



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TEMA 6:

ESTUDIO DE LASERES DE SEMICONDUCTOR Y DE DIODOS LED MEDIANTE UNIONES PN

FOTONICA

Grado en Ingeniería en Tecnologías de
Telecomunicación

1.-Estudio de Láseres de Semiconductor utilizando Uniones PN. Láseres de Inyección.

2.-Características de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Estimulada y Amplificada: DIODOS LASER

3.- Características de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Espontánea LED's: "LIGHT EMITTING DIODES"

1.-Estudio de Láseres de Semiconductor utilizando Uniones PN. Láseres de Inyección.

1.1.- Semiconductores de Gap Directo: AsGa, InP

1.2.- Semiconductores de Gap Indirecto: Si, Ge.

1.3.-Procesos Radiativos en Semiconductores.

1.4.-Semiconductores tipo N y tipo P

1.5.-Unión PN con Semiconductores altamente Dopados N^+ y P^+ y un Semiconductor de Gap Directo: Heterouniones

1.6.-Confinamiento de Electrones y Huecos en la Zona Activa del Diodo Láser

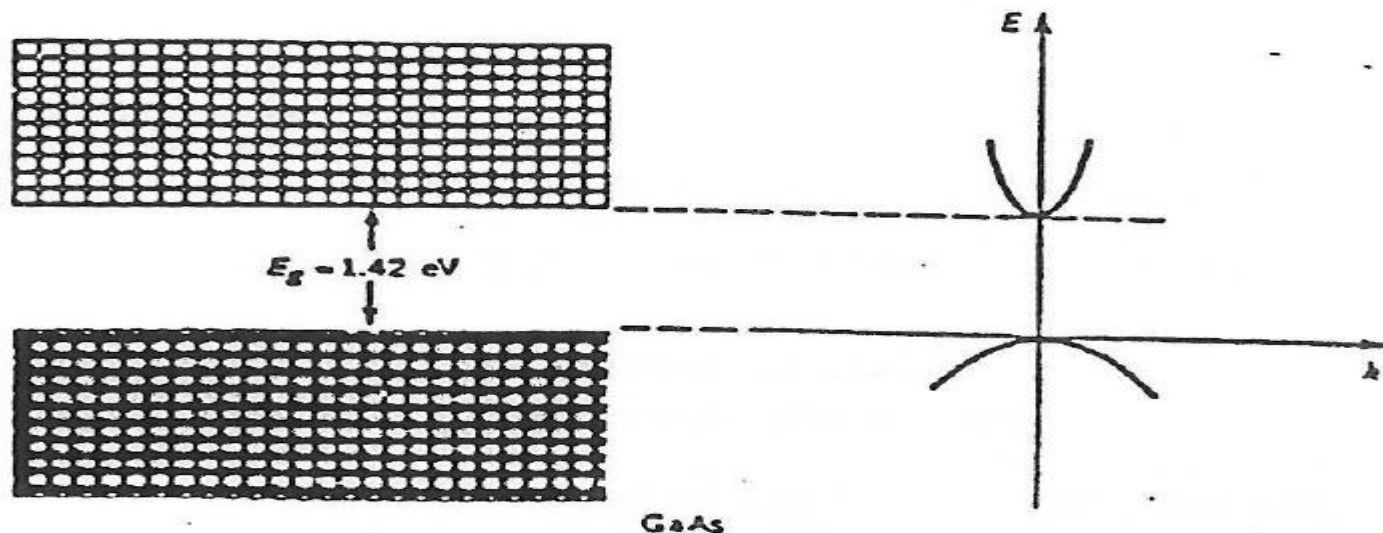
1.7.-Confinamiento de Fotones en la Zona Activa del Diodo Láser: Obtención de una Cavidad Resonante

1.-Estudio de Láseres de Semiconductor utilizando Uniones PN. Láseres de Inyección.

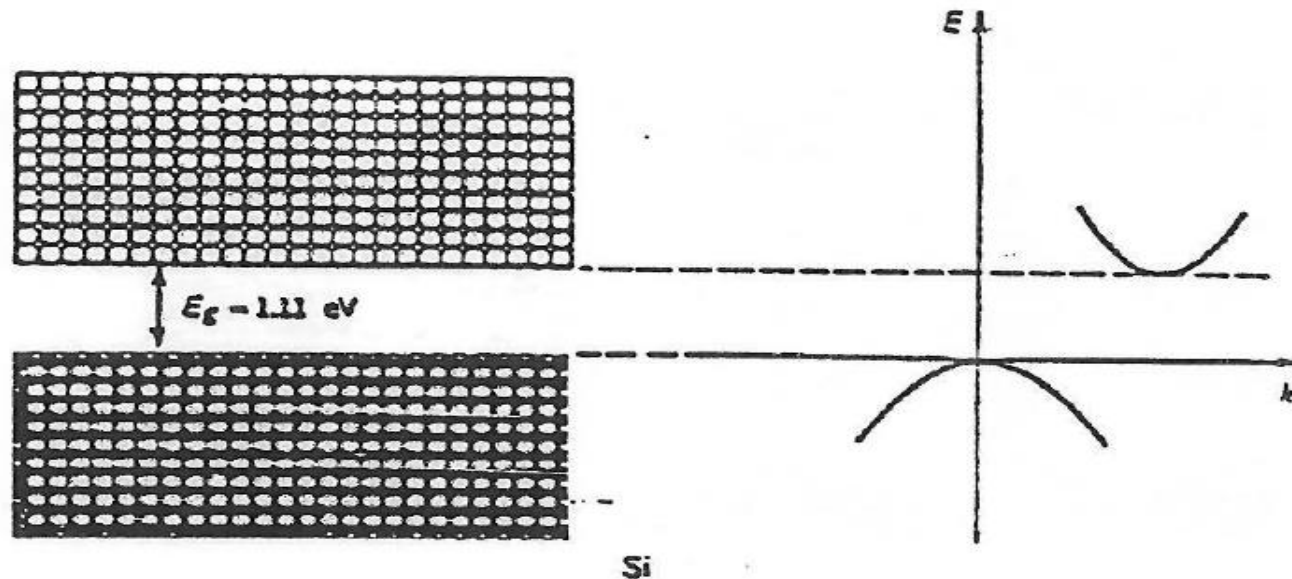
Para que un Semiconductor emita Luz ha de ser un Semiconductor de Gap Directo como es el Arseniuro de Galio: **AsGa**.

El Silicio: **Si** es un Semiconductor de Gap Indirecto que no permite emitir Luz.
Solamente detectar Luz

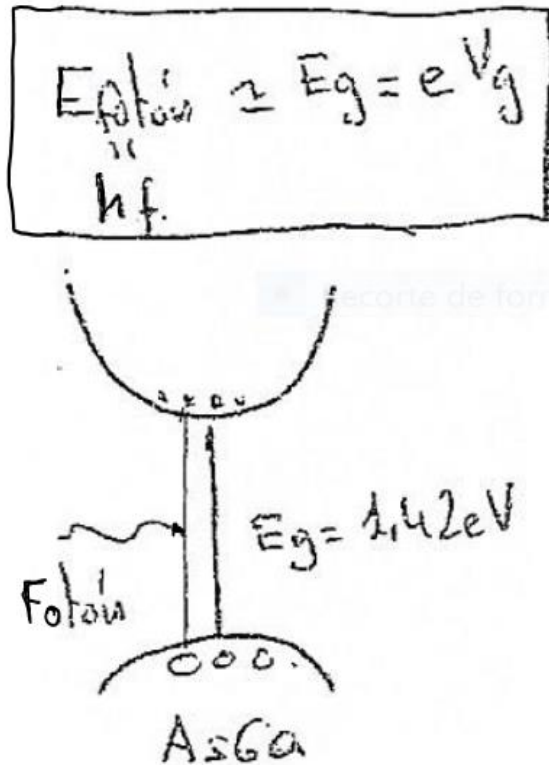
1.1.- Semiconductor de Gap Directo: AsGa



1.2.- Semiconductor de Gap Indirecto: Si, Ge.



Para que se produzca la emisión de un fotón utilizando semiconductores, se debe tener un electrón en la Banda de Conducción (BC) y hueco en la Banda de Valencia (BV) y que tengan el mismo “momentum” ($k \approx 0$). Esto solamente se cumple con los semiconductores de Gap Directo.



En estos semiconductores la probabilidad de procesos de recombinación de un electrón y un hueco para producir un fotón es muy elevada con los semiconductores de Gap Directo. Sin embargo, con los semiconductores De Gap Indirecto en donde el “momentum” de un electrón y un hueco son distintos y en consecuencia la probabilidad de recombinación para emitir un fotón es muy pequeña (casi despreciable).

Esta es la razón por la cual dispositivos emisores de Luz utilizan combinación de semiconductores del Grupo III (Ga e In) y del Grupo V (As y P) para producir semiconductores de Gap Directo, como por son: **AsGa** e **InP**.

1.3.-Procesos Radiativos en Semiconductores.

Hablamos de proceso radiativo cuando intervienen fotones en la generación y recombinación de pares e^-/h^+ .

- **Absorción:** Se produce cuando incide un fotón con energía mayor o igual a la del gap y hace que se genere un par e^-/h^+ . Este proceso es el que usamos en los fotodetectores.
- **Emisión espontánea:** Se produce una recombinación de un electrón de BV con un hueco de BC y se genera un fotón. Este es el proceso usado en los LED.
- **Emisión Estimulada:** Un fotón induce la recombinación de un par e^-/h^+ y esto da lugar a dos fotones iguales. Este es el proceso utilizado por los diodos láser.

