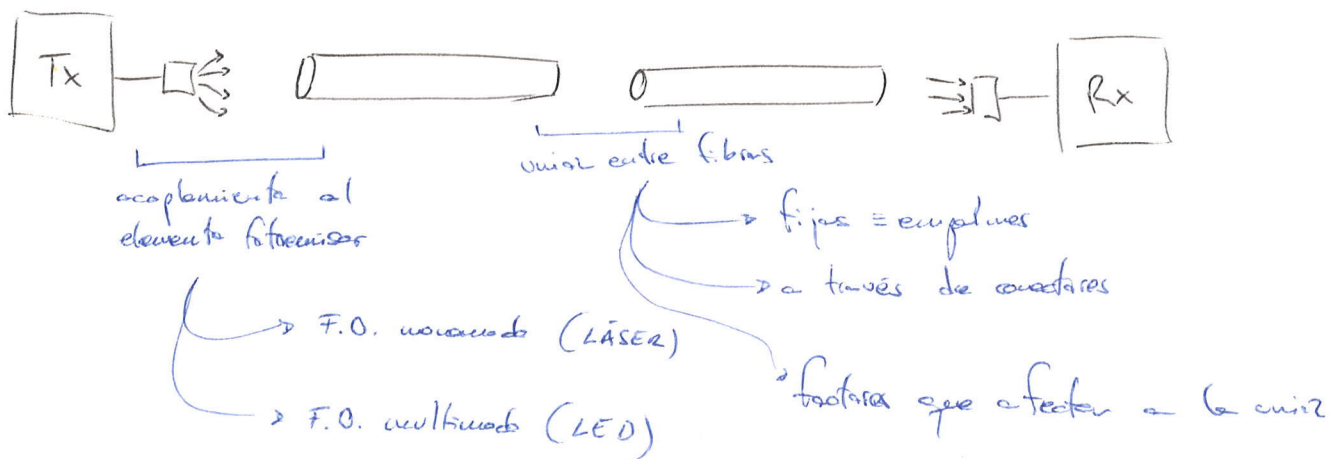


TEMA 5: ACOPLAMIENTO Y UNIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS

5.1- ACOPLAMIENTO AL ELEMENTO FOTOEMISOR

5.2- UNIÓN ENTRE FIBRAS



El problema del acoplamiento al fotoreceptor es más simple, por lo que es más interesante el otro extremo.

5.1- ACOPLAMIENTO AL ELEMENTO FOTOEMISOR

Objetivo: conseguir que la mayor parte de la ^{potencia de la} fuente vaya a parar a la fibra

eficiencia de acoplamiento: $\eta = \frac{P_F}{P_S}$

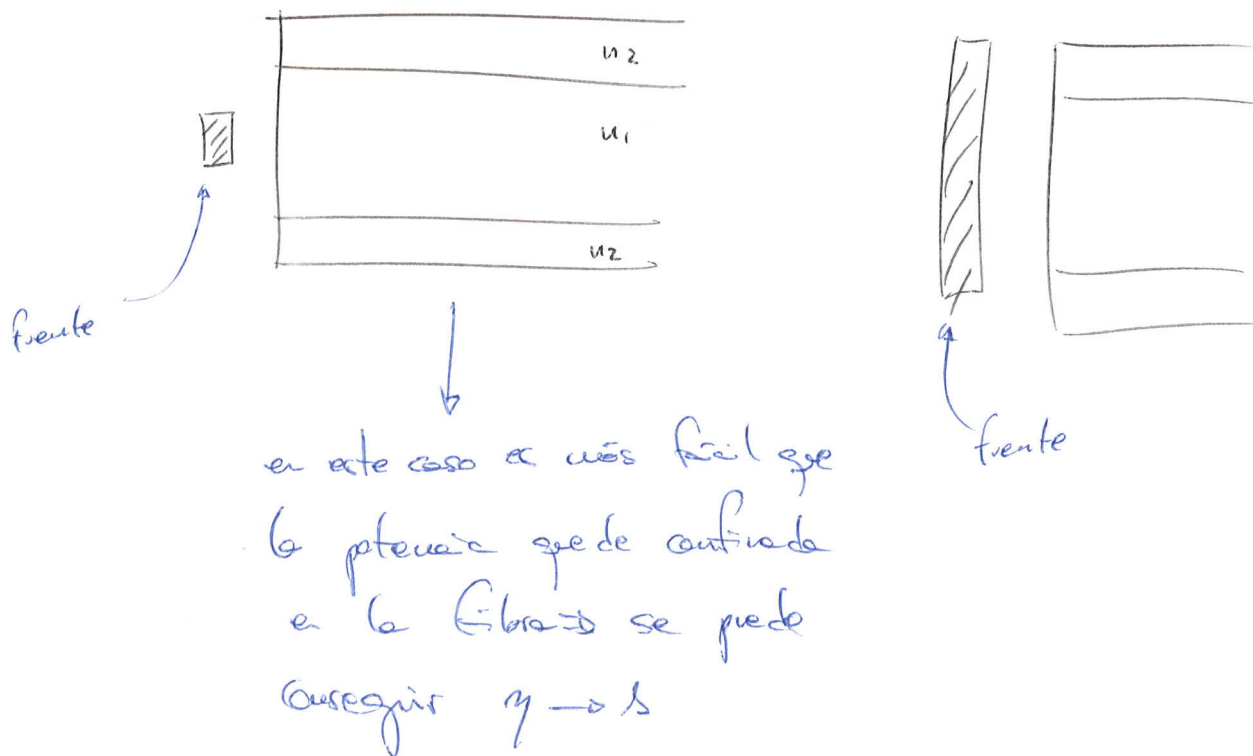
• fotobencinas:

→ diagrama de radiación direccional

• fibra:

→ cono de aceptación (AN) ⇒ capacidad de la fibra para captar luz:

$$AN \equiv \text{sen } \theta_0 = n_1 \sqrt{2\Delta}$$



• función intensidad de radiación: $U(\theta, \varphi)$

Nos indica la potencia emitida por la fuente en cada dirección por unidad de ángulo sólido, Ω

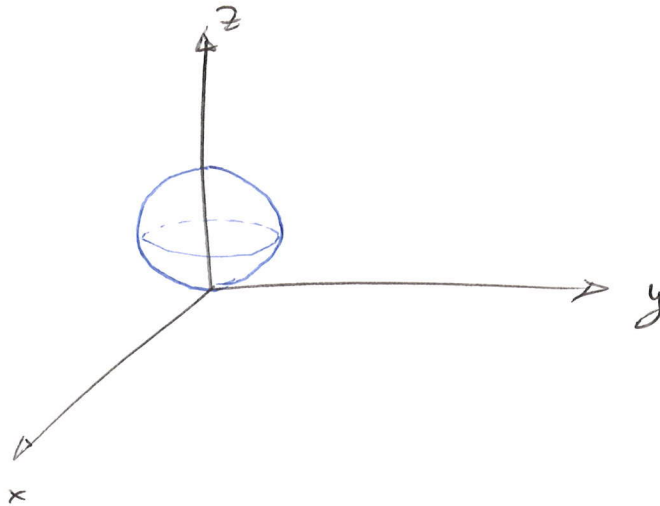
$$U(\theta, \varphi) = \frac{P_s}{\Omega} \quad [\text{W/sr}]$$

$$= \frac{P_s}{\text{área}} \cdot d^2$$

- Diagramas de radiación típicos para fuentes tipo LED:

$$U(\theta, \varphi) = U_0 \cos \theta$$

patrón de radiación Lambertiano de orden 1



- ángulo de luz de potencia unitad: $\Delta\Omega = 120^\circ$

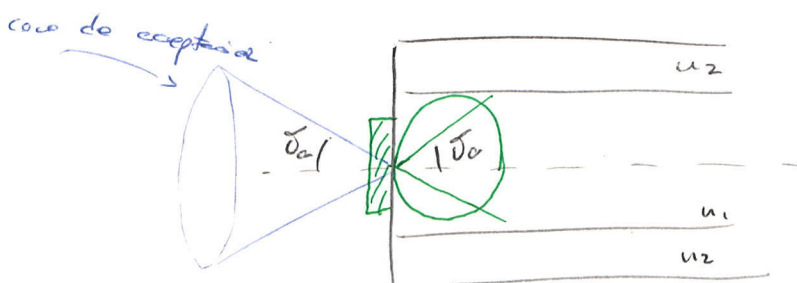
(HPBW)

- patrón de radiación Lambertiano: $U(\theta, \varphi) = U_0 \cos^m \theta$

Si $m \uparrow$, se consigue un HPBW menor

Un láser se puede modelar con este patrón para un ángulo elevado ($m \geq 100$ p.ej.)

