

Medios Físicos de Transmisión de Datos

Juan Manuel Orduña Huertas

Telemática y Sistemas de Transmisión de Datos - Curso
2011/2012

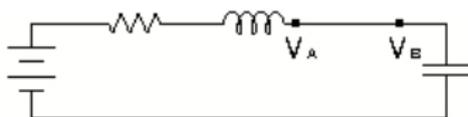
Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

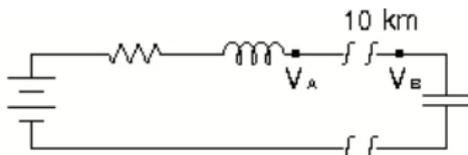
Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Motivación

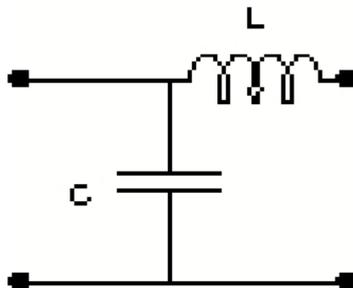
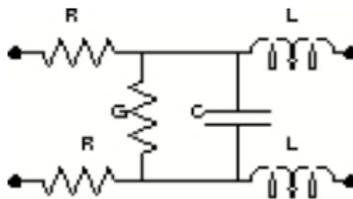


$$V_A = V_B \quad \forall t$$

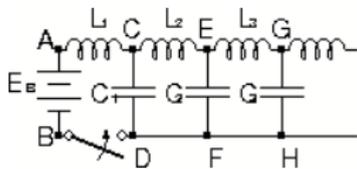


$$\text{¿ } V_A = V_B \quad \forall t?$$

Modelo de parámetros distribuidos



Velocidad de propagación



$$\left. \begin{array}{l} Q_{C_1} = Ce \\ Q_B = it \end{array} \right\} Q_{C_1} = Q_B \rightarrow Ce = it \rightarrow i_{C_1} = \frac{Ce}{t} \quad (1)$$

$$e_{CE} = L \frac{i}{t} \rightarrow i_{L_2} = \frac{et}{L} \quad (2)$$

$$i_{L_2} = i_{C_1} \Rightarrow \frac{et}{L} = \frac{Ce}{t} \Rightarrow t^2 = LC \quad (3)$$

$$t_p = \sqrt{LC} \quad v_p = \frac{1}{t_p} \quad (4)$$

Velocidad de propagación: conceptos asociados

- **Factor de propagación f_p** : Relación entre v_p en la línea y la velocidad de la luz en el vacío

$$f_p = \frac{v_p}{c} \quad (5)$$

- **Longitud de onda λ** : distancia recorrida por una onda durante un intervalo de 1 ciclo

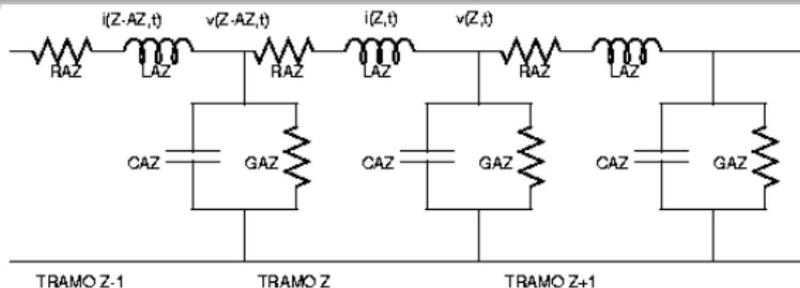
$$\lambda = \frac{v_p}{f} \quad (6)$$

- **Longitud eléctrica**: longitud física partido por la longitud de onda

Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Modelo

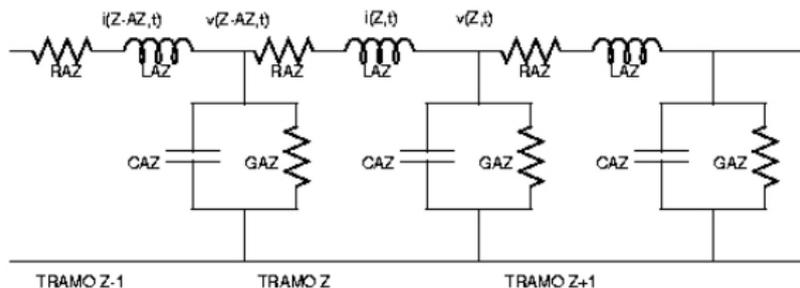


$$v(z, t) > v(z + \Delta z, t) \quad (7)$$

$$v(z, t) - v(z + \Delta z, t) = i(z + \Delta z, t)R\Delta z + L\Delta z \frac{\partial i(z + \Delta z, t)}{\partial t} \quad (8)$$

$$i(z, t) - i(z + \Delta z, t) = v(z, t)G\Delta z + C\Delta z \frac{\partial v(z, t)}{\partial t} \quad (9)$$