En la Figura se muestran los 3 Procesos:

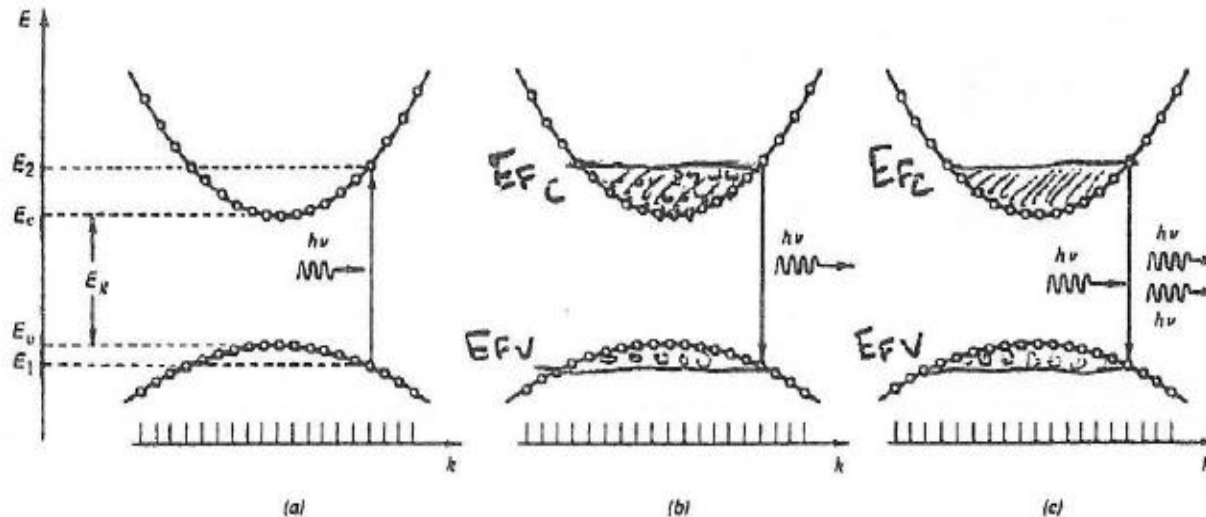
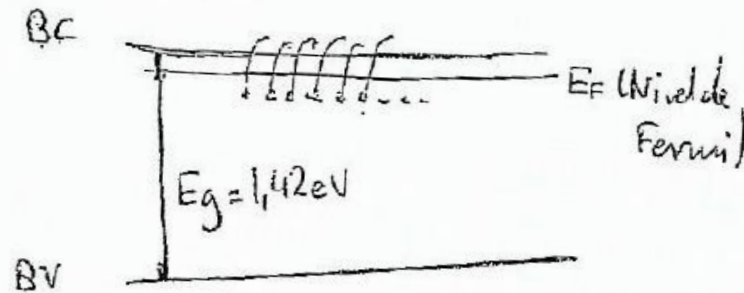


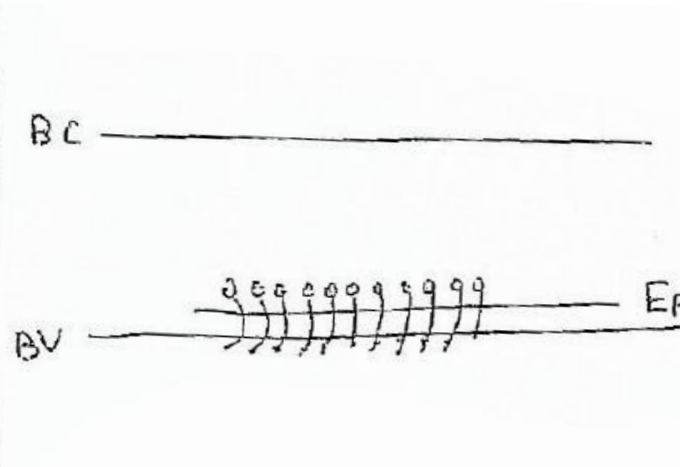
Figure 15.2-5 (a) The absorption of a photon results in the generation of an electron-hole pair. This process is used in the photodetection of light. (b) The recombination of an electron-hole pair results in the spontaneous emission of a photon. Light-emitting diodes (LEDs) operate on this basis. (c) Electron-hole recombination can be stimulated by a photon. The result is the induced emission of an identical photon. This is the underlying process responsible for the operation of semiconductor injection lasers.

1.4.-Semiconductores tipo N y tipo P

Semiconductor N

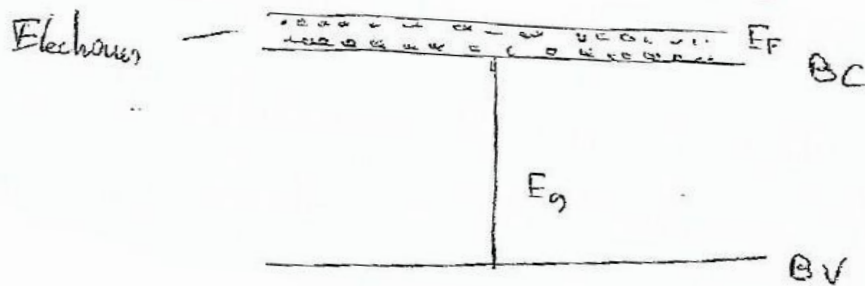


Semiconductor P



Por Energía Térmica los Electrones en un Semiconductor tipo N pasan a la Banda de Conducción (BC) y los Huecos en un Semiconductor tipo P pasan a la Banda de Valencia (BV), aumentando su conductividad.

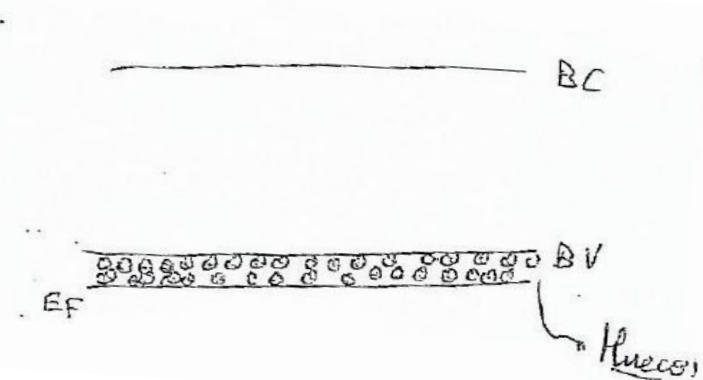
Si estos semiconductores están altamente dopados o semiconductores degenerados, es decir, que tienen una alta concentración de dopantes del tipo V para Semiconductores de tipo N y del tipo III para un Semiconductor tipo P, tenemos:



Semiconductor tipo N

+

altamente dopado: N

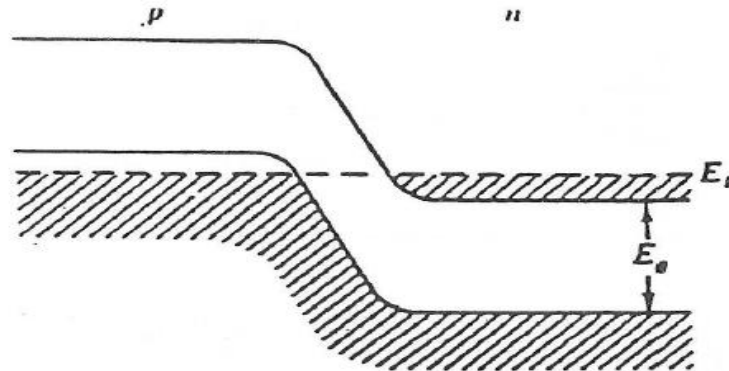


Semiconductor tipo P

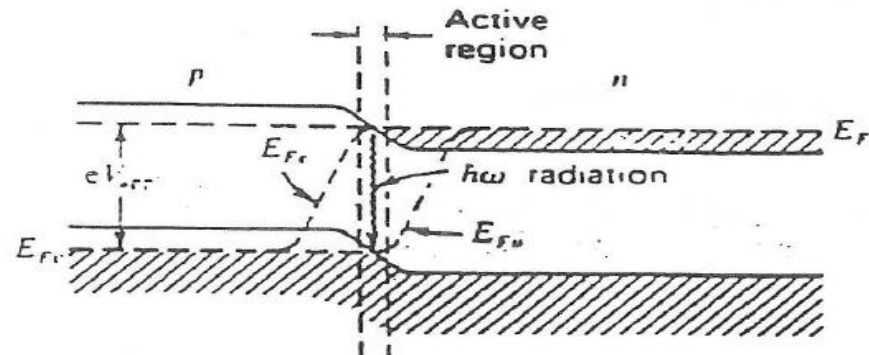
+

altamente dopado: P

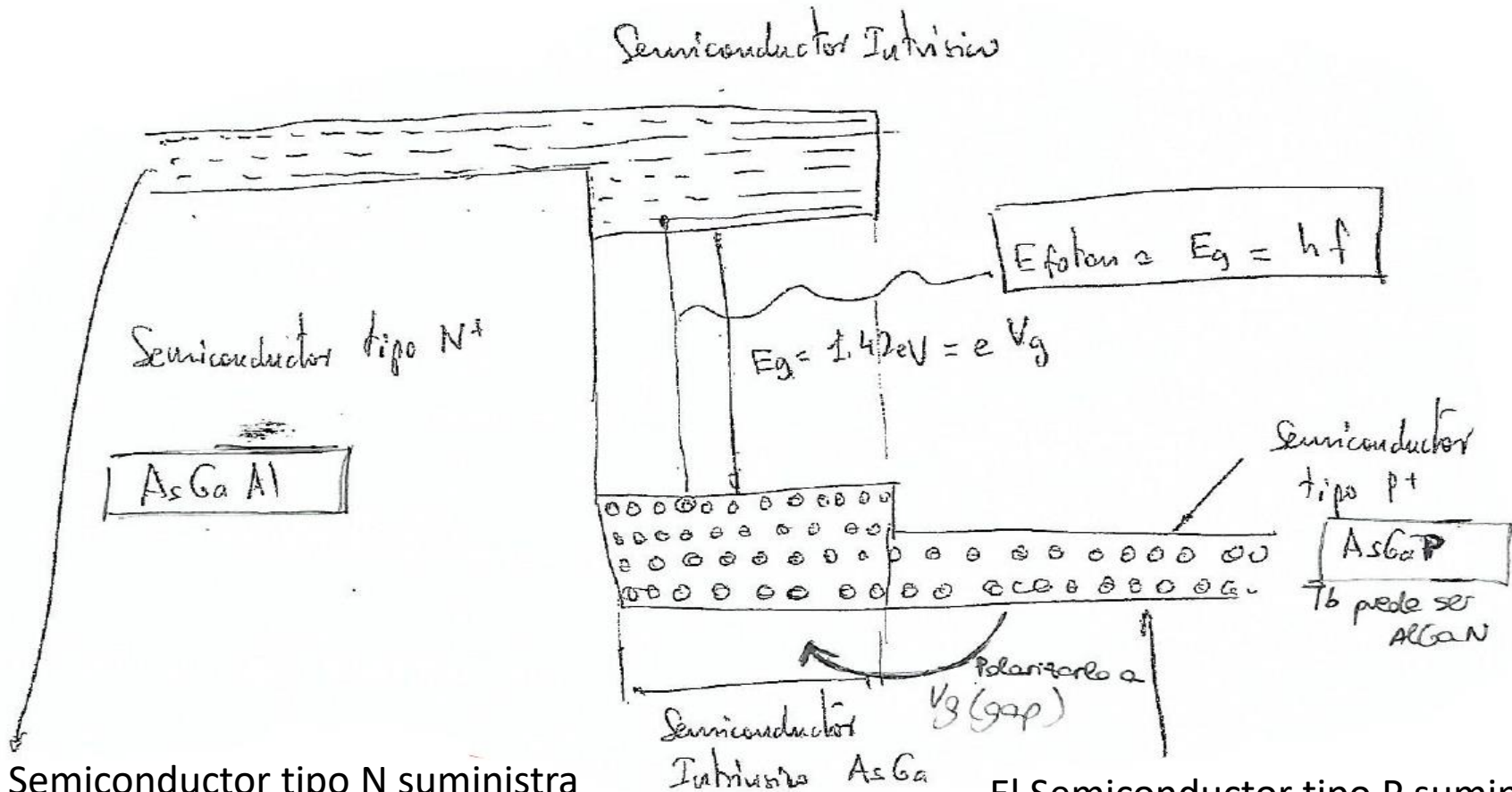
Para explicar la inversión de población en semiconductores partimos de semiconductores tipo p y tipo n degenerados. En estos, la concentración de dopantes es tan elevada que el nivel de Fermi penetra la banda de valencia (semiconductores tipo p) o la de conducción (semiconductores tipo n). En la figura se muestra el esquema de una unión pn degenerada.



Para conseguir las condiciones de emisión estimulada y amplificación en semiconductores es necesaria la inversión de población. Esto se muestra en la figura donde una unión pn degenerada es polarizada en directa y en la región de la unión se produce dicha inversión de población y, por lo tanto, la amplificación es posible.



1.5.-Unión PN con Semiconductores altamente Dopados N^+ y P^+ y un Semiconductor de Gap Directo: Heterouniones

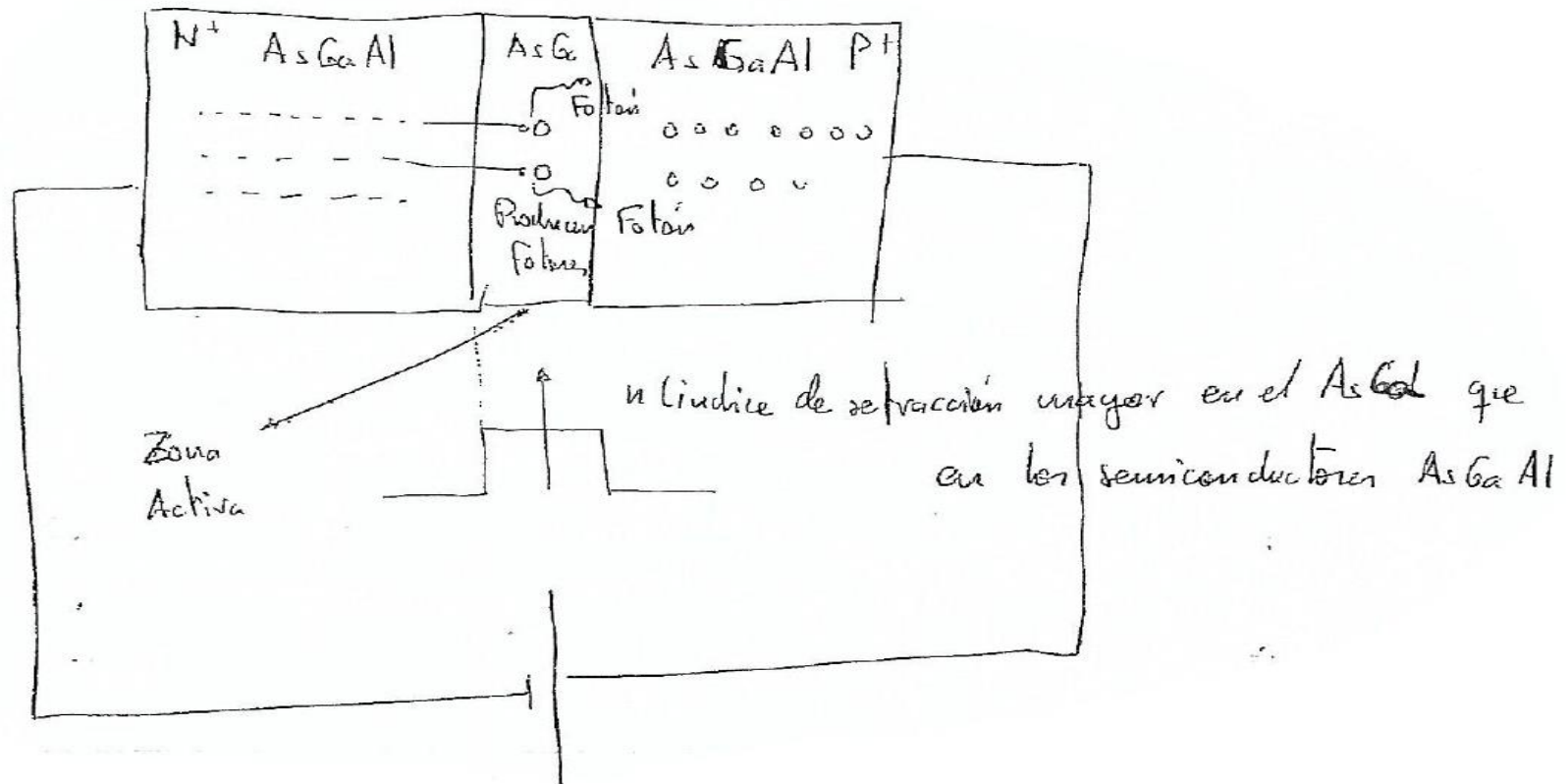


El Semiconductor tipo N suministra los Electrones para que se recombinen con los Huecos en la zona intermedia de semiconductor intrínseco **AsGa**

El Semiconductor tipo P suministra los Huecos para que se recombinen Con los Electrones en la Zona Intermedia de **AsGa**

1.6.-Confinamiento de Electrones y Huecos en la Zona Activa del Diodo Láser

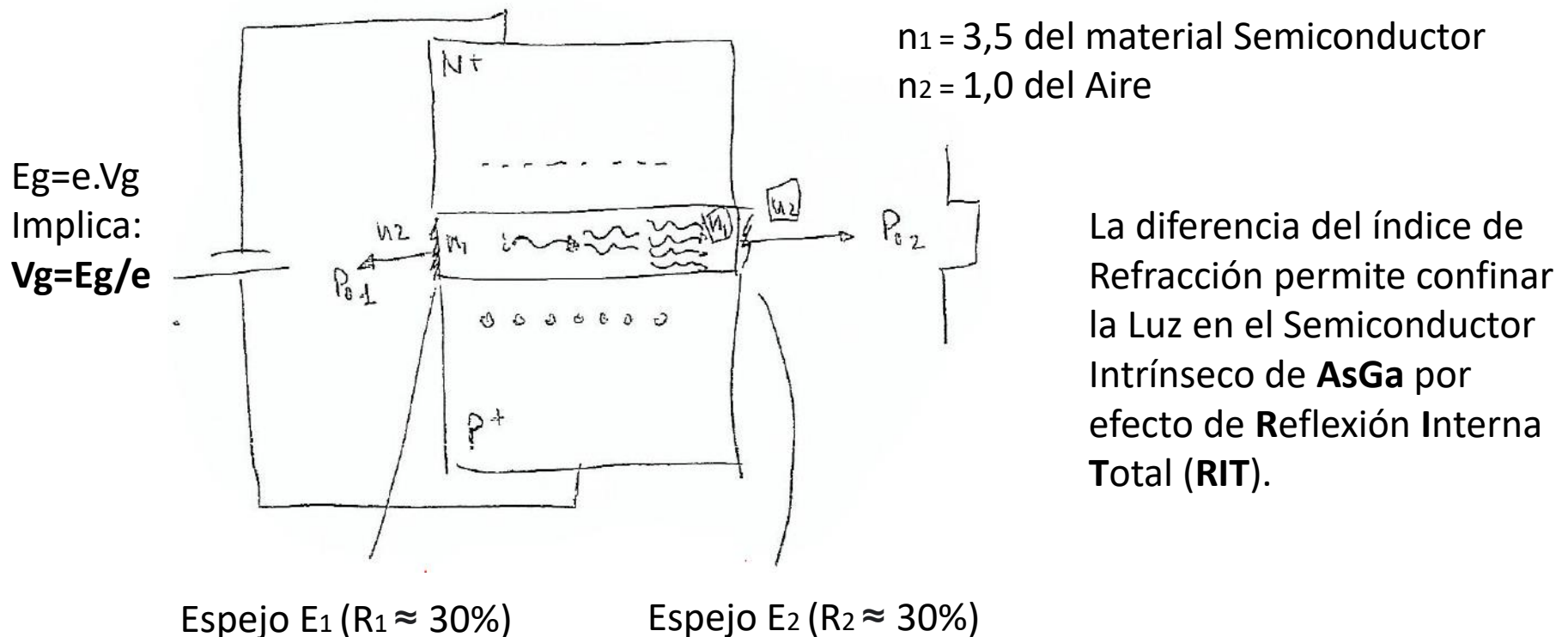
Esta estructura se llama una **Heterounión** para la recombinación de los Electrones y de los Huecos en la Zona Intermedia (**Semiconductor Intrínseco de AsGa**)



$$V \geq V_g \Rightarrow E_g = 1,42 \text{ eV}$$

1.7.-Confinamiento de Fotones en la Zona Activa del Diodo Láser: Obtención de una Cavity Resonante

Obtención de una Cavity Láser mediante una Unión PN utilizando Heterouniones



$$R = (n_1 - n_2 / n_1 + n_2)^2 = (3.5 - 1 / 3.5 + 1)^2 \approx 0.3 \Rightarrow 30\%$$

2.-Características de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Estimulada y Amplificada: DIODOS LASER.

