow$
 \rightarrow El modo fundamental es el $TE_{01} \rightarrow f_c(TE_{01}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{b}$

El segundo modo es el TE_{10} y el valor de su frecuencia será:

$$f_c(TE_{10}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{a} \rightarrow f_c(TE_{10}) = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{b \cdot 0.8} = 1.25 \cdot f_c(TE_{01})$$

La frecuencia de trabajo está centrada en el intervalo de las dos frecuencias

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

f_r

$$f_c(TE_{01}) = 1.25 \cdot f_c(TE_{10}) = 1.25 \cdot 8.8 \cdot 10^9 = 11.1 \text{ GHz}$$

Despejamos el valor de V_0 y obtenemos a continuación las dimensiones de la guía:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow V_0 = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{4}} = 15 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$b = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{f_c(\text{TE}_{01})} = \frac{15 \cdot 10^8}{2 \cdot 8'8 \cdot 10^9} = \boxed{8'4375 \text{ mm}}$$

$$a = 0'8 \cdot b = 0'8 \cdot 0'0084375 = \boxed{6'75 \text{ mm}}$$

b) La frecuencia de corte del modo fundamental la hemos calculado en el apartado anterior:

$$f_c(\text{TE}_{01}) = 8'8 \text{ GHz}$$

c) Nuestra frecuencia de trabajo es ahora:

$$f_T = 2 f_T = 20 \text{ GHz}$$

$$f_{c_{01}} = 8'8 \text{ GHz (TE}_{01}\text{)}$$

$$f_{c_{10}} = 11'7 \text{ GHz (TE}_{10}\text{)}$$

$$f_{c_{11}} = \frac{V_0}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2} \approx 14'23 \text{ GHz } \left\{ \begin{array}{l} \text{TE}_{11} \\ \text{TM}_{11} \end{array} \right\}$$

$$f_{c_{02}} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{2}{b} = 2 \cdot f_{c_{01}} = 17'7 \text{ GHz (TE}_{02}\text{)}$$

$$f_{c_{20}} = \frac{V_0}{2} \cdot \frac{2}{a} = 2 \cdot f_{c_{10}} = 22'2 \text{ GHz (TE}_{20}\text{)}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

d) Nuestra frecuencia de trabajo es $f_T = 10 \text{ GHz}$.

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi \cdot f_T}{c} \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{4} = 418'879 \text{ m}^{-1}$$

$$\tan \delta = 0'001$$

$$\alpha = \frac{\beta_0 \cdot \tan \delta}{2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c01}}{f_T}\right)^2}} = \frac{418'879 \cdot 0'001}{2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{8'8 \cdot 10^9}{10 \cdot 10^9}\right)^2}} \approx 0'45716 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha (\text{dB/m}) = 8'68 \cdot \alpha (\text{m}^{-1}) = 3'97 \text{ dB/m}$$

e) Nuestra frecuencia de trabajo es $f_T = \frac{10 \text{ GHz}}{2} = 5 \text{ GHz}$.

La frecuencia de corte del modo fundamental (TE_{01}) es de $8'8 \text{ GHz}$.

Esto quiere decir que estoy trabajando por debajo de la frecuencia de corte de la guía, por lo que no existe propagación de la onda en ella.

Esto implica que tendré mucha atenuación:

$$\gamma \equiv \alpha \equiv \text{REAL} \longrightarrow \alpha = \beta_0 \sqrt{\left(\frac{f_{c01}}{f_T}\right)^2 - 1}$$

$$\beta_0 = \frac{2\pi \cdot f_T}{c} \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 5 \text{ GHz}}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{4} \approx 209'43951 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha = 209'43951 \cdot \sqrt{\left(\frac{8'8 \cdot 10^9}{5 \cdot 10^9}\right)^2 - 1} \approx 307'8471 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha (\text{dB/m}) = 8'68 \cdot \alpha (\text{m}^{-1}) \approx 2673'926 \text{ dB/m}$$

Cartagena99

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left, creating a sense of motion or direction.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Septiembre 2007

PROBLEMA 2 (3 puntos)

Por una guía rectangular de dimensiones $a = 2,5b$ se propagan los dos primeros modos a la frecuencia de $f = 12$ GHz.

El campo eléctrico asociado a la onda que se propaga por la guía tiene la siguiente expresión:

$$\vec{E} = E_1 \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} \hat{y} + E_2 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{a}x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \hat{y}$$

La longitud de onda en el interior de la guía para el modo fundamental tiene el valor de 27,50 mm.

Calcule:

- Campo magnético asociado.
- Dimensiones de la guía y frecuencia de corte de los cuatro primeros modos.
- Valores de a , β_1 , β_2 .
- Relación que debe existir entre E_1 y E_2 para que la potencia que propaga cada uno de los modos sea la misma.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left, creating a sense of motion or direction.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Septiembre 2007. Problemas Se propagan bs 2 primarias modas; $f_t = 12$ GHz.

Guía Rectangular; $a = 2,5$ b;

$$\vec{E} = E_1 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} \hat{y} + E_2 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \hat{y} \quad \lambda_{gMF} = 27,50 \text{ mm.}$$

*) Por la ecuación de Maxwell: $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -j\omega\mu_0 \vec{H} \rightarrow \vec{H} = \frac{\nabla \times \vec{E}}{-j\omega\mu_0}$

$$\vec{H} = \frac{j}{\omega\mu_0} \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & E_y & 0 \end{vmatrix} = \frac{j}{\omega\mu_0} \left[-\frac{\partial E_y}{\partial z} \hat{x} + \frac{\partial E_y}{\partial x} \hat{z} \right] =$$

$$= \frac{j}{\omega\mu_0} \left[-\left[-j\beta_1 E_1 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} - j\beta_2 E_2 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \right] \hat{x} + \right.$$

$$\left. + \left[\frac{\pi}{a} E_1 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} + \frac{\pi}{a} E_2 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \right] \hat{z} \right]$$

$$= \frac{j}{\omega\mu_0} \left[j\beta_1 E_1 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} + j\beta_2 E_2 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \right] \hat{x} +$$

$$+ \frac{j}{\omega\mu_0} \left[\frac{\pi}{a} E_1 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_1 z} e^{j\omega t} + \frac{\pi}{a} E_2 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta_2 z} e^{j\omega t} \right] \hat{z}$$

*) $a = 2,5$ b $\rightarrow a > b \rightarrow$ Modo fundamental $\neq TE_{10}$.

$$\lambda_{gMF} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{cb}/f_t)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{f_t^2 - f_{cb}^2}}; \quad \lambda_{gMF} \sqrt{f_t^2 - f_{cb}^2} = c_0; \quad f_t^2 - f_{cb}^2 = \left(\frac{c_0}{\lambda_{gMF}}\right)^2;$$

$$f_{cb}^2 = f_t^2 - \left(\frac{c_0}{\lambda_{gMF}}\right)^2; \quad f_{cb} = \sqrt{f_t^2 - \left(\frac{c_0}{\lambda_{gMF}}\right)^2} = \sqrt{(12 \cdot 10^9)^2 - \left(\frac{3 \cdot 10^8}{27,5 \cdot 10^{-3}}\right)^2} = 5 \text{ GHz}$$

$$f_{TE_{10}} = \frac{c}{2b} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 12,5 \text{ GHz}$$

$$f_{cb} = 5 \text{ GHz}$$

$$f_{TE_{20}} = 2 \cdot f_{TE_{10}} = 10 \text{ GHz}$$

$$f_{TE_{11}} = f_{TM_{11}} = 13,46 \text{ GHz}$$

*) problemas a y b:

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\lambda = \frac{v}{f}; \quad \lambda_{g2} = \frac{c_0}{f_{g2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^9}$$

$$d) P_{T_{TE_{10}}} = \frac{|E_{0y}|^2 ab}{4 Z_{TE_{10}}} = \frac{E_1^2 ab \sqrt{1 - (5/12)^2}}{4 \eta_0}$$

$$\textcircled{*} = \frac{1 - \cos\left(\frac{4\pi x}{a}\right)}{2}$$

$$P_{T_{TE_{20}}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \iint_{\text{Sst}} (\vec{E}_t \times \vec{H}_t^*) \cdot \hat{z} \, dS_t = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_{y=0}^b \int_{x=0}^a \frac{\beta_2 E_2^2 \sin^2\left(\frac{\pi}{a} x\right)}{\omega \mu_0} \, dx dy =$$

$$= \frac{1}{2} \beta_2 b \frac{E_2^2}{\omega \mu_0} \frac{a}{2} \leftarrow \text{Todo dato excepto } E_2$$

$$\text{Para que } P_{T_{10}} = P_{T_{20}} \rightarrow \frac{E_1}{E_2} = 0,78$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROBLEMA 3 (3 puntos)

Julio 2011

Por una guía rectangular de dimensiones $a = 1,875b$ se envía una onda electromagnética en la dirección del eje z , de forma tal que se propagan tres modos diferentes. Cuando esta guía se termina en $z = 0$ por un cortocircuito se obtiene la siguiente expresión temporal de campo eléctrico en el interior de la guía para los dos modos de frecuencia de corte más baja:

$$\vec{E} = 20 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi z}{20,78}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos(\omega t) \hat{y} + 10 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi z}{43,64}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{\pi y}{b}\right) \cos(\omega t) \hat{x} \quad \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

donde x, y, z se miden en mm, a es la anchura de la guía, b es la altura de la guía.

