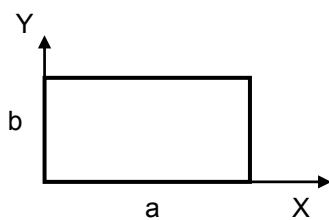


GUÍAS DE ONDAS

GUÍA RECTANGULAR: MODOS DE PROPAGACIÓN

Resolución de la Ecuación de Ondas



$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

Solución: onda armónica propagándose en la dirección del eje de la guía (eje Z)

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \text{Re} \left[\left(\vec{e}(x, y) + \hat{z}e_z(x, y) \right) e^{-j\beta z} e^{j\omega t} \right]$$
$$\vec{H}(x, y, z, t) = \text{Re} \left[\left(\vec{h}(x, y) + \hat{z}h_z(x, y) \right) e^{-j\beta z} e^{j\omega t} \right]$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TEM

$$E_z = 0$$

$$H_z = 0$$

Solución si: $k_c^2 = 0$

$$\gamma = \pm jk$$

En una guía conductora **NO** existen modos TEM

Sólo existen modos TEM en :

- Medios ilimitados
- Medios confinados formados por más de un conductor (líneas de transmisión)

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TM

$$H_z = 0$$

$$\nabla_t^2 e_z(x, y) + k_c^2 e_z(x, y) = 0$$

Ponemos la solución como:

$$e_z(x, y) = X(x)Y(y)$$

$$X'' \cdot Y + X \cdot Y'' + k_c^2 X \cdot Y = 0 \quad \text{donde:}$$

$$X'' = \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

$$Y'' = \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2}$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TM

Dividiendo por XY:

$$\frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y} = -k_c^2$$

← Constante
← Sólo es función de x ← Sólo es función de y

$$\frac{X''}{X} = -k_x^2$$

$$X = A \cos k_x x + B \operatorname{sen} k_x x$$

$$k_c^2 = k_x^2 + k_y^2$$

$$\frac{Y''}{Y} = -k_y^2$$

$$Y = C \cos k_y y + D \operatorname{sen} k_y y$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TM

$$e_z = (A \cos k_x x + B \operatorname{sen} k_x x)(C \cos k_y y + D \operatorname{sen} k_y y)$$

Condición de contorno:

el campo eléctrico es perpendicular en la superficie de un conductor

$$e_z = 0 \quad \text{en } x = 0; x = a; y = 0; y = b$$

$$e_z(x = 0) = A(C \cos k_y y + D \operatorname{sen} k_y y) = 0 \quad \Rightarrow \quad A = 0$$

$$e_z(y = 0) = (A \cos k_x x + B \operatorname{sen} k_x x)C = 0 \quad \Rightarrow \quad C = 0$$

$$e_z = B \operatorname{sen} k_x x \cdot D \operatorname{sen} k_y y = A_{mn} \operatorname{sen} k_x x \operatorname{sen} k_y y$$

Clasificación de las soluciones:
Modos de propagación: Modos TM

$$e_z = A_{mn} \operatorname{sen} k_x x \operatorname{sen} k_y y$$

$$e_z(x=a) = 0 \implies \operatorname{sen} k_x a = 0 \implies k_x a = m\pi \implies k_x = \frac{m\pi}{a}$$

m entero

$$e_z(y=b) = 0 \implies \operatorname{sen} k_y b = 0 \implies k_y b = n\pi \implies k_y = \frac{n\pi}{b}$$

n entero

$$k_c^2 = k_x^2 + k_y^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

A cada pareja de m, n corresponde una solución o modo: TM_{mn}.

