

### LA CURVA CARACTERÍSTICA LUZ-CORRIENTE

- DESCRITA POR LAS ECUACIONES DE VELOCIDADES DE VARIACIÓN.
  - CONTROLAN LA INTERACCIÓN DE FOTONES Y ELECTRONES DENTRO DE LA REGIÓN ACTIVA.
  - DETERMINACIÓN EXACTA PARTEN DE LAS ECUACIONES DE MAXWELL, JUNTO CON UNA APROXIMACIÓN MECÁNICA CUÁNTICA PARA LA POLARIZACIÓN INDUCIDA.
  - LAS ECUACIONES DE VELOCIDADES DE VARIACIÓN SE PUEDEN DETERMINAR CONSIDERANDO EL FENÓMENO FÍSICO, A TRAVÉS DEL CUAL:
    - EL NÚMERO DE FOTONES “P” Y EL NÚMERO DE ELECTRONES “N” VARÍAN TEMPORÁLMENTE DENTRO DE LA REGIÓN ACTIVA.

### ECUACIONES DE VELOCIDAD DE VARIACIÓN PARA UN LASER MONOMODO.

**G**= LA VELOCIDAD DE LA VARIACIÓN DE LA EMISIÓN ESTIMULADA DE LA RED.  
**R<sub>sp</sub>**=LA VELOCIDAD DE LA VARIACIÓN DE LA EMISIÓN ESPONTÁNEA EN MODO LASER.

$$\frac{dP}{dt} = GP + R_{sp} - \frac{P}{\tau_p} \quad \frac{dN}{dt} = \frac{I}{q} - \frac{N}{\tau_c} - GP$$

- v<sub>g</sub>**=VELOCIDAD DE GRUPO  $G = \Gamma v_g \cdot g = G_N(N - N_0)$
- Γ**=FACTOR DE CONFINAMIENTO.
- g**=GANANCIA ÓPTICA PARA LA FRECUENCIA MODAL

•**R<sub>sp</sub>** ES MUCHO MENOR QUE LA VELOCIDAD DE DE VARIACIÓN DE LA EMISIÓN ESPONTÁNEA TOTAL.

•ESTO SE EXPLICA TOMANDO EN CUENTA QUE LA EMISIÓN ESPONTÁNEA SE GENERA EN TODAS LAS DIRECCIONES SOBRE UN RANGO ESPECTRAL ANCHO DE 30 A 40nm.

•SOLO UNA PEQUEÑA PORCIÓN DE ESTA EMISIÓN SE PROPAGA A LO LARGO DEL EJE DE LA CAVIDAD.

•IRRADIANDO LUZ A LA FRECUENCIA LASER.  
 •CONTRIBUYENDO EN LA ECUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VARIACIÓN TEMPORAL DE FOTONES:

$$\frac{dP}{dt} = GP + R_{sp} - \frac{P}{\tau_p}$$

### RELACIÓN ENTRE R<sub>sp</sub> Y G

- n<sub>sp</sub>**=FACTOR DE EMISIÓN ESPONTANEA.  $R_{sp} = n_{sp}G$
- PARA SEMICONDUCTORES LASERS: **n<sub>sp</sub>**=2.
- N**=NÚMERO DE ELECTRONES. NO REPRESENTA LA DENSIDAD DE PORTADORES.

• **G VARÍA LINEÁLMENTE CON “N”**

• CONSIDERANDO LA RELACIÓN DE LA GANANCIA PICO  $g_p(N) = \sigma(N - N_T)$

$$G_N = \frac{\Gamma v_g \sigma_g}{V} \quad \text{y} \quad N_0 = N_T V \quad \text{con } V = \text{volumen}$$

•  **$P/\tau_p$** =CONSIDERA LAS PÉRDIDAS DE LOS FOTONES DENTRO DE LA CAVIDAD.