Determine:

- Dimensiones de la guía y frecuencia de trabajo.
- Expresión temporal del campo eléctrico asociado al tercer modo que se propaga.

Si la guía se termina en $z = 0$ por una carga adaptada, calcule:

- Potencia que se propaga por la guía asociada a cada uno de los dos primeros modos con frecuencia de corte más baja.

Si no ha conseguido determinar las dimensiones de la guía y la frecuencia de trabajo, utilice en los apartados siguientes estos valores: $a = 9,375$ mm, $b = 5$ mm, $f = 33$ GHz.

Si la guía se termina en $z = 0$ por una carga adaptada y se rellena por un dieléctrico con $\epsilon_r = 4$ y $\tan(\delta) = 0,001$, calcule:

- Modos que se propagan a la frecuencia de trabajo.
- Atenuación que sufre el modo fundamental si la guía tiene una longitud de 10 m.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

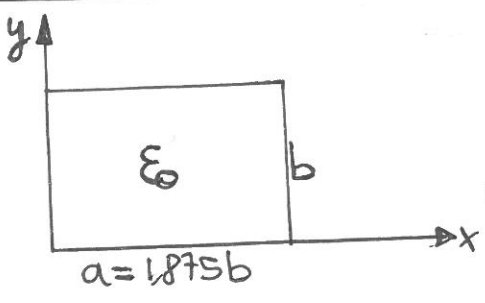
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white shadow is cast below the text.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Julio 2011



$$f_{cTE_{10}} = \frac{c_0}{2a}$$

$$f_{cTE_{20}} = \frac{c_0}{2a} \cdot 2$$

$$f_{cTE_{01}} = \frac{c_0}{2b} = \frac{c_0 \cdot 1,875}{2a}$$

3 modos

Si $z_L = 0 \rightarrow E_{TOTAL} = 20 \sin\left(\frac{0,7z}{20,78}\right) \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right) + 10 \sin\left(\frac{0,7z}{43,64}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \cos(\omega t) \hat{x} \hat{y} \hat{z} V/m^2$

$$\lambda_{g10} = 20,78 \text{ mm} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{c10}/f_T)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{f_T^2 - (c_0/2a)^2}}$$

$$\lambda_{g01} = 43,64 \text{ mm} = \dots = \frac{c_0}{\sqrt{f_T^2 - (c_0/2b)^2}}$$

$a = 1,875b$

$f_T = 16,50 \text{ GHz}$
 $a = 18,75 \text{ mm} \approx 18,75 \text{ mm}$
 $b = 10 \text{ mm} \approx 9,94 \text{ mm}$

$$f_{cTE_{10}} = \frac{c_0}{2a} = 8 \text{ GHz}$$

$$f_{cTE_{01}} = \frac{c_0}{2b} = 15 \text{ GHz}$$

$$f_{cTE_{20}} = \frac{c_0}{2a} \cdot 2 = 16 \text{ GHz}$$

$\epsilon_r = 1$ $b = \frac{a}{1,875}$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f_T}\right)^2} = \frac{c_0}{\lambda_{g10}} \quad \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c01}}{f_T}\right)^2} = \frac{c_0}{\lambda_{g01}}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\lambda_{g20} = \frac{c_0}{\sqrt{f_T^2 - (c_0/a)^2}}$$

c) Si $Z_L = Z_0 \rightarrow$ Expresiones de la choleta

$$\vec{E}_{TE_{10}} = 10 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta_g z} e^{j\omega t} \hat{y}$$

$$\vec{E}_{TE_{10}} = 5 \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) e^{-j\beta_g z} e^{j\omega t} \hat{x}$$

$P_{TE_{10}}$

$P_{TE_{01}}$

d) $f_1 = 16,5 \text{ GHz}$

$\epsilon_r = 4$

$\text{tg}\delta = 0,001$

$f_{c10} = 4 \text{ GHz}$

$f_{c01} = 7,5 \text{ GHz}$

$f_{c20} = 8 \text{ GHz}$

$f_{cTE_{11}} = f_{cTM_{11}} =$

e) $A_t(\text{dB}) = \alpha_d \cdot 8,7 \cdot 10 = \dots (\text{dB})$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROBLEMA 3 (3,5 puntos)

Se dispone de un cable coaxial de bajas pérdidas (debidas única y exclusivamente a los conductores), con constante dieléctrica relativa $\epsilon_r = 4$ y de longitud igual a 10 metros. Al comienzo del cable se le suministra una potencia de 100 mW a la frecuencia de 300 MHz, mientras que al final del mismo se colocan distintas cargas, midiéndose en cada caso la potencia reflejada al comienzo del cable, obteniéndose los siguientes resultados:

- 1) $Z_L = 25 \Omega$ $P_{ref} = 12 \text{ dBm}$
- 2) $Z_L = 150 \Omega$ $P_{ref} = 8,46 \text{ dBm}$
- 3) Se cortocircuita el cable $P_{ref} = 18 \text{ dBm}$

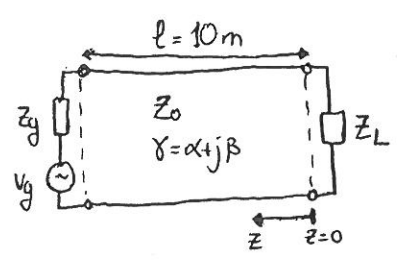
- a) Determine los parámetros primarios y secundarios del cable.
- b) Calcule en la carga la potencia incidente, reflejada y absorbida (en dBm) y el coeficiente de reflexión para los casos 1, 2 y 3.
- c) Calcule la impedancia normalizada que se ve al comienzo del cable en los casos 1, 2 y 3.
- d) Repita los apartados b) y c) cuando $Z_L = 150 + 150 j \Omega$. ¿Qué valor de potencia reflejada se mediría en este caso al comienzo del cable?
- e) Repita los apartados b) y c) cuando el cable se deja en circuito abierto y cuando se coloca una carga adaptada. ¿Qué valor de potencia reflejada se mediría en este caso al comienzo del cable? ¿Podría realizar este apartado si desconociera la impedancia característica del cable? Justifique la respuesta.

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue background with a subtle gradient and a soft shadow effect.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

PROB 3 JULIO 2010



$\epsilon_r = 4$
 $P_{inc} = 100 \text{ mW}$
 $f = 300 \text{ MHz}$

| CASO | Z_L | Potencia (dBm) | Potencia (mW) |
|------|--------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 25Ω | 12 dBm | 10^{12} mW |
| 2 | 150Ω | 8.46 dBm | $10^{0.846} \text{ mW}$ |
| 3 | 0 | 18 dBm | $10^{1.8} \text{ mW}$ |

BAJAS PÉRDIDAS (SÓLO EN CONDUCTORES)

$$P_{\text{entrada}} (\text{mW}) = P_{\text{inc}} (\text{mW}) \cdot e^{-2\alpha l} \cdot |R|^2 \cdot e^{-2\alpha l}$$

a) CASO ③: $Z_L = 0 \Rightarrow \rho_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = -1 \Rightarrow P_{\text{entrada}} (\text{mW}) = P_{\text{inc}} (\text{mW}) \cdot e^{-4\alpha \cdot l} \cdot |-1|^2$
 $10^{1.8} = 100 \cdot e^{-40\alpha}$
 $\alpha = \frac{\ln\left(\frac{10^{1.8}}{100}\right)}{-40} = 0.0115 \text{ (Np/m)}$

Esta atenuación es sólo debida a pérdidas en los conductores y es la misma en los tres casos.

CASO ①: $Z_L = 25 \Rightarrow P_{\text{entrada}} (\text{mW}) = P_{\text{inc}} (\text{mW}) \cdot e^{-4\alpha \cdot l} \cdot \left|\frac{25 - Z_0}{25 + Z_0}\right|^2$
 $10^{12} = 100 \cdot e^{-40 \cdot 0.0115} \cdot \left|\frac{25 - Z_0}{25 + Z_0}\right|^2$
 Hay dos posibles soluciones, si $25 > Z_0$ ó si $25 < Z_0$: $\begin{cases} Z_0 = 8.33 \Omega \\ Z_0 = 75 \Omega \end{cases}$

Hemos supuesto $Z_0 \in \mathbb{R}$.

CASO ②: $Z_L = 150 \Omega \Rightarrow P_{\text{entrada}} (\text{mW}) = P_{\text{inc}} (\text{mW}) \cdot e^{-4\alpha \cdot l} \cdot \left|\frac{150 - Z_0}{150 + Z_0}\right|^2$
 $10^{0.846} = 100 \cdot e^{-40 \cdot 0.0115} \cdot \left|\frac{150 - Z_0}{150 + Z_0}\right|^2$
 Hay dos posibles soluciones, si $150 > Z_0$ y si $150 < Z_0$: $\begin{cases} Z_0 = 75 \Omega \\ Z_0 = 300 \Omega \end{cases}$

Hemos supuesto $Z_0 \in \mathbb{R}$.

La solución de Z_0 que es compatible en los tres casos es $Z_0 = 75 \Omega$.

