

## **EFFECTOS ÓPTICOS NO LINEALES**

**MATERIALES DIELECTRICOS  
TIENEN UNA RESPUESTA NO LINEAL  
ANTE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS INTENSOS**

### **SÍLICE**

**NO MUESTRA UN COMPORTAMIENTO FUERTE NO LINEAL  
SE GENERA EFECTOS NO LINEALES POR TRANSMITIRSE LA ENERGÍA  
ÓPTICA POR UN ESTRECHO NÚCLEO SOBRE EXTENSAS DISTANCIAS.**

## **DISPERSIÓN ESTIMULADA DE LA LUZ**

### **LA DISPERSIÓN ELÁSTICA**

**LA FRECUENCIA Y LA ENERGÍA DEL FOTÓN NO VARÍA. EJEMPLO:  
LA DISPERSIÓN DE RAYLEIGH**

### **LA DISPERSIÓN INELÁSTICA**

**LA FRECUENCIA DE LA LUZ QUE SE DISPERSA DISMINUYE**

- DISPERSIÓN DE RAMAN**
- DISPERSIÓN DE BRILLOUIN**

### **ESTE PROCESO:**

***LA DISPERSIÓN DE UN FOTÓN HACIA UN  
FOTÓN DE MÁS BAJA ENERGÍA DE TAL  
FORMA QUE LA ENERGÍA DE LA  
DIFERENCIA, APARECE EN FORMA DE UN  
FONÓN.***

## **MECANISMOS DE PÉRDIDAS DE POTENCIA**

- FONONES ÓPTICAS: INTERVIENEN EN LA DISPERSIÓN DE  
RAMAN**
- FONONES ACÚSTICOS: INTERVIENEN EN LA DISPERSIÓN DE  
BRILLOUIN**

**NIVELES DE BAJA POTENCIA  
SE DESPRECIAN LAS PÉRDIDAS**

**NIVELES DE ALTA POTENCIA  
GRANDES PÉRDIDAS POR EFECTOS NO LINEALES  
EN LA SRS Y SBS LA DISPERSIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA  
LUZ SE INCREMENTA EXPONENCIALMENTE**

**COMPARACIÓN ENTRE LA DISPERSIÓN DE RAMAN Y DE BRILLOUIN**

- SE GENERA EN FORMA SIMILAR
- SE DIFERENCIA EN:
  - FONÓN ÓPTICO EN LA DISPERSIÓN DE RAMAN
  - FONÓN ACÚSTICO EN LA DISPERSIÓN DE BRILLOUIN.
- EN UNA FIBRA MONOMODO:
  - DISPERSIÓN DE BRILLOUIN EN LA PROPAGACIÓN REFLEJADA
  - DISPERSIÓN DE RAMAN EN LA PROPAGACIÓN INCIDENTE.

**EL NIVEL DE POTENCIA UMBRAL  $P_{th}$  DE LA DISPERSIÓN  
ESTIMULADA DE RAMAN**

**DEFINICIÓN:** ES LA POTENCIA INCIDENTE A PARTIR DE LA CUAL LA MITAD DE LA POTENCIA SE PIERDE EN LA DISPERSIÓN DE RAMAN A LA SALIDA DE LA FIBRA ÓPTICA DE LONGITUD  $L$

$$g_R P_{th} L_{eff} / A_{eff} \approx 16$$

$g_R$  = VALOR PICO DE LA GANANCIA DE RAMAN

$A_{eff}$  = AREA TRANSVERSAL DEL MODO EFECTIVO. (DEL NÚCLEO)

$L_{eff}$  = LONGITUD EFECTIVA DE INTERACCIÓN

$\alpha$  = PÉRDIDAS DE LA FIBRA ÓPTICA

**LA POTENCIA UMBRAL**

$$L_{eff} = \frac{1}{\alpha} \quad A_{eff} = \pi w^2 \rightarrow P_{th} \approx 16\alpha (\pi w^2) / g_R$$

$$g_R \approx 1 \times 10^{-13} \text{ m / Watt} \quad P_{th} \approx 570 \text{ mWatt con } \lambda = 1,55 \mu\text{m}$$

**LA DISPERSIÓN ESTIMULADA DE RAMAN NO CONTRIBUYE A  
INCREMENTAR LAS PÉRDIDAS DE LA FIBRA ÓPTICA**

**LA POTENCIA UMBRAL  $P_{th}$  PARA LA DISPERSIÓN ESTIMULADA DE BRILLOUIN**  
SIMILAR AL ANTERIOR:

$$g_B P_{th} L_{eff} / A_{eff} \approx 21$$

$g_B$  =EL COEFICIENTE DE GANANCIA DE BRILLOUIN

$$L_{eff} = \frac{1}{\alpha}; \quad A_{eff} = \pi w^2 \rightarrow P_{th} \approx 21\alpha (\pi w^2) / g_B$$