$$m \neq 0; \quad n \neq 0$$

Clasificación de las soluciones:
Modos de propagación: Modos TM

$$e_z = A_{mn} \operatorname{sen} k_x x \operatorname{sen} k_y y \quad k_x = \frac{m\pi}{a} \quad k_y = \frac{n\pi}{b}$$

$$h_z = 0$$

A partir de E_z , H_z se puede calcular las demás componentes de los campos eléctrico y magnético

$$E_x = -\frac{j\beta}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial x}$$

$$E_y = -\frac{j\beta}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial y}$$

$$H_x = \frac{j\omega\epsilon}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial y}$$

$$H_x = -\frac{\omega\epsilon}{\beta} E_y$$

$$H_y = -\frac{j\omega\epsilon}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial x}$$

$$H_y = \frac{\omega\epsilon}{\beta} E_x$$

**Clasificación de las soluciones:
Modos de propagación: Modos TM**

$$E_z = A_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_z = 0$$

$$E_x = -\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 a} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$E_y = -\frac{j\beta n\pi}{k_c^2 b} A_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_x = \frac{j\omega\varepsilon n\pi}{k_c^2 b} A_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_y = -\frac{j\omega\varepsilon m\pi}{k_c^2 a} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

**Clasificación de las soluciones:
Modos de propagación: Modos TE**

$$E_z = 0$$

$$\nabla_t^2 h_z(x, y) + k_c^2 h_z(x, y) = 0$$

Ponemos la solución como:

$$h_z(x, y) = X(x)Y(y)$$

$$X'' \cdot Y + X \cdot Y'' + k_c^2 X \cdot Y = 0 \quad \text{donde:}$$

$$X'' = \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

$$Y'' = \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2}$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TE

$$h_z = (A \cos k_x x + B \operatorname{sen} k_x x)(C \cos k_y y + D \operatorname{sen} k_y y)$$

Condición de contorno:

el campo eléctrico es perpendicular en la superficie de un conductor

$$E_x = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial y}$$

$$E_y = \frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial x}$$

$$E_y = 0 \quad \text{en } x = 0; x = a \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial h_z}{\partial x} = 0 \quad \text{en } x = 0; x = a$$

$$E_x = 0 \quad \text{en } y = 0; y = b \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial h_z}{\partial y} = 0 \quad \text{en } y = 0; y = b$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TE

Aplicando la condición de contorno: $\frac{\partial h_z}{\partial x} = 0$ en $x = 0$ $\frac{\partial h_z}{\partial y} = 0$ en $y = 0$

$$h_z = B_{mn} \cos k_x x \cos k_y y$$

Aplicando la condición de contorno: $\frac{\partial h_z}{\partial x} = 0$ en $x = a$ $\frac{\partial h_z}{\partial y} = 0$ en $y = b$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}$$

m entero

$$k_y = \frac{n\pi}{b}$$

n entero

$$k_c^2 = k_x^2 + k_y^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

A cada pareja de m, n corresponde una solución o modo: TE_{mn}.

Imposible a la vez: $m = 0; n = 0$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TE

$$h_z = B_{mn} \cos k_x x \cos k_y y \quad k_x = \frac{m\pi}{a} \quad k_y = \frac{n\pi}{b}$$

$$E_z = 0$$

A partir de E_z , H_z se puede calcular las demás componentes de los campos eléctrico y magnético

$$E_x = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial y}$$

$$E_y = \frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial x}$$

$$H_x = -\frac{j\beta}{\beta_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial x}$$

$$H_x = -\frac{j\beta}{j\omega\mu} E_y$$

$$H_y = -\frac{j\beta}{\beta_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial y}$$

$$H_y = \frac{j\beta}{j\omega\mu} E_x$$

Clasificación de las soluciones: Modos de propagación: Modos TE

$$E_z = 0$$

$$H_z = B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

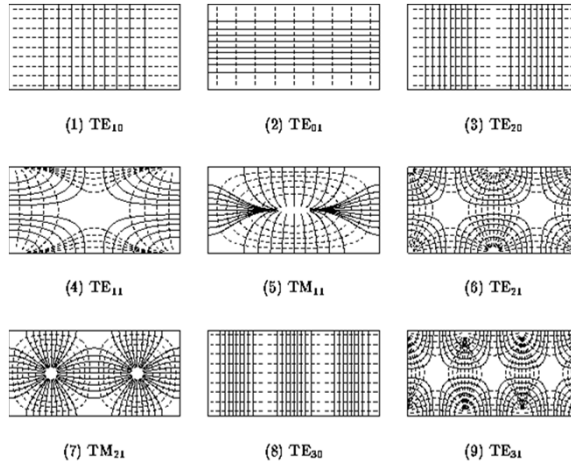
$$E_x = \frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{n\pi}{b} B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$E_y = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{m\pi}{a} B_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

