

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE CIENCIAS



**"CARACTERIZACION OPTICA
DEL SULFURO DE CADMIO"**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:
LICENCIADO EN CIENCIAS,
mención FISICA**

OSCAR HERNAN VARAS ROJAS

LIMA-PERU

1,987

A mis padres, Hnos. ,
a Victor Omar

Agradezco a mi asesor el Dr Anibal Valera por la permanente y excelente tutoría impartida, sin la cual no hubiese podido realizarla.

A los colegas y amigos que de una u otra forma colaboraron en la redacción de mi tesis.

RESUMEN

En la presente tesis se caracteriza ópticamente al SULFURO DE CADMIO policristalino. Para esto se elaboran PELICULAS DELGADAS de CdS por el método de EVAPORACION AL VACIO, luego haciendo pasar luz a travez de la película (incidencia normal) se obtienen ESPECTROS DE TRANSMISION óptica.

Del análisis de estos espectros se obtuvieron los siguientes resultados:

El ESPESOR de película $-L-$ (en micrometros)

El "GAP" energético del semiconductor $-E_g-$ (en eV)

El INDICE DE REFRACCION espectral $-n-$ (s.u.)

El COEFICIENTE DE ABSORCION espectral $-\alpha-$ (en cm^{-1})

n y α para el rango IR-vis desde 520 hasta 880 nm.

Este trabajo es parte del programa de investigación del Grupo de Energía Solar de la UNI y sirve como base de cualquier estudio óptico de este semiconductor.

I N D I C E

	pag
INTRODUCCION -----	1
CAPITULO I : ANALISIS TEORICO -----	2
CAPITULO II : PARTE EXPERIMENTAL -----	17
CAPITULO III: RESULTADOS EXPERIMENTALES ----- (FELICULAS, ESPECTROS)	27
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES ----- (DETERMINACION DE PARAMETROS OPTICOS)	30
CONCLUSIONES -----	53
BIBLIOGRAFIA -----	54
A P E N D I C E S	
APENDICE I -----	57
tablas	1)Películas obtenidas-----58
	2)Orden de interferencia del pico mas alto----59
	3)Orden para 12 Long. de onda en c/espectro---60
y	4)Indice de Refracción relativo- tabla-----61
	5) " " " " - grafica-----62
gráficas	6)Tablas: INDICE de REFRACCION-----63
	7)Gráficas: INDICE DE REFRACCION-----71
	8)Tablas: "n vs $1/(\lambda^2 - c)$ "-----89
	9)Gráfica Gral.: "n vs $1/(\lambda^2 - c)$ "-----91
APENDICE II -----	92
Tablas: Logaritmo de la transmitancia	
Gráficas: $\ln(T)$ vs L	
APENDICE III-----	99
Tablas: (α) , (αE) , $(\alpha E)^{1/2}$ y $(\alpha E)^{2/3}$ vs E	
Tablas: Indice de atenuación vs λ .	
Gráficas: Indice de atenuación vs λ .	

INTRODUCCION

La crisis energética del petróleo a motivado en las últimas décadas que gran parte del interés de las ciencias naturales esté abocado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía llamadas no-tradicionales. A mediados del presente siglo la energía nuclear aparecía como el gran reemplazante inmediato vista la futura extinción del gran hidrocarburo; posteriormente razones de tipo ecológico y tecnológico descartan esta perspectiva, mientras no se logre domesticar este fabuloso potencial energético.

El rumbo esta enmarcado hacia aquellas fuentes renovables o inagotables cuyos costos de extracción, elaboración, seguridad biológica y aplicación no sean mayores que su rendimiento útil o su posterior consecuencia contra la vida en Gral.

Siendo el Sol un reservorio practicamente inagotable de fotones, los cuales pueden ser absorbidos por algunos materiales como los semiconductores—por ejemplo según el llamado proceso Fotovoltaico—, y cuya disponibilidad es el pan de cada dia, representa junto con la abundancia de semiconductores y la facilidad de fabricar celdas, en una fuente a la espera de cada vez ser mejor aprovechada.

Una celda solar es un dispositivo compuesto por uno o mas semiconductores, en los cuales algunos de sus electrones absorben fotones del espectro solar cuyo salto energético origina pares electrón-hueco y cuyo movimiento puede ser guiado por campos eléctrico internos del material, originando flujo de cargas, lo cual mediante conductores externos se puede recoger corriente electrica útil.

Dada la importancia de utilizar los materiales mas aptos en el aprovechamiento de esta energía radiante y acorde a la necesidad futura, es que se escoge semiconductores cuya eficiencia considerada relativamente buena, sea en cambio práctica en primer termino su técnica de fabricación. El SULFURO de CADMIO representa la conjunción de todas estas ventajas.

Lo que se requiere en primer lugar es caracterizar físicamente al material. En la UNI se cuenta entre otros con un equipo de vacío, donde se obtienen películas cristalinas por el metodo de EVAPORACION, la técnica de fabricación resulta poco costosa y bastante práctica de lograr. Con las películas ya elaboradas se pueden hacer estudios ópticos, acústicos, eléctricos, estructurales, etc. y que se está haciendo en la Facultad de Ciencias de la UNI.

C A P I T U L O I

A N A L I S I S T E O R I C O

- 1.1 PROPIEDADES OPTICAS DE SEMICONDUCTORES----- 3
-Absorción, -Reflexión, -Transmisión,
-Dispersión, -Emisión.
- 1.2 DESCRIPCION ENERGETICA DEL PROCESO DE ABSORCION TOTAL-- 3
- 1.3 PROPAGACION DE UNA ONDA A TRAVEZ DE UN MATERIAL DIELEC-
TRICO HOMOGENEO, ISOTROPICO, ABSORBENTE----- 5
- 1.4 TEORIA DE LA TRANSMISION DE LA LUZ A TRAVEZ DE TRES (3)
MEDIOS FLANO PARALELOS PARA INCIDENCIA NORMAL----- 8
-Modulación de la transmitancia
.Transmisión Máxima
.Transmisión Mínima
.Transmisión Promedio
- 1.5 TEORIA DE LA DISPERSION DE LA LUZ EN UN SEMICONDUCTOR--14

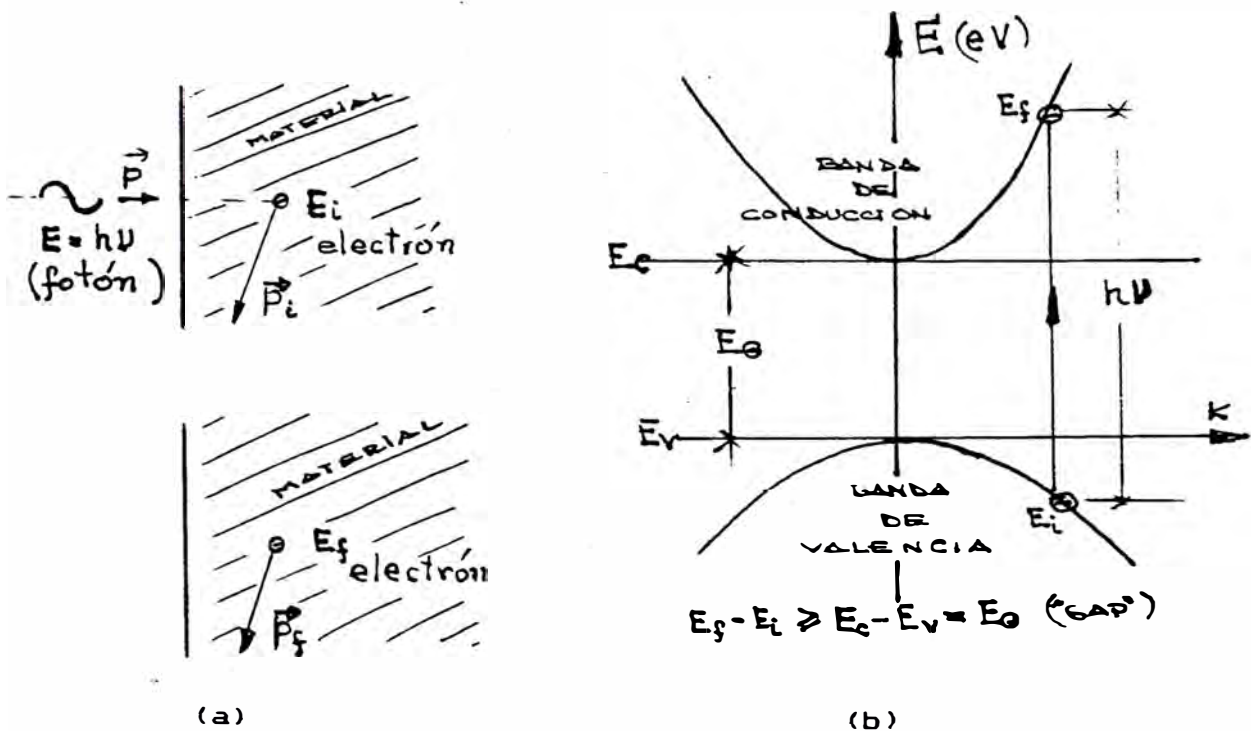
1.1 PROPIEDADES OPTICAS DE SEMICONDUCTORES.-

Son las propiedades mas importantes :

- 1.- ABSORCION.
- 2.- REFLEXION.
- 3.- TRANSMISION.
- 4.- DISPERSION.
- 5.- EMISION.

Que resultan de las excitaciones electrónicas en los cristales.

1.2 DESCRIPCION ENERGETICA DEL PROCESO DE ABSORCION.-



FIG(1).- ABSORCION DE FOTONES DE LA LUZ INCIDENTE POR LOS ELECTRONES DE VALENCIA EN UN SEMICONDUCTOR.

Cuando se ilumina un material semiconductor se permite que un electrón de la banda de valencia absorba un fotón del haz incidente y "salte" a la banda de conducción, siempre que la energía del fotón sea mayor o igual que el "gap" como muestra la figura(1)-b.

Para que el electrón supere la "brecha prohibida": E_0 , la energía del fotón $E=h\nu$ debe satisfacer:

$$E \geq E_0 \quad \text{ó} \quad h\nu = hc/\lambda \geq E_0$$

Relación entre la energía del fotón E (en eV) y la longitud de onda λ (en μm) -Ley de Planck-:

$$\lambda (\mu\text{m}) \cong \frac{1.24}{E (\text{eV})} \quad (1.1)$$

ECUACIONES DE CONSERVACION PARA EL SISTEMA ELECTRON-FOTON.-

De la figura (1)-b :

$$\text{Sean: } \begin{cases} E_i \text{ y } \vec{p}_i & \text{energía y momentum inicial del electrón} \\ \vec{p} & \text{momentum del fotón incidente} \\ E_f \text{ y } \vec{p}_f & \text{energía y momentum final del electrón} \\ & \text{después de la iluminación} \end{cases}$$

$$\text{Por Cons. de ENERGIA : } E_f = E_i + h\nu \quad \text{REF} \langle 13 \rangle \quad (1.2)$$

$$\text{Por Cons. del MOMENTUM : } \vec{p}_f = \vec{p}_i + \vec{p}$$

en el rango óptico: $p(\text{fotón}) \ll p(\text{electrón})$

$$\text{luego : } \vec{p}_f \cong \vec{p}_i \quad \text{REF} \langle 13 \rangle \quad (1.3)$$

1.3 PROFAGACION DE UNA ONDA A TRAVEZ DE UN MATERIAL DIELEC- TRICO: HOMOGENEO, ISOTROPICO, ABSORVENTE.

Sea una onda electromagnética plana monocromática de frecuencia ω atravesando un medio absorbente.

las ecuaciones para \vec{E} y \vec{H} soluciones de las ecuaciones de Maxwell para un medio con permeabilidad magnética $\mu=1$ son:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \quad (1.4)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \quad \text{REF<1>} \quad (1.5)$$

Donde: \vec{k} es el vector propagación de onda complejo, dado por:

$$\vec{k} = \vec{k}_1 + i\vec{k}_2, \quad \text{REF<1>} \quad (1.6)$$

la Cte. dieléctrica relativa compleja $\tilde{\epsilon}$, definida por: $\tilde{\epsilon} = \tilde{\epsilon}/\epsilon_0$

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon_1 + i4\pi\sigma/\omega, \quad \text{REF<1>} \quad (1.7)$$

la conductividad σ dependiente de la frecuencia ω

el INDICE DE REFRACCION complejo \tilde{n} , definido por:

$$\tilde{n} = n + ik = \tilde{\epsilon}^{1/2} \quad \text{REF<1>} \quad (1.8)$$

donde: n es el INDICE DE REFRACCION REAL,

k es el INDICE DE ATENUACION (tambien llamado COEFICIENTE DE EXTINCION)

Comparando (1.7) con (1.8) se cumple que: $\tilde{n}^2 = \tilde{\epsilon}$, luego igualando partes real e imaginaria:

$$n^2 - k^2 = \epsilon_1 \quad (1.9)$$

$$2nk = 4\pi\sigma/\omega \quad (1.10)$$

Para ondas planas en un medio homogéneo tenemos que (REF<1>):

$$\tilde{K} = \underline{K_1} + i\underline{K_2} \quad (i)$$

y como: $\tilde{K} = \tilde{n}w/c \Rightarrow \tilde{K} = \underline{nw/c} + i\underline{kw/c}$ (ii)

comparando (i) con (ii):

$$K_1 = nw/c \quad \text{y} \quad K_2 = kw/c \quad \text{REF<1>}$$

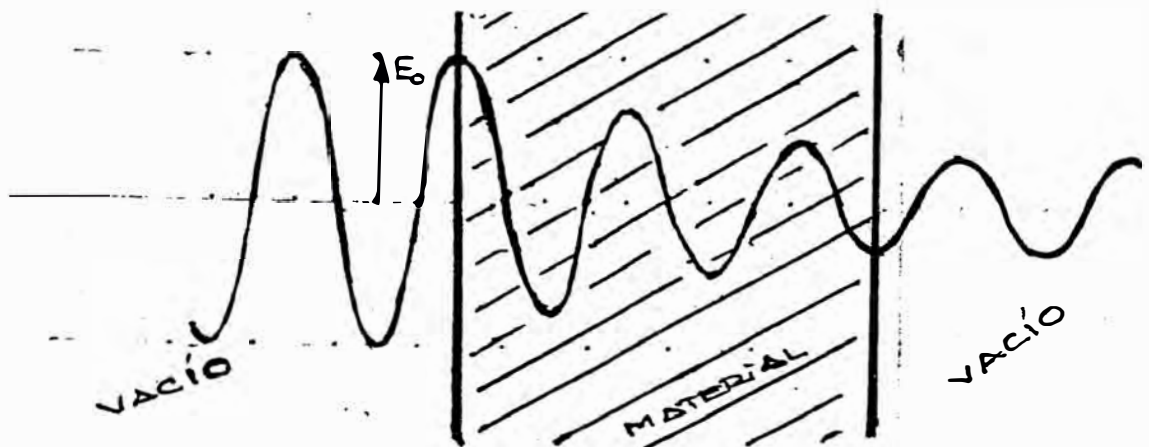
Insertando el nuevo valor de \tilde{K} en Ec(1.4):

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(nw/c + ikw/c)\hat{u}\cdot\vec{r} - wt}$$

Para propagación en el eje x : $\hat{u} = \hat{u}_x$ y $\vec{r} = x\hat{u}_x + y\hat{u}_y + z\hat{u}_z$

$$\text{entonces: } \hat{u}\cdot\vec{r} = x$$

$$\text{luego: } \vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(nwx/c - wt)} e^{-kwx/c}$$



FIG(2).- DISMINUCION DE LA AMPLITUD DE LA ONDA EN LA MATERIA.

La figura muestra el paso de la onda a través de la materia donde se nota la disminución de la amplitud de la onda.

Experimentalmente lo que se mide es la intensidad I de la luz que sale del material la cual es proporcional al cuadrado del

módulo del campo eléctrico, así:

$$I \sim |E|^2 \sim e^{-2kwx/c},$$

SE DEFINE EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN " α " como la disminución relativa de la intensidad luminosa por unidad de distancia de penetración de la onda, así: (ley de BOUGUER)

$$\boxed{I = I_0 e^{-\alpha x}} \quad \text{REF<12>} \quad \text{ó } I \sim e^{-\alpha x}$$

Comparando estas relaciones: $\alpha = 2kw/c$

y como $w = 2\pi c/\lambda$,

entonces:

$$\boxed{\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}} \quad \text{REF<1>} \quad (1.11)$$

De aquí se puede despejar k (Coef. de extinción):

$$k = \alpha \lambda / 4\pi \quad (1.12)$$

Lo que se recibe en medio (3) es la superposición de todas las amplitudes de los rayos que llegan.