- Fibra multimodo con fuente tipo LED:



Potencia inyectada en la fibra:

$$P_F = \int_{\Omega_a} u(\sigma, \varphi) d\Omega$$

$\Omega_a \rightarrow$ ángulo sólido que corresponde al cono de aceptación

$$d\Omega = \frac{d\text{área}}{r^2} = \frac{r^2 \sin \sigma d\sigma d\varphi}{r^2}$$

$$P_F = \int_0^{2\pi} \int_0^{\sigma_a} U_0 \cos \sigma \sin \sigma d\sigma d\varphi = \pi U_0 \sin^2 \sigma_a \quad [W]$$

$$P_S = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} U_0 \cos \sigma \sin \sigma d\sigma d\varphi = \pi U_0 \quad [W]$$

$$\eta = \frac{P_F}{P_S} = \sin^2 \sigma_a = (NA)^2 \quad \left(\begin{array}{l} \text{para el patrón de} \\ \text{radiación lambertiano} \\ \text{de orden 1 y con} \\ \text{fibra multimodo de salto} \\ \text{de índice} \end{array} \right)$$

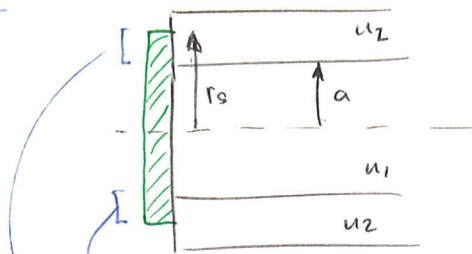
Supuesto que el radio de la fibra es mayor que el de la fuente : $r_s \ll a$

Para $u(\sigma, \varphi) = U_0 \cos^m \sigma$:

$$\eta = (1 - \cos^{m+1} \sigma_a)$$

Valores de σ_a típicos y $m \neq 0 \Rightarrow \eta \rightarrow 1$

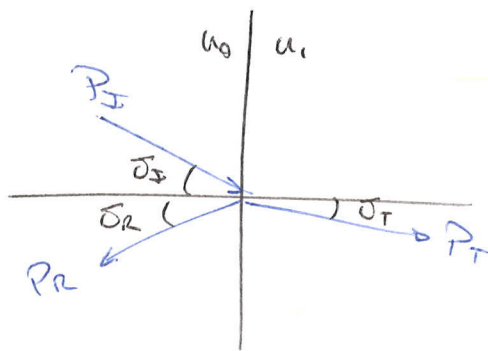
$r_s > a$:



→, los rayos que piden de aquí no cumplen la reflexión total

⇒ factor de reflexión: $\frac{\text{área útil}}{\text{área total}} = \frac{\pi a^2}{\pi r_s^2} = \left(\frac{a}{r_s}\right)^2$

$$\eta = \begin{cases} (NA)^2 & r_s < a \\ (NA)^2 \left(\frac{a}{r_s}\right)^2 & r_s > a \end{cases}$$



$$\frac{P_R}{P_I} = R = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0}\right)^2$$

↑
coeficiente de reflexión

$$P_T = (1 - R) P_I$$

$$\eta = \begin{cases} (NA)^2 (1 - R) & a > r_s \\ (NA)^2 \left(\frac{a}{r_s}\right)^2 (1 - R) & a < r_s \end{cases}$$

para bombas láser de orden 1 y fibra multimodo de salto de índice

ejemplo: Sistema óptico que trabaja a $\lambda = 850 \text{ nm}$
sobre una FO de salto de índice

$$\text{fibra} \begin{cases} n_1 = 1.48 \\ n_2 = 1.45 \\ a = 47 \mu\text{m} \end{cases} \quad \text{LED} \begin{cases} \text{Lambertiano } m=1 \\ U_0 = 6 \text{ mW/str} \\ r_s = 50 \mu\text{m} \\ u_0 = 1 \end{cases}$$

Obtener la potencia inyectada en la fibra

$$P_s = \pi U_0$$

$\lambda > 2a \rightarrow$ multimodo

$$\gamma = (NA)^2 \left(\frac{a}{r_s} \right)^2 (1-R) = 0.975$$

$$P_F = \pi U_0 \gamma = 1.42 \text{ mW}$$

Incrementar γ :

- $NA \uparrow$
- $r_s \downarrow$
- $R \downarrow$
- sistemas ópticos emisor (lente convergente)

PROPAGACIÓN DE PULSOS EN RÉGIMEN LINEAL

- Procedimiento (2 pasos)
1. Análisis modal $\rightarrow H(w)$
 2. Usar modelo LTI para estudiar la propagación.