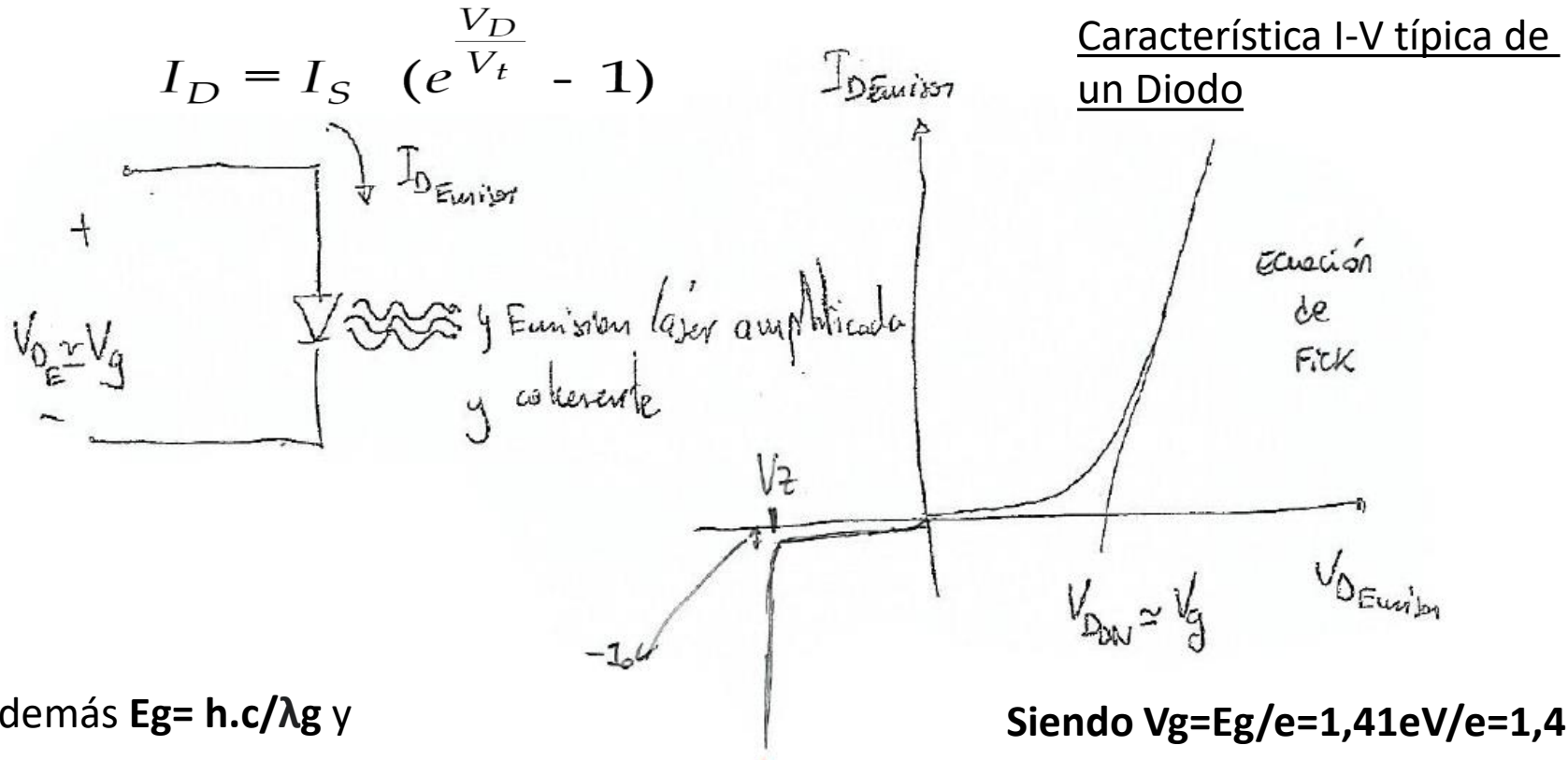
2.1.-Función de Transferencia Electrónica: Característica I-V de un Diodo Láser Emisor de Luz

2.2.-Función de Transferencia Opto-Electrónica: Característica P/I

2.3.-Espectro de Emisión

2.4.-Espectro de Radiación

2.1.-Función de Transferencia Electrónica: Característica I-V de un Diodo Emisor de Luz



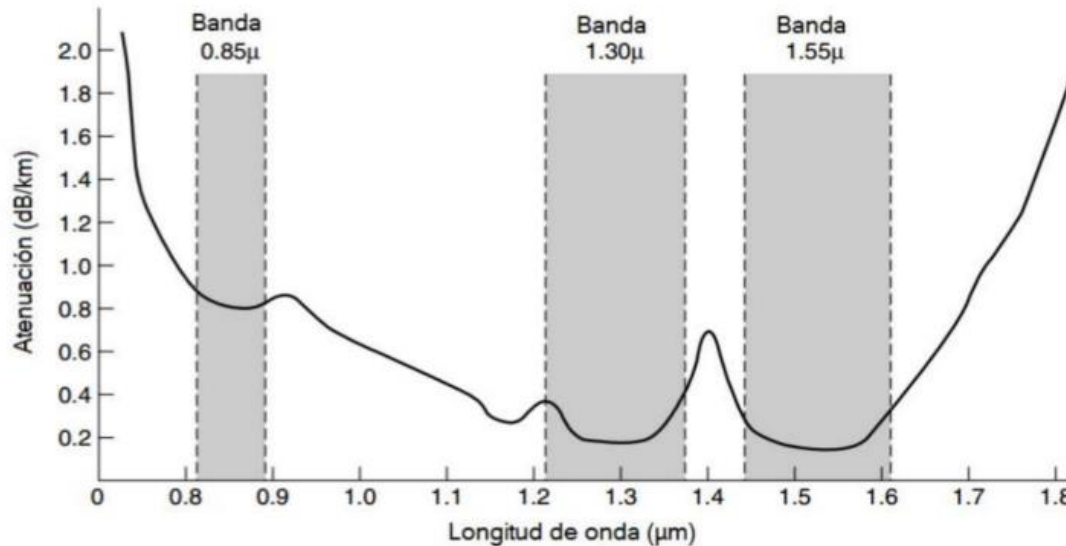
Además $E_g = h \cdot c / \lambda_g$ y

$$\lambda_{\text{emisión}} = h \cdot c / E_g = (h \cdot c / e) \cdot (1 / V_g) = (1.24 \times 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}) \cdot (1 / V_g)$$

Por tanto, tenemos $\lambda_g = (1.24 \times 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}) \cdot (1 / 1.41 \text{ V}) = 0.87 \mu\text{m}$

En consecuencia tenemos:

$$\lambda_g (\mu\text{m}) = 1.24/1.41\text{V} (\mu\text{m}) = 0.87 \mu\text{m} \approx 0.9 \mu\text{m}$$



Y para las Ventanas de Comunicaciones Opticas tenemos:

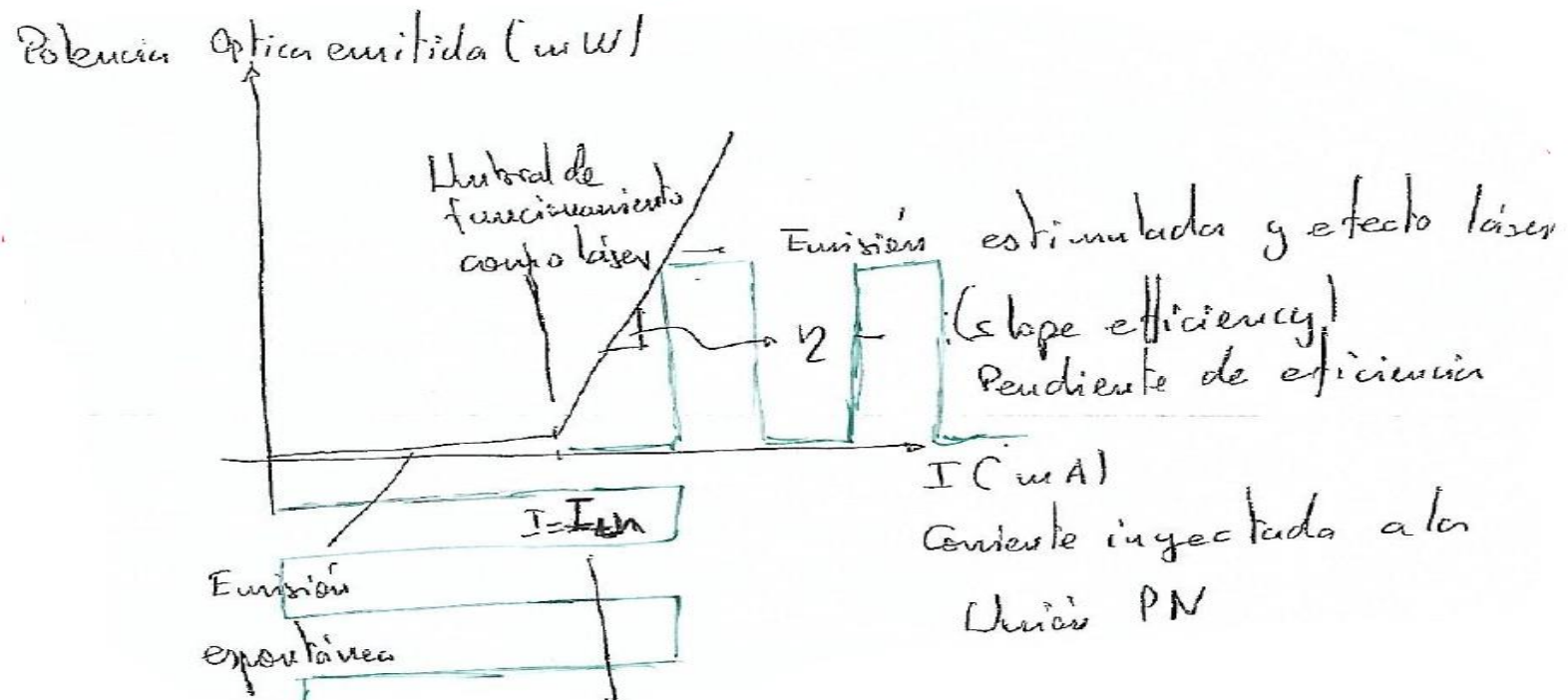
$$\lambda_g (\mu\text{m}) = 1.3 \mu\text{m} \Rightarrow E_g = 0.954 \text{ eV}$$