Por otro lado: $\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon_r} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} \sqrt{4} = 4\pi \text{ (rad/m)}$

Así pues: $\gamma = \alpha + j\beta = 0.0115 + j4\pi \text{ (m}^{-1}\text{)} \equiv$ Constante de propagación $\begin{cases} \alpha = 0.0115 \text{ (Np/m)} \equiv \text{Constante de ATENUACIÓN.} \\ \beta = 4\pi \text{ (rad/m)} \equiv \text{Constante de FASE.} \end{cases}$
 Parámetros secundarios $\begin{cases} Z_0 = 75 \Omega \equiv \text{Impedancia característica.} \end{cases}$

Los parámetros primarios son: L, C, G y R.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



$$b) \quad P_{\text{inc carga}} (\text{mw}) = P_{\text{inc}} (\text{mw}) \cdot e^{-2\alpha L} = 100 \cdot e^{-20 \cdot 0'0115} = 79'453 \text{ mw} \Rightarrow P_{\text{inc carga}} (\text{dBm}) = 10 \log P_{\text{inc carga}} (\text{mw}) = 19 \text{ dBm}$$

Esta potencia es la misma en los tres casos porque no depende de Z_L .

$$P_{\text{ref carga}} (\text{mw}) = P_{\text{inc carga}} (\text{mw}) \cdot |P_L|^2$$

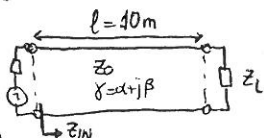
- CASO ①: $P_{\text{ref carga}} (\text{mw}) = 79'453 \cdot \left| \frac{25-75}{25+75} \right|^2 = 19'863 \text{ mw} \cong 13 \text{ dBm}$
- CASO ②: $P_{\text{ref carga}} (\text{mw}) = 79'453 \cdot \left| \frac{150-75}{150+75} \right|^2 = 8'828 \text{ mw} \cong 9'46 \text{ dBm}$
- CASO ③: $P_{\text{ref carga}} (\text{mw}) = 79'453 \cdot \left| \frac{0-75}{0+75} \right|^2 = 79'453 \text{ mw} \cong 19 \text{ dBm}$

Lógicamente $P_{\text{absorbida carga}} (\text{mw}) = P_{\text{disipada carga}} (\text{mw}) = P_{\text{inc}} (\text{mw}) - P_{\text{ref carga}} (\text{mw})$

- CASO ①: $59'59 \text{ mw} \cong 17'75 \text{ dBm}$
- CASO ②: $70'625 \text{ mw} \cong 18'49 \text{ dBm}$
- CASO ③: $0 \text{ mw} \cong -\infty \text{ dBm}$

$$P_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \begin{cases} \text{CASO ①: } P_L = \frac{-1}{2} \\ \text{CASO ②: } P_L = \frac{1}{3} \\ \text{CASO ③: } P_L = -1 \end{cases}$$

c) Hay varias formas de hacerlo:



$$1^{\text{a}} \text{ forma: } Z_{\text{IN}} = Z_0 \cdot \frac{Z_L + Z_0 \cdot \text{th}(\gamma l)}{Z_0 + Z_L \cdot \text{th}(\gamma l)} \Rightarrow \bar{Z}_{\text{IN}} = \frac{Z_L + Z_0 \cdot \text{th}(10\gamma)}{Z_0 + Z_L \cdot \text{th}(10\gamma)}$$

$$\text{Operamos } \text{th}(10\gamma) = \text{th}(0'115 + j40\pi) = \frac{e^{10\gamma} - e^{-10\gamma}}{e^{10\gamma} + e^{-10\gamma}} = \frac{1 - e^{-20\gamma}}{1 + e^{-20\gamma}} = \frac{1 - e^{-0'23} \cdot e^{-j80\pi}}{1 + e^{-0'23} \cdot e^{-j80\pi}} =$$

$$= \left\{ e^{-j80\pi} = 1 \right\} = \frac{1 - e^{-0'23}}{1 + e^{-0'23}} = 0'1145$$

Así pues:

- CASO ①: $\bar{Z}_{\text{IN}} = \frac{25 + 75 \cdot 0'1145}{75 + 25 \cdot 0'1145} = 0'431$
- CASO ②: $\bar{Z}_{\text{IN}} = \frac{150 + 75 \cdot 0'1145}{75 + 150 \cdot 0'1145} = 1'72$
- CASO ③: $\bar{Z}_{\text{IN}} = \frac{0 + 75 \cdot 0'1145}{75 + 0} = 0'1145$

2^a forma: Sabemos que el coeficiente de reflexión a la entrada es:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

d) Si $Z_L = 150 + j150 \ (\Omega)$

$P_{inc\ carga} \ (mw) = 79'453 \ mw \Rightarrow P_{inc\ carga} \ (dBm) = 19 \ dBm$

$P_{ref\ carga} \ (mw) = 79'453 \cdot |P_L|^2 = 79'453 \cdot \left| \frac{150 + j150 - 75}{150 + j150 + 75} \right|^2 = 79'453 \cdot (0'62)^2 = 30'54 \ mw$

$P_{ref\ carga} \ (dBm) = 14'85 \ dBm$

$P_{absorbida\ carga} \ (mw) = P_{disipada\ carga} \ (mw) = P_{inc\ carga} \ (mw) - P_{ref\ carga} \ (mw) = 48'913 \ mw$

$P_{absorbida} \ (dBm) = 16'89 \ dBm$

$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{150 + j150 - 75}{150 + j150 + 75} = \frac{75 + j150}{225 + j150} = 0'53846 + j0'3077 = 0'62 \cdot e^{j0'52 \ rad}$ ADIM.

$P_{ref\ entrada} \ (mw) = P_{ref\ carga} \cdot e^{-2\alpha \cdot l} = 30'54 \cdot e^{-20 \cdot 0'0115} = 24'265 \ mw$

$P_{ref\ entrada} \ (dBm) = 13'85 \ dBm$

$\overline{Z_{IN}} = \frac{Z_L + Z_0 \cdot th(10\alpha l)}{Z_0 + Z_L \cdot th(10\alpha l)} = \frac{150 + j150 + 75 \cdot 0'1145}{75 + (150 + j150) \cdot 0'1145} = 1'96 + j1'1$

e) $\odot Z_L = \infty \quad \Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = +1 \Rightarrow |P_L| = 1$

$P_{inc\ carga} \ (mw) = 79'453 \ (mw) \Rightarrow P_{inc\ carga} \ (dBm) = 19 \ dBm$

$P_{ref\ carga} \ (mw) = 79'453 \ (mw) \Rightarrow P_{ref\ carga} \ (dBm) = 19 \ dBm$

$P_{absorbida\ carga} \ (mw) = 0 \ (mw) \Rightarrow P_{absorbida\ carga} \ (dBm) = -\infty \ dBm$

$P_{ref\ entrada} \ (mw) = P_{ref\ carga} \ (mw) \cdot e^{-2\alpha \cdot l} = 63'128 \ mw \Rightarrow P_{ref\ entrada} \ (dBm) = 18 \ dBm$

$\overline{Z_{IN}} = \frac{Z_L + Z_0 \cdot th(10\alpha l)}{Z_0 + Z_L \cdot th(10\alpha l)} = \frac{1}{th(10\alpha l)} = \frac{1}{0'1145} = 8'73$

$\odot Z_L = Z_0 \quad \Gamma = 0$

$P_{inc\ carga} \ (dBm) = 19 \ dBm$

$P_{ref\ carga} \ (dBm) = -\infty \ dBm$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Este apartado e) se podría realizar sin conocer Z_0 ya que cuando está terminada

PROBLEMA 3 (2.5 puntos)

Por una guía rectangular se envía en el modo fundamental a la frecuencia de 10 GHz una onda electromagnética en la dirección del eje z . La frecuencia de trabajo es la frecuencia central del intervalo en el que ocurre propagación en un único modo. Cuando esta guía se termina en $z = 0$ por un circuito abierto se obtiene la siguiente expresión temporal de campo eléctrico en el interior de la guía:

$$\vec{E} = 20 \cos\left(\frac{2\pi z}{50}\right) \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos(\omega t) \hat{y} \quad \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

donde x, z se miden en mm, a es la anchura de la guía.

Determine:

- Expresión temporal del campo magnético en el interior de la guía.
- Dimensiones de la guía y frecuencias de corte de los cuatro primeros modos.
- Potencia media que se propaga por la guía.
- Expresión temporal del campo eléctrico si la guía se termina en $z = 0$ en una carga adaptada.
- Expresión temporal del campo eléctrico si la guía se termina en $z = 0$ en un cortocircuito.