Desarrollo (I)



$$-v(z, t) + v(z + \Delta z, t) = -i(z + \Delta z, t)R\Delta z - L\Delta z \frac{\partial i(z + \Delta z, t)}{\partial t} \quad (10)$$

$$-i(z, t) + i(z + \Delta z, t) = -v(z, t)G\Delta z - C\Delta z \frac{\partial v(z, t)}{\partial t} \quad (11)$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{v(z + \Delta z, t) - v(z, t)}{\Delta z} = -iR - L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (12)$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{i(z + \Delta z, t) - i(z, t)}{\Delta z} = -vG - C \frac{\partial v}{\partial t} \quad (13)$$

Desarrollo (II)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial z} &= -iR - L \frac{\partial i}{\partial t} \\ \frac{\partial i}{\partial z} &= -vG - C \frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \right\} R = G = 0 \implies \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial z} &= -L \frac{\partial i}{\partial t} \\ \frac{\partial i}{\partial z} &= -C \frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Derivando con respecto a z y t y sustituyendo, queda:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = -L \left[-C \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right] = LC \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial z^2} = -C \left[-L \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \right] = LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \quad (16)$$

- Ecuaciones diferenciales lineales de segundo orden de solución exponencial. Tomamos solución que separa z y t :

$$v(z, t) = V(z) e^{j\omega t} \quad (17)$$

$$i(z, t) = I(z) e^{j\omega t} \quad (18)$$

Desarrollo (III)

Se demuestra que operando con las ecuaciones 17 y 18 (derivando dos veces con respecto al tiempo) se obtiene

Tensión a lo largo de la línea:

$$V(z) = C_0 e^{-jkz} + C_1 e^{jkz} \quad (19)$$

donde:

- $C_0 e^{-jkz}$ = onda directa
- $C_1 e^{jkz}$ = onda reflejada
- C_0 y C_1 = constantes que dependen del contorno de la línea
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k = \omega\sqrt{LC}$, donde k = número de la onda

Desarrollo (III)

Se demuestra que operando con las ecuaciones 17 y 18 (derivando dos veces con respecto al tiempo) se obtiene

Tensión a lo largo de la línea:

$$V(z) = C_0 e^{-jkz} + C_1 e^{jkz} \quad (19)$$

donde:

- $C_0 e^{-jkz}$ = onda directa
- $C_1 e^{jkz}$ = onda reflejada
- C_0 y C_1 = constantes que dependen del contorno de la línea
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k = \omega\sqrt{LC}$, donde k = número de la onda

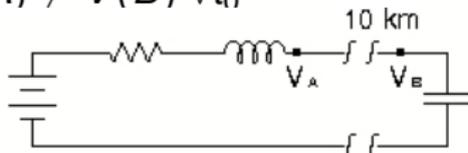
Implicaciones (I)

Tensión a lo largo de la línea:

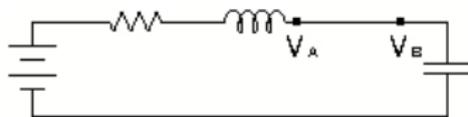
$$V(z) = C_0 e^{-jkz} + C_1 e^{jkz}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad k = \omega \sqrt{LC}, \text{ donde } k = \text{número de la onda}$$

- Si $k > 0$ cada punto de la línea está en una fase distinta, $V(z) \neq \text{cte.} \Rightarrow V(A) \neq V(B) \forall t_0$



- Si $k \simeq 0$, entonces $V(z) = \text{cte.} \forall z \forall t_0 \Rightarrow V(A) = V(B) \forall t_0$



Implicaciones (II)

Tensión a lo largo de la línea:

$$v(z, t) = \left[C_0 e^{-jkz} + C_1 e^{jkz} \right] e^{j\omega t}$$

- Tensión en cada punto = suma de 2 ondas (directa y reflejada)
- El producto $e^{j\omega t}$ indica que el valor de la onda en un mismo punto varía con el tiempo.

