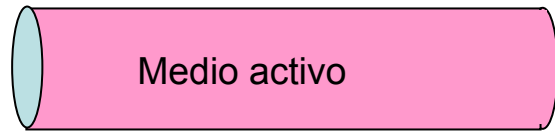


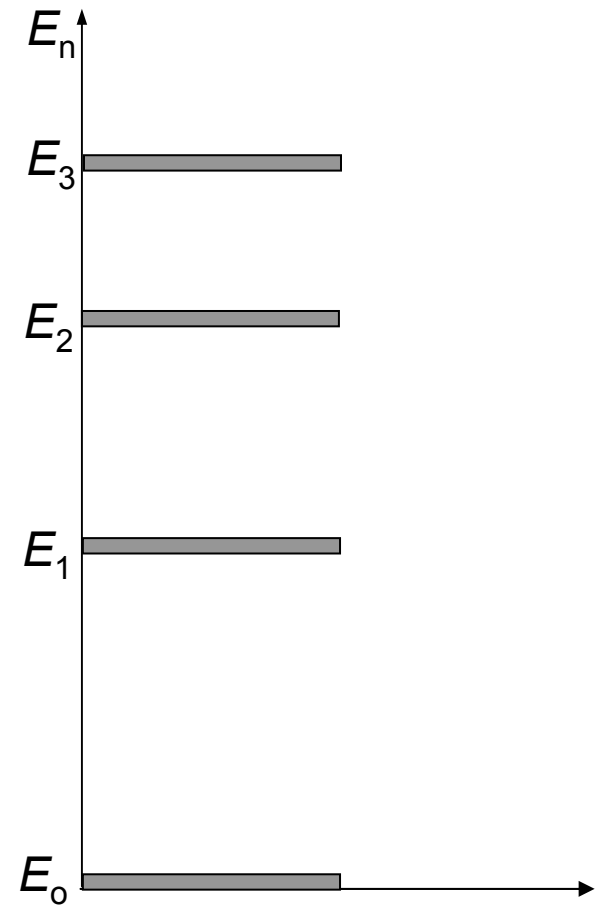
Láseres (de estado sólido)

- Conceptos básicos
- Materiales
- Mecanismos de bombeo
- Diodos láser
- Modos longitudinales
- Modos transversales

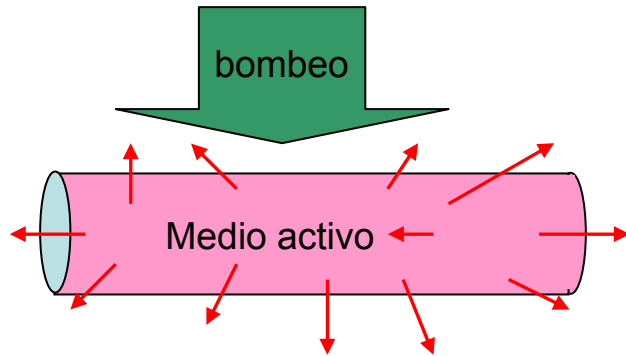
Esquema general



Esquema de niveles de energía



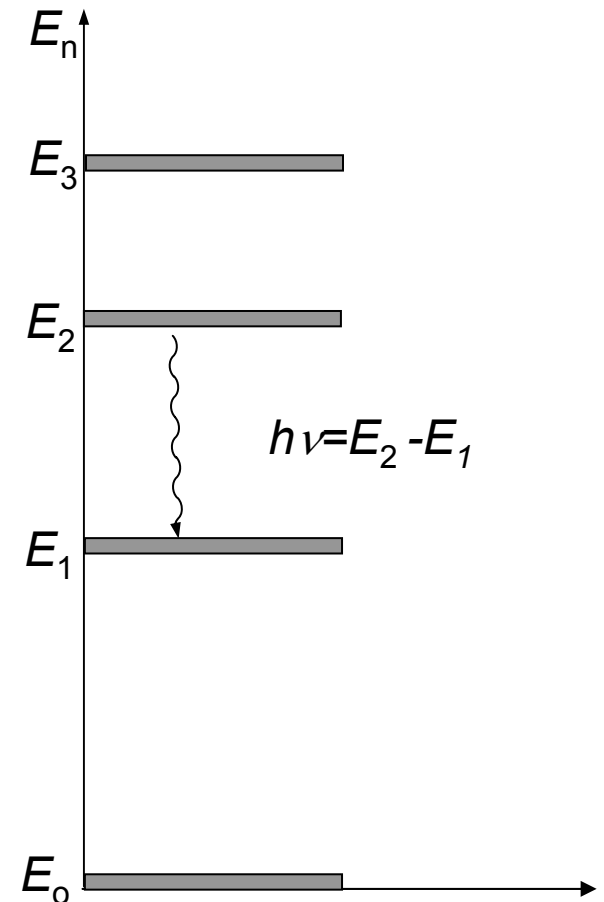
Esquema general



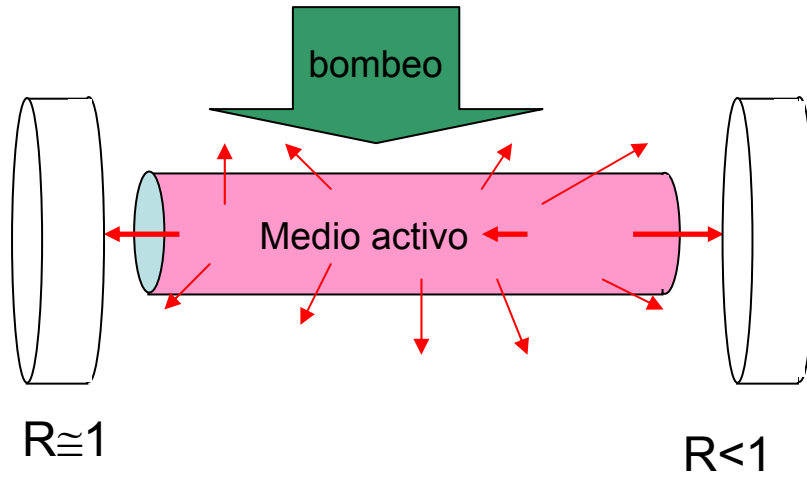
Fluorescencia, o "Emisión Espontánea"

- No direccional
- Incoherente
- Espectro ancho

Esquema de niveles de energía

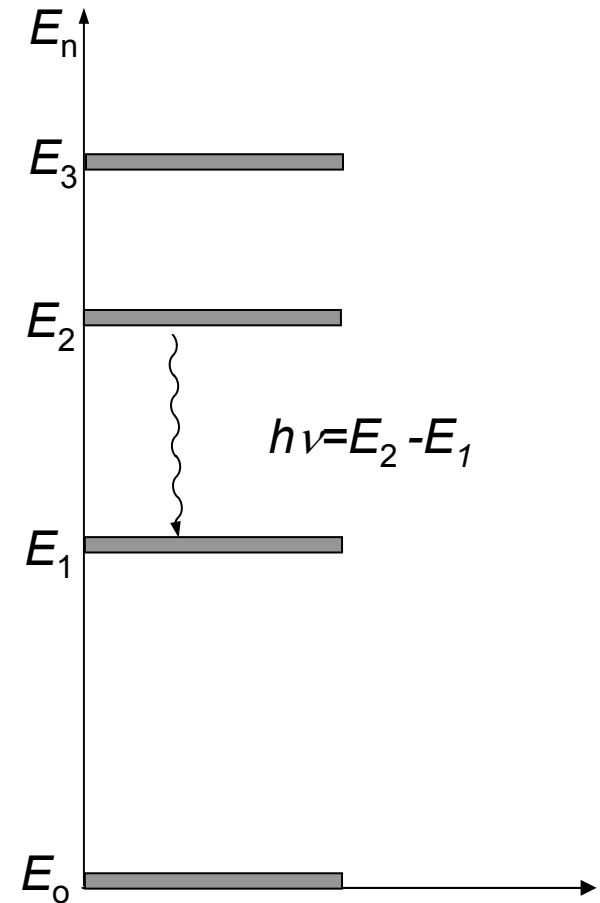


Esquema general

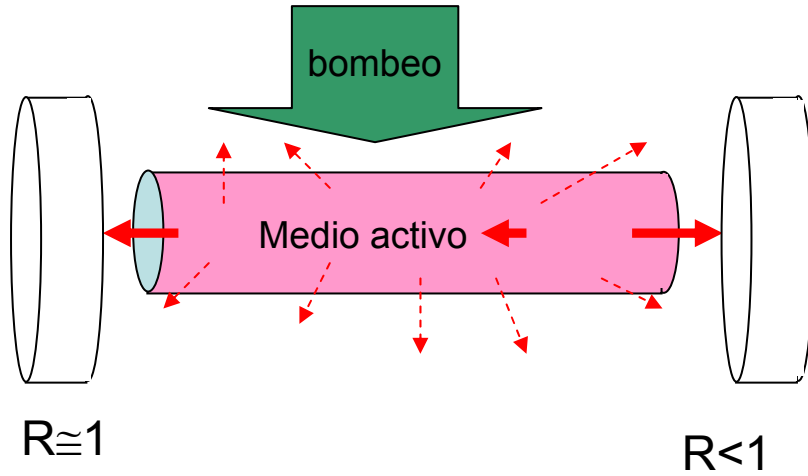


Cavidad Resonante (espejos)

Esquema de niveles de energía

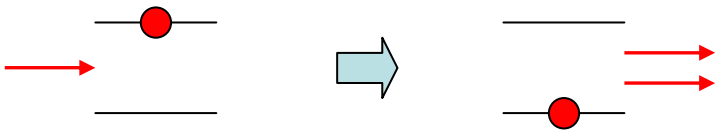


Esquema general

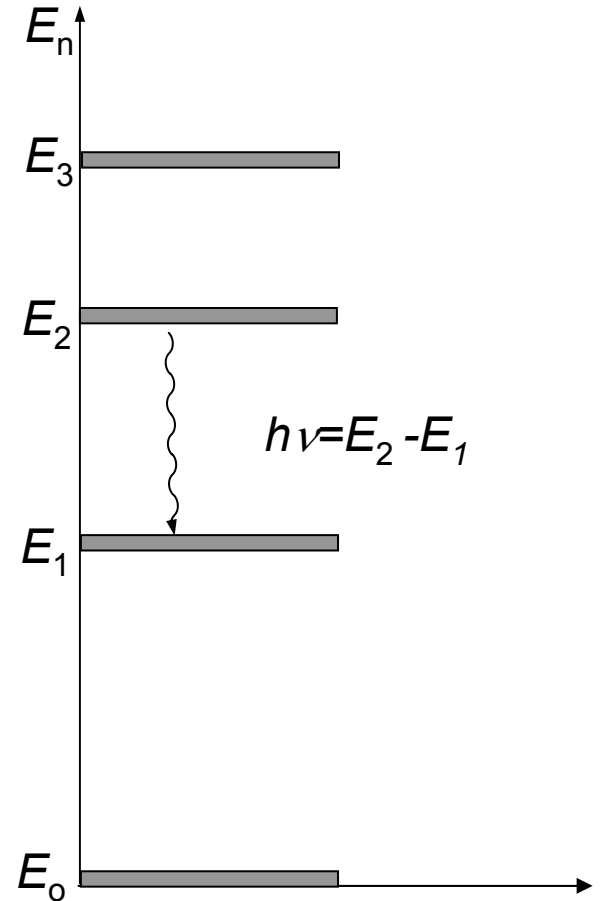


Cavidad Resonante (espejos)

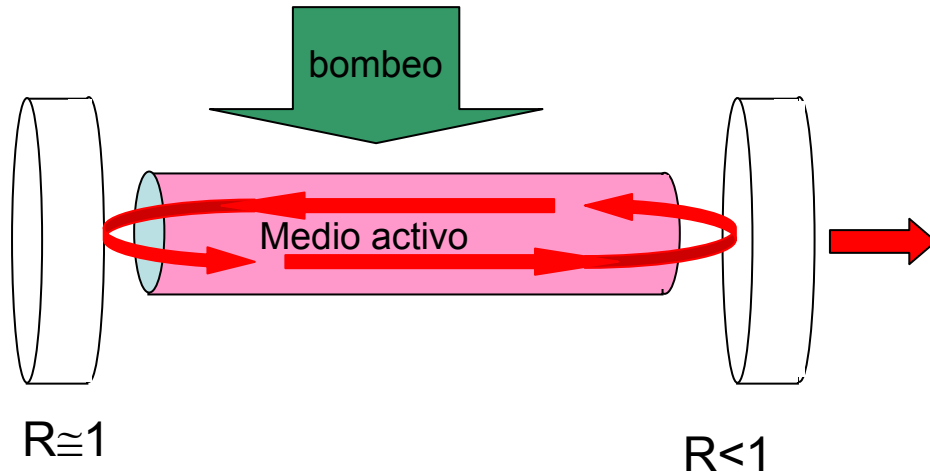
Emisión estimulada:



Esquema de niveles de energía

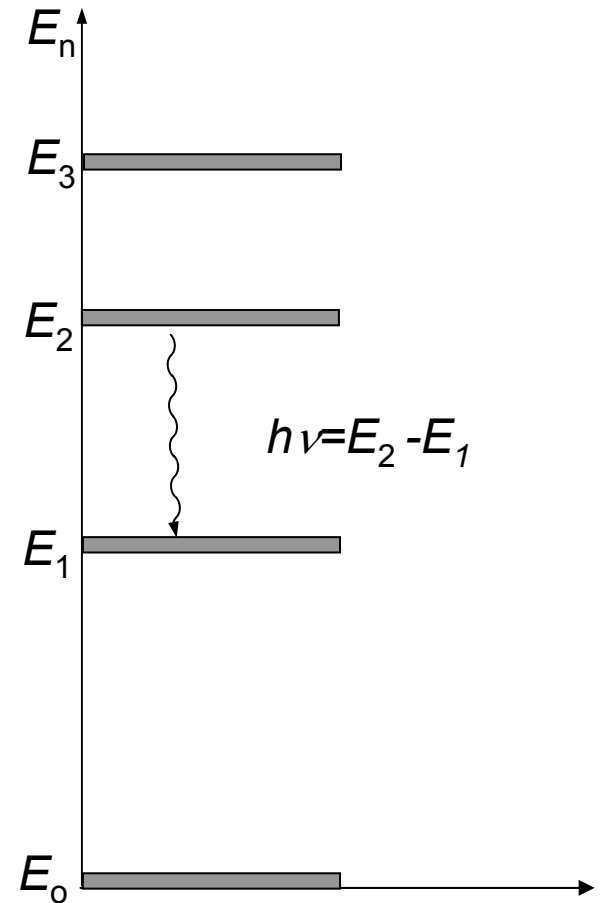


Esquema general

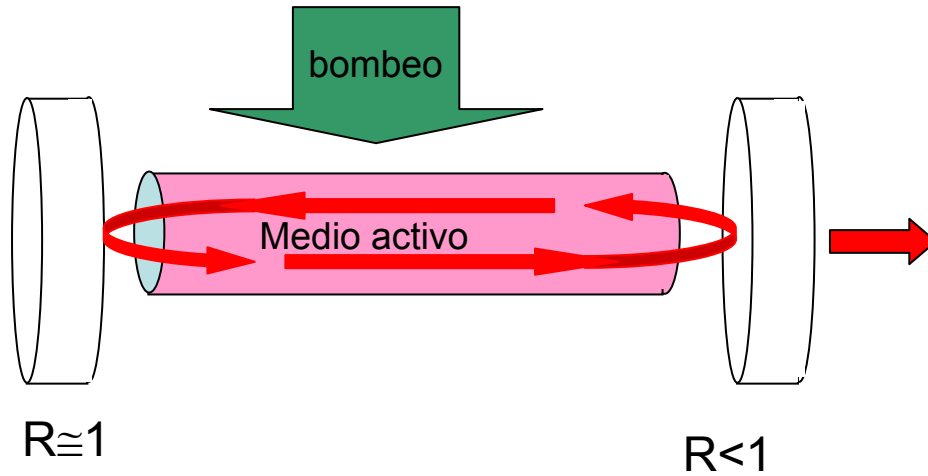


LASER
Light
Amplification
Stimulated
Emission
Radiation

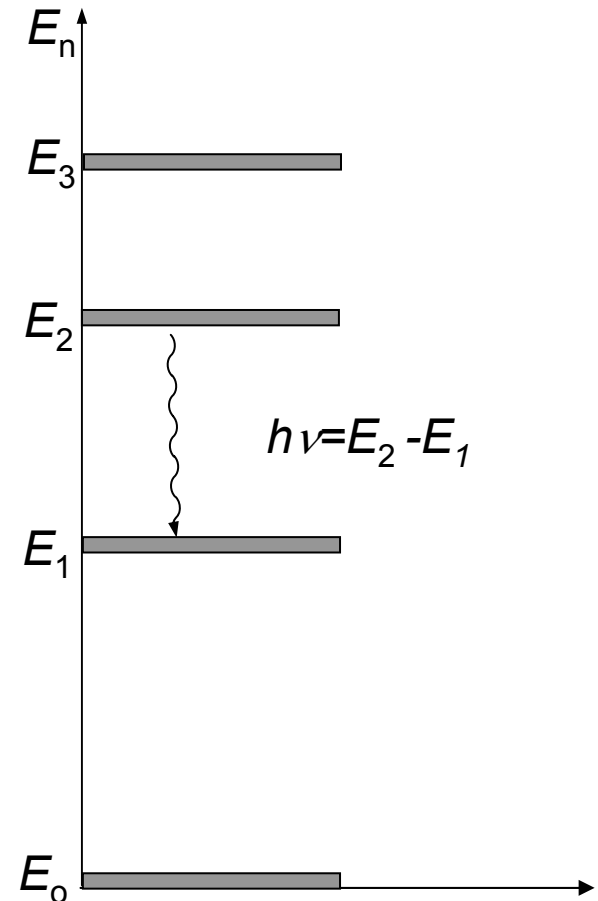
Esquema de niveles de energía



Esquema general



Esquema de niveles de energía



Primer Láser: rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$), 1960

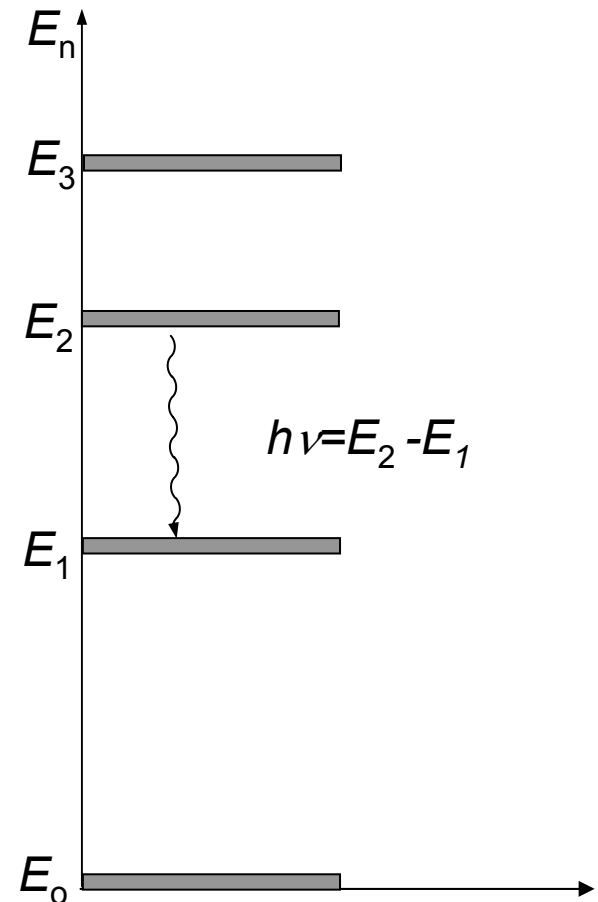


En general se requiere:

- Alguna transición radiativa (fluorescencia) en el rango de longitudes de onda de interés

$$\hbar\omega = 2\pi c\hbar / \lambda = E_2 - E_1$$

Esquema de niveles de energía



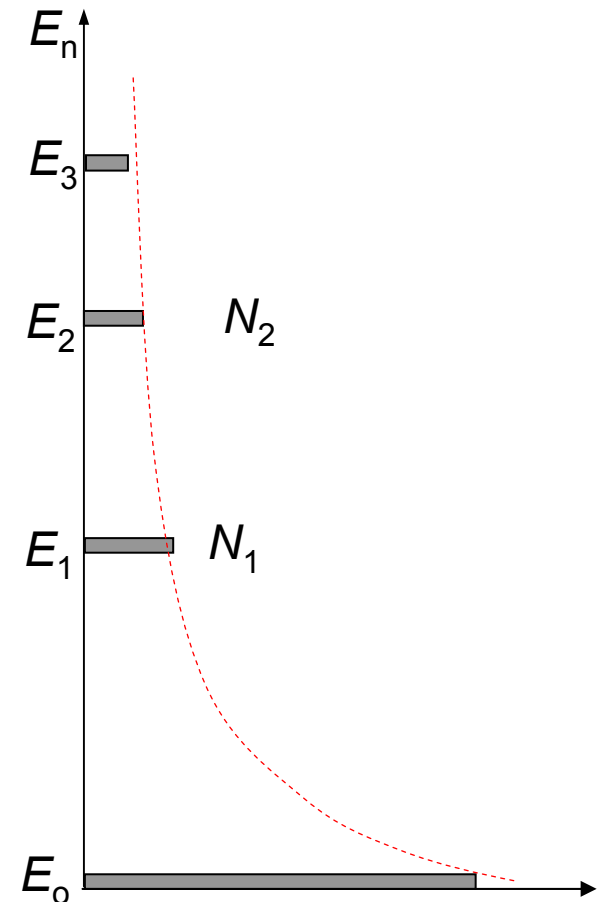
En general se requiere:

- Alguna transición radiativa (fluorescencia) en el rango de longitudes de onda de interés

$$\hbar\omega = 2\pi c\hbar / \lambda = E_2 - E_1$$

Poblaciones en equilibrio: $N_2 < N_1$

Esquema de niveles de energía



En general se requiere:

- Alguna transición radiativa (fluorescencia) en el rango de longitudes de onda de interés

$$\hbar\omega = 2\pi c\hbar / \lambda = E_2 - E_1$$

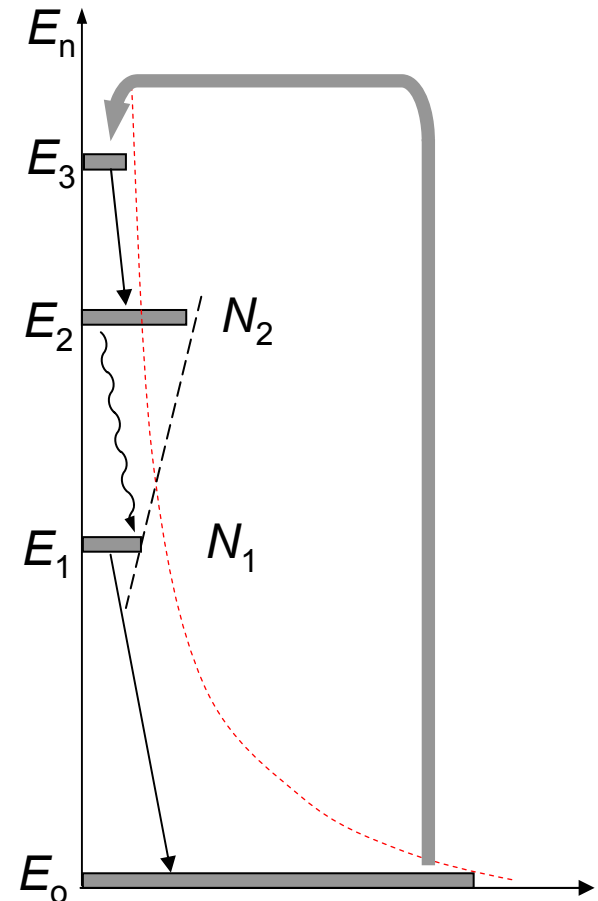
Inversión de Población:

$$N_2 > N_1$$

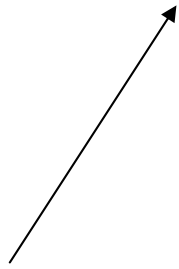
Láser de 4 niveles



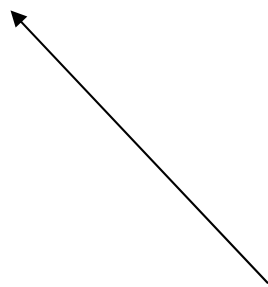
Esquema de niveles de energía



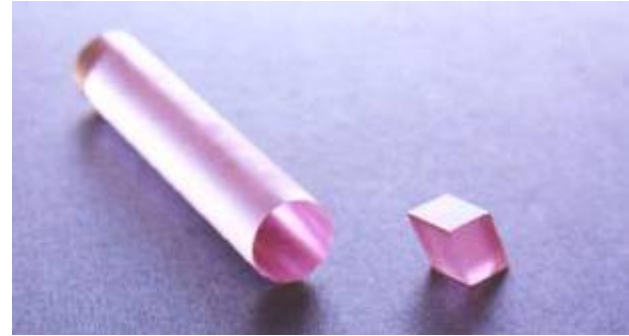
Primer Láser: rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$), 1960



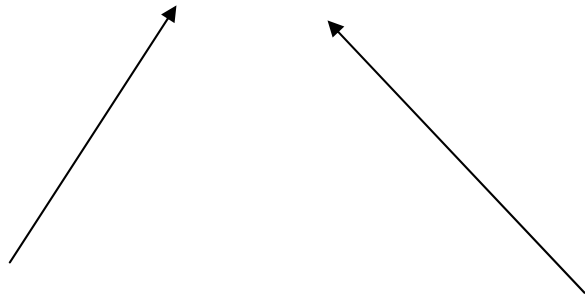
Ion Activo (Cr)



Soporte, o *host*: Al_2O_3



Primer Láser: rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$), 1960



Ion Activo (Cr)



Soporte, o *host*: Al_2O_3

- Ópticamente favorables
- Mecánicamente estables y resistentes
- Buena conductividad térmica
- Compatibilidad con el ion activo

Primer Láser: rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$), 1960



Ion Activo (Cr)

Soporte, o *host*: Al_2O_3

Láseres sólidos

Láseres líquidos

Láseres gaseosos:

Trancisiones electrónicas (UV-Vis-NIR)

Trancisiones
vibracionales/rotacionales (IR)

Primer Láser: rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$), 1960



Ion Activo (Cr)

Soporte, o *host*: Al_2O_3

Láseres sólidos

Láseres líquidos

Láseres gaseosos:

Trancisiones electrónicas (UV-Vis-NIR)

Trancisiones vibracionales/rotacionales (IR)

Cristalinos

Amorfos

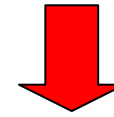
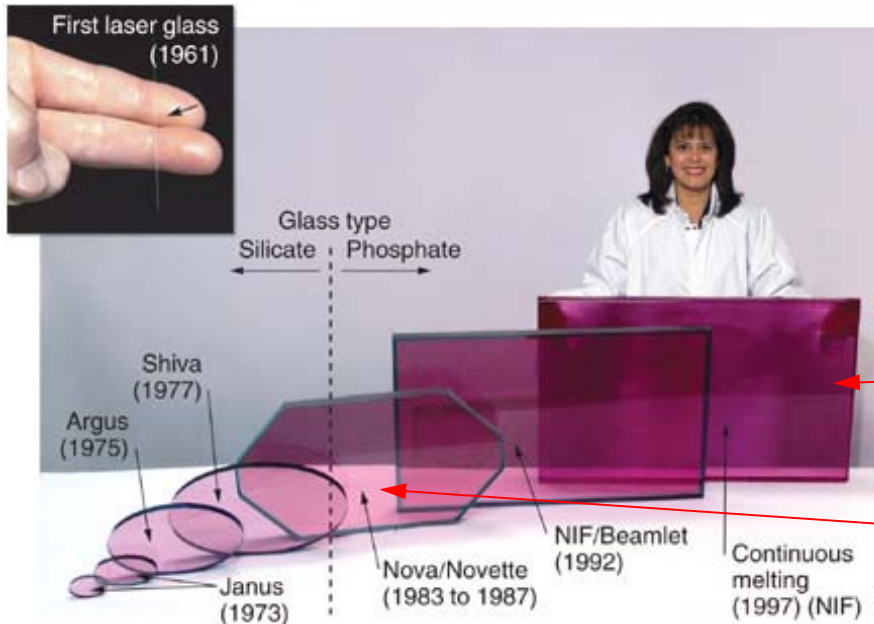
Líquidos