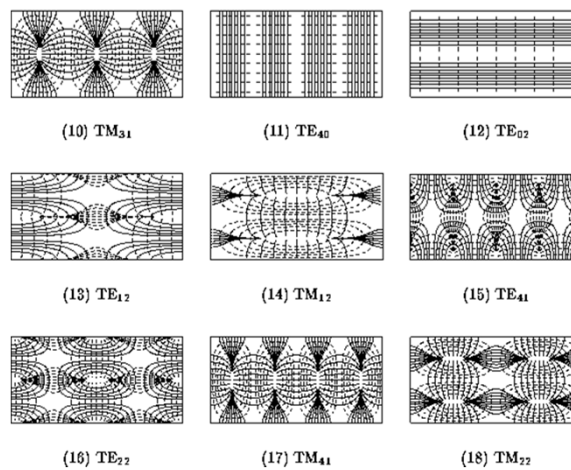
$$H_x = \frac{j\beta}{k_c^2} \frac{m\pi}{a} B_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_y = \frac{j\beta}{k_c^2} \frac{n\pi}{b} B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}$$

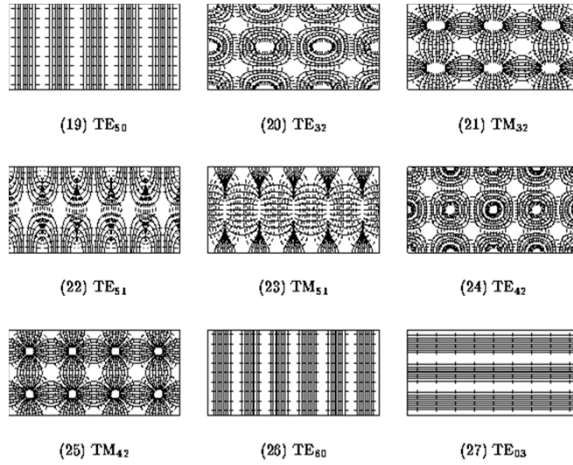
Modos de propagación



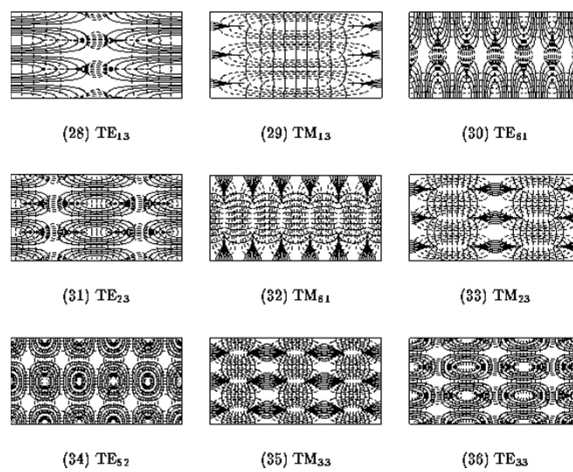
Modos de propagación



Modos de propagación



Modos de propagación



GUÍAS DE ONDAS

GUÍA RECTANGULAR: PROPIEDADES

Frecuencia de corte

$$k = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = 2\pi f\sqrt{\mu\varepsilon}$$

$$f = \frac{k}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

Por analogía, se define
la frecuencia de corte como:

$$f_c = \frac{k_c}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

$$\beta = k\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$f < f_c \Rightarrow \beta$ imaginario puro \implies **NO** hay propagación