Sumando hasta el rayo j -ésimo para tener la amplitud resultante:

$$\begin{aligned}
 E_t &= E_0 t_{12} t_{23} e^{iKL} e^{-\alpha L} + \\
 &+ E_0 t_{12} t_{23} r_{21} r_{23} e^{i3KL} e^{-3\alpha L/2} \\
 &+ E_0 t_{12} t_{23} r_{21}^2 r_{23}^2 e^{i5KL} e^{-5\alpha L/2} + \dots \\
 &+ E_0 t_{12} t_{23} r_{21}^j r_{23}^j e^{i(2j+1)KL} e^{-(2j+1)\alpha L/2}
 \end{aligned}$$

Sacando factor común:

$$E_t = E_0 t_{12} t_{23} e^{iKL} e^{-\alpha L/2} (1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^j)$$

$$\text{donde : } x = r_{21} r_{23} e^{i2KL} e^{-\alpha L} \quad (1.13)$$

como : $|x| < 1$ (porque $|r_{21}|, |r_{23}| < 1$) entonces el termino entre paréntesis es una serie convergente.

$$\text{En el límite : } (1 + x + x^2 + \dots + x^j) = 1/(1-x) \\ j \rightarrow \infty$$

Reemplazando E_t é $E_i = E_0$ en la expresión del coeficiente

$$\text{de amplitud : } t_{123} = \frac{E_t(3)}{E_i(1)}$$

$$\text{nos dá: } t_{123} = \frac{t_{12} t_{23} e^{iKL} e^{-\alpha L/2}}{(1 - r_{21} r_{23} e^{i2KL} e^{-\alpha L})} \quad \text{REF<23>} \quad (1.14)$$

Ahora la TRANSMITANCIA de la onda que viene del medio (1) atraviesa el medio (2) y se recibe en (3) es:

$$T_{123} = \left(\frac{n_3}{n_1} \right) |t_{123}|^2 \quad \text{REF<12>} \quad (1.15)$$

Lo cual nos lleva a:

$$T_{123} = \frac{n_3}{n_1} \frac{t_{12}^2 t_{23}^2 e^{-\alpha L}}{(1 - r_{12} r_{23} e^{+2KL} e^{-\alpha L}) (1 - r_{21} r_{23} e^{-12KL} e^{-\alpha L})} \quad (1.16)$$

Entre dos medios (1) y (2) los coeficientes de amplitud a incidencia normal son:

$$t_{12} = \frac{2n_1}{(n_1 + n_2 + ik)} \quad \text{REF<4>} \quad r_{12} = \frac{(n_1 - n_2 - ik)}{(n_2 + n_1 + ik)}$$

Despreciamos el termino $\frac{k}{\omega} = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} < 0.05$ respecto a $\frac{n}{\omega} \approx 2$ -ver grafica experimental k vs λ : APENDICE III (pag 102)

Y, para $n_1=1$ (AIRE), tenemos finalmente:

$$\left. \begin{aligned} t_{12} &= \frac{2}{(n_2 + 1)} & , & & t_{23} &= \frac{2n_2}{(n_2 + n_3)} \\ r_{21} &= \frac{(n_2 - 1)}{(n_2 + 1)} & , & & r_{23} &= \frac{(n_2 - n_3)}{(n_2 + n_3)} \end{aligned} \right\} \text{ECs. (1.17)}$$

ÜÜemp. ecuaciones (1.17) en (1.16) y haciendo:

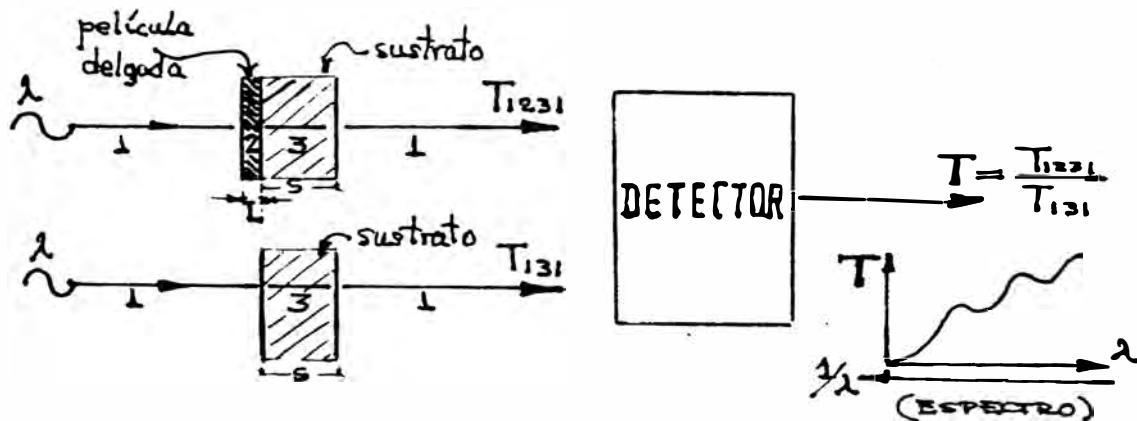
$$\frac{(n_2 - 1)(n_2 - n_3)}{(n_2 + 1)(n_2 + n_3)} e^{-\alpha L} = u \quad (1.18)$$

$$T_{123} = \left(\frac{4n_2}{(n_2 + 1)(n_2 + n_3)} \right)^2 \frac{n_3 e^{-\alpha L}}{(1 - 2u \cos(2KL) + u^2)} \quad \text{REF<19>} \quad (1.19)$$

(TRANSMITANCIA TEORICA)

Esta es la expresi3n de la TRANSMITANCIA de un rayo que viene del medio(1), atravieza el medio(2) y se recibe justo donde empieza el medio(3).

CONSIDEREMOS UN SISTEMA OPTICO.- Se muestra en la Fig. (5)



T_{1231} : Transmitancia de una onda que viene del medio 1 atraviesa medios 2, 3 y se recibe en un medio tipo 1

T_{131} : Transmitancia de una onda que viene del medio 1 atraviesa medio 3 y se recibe en un medio tipo 1

FIG(5).- SISTEMA MEDIDOR DE TRANSMITANCIA (ESPECTROFOTOMETRO) METODO DE COMPARACION.

Se trata de medir por medio de un detector situado a la derecha de la figura (5) la TRANSMITANCIA de una película delgada de espesor "L" (medio 2), índice de refracción "n" la cual está adherida a un sustrato grueso (medio 3) de espesor "S" ($S \gg L$) e índice de refracción n_3 .

Paralelo a esto se encuentra otro sustrato del mismo tamaño que el primero (sin película)

Este detector recibe ambas transmitancias en su entrada, y en la salida presenta el cociente de ambas en un espectro de transmisión, a este cociente le llamaremos la TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL, denotado simplemente por T. Así:

$$T = \frac{T_{1231}}{T_{131}} \quad (1.20)$$

Se desprecian las reflexiones múltiples en el sustrato (en un espectro del sustrato solo se nota una transmitancia casi constante, es decir son despreciables las reflexiones múltiples), para tener:

$$T_{1231} = T_{123} \times T_{31} \quad \text{y} \quad T_{131} = T_{13} \times T_{31} \quad (1.21)$$

Reemp.
 (1.21) en (1.20): $T = \frac{T_{123}}{T_{13}}$ (1.22)

donde: $T_{13} = 4n_3 / (n_3 + 1)^2$ (1.23)

Reemplazando (1.19) y (1.23) en (1.22) (siempre con $n_1=1$):

$$T = \frac{e^{-\alpha L} 4(n_3+1)^2 (n/(n+1)(n+n_3))^2}{(1-2u \cos(2KL) + u^2)} \quad (1.24)$$

(TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL)

Es la ecuación de la TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL (T) que presenta el sistema DETECTOR de la figura(5).

MODULACION DE LA TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL (T).-

En la expresión de la TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL el término que la MODULA es: "COS(2KL)" donde $K=2\pi n/\lambda$. Veamos tres casos de interés:

- 1) TRANSMISION MAXIMA.- T es Max. si $\cos(2KL)=1$
 ----- o sea $2KL=2\pi N$, N: número entero

Luego, ecuación correspondiente a los Máximos:

$$2nL = N \cdot \lambda \quad (1.25)$$

y $T_M = \frac{e^{-\alpha L} 4(n_3+1)^2 (n/(n+1)(n+n_3))^2}{(1-u)^2}$ (1.26)

- 2) TRANSMISION MINIMA.- T es min. si $\cos(2KL)=-1$
 ----- $\Rightarrow 2KL=2\pi(N+1/2)$.

Luego ecuación correspondiente a los mínimos:

$$2nL = (N+1/2) \cdot \lambda \quad (1.27)$$

$$y \quad T_m = \frac{e^{-\alpha L} 4(n_3+1)^2 (n/(n+1)(n+n_3))^2}{(1+u)^2} \quad (1.28)$$

$$\text{recordando que: } u = \frac{(n_2-1)(n_2-n_3)}{(n_2+1)(n_2+n_3)} e^{-\alpha L} \quad (1.29)$$

Identificando parámetros :

- n : Ind. Refracc. del medio (2)
- L : espesor del medio (2)
- α : Coef. de Abs. de medio (2)
- n_3 : Ind. de Refracc. de medio (3)
- λ : longitud de la onda incidente
- N : orden del máximo correspondiente a esa Long. de onda

3) TRANSMISION PROMEDIO.- Es un valor intermedio entre T_m y T_m . Surge el T promedio (que le llamamos T_p) si $\cos(2KL)=0$, en la expresion de T Exp.(1.20):

$$\Rightarrow T_p = \frac{e^{-\alpha L} 4(n_3+1)^2 (n/(n+1)(n+n_3))^2}{(1+u^2)} \quad (1.30)$$

Vista la forma de ecuaciones (1.26), (1.28) y (1.30) para despejar " α " (COEF. de ABS.) debemos tomar el logaritmo neperiano a estas ecuaciones.

El término u -Ec(1.29)- que aparece en las ecuaciones arriba mencionadas puede ser eliminado ya que $u \ll 1$.

La eliminación de u ocasiona el menor error en la Ec(1.30), luego escogemos esta ecuación y le tomamos el logaritmo neperiano:

$$\ln(T_p) = -\alpha L + \ln(2(n_3+1)(n/(n+1)(n+n_3))^2) \quad \text{REF<19> (1.31)}$$

(LOGARITMO DE LA TRANSMITANCIA EXPER. PROMEDIO)

Esta expresión es válida para el caso en que $u^2 \ll 1$, ver Ec(1.29).

1.5 TEORIA DE LA DISPERSION DE LA LUZ EN LA MATERIA

Cuando la luz atraviesa un material semiconductor ve atenuada su velocidad debido a la dispersión de sus fotones incidentes, los cuales son absorbidos por los electrones situados en la banda de valencia y saltan a la banda de conducción.

El campo electromagnético E de la luz, altera la dinámica de estos electrones.

Supongamos un modelo mecánico clásico considerando al electrón como un oscilador armónico de masa "m" y carga "e" que vibra con amortiguamiento dentro de la red.

Ecuación de Mov.: REF<9>

$$e\vec{E} - C\dot{\vec{r}} - k\vec{r} = m\ddot{\vec{r}} \quad (1.32)$$

sea $C = m\gamma$, γ : Cte. de amortiguamiento

y $K = m\omega_0$, ω_0 : frecuencia de un modo de ligadura del electrón.

$$\text{como : } \vec{E} = \vec{E}_0(\vec{r})e^{i\omega t}, \quad (1.33)$$

$$\text{la solución para } r \text{ es: } \vec{r} = \frac{(e/m)}{(\omega_0 - \omega + i\gamma\omega)} \vec{E} \quad (1.34)$$

$$\begin{array}{l} \text{Por} \\ \text{otra} \\ \text{parte} \end{array} : \begin{cases} \vec{D} = \epsilon\vec{E} + \vec{P}, & \text{(i)} \\ \vec{D} = \epsilon\vec{E} \text{ y} & \text{(ii)} \\ \vec{P} = Ne\vec{r}, & \text{(iii) (N: número de electrones} \\ & \text{por unidad de volumen)} \end{cases}$$

$$\text{Reemplazando (1.34) en (iii): } \vec{P} = \left(\frac{Ne^2}{m(\omega_0 - \omega + i\gamma\omega)} \right) \vec{E} \quad (1.35)$$

Reemp. (ii) y (1.35) en la ecuación del vector desplazamiento (i) y utilizando la definición de la Cte. dieléctrica relativa: $\epsilon = \epsilon/\epsilon_0$, tenemos:

$$\epsilon = 1 + \frac{Ne^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{m\epsilon_0[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2]} - i \frac{Ne^2\gamma\omega}{m\epsilon_0[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2]} \quad (1.36)$$

Pero : $\epsilon = n^2 - k^2 + i2nk$

Entonces: $n^2 - k^2 = 1 + \frac{Ne^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{m\epsilon_0[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2]}$ REF<1> (1.37)

y

$$2nk = \frac{Ne^2\gamma\omega}{m\epsilon_0[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2]} \quad \text{REF<1>} \quad (1.38)$$

Para pequeño amortiguamiento $\gamma \approx 0$ y con $k \approx 0$ (ver APENDICE III), reescribimos (1.37) en función de la longitud de onda :

$$n^2 - 0^2 = 1 + \frac{A_0 \lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda_0^2)}, \quad A_0 = \text{Cte.} \quad (1.39)$$

Pero el electrón esta sujeto a las transiciones interbandas que le hacen vibrar en muchos modos $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots$ ó $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots$, etc. entonces aplicando superposición para sumar todas las contribuciones:

$$n^2 = 1 + \sum_J \frac{A_J \lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda_J^2)} \quad (1.40)$$

Para frecuencias de ligadura " ω_J " muy por arriba del rango óptico (es decir $\omega \ll \omega_J$ o sea: $\lambda \gg \lambda_J$), luego $\lambda^2 - \lambda_J^2 \approx \lambda^2$:

entonces: $A_J \lambda^2 / (\lambda^2 - \lambda_J^2) \approx A_J \lambda^2 / \lambda^2 = A_J$

en (1.40): $n^2 = 1 + \sum_J \frac{A_J}{1} + \sum_K \frac{A_K \lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda_K^2)}$ (1.41)

Como el rango óptico es pequeño (rango visible), hacemos:

$$\lambda^2 A_K \approx b_K \approx \text{Cte}(k)$$

entonces : $n^2 - 1 = a + \sum_K \frac{b_K}{(\lambda^2 - \lambda_K^2)}$ REF<3> (1.42)

Para un solo modo de vibración $\lambda_k = c$:

$$\rightarrow \quad n^2 - 1 = a + \frac{b}{(\lambda^2 - c^2)} \quad \text{RE<3>} \quad (1.43)$$

Esta es la ECUACION que representa teoricamente al INDICE DE REFRACCION que obtendremos en forma experimental en el presente trabajo.

C A P I T U L O I I

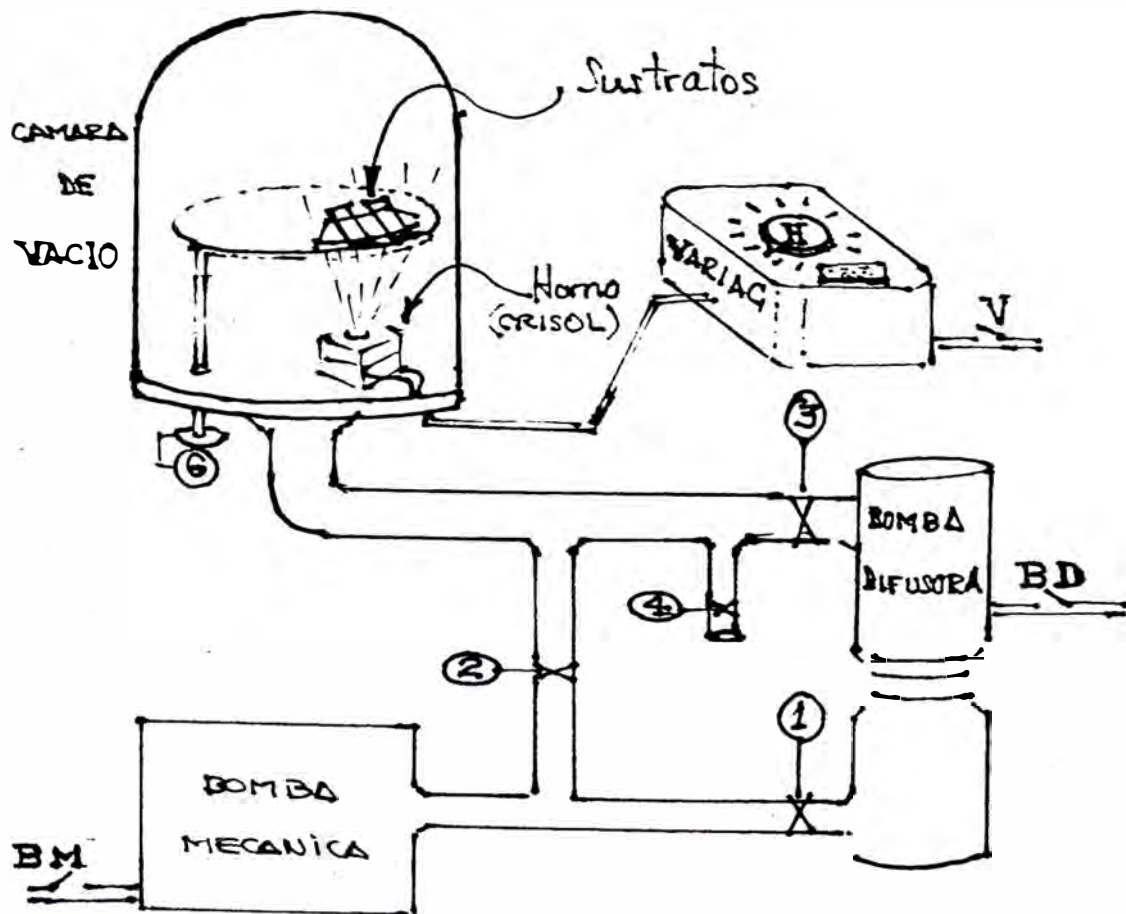
P A R T E E X P E R I M E N T A L

- 2.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE VACIO-----18
- Esquema General del equipo
- Detalles técnicos de los componentes y sus funciones
- 2.2 PROCESO DE OBTENCION DE LAS PELICULAS DELGADAS DE CdS---22
- 1.-LIMPIEZA GRAL.- De contactos selladores- de elementos oxidantes- impurezas
- 2.-COLOCACION DEL CRISOL (conteniendo CdS en polvo) dentro del horno
- 3.-PESADA DE LOS SUSTRATOS completamente limpios y colocación en el portamuestras
- 4.-INICIO DEL VACIO
- .Bajo vacío
- .Alto vacío
- 5.-CALENTAMIENTO DEL CdS
- 6.-DEPOSICION DEL CdS SOBRE LOS SUSTRATOS
- .Inicio de la deposición
- .Final de la deposición
- 7.-SALIDA DE LOS SUSTRATOS CON LA PELICULA depositada
- .Rompimiento del vacío
- .Estimación del espesor L de la película obtenida, por el método de la Dif. de pesos.
- 2.3 OBTENCION DEL ESPECTRO DE TRANSMISION OPTICA-----26

2.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE VACIO.-

El LABORATORIO FOTOVOLTAICO de la Facultad de Ciencias de la UNI cuenta con un equipo de alto vacio "Veeco VS-9" (10^{-4} torr), donde se obtienen peliculas delgadas y celdas fotovoltaicas por el método de EVAPORACION.

ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO.-Se muestra en la figura el esquema del equipo donde se elaboran las peliculas:



FIG(6).- EQUIPO DE ELABORACION DE PELICULAS Y CELDAS FOTOVOLTAICAS. METODO DE EVAPORACION AL VACIO.

Consta esencialmente de una BOMBA MECANICA, una BOMBA DIFUSORA los cuales comunican a un recinto cerrado por una tapa de vidrio grueso al cual llamaremos CAMARA, donde se encuentra el HORNO alimentado desde fuera por un VARIAC.

NOMENCLATURA IDENTIFICATORIA DE INTERRUPTORES Y LLAVES.-

ver FIG(6)

BM : interruptor de operación bomba Mecánica.

BD : " " " " Difusora.

V : " " alimentación del Variac.

H : " " " " Horno.

① : llave que comunica BM con BD.

② : " " " BM " C.

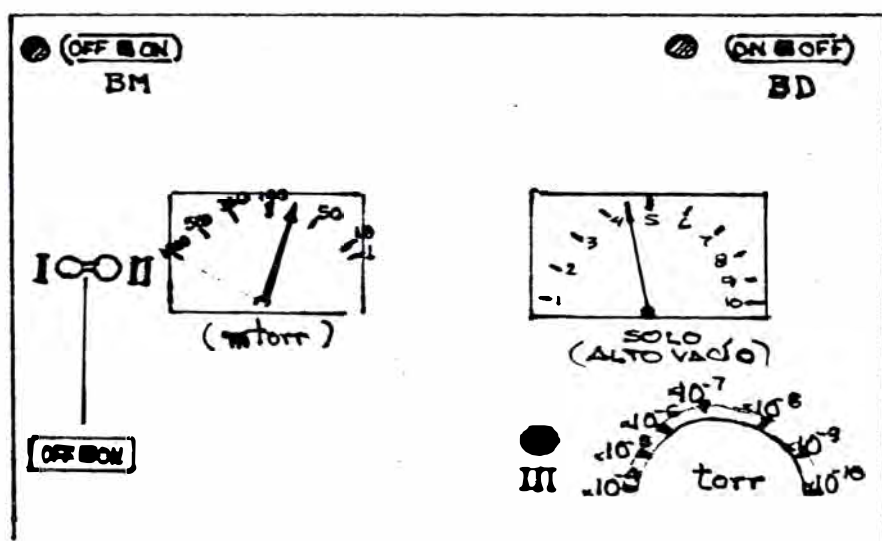
③ : " " " BD " C.

④ : " " " C " el medio ambiente.

⑤ : " " cierra o abre la ventana entre el crisol y los sustratos.

IDENTIFICACION DE LOS MEDIDORES DE PRESION.-

Se encuentran en la parte frontal del equipo (fig-6), como se muestra:



FIG(7).- ESCALAS MEDIDORAS DE PRESION (PARTE FRONTAL DEL EQUIPO DE VACIO)

- MEDIDOR I : (termocupla) nos da la lectura de la presión en la garganta de entrada a la cámara de vacío
- MEDIDOR II : (termocupla) nos da la lectura de la presión en la garganta que une la BM con la BD (parte baja) Ver FIG(6).
- MEDIDOR III : (válvula de ionización) este medidor presenta 6 escalas de lectura de presión dentro de la CAMARA desde 10^{-4} hasta 10^{-10} torr. Se utiliza UNICAMENTE para leer ALTO VACÍO, esto se sabe cuando escala de medidor II resulta muy tosco para medir presiones bajas, menores que 10^{-4} torr.

DETALLES TECNICOS DE LOS COMPONENTES Y SUS FUNCIONES:

- . BOMBA MECANICA (BM) .-Es de VACUUM PRODUCTS DIVISION,
----- ---- SARGENT-WELCH SCIENTIFIC COMPANY
MODELO : 1402

POTENCIA DE MOTOR = 1/2 HP, con un voltaje de 110 AC

Capacidad de bombeo = 140 lts/min

Se utiliza para extraer el aire de la cámara en lo que llamamos el primer vacío (BAJO VACIO) para luego permitir la acción de la bomba difusora.

Su acción sobre la cámara permite llegar hasta 40-60 militorr.

Sobre la BD logra vacíos de menos de un militorr (esta parte es el llamado PRE-VACIO).

- . BOMBA DIFUSORA (BD) .-ES de VACUUM ELECTRONICS PROD.
----- ---- ^{Veeco}
modelo: EP 2A-1

POTENCIA DE CALENTAMIENTO = 90 watt, con un voltaje de 110AC

Capacidad de bombeo = 5400 lts/min = 90 lts/seg

Se utiliza para lograr un vacío mas óptimo (menor que 10⁻⁴ torr), el llamado ALTO VACIO. Su acción empieza cuando se ha logrado el PRE-VACIO dentro de ella debido a la BM.

- . VARIAC (V) .-Es un VARIAC GENERAL RADIO COMPANY,
----- ---- tipo: W 30HM, 240V, (50-60 cps),

salida: (0-280V), I= 12 A.

es un regulador de tensión.

- . TRANSFORMADOR (T) .-ACME-USA ELECTRONIC COORP. K. V.
----- ---- (50-60 cps) ELEVADOR DE CORRIENTE,
reducidor de voltaje 140-4 V.

- . CAMARA (C) .-Consta de un recinto cerrado por una campana
----- ---- de vidrio grueso, la cual se sella a un plato
de acero.

Dentro de la cámara se encuentran:

el HORNO alimentado por el variac,
el CRISOL colocado dentro del horno,
el portasustratos, encima del horno.

2.2 PROCESO DE OBTENCION DE LAS PELICULAS DELGADAS DE CdS

- 1).- LIMPIEZA GENERAL.-El trabajar con vacío y altas corrientes (~100A) requiere de un cuidado especial.

En primer lugar se debe limpiar todo lo que sea óxido en los componentes metálicos situados dentro de la cámara, como: contactos, tornillos, conductores, etc. Esto se consigue lijando las partes oxidadas, evitando después tocarlos directamente con las manos.

Las empaquetaduras y contactos de jebes deben estar en buen estado para garantizar el sellamiento de la cámara.

En Gral. se saca o cambia todo lo que contribuya a malograr el vacío.

2.-COLOCACION DEL CRISOL DENTRO DEL HORNO.-

La muestra de CdS en polvo se coloca dentro del crisol (grafito) utilizando una espátula o cuchara evitando tocar con las manos por ser sustancia cancerígena, aparte de malograr la pureza de la muestra.

El crisol es tapado y se deja una pequeña abertura en la tapa, luego se coloca dentro del horno con la abertura hacia arriba.

3.-PESADA DE LOS SUSTRATOS COMPLETAMENTE LIMPIOS.-

Estos deben limpiarse con algodón suave untado con alcohol o benceno, agarrándolos con pinzas.

A continuación y justo antes de colocarse dentro de la cámara se pesa cada sustrato (esto sirve para que pesando nuevamente ya con la película adherida se pueda saber la cantidad de muestra de CdS depositada en el sustrato: método de la diferencia de pesos).

Sabiendo el peso de sustrato solo, se coloca en el portamuestras, en forma horizontal directamente sobre la abertura del crisol y Aprox. a 15 cm de altura, ver FIG(6).

4.-PROCESO DEL VACIO.- Al principio todas las llaves ①, ②, ③, ④ y ⑤ están cerradas.

A continuación este proceso en etapas:

.BAJO VACIO.- Se conecta la BOMBA MECANICA (BM) y simultaneamente se abre llave ②. Esta acción inicia el vacío en la campana.

Después de algunos minutos (5') se puede abrir llave ① para hacer simultaneamente el PRE-VACIO en la BD.

Luego se debe esperar que el vacío en la cámara este alrededor de 60 miliTorr (medidor II) para cerrar llave ② y dejar que la BM actúe solo sobre la BD (llave ① abierta).

Esta etapa que dura una(1) hora Aprox. en regulares condiciones culmina cuando el medidor II (campana) marca entre 60 o 50 miliTorr y además la presión en la BD (medidor I) este por los 10^{-4} mmHg o menos en ambos casos para mayor garantía

Parámetros finales de etapa:

- *llave ① abierta; las demás cerradas
- *medidor I: menor igual 10^{-4} Torr
- *medidor II: menor igual 60×10^{-3} Torr
- *medidor III: aun sin uso

.ALTO VACIO.- La etapa anterior nos ha dejado la presión dentro de la campana alrededor de 50-60 miliTorr y en la difusora debajo de 1 miliTorr con únicamente la llave ① abierta

Cuando se asegura que este vacío se mantiene, se CONECTA la BOMBA DIFUSORA (interruptor BD) y en seguida se abre llave ③ que conecta esta BD con la CAMARA

A esta altura se debe recordar que llaves ① y ③ están abiertas (por ende ②, ④ y ⑤ cerradas) y con la BD actuando directamente sobre la cámara.

Esta disposición se mantendrá alrededor de 40' mas o menos según se llegue pronto al vacío del orden de 10^{-4} Torr que será leído usando por primera vez el medidor III. ADVERTENCIA : PARA USAR ESTE MEDIDOR (IONITATION GAUGE) SE DEBE ASEGURAR QUE EFECTIVAMENTE SE TIENE EL VACIO ADECUADO: $< 10^{-3}$ Torr

La etapa culmina cuando el medidor III marque entre $1-4 \times 10^{-4}$ Torr.

Parámetros finales de etapa:

- *llaves ① y ③ abiertas; las demas cerradas
- *medidor I :menor que 60×10^{-3} Torr
- *medidor II:menor que 10^{-3} Torr
- *medidor III: $1-4 \times 10^{-4}$ Torr

5.-CALENTAMIENTO DEL CdS (DEGASIFICACION).-

Primeramente verificar que la ventana entre crisol y sustrato debe estar cerrada (FIG 2), y que la presión en la cámara deba estar entre $1-4 \times 10^{-4}$ Torr

A continuación se opera el interruptor de alimentación al VARIAC, luego se empieza a subir el cursor hasta 25, esto al principio representa una corriente de 50 Amp pero bajará rápidamente debido al calentamiento de la resistencia del horno

Este calentamiento sirve en principio para DEGASIFICAR, es decir evapora la humedad contenida en el horno y en el CdS (por su contacto al inicio con el medio ambiente). La aparición de estos gases aumentará la presión (malogrará el vacío) en la cámara pero simultáneamente la BD se encargará de expulsarlo en forma lenta. Es por esto que el cursor del VARIAC se gira lentamente y debe detenerse cuando la presión supere los 4×10^{-4} Torr.

Se sigue hasta llegar a 90 en el variac, donde empieza la sublimación del CdS, evitando perder el vacío mencionado

Parámetros finales de etapa:

- *llaves ① y ③ abiertas las demas cerradas
- *medidor I: menor que 60×10^{-3} Torr
- *medidor II: menor que 10^{-3} Torr
- *medidor III: $1-3 \times 10^{-4}$ Torr
- *variatic : 90-100 ($\sim 1,000^{\circ}\text{C}$)

6.-DEPOSICION DEL CdS SOBRE LOS SUSTRATOS.-

Se inicia la deposición cuando el medidor III marque menor igual que $1-2 \times 10^{-4}$ Torr

Para permitir que los gases de CdS se depositen sobre los sustratos se abre la ventana con llave ⑥ y se coloca un cronometro en $t=0$, para medir el tiempo de deposición.

Según el espesor de película requerido se cierra la ventana para finalizar la deposición.

Termina la deposición en el momento de cerrar la ventana, se corta la alimentación al horno bajando el cursor del variac hasta cero.

7.-SALIDA DE LOS SUSTRATOS CON LA PELICULA DEPOSITADA.-

Rompimiento del vacío.-Con el variac apagado (NOTA: TODO LO DEMAS SIGUE FUNCIONANDO).

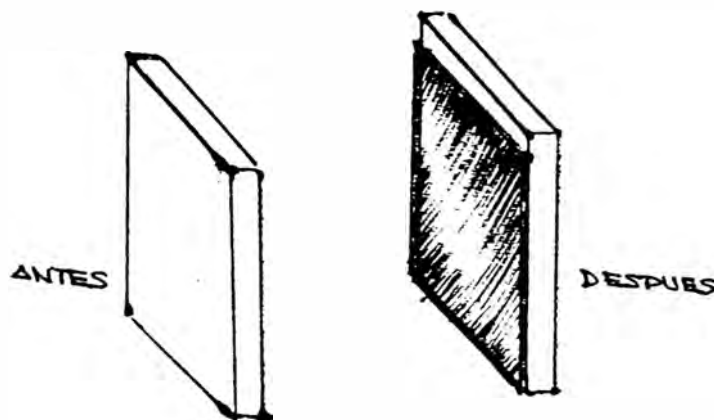
Se corta la acción de la bomba difusora cerrando llave 3 y luego con el interruptor BD se lleva a OFF

A continuación se espera Aprox. 15' para permitir el enfriamiento del aceite dentro de la difusora. Pasado esto se cierra llave 1 para culminar la etapa apagando también la bomba mecánica con interruptor BM

El vacío se rompe rápidamente cuando abrimos llave 4 que comunica la cámara con el exterior. Es recomendable hacer esto último en no menos de 10".

ESTIMACION DEL ESPESOR DE PELICULA DELGADA (Método: Dif. de pesos)

La Sgte. figura muestra los estados antes y después de la deposición:



FIG(8).- SUSTRATO ANTES Y DESPUES DE LA DEPOSICION DE LA PELICULA DELGADA DE CdS

Se utiliza la densidad del CdS y la suposición que la película tiene un espesor uniforme

sea : m_0 : masa inicial del sustrato,
 m_f : masa final del sustrato (con la película)

D : densidad del CdS
 A : area de la película
 L : ESPESOR de la película

como : $D = M/V$

Despejando L : $L = \frac{M}{D \times A}$ ($D_{CdS} = 4.82 \frac{g}{cc}$ REF<*>) (2.1)

donde : $M = m_f - m_0$,

m_0 y m_f se midieron con una balanza METLER, TYPE H15 con sensibilidad de décimos de miligramos ($10^{-4}gr$).

(*) HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS, 62 Ed. CRC PRESS

2.3 OBTENCION DEL ESPECTRO DE TRANSMISION OPTICA.-

La(s) película(s) lista(s) lo llevamos al ESPECTROMETRO IR-vis "SPECORD" ubicado en el laboratorio de Ing. Química, para obtener la TRANSMITANCIA vs FRECUENCIA (cm^{-1}) de la luz incidente. Este espectrometro utiliza el metodo de comparación explicado en CAP I, pag 11, EC(1.20).

Una vez obtenidos los espectros culmina así la parte experimental.

C A P I T U L O I I I

R E S U L T A D O S E X P E R I M E N T A L E S

- 3.1 PELICULAS OBTENIDAS POR EL EQUIPO DE EVAPORACION AL
VACIO-----28
- 3.2 ESPECTROS DE TRANSMISION OBTENIDOS POR SPECTROMETER
SPECORD- Un espectro de transmisión-----29

3.1 PELICULAS OBTENIDAS POR EL EQUIPO DE EVAPORACION AL VACIO

Para tener una idea de la facilidad de obtención de las películas, en cada operación de evaporación se pueden obtener varias películas a la vez y el proceso total en buenas condiciones dura alrededor de 5 horas.

Fabricamos en total cerca de un centenar de PELICULAS DELGADAS de sulfuro de cadmio, con espesores del orden de micrómetros.

Se presenta una tabla con datos de 50 películas de las obtenidas, en APENDICE I, TABLA 1. A cada película se le dio un nombre específico y están colocadas en orden cronológico de elaboración (por fecha).

3.2 ESPECTROS DE TRANSMITANCIA -ESPECTROMETRO SPECORD-

Se sacó 40 ESPECTROS DE TRANSMITANCIA de las mejores 40 películas.

Este espectrofotómetro se basa en el SISTEMA OPTICO explicado en CAP I, pag 11 .