•  **$\tau_p$** =TIEMPO DE VIDA DEL FOTÓN. **RELACIONADAS CON LA PÉRDIDA DE LA CAVIDAD**, DESCRITA EN EL VALOR UMBRAL DE LA GANANCIA ÓPTICA:  $\tau_p^{-1} = v_g \alpha_{cav} = v_g (\alpha_{mir} + \alpha_{int})$

• CONSIDERANDO LA ECUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS ELECTRONES:  $\frac{dN}{dt} = \frac{I}{q} - \frac{N}{\tau_c} - GP$

• **REPRESENTA LA VELOCIDAD TEMPORAL CON LA CUAL ELECTRONES DENTRO DE LA REGIÓN ACTIVA SE CREAN Y SE DESTRUYEN:**

• ESTA ECUACIÓN ES SIMILAR A LA ECUACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS DENSIDADES DE PORTADORES  $N'$  PARA EL LED.  $\frac{dN'}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N'}{\tau_c}$

•  **$\tau_c$** =TIEMPO DE VIDA DE LOS PORTADORES .

• LA DIFERENCIA ESTÁ REPRESENTADA EN EL TÉRMINO: **GP**

• EL CUAL GOBIERNA LA VELOCIDAD DE RECOMBINACIÓN DE PARES ELECTRÓN HUECO A TRAVÉS DE EMISIÓN ESTIMULADA.

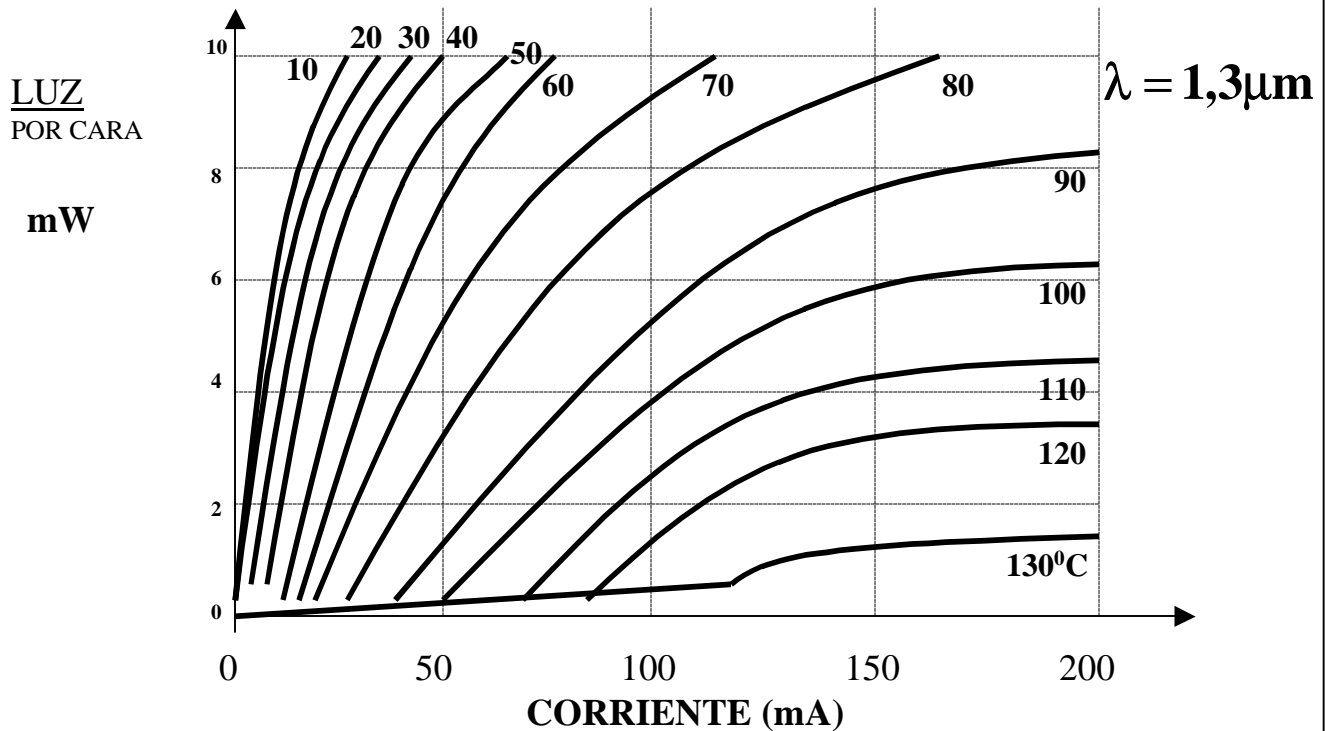
• **EL TIEMPO DE VIDA DE LOS PORTADORES  $\tau_c$  INCLUYE LAS PÉRDIDAS DE LOS ELECTRONES DE:**