$f > f_c \Rightarrow \beta$ real \implies **SÍ** hay propagación

Frecuencia de corte

$$f < f_c$$

La onda electromagnética se atenúa de acuerdo con:

$$\gamma \equiv \alpha = k \sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1}$$

$$f > f_c$$

La onda electromagnética se transmite con una constante de propagación:

$$\gamma \equiv j\beta = jk \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{k_c}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

$$k_c = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

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

Frecuencia de corte de los modos TM_{mn} y TE_{mn}

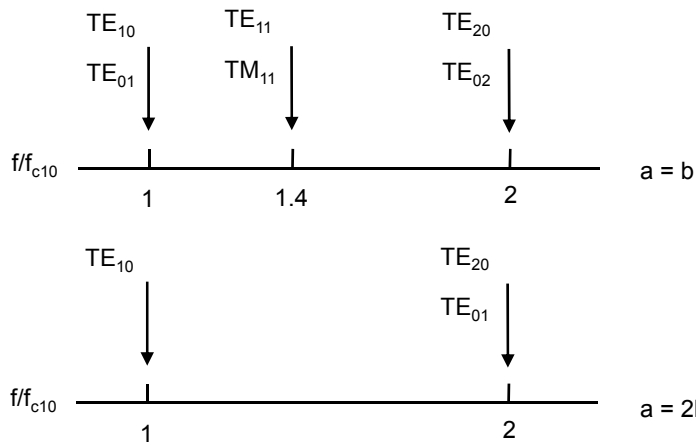
La frecuencia de corte en una guía depende de:

- Modo de propagación
- Tamaño de la guía
- Dieléctrico del interior

Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} = \frac{v_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$



Velocidad de fase y de grupo

$$\gamma \equiv j\beta = jk \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$$\beta = k \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

Longitud de onda:

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{k}$$

Velocidad de fase:

$$v_f = \frac{\omega}{\beta} = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$v_f = v_f(\omega)$$

$$v_f \neq v_g$$

Las guías son medios dispersivos

Velocidad de grupo:

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = v_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

Impedancia

Modos TM:

$$Z_{\text{TM}} = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x} = \frac{\beta}{\omega\epsilon}$$

$$Z_{\text{TM}} = \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

Modos TE:

$$Z_{\text{TE}} = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x} = \frac{\omega\mu}{\beta}$$

$$Z_{\text{TE}} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

Potencia

Vector de Poynting

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^*$$

$$\vec{E} = E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z} = \vec{E}_t + \vec{E}_z$$

$$\vec{H} = H_x \hat{x} + H_y \hat{y} + H_z \hat{z} = \vec{H}_t + \vec{H}_z$$

De todas las componentes del vector de Poynting, únicamente contribuye a la potencia transmitida por la guía la componente en la dirección de propagación de la onda (dirección z):

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E}_t \times \vec{H}_t^*$$

$$P_T = \iint_{s_2} \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E}_t \times \vec{H}_t^*] \cdot d\vec{S}$$

Potencia

Modos TM

$$e_z = A_{mn} \sin k_x x \sin k_y y$$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}$$

$$k_y = \frac{n\pi}{b}$$

m entero

n entero

$$P_T = \frac{Z_{TM}}{2\eta^2} \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 |A_{mn}|^2 \frac{a}{2} \frac{b}{2}$$

Modos TE

$$h_z = B_{mn} \cos k_x x \cos k_y y$$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}$$

$$k_y = \frac{n\pi}{b}$$

m entero

n entero

$$P_T = \frac{2\eta^2}{Z_{TE}} \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 |B_{mn}|^2 \frac{a}{\delta_m} \frac{b}{\delta_n}; \quad \delta_p = \begin{cases} 1 & p=0 \\ 2 & p \neq 0 \end{cases}$$