Los espectros nos dan como información la TRANSMITANCIA T(%) vs la FRECUENCIA(cm^{-1}) y se presenta una muestra en la Sgte. pagina, de una película a la cual denominamos "5-1", en el se indica:

- 1.-el nombre de la película
- 2.-la fecha de obtención
- 3.-el tiempo, la Temp. y la presión de evaporación,
- 4.-el ESPESOR FINAL DE PELICULA(calculado esto segun el método de los ordenes, que se vera en el Sgte. capitulo).
- 5.-el GAP energético.

FIG (9)

ESPECTRO DE TRANSMISION - CdS

Nombre de la muestra: « 5-r »

ESPEZOR DE PELÍCULA: $L = 1.12 \mu\text{m}$

GAP: $E_g = 2.43 \text{ eV}$

TRANSMITANCIA
EXPERIMENTAL

T %

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

20,000

19,000

18,000

17,000

16,000

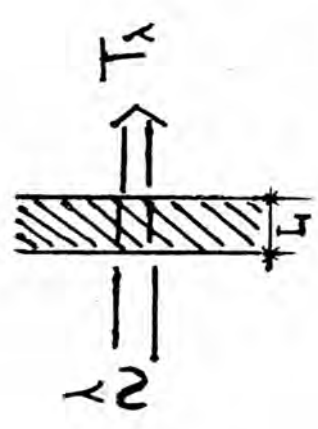
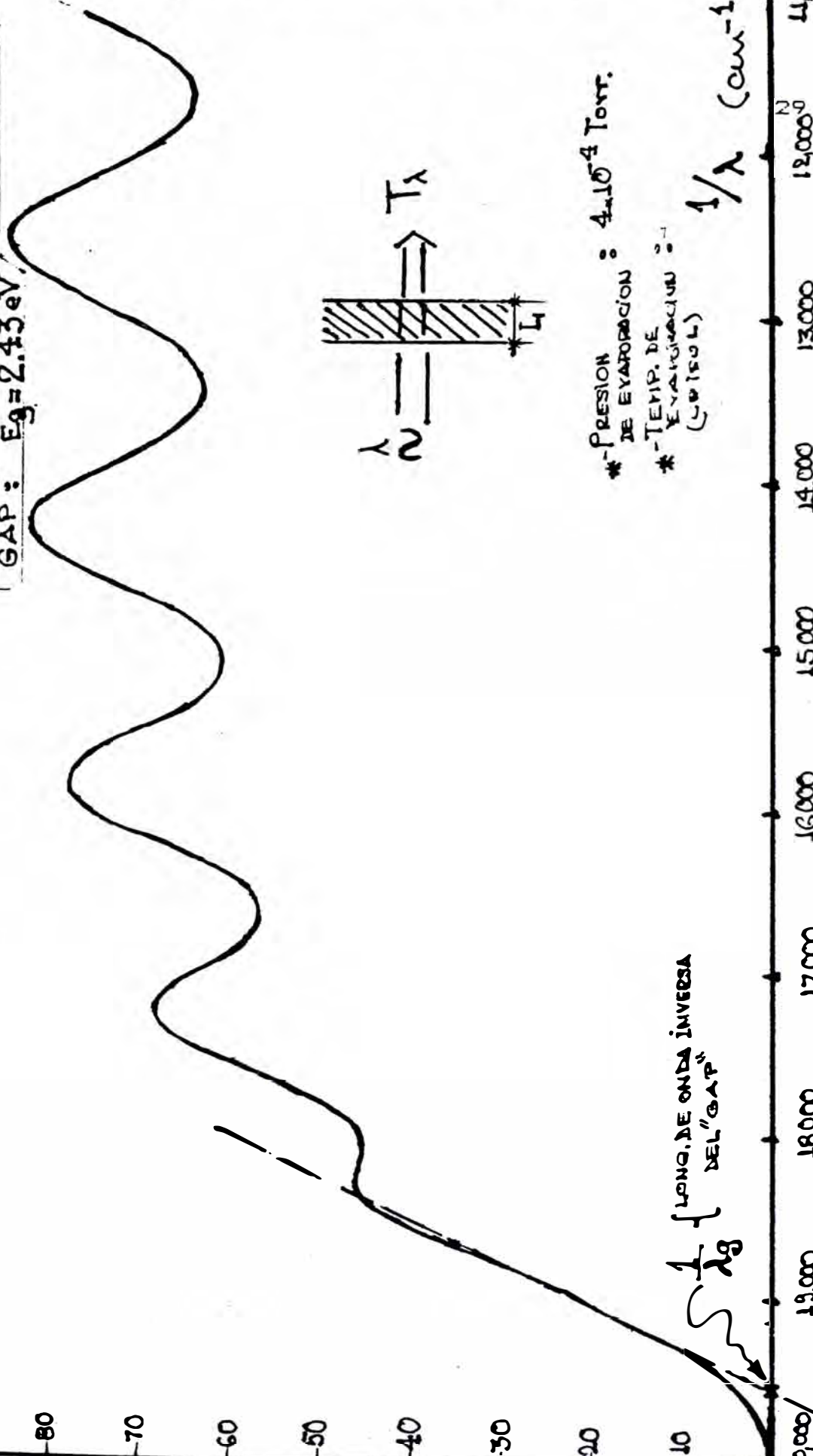
15,000

14,000

13,000

12,000

11,000



* PRESION: $4 \cdot 10^{-4}$ Torr.

* TEMP. DE EVAPORACION: 27°C (273.15 K)

$1/\lambda \text{ (cm}^{-1}\text{)}$

$\frac{1}{\lambda_g}$ LONG. DE ONDA INVERSA DEL "GAP"

C A P I T U L O I V

A N A L I S I S D E L O S R E S U L T A D O S

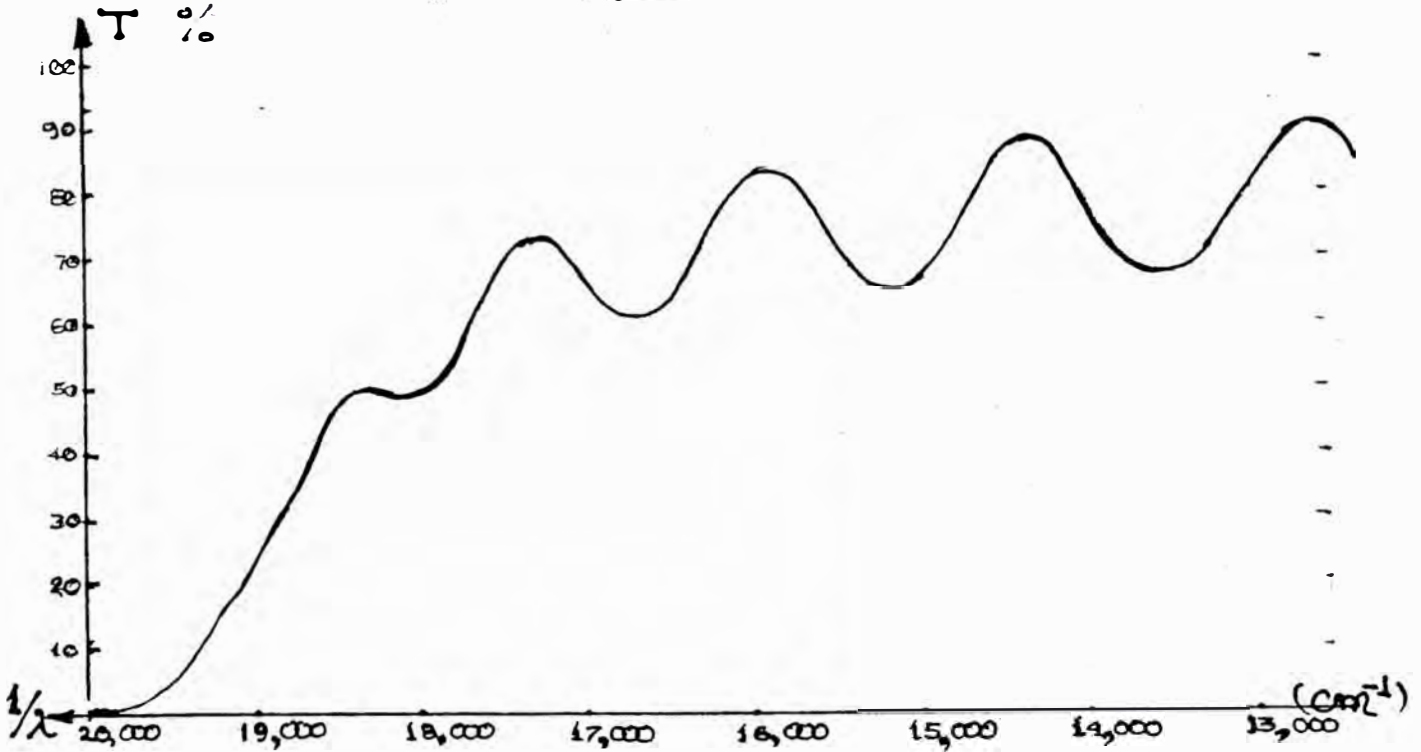
E X P E R I M E N T A L E S

- 4.1 DETERMINACION DE PARAMETROS EN EL ESPECTRO-----31
- .UN ESPECTRO DE TRANSMISION
 - Identificación de la longitud de onda
 - Verdadero valor de la TRANSMITANCIA
 - .DETERMINACION DEL ORDEN N DE CADA MAXIMO DE INTERFERENCIA
 - .COMPROBACION DE LA CORRECTA ELECCION DEL VALOR DE N
- 4.2 DETERMINACION DEL ESPESOR DE PELICULA A PARTIR DEL ESPECTRO-----34
- RESULTADOS: tabla 4.4 ESPESOR DE PELICULA
- 4.3 DETERMINACION DEL ANCHO DE BANDA PROHIBIDA
- GRAFICA "GAP" vs ESPESOR de película delgada.
- 4.4 CALCULO DEL INDICE DE REFRACCION n -----41
- .Ecuación de partida que nos da valores discretos de n
 - .Determinación de una ECUACION para la mejor curva n vs trazada sobre los valores discretos de n
 - Planteamiento de la ecuacion
 - ECUACION FINAL " n vs λ "(representativo de todos los espectros)
 - .GRAFICA FINAL n vs λ "
- 4.5 CALCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCION-----48
- Identificación de la TRANSMITANCIA para cada longitud de onda
 - .GRAFICA FINAL : "Coef. de Abs. vs λ "para bloques I y II

4.1 DETERMINACION DE PARAMETROS EN EL ESPECTRO.-

La información que nos da el espectrómetro es la TRANSMITANCIA EXPERIMENTAL de la onda a través de la película en función de la inversa de la longitud de onda:

" T vs $1/\lambda$ "



FIG(10).- ESPECTRO DE TRANSMISION DE UNA PELICULA DELGADA DE CdS, SE MUESTRAN LAS MODULACIONES ESPECTRALES DEBIDO A LAS INTERFERENCIAS EN LA PELICULA

T viene expresado analíticamente según ecuación (1.24)

Como $0 < T < 1$, para tener el valor correcto de T basta dividir por 100 los valores que aparecen en el eje vertical del espectro.

Se notan las modulaciones espectrales (máximos y mínimos) debido a las interferencias plano paralelas en la película.

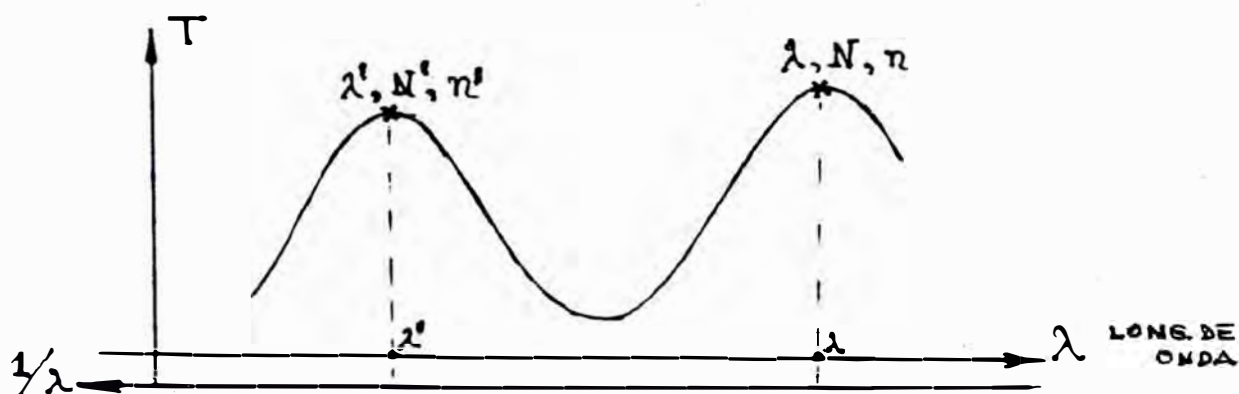
Llamemos F a la lectura directa en el eje horizontal del espectro (luego F está en cm^{-1}). La longitud de onda en función de esta frecuencia F viene dado de la siguiente manera:

$$\lambda (\mu\text{m}) = \frac{10^4}{F (\text{cm}^{-1})} \quad \text{y} \quad d\lambda = \frac{2 \times 10^5}{F^2} \quad (4.1)$$

DETERMINACION DEL ORDEN N DE CADA MAXIMO DE INTERFERENCIA

Empecemos analizando un espectro: En zonas de alta transmitancia el índice de refracción es constante hasta la primera cifra decimal REF<2>(lo cual fue verificado con nuestros resultados).

En esta zona tomamos los primeros maximos consecutivos, situados al extremo derecho del espectro, entre 11,000 y 14,000 cm^{-1} (ver figura 10) y como se muestra esa porcion del espectro de la Sgte. figura:



FIG(11).- MAXIMOS CONSECUTIVOS EN ZONA DE ALTA TRANSMITANCIA. IDENTIFICANDO: λ , N y n RESPECTIVO A C/U(pico)

En esta zona hemos afirmado que $n' \approx n \Rightarrow 2n'L \approx 2nL$

Pero la ecuación de los máximos-(1.25), dice:

que : $2nL = N\lambda$,

entonces:

$$\boxed{N' \times \lambda' \approx N \times \lambda}, \quad N' = N + 1$$

donde: N y λ corresponden al pico de la derecha,

N' y λ' corresponden al pico Sgte. de la Izq.

Esta "casi" igualdad: $N' \times \lambda' \approx N \times \lambda$, permite estimar el valor del orden N del pico de la derecha (N debe ser un número entero por ser un máximo de interferencia).

El segundo pico sera de orden N+1,

el tercer pico de orden N+2,

y asi sucesivamente hasta el ultimo maximo apreciable del espectro en estudio.

También se le puede identificar a cada mínimo con su respectivo orden que será de la forma "N+1/2", según ecuación (1.27), el Sgte. mínimo tendrá un orden "N+1/2+1", y así sucesivamente con todos los mínimos del espectro.

Pero estrictamente $n' > n$

luego : $(N+1) \times \lambda' > (N) \times \lambda$,

lo cual nos da varias posibilidades para el valor de N. Se debe agregar que el orden N de un pico determinado es un solo y único valor al cual debemos determinar exactamente. Una vez encontrado el orden N, debemos verificar si es el correcto.

COMPARACION DE LA CORRECTA ELECCION DEL VALOR DE N.- El método para saber que solución para N debemos escoger es la siguiente:

Definimos el concepto de INDICE DE REFRACCION RELATIVO denotado n^*_o que matemáticamente es el cociente entre 2 absolutos, así:

$$n^*_o = \frac{n}{n_o} = \frac{N \times \lambda}{N_o \times \lambda_o} \quad (4.2)$$

donde: $\begin{cases} n \text{ y } N \text{ correspondien a la Long. de onda } \lambda \\ n_o \text{ y } N_o \text{ corresponden a la Long. de onda } \lambda_o \end{cases}$

Según ecuación (4.2) este índice de refracción relativo no depende del espesor L.

Luego una gráfica de n/n_o vs λ' , (para un cierto λ_o constante) debe ser la misma curva para todos los espectros, así fue realmente.

Entonces los valores de N de cada espectro quedan fijados al ajustar su gráfica n/n_o vs λ' respectiva, a la gráfica general de todos los espectros.

Los valores obtenidos para los órdenes se dan en APENDICE I, TABLAS 2, 3 y 4; además la gráfica n^*_o vs λ' (pag 62).

4.2 CALCULO DEL ESPESOR DE PELICULA A PARTIR DEL ESPECTRO.-

Usamos la ecuación de los máximos (1.25) y despejamos "L":

$$L = \frac{N \times \lambda}{2 \times n} \quad (4.3)$$

Para calcular L solo nos basta conocer por lo menos un valor del índice de refracción n, correspondiente a un λ respectivo. Es que conocemos por sección anterior el orden N y la longitud de onda λ en cualquier punto del espectro.

El cálculo de L para todas las películas se realizó para:

$$\lambda_0 = 0.615 \mu\text{m}, \text{ en el cual: } n_0 = 2.475 \pm 0.06$$

Este valor discreto del índice de refracción a esta longitud de onda se logró con un LASER DE COLORANTE (RHODAMINA) REF. revista TECNIA V 3, N° 1; determinado por el Dr. A. Valera en el transcurso de una práctica experimental del curso de Óptica, utilizando el método de Brewster.