• **LA RECOMBINACIÓN ESPONTANEA**

• **Y DE LA RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA,**

COMO INDICA:  $R_{spon} + R_{nr} = \frac{N}{\tau_c}$

•**FIGURA:** CURVAS CARACTERÍSTICAS LUZ-CORRIENTE. PARA VARIAS TEMPERATURAS PARA UN LASER “BH” CON HETEROESTRUCTURAS ENCUBIERTA EN EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DE  $1,3\mu\text{m}$ .



•SE TRATA DE UN LASER InGaAsP PARA TEMPERATURAS ENTRE 10°C A 130°C

### RESPUESTA DEL LASER A TEMPERATURA AMBIENTE

- EL NIVEL UMBRAL SE ALCANZA PARA CORRIENTES DE APROXIMÁDAMENTE 20mA.
  - PARA CORRIENTES DE 100mA EL LASER EMITE UNOS 6mW DE POTENCIA DE SALIDA POR CADA CARA.
- EL RENDIMIENTO DEL LASER DISMINUYE PARA ALTAS TEMPERATURAS.
- LA CORRIENTE UMBRAL SE INCREMENTA EXPONENCIALMENTE PARA ALTAS TEMPERATURAS:  $I_{\text{tn}}(T) = I_0 e^{T/T_0}$
- $I_0$  ES CONSTANTE
- $T_0$  ES LA TEMPERATURA CARACTERÍSTICA.
  - $T_0$  SE USA CON FRECUENCIA PARA EXPRESAR LA SENSIBILIDAD DE LA TEMPERATURA A LA CORRIENTE UMBRAL.
- RANGO TÍPICO:
  - LASER InGaAsP  $T_0=50$  A  $70^\circ\text{K}$ . DISIPADOR TERMO ELÉCTRICO
  - NO IRRADIA LUZ SOBRE LOS  $100^\circ\text{C}$ .
  - LASER GaAs  $T_0>120^\circ\text{K}$

### CARACTERÍSTICA DE LAS CURVAS LUZ-CORRIENTE

•ESTÁN DESCRITAS POR LAS ECUACIONES DE LA VELOCIDAD DE VARIACIÓN.

•CASO DE OPERACIÓN CON ONDA CONTINUA “CW”. PARA UNA CORRIENTE CONSTANTE “I”.

•EL TIEMPO DETERMINADO DE LAS ECUACIONES DE VELOCIDADES, SE HACE CERO.

•LA SOLUCIÓN:

•SE SIMPLIFICA, DESPRECIANDO LA EMISIÓN ESPONTÁNEA CON:

$$\bullet R_{sp}=0 \text{ PARA CORRIENTES DONDE: } G\tau_p < 1, \quad P = 0, \quad N = \tau_c \frac{I}{q}$$

### EL NIVEL UMBRAL DE CORRIENTE:

•SE ALCANZA PARA CORRIENTES:  $G\tau=1$

•EL VALOR UMBRAL DE INVERSIÓN DE LA VECINDAD DE PORTADORES SE FIJA EN:

$$N_{th} = N_0 + (G_N \tau_p)^{-1}$$

•PARA LA CORRIENTE UMBRAL, SE OBTIENE:

$$I_{th} = \frac{qN_{th}}{\tau_c} = \frac{q}{\tau_c} \left( N_0 + \frac{1}{G_N \tau_p} \right)$$