Desarrollo (IV)

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial (V(z)e^{j\omega t})}{\partial z} = e^{j\omega t} \left(-jkC_0 e^{-jkz} + jkC_1 e^{jkz} \right) \quad (20)$$

$$e^{j\omega t} \left(-jkC_0 e^{-jkz} + jkC_1 e^{jkz} \right) = -jL\omega I(z) e^{j\omega t} \quad (21)$$

$$I(z) = \frac{-jkC_0 e^{-jkz} + jkC_1 e^{jkz}}{-jL\omega} \quad (22)$$

$$Z_0 = \left| \frac{V(z)_+}{I(z)_+} \right| = \left| \frac{V_-(z)}{I_-(z)} \right| \quad (23)$$

$$Z_0 = \left| \frac{V_+}{I_+} \right| = \frac{C_0 e^{-jkz}}{\frac{jkC_0 e^{-jkz}}{jL\omega}} \quad (24)$$

Desarrollo (V)

$$Z_0 = \frac{C_0 e^{-jkz}}{\frac{jkC_0 e^{-jkz}}{jL\omega}} = \frac{L\omega}{k} = \frac{L\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{\sqrt{L}\sqrt{L}}{\sqrt{L}\sqrt{C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (26)$$

- Z_0 se denomina **impedancia característica de la línea**
- **NO** depende de la longitud de la línea, sino de su construcción

Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Coeficiente de reflexión

- $\forall t < T_p$ se cumple que $V_-(z) = 0$, ya que inicialmente en el extremo de carga no hay ninguna fuente, y por tanto no se genera ninguna onda
- En $t = T_p$, la onda directa llega a ($z = l$) y se genera una onda reflejada que se va a propagar de $z = l$ a $z = 0$
- Reflexión producida en extremo de carga: **coeficiente de reflexión Γ**

$$\Gamma = \frac{\text{onda reflejada}}{\text{onda incidente}} = \frac{V_-}{V_+} \quad (27)$$

$$\Gamma_V = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = \frac{V_-(z)}{V_+(z)} \rightarrow V_-(z) = \Gamma V_+(z) \quad (28)$$

$$\Gamma_I = \frac{Z_0 - Z_l}{Z_0 + Z_l} = \frac{I_-(z)}{I_+(z)} \rightarrow I_-(z) = \Gamma I_+(z) \quad (29)$$

Resultado

- Línea adaptada (no resonante) implica que
$$\Gamma_V = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} = \frac{V_-(z)}{V_+(z)} = 0 \Rightarrow V_-(z) = 0$$
- La línea de transmisión transmite desde el extremo generador al de carga sin que se produzca ninguna reflexión de la onda directa
- Este es el objetivo perseguido en una línea de transmisión
- Si $\Gamma \neq 0$ cuando la onda incidente o directa llega al extremo de carga se produce una onda reflejada no nula. Esa señal es ruido.

Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Línea abierta en el extremo de carga ($Z_L = \infty$)

- Si

$$Z_L = \infty \rightarrow \Gamma_V = \frac{\infty - Z_0}{\infty + Z_0} \simeq +1 \rightarrow V_- = V_+ \quad (30)$$

- Por tanto,

$$v(z = l, t = T_p) = V_+ + V_- = 2V_+ \quad (31)$$

y V_- comienza a desplazarse hacia $z = 0$

Línea abierta (II) ($Z_L = \infty$)

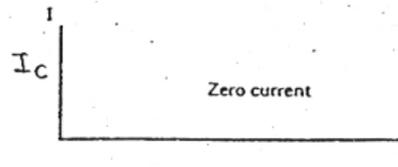
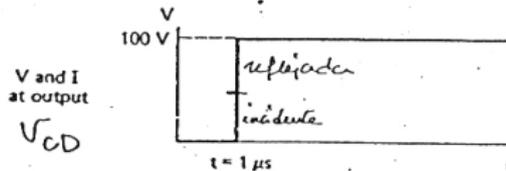
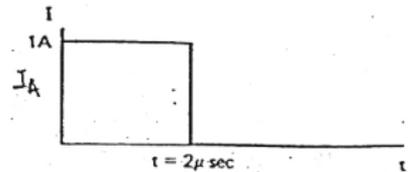
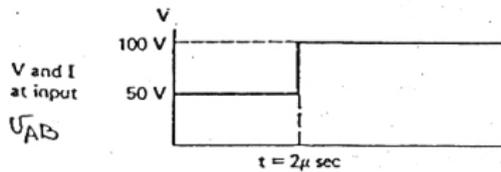
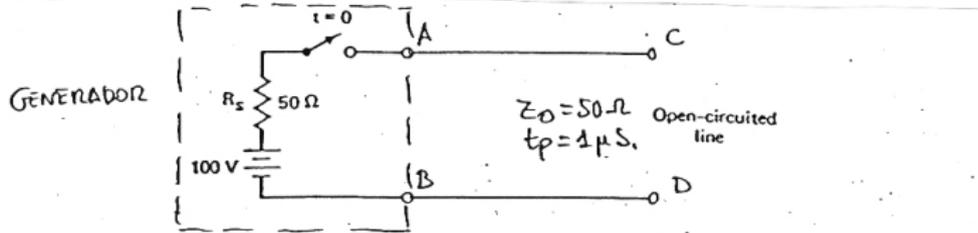
- Cuando la onda indirecta llega a $z = 0$

