

TRABAJO VOLUNTARIO DE REPASO DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS

El presente documento recoge un total de 26 enunciados de cálculo corto sobre los principales conceptos del bloque de fundamentos de comunicaciones ópticas. Éstos dan lugar a 38 soluciones numéricas indicadas en cada enunciado por (Sxx).

Se propone el trabajo voluntario de repaso de conceptos fundamentales mediante la resolución de las preguntas propuestas y con el apoyo de teoría y formulación del material en transparencias que está a disposición en PoliformaT (transparencias el bloque de fundamentos).

Desarrollo: Se podrá entregar un documento con los resultados hasta la fecha del examen del tercer bloque al correo electrónico: dpastor@dcom.upv.es

Calificación de la actividad: La actividad se calificará con hasta 1 punto que se sumará a la nota final de la asignatura, lógicamente saturando en 10.

Formato: Se debe emplear el documento que se proporciona. "formato.doc"

Grupos: Trabajo Individual.

Valores numéricos de los enunciados: Cada enunciado incluirá valores numéricos de entrada prefijados y otros que puedan ser variables en función de una sencilla formula en la que se emplearán los dos últimos dígitos del DNI del alumno, formando estos dos dígitos un número que va de 0 a 99 y que identificaremos con la letra N. Por ejemplo:

- Calcular la diferencia relativa de índices y la Apertura Numérica de una fibra óptica con $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$ (S1, S2)

$$\text{Siendo } X = 1.44 + 0.02 * \left(\frac{N}{100}\right)$$

Las fórmulas X se proporcionan en la tabla siguiente.

<ul style="list-style-type: none"> • Apertura numérica, ángulo crítico e índices • BxL de las MM de SI e IG • Cálculo de V y número de modos exactos 	$X = 1.44 + 0.02 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Birrefringencia 	$X = 1 + 5 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de D y β_2, S y β_3 (a $\lambda = 1550nm$) • Cálculo de los productos BxL [(Gb/s)*km] de los 4 casos más importantes 	$X1 = 14 + 5 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X2 = 0.04 + 0.08 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de Eg y longitud de onda de operación 	$X1 = 0.1 + 0.1 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X2 = 1530 + 40 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Leds 	$X1 = 25 + 50 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X2 = 20 + 20 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X3 = 1 + 3 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Láseres 	$X = 100 + 200 * \left(\frac{N}{100}\right)$
<ul style="list-style-type: none"> • Detectores y receptores 	$X1 = 10 + 20 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X2 = 0.5 + 1 * \left(\frac{N}{100}\right)$ $X3 = 7 + 10 * \left(\frac{N}{100}\right)$

Propagación:

- Apertura numérica, ángulo crítico e índices
 1. Calcular la diferencia relativa de índices y la Apertura Numérica de una fibra óptica con $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$ (S1, S2)
 2. Calcular el ángulo máximo [grados] de aceptación de luz cuando ésta se aplica desde el exterior que es aire. Datos de (1.) (S3)
 3. Calcular el ángulo crítico. Datos de (1.) (S4)

- BxL de las MM de SI e IG
 4. Calcular el producto BxL [(Mb/s)*km] de una fibra multimodo de salto de índice (SI) con los siguientes datos: $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$. Calcular la distancia máxima [km] en la que se podrá emplear para un enlace que transporta una señal de 1Gb/s. (S5)(S6)
 5. Calcular el producto BxL [(Mb/s)*km] de una fibra multimodal de índice gradual (IG) con $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$. Calcular la distancia máxima [km] en la que se podrá emplear para un enlace que transporta una señal de 1Gb/s. (S7)(S8)

- Cálculo de V y número de modos exactos
 6. Calcular la frecuencia normalizada a $\lambda = 1550nm$ para la siguiente fibra: $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$, Diámetro del núcleo = $62.5\mu m$. Indique el número aproximado de modos que propaga si es de salto de índice. (S9)(S10)
 7. Calcular la frecuencia normalizada a $\lambda = 1550nm$ para la siguiente fibra: $n_1 = 1.47$ y $n_2 = X$, Diámetro del núcleo = $9\mu m$. Indique la denominación de los modos LP que propaga y el número de modos exactos atendiendo a sus grados de degeneración. (S11)
 8. Calcule el valor del índice de refracción del núcleo n_1 para que la fibra anterior (7) sea monomodo para $\lambda \geq 1250nm$, dejando los otros valores inalterados. (S12)