•EL NÚMERO DE FOTONES “P”

•SE INCREMENTA LINEALMENTE PARA:

$$I > I_{th} \quad \text{con} \quad P = \left( \frac{\tau_p}{q} \right) (I - I_{th})$$

•LA POTENCIA DE RADIACIÓN:  $P_e$

•QUEDA DESCRITA POR EL NÚMERO DE FOTONES “P” CON LA RELACIÓN:  $P_e = \frac{1}{2} (v_g \alpha_{mir}) \hbar \omega P$

• $v_g \alpha_{mir}$ =ES LA VELOCIDAD A PARTIR DE LA CUÁL, LA ENERGÍA  $\hbar \omega$  ESCAPA DE LAS CARAS DEL LASER.

• $1/2$ =HACE QUE LA POTENCIA RADIADA  $P_e$  EN CADA CARA, SEAN IGUALES.

•SI EN LASERS FP LAS REFLECTIVIDADES DE LAS CARAS SON IGUALES.

•LA ECUACIÓN ANTERIOR PARA “ $P_e$ ” SE MODIFICA ADECUÁDAMENTE PARA:

•LASER CON REVESTIMIENTOS EN LAS CARAS.

•O PARA LASERS “DFB”

**LA POTENCIA EMITIDA**

con  $\tau_p^{-1} = v_g (\alpha_{\text{mir}} + \alpha_{\text{int}})$  en  $P_e = \frac{1}{2} (v_g \alpha_{\text{mir}}) \hbar \omega P$

$$P_e = \frac{\hbar \omega}{2q} \frac{\eta_{\text{int}} \alpha_{\text{mir}}}{(\alpha_{\text{mir}} + \alpha_{\text{int}})} (I - I_{\text{th}})$$

•  $\eta_{\text{int}}$  = LA EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA. REPRESENTA LA CANTIDAD DE ELECTRONES INYECTADOS.

• **LA EFICIENCIA DE LA PENDIENTE:**

$$\frac{dP_e}{dI} = \frac{\hbar \omega}{2q} \eta_d \quad \text{con} \quad \eta_d = \frac{\eta_{\text{int}} \alpha_{\text{mir}}}{\alpha_{\text{mir}} + \alpha_{\text{int}}}$$

•  $\eta_d$  = ES LA EFICIENCIA CUÁNTICA DIFERENCIAL.

• ES UNA MEDIDA DE LA EFICIENCIA CON LA CUAL LA LUZ DE SALIDA SE INCREMENTA CON UN INCREMENTO DE LA CORRIENTE INYECTADA.

$\eta_{\text{ext}}$  = LA EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA.

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{\text{velocidad de emisión de Fotones}}{\text{velocidad de inyección de electrones}} = \left( \frac{2q}{\hbar \omega} \right) \left( \frac{P_e}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{ext}} = \eta_d \left( 1 - \frac{I_{\text{th}}}{I} \right) \quad \text{con} \quad \eta_{\text{ext}} < \eta_d$$

•  $\eta_{\text{tot}}$  = LA EFICIENCIA CUÁNTICA TOTAL, COMO EN EL LED:

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{2P_e}{V_0 I} \rightarrow \eta_{\text{tot}} = \frac{\hbar \omega}{q V_0} \eta_{\text{ext}} \approx \frac{E_g}{q V_0} \eta_{\text{ext}} \quad \text{con} \quad \eta_{\text{tot}} < \eta_{\text{ext}}$$

• **INCREMENTO EXPONENCIAL DE LA CORRIENTE UMBRAL CON LA TEMPERATURA.**

$$I_{\text{th}} = \frac{q N_{\text{th}}}{\tau_c} = \frac{q}{\tau_c} \left( N_0 + \frac{1}{G_N \tau_p} \right)$$