PROPAGACIÓN DE PULSOS EN RÉGIMEN NO LINEAL

No es válido hablar de respuesta en frecuencia. El estudio de la propagación de un pulso no se puede hacer en dos pasos, sino en uno solo (no es posible hablar de respuesta en frecuencia!)

Ec. onda no lineal:
$$\nabla_t^2 \overline{E}_i + \frac{\partial^2 \overline{E}_i}{\partial z^2} - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \overline{E}_i}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \overline{P}_{NLi}}{\partial t^2}$$

equivalente de frecuencia

Buscamos solución tipo:
$$\overline{E}_{\omega_0} = \overbrace{A(z,t) F(r,\phi)}^{e^{j(\omega_0 t - \beta(\omega_0)z)}} \hat{x}$$

Mismo patrón del HE_{11}

$$\frac{\partial A(z,t)}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} - j \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -j\gamma |A|^2 A$$

Solo dispersión ($\gamma = 0$)

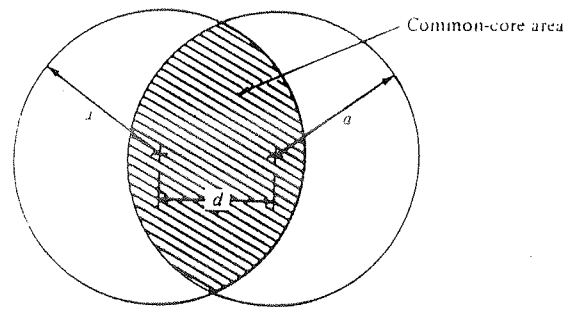
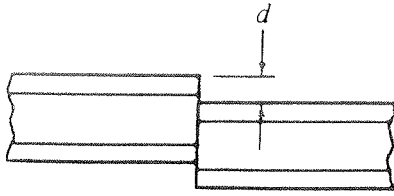
$$\frac{\partial A(z,t)}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} - j \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = 0$$

Sólo no linealidad y $A(z,t)$

$$\frac{\partial A(z,t)}{\partial z} = -j\gamma |A|^2 A$$

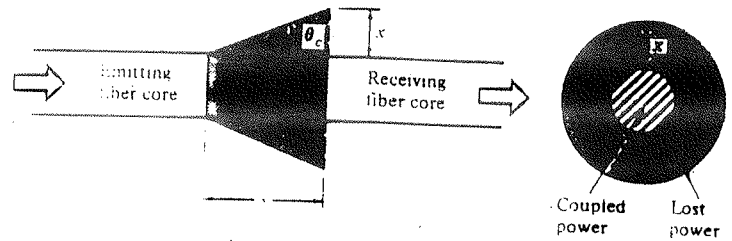
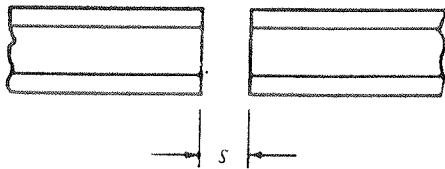
DESALINEAMIENTOS

LATERAL



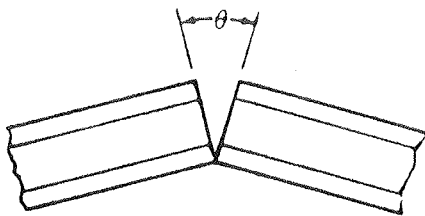
$$\eta = \frac{P_{ACOPLADA}}{P_{PERDIDA}} = \frac{AREA COMÚN}{AREA TOTAL} = \frac{2}{\pi} \cos^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right) - \frac{d}{a\pi} \left(1 - \left(\frac{d}{2a}\right)^2\right)^{1/2}$$

LONGITUDINAL



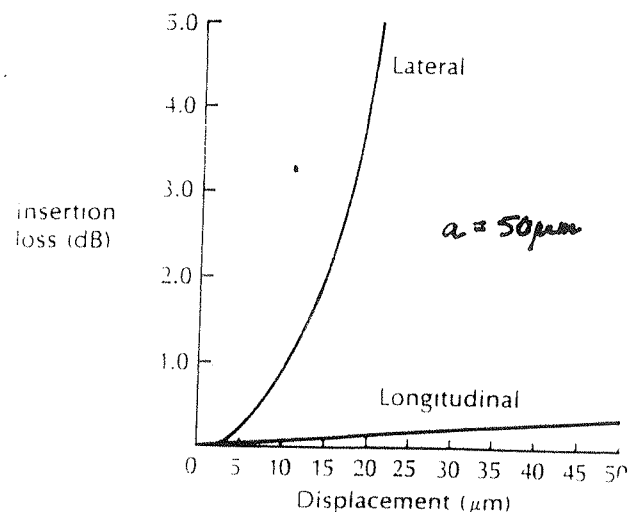
$$\eta = \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{a} \tan \theta_c\right)^2}$$