- Birrefringencia
 9. Sea una fibra óptica con una Birrefringencia de valor $B = X * 10^{-6}$ valor típico en fibra estándar. Calcule la longitud de Batido L_B [m] a $\lambda = 1550nm$ y la distancia a la que las polarizaciones pasan de ser lineales a circulares o elípticas y viceversa. (S13)(S14)

Dispersión Cromática

- Cálculo de D y β_2 , S y β_3 (a $\lambda = 1550nm$)

10. Dado el valor típico del parámetro de dispersión $D = X1 \left[\frac{ps}{nmkm} \right]$, expréselo

como $\beta_2 \left[\frac{ps^2}{km} \right]$ teniendo en cuenta que ambos están relacionados como

$$D \left[\frac{ps}{nmkm} \right] * \Delta\lambda[nm] = \beta_2 \left[\frac{ps^2}{km} \right] * \Delta\omega[1/ps] \quad (S15)$$

$$D \left[\frac{ps}{nmkm} \right] \frac{\Delta\lambda[nm]}{\Delta\omega[1/ps]} = \beta_2 \left[\frac{ps^2}{km} \right]$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta\omega} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c}$$

11. La dispersión de segundo orden viene determinada por los parámetros $\beta_3 =$

$\frac{d\beta_2}{d\omega} \left[\frac{ps^3}{km} \right]$ o $S = \frac{dD}{d\lambda} \left[\frac{ps}{nm^2km} \right]$, sabiendo que el valor típico en una fibra estándar es

$S = X2 \left[\frac{ps}{nm^2km} \right]$ calcule el correspondiente β_3 . Aplique también que

$$S \left[\frac{ps}{nm^2km} \right] * \Delta\lambda^2[nm^2] = \beta_3 \left[\frac{ps^3}{km} \right] * \Delta\omega^2[ps^{-2}] \quad (S16)$$

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\omega} \right)^2 = \left(-\frac{\lambda^2}{2\pi c} \right)^2$$

- Cálculo de los productos BxL [(Gb/s)*km] de los 4 casos más importantes

12. Sean los productos BxL [(Gb/s) * km], $Bx\sqrt{L}$ [(Gb/s) * \sqrt{km}] o $Bx\sqrt[3]{L}$

[(Gb/s) * $\sqrt[3]{km}$] más importantes definidos en la tabla, calcular sus valores y sus dimensiones adecuadas para los parámetros de fuente y fibra siguientes:

- Fuente Ancha con anchura r.m.s $\sigma_\lambda = 1nm$ (ejemplo un Fabry Perot)
- Fuente DFB de anchura despreciable frente a la tasa binaria
- Caso de dominio de $\beta_2 \neq 0$ ($D = X1 ps/nmkm$) (en $\lambda = 1550nm$)
- Caso de $\beta_2 = 0, \beta_3 \neq 0$ ($S = X2 \left[\frac{ps}{nm^2km} \right]$) (en $\lambda = 1550nm$)

Resumen: $D = X1 ps/nmkm$, $S = X2 \left[\frac{ps}{nm^2km} \right]$

	$\beta_2 \neq 0$	$\beta_2 = 0, \beta_3 \neq 0$
Fuente ancha	a) $BL \leq \frac{1}{4 D \sigma_\lambda} \quad (S17)$	b) $BL \leq \frac{1}{\sqrt{8} S \sigma_\lambda^2} \quad (S18)$
Fuente estrecha	c) $B\sqrt{ \beta_2 L} \leq \frac{1}{4} \quad (S19)$	d) $B\sqrt[3]{ \beta_3 L} \leq 0.324 \quad (S20)$

13. Calcule la distancia máxima de enlace para $B=10Gb/s$ en las cuatro configuraciones. (S21-S24)

Materiales semiconductores

Cálculo de E_g y longitud de onda de operación para materiales ternarios y cuaternarios