The logo for 'Cartagena99' features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue background with a subtle gradient and a soft shadow effect.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left, creating a sense of motion or direction.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Problema 3

$$\vec{E} = 20 \cos\left(\frac{2\pi z}{50}\right) \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos \omega t \hat{y} \text{ (Vm}^{-1}\text{)} \text{ si } z_2 = \infty$$

$$f_T = 10 \text{ GHz} = f_{\text{central}}$$

Modo fend.

$$\text{¿) ¿ } \vec{H}(t)? \quad \vec{H} = \frac{\nabla \times \vec{E}}{-j\omega \mu_0} \quad \vec{E} = 2 E_0 \cos(\beta_g z) \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{j\omega t} \hat{y}$$

¿) ¿ a y b?

$$\lambda_{g_{MF}} = 50 \text{ nm} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_0/f_T)^2}} \rightarrow f_{c_{MF}} = 8 \text{ GHz} \rightarrow \text{Como } a > b \text{ ya que el MF es el TE}_{10} \text{ por la expresión dada.}$$

$$f_{c_{TE_{10}}} = \frac{c_0}{2a} = 8 \text{ GHz} \rightarrow a = 18,75 \text{ mm}$$

$$f_{c_{TE_{01}}} = 12 \text{ GHz} = f_{c_{TE_{01}}} = \frac{c_0}{2b} \rightarrow b = 12,5 \text{ mm}$$

$$f_T = 10 \text{ GHz sea la } f_{\text{central}}$$

$$f_{c_{TE_{11}}} = f_{c_{TM_{11}}} = 14,42 \text{ GHz}$$

→ En ondas estacionarias no se disipa potencia.

$$\text{¿) } \langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E}_{\text{tot}} \times \vec{H}_{\text{tot}}^*) = \dots = 0$$

$$\vec{E}_{\text{to}}(t) = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos(\omega t - \beta_{g10} z) \hat{y}$$

$$\text{siendo } \omega = 2\pi \cdot 10^{10} \text{ rad/s}^{-1}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left is positioned below the text.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

PROB 2 JUNIO 2010.

* Esta fórmula solo vale para TE₁₀

Por una guía rectangular de dimensiones óptimas se propaga en el modo fundamental a la frecuencia de 9 GHz una onda electromagnética de 1 W de potencia. Esta frecuencia coincide con la frecuencia central del intervalo de frecuencias para las que existe propagación en un único modo.

Determine:

a) Dimensiones de la guía.

$$f_r = f_{c10} + \frac{f_{c20} - f_{c10}}{2} \quad f_{c20} = f_{c01} = 2f_{c10}$$

$$f_{c10} = \frac{2}{3}f_r = 6 \text{ GHz} \quad f_{c20} = 12 \text{ GHz}$$

$$a = \frac{c}{2f_{c10}} = 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm} \quad b = \frac{c}{2f_{c01}} = 0,0125 \text{ m} = 12,5 \text{ mm}$$

b) Valor de la amplitud máxima del campo eléctrico.

$$P_r = \frac{E_0^2 ab}{4Z_{TE}} = 1 \text{ W}$$

$$Z_{TE} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}} = 505,8 \Omega$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{4P_r Z_{TE}}{ab}} = 2544 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

c) Expresión matemática del campo eléctrico.

$$\vec{E} = E_0 \text{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z) \hat{y} \quad E_0 = 2544 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \quad a = 0,025 \text{ m}$$

$$\lambda_x = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}} = 0,0477 \text{ m} \quad \beta_z = \frac{2\pi}{\lambda_x} = 140,6 \text{ m}^{-1}$$

d) Densidad superficial de corriente que se induce en las dos paredes más estrechas de la guía.

$$\vec{E} = E_0 \text{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z) \hat{y}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & E_y & 0 \end{vmatrix} = \hat{x} \left(-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right) + \hat{z} \left(\frac{\partial E_y}{\partial x}\right) =$$

$$= \hat{x} j\beta_z E_0 \text{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z) + \hat{z} \frac{\pi}{a} E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z)$$

$$H_x = -\frac{\beta_z}{\omega\mu} E_0 \text{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z)$$

$$H_z = \frac{1}{-j\omega\mu a} \frac{\pi}{a} E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-j\beta_z z)$$

Paredes más estrechas de la guía:

$$x=0 \quad H_x = 0$$

$$H_x = \frac{1}{-j\omega\mu a} \frac{\pi}{a} E_0 \exp(-j\beta_z z)$$

$$x=a \quad H_x = 0$$

$$H_x = \frac{1}{-j\omega\mu a} \frac{\pi}{a} E_0 (-1) \exp(-j\beta_z z)$$

$$\vec{J}_s(x=0) = \hat{n} \times \vec{H} = \hat{x} \times H_z \hat{z} = \frac{1}{-j\omega\mu a} \frac{\pi}{a} E_0 \exp(-j\beta_z z) (-\hat{y})$$

$$\vec{J}_s(x=a) = \hat{n} \times \vec{H} = -\hat{x} \times H_z \hat{z} = \frac{1}{-j\omega\mu a} \frac{\pi}{a} E_0 (-1) \exp(-j\beta_z z) (\hat{y})$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left, creating a sense of motion or direction.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Transmisión y Propagación de Ondas II

Problema 2

Julio 2010

Por una guía (rectángulo de dimensiones infinitas se mide en el modo fundamental a la frecuencia de 10 GHz) una onda electromagnética en la dirección del eje x . Cuando esta guía se termina en $x=0$ por un cortocircuito se obtiene la siguiente expresión temporal de campo eléctrico en el interior de la guía:

$$E_x = 20 \text{ sen} \left(\frac{2\pi x}{37.5} \right) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t) \quad \text{V/m}^2$$

donde x, y, z miden en mm, o en la anchura de la guía.

Determinar:

a) Expresión temporal del campo magnético en el interior de la guía.

$$E_x = 2E_0 \text{ sen}(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z} \quad \text{V/m}^2 \quad \beta_0 = \frac{2\pi}{37.5} \text{ mm}^{-1} \quad E_0 = 10 \text{ V/m}^2$$

$$\nabla \times E = -\text{rot} H \quad \frac{\partial}{\partial x} \begin{pmatrix} z \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z \\ \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial E_x}{\partial x} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z \\ -\frac{\partial E_x}{\partial x} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

$f_{10} = 10 \text{ GHz}$ $f_{10} = f_{01} = 2f_{01} = 12 \text{ GHz}$

Propagación en un único modo: entre 6 y 12 GHz

1) Potencia media que se propaga por la guía.

$$E_x = 2E_0 \text{ sen}(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z}$$

$$H_z = -j \frac{\beta_0}{\omega \mu_0} 2E_0 \cos(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z}$$

$$(E_x) = \frac{1}{2} \text{Re} \{ E_x \} = \frac{1}{2} \text{Re} \left[2E_0 \text{ sen}(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z} \right] = E_0 \text{ sen}(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z}$$

$$(H_z) = 0 \Rightarrow P = 0$$

Nota
 * Siempre que han pedido la potencia media hacedlo o

b) Dimensiones de la guía y rango de frecuencias en las que ocurre propagación en un único modo.

Como la guía está terminada en cortocircuito, la onda avanza entre el primer mínimo de campo eléctrico y el cortocircuito en la mitad de la longitud de onda dentro de la guía.

$$E_x = 20 \text{ sen} \left(\frac{2\pi x}{37.5} \right) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t) \quad z = 0$$

$$\text{sen} \left(\frac{2\pi x}{37.5} \right) = 0 \quad \frac{2\pi x}{37.5} = n\pi \quad x_{\text{min}} = n \frac{37.5}{2} = n \frac{\lambda}{2} \quad \lambda_1 = 37.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 = \frac{37.5}{2} = 18.75 \text{ mm} \quad f_{10} = f = \frac{c}{\lambda_2} = 10 \text{ GHz}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \lambda_2 = \frac{c}{f} = 0.03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

$$a = \frac{c}{2f_{10}} = 0.025 \text{ m} = 25 \text{ mm} \quad b = 25 \text{ mm}$$

$$f_{10} = 6 \text{ GHz} \quad b = \frac{a}{2} = 0.0125 \text{ m} = 12.5 \text{ mm} \quad \beta = 12.5 \text{ mm}^{-1}$$

d) Expresión temporal del campo eléctrico si la guía se termina en $x=0$ en una carga adaptada.

En este caso únicamente existe la onda incidente:

$$E_x = E_0 \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z} \quad E_z = E_0 \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t - \beta_0 z)$$

e) Expresión temporal del campo eléctrico si la guía se termina en $x=0$ en una carga de impedancia normalizada $1 + j$.

$$E_x = E_0 + E_r \quad E_z = E_0 \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z} \quad E_z = \rho_0 E_0 \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) e^{-\alpha z}$$

$$E_x = |E_x| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta_0 z) \quad E_z = |E_z| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta_0 z)$$

$$\rho_0 = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \quad |Z_L| = 0.447 \quad \theta_L = 63.44^\circ = 1.07 \text{ rad}$$

$$E_x = E_0 \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t - \beta_0 z) \quad E_z = |E_z| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta_0 z + \theta_L)$$

$E_x = \left(\frac{\pi x}{a} \right) + j \frac{\pi}{a} 2E_0 \text{ sen}(\beta_0 z) \cos \left(\frac{\pi x}{a} \right)$

$$E_z = \frac{\pi x}{a} \cos(\omega t - \beta_0 z)$$

$$\text{sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t - \beta_0 z)$$

$$\cos \left(\frac{\pi x}{a} \right) \cos(\omega t + \beta_0 z)$$

Expresiones temporales de los campos

$$E = E_x + E_z$$

$$\cos(\omega t - \beta_0 z)$$

$$\text{sen}(\omega t - \beta_0 z)$$

$$\cos(\omega t + \beta_0 z)$$

$$\text{sen}(\omega t + \beta_0 z)$$

$$2E_0 \cos(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \text{ sen}(2\omega t)$$

$$\frac{\beta_0}{\omega \mu_0} 2E_0 \cos(\beta_0 z) \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \text{ sen}(2\omega t)$$

$$\Rightarrow P = 0$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$|\vec{E}_{\text{TOTAL}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}| + |\vec{E}_{\text{ref}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}| \cdot \sqrt{1 + |p_L|^2 + 2|p_L| \cos(2\beta_g z + \phi_L)}$$