$$v(z = 0, t = 2T_p) = V_{+z=0} + V_{-z=0} + V_{GEN} \quad (32)$$

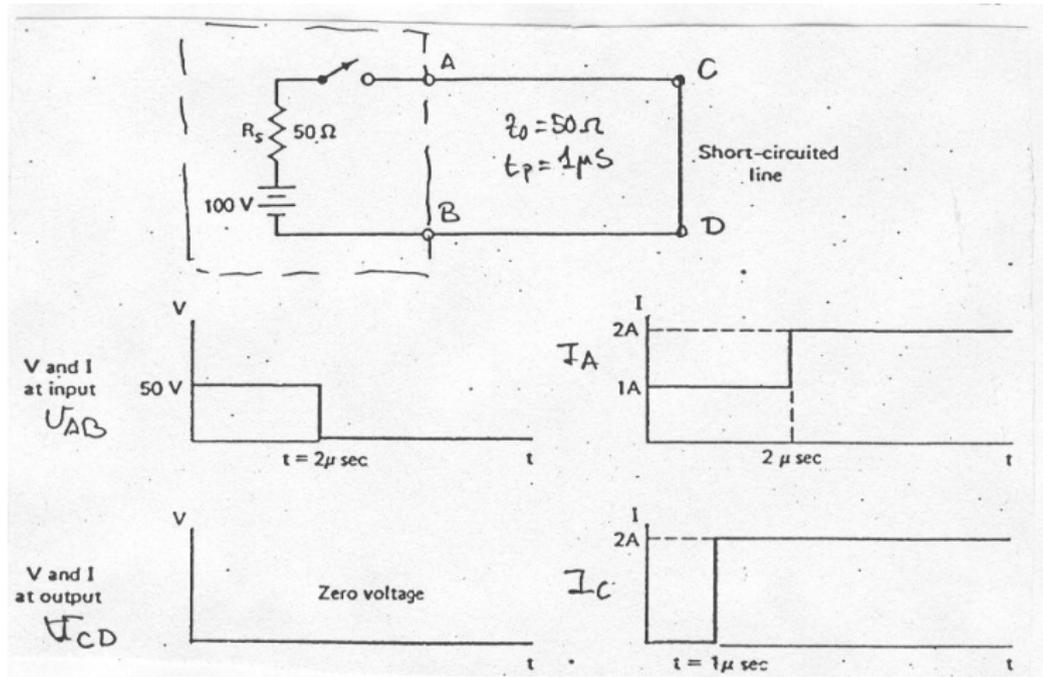
donde

- $V_{+z=0}$ es la V_- calculada en la ecuación 31
- $V_{-z=0}$ se calcula a partir del coeficiente de reflexión en el extremo generador:
$$\Gamma_{V_{z=0}} = \frac{Z_{GEN} - Z_0}{Z_{GEN} + Z_0} = \frac{V_{-z=0}}{V_{+z=0}}$$
- Si $V_{-z=0} \neq 0$ entonces hay que calcular $v(z = l, 3t = T_p)$ de la misma forma que se calcula $v(z = l, t = T_p)$.

Ejemplo Línea abierta: ($Z_L = \infty$, $V_{GEN} = CTE.$),



Ejemplo línea cortocircuitada: ($Z_L = 0$, $V_{GEN} = CTE.$),



Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 **Fibra Óptica**
 - **Conceptos básicos**
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Índice de Refracción

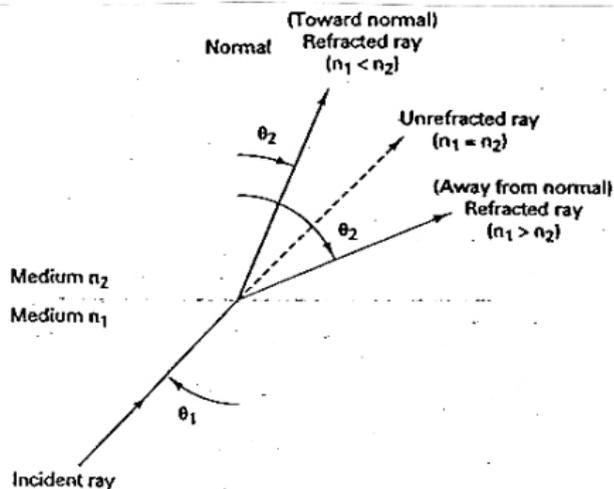
$$n = \frac{c}{v}$$

Medium	Index of refraction*
Vacuum	1.0
Air	1.0003 (≈ 1.0)
Water	1.33
Ethyl alcohol	1.36
Fused quartz	1.46
Glass fiber	1.5–1.9
Diamond	2.0–2.42
Silicon	3.4
Gallium-arsenide	3.6