$$\lambda_g (\mu\text{m}) = 1.5 \mu\text{m} \Rightarrow E_g = 0.8 \text{ eV}$$

2.2.-Función de Transferencia Opto-Electrónica: Característica P/I

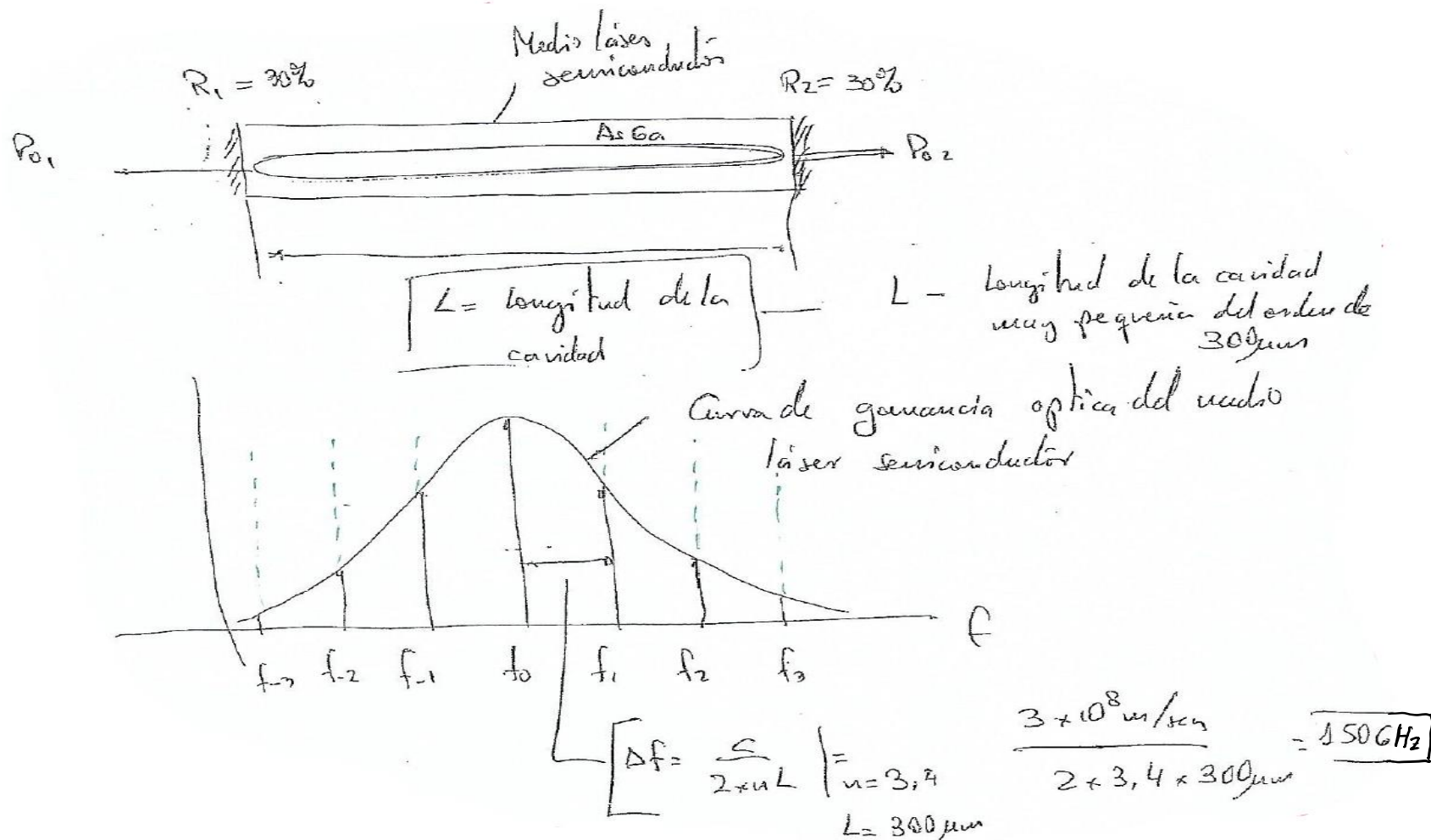
Esta Función de Transferencia representa la Función de Transferencia Electrónica:
Inyección de Electrones que se obtiene en Fotones.

O bien, **Inyección de Corriente en Emisión de Potencia (P/I)**



I_{th} es el Umbral de Corriente Eléctrica inyectada a la Unión PN emisora de luz que hace que la **Ganancia \geq Pérdidas**. **$I_{th} \Rightarrow g_{th}$** . Es decir: **$g \geq g_{th}$**

2.3.-Espectro de Emisión: El Espectro de Emisión de un Diodo Láser es el Espectro Multifrecuencia característico de un Resonador Láser como Medio Inhomogéneo (Ensanchamiento Espectral Inhomogéneo). Y según hemos visto en El Tema anterior tenemos:



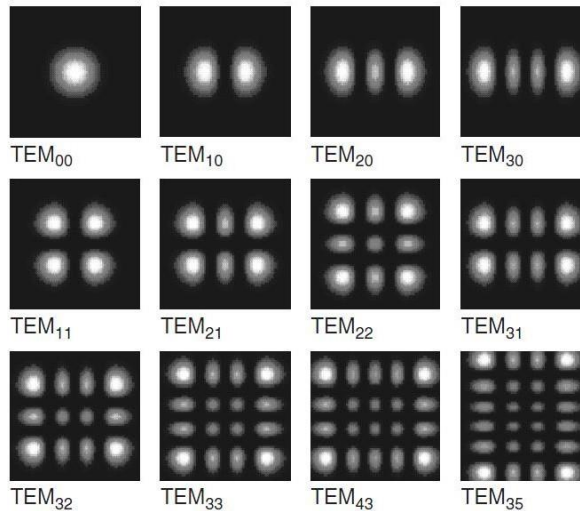
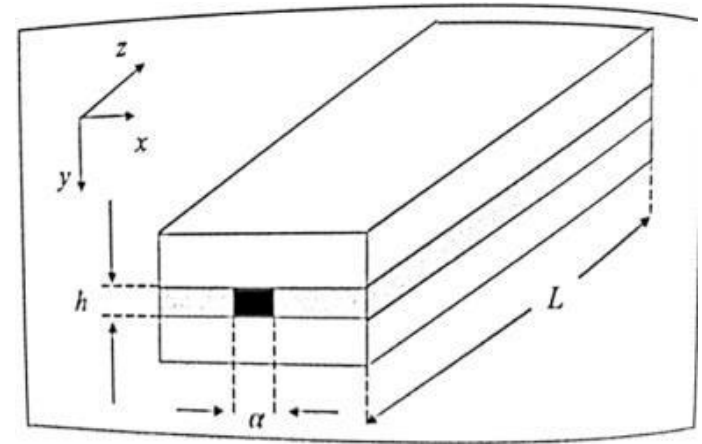
2.4.-Espectro de Radiación

Modos Laterales y Transversales de un Diodo Láser

Tipos de modos

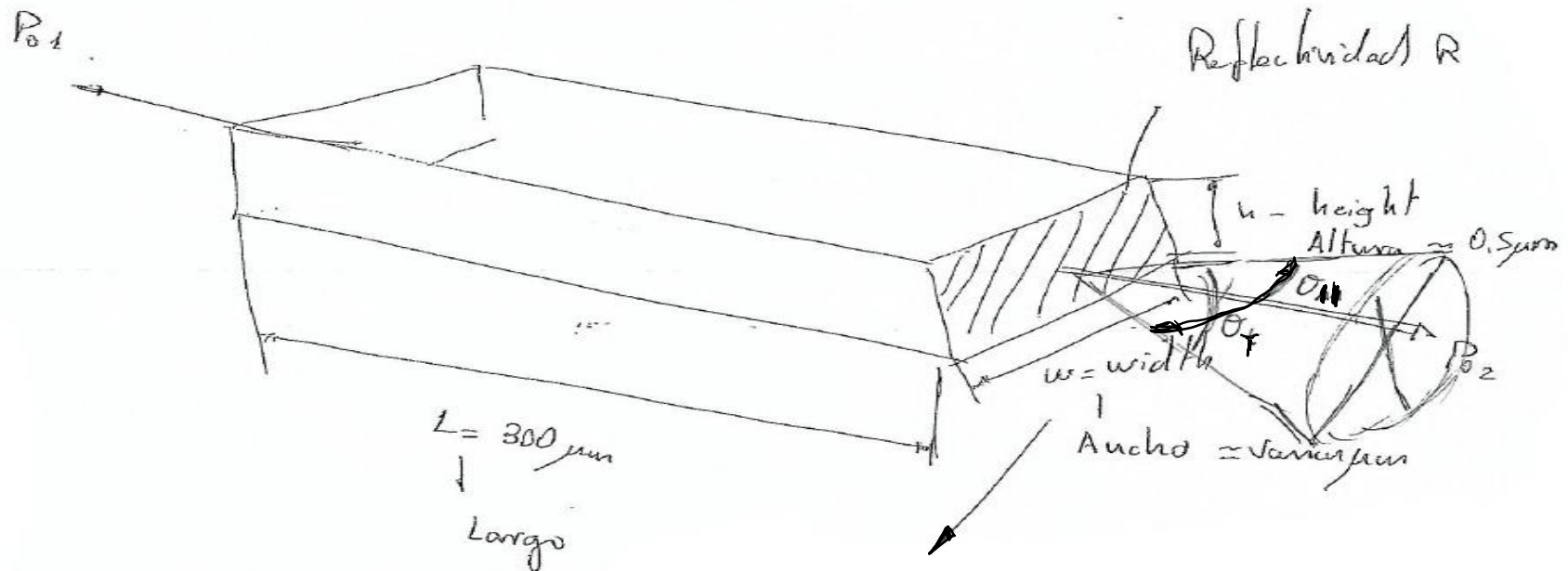
- **Modos espaciales de un Diodo Láser**
- Y modos longitudinales en el eje (z)