Si $z_L = 0 \rightarrow \phi_L = -\pi$

$|p_L| = 1$

$\phi_L = \pi$

$$|\vec{E}_{\text{TOTAL}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}| \cdot 2 \cdot \sin(\beta_g z)$$

Si $z_L = \infty \rightarrow p_L = +1$

$|p_L| = 1$

$\phi_L = 0$

$$|\vec{E}_{\text{TOTAL}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}| \cdot 2 \cdot \cos(\beta_g z)$$

• Si $z_L = \pm j\alpha g$

$|p_L| = +1$

$p_L = ?$

$$|\vec{E}_{\text{TOTAL}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1 + \cos(2\beta_g z + \phi_L)}$$

• Si $z_L = z_0 \rightarrow p_L = 0$

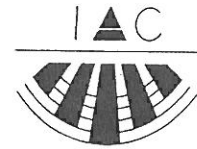
$$|\vec{E}_{\text{TOTAL}}| = |\vec{E}_{\text{inc}}|$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



TRANSMISIÓN Y PROPAGACIÓN DE ONDAS II

DICIEMBRE 2010

PROBLEMA 1 (2.5 puntos)

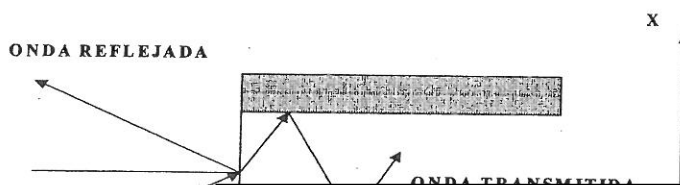


En la figura se muestra una fibra óptica compuesta de un núcleo de material dieléctrico revestido por otro dieléctrico de índice de refracción $n = 1.8$. Se observa que cuando una onda incide desde el vacío normalmente sobre el núcleo de la fibra, la onda reflejada tiene una potencia 9.54 dB inferior a la onda incidente. Suponiendo que en todos los apartados posteriores el campo eléctrico asociado a la onda se encuentra polarizado linealmente y contenido en el plano de la figura, determine:

- El ángulo de incidencia desde el vacío al núcleo de la fibra para que se transmita toda la onda.
- El máximo valor del ángulo de incidencia desde el vacío al núcleo de la fibra para que se pueda obtener propagación guiada en el interior de la fibra.
- Porcentaje de potencia que se transmite al interior de la fibra en las condiciones del apartado anterior.
- Si se observa que en el interior de la fibra el campo magnético asociado a la onda tiene la siguiente expresión:

$$\vec{H} = H_0 \exp\left\{j\left(\omega t - \frac{\beta}{\sqrt{2}}[x + z]\right)\right\} \hat{y}$$

determine la expresión del campo eléctrico asociado a la onda y deduzca si la onda se propagará confinada dentro de la fibra o no.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

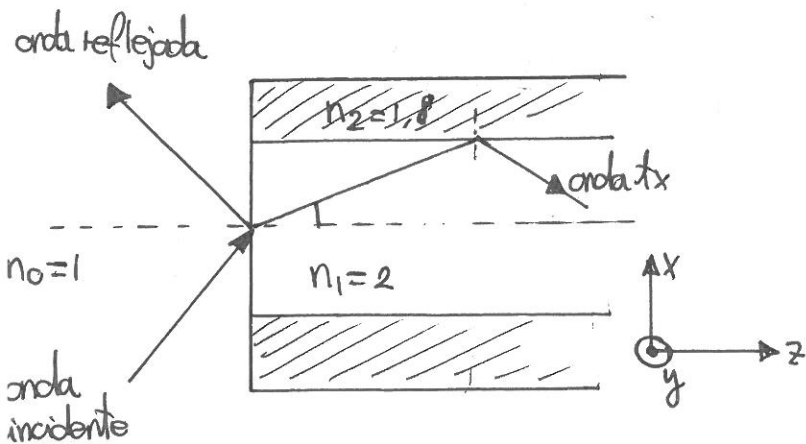
Cartagena99

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is larger and more prominent. The text is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right. Below the text is a thick orange horizontal bar.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

• Problema de Examen •



Como si hay incidencia normal desde el aire al núcleo (refl. inc) la reflejada tiene 9,54 dB. menos que la incidente, entonces:

$$P_{ref} = |r|^2 \cdot P_{inc}$$

$$10 \log \frac{P_{ref}}{P_{inc}} = 10 \log |r|^2 = -9,54 \rightarrow |r| = 0,333 = \frac{1}{3}$$

Además:
$$r = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \rightarrow \frac{|n_0 - n_1|}{|n_0 + n_1|} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{|1 - n_1|}{|1 + n_1|} = \frac{1}{3} \rightarrow \boxed{n_1 = 2}$$

Como $n_1 > n_0$

1) Pilbolla!
La única forma en que hay transmisión total en incidencia oblicua, es cuando $\alpha_i = \alpha_B = \arctg\left(\frac{n_1}{n_0}\right)$ y el campo eléctrico incidente tiene polarización lineal paralela.

Del enunciado sabemos que \vec{E}_{inc} tiene polarización lineal paralela y por tanto debe ser: $\alpha_i = \alpha_B = \arctg\left(\frac{2}{1}\right) = 63,43^\circ$

↳ Con este α_i , toda la onda incidente pasaría al núcleo.

2) B.L.A., B.L.A... → Que la onda llegue con $\alpha_i \geq \alpha_c$ entre núcleo y cubierta debe ser:

$$\alpha_{inc} = \alpha_c = \arcsin(NA) = \arcsin\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 60,67^\circ$$

Como máximo podemos incidir

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



$$\frac{d}{dt} \rightarrow H = H_0 e^{j(\omega t - \beta(\frac{x+z}{\sqrt{2}}))} \hat{y}$$

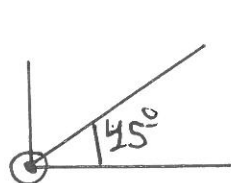
El núcleo es dieléctrico

Sobemos por Maxwell: $\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + j\omega \epsilon \vec{E} = \vec{0} + j\omega \epsilon \vec{E} = j\omega \epsilon \vec{E}$

$$\vec{E} = \frac{\nabla \times \vec{H}}{j\omega \epsilon} = \frac{-j}{\omega \epsilon} \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & H_y & 0 \end{vmatrix} = \dots$$

El ángulo crítico entre núcleo - cubierta es: $\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsen\left(\frac{1}{2}\right) = 64,158^\circ$

Observando la expresión de \vec{H} su dirección de propagación es $\frac{x+z}{\sqrt{2}}$



$\frac{\hat{x} + \hat{z}}{\sqrt{2}}$ → incide con 45° en la cubierta.

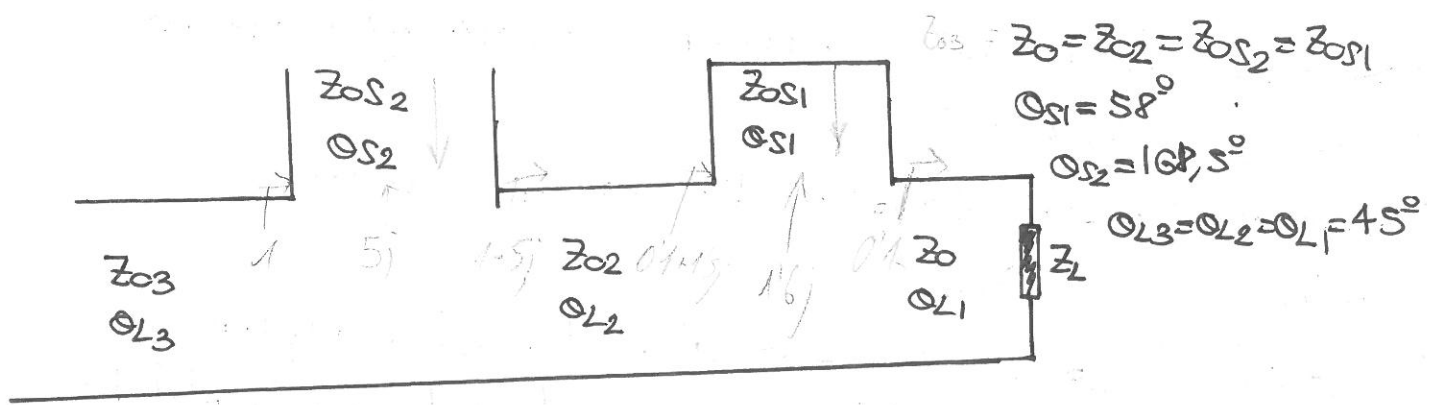
$45^\circ < 64,158^\circ$ → No se tx todo por la cubierta.

No se produce reflexión total.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



¿Cuál es Z_L ?

- a) $25 - 25j$ b) $25 + 25j$ c) $50 + 50j$ d) $50 + 50j$

2) Si se modifica únicamente la impedancia característica del 1º stub a $Z_{0S1} = 100 \Omega$.
 ¿Cuál es la longitud del 1º stub θ_{S1} que permite que la red siga adaptada?