*Index of refraction is based on a wave-

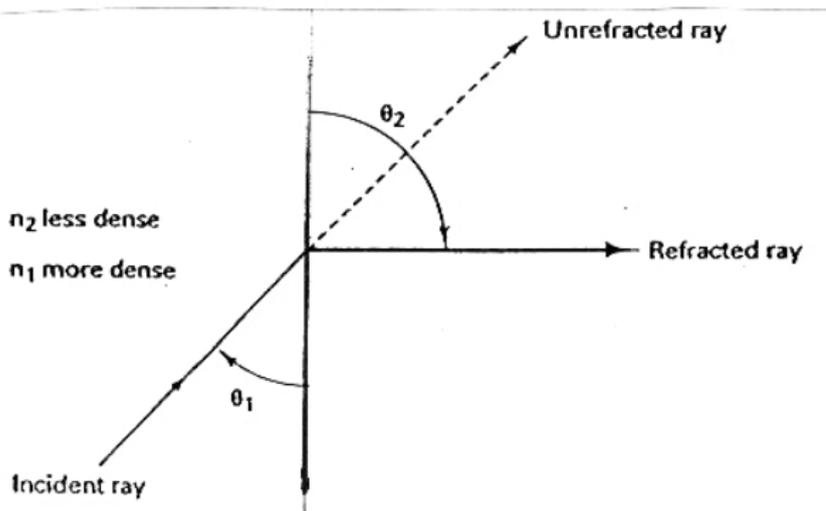
Ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Ángulo Crítico

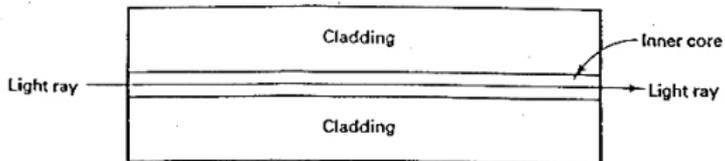
Mínimo ángulo de incidencia necesario para que el ángulo de refracción sea de 90 grados



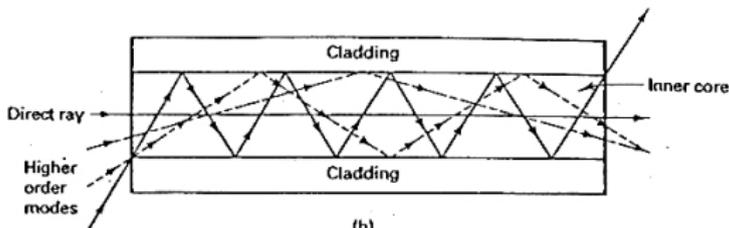
Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 **Fibra Óptica**
 - Conceptos básicos
 - **Propiedades**
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Modo de propagación

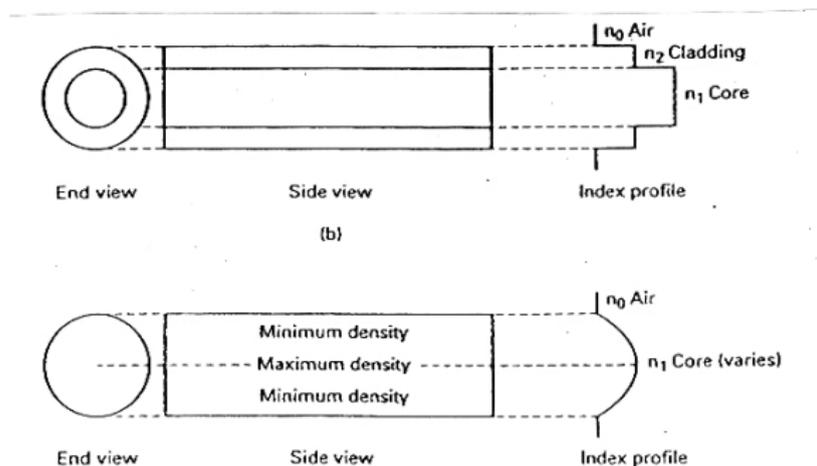


(a)