Reemp. en ecuación (4.3):

$$L = \frac{N_0 \times 0.615}{4.95} \mu\text{m} \quad (4.4)$$

y el error :

$$dL = \left(\frac{dN}{N} + \frac{dF}{F} + \frac{dn}{n} \right), \quad (\lambda = 1/F)$$

para: $\begin{cases} dn = 0.06, & n = 2.475 \\ dF = 20 \text{cm}^{-1} & F = 16,260 \text{cm}^{-1}, \end{cases}$

entonces : $dL = L(dN/N + 0.0255)$

Del análisis de error del ORDEN N:

para muestras DELGADAS : $dN/N \approx 0.0011 \Rightarrow dL \approx L(0.0266)$

para muestras GRUEZAS : $dN/N \approx 0.0008 \Rightarrow dL \approx L(0.0263)$

La tabla-E- mostrada a continuación presenta el orden N_0 (extraída de APENDICE II, Tabla 2: cuarta columna) y el ESPESOR FINAL de 20 de las mejores películas calculadas con ecuación (4.4) y la correspondiente incertidumbre.

TABLA E
(ESPESOR DE PELICULA-Resultado final)
SEGUN EC. (4.4)

MUESTRA (nombre)	ORDEN (N_0)	ESPESOR (L en μm)
1a-n	4.926	0.612 \pm .016
1a-r	5.381	0.669 \pm .018
4a-r	8.943	1.111 \pm .030
5-r	9.031	1.122 \pm .030
5-n	9.077	1.128 \pm .030
4a-n	9.195	1.142 \pm .031
1-A	10.250	1.273 \pm .034
2-r	12.059	1.498 \pm .040
4b-r	12.079	1.501 \pm .040
4b-n	12.395	1.540 \pm .041
2-n	13.387	1.663 \pm .044
2-A	18.184	2.259 \pm .060
3-r	26.194	3.254 \pm .086
3-n	26.833	3.334 \pm .088
1b-n	27.560	3.424 \pm .090
1b-r	28.955	3.597 \pm .095
4-A	30.561	3.797 \pm .100
4-B	30.583	3.800 \pm .100
3-B	41.116	5.108 \pm .133
3-A	41.542	5.161 \pm .133

NOTA: la segunda columna da el orden de cada uno de los espectros para $\lambda_0=0.615\mu\text{m}$

4.3 DETERMINACION DEL "GAP".-

Calculamos el GAP a partir de dos métodos, considerando solo aproximado al primer método.

METODO 1.-Viendo el espectro de transmisión de la luz en el rango visible el comportamiento del CdS es típicamente semiconductor, es decir a partir de cierta longitud de onda se vuelve transparente como muestra un espectro de TRANSMITANCIA(ver FIG-9), pag 29.

Dice la ley de :
Planck

$$E_0 = \frac{1.2399}{\lambda_0}$$

La siguiente tabla presenta el "GAP" calculado para 20 películas tomando el intercepto de la tangente a la curva "T vs $1/\lambda$ " cerca del canto de absorcion(POR DEBAJO DE LA BANDA)

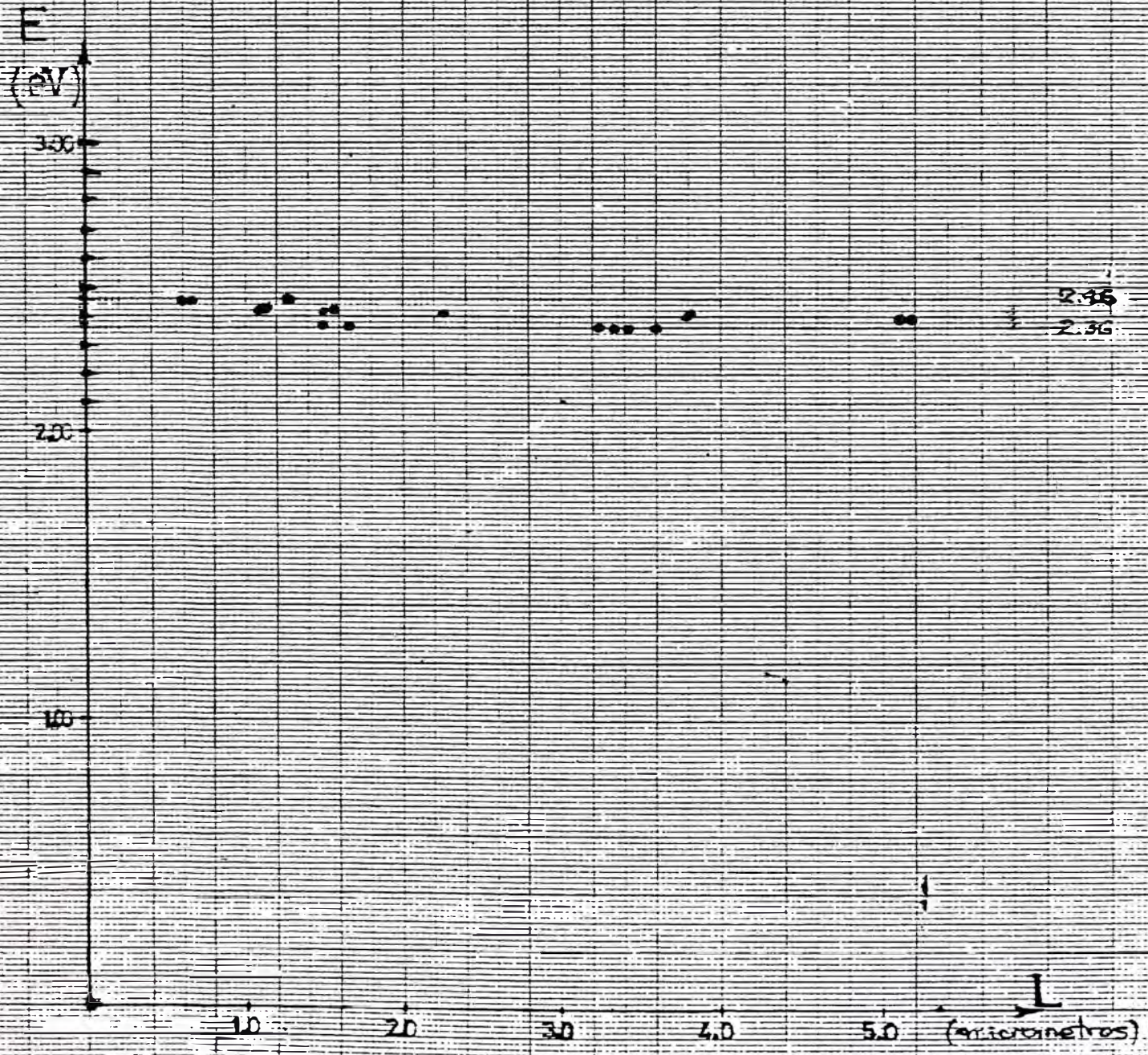
ESPESOR L (μm)	GAP Eg (eV)
1)-0.61	2.45
2)-0.67	2.45
3)-1.11	2.42
4)-1.12	2.43
5)-1.13	2.42
6)-1.14	2.42
7)-1.27	2.46
8)-1.50	2.37
9)-1.50	2.42
10)-1.54	2.42

ESPESOR L (μm)	GAP Eg (eV)
11)-1.66	2.36
12)-2.26	2.41
13)-3.25	2.36
14)-3.33	2.36
15)-3.42	2.36
16)-3.60	2.36
17)-3.80	2.41
18)-3.80	2.40
19)-5.11	2.39
20)-5.16	2.39

Si tomamos un GAP promedio:

$$E_g = 2.40 \text{ eV}$$

ANCHO DE BANDA PROHIBIDA ESPESOR DE PELICULA



METODO 2.-Cerca del canto de absorción (por ARRIBA de la ----- BANDA) se cumple que la relación entre el coeficiente de absorción α y la energía E (del fotón) es de la forma:

$$\alpha(E) = A(E - E_g)^\delta, \quad \text{con: } \delta = 2, 3/2.$$

REF < 1 >

Luego graficaremos:

$$\alpha(E)^{1/2} \text{ vs } E \quad (4.6)$$

y

$$\alpha(E)^{2/3} \text{ vs } E \quad (4.7)$$

Las dos gráficas se muestran en las páginas siguientes.

La ecuación (4.6) como recta es válida en la (primera) gráfica para los puntos que se encuentren alineados. Es decir la ecuación (4.6) termina donde empieza a "doblar" la recta, esto ocurre precisamente en el borde de la banda, la recta formada confirma la validez de la ecuación: (4.6).

A partir de ese último punto se traza una perpendicular al eje de la energía y el punto de corte representa el GAP:

Resultado:

$$\underline{E_g = 2.38 \text{ eV}}$$

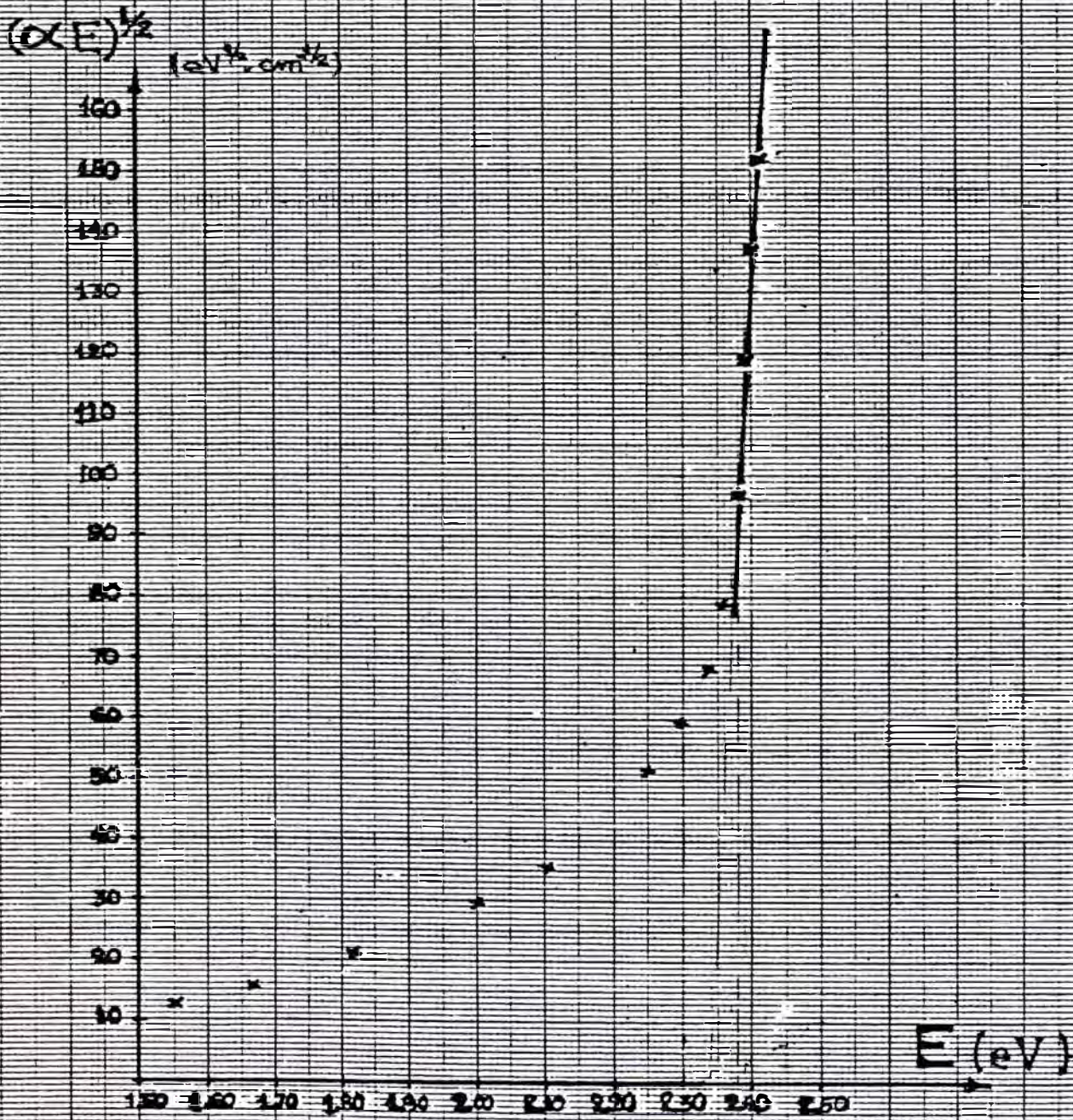
Similarmente hacemos el mismo análisis para la recta (segundo gráfico) de la ecuación (4.7)

Resultado:

$$\underline{E_g = 2.38 \text{ eV}}$$

GRAFICO: $(\alpha E)^{1/2}$ VS E

α : COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (cm⁻¹)
E (eV): ENERGÍA DEL FOTÓN (eV)

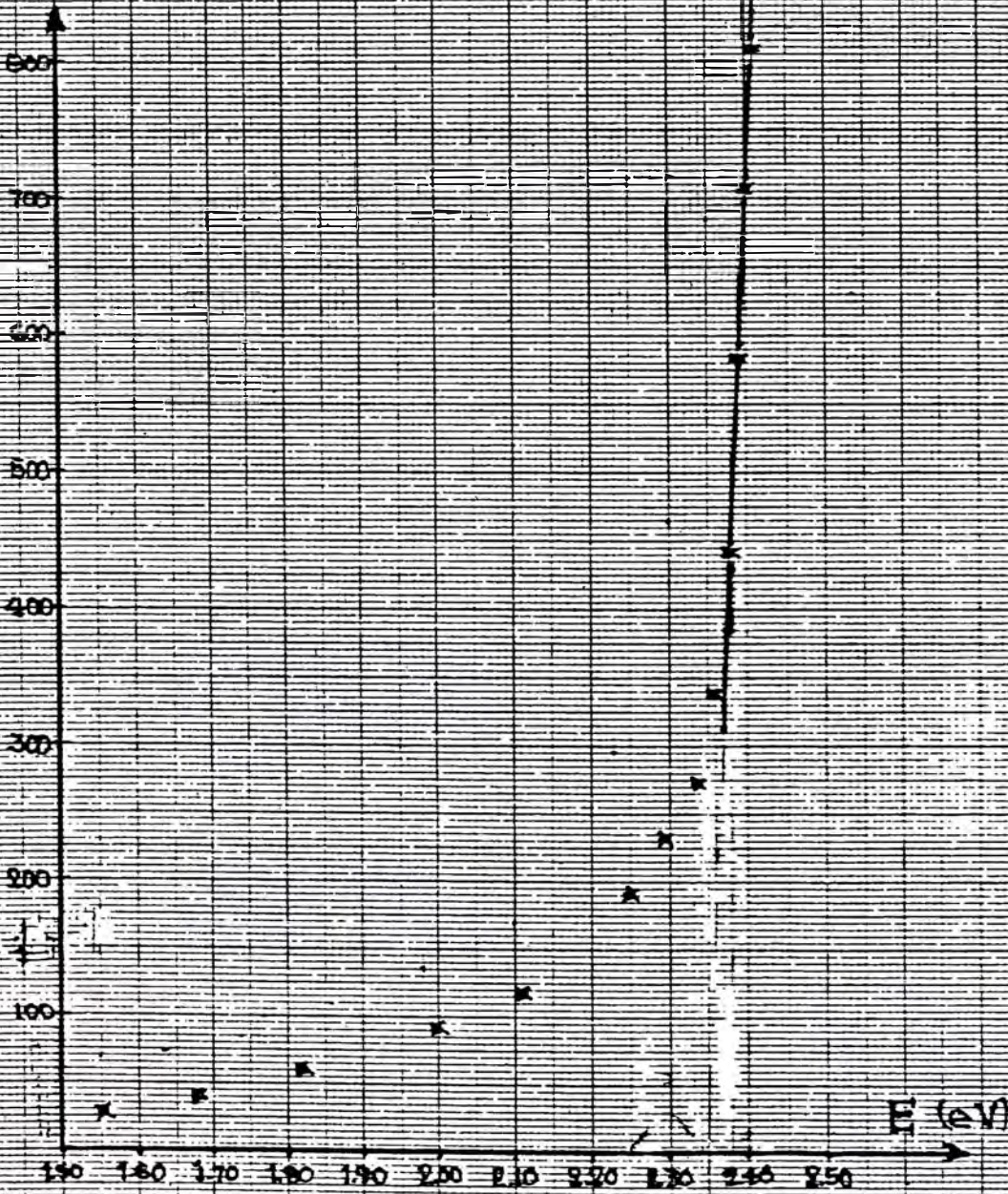


GRAFICA:

$(\alpha E)^{2/3}$ vs E

α COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (cm⁻¹)
 E ENERGÍA DEL FOTÓN (eV)

$(\alpha E)^{2/3}$ (eV^{2/3} cm^{-2/3})



4.4 CALCULO DEL INDICE DE REFRACCION "n".-

Los valores del índice de refracción lo calculamos a partir de la ecuación de los MAXIMOS (Ec. 1.25):

$$n = \frac{N \times \lambda}{2 \times L} \quad (1.25)$$

Esta ecuación nos permite calcular valores discretos de n para longitudes de onda correspondientes a los máximos de interferencia del espectro.

De la ecuación (1.25) conocemos:

N: el orden de c/u de los picos (tabla 3, APENDICE 1)

λ : la Long. de Onda correspondiente a c/pico (del espectro) y

L: el espesor (tabla-E-, pag.35)

En el APENDICE II se presentan estas 20 tablas del índice de refracción n vs λ , de los 20 espectros analizados.