- a) $\theta_{S1} = 146,3^\circ$ b) $\theta_{S1} = 38,7^\circ$ c) $\theta_{S1} = 29^\circ$ d) θ_{S1} no existe.

3) Si se modifica únicamente la impedancia característica del 2º stub a $Z_{0S2} = 25 \Omega$.
 ¿Cuál es la longitud del 2º stub para que siga adaptado?

- a) $\theta_{S2} = 146,3^\circ$ b) $\theta_{S2} = 80,1^\circ$ c) $\theta_{S2} = 49,5^\circ$ d) θ_{S2} no existe.

con $Z_{0S1} = Z_{0S2} = 50 \Omega$

1) Modificando $0 < \theta_{S2} \leq 180^\circ$ longitudinal para que el módulo del coeficiente de reflexión sea de -10 dB :

- a) Existe una única longitud $\theta_{S2} = 156,8^\circ$
- b) Existe una única longitud $\theta_{S2} = 164,7^\circ$
- c) Existen dos longitudes, una de ellas $\theta_{S2} = 164,7^\circ$
- d) Modificando θ_{S2} no se puede obtener un $| \rho | = 10 \text{ dB}$.

2) Modificando $0 < \theta_{S2} \leq 180^\circ$ longitudinal para que el módulo del coeficiente de reflexión

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



a) Modificando θ_{S2} no se puede obtener un $| \rho | = 0 \text{ dB}$

- 5) Modificando exclusivamente las longitudes de los stubs ($0 < \theta_{S1} \leq 180^\circ$ y $0 < \theta_{S2} \leq 180^\circ$) encuentre si es posible una nueva red de adaptación
- i) ¿Cuál es el valor de θ_{S1} ?
- a) $\theta_{S1} = 238^\circ$ b) $\theta_{S1} = 180^\circ$ c) $\theta_{S1} = 148^\circ$ d) \nexists otra red de adaptación.
- ii) ¿Cuáles es el valor de θ_{S2} ?
- a) $\theta_{S2} = 90^\circ$ b) $\theta_{S2} = 67,7^\circ$ c) $\theta_{S2} = 45^\circ$ d) \nexists otra red de adaptación.
- Se vuelve a los valores de partida, pero se permite modificar la longitud θ_{L1} de la LT $0 < \theta_{L1} \leq 180^\circ$. El sintonizador está formado por los stubs ($0 < \theta_{S1} \leq 180^\circ$ y $0 < \theta_{S2} \leq 180^\circ$)
- 6) i) ¿Para qué longitud de la LT ($0 < \theta_{L1} \leq 180^\circ$) la selección del sintonizador es crítica?
- a) Existe una crítica longitudinal $\theta_{L1} = 108,4^\circ$
- b) Existe una crítica longitudinal $\theta_{L1} = 45^\circ$
- c) Existen 2 longitudes, una de ellas $\theta_{L1} = 135^\circ$.
- d) Modificando θ_{L1} no se puede.
- ii) ¿Para qué longitud de la LT ($0 < \theta_{L1} \leq 180^\circ$) la selección del sintonizador no existe?
- a) $\theta_{L1} = 55^\circ$
- b) $\theta_{L1} = 90^\circ$
- c) $\theta_{L1} = 125^\circ$
- d) Para cualquier longitud.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROBLEMA 1. (4 Ptos.)

Por una guía rectangular de dimensiones óptimas se envía una potencia de 10 dBm en la dirección del eje z, a la frecuencia de 25 GHz mediante el modo fundamental TE₁₀ cuyo campo eléctrico tiene la siguiente expresión:

$$\vec{E} = E_0 \operatorname{sen} \left(\frac{\pi x}{a} \right) \exp(-j\beta_x z) \exp(j\omega t) \hat{y}$$

siendo a la anchura de la guía.

Cuando la guía se termina por un cortocircuito, se observa que el mínimo de campo eléctrico más cercano a la carga está a una distancia de 10 mm de la carga.

Determine:

- El campo magnético asociado a este modo.
- Las dimensiones de la guía.
- Qué otros modos se propagan a las frecuencias de 25 GHz y 50 GHz.
- La potencia reflejada y disipada en la carga.
- La expresión general del campo eléctrico debido a la superposición de la onda incidente y la onda reflejada.
- La amplitud del campo eléctrico en función de E_0 en los puntos que están a una distancia del cortocircuito: 1.25 mm, 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm y 10mm.
- El valor de E_0 .

Este apartado
es teoría →

9) ¿E_c?

$$P_{inc} = P_{T_{TE_{10}}} = \frac{|E_c|^2 ab}{4 \cdot Z_{T_{TE_{10}}}} = 10^{-2} \text{ W}$$

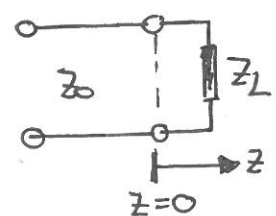
$$E_c = 944,5 \text{ V}$$

The logo for Cartagena99 features the text "Cartagena99" in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue background that includes a white arrow pointing to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$e) \quad |E_{TOTAL}| = |E_{inc} + E_{ref}| = \left| E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta_g z} e^{j\omega t} \hat{y} + \rho_L E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{j\beta_g z} e^{j\omega t} \hat{y} \right| =$$



$$= |E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta_g z} e^{j\omega t} \hat{y}| \cdot |1 + \rho_L e^{+j2\beta_g z}| =$$

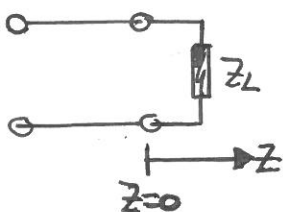
$$= |E_0| \left| \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \right| \cdot |1 + \rho_L e^{j\ell} \cdot e^{j2\beta_g z}| =$$

$$= E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \left| 1 + |\rho_L| \cos(\ell + 2\beta_g z) + j |\rho_L| \sin(\ell + 2\beta_g z) \right| =$$

→ es la misma expresión que en ldt

$$= E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot \sqrt{1 + |\rho_L|^2 + 2|\rho_L| \cos(2\beta_g z + \ell)}$$

$z \leq 0$



$$\rho_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Casos Particulares

- Si $Z_L = 0 \rightarrow \rho_L = -1$

$\left. \begin{array}{l} \rightarrow |\rho_L| = 1 \\ \rightarrow \ell = \pi \end{array} \right\}$

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$$

$$|E_{TOTAL}| = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot \sqrt{1 + 1 - 2 \cos(2\beta_g z)} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \cos(2\beta_g z)}$$

$$= E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot |\sin(\beta_g z)| = 2 E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) |\sin(\beta_g z)|$$

vectorialmente podemos escribir $\rightarrow \vec{E}_{TOTAL} = 2 E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) |\sin(\beta_g z)| e^{j\omega t} \hat{y}$

Si $Z_L = \infty \rightarrow \rho_L = +1$

$\left. \begin{array}{l} \rightarrow |\rho_L| = 1 \\ \rightarrow \ell = 0 \end{array} \right\}$

$$|E_{TOTAL}| = 2 E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos(\beta_g z)$$

vectorialmente podemos escribir: $\vec{E}_{TOTAL} = 2 E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos(\beta_g z) e^{j\omega t} \hat{y}$

Si $Z_L = Z_0 \rightarrow \rho_L = 0$

$$|E_{TOTAL}| = E_{inc} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta_g z} \cdot e^{j\omega t} \hat{y}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

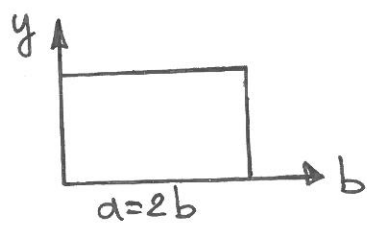
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$z = -1,25 \text{ mm}$

$z = -2,5 \text{ mm}$

$z = -10 \text{ mm}$

• Problema Guía CS. → Febrero 2011 → Febrero 2011 → Se repitió.



$P_{inc} = 10 \text{ dBm} = 10^{-2} \text{ W}$
 $f_T = 25 \text{ GHz}$
 $TE_{10}: \vec{E} = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta y z} e^{j\omega t} \hat{y}$

Si $z_L = 0$ el mínimo más cercano a la carga está a 10 mm .

¿) \vec{H} ? → Por Maxwell

$$\vec{H}(\vec{r}) = \frac{\nabla \times \vec{E}}{-j\omega\mu_0} = \frac{j}{\omega\mu_0} \left[\frac{\partial E_y}{\partial x} \hat{z} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \hat{x} \right] = \dots$$

¿) a y b ?

$a = 2b$ → Guía de dimensiones óptimas.

Pillab!