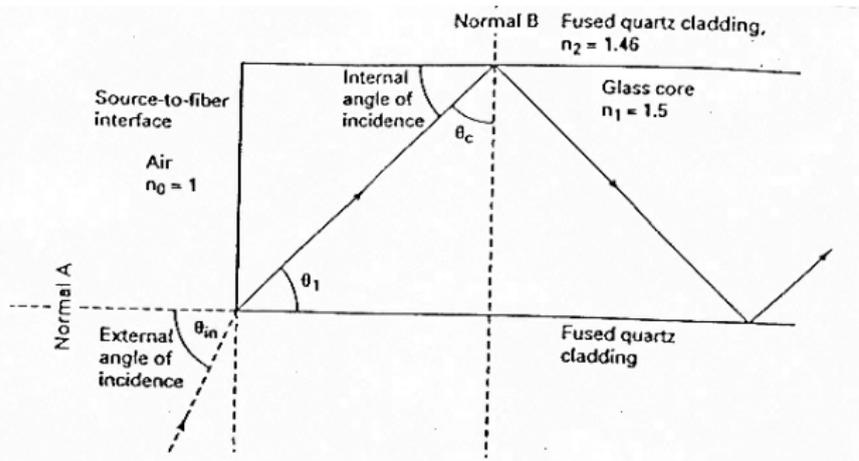


(b)

Perfil de Índice

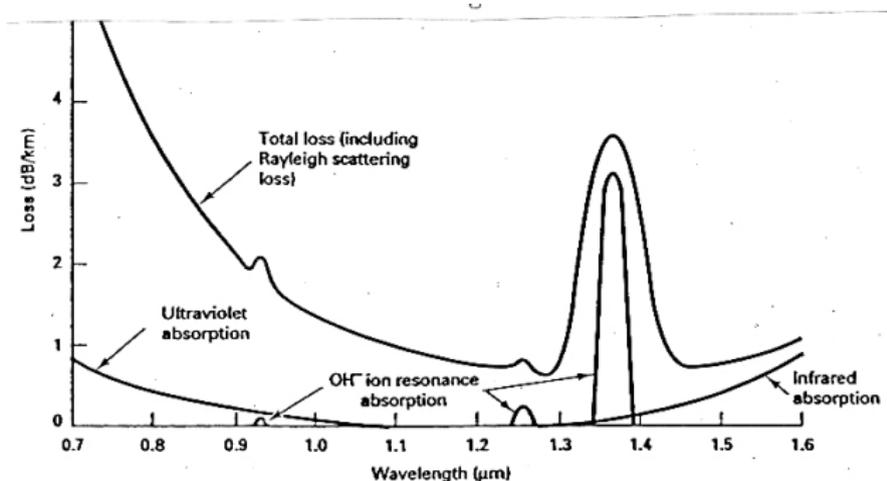


Ángulo de Aceptación



- Apertura numérica \Leftrightarrow Ángulo de aceptación

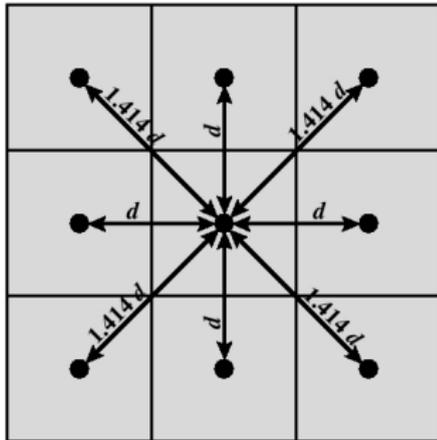
Ventanas de Emisión



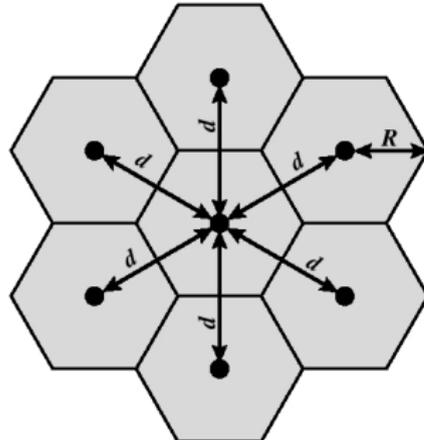
Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Geometrías celulares

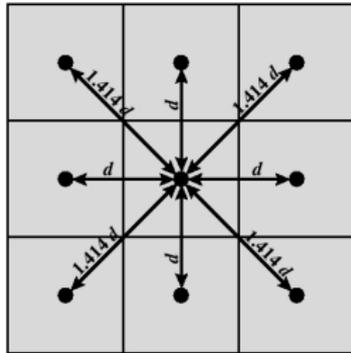


(a) Square pattern

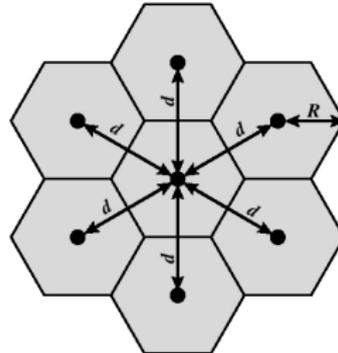


(b) Hexagonal pattern

Geometrías celulares



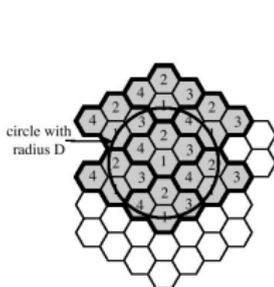
(a) Square pattern



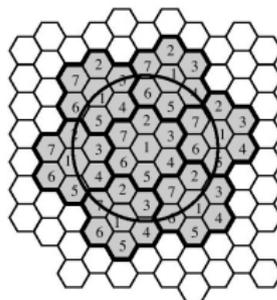
(b) Hexagonal pattern

- Celda cuadrada: 4 celdas vecinas a distancia d y otras 4 a una distancia $\sqrt{2}d$
- Celda hexagonal: Radio R , todas las vecinas a $d = \sqrt{3}R$