Pérdidas. Constante de atenuación

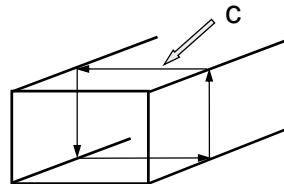
Pérdidas debidas al conductor

Densidad superficial de corriente en las paredes de la guía:

$$\vec{J}_s = \hat{n} \times \vec{H}_s$$

Potencia disipada por unidad de longitud:

$$P_{lc} = \frac{1}{2} R_s \oint_{cl} |\vec{J}_s|^2 dl = \frac{1}{2} R_s \oint_{cl} |\vec{H}_s|^2 dl$$



Potencia transmitida en $z = 0$:

$$P_{T(z=0)} = \iint_s \frac{1}{2} \text{Re} [\vec{E}_t \times \vec{H}_t^*] \cdot d\vec{S}$$

Pérdidas. Constante de atenuación

Pérdidas debidas al conductor

Modos TM:

$$\alpha_c = \frac{2R_s}{ab\eta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \frac{m^2b^3 + n^2a^3}{(mb)^2 + (na)^2}$$

Modos TE:

$$\alpha_c = \frac{2R_s}{b\eta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \left\{ \left(\delta_m + \delta_n \frac{b}{a} \right) \left(\frac{f_c}{f} \right)^2 + \frac{b}{a} \left[1 - \left(\frac{f_c}{f} \right)^2 \right] \frac{m^2ab + (na)^2}{(mb)^2 + (na)^2} \right\}$$

$$\delta_p = \begin{cases} 2 & p = 0 \\ 1 & p \neq 0 \end{cases}$$

Pérdidas. Constante de atenuación

Pérdidas debidas al dieléctrico

Si un dieléctrico tiene $\sigma \neq 0$, entonces se define la constante dieléctrica:

$$\epsilon_c = \epsilon - j\frac{\sigma}{\omega} = \epsilon_0(\epsilon' - j\epsilon'')$$

$$\epsilon' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon'' = \frac{\sigma}{\epsilon_0\omega}$$

La constante de propagación en la guía se modifica:

$$\gamma = \sqrt{k_c^2 - k^2} = \sqrt{k_c^2 - \omega^2\mu\epsilon} \quad \Longrightarrow \quad \gamma = \sqrt{k_c^2 - \omega^2\mu\epsilon_c}$$

$$\gamma = (k_c^2 - \omega^2\mu\epsilon)^{1/2} \cdot \left[1 + \frac{j\omega^2\mu\epsilon\epsilon''/\epsilon'}{k_c^2 - \omega^2\mu\epsilon} \right]^{1/2}$$

Pérdidas. Constante de atenuación

Pérdidas debidas al dieléctrico

Para un dieléctrico de bajas pérdidas: $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \ll 1$

$$\gamma \approx (k_c^2 - \omega^2 \mu \varepsilon)^{1/2} + \frac{j \omega^2 \mu \varepsilon \varepsilon'' / \varepsilon'}{2 \sqrt{k_c^2 - \omega^2 \mu \varepsilon}} = (\beta_c^2 - k^2)^{1/2} + \frac{j k^2 \varepsilon'' / \varepsilon'}{2 \sqrt{\beta_c^2 - k^2}}$$

$$\gamma = \alpha_d + j\beta = \frac{k^2 \varepsilon'' / \varepsilon'}{2 \sqrt{k^2 - k_c^2}} + j(k^2 - k_c^2)^{1/2}$$

$$\beta = k \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$$\alpha_d = \frac{k \varepsilon'' / \varepsilon'}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \delta \equiv \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

GUÍAS DE ONDAS

GUÍA RECTANGULAR: MODO FUNDAMENTAL

Modo fundamental

- ◆ Parámetros característicos de cada modo particular:
 - Frecuencia de corte
 - Longitud de Onda
 - Velocidad de propagación (de fase y de grupo)
 - Impedancia
 - Configuración de los campos
- ◆ Conclusión:
 - El objetivo es conseguir propagación en un único modo (el modo fundamental)