Si se termina en cortocircuito: $z_{guía}$ $z_L = 0$

$$P_L = \frac{z_L - z_{guía}}{z_L + z_{guía}} = -1 \rightarrow \text{mínimo en } z_L$$

Como la distancia entre máximos y mínimos es $\frac{\lambda_g}{4}$ tenemos que: $10 \text{ mm} = \frac{\lambda_g}{2} \rightarrow \lambda_g = 20 \text{ mm}$

longitud de onda en la guía del TE_{10}

$$\lambda_{g10} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{c10}/f_T)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{f_T^2 - f_{c10}^2}} \rightarrow 20 \text{ mm} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ mm/s}}{\sqrt{(25 \cdot 10^9)^2 - f_{c10}^2}}$$

$$f_{cTE_b} = 20 \text{ GHz} = \frac{c_0}{2a} \rightarrow a = 7,5 \text{ mm}, b = 3,75 \text{ mm}$$

¿) $f_{cTE_{10}} = 20 \text{ GHz}$

$f_{cTE_{20}} = f_{cTE_{01}} = 40 \text{ GHz}$

$f_{cTE_{30}} = 60 \text{ GHz}$
 $f_{cTE_{02}} = 80 \text{ GHz}$
 $f_{cTE_{21}} = f_{cTE_{12}} = 56,5 \text{ MHz}$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TEMA 4

GUÍAS DE ONDA DIELECTRICAS Y FIBRA ÓPTICA.

4.1.- Leyes de Snell. Ángulo crítico.

Leyes de Snell

Normal

Rayo Refractado (Transmitido)

Interface Frontera Dioptrio

n_2

n_1

α_t

α_i

α_r

1ª Ley: Reflexión

2ª Ley: Refracción

-Rayo incidente y reflejado están en el mismo plano

-Rayo incidente y refractado están en el mismo plano

$\alpha_i = \alpha_r$

$n_1 \cdot \text{sen}(\alpha_i) = n_2 \cdot \text{sen}(\alpha_t)$

Comentario

- Si $\alpha_i \geq \alpha_{ic}$ no se transmite al medio ②.

$$n_1 \text{sen} \alpha_{ic} = n_2 \text{sen} \frac{\pi}{2} \rightarrow \alpha_{ic} = \text{arcsen} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \text{ Solo } \exists \text{ si } n_1 > n_2$$

Cartagena99

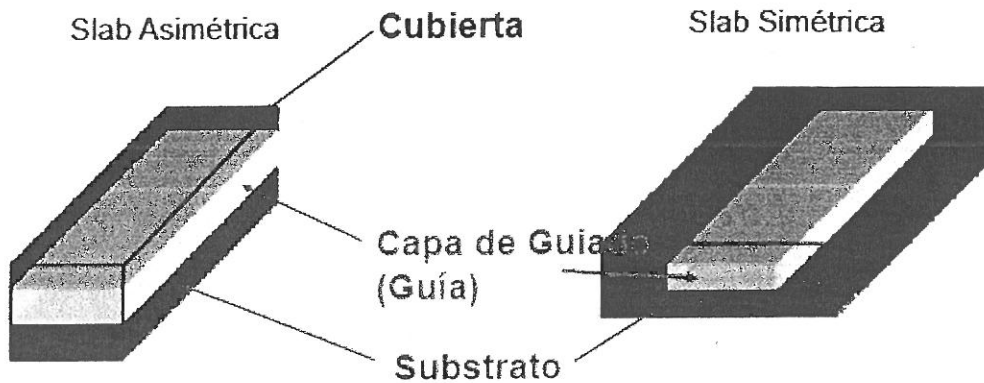
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4.2.- Guía dieléctrica plana (SLAB).

4.2.1- Estructura de la guía dieléctrica plana (SLAB).

Guía Dieléctrica Plana (Slab)



$$n(\text{núcleo}) > n(\text{cubierta revestimiento})$$

4.2.2- Teoría de rayos y modos de la guía dieléctrica plana (SLAB).

Ec.1

Debe ser: $n_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \geq n_2$ (Reflexión Total, ángulo crítico)

2d. Por la ley de Snell: $n_0 \cdot \sin\theta = n_1 \cdot \sin\phi \rightarrow$

\rightarrow Como $n_0=1 \rightarrow \sin\theta = n_1 \cdot \sin\phi$ (Ec.2)

¿Calculamos $\theta_{\text{máx}}$?

De Ecuación 1: $n_1 \left(\sin\frac{\pi}{2} \cos\phi - \cos\frac{\pi}{2} \sin\phi \right) =$

$$= n_1 \cos\phi \geq n_2 \rightarrow n_1 \cos\phi_{\text{máx}} = n_2$$

Sabemos que $\sin\phi_{\text{máx}} = \sqrt{1 - \cos^2\phi_{\text{máx}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

***Comentario Importante.**
 Solo hay un cierto número discreto de direcciones que permiten la propagación, ya que

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

SE DEFINE LA FRECUENCIA DE CORTE NORMALIZADA O ANCHURA NORMALIZADA COMO:

mitad de la anchura del núcleo ó radio del núcleo

$$V = K \cdot d \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = K \cdot d \cdot NA$$

Así:

$$k = \omega c \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} ; k = \frac{2\pi f}{c}$$

Número de Modos propagados:

Si $V < \pi/2 \rightarrow$ sólo se propaga el modo TE_0

Si $\pi/2 < V < \pi \rightarrow$ se propagan los modos: TE_0 (par), y TE_1 (impar)

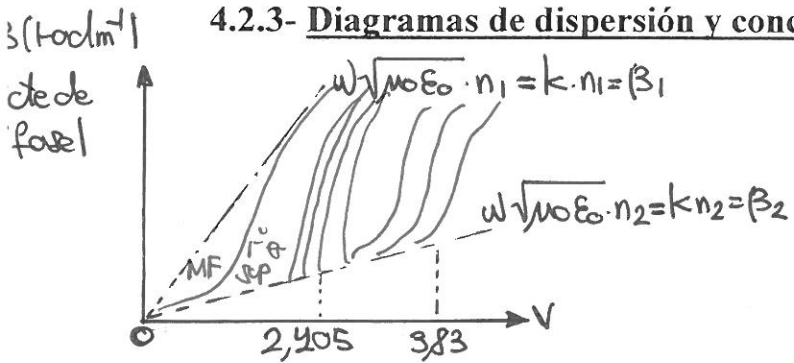
Si $\pi < V < 3\pi/2 \rightarrow$ se propagan los modos: TE_0 , TE_1 y TE_2

En general: Número de modos TE que soporta el slab es :

$$M = E \uparrow \left[\frac{2 \cdot V}{\pi} \right]$$

$E \uparrow$ Entero Superior.

4.2.3- Diagramas de dispersión y conclusiones de la guía Slab.



Conclusiones

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

La energía transportada ("intensidad de luz") es proporcional al cuadrado del E

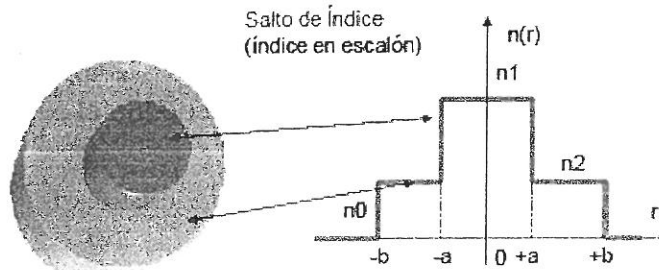
4.3.- FIBRA ÓPTICA.

4.3.1- Estructura y clasificación de las FIBRAS ÓPTICAS.

Estructura: NUCLEO DE RADIO a y REVESTIMIENTO O CUBIERTA DE RADIO b

Clasificación

Clasificación por el Perfil del Índice de refracción del núcleo

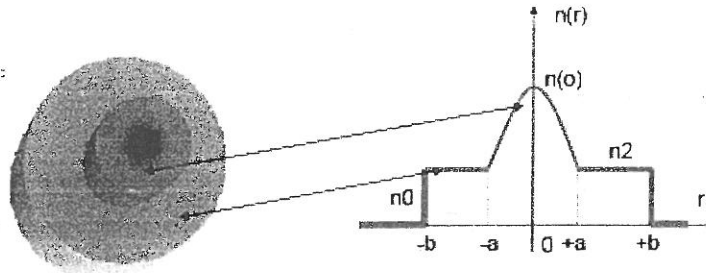


Índice gradual

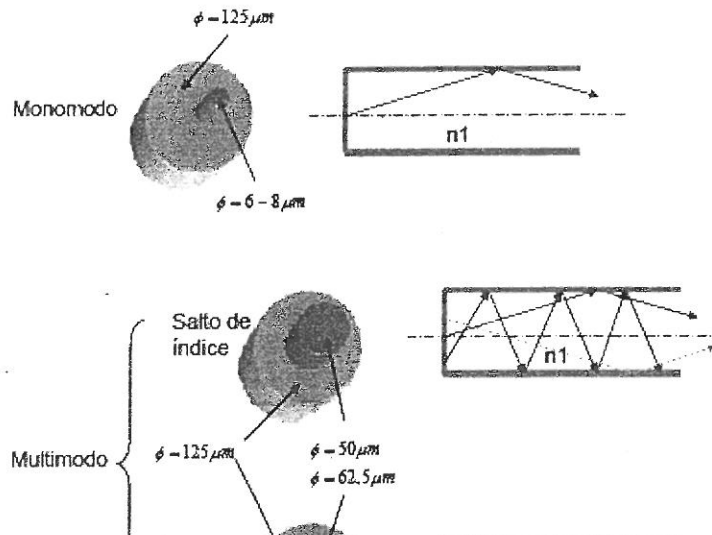
$$n(r) = n(0) \cdot \left[1 - 2 \cdot \Delta \cdot \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^2$$

$$\Delta = \frac{n(0)^2 - n_c^2}{2 \cdot n(0)^2} \approx \frac{n(0) - n_c}{n(0)}$$

$$\alpha = \begin{cases} 2 \rightarrow \text{perfil_parabolico} \\ 1 \rightarrow \text{perfil_triangular} \\ \infty \rightarrow \text{salto_de_indice} \end{cases}$$



Clasificación por el Número de Modos propagados.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

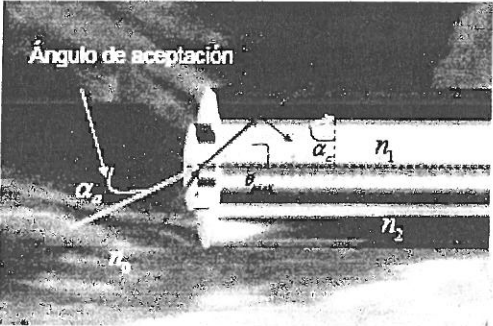
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

4.3.2- FIBRA ÓPTICA DE SALTO DE ÍNDICE.