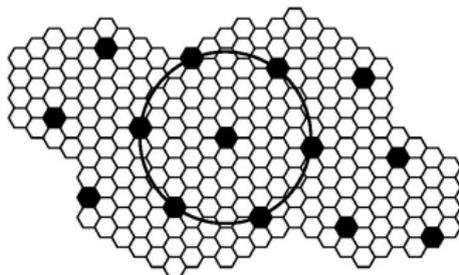
Reutilización de frecuencias



(a) Frequency reuse pattern for $N = 4$

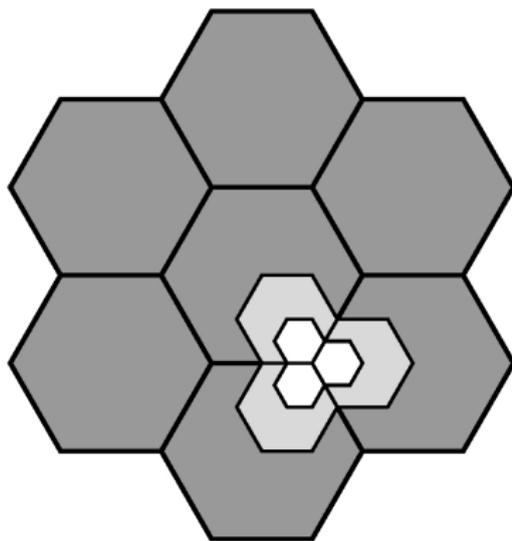


(b) Frequency reuse pattern for $N = 7$



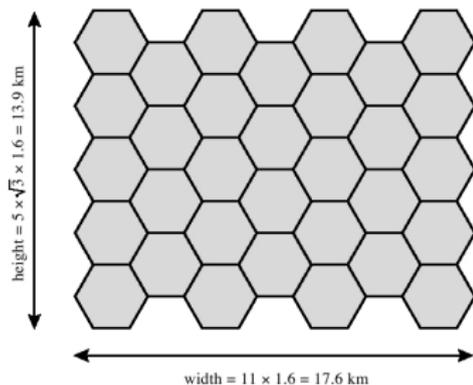
(c) Black cells indicate a frequency reuse for $N = 19$

Aumento de la capacidad: división de celdas

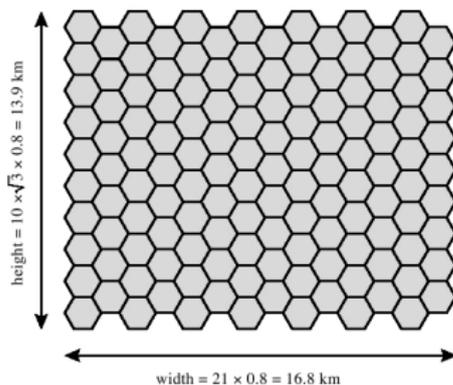


- Reducción de tamaño de celda en un factor de F aumenta en F^2 las estaciones base necesarias.