Modo fundamental: TE_{10}

El modo fundamental es aquél que tiene la frecuencia de corte más baja:

$$f_c = \frac{v_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

Si $a > b$, el modo fundamental es el TE_{10} ($m = 1, n = 0$)

$$f_c(TE_{10}) = \frac{v_0}{2} \frac{1}{a}$$

La frecuencia de corte del modo fundamental:

- No depende de la altura de la guía b
- Es inversamente proporcional a la anchura de la guía a

Modo TE₁₀: Expresión de los campos

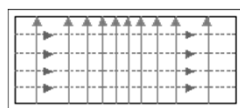
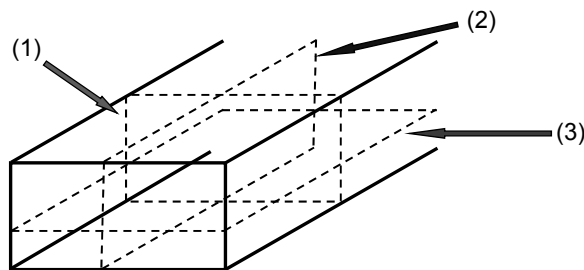
Expresión de los campos eléctrico y magnético

$$h_z = H_{0z} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \quad e_z = 0$$

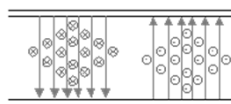
TE₁₀: m=1, n=0

$e_z = 0$	$h_z = H_{0z} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right)$	$H_{0x} = -\frac{E_{0y}}{Z_{TE}}$
$e_x = 0$	$h_x = H_{0x} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right)$	
$h_y = 0$	$e_y = E_{0y} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right)$	

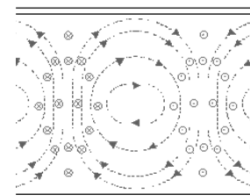
Modo TE₁₀: Forma de los campos



(1)



(2)



(3)

Campo eléctrico: línea continua
Campo magnético: línea discontinua

Modo TE₁₀: Constante de propagación

Constante de propagación:

$$\gamma \equiv j\beta = jk\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}$$

Constante de fase:

$$\beta = k\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{k}$$

Longitud de onda:

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

Modo TE₁₀: Velocidades e impedancia

Velocidad de fase:

$$v_f = \frac{\omega}{\beta} = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

Velocidad de grupo:

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = v_0\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

Impedancia:

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

Modo TE₁₀: Potencia

Vector de Poynting $\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E}_t \times \vec{H}_t^*$

$$\vec{H}_t = H_x \hat{x} = H_{0x} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \hat{x} = -\frac{E_{0y}}{Z_{TE}} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \hat{x}$$

$$\vec{E}_t = E_y \hat{y} = E_{0y} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \hat{y}$$

$$P_T(\text{TE}_{10}) = \iint_s \frac{1}{2} \operatorname{Re}[\vec{E}_t \times \vec{H}_t^*] \cdot d\vec{S} = \int_{x=0}^{x=a} \int_{y=0}^{y=b} \frac{1}{2} \frac{|E_{0y}|^2}{Z_{TE}} \operatorname{sen}^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx dy$$

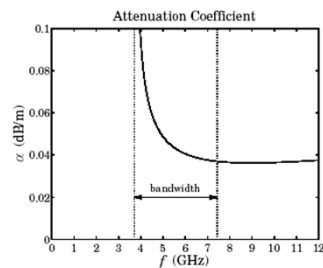
Potencia

$$P_T(\text{TE}_{10}) = \frac{|E_{0y}|^2}{4Z_{TE}} ab$$

Modo TE₁₀: Pérdidas.