- modos laterales (x)
 - modos transversales (y)
- } Forma y perfil de E .
 Γ factor de confinamiento



**Oscilación láser dirección transversal
(cavidad láser estrecha para evitarlos)**

Una Cavidad Láser utilizando una Unión PN tiene las siguientes Características correspondientes a su Espectro de Radiación de un Solo Modo Lateral y Transversal:



$$\theta_{\perp} \approx \frac{\lambda}{h} \text{ (radianes)}$$

$$\theta_{\parallel} \approx \frac{\lambda}{w} \text{ (en rads)}$$

El Espectro de radiación está definido por las **características tan pequeñas que tiene su estructura de h (altura) y w (anchura) de las 2 caras emisoras de Luz.** Al ser tan pequeñas implica el emitir la Luz en donde aparece el 1er Lóbulo de Radiación Lateral y Transversal

3.- Características de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Espontánea LED's: "LIGHT EMITTING DIODES"

3.1.-Estructuras de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Espontánea: LED's

3.2.-Función de Transferencia Electrónica: Característica I/V

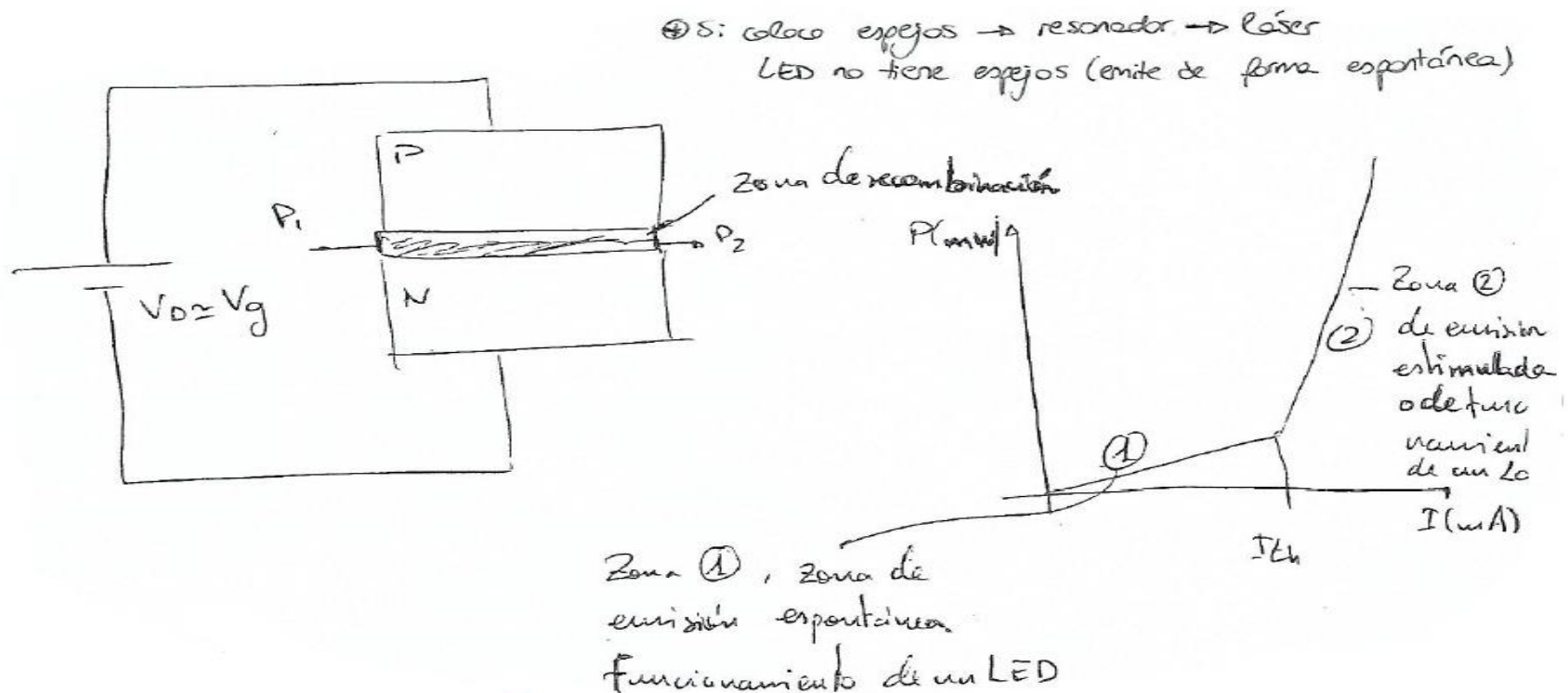
3.3.-Función de Transferencia Opto-Electrónica: Característica (P/I)

3.4.-Espectro de Emisión

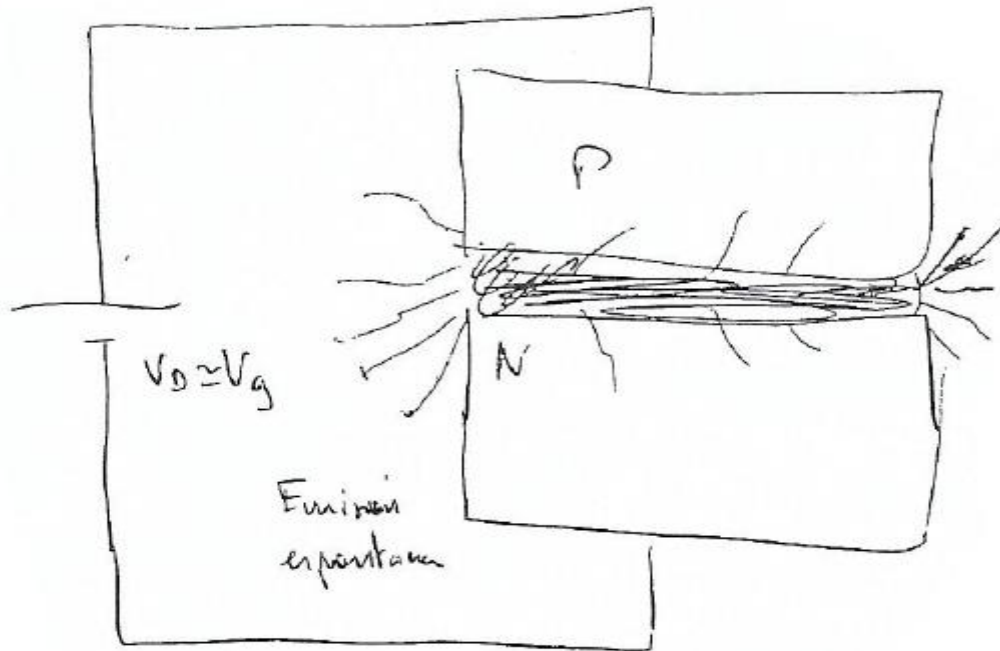
3.5.-Espectro de Radiación

3.1.-Estructuras de los Diodos Emisores de Luz por Emisión Espontánea: LED's

Un Diodo LED tiene una Configuración similar a la de un Diodo Láser emisor de Luz mediante una Heterounión formada por una Unión PN con Semiconductores altamente Dopados y una Zona intermedia para recombinación de Electrones y Huecos de tipo Radiativo: Emisión de un Fotón por recombinación de un Electrón y un Hueco. Es decir:



En el caso de un LED no tenemos una estructura de Resonador Optico o de una Cavity Láser, sino que tenemos una zona de recombinación de Electrones y Huecos que permite emitir Fotones de forma Espontánea.