Problema ejemplo



(a) Cell radius = 1.6 km

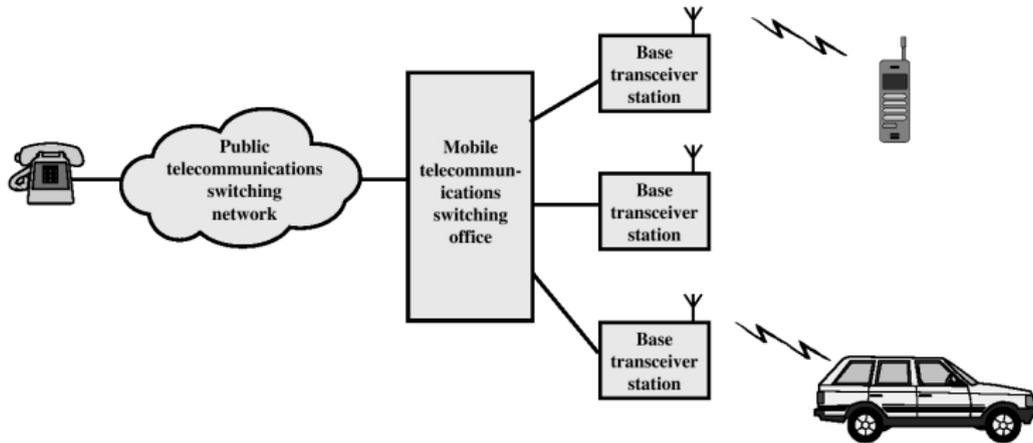


(b) Cell radius = 0.8 km

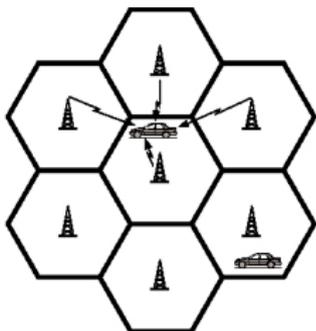
Contenido

- 1 Introducción
- 2 Líneas de transmisión
 - Definiciones. Conceptos básicos
 - Propagación de las ondas en las líneas de transmisión
 - Líneas adaptadas: $Z_L = Z_0$
 - Líneas no adaptadas: $Z_L \neq Z_0$
- 3 Fibra Óptica
 - Conceptos básicos
 - Propiedades
- 4 Radio celular
 - Organización de una red celular
 - Funcionamiento de una red celular

Estructura general

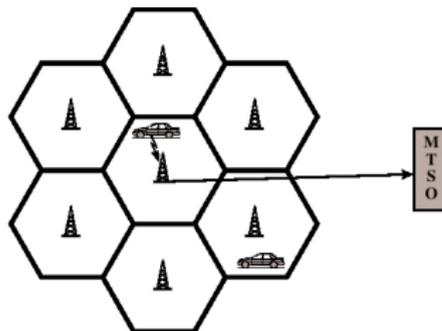


Funcionamiento típico



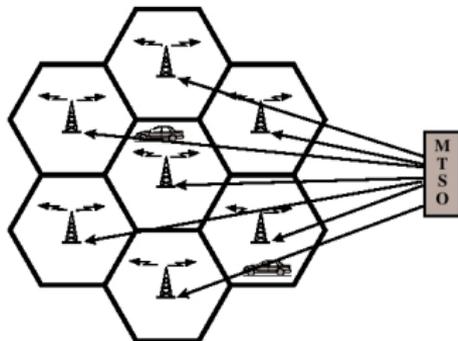
(a) Monitor for strongest signal

MTS
O

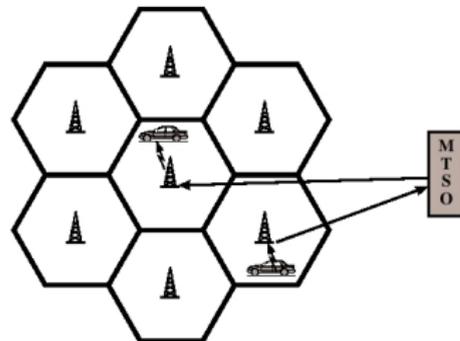


(b) Request for connection

Funcionamiento típico

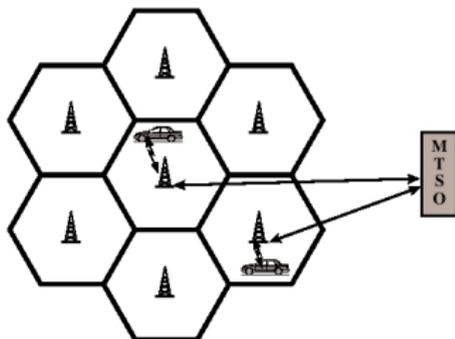


(c) Paging

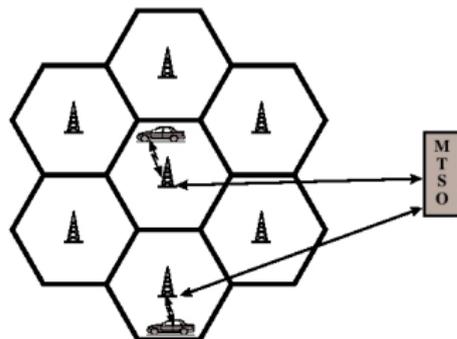


(d) Call accepted

Funcionamiento típico



(e) Ongoing call



(f) Handoff

Contenido

Bibliografía I

-  Andrew S. Tanenbaum, “*Redes de Computadores*”, Ed. Prentice Hall, 4a. ed., 2003
-  William Stallings, “*Comunicaciones y Redes de computadores*”, Ed. Prentice-Hall, 7a. Edición, 2004
-  J. Dunlop & D. G. Smith “*Telecommunications Engineering*”, Ed. Chapman and Hall, 2nd. Ed., 1994..