Pérdidas debidas al conductor

$$\alpha_c = \frac{R_s}{b\eta} \frac{\left[1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2\right]}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}}$$



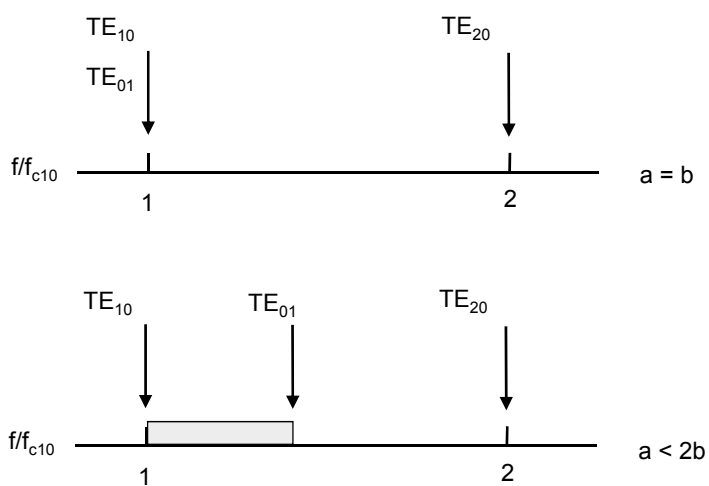
Modo TE₁₀: Pérdidas.

Pérdidas debidas al dieléctrico

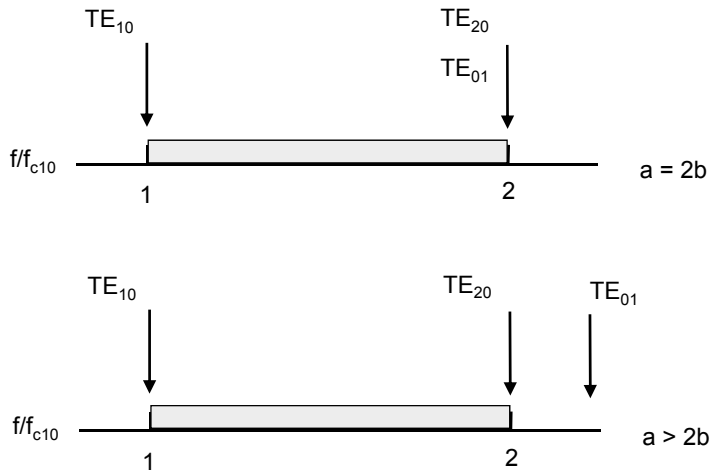
$$\alpha_d = \frac{\beta_0 \varepsilon'' / \varepsilon'}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f}\right)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \delta \equiv \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

Guía óptima



Guía óptima



Guía óptima

Se obtiene el mayor ancho de banda para la propagación en un único modo cuando:

$$a \geq 2b$$

Por otra parte interesa hacer b lo mayor posible para:

- Aumentar la potencia transmitida
- Disminuir las pérdidas debidas al conductor

$$P_T(\text{TE}_{10}) = \frac{|E_{0y}|^2}{4Z_{\text{TE}}} ab$$

$$\alpha_c = \frac{R_s}{b\eta} \frac{\left[1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{f_{c10}}{f} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c10}}{f} \right)^2}}$$

Conclusión:

La guía rectangular óptima tiene dimensiones:

$$a = 2b$$

Ejemplos de guías

nombre	a (mm)	b (mm)	f_c (GHz)	f_{min} (GHz)	f_{max} (GHz)	banda	P_{max}	α (dB/m)
WR-510	129.5	64.8	1.16	1.45	2.20	L	9 MW	0.007
WR-284	72.1	34.0	2.08	2.60	3.95	S	2.7 MW	0.019
WR-159	40.4	20.2	3.71	4.64	7.05	C	0.9 MW	0.043
WR-90	22.86	10.16	6.56	8.20	12.50	X	250 kW	0.110
WR-62	15.80	7.90	9.49	11.90	18.00	Ku	140 kW	0.176
WR-42	10.67	4.32	14.05	17.60	26.70	K	50 kW	0.370
WR-28	7.11	3.56	21.08	26.40	40.00	Ka	27 kW	0.583
WR-15	3.76	1.88	39.87	49.80	75.80	V	7.5 kW	1.52
WR-10	2.54	1.27	59.01	73.80	112.00	W	3.5 kW	2.74