4.3.2.1.- APERTURA NUMÉRICA Y ANGULO DE ACEPTACIÓN

Apertura Numérica (NA)



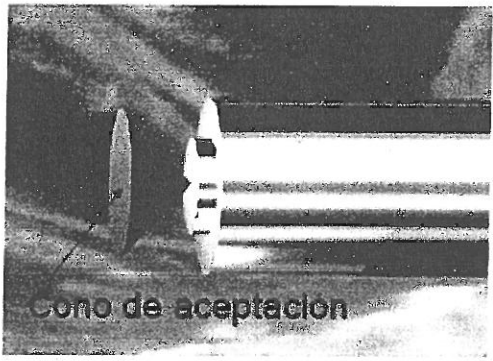
Ángulo de aceptación

Fibra de salto de índice

$$n_0 \cdot \text{sen}(\alpha_a) = n_1 \cdot \text{sen}(\theta_{MAX}) = n_1 \cdot \cos(\alpha_c) =$$

$$n_1 \cdot \sqrt{1 - \text{sen}^2(\alpha_c)} = n_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\Rightarrow NA \triangleq n_0 \cdot \text{sen}(\alpha_a) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$



Cono de aceptación

4.3.2.2.- FORMA DE VARIACIÓN DE LOS CAMPOS DE LOS DISTINTOS MODOS EN NÚCLEO Y EN CUBIERTA.

Núcleo

$$E_{z1} = A_1 \cdot J_m(ur) \cdot e^{jm\phi} \cdot e^{-j\beta z}$$

$$H_{z1} = B_1 \cdot J_m(ur) \cdot e^{jm\phi} \cdot e^{-j\beta z}$$

$J_m \equiv$ Función Bessel 1ª especie

Cubierta

$$E_{z2} = A_2 \cdot k_m(wr) \cdot e^{jm\phi} \cdot e^{-j\beta z}$$

$$H_{z2} = B_2 \cdot k_m(wr) \cdot e^{jm\phi} \cdot e^{-j\beta z}$$

$k_m \equiv$ Función de Bessel de 3ª especie.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

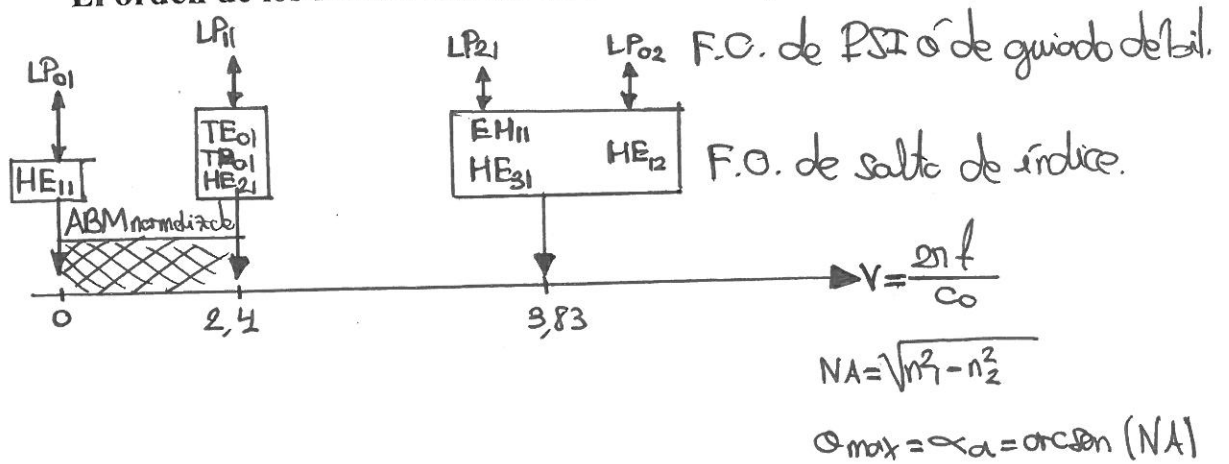
4.3.2.3.- DENOMINACIÓN DE LOS MODOS.

- A) Si $m \neq 0$ se denominan MODOS HÍBRIDOS EH_{mn} y HE_{mn} (rayos oblicuos).
- B) Si $m = 0$ se denominan MODOS HÍBRIDOS TE_{0n} y TM_{0n} (rayos meridionales).

Teniendo en cuenta que la frecuencia normalizada en una fibra óptica se define de la siguiente forma:

$$V = k \cdot NA \cdot a$$

El orden de los modos dentro de una fibra óptica es:



EL NUMERO DE MODOS QUE SE PROPAGAN POR UNA FIBRA OPTICA VIENE DADO POR EL SIGUIENTE VALOR:

$$M = \frac{V^2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2)^{3/2}$$

4.3.3- FIBRA ÓPTICA DE GUIADO DÉBIL.

En estas fibras se cumple que: $n_1 \approx n_2$

Además en estas fibras se cumple que los modos $EH_{m-1,n}$ y los modos $HE_{m+1,n}$ son modos degenerados porque tienen la misma frecuencia de corte. Si se suman dos de estos modos el campo eléctrico transversal está polarizado en X y si se restan está polarizado en Y. Estos modos se les denomina LP.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modos. Guiado débil

Fibra de guiado débil: $n_1 \approx n_2$



Los modos con constantes de propagación muy parecidas se pueden agrupar en ondas LINEALMENTE POLARIZADAS.



El campo eléctrico transversal sigue una trayectoria LINEAL. Dirección de Polarización en el eje x o en el eje y



Los campos se pueden representar utilizando coordenadas rectangulares en lugar de coordenadas cilíndricas



- Degeneración de modos.
- Cambio de denominación de modos (modos LP)

| Modos LP _{lm} | Modos exactos | Ecuación característica | Frecuencia normalizada de corte |
|------------------------|--|-------------------------|--|
| LP ₀₁ | HE ₁₁ | $V = 0$ | $V_0 = 0$ |
| LP _{0,m+1} | HE _{1,m+1} | $J_1(V) = 0$ | $V_0 = \chi_{1m} \quad m \geq 1$ |
| LP _{1m} | TE _{0m} TM _{0m} HE _{2m} | $J_0(V) = 0$ | $V_0 = \chi_{0m} \quad m \geq 1$ |
| LP _{lm} | EH _{l-1,m} HE _{l+1,m} | $J_{l-1}(V) = 0$ | $V_0 = \chi_{l-1,m} \quad l \geq 2 \quad m \geq 1$ |



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue background that resembles a stylized arrow or a banner pointing to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar that also tapers to the right, creating a sense of motion or direction.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Problema FO

Nº de modos que se propagan = $M = \frac{V^2}{2}$

$V = k_0 R_0 NA = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$

Tenemos una FO multimodo de salto de índice con $\Delta N = 0,2$ en la que se propagan 1000 modos con una longitud de onda de $\lambda = 0,85 \mu m$.

- a) ¿Cuánto vale el radio de núcleo?
- b) ¿Cuántos modos se propagan con $\lambda = 1,32 \mu m$ y con $\lambda = 1,55 \mu m$?
- c) ¿tercera ventana 1 modo?

$\Delta N = 0,2$

$\lambda = 0,85 \mu m$

a) ¿d'a?

$M = 1000 = \frac{V^2}{2} \rightarrow V = 44,72 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot NA \quad a = 30 \mu m$

b) $V \Big|_{\lambda = 1,32 \mu m} = 28,56 \rightarrow M = \frac{V^2}{2} \simeq 408 \text{ modos}$

$V \Big|_{\lambda = 1,55 \mu m} = 24,32 \rightarrow M = \frac{V^2}{2} \simeq 294 \text{ modos}$

c) La tercera ventana de propagación es $\lambda = 1,55 \mu m$.

Para que solo se propague un modo, debe ser: $0 < V \leq 2,405$.

$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot NA = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 2,405$ y despejar $\left\{ \begin{array}{l} a_{max} \\ n_{1,max} = \text{Data } n_2 \end{array} \right.$

d) ¿Qué modo será?

LP_{01} & HE_{11}



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark blue font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white arrow pointing to the right, and a white arrow pointing to the left is visible below the text.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**