**Fibras de Sílice :  $g_B \approx 5.10^{-11} \text{ m / Watt}$**

**$g_B \gg g_R \quad P_{th} \approx 1 \text{ mWatt para } \lambda = 1,55 \mu \text{ m}$**

**EL SBS PUEDE LIMITAR CONSIDERÁBLEMENTE LA POTENCIA ALIMENTADA DEBIDO AL BAJO UMBRAL DE POTENCIA  $P_{th}$**

- SE DESPRECIA LOS EFECTOS DE DISPERSIÓN SOBRE EL ANCHO DE BANDA
- LA GANANCIA DE BRILLOUIN DEL SÍLICE TIENE UN ESPECTRO MUY ESTRECHO <100Mhz
- LA POTENCIA DE UMBRAL SE INCREMENTA  **$P_{th}=10\text{mW}$** . INCREMENTANDO EL ANCHO DE BANDA DE LA GANANCIA CON MODULACIÓN DE FASE

### **APLICACIÓN DE LA SRS Y LA SBS**

**LA SRS Y LA SBS PUEDEN AMPLIFICAR UN CAMPO ÓPTICO TRANSFIRIENDO ENERGÍA BOMBEADA DESDE UN CAMPO CON UNA LONGITUD DE ONDA ADECUADA.**

SE APLICA ESPECIALMENTE LA **SRS** POR SU ANCHO DE BANDA DE 10THz DE LA GANANCIA DE RAMAN DEL SÍLICE

**EL SBS SE USA PARA FABRICAR AMPLIFICADORES DE BRILLOUIN**

## REFRACCIÓN NO LINEAL NIVELES DE BAJA POTENCIA

**$\hat{n}$  ES INDEPENDIENTE DE LA POTENCIA**

## NIVELES DE ALTA POTENCIA

**$\hat{n}$  TIENE UNA DEPENDENCIA NO LINEAL CON LA POTENCIA**

$$\hat{n}'_j = \hat{n}_j + \hat{n}_2(P/A_{\text{eff}}) \quad \text{con } j=1,2$$

**$\hat{n}_2$  = ÍNDICE DE REFRACCIÓN NO LINEAL. PARA FIBRAS DE SÍLICE**

$$\hat{n}_2 = 3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{Watt}}$$

EFECTO NO LINEAL SOBRE EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN TOTAL  $< 10^{-7}$

**LA CONSTANTE DE PROPAGACIÓN  $\beta'$  TIENE UNA DEPENDENCIA DE LA POTENCIA**

$$\beta' = \beta + \hat{\gamma} P \quad \text{con} \quad \hat{\gamma} = \frac{k_0 \hat{n}_2}{A_{\text{eff}}}$$

## LA FASE ÓPTICA DEL MODO DE PROPAGACIÓN DE LA FIBRA

LA REFRACCIÓN NO LINEAL GENERA UN CAMBIO DE FASE NO LINEAL

$$\phi_{\text{NL}} = \int_0^L (\beta' - \beta) dz = \int_0^L \hat{\gamma} P(z) dz = \hat{\gamma} P_{\text{in}} L_{\text{eff}}$$

$$P(z) = P_{\text{in}} \cdot e^{-\alpha z} \quad \text{y} \quad L_{\text{eff}} = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha$$

**$P(z)$  = PÉRDIDAS EN LA FIBRA.  $P_{\text{in}}$  = CONSTANTE**

**$L_{\text{eff}}$  = LONGITUD DE INTERACCIÓN EFECTIVA**

## DEPENDENCIA DEL TIEMPO DE $P_{\text{in}}$

VARIACIÓN TEMPORAL DE LA FASE ÓPTICA NO LINEAL  $\phi_{\text{NL}}$

GENERACIÓN DE UN RUIDO DE GORJEO DE FRECUENCIA.  
CAUSA DISTORSIÓN DE LA VELOCIDAD DE GRUPO

## DISMINUCIÓN DEL EFECTO DE NO LINEALIDAD DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN

CONDICIÓN PARA LA FASE ÓPTICA NO LINEAL:  $\phi_{NL} \ll 1$

CONDICIÓN PARA FIBRAS ÓPTICAS DE GRAN LONGITUD CON:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1}{\alpha} \rightarrow P_{\text{in}} \ll \frac{\alpha}{\gamma}$$

VALORES TÍPICOS:  $\gamma \approx 2 \text{Watt.Km}^{-1}$ ;  $\alpha = 0,2 \text{dB/Km}$

LA POTENCIA DE ENTRADA ESTÁ LIMITADA:  $P_i < 22 \text{ mWatt}$

## AUTO MODULACIÓN DE FASE (SPM)

EL CAMBIO DE FASE NO LINEAL  $\phi_{NL}$  ES AUTOINDUCIDO POR EL CAMPO ÓPTICO

- GENERADO POR LA DEPENDENCIA DE POTENCIA DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.
- LA **SPM** PERMITE UN ENSANCHAMIENTO ESPECTRAL.