Además se muestran las 20 gráficas n vs λ

Las gráficas obtenidas n vs λ de los espectros son típicas curvas de dispersión y pueden conjugarse en una sola curva común para todas las películas, es decir se les puede acoplar una ecuación que represente mejor a la nube de puntos en el promedio.

PLANTEAMIENTO DE UNA ECUACION PARA $n(\lambda)$.- Suponiendo el modelo del oscilador armónico, explicado en sección 1.5 (teoría de la Dispersión), escogemos la ecuación que mas se acople a nuestros datos experimentales:

$$EC (1.42) : \quad n^2 - 1 = a + \frac{b}{(\lambda^2 - c^2)} \quad a, b \text{ y } c: \text{Ctes.}$$

A continuación hallaremos las tres Ctes. a, b y c

CALCULO DE CTE. "c".- De las tres Ctes. esta, será la primera que vamos a calcular

Planteamos 3 ecuaciones a partir de la expresión de arriba, así:

$$n_1^2 - 1 = a + b / (\lambda_1^2 - c^2) \quad 1$$

$$n_2^2 - 1 = a + b / (\lambda_2^2 - c^2) \quad 2$$

$$n_3^2 - 1 = a + b / (\lambda_3^2 - c^2) \quad 3$$

Donde los valores de n y λ los tomamos de la curva "promedio" n vs λ (APENDICE III).

Resolvemos este sistema de ecuaciones para c , desarrollando la siguiente expresión algebraica:

$$"(1-2)/(1-3)"$$

Luego formamos 3 nuevas ecuaciones de la forma 1, 2, 3 mostrada arriba, tomando 3 nuevos puntos de la curva promedio "n vs λ ", esto permite estimar un segundo valor para "c".

Repetimos este procedimiento con la computadora y nos quedamos con el "mejor" valor para c^2 :

$$\underline{c^2 = 0.14443}$$

CALCULO DE CTES. "a" y "b" .-Primeramente reemplazamos el valor de c^2 en la ecuación planteada para n

$$n^2 - 1 = a + \frac{b}{(\lambda^2 - 0.14443)}, \quad \lambda \text{ en } \mu\text{m}$$

Vista la forma de esta ecuación calculamos a y b graficando:

$$\underline{n^2 \text{ vs } 1/(\lambda^2 - 0.14443)}$$

Lo cual resultó una recta entre 0.547 y 0.870 μm (APENDICE II), esto confirma la validez de la forma de la ecuación escogida, para este rango de longitudes de onda.

La pendiente de esta recta es el valor de constante "b" y el intercepto el valor de la constante "a".

En el APENDICE II se muestran los valores y gráfica de la recta mencionada.

Resultados:

recta n^2 vs $1/(\lambda^2 - 0.14443)$

PENDIENTE :	$b = 0.23525$	la recta
	-----	es lineal
INTERCEPTO:	$a+1 = 5.1384$	entre
	-----	0.547 y $0.870 \mu\text{m}$
	con un ERROR = 0.024	

Por lo tanto ECUACION FINAL para el INDICE DE REFRACCION:

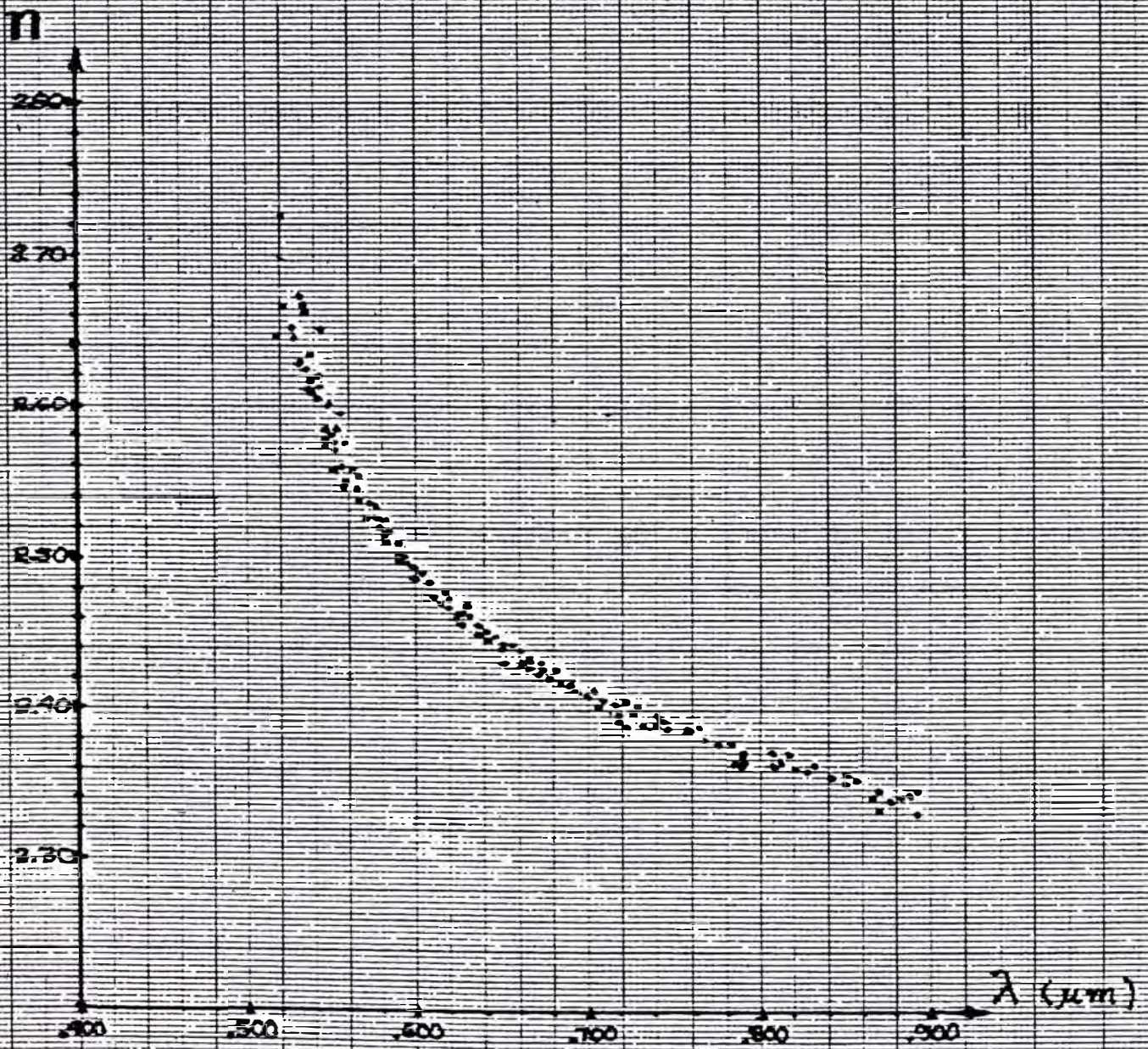
$$n^2 - 1 = 4.1384 + \frac{0.23525}{(\lambda^2 - 0.14443)}, \quad \lambda \text{ en } \mu\text{m} \quad (4.8)$$

Valida entre 0.547 y $0.870 \mu\text{m}$

En las siguientes paginas se muestran la gráfica de los puntos EXPERIMENTALES del INDICE DE REFRACCION; la curva y ecuacion de acople (4.8), y la curva de referencia<U>.

INDICE DE REFRACCIÓN - CJS

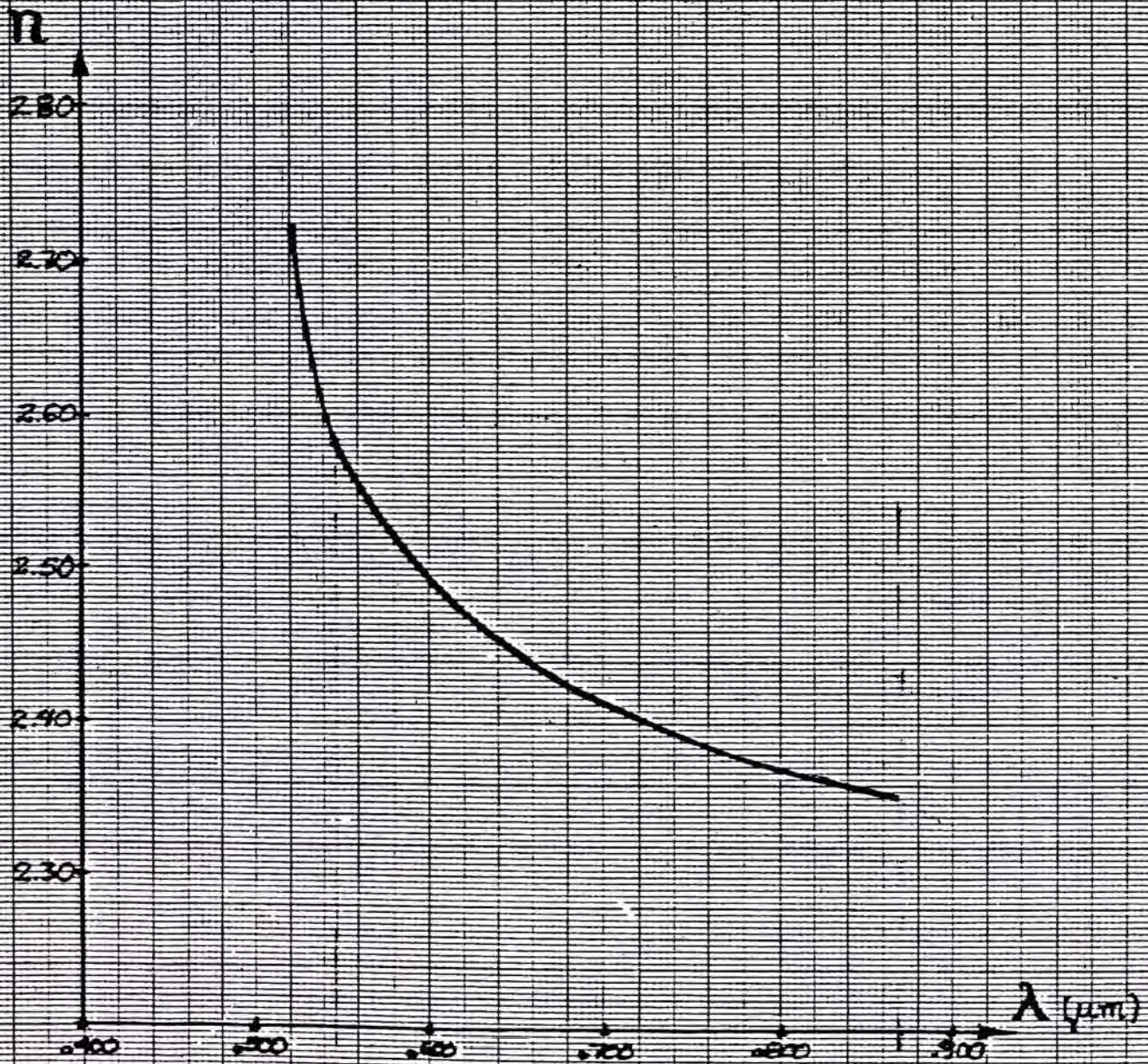
PUNTOS EXPERIMENTALES



ÍNDICE DE REFRACCIÓN GIS

CURVA DE ACOPLE TEÓRICO $\frac{1}{\lambda}$

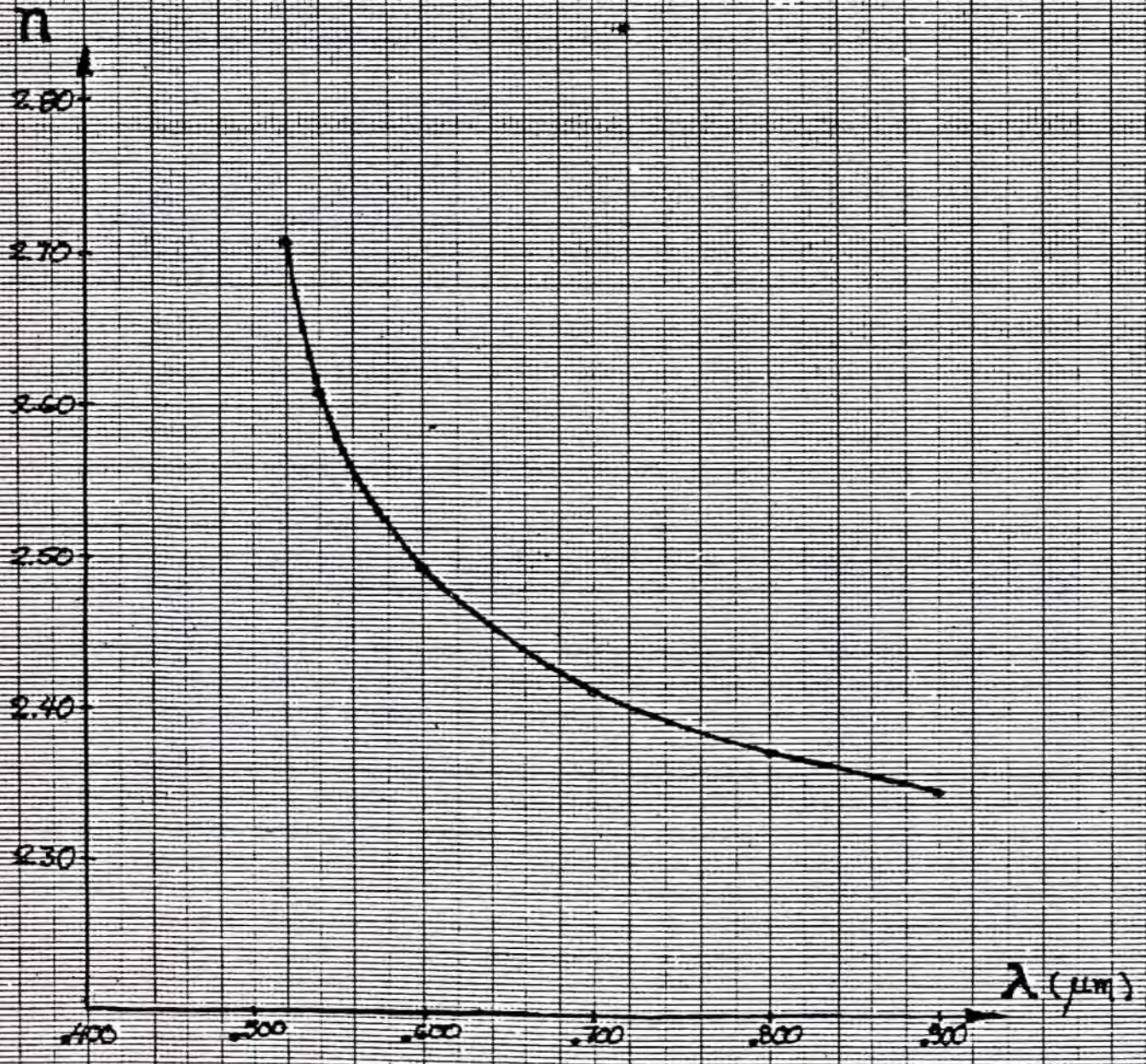
$$n^2 - 1 = 4.1384 + \frac{0.23525}{\lambda^2 - 0.14443}$$



ÍNDICE DE REFRACCIÓN - CdS

CURVA REFERENCIA LITERATURA

REF (U2), pag 55



COMPARACION DE RESULTADOS PARA EL INDICE DE REFRACCION.-

La curva de referencia se tomó de la literatura internacional.

REF<U>: BIENEIWSKI AND CZYZACK J. Op. Soc. Am. V50,
Nº2(1960)

* datos tomados de una TABLA' n vs λ ' de la revista.

Discrepancia.- La máxima discrepancia es del 1% para nues-
----- tros valores del indice de refracción des-
de 0.520 hasta 0.870 um.

Afirmamos entonces que nuestra ecuacion^(4.8) para $n(\lambda)$ calculada por nuestro método de caracterización representa fielmente al INDICE DE REFRACCION del CdS.

Y, no conociendo las condiciones de elaboración de la curva de referencia es que decimos que n-para el CdS-solo depende de la longitud de onda de la luz incidente.

Debemos anotar que al inicio de este trabajo tuvimos una FALSA información del indice de refracción del CdS, la cual fue confundida con la del ZnS, REF<2>.

Cuando este trabajo ya había concluido notamos la confusión al recibir un "paper"(remitido de ITALIA por A. Bernui) de los mismos autores, REF<U> la cual ademas de las gráficas n vs λ para el CdS y el ZnS presenta sendas TABLAS de datos del indice de refracción, las que levantan la confusión.

La NOTABLE COINCIDENCIA para el INDICE DE REFRACCION confirma nuestro METODO DE CARACTERIZACION.

4.5 CALCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCION .-

Primeramente recordemos que la información que nos dan los espectros para la transmitancia T viene dado en porcentaje desde 0 % hasta 100 %, pero realmente $0 < T < 1$, entonces para tener los valores reales de T basta dividir por 100 la lectura vertical del espectro.

Ahora, calculamos los valores del coeficiente de absorción para cada longitud de onda, a partir de la ecuación (1.31).

Reemplazando el valor del índice de refracción del sustrato: $n_s = 1.512$ (REF: calculado por el Dr. A. Valera, con un refractómetro), aproximadamente constante en todo el rango visible-ir.

luego de la ecuación (1.31):

$$\ln(T_p) = -\alpha L + \ln\left(10.048 \left(\frac{n}{n+1}\right) \left(\frac{n+1.512}{n+1.512}\right)^2 / (1+u^2)\right)$$

Vista la forma de esta ecuación, al graficar:

$$\frac{\ln(T_p)}{\lambda = \text{Cte.}} \quad \text{vs} \quad L \text{ (espesor de película),}$$

las curvas graficadas resultan ser rectas-para longitudes de onda en el visible e infrarrojo, donde se analizó- desde $\lambda > 0.520 \mu\text{m}$, hasta $0.800 \mu\text{m}$.