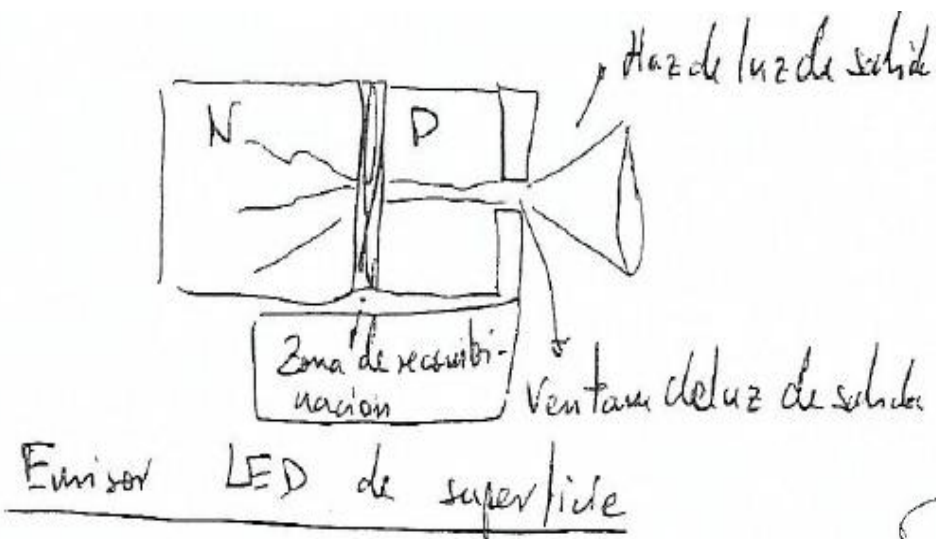


Zona de recombinación de
Electrones y Huecos

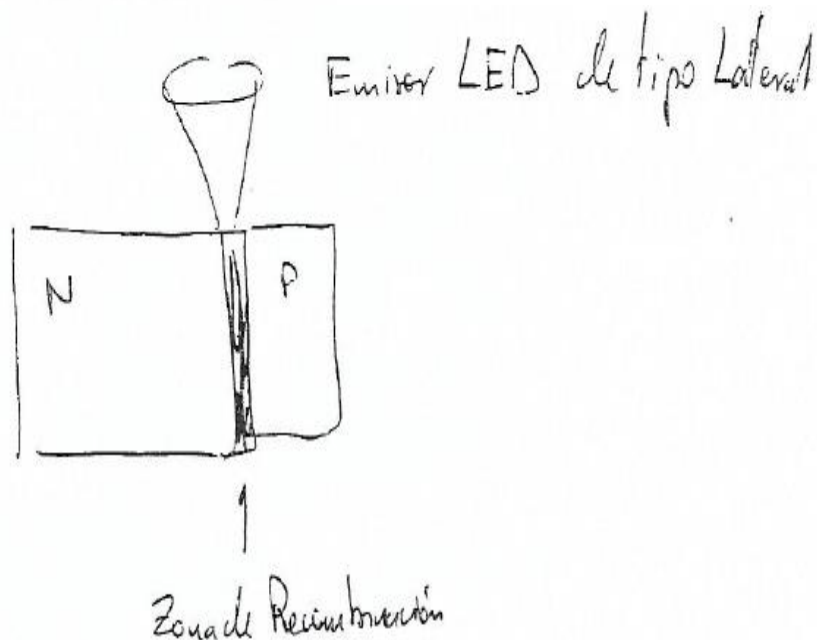
Se produce Emisión Espontánea
de Fotones en todas las Direcciones
Y en una Banda Espectral mucho
más Ancha que la de un Diodo Láser

3.1a.-Tenemos 2 Tipos de Estructuras:

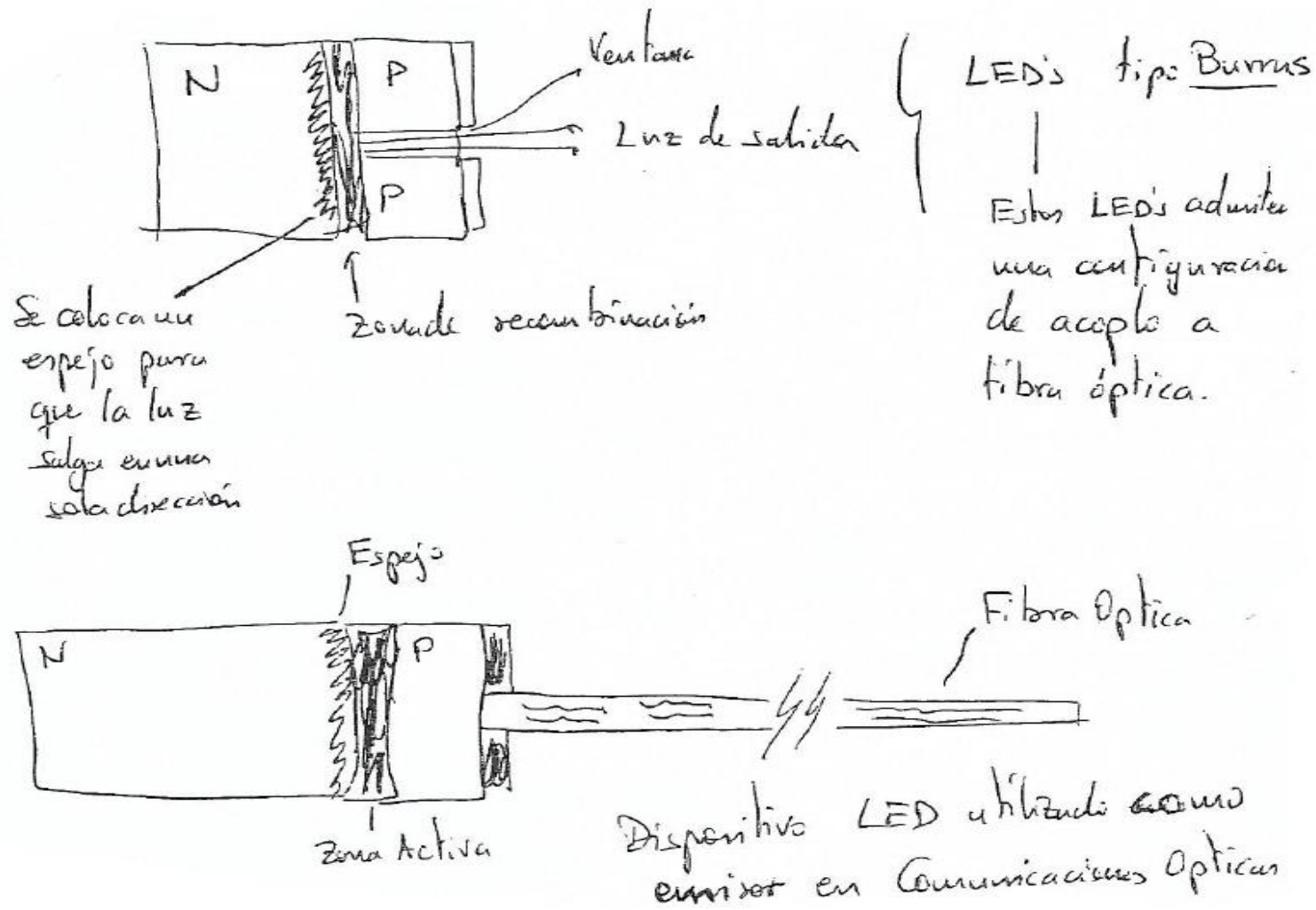
1.-Emisión por Superficie



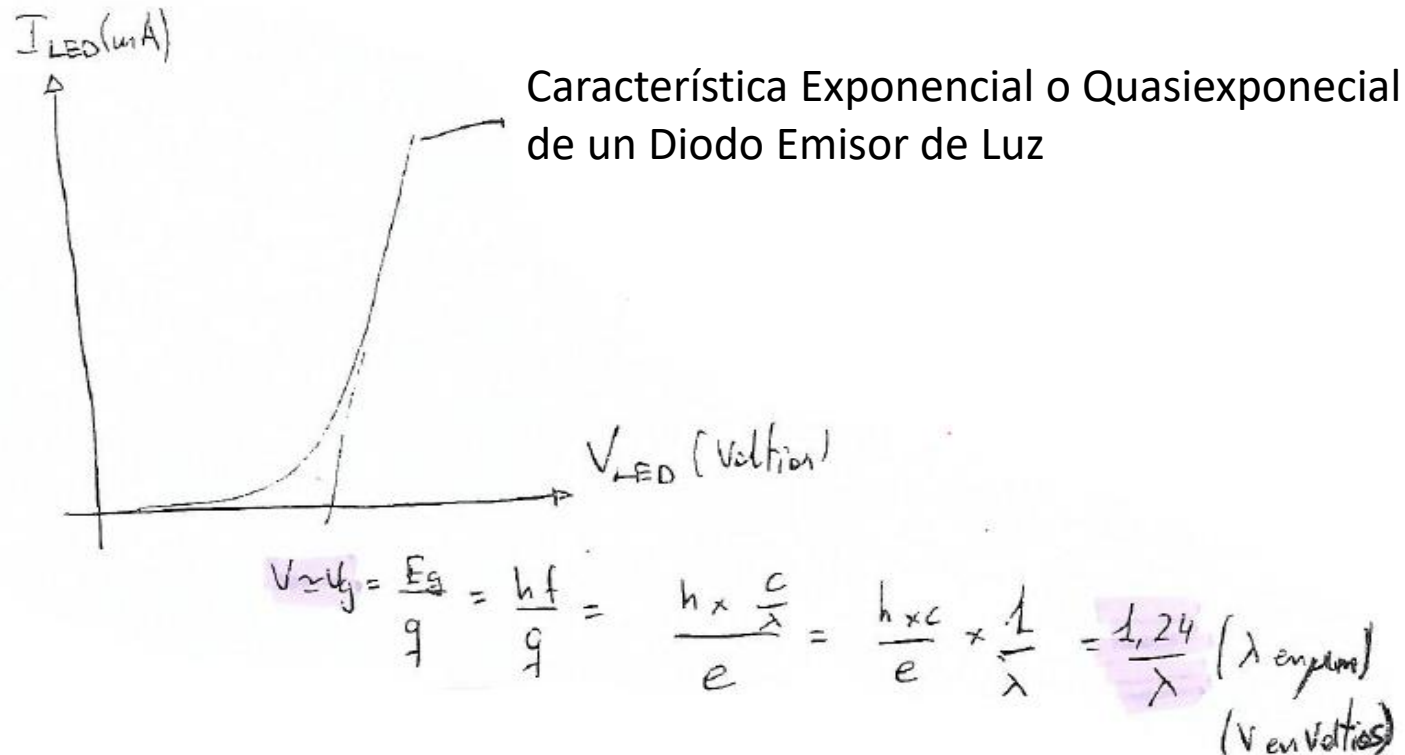
2.-Emisión Lateral



Los LEDs por Emisión de Superficie se pueden hacer más eficientes de 2 Formas:



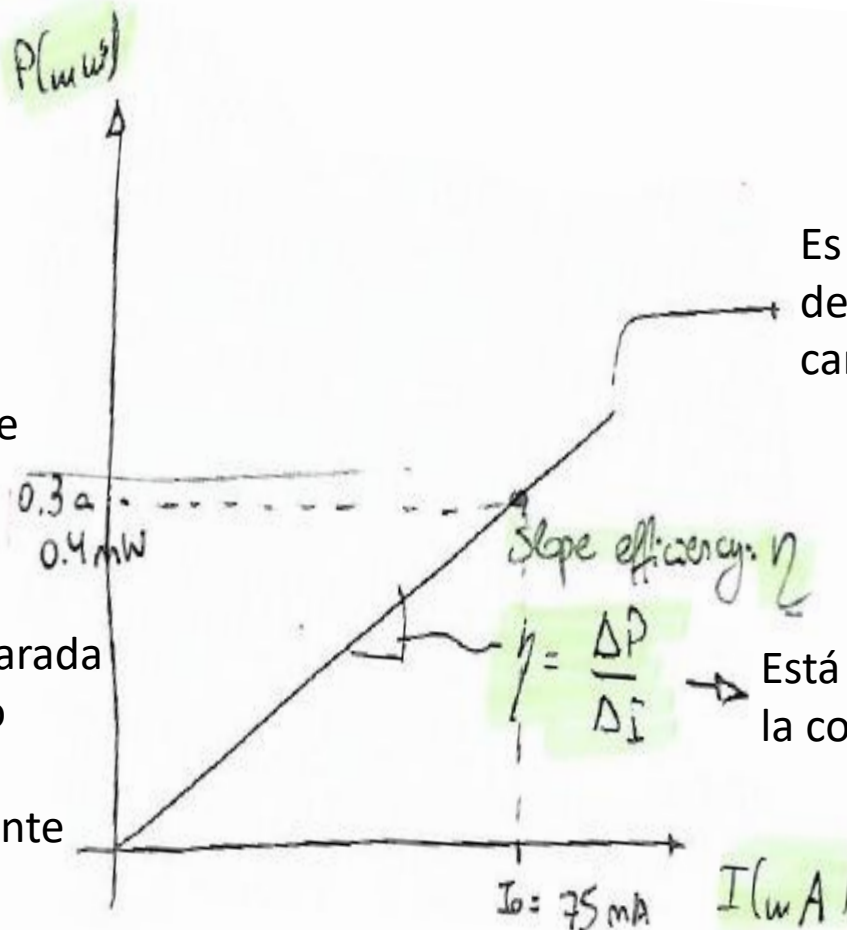
3.2.-Función de Transferencia Electrónica: Característica I/V



Por eso se usan Diodos Láser de **1.3 μm** o de **1.5 μm** que hace que V_g disminuya

3.3.-Función de Transferencia Opto-Electrónica: Característica (P/I)

Es importante
señalar la
diferencia
de Potencia
Optica comparada
con un Diodo
Láser para la
misma corriente
de Inyección

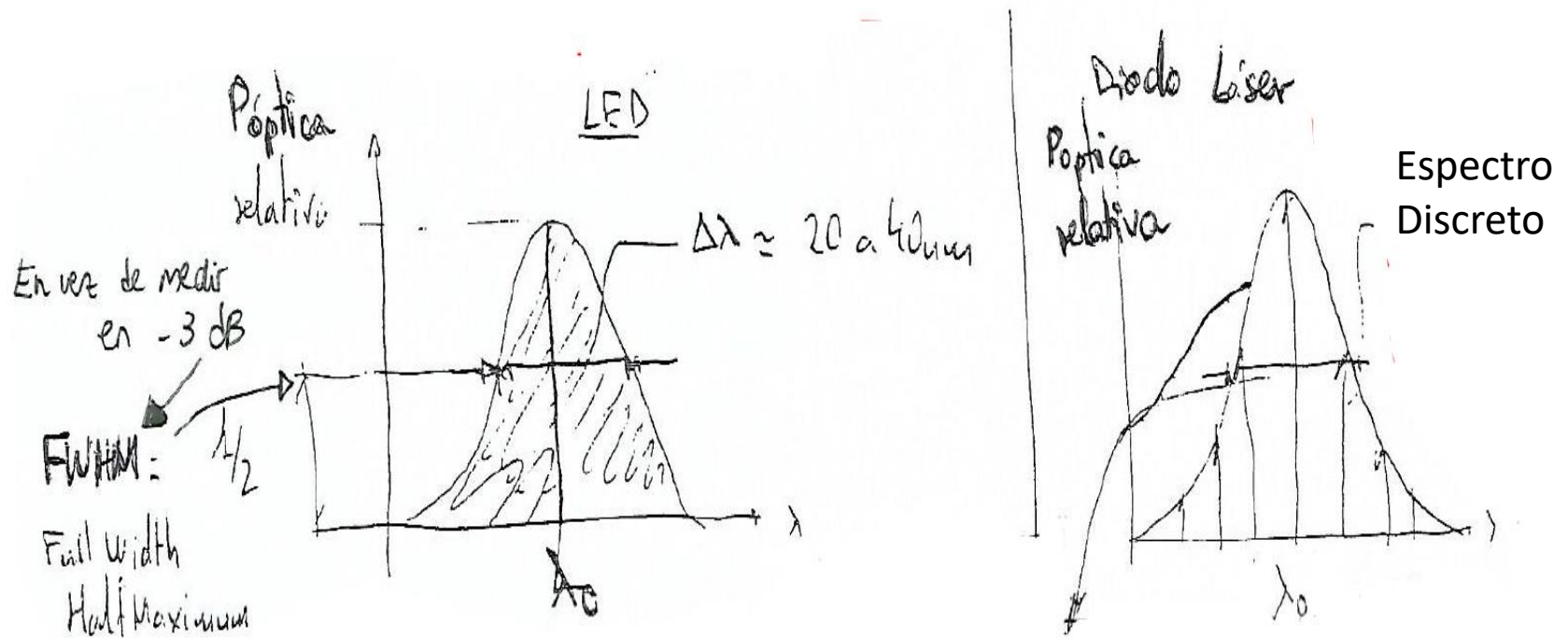


Es una recta ya que es la Característica
de la Emisión Espontánea que
caracteriza un Diodo LED

Está relacionada con la eficiencia de
la conversión de Corriente I (mA)
en Potencia Optica P (mW)

3.4.-Espectro de Emisión

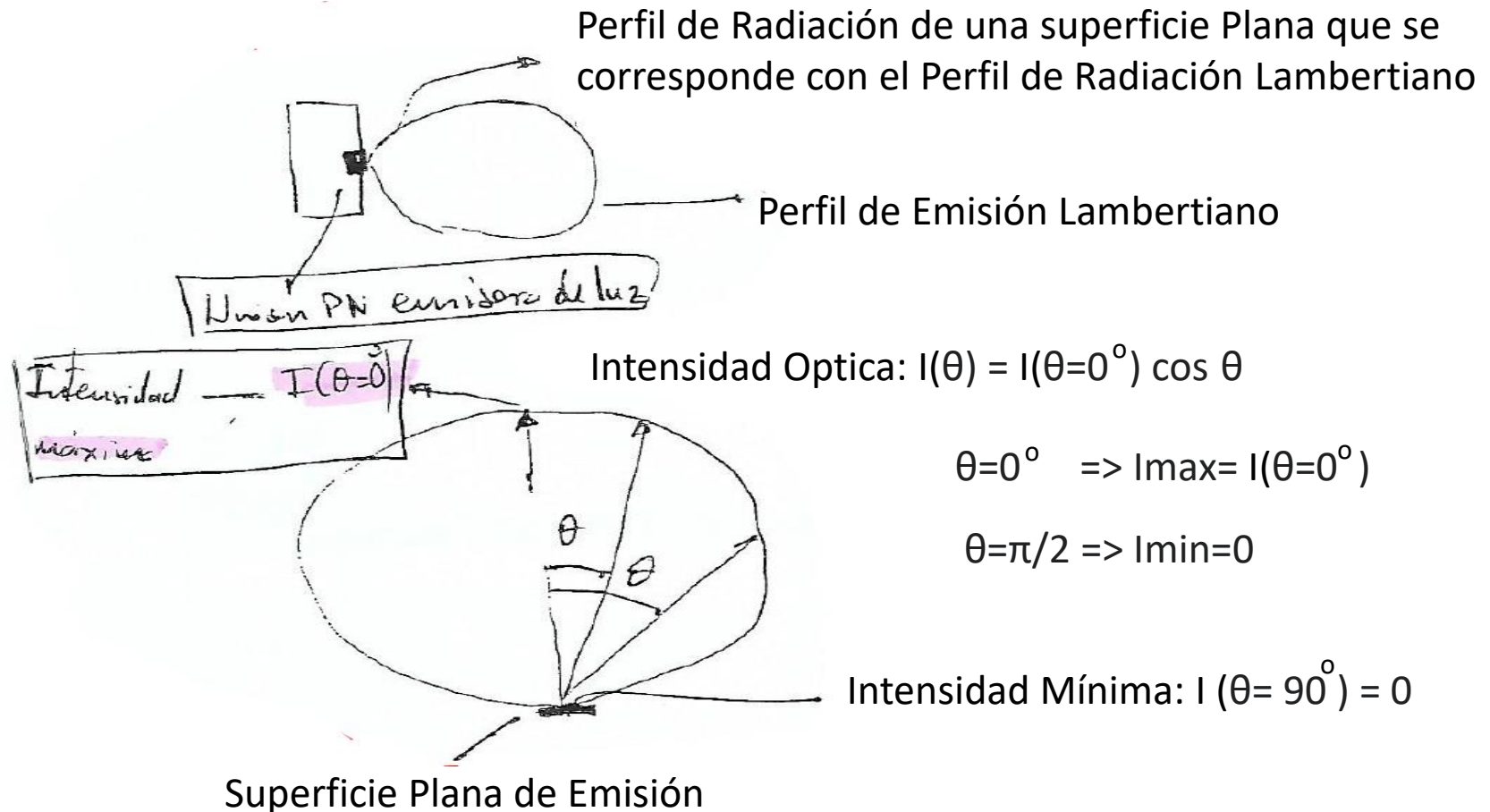
El Espectro varía si es un Diodo Láser o un Diodo LED



En Diodos Láser el Espectro es un Espectro Discreto y asimismo se estrecha la Curva de Ganancia

3.5.-Espectro de Radiación

3.5a.-Perfil de Radiación Lambertiano



3.5a.-Perfil de Radiación más Directo

Se suele colocar una **Lente de tipo Semiesférico o tipo Parabólico**