Vidrios



Escalables en tamaño

Ensanchamiento de las líneas de fluorescencia del ion activo



Baja conductividad térmica (birrefringencia inducida térmicamente, distorsión óptica)

Umbral láser más alto

Baja repetición

Un pulso cada un par de horas

8-10 pulsos por día

Nd:vidrio : $\lambda_0 = 1050 \text{ nm}$; $\Delta\lambda = 25 \text{ nm}$

Nd:YAG (cristal): $\Delta\lambda = 0.45 \text{ nm}$

Cristales

Zafiro (Al_2O_3)



Rubí ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$) ($\lambda=690$ nm)

$\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ ($\lambda=650-1050$ nm)

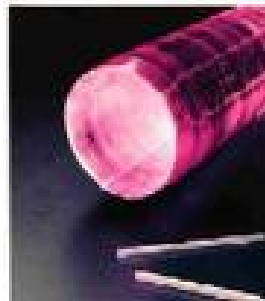
$\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ($\lambda=1064$ nm)

Granates ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ o YAG)

$\text{Er}^{3+}:\text{YAG}$ ($\lambda=2940$ nm)

$\text{Yb}^{3+}:\text{YAG}$ ($\lambda=1030$ nm)

Vanadatos (YVO_4)



$\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}$ ($\lambda=1064$ nm)

Fluoruros (YLiF_4)

$\text{Nd}^{3+}:\text{YLF}$ ($\lambda=1053/1047$ nm)

Otros.....

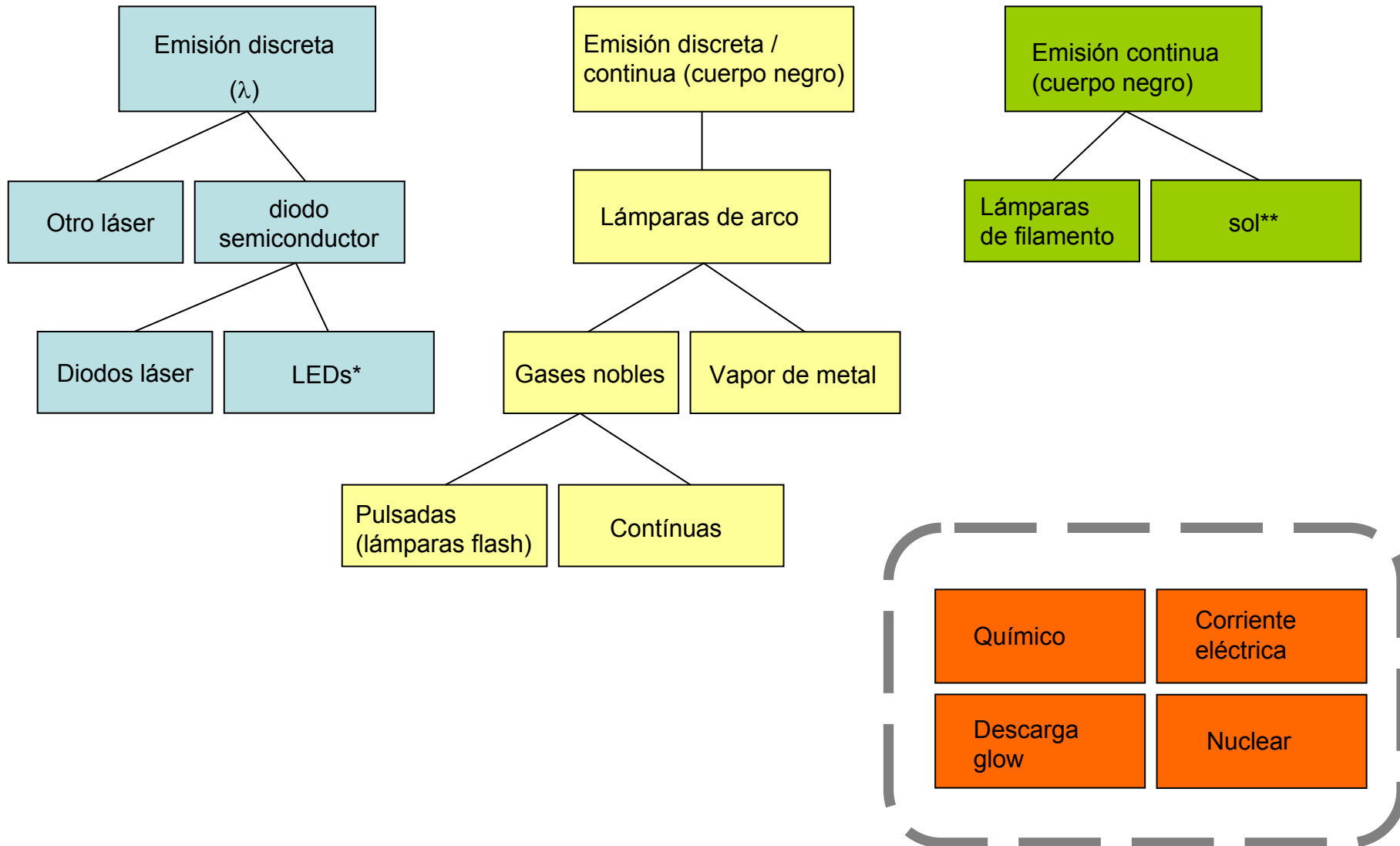


Alexandrita ($\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$, $\lambda=700-820$ nm)

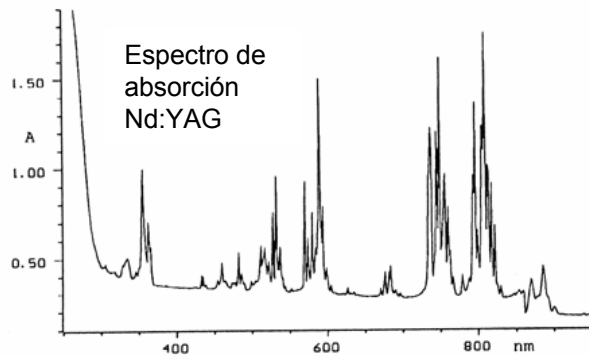
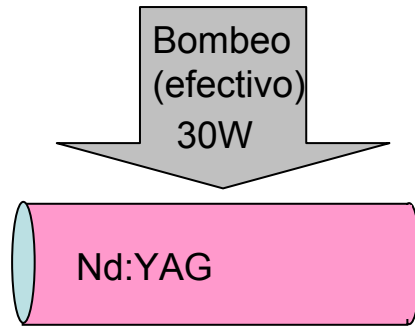
$\text{Cr}^{3+}:\text{LiSAF}$ ($\text{Cr}^{3+}:\text{LiSrAlF}_6$, $\lambda=780-920$ nm)

$\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$ ($\lambda=1870-2160$ nm)

Métodos de bombeo (óptico)



Las fuentes de radiación térmica son poco eficientes!!



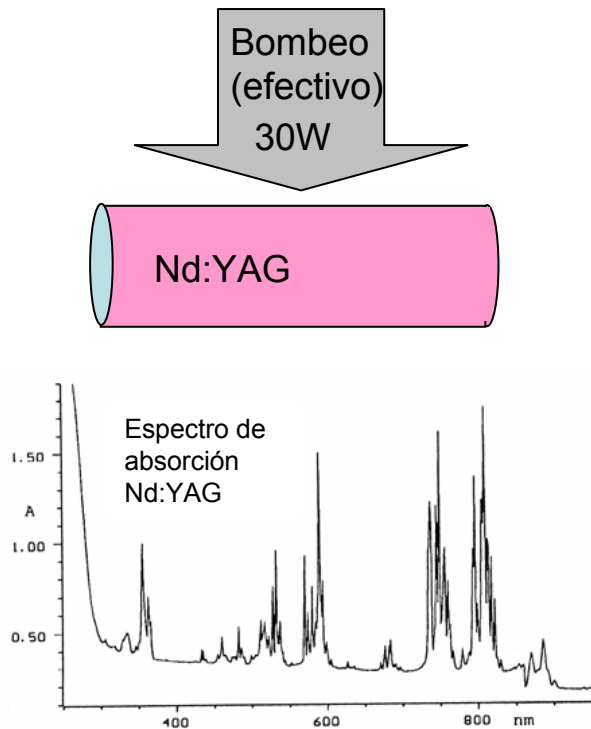
Lámpara de tungsteno:

Cuerpo negro a 2800 K



3% eficiencia total
(1000 W)

Las fuentes de radiación térmica son poco eficientes!!

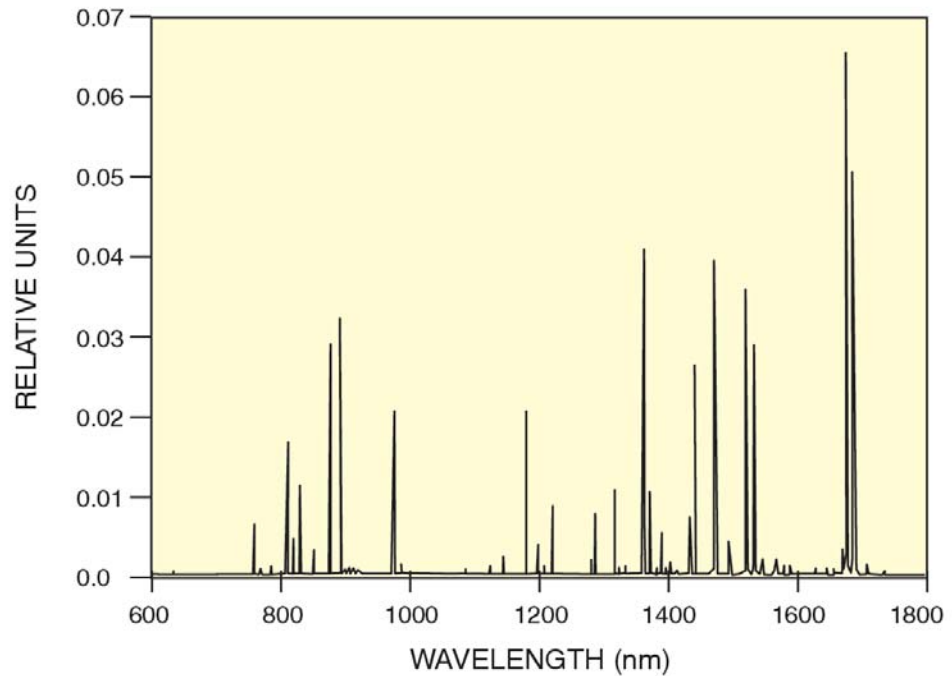


Lámpara de tungsteno:

Cuerpo negro a 2800 K



3% eficiencia total
(1000 W)



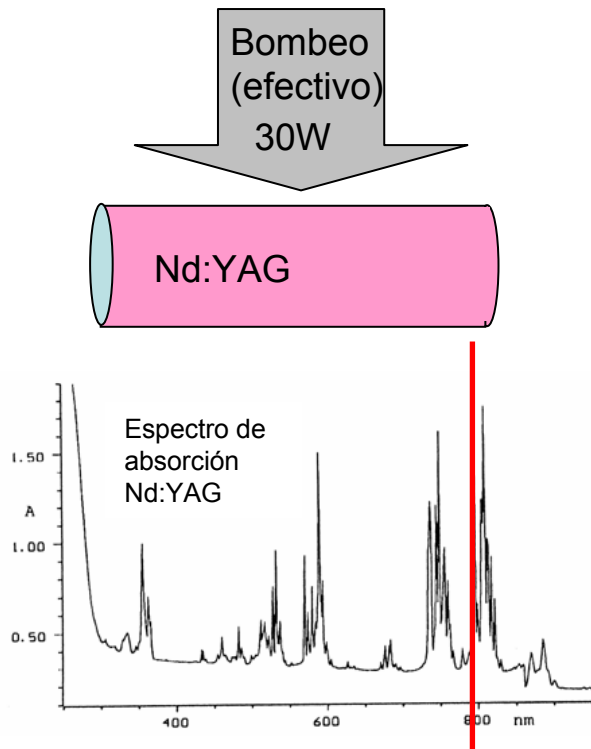
Lámpara de kriptón:

45% conversión radiativa +

20% absorción

9% eficiencia total
(330 W)

Las fuentes de radiación térmica son poco eficientes



Lámpara de tungsteno:

Cuerpo negro a 2800 K

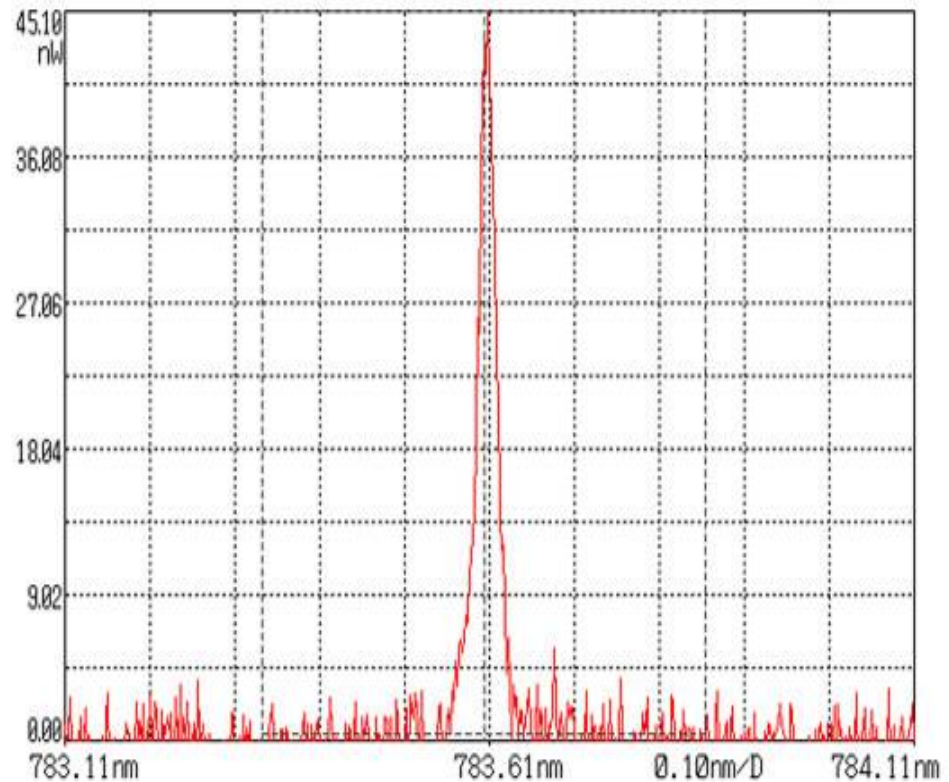


3% eficiencia total
(1000 W)

Lámpara de kriptón:

45% conversión radiativa +
20% absorción

9% eficiencia total
(330 W)

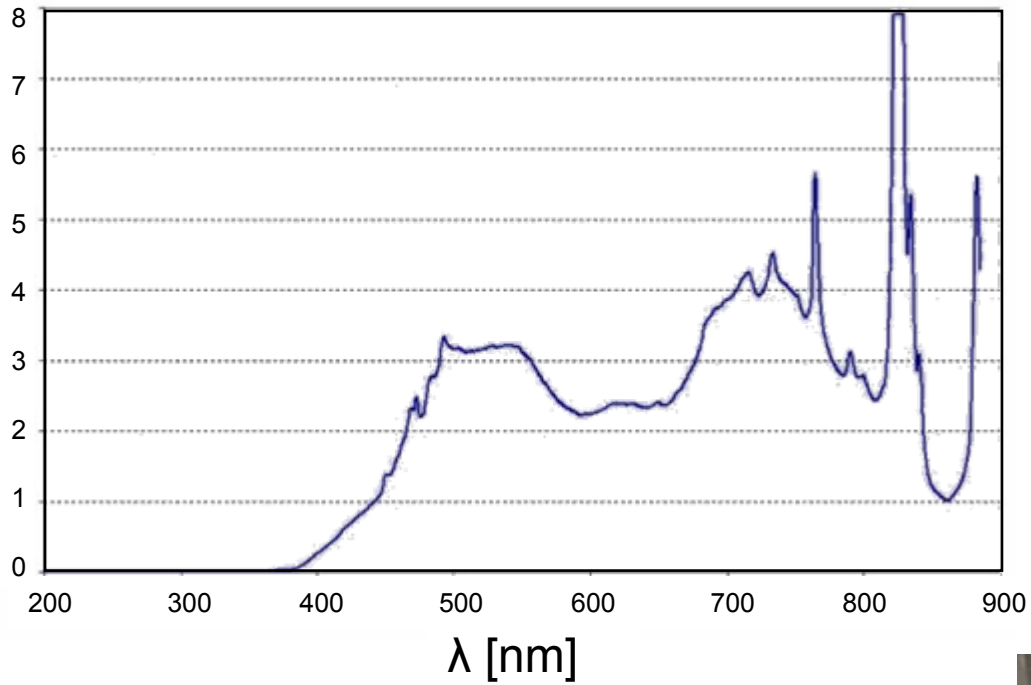


Diodos láser CW:

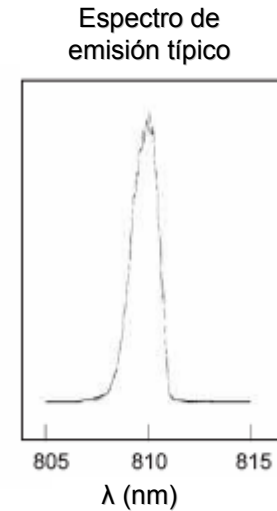
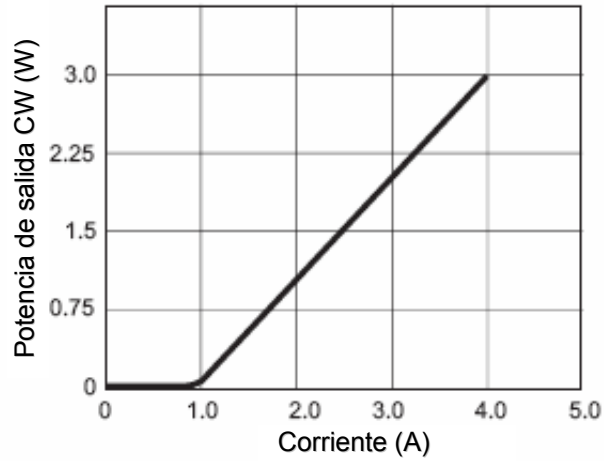
50% eficiencia radiativa +
~100% absorción

50% eficiencia total
(60 W)

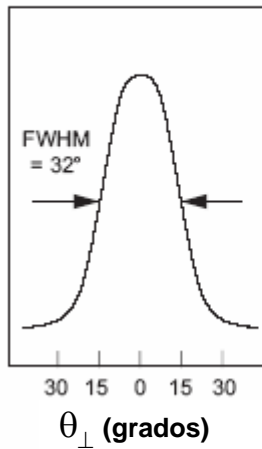
Bombeo por lámpara flash



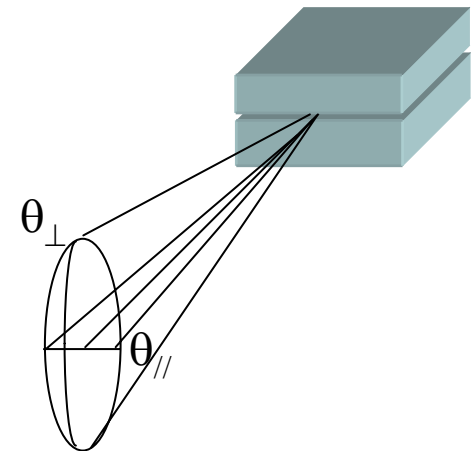
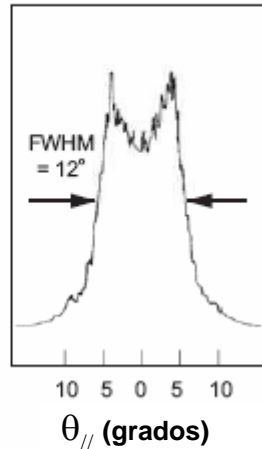
Diodos láser – características principales



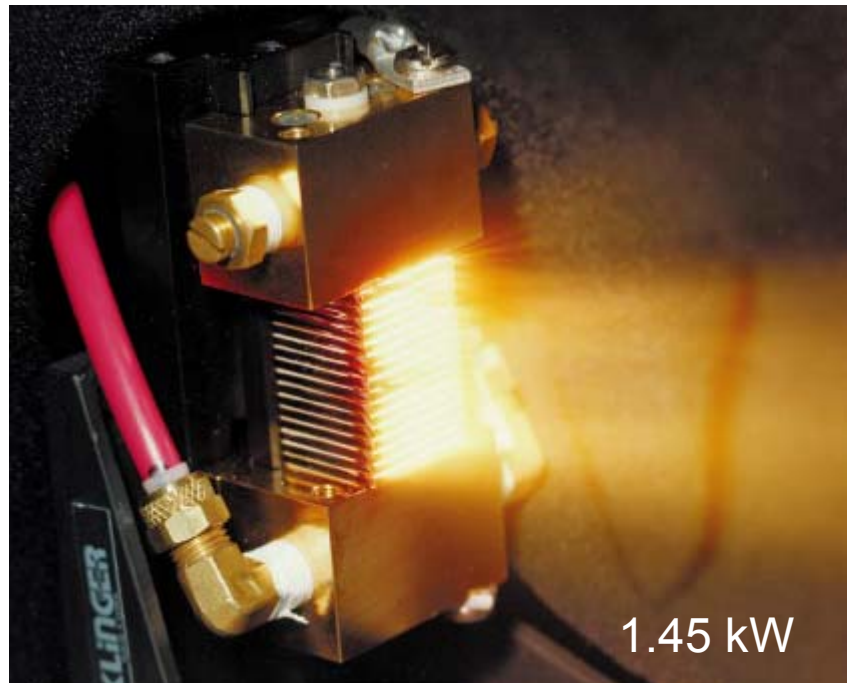
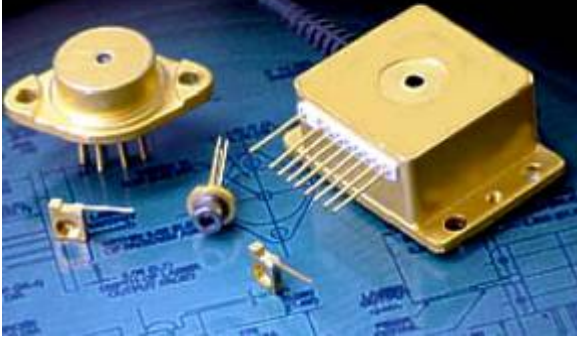
Campo lejano
Distribución vertical



Campo lejano
Distribución horizontal



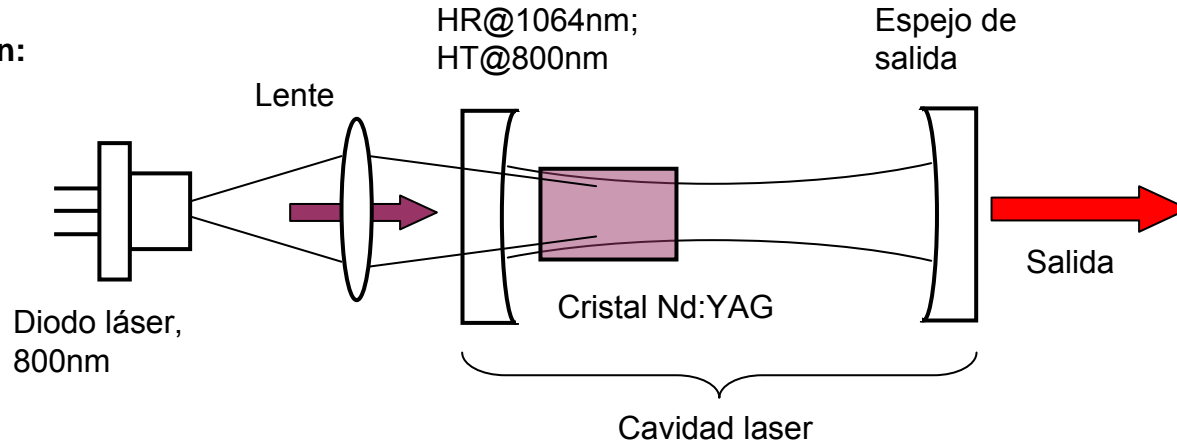
0.02 – 2 W



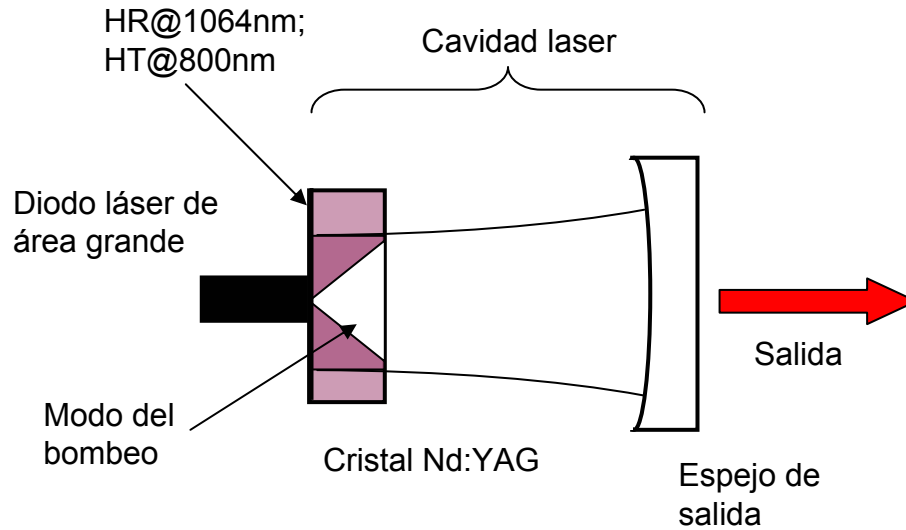
1.45 kW

Bombeo por diodos:

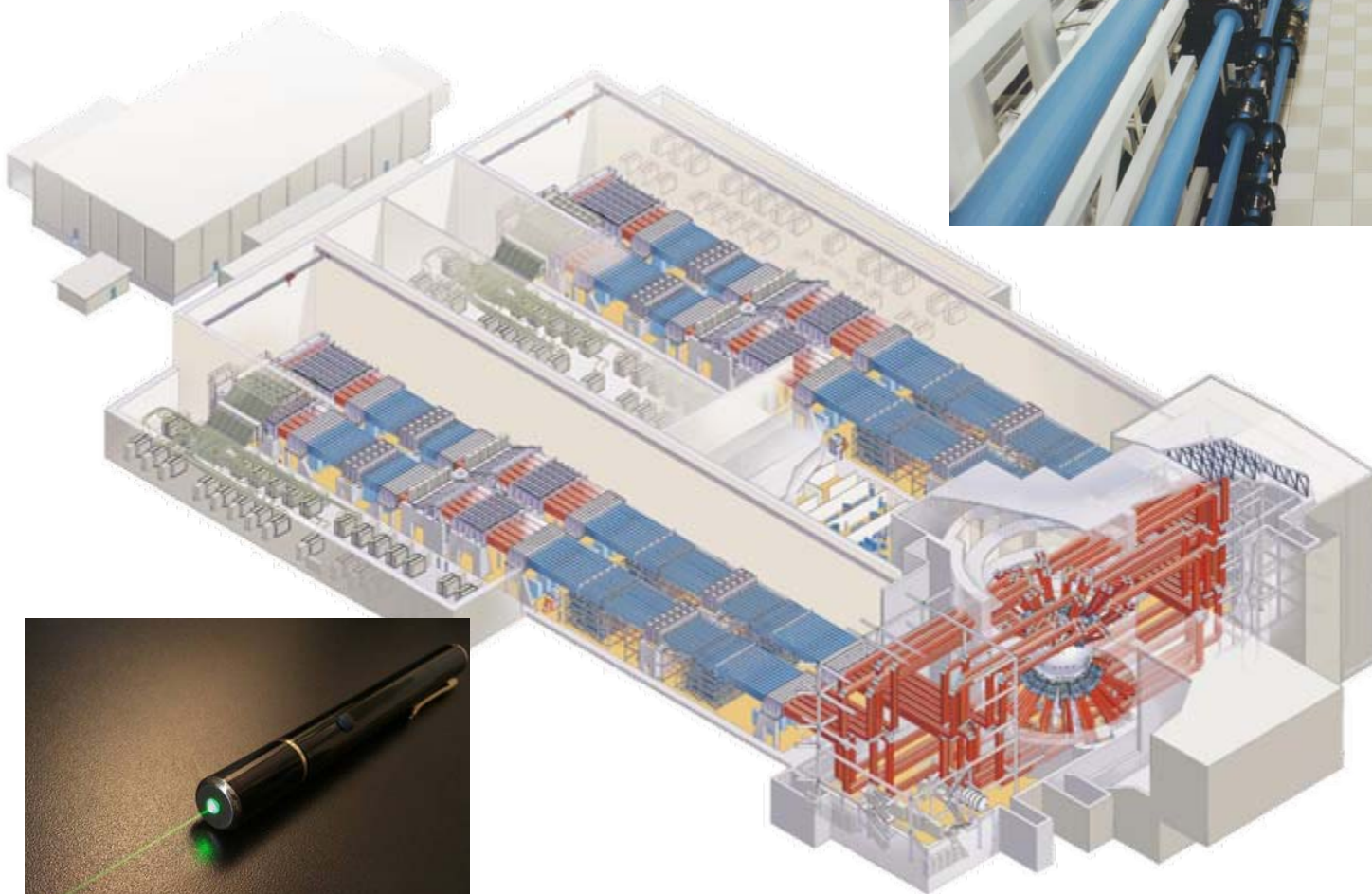
Sistema de imagen:



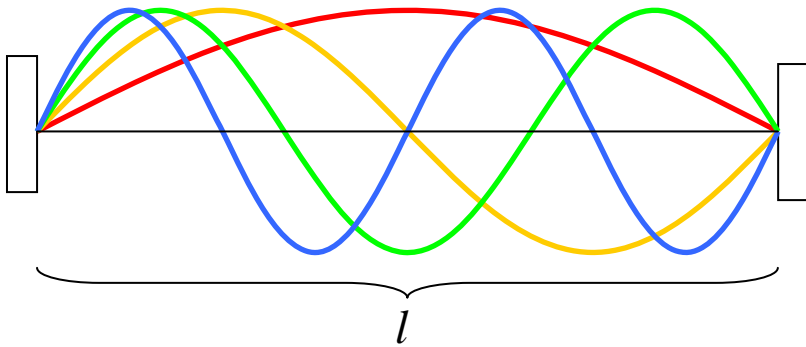
Por acople cercano (longitudinal):



Nd:YAG y Nd:Vidrio



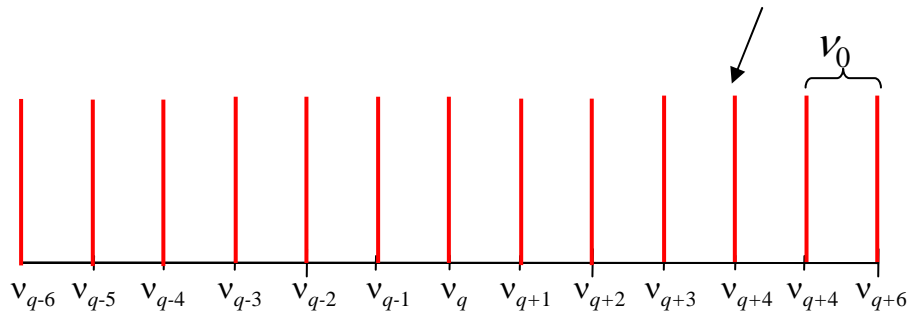
Modos longitudinales



$$\lambda_q = \frac{2l}{q}$$

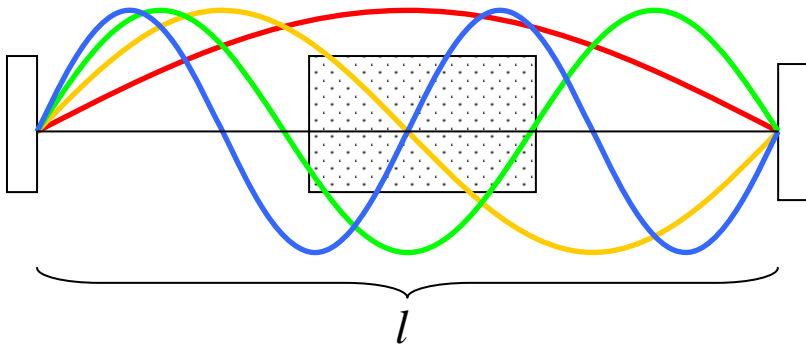
$$v_q = q \frac{c}{2l}$$

Modos de la cavidad



$$v_0 = \frac{c}{2l}$$

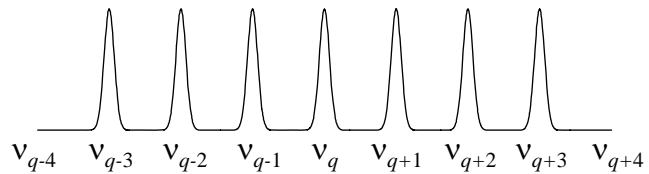
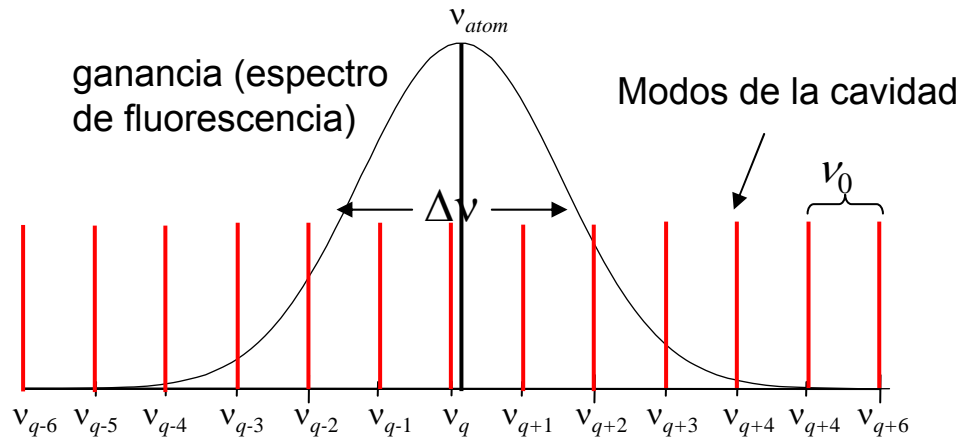
Modos longitudinales



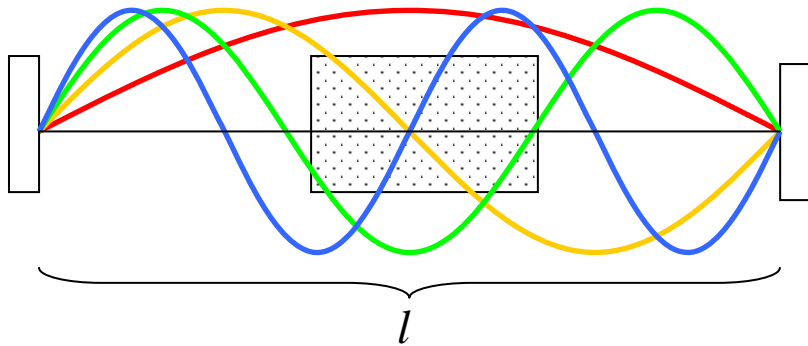
$$\lambda_q = \frac{2l}{q}$$

$$\nu_q = q \frac{c}{2l}$$

$$\nu_0 = \frac{c}{2l}$$



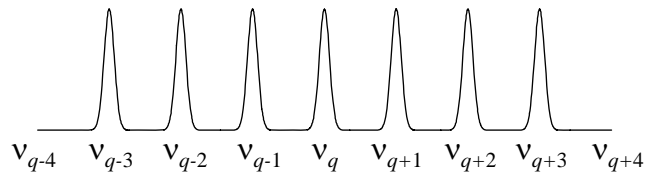
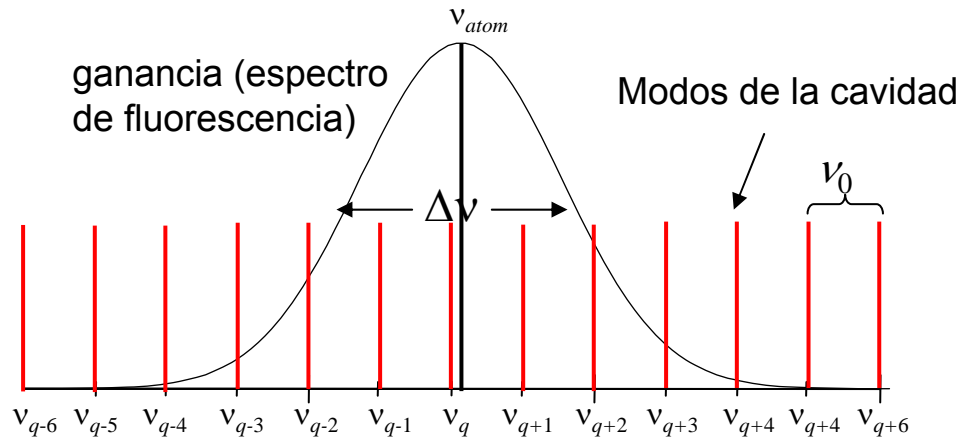
Modos longitudinales



$$\lambda_q = \frac{2l}{q}$$

$$\nu_q = q \frac{c}{2l}$$

$$\nu_0 = \frac{c}{2l}$$



Nd:YAG: $\lambda=1064\text{nm}$, $l=50\text{cm}$

$$\nu_{atom} = 280 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

$$q / \nu_q \approx \nu_{atom} ?$$

$$q = \frac{2l \nu_{atom}}{c}$$

Modos transversales:

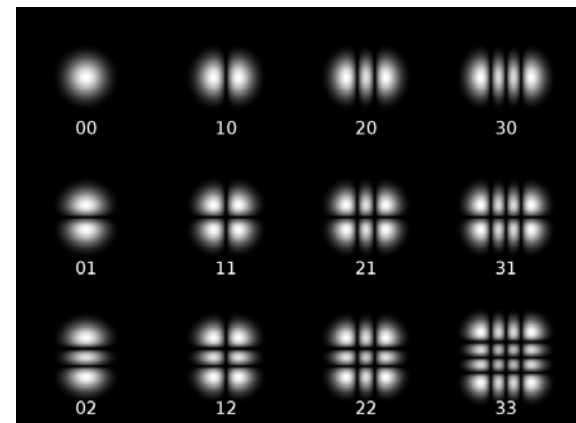
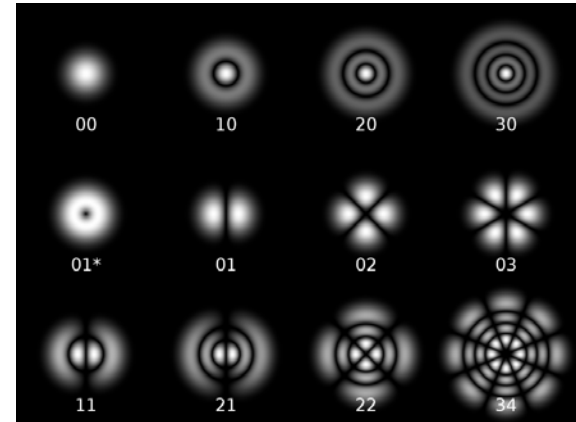
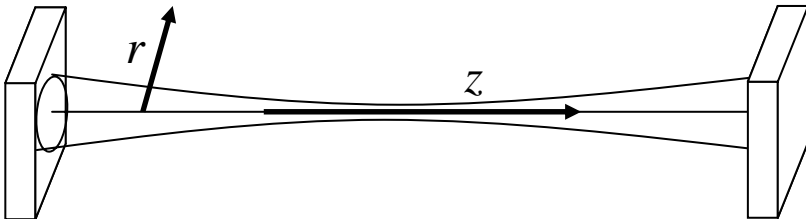
“Soluciones de las ecuaciones de Maxwell con ciertas condiciones de contorno y bajo ciertas aproximaciones”

La amplitud del campo decae con r

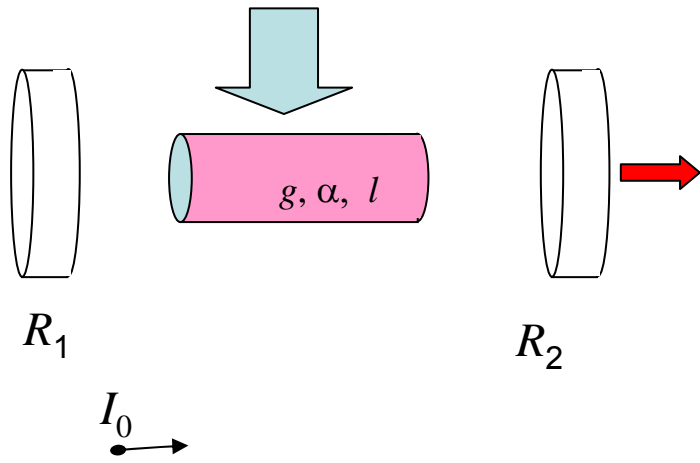
La amplitud del campo varía lentamente con z