ANGULAR



HABITUAL : $\theta \approx 1^\circ$
 $\alpha \approx 0.5 \text{ dB}$

COMPARACIÓN LATERAL, LONGITUDINAL



REALIZACIONES PRÁCTICAS : EMPALMES Y CONECTORES

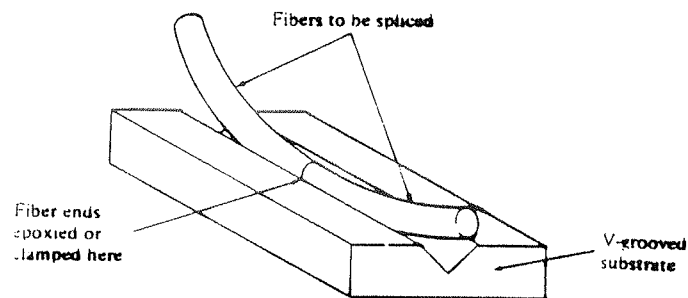
IMPORTANTE : TENER BUEN CORTE EN LOS EXTREMOS

EMPALMES

1. FUSIÓN TÉRMICA $\rightarrow$ BUENOS RESULTADOS $\alpha \approx 0.1 \text{ dB}$

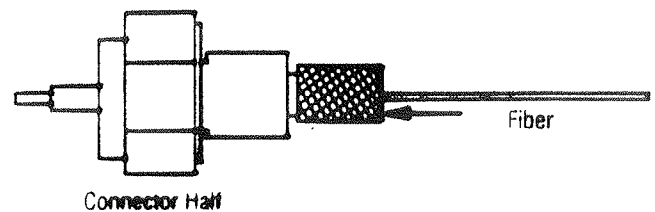
2. ELEMENTOS MECÁNICOS

$\rightarrow$ RANURA EN "V" $\alpha \approx 0.3 - 0.4 \text{ dB}$

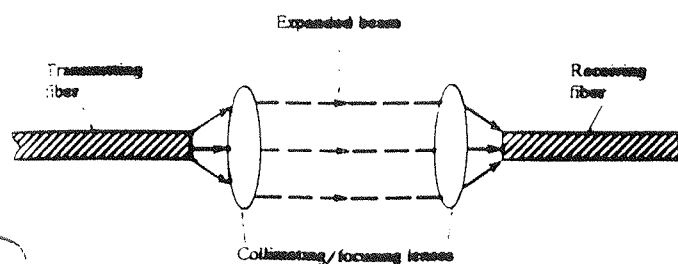


CONECTORES

1. UNIÓN DIRECTA



2. HAZ EXPANDIDO



$\rightarrow$ REDUCE EFECTO DE DESALINEAMIENTO LATERAL Y LONGITUDINAL

5.2 - UNIÓN ENTRE FIBRAS

- tipos
 - unión fija (empalmes)
 - unión con conector

- factores que afectan a la calidad de la unión:

→ extrínsecos: genera a la fibra, relacionados con la habilidad del que hace la unión

- superficie plana: si hay rugosidades en la superficie de la fibra, habrá pérdidas



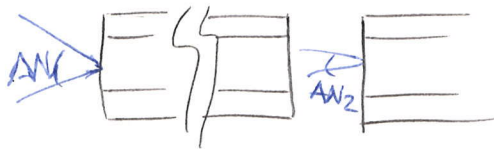
- desalineamientos: (transp)

{ lateral (del eje óptico)
 { longitudinal (separación entre ambas fibras)
 { angular (ejes forman un ángulo)

El que más pérdidas introduce es el lateral

→ intrínsecos: debidos a la propia fibra

- $NA_1 \neq NA_2$



⇒ Pérdidas

- $a_1 \neq a_2$

- Realizaciones:

• empalmes:

→ fusión térmica: buena unión, es para largos
"en el terreno". $\alpha \geq 0'1 \text{ dB}$

→ elementos mecánicos: la rampe en V limita los
desalineamientos. Se añade una sustancia para
unirlas.

$$\alpha \geq 0'5 \text{ dB}$$

• correctores: se buscan por las pérdidas y también facilidad
de uso

→ unión directa: se reducen desalineamientos en
una sola. Es inevitable el desalineamiento
longitudinal

→ haz expandido