El valor de α será igual a la pendiente de cada recta graficada.

Para graficar una de estas rectas se fija una longitud de onda común a varias películas y se toma al valor de la transmitancia (T_p) respectiva en cada espectro (en esa longitud de onda), por último se toma el ln y se grafica $\ln(T_p)$ vs L (espesor).

Se fijaron 20 longitudes de onda en todos los espectros en análisis y se graficó $\ln(T)$ vs L lograndose 20 rectas (unas mas lineales que las otras como muestran las gráficas en el APENDICE II y cuyas pendientes nos dan los valores del coeficiente de absorción correspondientes.

Los resultados-del Coef. de Abs.-correspondientes a las películas logradas entre enero-marzo 1,985(a lo cual llamaremos películas BLOQUE I) DIFIEREN de las películas logradas entre mayo-julio 1,985(a lo cual llamaremos películas BLOQUE II). Esta diferencia en los valores del Coef. de absorción proviene de las diferentes condiciones de fabricación de las películas; específicamente: muestras del bloque II tuvieron un calentamiento mas rápido en el proceso de EVAPORACION lo cual posiblemente alteró el ordenamiento cristalino del material, además por la inercia suponemos que no se llegó al mismo punto de temperatura de evaporación de las que lograron películas de bloque I.

Logrados los valores experimentales del Coef. de Abs. lo representamos cuantitativamente con ecuaciones cuya forma es similar a la del Ind. de Refracc., es decir de la forma:

$$\alpha^2 - 1 = a + b/(\lambda^2 - c^2) \quad \text{REF}<1>$$

Utilizando el mismo método para calcular las Ctes. a b y c del índice de refracción, tenemos las ECUACIONES de acople para el COEFICIENTE DE ABSORCION:

$$\text{BLOQUE I : } \left[\alpha^2 - 1 = -1.00079 + 0.00232/(\lambda^2 - 0.270) \right] \quad (\text{alfa I})$$

$$\text{BLOQUE II: } \left[\alpha^2 - 1 = -1.00132 + 0.00088/(\lambda^2 - 0.285) \right] \quad (\text{alfaII})$$

donde: λ en μm , α en μm^{-1}

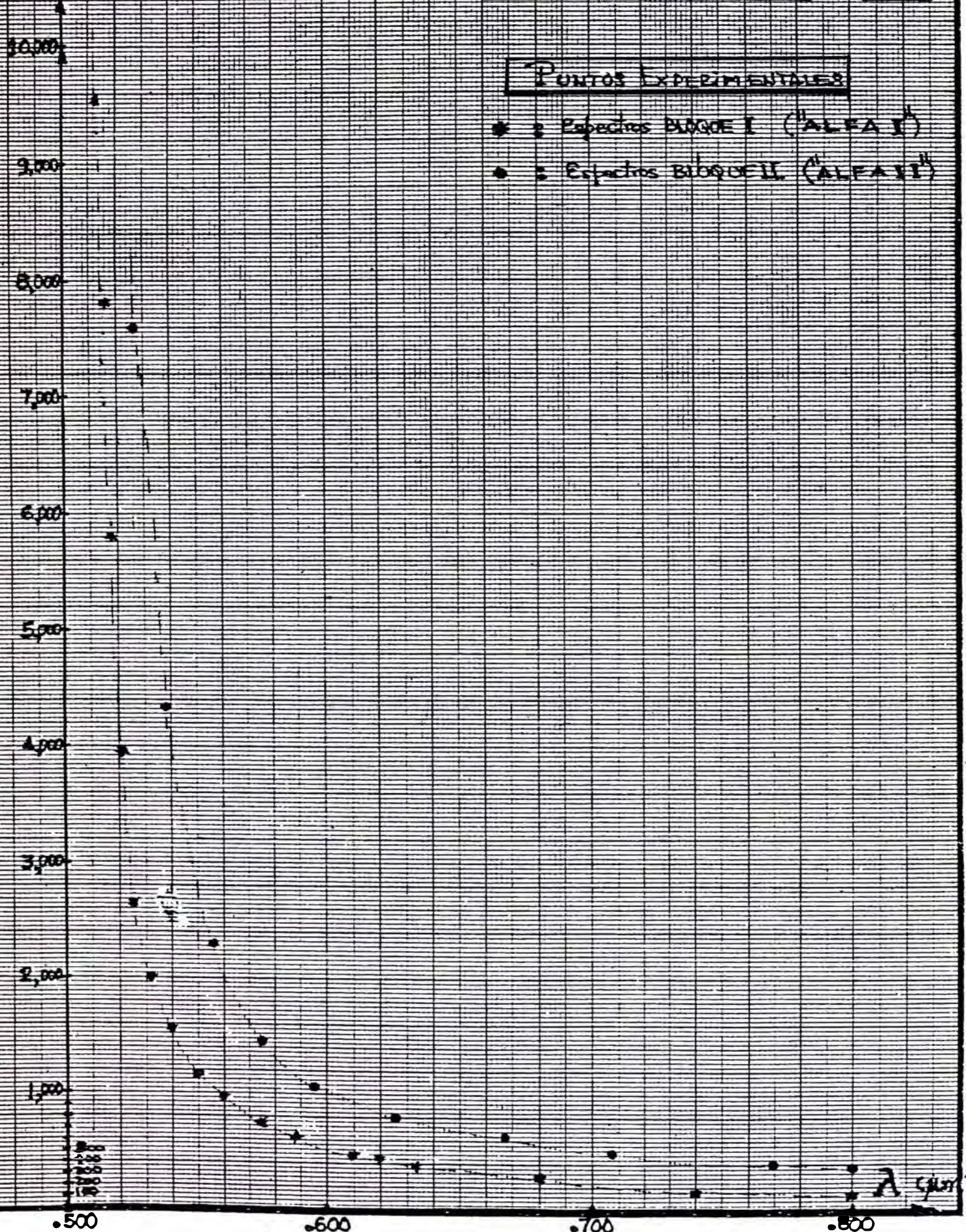
En las siguientes gráficas se presentan los RESULTADOS para el COEFICIENTE DE ABSORCION (los datos se toman del APENDICE II).

α (cm⁻¹)

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN - CdS

PUNTOS EXPERIMENTALES

- Espectros BLOQUE I (ALFA I)
- Espectros BLOQUE II (ALFA II)



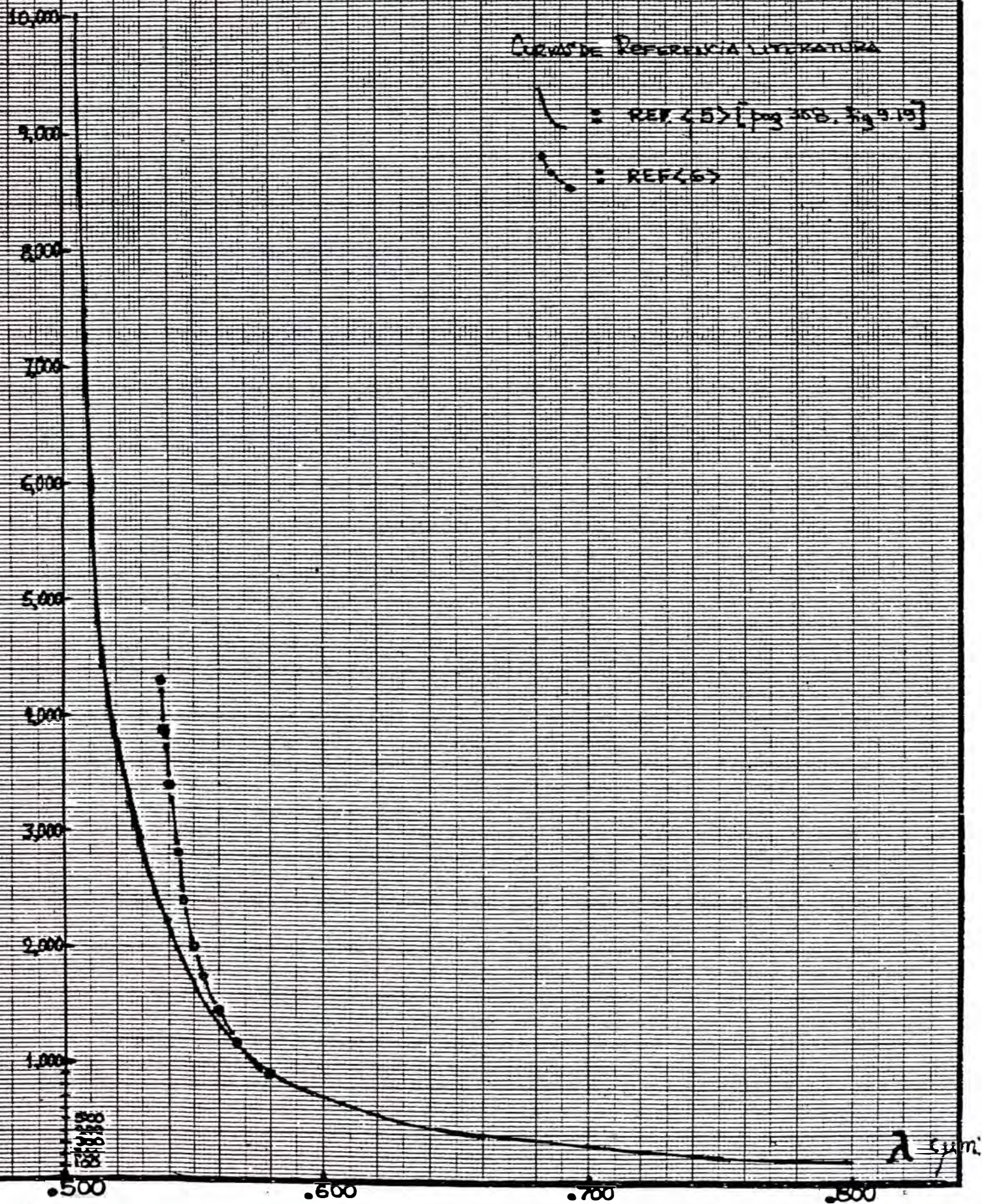
α (cm^{-1})

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN - CdS

CURVAS DE REFERENCIA LITERARIA

REF (5) [pag 358. Fig 9.19]

REF (6)



COMPARACION DE RESULTADOS PARA EL COEFICIENTE DE ABSORCION.-

Las graficas de referencia se tomaron de la literatura internacional

REF<5>: BUBE-FAHERENBUCH "FUNDAMENTAL OF SOLAR CELLS"

* datos tomados de una FIGURA(9.19), pag. 358

REF<6>: FRAAS, BLEHA AND BRAATZ "J. A. P." V 46, N 2(1975)

* datos tomados de una FIGURA: Densidad optica: " κ vs λ "
 $(I=I_0 10^{-\kappa})$ Def. de "Densidad óptica" (κ)

Discrepancia.- curva de REF<5> tiene una discrepancia máxima
 ----- del 30% con "alfa I" y del 37% con "alfa II",
 para $\lambda > 0.520$ um.

Curva de REF<6> es del mismo orden de discrepancia. Aunque se notan puntos de cruce (conicidetes) con nuestras curvas.

La diferencia entre las curvas de REFS <5> y <6> es tambien del orden del 35%

Afirmamos entonces que nuestras curvas halladas son una primera representacion del COEFICIENTE DE ABSORCION(espectral) del CdS, parámetro que DEPENDE DE LAS CONDICIONES DE ELABORACION DE LA PELICULA delgada de CdS, dependencia que sera desarrollada en una próxima tesis.

C O N C L U S I O N E S

Hemos establecido un método de CARACTERIZACION FISICA de materiales SEMICONDUCTORES en forma de película delgada.

De esta películas-elaboradas en Lab. fotovoltaico UNI-se obtienen espectros de transmisión óptica. Estos espectros nos dan practicamente toda la información obtenida producto del desarrollo de nuestro método de caracterización.

Este método aplicado a películas delgadas(thin film) de CdS nos dió la Sgte. información:

- 1.- el espesor de película-L
- 2.- el GAP energético-Eg
- 3.- el índice de refracción espectral-n
- 4.- el coeficiente de absorción espectral-

El ancho de banda Eg = 2.38 eV, comparado con 2.42 REFS<10>, <18>; 2.4 REF<D>, está en el orden de magnitud aceptable.

Los valores obtenidos para n y α (determinados en el rango Ir-vis desde .520 hasta .870 μm) concuerdan también con los encontrados en la literatura internacional(ver:" COMPARACION DE RESULTADOS", para n y α en pags. 47 y 52), la diferencia(solo para el Coef. de Abs.) se debe a que estas películas lo elaboramos en condiciones específicas de nuestro laboratorio como son: velocidad de deposición de los vapores de CdS en el sustrato, temperatura y presión de evaporación, etc. lo cual nos induce a afirmar que hemos caracterizado a un "nuevo material",

Donde el Coef. de Abs. DEPENDE de la Long. de onda del fotón y, de las condiciones de elaboración de la película.

Y, el Ind. de Refracc. DEPENDE fundamentalmente de la Long. de onda del haz incidente.

Estos resultados sirven de base para cualquier estudio óptico de este semiconductor.

ANEXO : con fecha 15 de marzo de 1,987 nos llegó un "paper" de la Journal of The Optical Society of America Vol 50, Num 2, feb 1,960-remitido de Italia por Armando Bernui-, donde encontramos información del índice de refracción del CdS, la cual coincide con nuestro resultado en forma notable, esta coincidencia se da hasta el segundo decimal de los valores de n.

Cabe recalcar que este trabajo había culminado meses atrás y se desarrolló en ausencia de esta información, lo cual confirma el método que ahora presentamos.

B I B L I O G R A F I A

- <1> ABELES "OPTICAL PROPIERTES OF SEMICONDUCTORS"
- <2> BIENEIWSKI AND CZYZAK "Journal Opt. Soc. Am.", 53,
649-497 (1,963)
- <3> BORN, MAX "OPTIK"
- <4> BORN AND WOLF "PRINCIPLES OF OPTICS"
- <5> BUBE-FAHERENBUCH "FUNDAMENTAL OF SOLAR CELLS"
pag. 358, figura 9.19
- <6> FRAAS, BLEHA and BRAATZ "Journal Appl. Phys."vol 46,
N 2, (1,975)
- <7> FRANCIS and CARLSON "Journal Opt. Soc. Am.", 50,
118-121 (1,960)
- <8> HECHT-ZAJAC "OPTICA"
- <9> JENKINS and WHITE "PHYSICAL OPTICS"
- <10> KITTEL, CHARLES "SOLID STATE INTRODUCTION"
- <11> McKELVEY, J. "FISICA DEL ESTADO SOLIDO Y SEMICONDUCTORES"
- <12> MENZEL, DONALD "FUNDAMENTAL FORMULAS OF PHYSICS"
- <13> OMAR "SOLID STATE ELEMENTARY PHISICS"
- <14> POLO B., C. tesis de Bach.: "Celdas solares CuS/CdS"
- <15> ROSSI "FUNDAMENTOS DE OPTICA"
- <16> SOMMERFELD "OPTICS"
- <17> SCHAEFER, BERGMANN "LECHRBUCH DER" VOL III

- <18> SZE, S.M. "PHYSICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES"
- <19> VAN HEEL "ADVANCED OPTICAL TECHNIQUES"
- <20> VALERA, A. "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN LASER DE COLO-
RANTES". Revista Peruana de Fisica
1-1, 1, 1981
- <21> VALERA, A. "CELDA SOLARES Cu S/CdS: ELABORACION Y CA-
RACTERIZACION". Revista Peruana de Fisica 1-2, 1, 1981
- <22> VEGA, R. "celdas fotovoltaicas CuS/CdS" tesis Lic.
- <23> WOLF, E. "PROGRESS IN OPTICS" VOL II y IV
- <U> BIENEIWSKI AND CZYSAC "Journal Opt. Soc. Am.", 50, #2
feb(1, 1960)
- <D> D. A. JENNY AND R. H. BUBE, "PHYS. REV. 96, 1190(1, 1954)

APENDICES

A P E N D I C E I

Tabla 1: Peliculas obtenidas.....	58
Tabla 2: Orden del pico mas alto de c/espectro.....	59
Tabla 3:Valores del orden N para 12 longitudes de onda en cada espectro.....	60
Tabla 4: Indice de refraccion relativo (n*).....	61
Grafico : n* vs λ	62
20 tablas: INDICE DE REFRACCION vs LONG. DE ONDA.....	63
20 graficas:INDICE DE REFRACCION vs LONG. DE ONDA.....	71
20 tablas:"n ² vs 1/($\lambda^2-0.14443$)" ^u	89
Grafica Gral.:"n ² vs 1/($\lambda^2-0.14443$)" ^u	91