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + 2ik \frac{d\psi}{dz} = 0$$

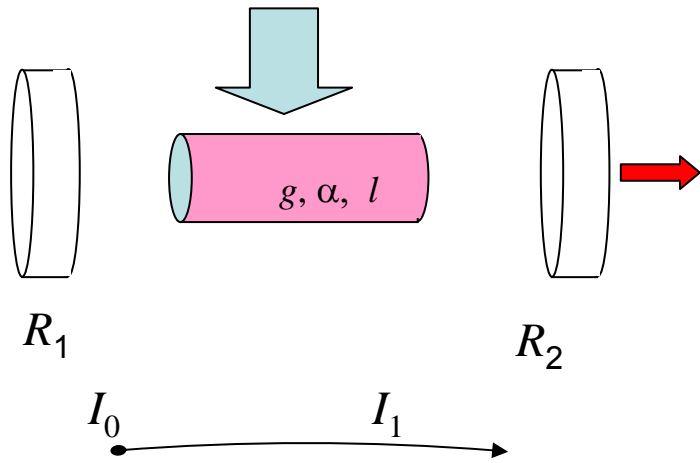
$$E(x, y, z) = \psi(x, y, z)e^{ikz}$$



Potencia generada por un láser

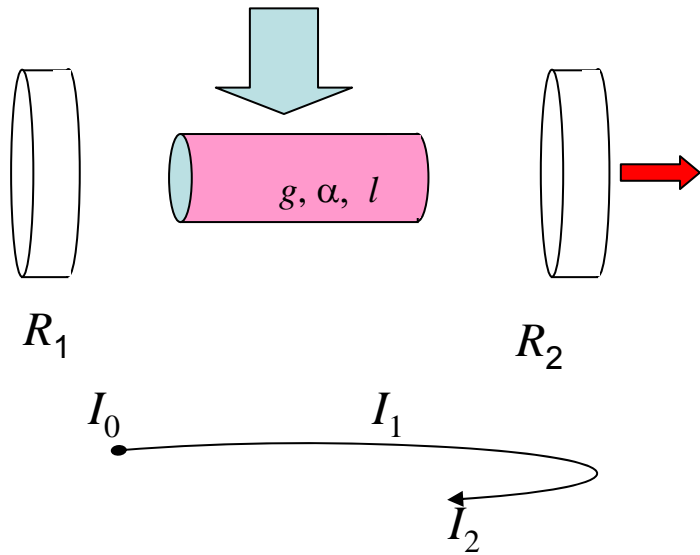


Potencia generada por un láser



$$I_1 = I_0 \exp[(g - \alpha)l]$$

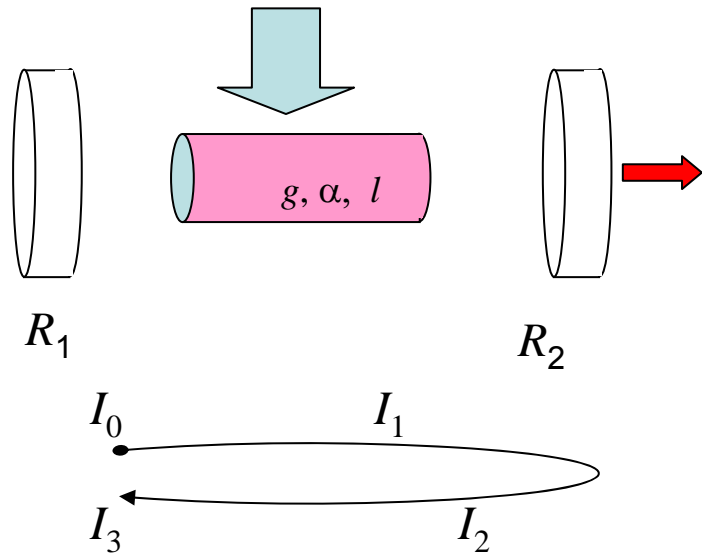
Potencia generada por un láser



$$I_1 = I_0 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_2 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)l]$$

Potencia generada por un láser

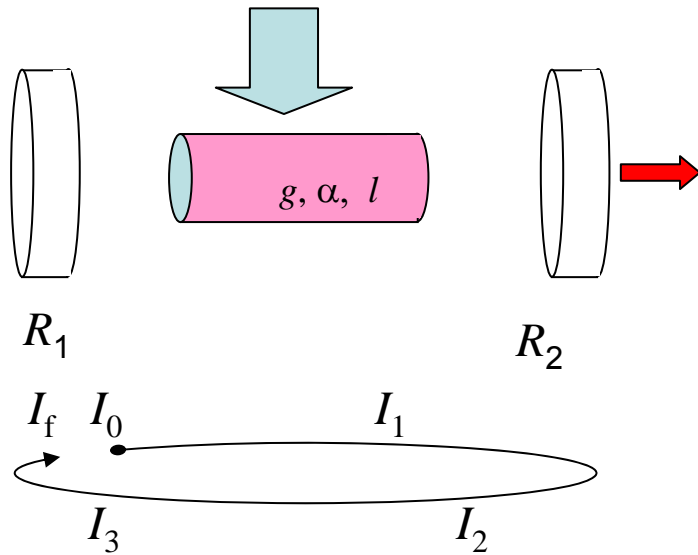


$$I_1 = I_0 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_2 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_3 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)2l]$$

Potencia generada por un láser



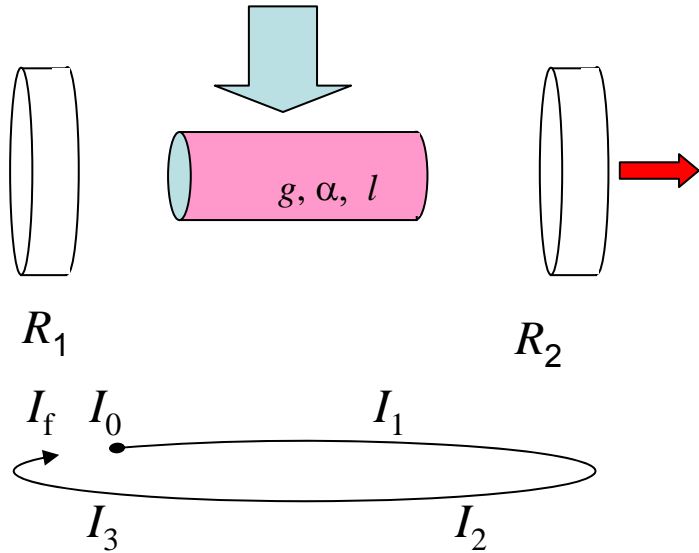
$$I_1 = I_0 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_2 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_3 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)2l]$$

$$I_f = I_0 R_1 R_2 \exp[(g - \alpha)2l]$$

Potencia generada por un láser



Condición de umbral

$$I_f = I_0:$$

$$R_1 R_2 \exp [(g - \alpha) 2l] = 1$$

$$2gl = 2\alpha l - \ln(R_1 R_2)$$

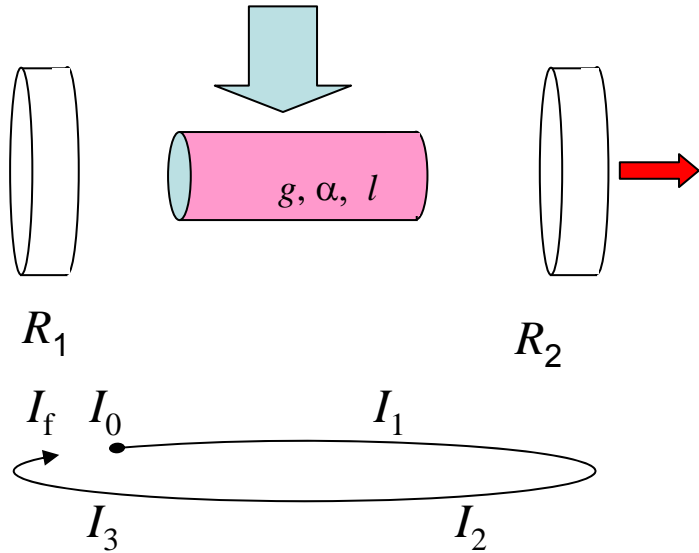
$$I_1 = I_0 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_2 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)l]$$

$$I_3 = I_0 R_2 \exp[(g - \alpha)2l]$$

$$I_f = I_0 R_1 R_2 \exp [(g - \alpha) 2l]$$

Potencia generada por un láser



Condición de umbral

$$I_f = I_0:$$

$$R_1 R_2 \exp [(g-\alpha)2l] = 1$$

$$2gl = 2\alpha l - \ln(R_1 R_2)$$

$$I_1 = I_0 \exp[(g-\alpha)l]$$

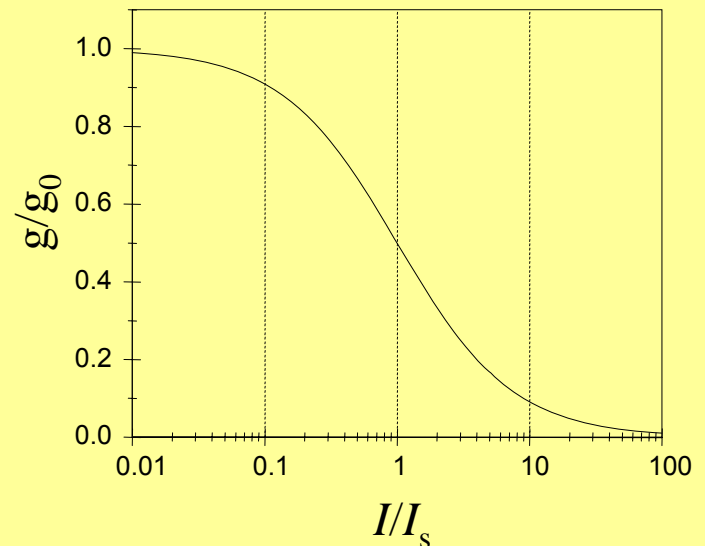
$$I_2 = I_0 R_2 \exp[(g-\alpha)l]$$

$$I_3 = I_0 R_2 \exp[(g-\alpha)2l]$$

$$I_f = I_0 R_1 R_2 \exp [(g-\alpha)2l]$$

Saturación de la ganancia:

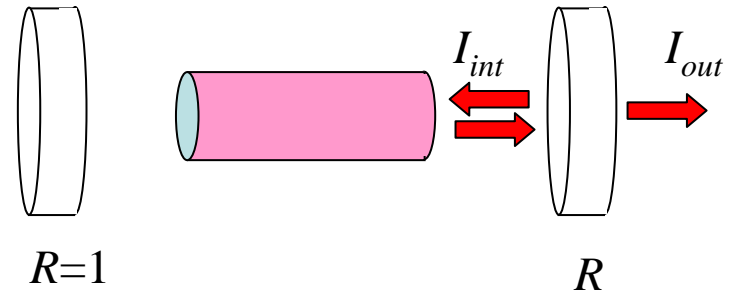
$$g = \frac{g_0}{1 + I / I_{SAT}}$$



Potencia a la salida

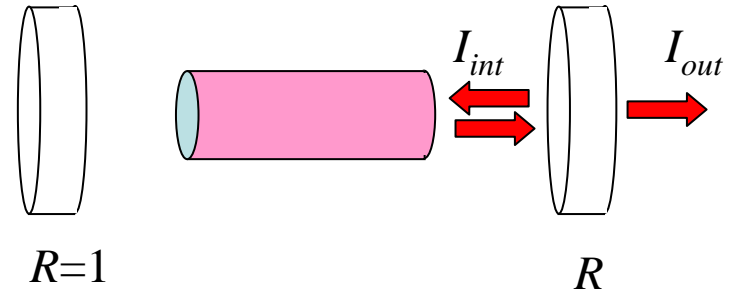
$$I_{int} = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) I_{out}$$

$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{int}$$



Potencia a la salida

$$I_{int} = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) I_{out}$$



$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{int}$$

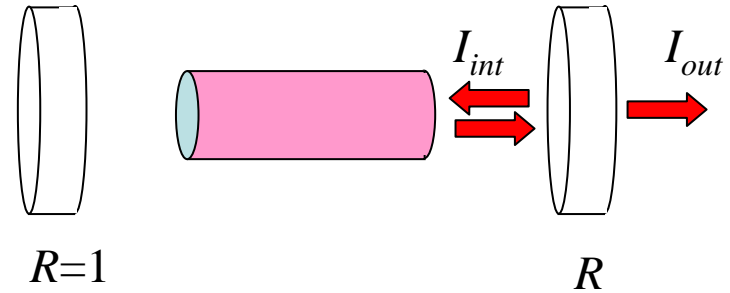
$$g = \frac{g_0}{1 + I/I_{SAT}} ; 2gl = 2\alpha l - \ln(R_1 R_2)$$

$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{SAT} \left(\frac{2g_0 l}{2\alpha l - \ln R} - 1 \right)$$

L

Potencia a la salida

$$I_{int} = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) I_{out}$$

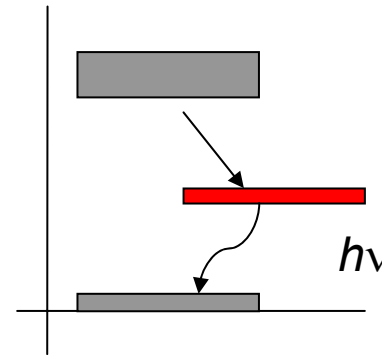
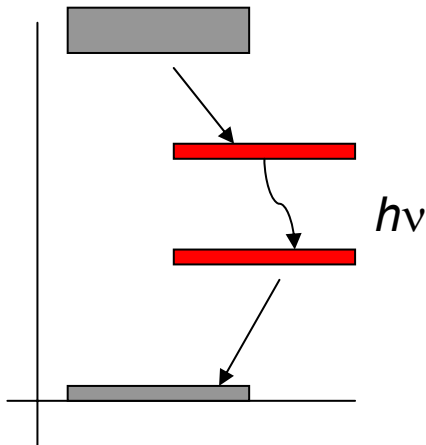