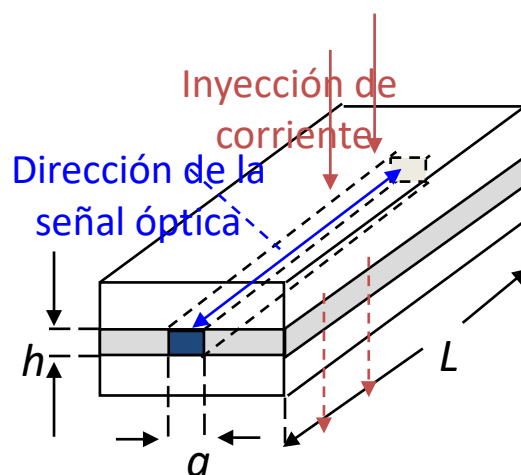
14. Calcular la Energía de Gap [eV] correspondiente para $Al_xGa_{1-x}As$ con una fracción molar de Al del $x = X1$. (S25)
15. Para un material cuaternario como el $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ calcular la fracción molar de Arsénico (As) y la correspondiente de Galio (Ga) para que emita centrado en $\lambda = X2 \text{ nm}$. (S26-S27)

Leds

16. Calcular la potencia óptica [mW] generada en el interior de la heteroestructura de un LED en $\lambda = 1550 \text{ nm}$ si la eficiencia del semiconductor es del 50% y la corriente aplicada es de $X1 \text{ mA}$. (S28)
17. Calcule la anchura espectral del LED expresada en términos de longitud de onda [nm] si emite centrado en 1310 nm y funciona a $X2$ grados centígrados. (S29)
18. Calcule el ancho de banda de modulación [MHz] de un LED si el tiempo de vida media de los electrones en la zona de recombinación es de $\tau_c = X3 \text{ ns}$. (S30)

Láseres

19. Calcular la reflectividad de Fresnel ($R_1 = R_2$) en un láser Fabry-Perot con las caras del semiconductor cortadas al aire sabiendo su índice de refracción $n = 3.4$. (S31)
20. Para la estructura de la figura calcular el coeficiente de ganancia umbral [cm⁻¹] para funcionamiento láser, datos: $a = 10 \mu\text{m}$, $h = 0.5 \mu\text{m}$, $L = X \mu\text{m}$, coeficiente de pérdidas $\alpha_c = 48 \text{ cm}^{-1}$, $R_1 = R_2 = 0.3$, $n \cong n_g = 3.4$ y $\Gamma = 1$



21. Calcular la separación de las frecuencias ópticas que cumplen la condición de fase o FSR (Free Spectral Range) [GHz]. (S33)

Detectores y receptores

22. Calcular la *eficiencia cuántica* del PIN a $\lambda = 1550nm$ con los siguientes datos:
Longitud de la zona I de **X1** μm , coeficiente de absorción de fotones del material a la λ indicada $\alpha = 10^3 cm^{-1}$, Reflectividad de la entrada de luz $R = 0.1$. (suponga que todo fotón absorbido genera un electrón es decir $\eta_i = 1$))
(S34)
23. Calcular la *Responsividad* $\Re[\frac{A}{W}]$ cuando se le aplica luz a $\lambda = 1550nm$. (S35)
24. Calcular la potencia de ruido térmico $\sigma_T^2 [A^2]$ del receptor formado por el detector anterior con una resistencia de carga de $R_L = \mathbf{X2} k\Omega$ y un amplificador de RF posterior con un factor de ruido de $NF = 6dB$. Cálculos a 25 grados centígrados y suponiendo un ancho de banda efectivo de ruido de $\Delta f = 1.25 GHz$. (S36)
25. Calcular la *Sensibilidad del Receptor Digital Simplificado* [dBm] para el receptor basado en PIN de los apartados anteriores si se desea mantener una $BER \leq 10^{-9}$. (S37)
26. Calcular la *Sensibilidad del Receptor Digital Simplificado* [dBm] para un receptor basado en detector APD con ganancia $M = \mathbf{X3}$ y un Factor de Ruido del detector APD de $F_A = 6$. (S38)