## LA MODULACIÓN CRUZADA DE FASE (XPM)

DEPENDENCIA QUE PRESENTA EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

- DOS O MÁS CANALES SE TRANSMITEN SIMULTÁNEAMENTE POR MEDIO DE PORTADORAS DIFERENTES DENTRO DE LA FIBRA ÓPTICA
- EL CAMBIO DE FASE DEL CANAL “J” ES:

$$\phi_j^{NL} = \gamma L_{\text{eff}} \left( P_j + 2 \sum_{m \neq j}^M P_m \right)$$

M=TOTAL DE CANALES.

P<sub>j</sub>=POTENCIA DEL CANAL

J=1.....J=M

EL FACTOR 2 INDICA QUE LA **XPM** ES EL DOBLE DE EFECTIVA QUE LA **SPM**, PARA LA MISMA CANTIDAD DE POTENCIA

### EL CAMBIO DE FASE TOTAL

- DEPENDE DE LA POTENCIA EN TODOS LOS CANALES.
- VARÍA DEL PATRÓN DE BITS DE CANALES VECINOS.

### EL CAMBIO DE FASE EN EL MEJOR DE LOS CASOS

- TODOS LOS CANALES TIENEN LA MISMA POTENCIA.
  - TODOS LOS CANALES TRANSPORTAN SIMULTÁNEAMENTE 1 BIT.
- ESTÁ DADA POR:

$$\phi_j^{NL} = \frac{\gamma}{\alpha} (2M - 1) P_j$$

**VALORES TÍPICOS:**  $M=10$ ,  $\gamma$  Y  $\alpha$  PARA  $\lambda=1,55\mu\text{m}$ .

POTENCIA DE LOS CANALES=1mW. SE MANTIENE:  $\phi_j^{NL} \ll 1$

**EN SISTEMAS ÓPTICOS MULTICANALES. XPM REPRESENTA UN FACTOR DE LIMITACIÓN DE POTENCIA.**

### PARA IMPULSOS ÓPTICOS RELATIVAMENTE ANCHOS:

- SPM Y XPM NO TIENEN UN EFECTO SIGNIFICATIVO EN LA DISPERSIÓN.

### PARA IMPULSOS ÓPTICOS CORTOS:

- EFECTOS DISPERSIVOS Y NO LINEAL ACTUAN SIMULTÁNEAMENTE SOBRE EL IMPULSO ÓPTICO GENERANDO NUEVAS CARACTERÍSTICAS.
- EL ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO ÓPTICO INDUCIDO POR LA DISPERSIÓN SE REDUCE CONSIDERÁBLEMENTE EN PRESENCIA DE SPM Y GVD.

### PROPAGACIÓN DEL IMPULSO ÓPTICO SIN DISTORSIÓN.

- SELECCIONANDO EL PICO DE POTENCIA DEL IMPULSO QUE CORRESPONDA AL SOLITÓN FUNDAMENTAL.

### MEZCLADOR DE CUATRO ONDAS (FWM)

- ORIGEN EN LA SUSCEPTIBILIDAD NO LINEAL DE TERCER ORDEN  $\chi^{(3)}$
- $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  FRECUENCIAS DE PORTADORAS
- SE GENERA UN CUARTO CAMPO ÓPTICO:  $\omega_4 = \omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3$
- EL FWM OCURRE SI LOS DOS FOTONES INICIALES  $\hbar\omega_1 = \hbar\omega_2$  SE DEGENERAN DE TAL MANERA QUE:  $\omega_4 = 2\omega_1 - \omega_3$
- **PÉRDIDA DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA** A TRAVÉS DE LA FWM POR:
  - PÉRDIDA DE POTENCIA DE CANALES ESPECÍFICOS.
  - INTERFERENCIA CRUZADA ENTRE CANALES.
- **APLICACIÓN DE LA FWM EN SISTEMAS ÓPTICOS.**
  - EN LA DEMULTIPLEXIÓN POR TDM
  - SE GENERA UN ESPECTRO INVERTIDO. SE COMPENSA DISPERSIÓN