$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{int}$$

$$g = \frac{g_0}{1 + I/I_{SAT}} ; 2gl = 2\alpha l - \ln(R_1 R_2)$$

$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{SAT} \left(\frac{2g_0 l}{2\alpha l - \ln R} - 1 \right)$$

L



$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) \cdot I_{SAT} \cdot \left(\frac{2g_0 l}{L - \ln R} - 1 \right)$$

Sistemas de 4 niveles:

$$g_0 = k \frac{P_{abs}}{I_{SAT} V} \quad \longrightarrow \quad P_{out} = \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{SAT} A \left(\frac{2k P_{abs} l}{I_{SAT} V (L - \ln R)} - 1 \right)$$

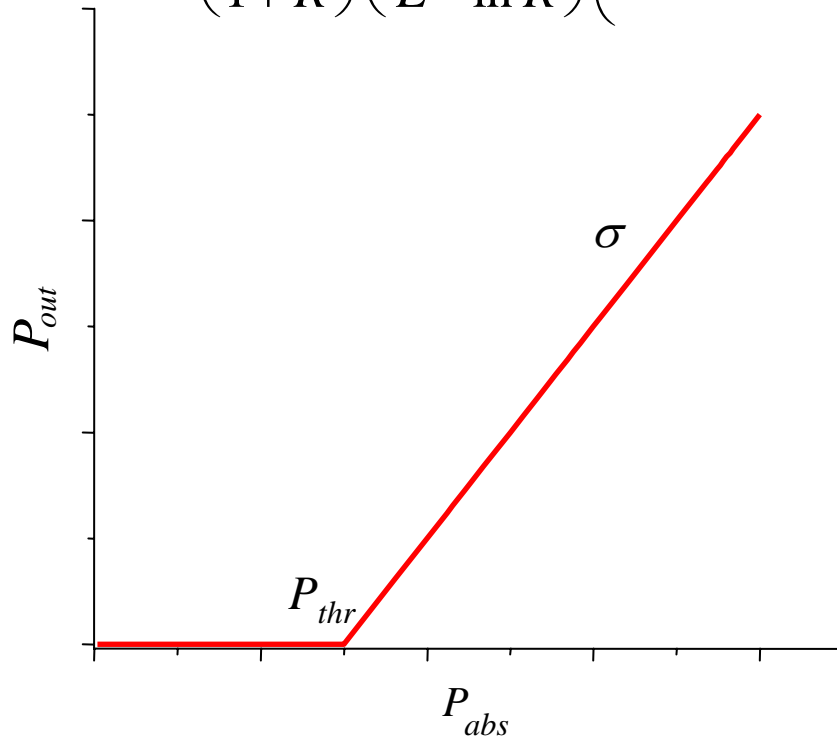
$$P_{out} = \left(\frac{1-R}{1+R} \right) \left(\frac{2k}{L - \ln R} \right) \left(P_{abs} - \frac{(L - \ln R) I_{SAT} A}{2k} \right) = \sigma P_{abs} - \sigma P_{thr}$$

$$P_{out} = A \left(\frac{1-R}{1+R} \right) \cdot I_{SAT} \cdot \left(\frac{2g_0 l}{L - \ln R} - 1 \right)$$

Sistemas de 4 niveles:

$$g_0 = k \frac{P_{abs}}{I_{SAT} V} \quad \Rightarrow \quad P_{out} = \left(\frac{1-R}{1+R} \right) I_{SAT} A \left(\frac{2k P_{abs} l}{I_{SAT} V (L - \ln R)} - 1 \right)$$

$$P_{out} = \left(\frac{1-R}{1+R} \right) \left(\frac{2k}{L - \ln R} \right) \left(P_{abs} - \frac{(L - \ln R) I_{SAT} A}{2k} \right) = \sigma P_{abs} - \sigma P_{thr}$$



$$\sigma = \frac{2k(1-R)}{(1+R)(L - \ln R)}$$

$$P_{thr} = \frac{(L - \ln R) I_{SAT} A}{2k}$$

Sistemas de 3 niveles:

$$g_0 = \kappa \frac{P_{abs} - 1}{P_{abs} + 1}$$

$$P_{out} = \sigma P_{abs} - \sigma P_{thr}$$

$$\sigma = \frac{(1 - L_N)(1 - R)}{L - \ln R} K P_F$$

$$P_{thr} = \frac{(1 + L_N)}{(1 - L_N) K}$$

$$L_N = \frac{(L - \ln R)}{2\alpha_0 l}$$

α_0 es el coeficiente de absorción del material cuando todos los átomos están en el estado fundamental

Sistemas de 3 niveles:

$$g_0 = \kappa \frac{P_{abs} - 1}{P_{abs} + 1}$$

$$P_{out} = \sigma P_{abs} - \sigma P_{thr}$$

$$\sigma = \frac{(1 - L_N)(1 - R)}{L - \ln R} K P_F$$

$$P_{thr} = \frac{(1 + L_N)}{(1 - L_N) K}$$

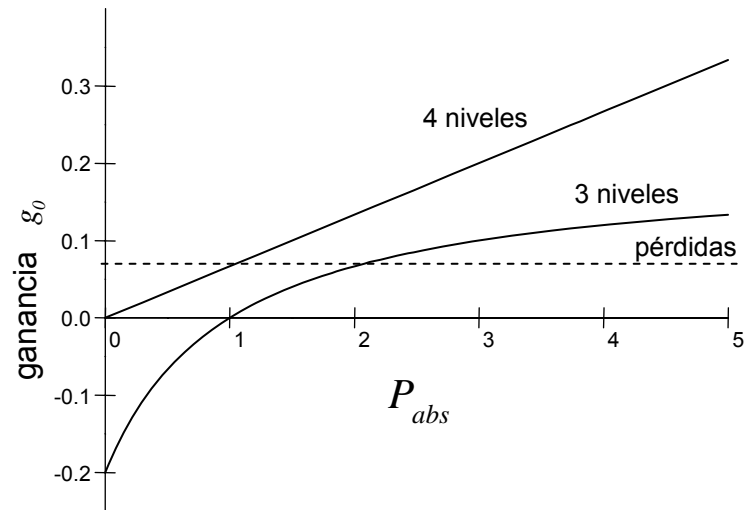
$$L_N = \frac{(L - \ln R)}{2\alpha_0 l}$$

α_0 es el coeficiente de absorción del material cuando todos los átomos están en el estado fundamental

Sistemas de 4 niveles:

$$\sigma = \frac{2k(1 - R)}{(1 + R)(L - \ln R)}$$

$$P_{thr} = \frac{(L - \ln R) I_{SAT} A}{2k}$$



Procesos no lineales

- Mezclado de frecuencias ($\chi^{(2)}$) :
 - * Generación de segunda armónica (SHG) o doblado de frecuencia (1064 nm \rightarrow 532 nm)
 - * Generación de tercera armónica (THG)
 - * High harmonic generation (HHG)
 - * Suma de frecuencias (SHG es un caso especial)
 - * Resta de frecuencias
 - * Optical parametric amplification (OPA)
 - * Optical parametric oscillation (OPO)
 - * Fluorescencia paramétrica o conversión paramétrica espontánea (SPDC)
 - * Optical rectification (OR), generation of quasi-static electric fields.

- Otros procesos no lineales:
 - * Efecto Kerr óptico ($\chi^{(3)}$)
 - * Absorción (simultánea) de dos fotones ($\chi^{(3)}$)
 - * Amplificación Raman
 - * Scattering de Brillouin

Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

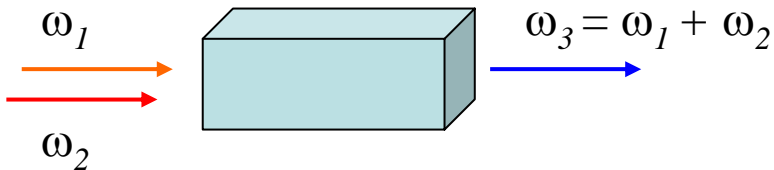
Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

Suma de frecuencias

$$\omega_i = \omega_j + \omega_k$$

$$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_j + \mathbf{k}_k$$



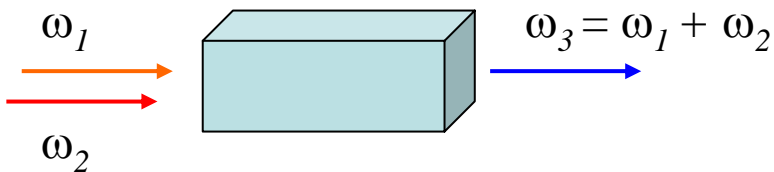
Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

Suma de frecuencias

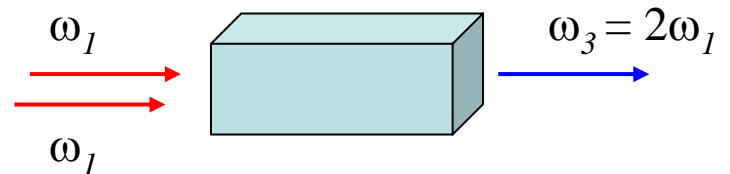
$$\omega_i = \omega_j + \omega_k$$

$$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_j + \mathbf{k}_k$$



Generación de segunda armónica

$$P_{2\omega} = 2\varepsilon_0 d_{\text{eff}}(2\omega, \omega, \omega) E^2(\omega)$$



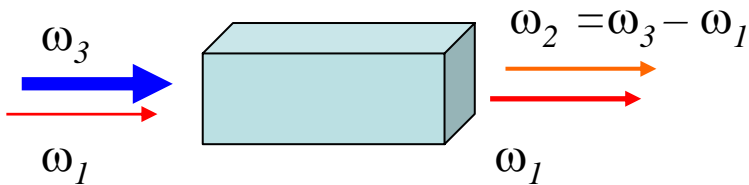
Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

Amplificación paramétrica

$$\omega_i = \omega_j + \omega_k$$

$$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_j + \mathbf{k}_k$$



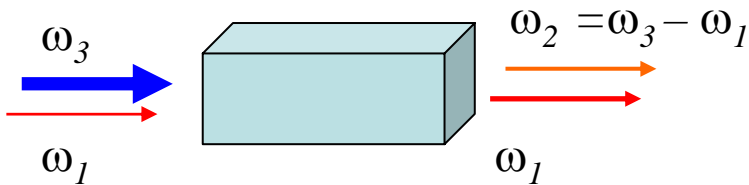
Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

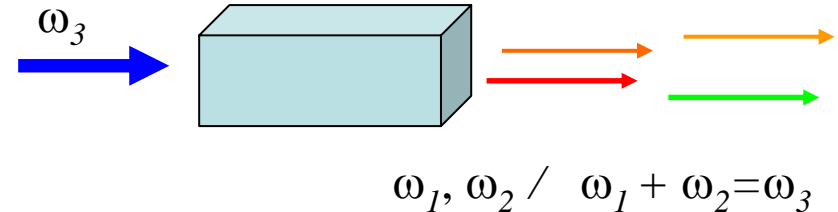
Amplificación paramétrica

$$\omega_i = \omega_j + \omega_k$$

$$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_j + \mathbf{k}_k$$



Fluorescencia paramétrica



Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

Efecto Kerr electroóptico:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$\mathbf{P} \approx \varepsilon_0 \left(\chi^{(1)} + 3\chi^{(3)} |\mathbf{E}_0|^2 \right) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$\Delta n = \lambda_0 K |\mathbf{E}_0|^2$$

Procesos no lineales

$$P_i = \varepsilon_0 \sum_{j=1}^3 \chi_{ij}^{(1)} E_j + \varepsilon_0 \sum_{j,k=1}^3 \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k + \varepsilon_0 \sum_{j,k,l=1}^3 \chi_{ijkl}^{(3)} E_j E_k E_l + \dots$$

Efecto Kerr electroóptico:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$\mathbf{P} \approx \varepsilon_0 \left(\chi^{(1)} + 3\chi^{(3)} |\mathbf{E}_0|^2 \right) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$\Delta n = \lambda_0 K |\mathbf{E}_0|^2$$

Efecto Kerr óptico:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$\mathbf{P} \approx \varepsilon_0 \left(\chi^{(1)} + \frac{3}{4} \chi^{(3)} |\mathbf{E}_\omega|^2 \right) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

$$n = n_0 + \frac{3\chi^{(3)}}{8n_0} |\mathbf{E}_\omega|^2 = n_0 + n_2 I$$

Sistemas específicos – Nd:YAG y Nd:Vidrio

Nd:YAG (Nd:Y₃Al₅O₁₂)

Dopaje de Nd: 1.0% atm

Densidad: 4.56 g/cm³

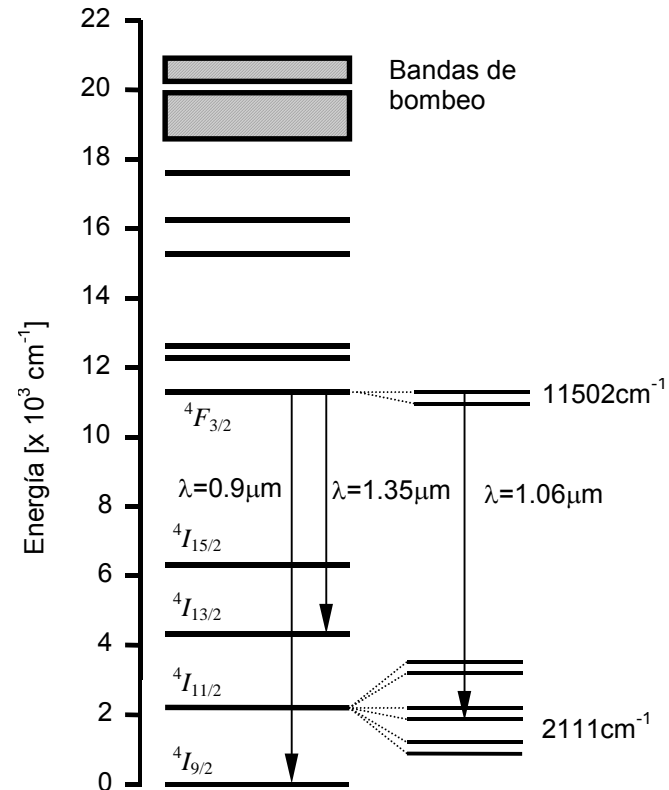
Transición Láser: 1064 nm

Ancho de línea: 0.5 nm

T. fluorescencia: 230 μs

Índice de refracción: 1.82 (@ 1.064 nm)

Cond. Térmica: 0.14 W/cm/K (@ 300 K)



Nd:YAG y Nd:Vidrio

Nd:YAG (Nd:Y₃Al₅O₁₂)

Dopaje de Nd:	1.0% atm
Densidad:	4.56 g/cm ³
Transición Láser:	1064 nm
Ancho de línea:	0.5 nm
T. fluorescencia:	230 μs
Índice de refracción:	1.82 (@ 1.064 nm)
Cond. Térmica:	0.14 W/cm/K (@ 300 K)

Nd:Vidrio

Dopaje de Nd:	~4.0% atm
Transición Láser:	1054-1062 nm
Ancho de línea:	~25 nm
T. fluorescencia:	290-340 μs
Índice de refracción:	1.50-1.57
Cond. Térmica:	~0.01 W/cm/K (@ 300 K)

Escalable en volumen (E)

Baja frecuencia de repetición

Sintonizable / pulsos ultracortos

Nd:YAG y Nd:Vidrio

“tabletops”

Nd:YAG pulsado, bombeado por lámparas flash:

Pulsos de 10 ns, hasta 2 J, 10-50 Hz

Nd:YAG /YLF pulsado a alta repetición,
bombeado por diodos:

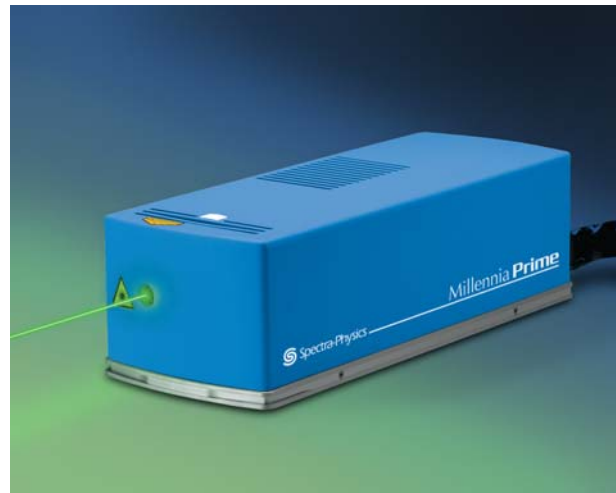
Pulsos de 30-300 ns, 30 W, hasta 120 kHz

Nd:YVO₄ bombeado por diodos láser (800 nm):

hasta 15 W CW, buena estabilidad espacial y
espectral.

Amplificadores de Nd:vidrio:

Pulsos de 2-3 ns, 5J – kJ



Nd:YAG y Nd:Vidrio

Nd:YAG pulsado, bombeado por lámparas flash:

Pulsos de 10 ns, hasta 2 J, 10-50 Hz

Nd:YAG /YLF pulsado a alta repetición,
bombeado por diodos:

Pulsos de 30-300 ns, 30 W hasta 120 kHz

Nd:YVO₄ bombeado por diodos láser (800 nm):

hasta 15 W CW, buena estabilidad espacial y
espectral.

Amplificadores de Nd:vidrio:

Pulsos de 2-3 ns, 10 kJ o más

Aplicaciones:

Doblado y triplicado de frecuencia:

1064 nm → 532 nm → 355 nm
↓
266nm

Bombeo de otros láseres

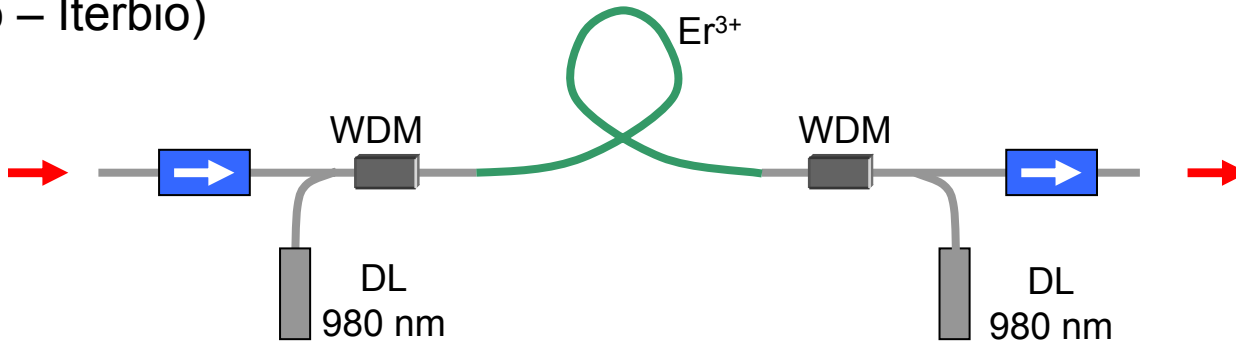
Industriales: procesamiento de materiales,
soldadura láser, *laser marking*, producción de
resistencias, producción de máscaras para
circuitos integrados, reparación y corte de
circuitos, tratamiento de superficies, etc etc etc

Medicina (ablación, cirugía de cataratas,
tratamiento de úlceras) ns, 1 Joule, 10 Hz

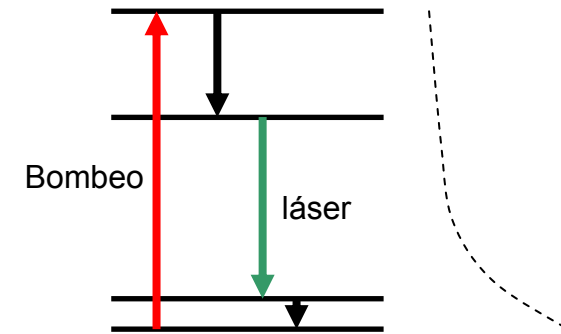
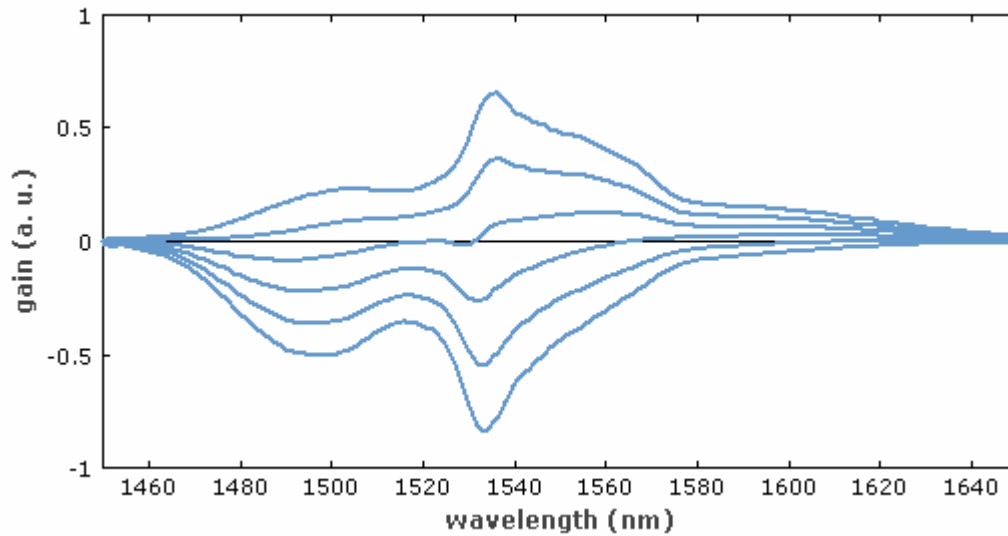
Militares: telemetría, iluminadores

Producción de plasmas para generación de rayos
X, estudios de fusión por confinamiento inercial,
interacción luz-materia

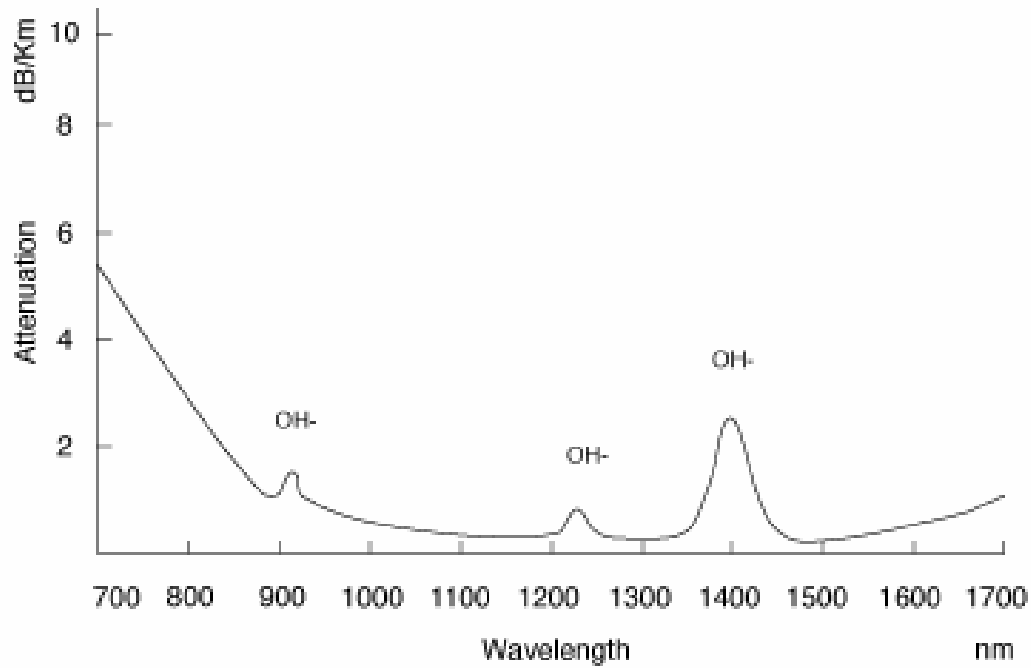
Sistemas en fibra (Erbio – Iterbio)



Er³⁺ @ 1500nm: cuasi-3 niveles



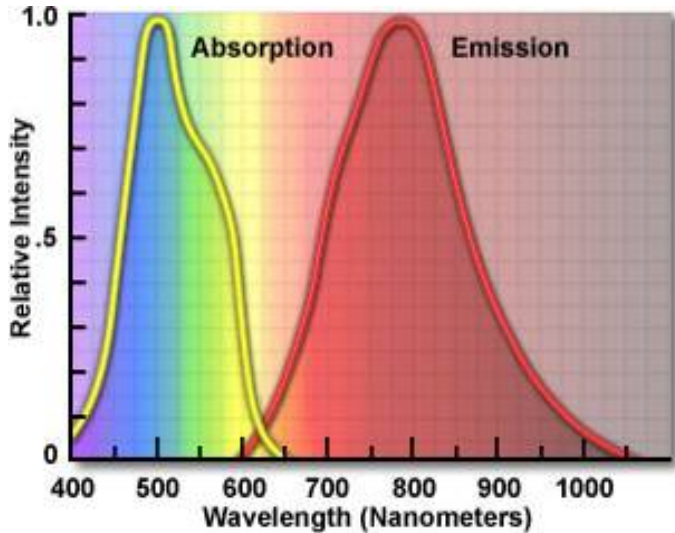
Er:Vidrio @1500-1600 nm



Aplicación:
Telecomunicaciones



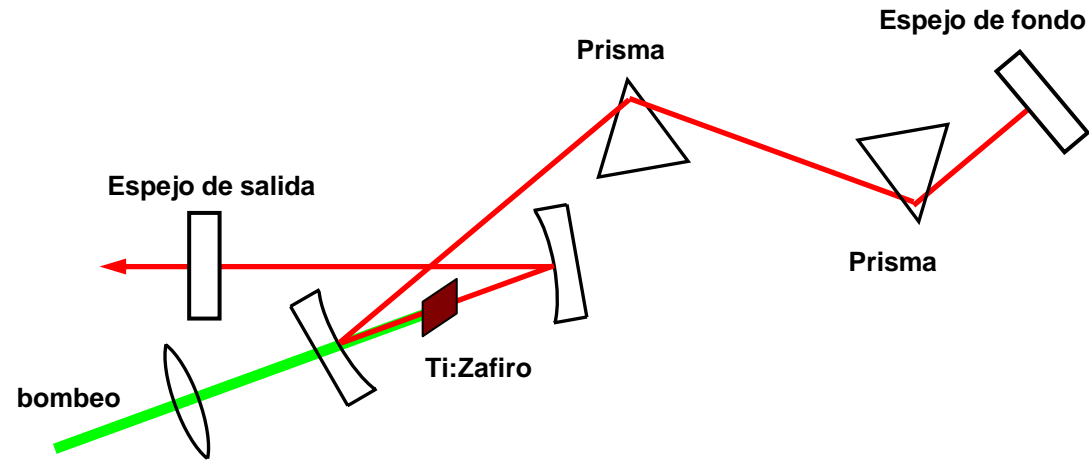
Ti:Zafiro



Bombeo:

Láser de Argón (488 nm, 514 nm)

Segunda armónica de Neodimio (~530 nm)



Sintonizable (CW, hasta 50 W)

Generación de pulsos ultracortos
(sub -10 fs, potencia pico $\sim 10^{12}$ W)

Aplicaciones:

Espectroscopía ultra rápida

Producción de pulsos cortos de rayos X

Generación de procesos no lineales

Radar laser

Procesamiento de materiales