TABLA 1: P E L I C U L A S O B T E N I D A S

Muestra	Fecha	tiempo d' Depositi. (minutos)	TEMP(variac) equivalente en voltios	Presion (Torr.)	Espesor Met.Dif.pesos (micrometros)
1-(1-A)	20.1.85	45'	90	2×10^{-4}	1.06
2-(1-B)	"	45'	"	"	1.17
3-(2-A)	24.1.85	47'	90	1.8×10^{-4}	1.98
4-(2-B)	"	47'	"	"	1.95
5-(3-A)	25.1.85	60'	95	2×10^{-4}	4.55
6-(3-B)	"	60'	"	"	4.77
7-(4-A)	29.1.85	48'	95	2.5×10^{-4}	3.29
8-(4-B)	"	48'	"	"	3.49
9-(5-A)	30.1.85	30'	90	2.8×10^{-4}	1.44
10-(5-B)	"	30'	"	"	1.44
11-(6-A)	31.1.85	30'	95	1×10^{-4}	1.12
12-(6-B)	"	30'	"	"	0.95
13-(7-A)	1.2.85	15'	95	2×10^{-4}	0.30
14-(7-B)	"	15'	"	"	0.31
15-(8-A)	4.2.85	19'	90	3.2×10^{-4}	0.38
16-(8-B)	"	19'	"	"	0.37
17-(9-A)	5.2.85	15'	90	1.7×10^{-4}	0.31
18-(9-B)	"	15'	"	"	0.37
19-(10-A)	2.4.85	45'	90	2.2×10^{-4}	0.86
20-(10-B)	"	45'	"	"	0.76
21-(11-A)	4.4.85	50'	95	1.5×10^{-4}	14.25
22-(11-B)	"	50'	"	"	14.63
23-(12-A)	8.4.85	5'	90	2×10^{-4}	1.55
24-(12-B)	"	5'	"	"	1.67
25-(13-A)	9.4.85	5'	90	2.4×10^{-4}	0.33
26-(13-B)	"	5'	"	"	0.41
27-(14-A)	11.4.85	12'	95	2.2×10^{-4}	0.21
28-(14-B)	"	12'	"	"	0.23
29-(15-A)	17.4.85	20'	95	3×10^{-4}	1.61
30-(15-B)	"	20'	"	"	1.39
31-(16-A)	24.4.85	25'	95	2.7×10^{-4}	3.97
32-(16-B)	"	25'	"	"	3.76
33-(2 n)	6.5.85	23'	100	2.2×10^{-4}	1.50
34-(2 r)	"	23'	"	"	1.40
35-(1an)	9.5.85	15'	100	2×10^{-4}	0.66
36-(1ar)	"	15'	"	"	0.60
37-(1br)	15.5.85	10'	105	2.4×10^{-4}	3.31
38-(1bn)	"	10'	"	"	3.12
39-(3 r)	61.5.85	12'	105	2×10^{-4}	2.90
40-(3 n)	"	12'	"	"	3.00
41-(5 r)	20.5.85	12'	100	2×10^{-4}	0.90
42-(5 n)	"	12'	"	"	0.97
43-(4a r)	22.5.85	7'	110	2×10^{-4}	1.02
44-(4an)	"	7'	"	"	1.05
45-(4b n)	24.5.85	10'	105	2×10^{-4}	1.28
46-(4br)	"	10'	"	"	1.32
47-(sn)	5.6.85	7'	110	2.4×10^{-4}	1.49
48-(sn)	"	7'	"	"	1.63
49-(sn)	6.6.85	23'	105	$2. \times 10^{-4}$	2.85
50-(sn)	"	23'	"	"	3.12

TABLA 2: ORDEN DEL PICO MAS ALTO (N_0) de c/espectro

espectro	λ_0 (um)	N_0
1)-1a n	0.733	4
2)-1a r	0.791	4
3)-4a r	0.869	6
4)-5 r	0.885	6
5)-5 n	0.880	6
6)-4a n	0.893	6
7)-1A	0.857	7
8)-2 r	0.877	8
9)-4b r	0.877	8
10)-4b n	0.810	9.
11)-2 n	0.866	9.
12)-2A	0.883	12.
13)-3 r	0.851	18.
14)-3 n	0.871	18.
15)-1b n	0.850	19.
16)-1b r	0.887	19.
17)-4A	0.853	21.
18)-4B	0.854	21.
19)-3B	0.860	28.
20)-3A	0.840	29.

TABLA 3 : VALORES del ORDEN N para 12 LONGITUDES de ONDA en cada espectro

Línea	Longitudes de Onda (nm)											
	550	580	610	615	640	670	700	730	760	790	820	850
1a n	5.83	5.38	4.95	4.93	4.71	4.46	4.23	4.03	3.84	3.68	3.53	3.39
1a r	6.29	5.81	5.44	5.38	5.12	4.84	4.60	4.39	4.18	4.00	3.85	3.71
1a r	10.50	9.69	9.04	8.94	8.53	8.06	7.66	7.30	6.98	6.68	6.41	6.15
5 r	10.59	9.78	9.13	9.03	8.60	8.14	7.74	7.37	7.04	6.75	6.50	6.22
5 n	10.66	9.83	9.19	9.08	8.66	8.19	7.78	7.42	7.09	6.78	6.53	6.24
1a n	10.79	9.94	9.31	9.20	8.17	8.29	7.88	7.51	7.20	6.87	6.60	6.34
1-A	11.93	11.06	10.36	10.25	9.75	9.24	8.77	8.36	7.98	7.65	7.34	7.05
2 r	13.60	13.07	12.20	12.06	11.48	10.85	10.31	9.82	9.38	8.98	8.61	8.27
4b r	14.34	13.15	12.03	12.08	11.51	10.88	10.33	9.87	9.40	9.00	8.64	8.29
1b n	14.67	13.44	12.56	12.40	11.72	11.17	10.63	10.12	9.67	9.26	8.88	8.55
2 n	15.77	14.51	13.53	13.39	12.73	12.21	11.62	10.89	10.40	9.96	9.55	9.18
2-A	21.18	19.70	18.37	18.18	17.32	16.40	15.57	14.84	14.18	13.60	13.02	12.49
3 r	30.62	28.29	26.47	26.19	24.92	23.58	22.39	21.36	20.40	19.55	18.76	18.18
3 n	31.39	29.00	27.14	26.83	25.53	24.16	22.97	21.89	20.93	20.04	19.76	18.48
1b n	32.19	29.82	27.87	27.56	26.00	24.84	23.61	22.53	21.50	20.60	19.77	19.00
1b r	33.71	31.27	29.27	28.96	27.57	26.09	24.77	23.64	22.58	21.62	20.76	19.93
1-A	35.71	32.98	30.93	30.56	29.19	27.58	26.24	24.96	23.92	22.92	21.98	21.15
4-B	35.63	33.05	30.95	30.58	29.17	27.60	26.22	24.97	23.88	22.88	21.93	21.15
3-B	48.11	44.53	41.71	41.12	39.27	37.19	35.61	33.61	32.12	30.86	29.54	28.34
3-A	48.37	44.79	41.96	41.54	39.50	37.38	35.57	33.86	32.35	31.00	29.74	28.58

NOTA : Los órdenes dados en esta tabla presentan decimales porque no corresponden en general a máximos (el orden solo es entero para los máximos)

TABLA 4 : INDICE DE REFRACCION RELATIVO a 0.615um (es decir el n*.615) correspondiente a 12 longitudes de onda de los 20 mejores espectros

Lues- ra	Longitudes de Onda											
	550	580	610	615	640	670	700	730	760	790	820	850
a n	1.048	1.020	1.004	1.000	0.987	0.980	0.977	0.969	0.964	0.959	0.955	0.951
1a r	1.045	1.019	1.003	1.000	0.989	0.979	0.973	0.968	0.961	0.959	0.954	0.950
la r	1.050	1.021	1.002	1.000	0.992	0.981	0.975	0.969	0.965	0.960	0.956	0.951
5 r	1.049	1.022	1.003	1.000	0.991	0.982	0.975	0.969	0.964	0.960	0.955	0.952
5 n	1.050	1.022	1.004	1.000	0.993	0.983	0.976	0.970	0.965	0.960	0.952	0.951
6a n	1.050	1.020	1.004	1.000	0.993	0.982	0.976	0.971	0.967	0.960	0.956	0.952
1-A	1.041	1.017	1.002	1.000	0.990	0.982	0.974	0.968	0.962	0.958	0.954	0.950
1 r	1.041	1.022	1.003	1.000	0.992	0.980	0.973	0.967	0.961	0.957	0.952	0.948
4b r	1.042	1.019	1.005	1.000	0.992	0.981	0.974	0.970	0.962	0.957	0.953	0.948
4b n	1.048	1.022	1.003	1.000	0.995	0.983	0.975	0.971	0.964	0.955	0.954	0.949
2 n	1.044	1.018	1.005	1.000	0.991	0.984	0.977	0.972	0.965	0.958	0.954	0.949
2-A	1.042	1.022	1.002	1.000	0.991	0.982	0.974	0.969	0.964	0.961	0.955	0.950
3 r	1.046	1.021	1.004	1.000	0.992	0.983	0.977	0.972	0.962	0.960	0.951	0.949
3 n	1.044	1.022	1.004	1.000	0.991	0.985	0.976	0.971	0.963	0.961	0.952	0.950
4b n	1.044	1.020	1.003	1.000	0.996	0.982	0.975	0.970	0.964	0.960	0.956	0.953
1b r	1.041	1.019	1.003	1.000	0.991	0.982	0.974	0.969	0.964	0.959	0.956	0.952
4-A	1.045	1.018	1.004	1.000	0.994	0.983	0.977	0.969	0.967	0.963	0.956	0.952
4-B	1.042	1.019	1.004	1.000	0.993	0.983	0.976	0.969	0.965	0.961	0.956	0.951
5-B	1.046	1.021	1.006	1.000	0.994	0.985	0.977	0.970	0.965	0.960	0.955	0.953
5-A	1.041	1.019	1.002	1.000	0.990	0.980	0.975	0.967	0.962	0.959	0.955	0.951

INDICE DE REFRACCION RELATIVO

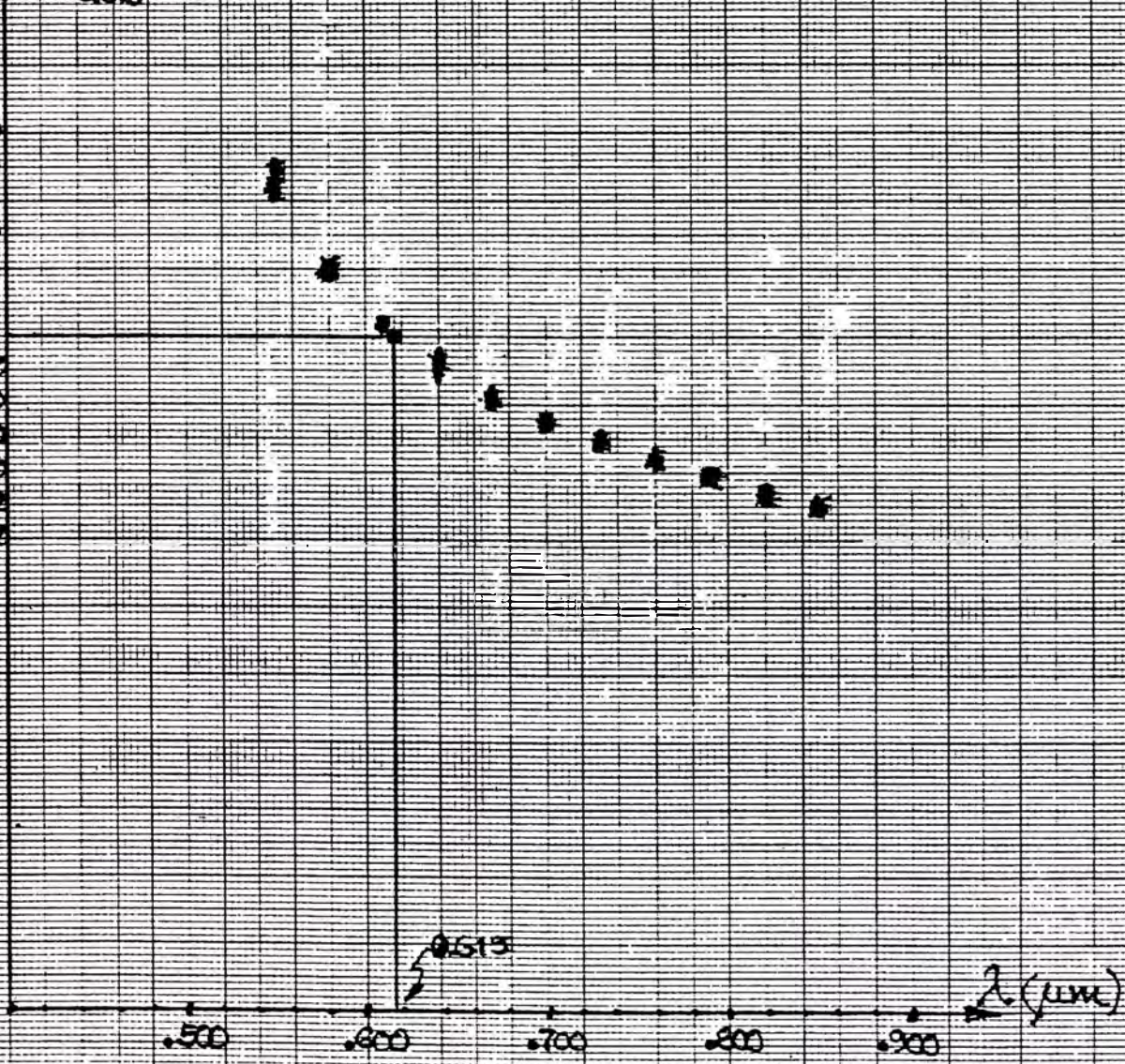
$n_{0.615\mu m}^*$ EC (4.2)
pag 33

$n_{0.615}^*$

1.060
1.050
1.040
1.030
1.020
1.010
1.000
.990
.980
.970
.960
.950
.940

.500 .600 .700 .800 .900 $\lambda (\mu m)$

0.615



$\lambda (\mu m)$	n^*
0.55	1.045
0.58	1.020
0.60	1.000
0.62	0.990
0.65	0.980
0.70	0.970
0.75	0.965
0.80	0.960
0.85	0.955
0.88	0.950

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 1a-n, ESPESOR: L= 0.612 um

 formula : $n = N \times \lambda / 1.224$

N	λ (um)	n .
4	0.732	2.392
5	0.608	2.484
6	0.538	2.635

MUESTRA: 1a-r, ESPESOR: L= 0.669 um

 formula : $n = N \times \lambda / 1.338$

N	λ (um)	n .
4	0.791	2.365
5	0.651	2.433
6	0.566	2.538
7	0.521	2.725

MUESTRA: 4a-r, ESPESOR: L= 1.111 um

 formula : $n = N \times \lambda / 2.222$

N	λ (um)	n .
06	0.870	2.349
07	0.757	2.385
08	0.674	2.427
09	0.611	2.475
10	0.566	2.547
11	0.534	2.664

MUESTRA: 4a-n, ESPESOR: L= 1.142 um

 formula : $n = N \times \lambda / 2.284$

N	λ (um)	n .
06	0.893	2.346
07	0.776	2.378
08	0.690	2.417
09	0.625	2.463
10	0.577	2.526
11	0.543	2.613

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 1-A, ESPESOR: L= 1.273 um

 formula : $n = N \times \lambda / 2.546$

N	λ (um)	n .
07	0.856	2.354
08	0.758	2.382
09	0.684	2.418
10	0.627	2.463
11	0.582	2.515
12	0.547	2.578
13	0.522	2.665

MUESTRA: 2-r, ESPESOR: L= 1.498 um

 formula : $n = N \times \lambda / 2.996$

N	λ (um)	n .
08	0.876	2.339
09	0.789	2.370
10	0.718	2.397
11	0.662	2.431
12	0.617	2.471
13	0.582	2.525
14	0.553	2.584

MUESTRA: 4b-r, ESPESOR: L= 1.501 um

 formula : $n = N \times \lambda / 3.002$

N	λ (um)	n .
08	0.875	2.332
09	0.789	2.365
10	0.719	2.395
11	0.663	2.429
12	0.619	2.474
13	0.584	2.529
14	0.557	2.597
15	0.535	2.673

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 4b-n, ESPESOR: L= 1.540 um

formula : $n = N \times \lambda / 3.080$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
09	0.809	2.364
10	0.736	2.390
11	0.678	2.421
12	0.632	2.462
13	0.593	2.503
14	0.563	2.559
15	0.545	2.653

MUESTRA: 2-n, ESPESOR: L= 1.663 um

formula : $n = N \times \lambda / 3.326$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
09	0.866	2.343
10	0.787	2.366
11	0.723	2.391
12	0.672	2.425
13	0.629	2.459
14	0.595	2.505
15	0.567	2.557
16	0.545	2.622

MUESTRA: 2-A, ESPESOR: L= 2.259 um

formula : $n = N \times \lambda / 4.518$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
12	0.883	2.343
13	0.821	2.363
14	0.769	2.383
15	0.723	2.400
16	0.684	2.422
17	0.650	2.446
18	0.620	2.470
19	0.594	2.498
20	0.572	2.532
21	0.553	2.570
22	0.537	2.615
23	0.524	2.667

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 3-r, ESPESOR: L= 3.254 um

 formula : $n = N \times \lambda / 6.508$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
18	0.851	2.354
19	0.811	2.368
20	0.774	2.379
21	0.741	2.391
22	0.711	2.404
23	0.684	2.417
24	0.660	2.434
25	0.638	2.451
26	0.618	2.469
27	0.600	2.489
28	0.584	2.513
29	0.570	2.540
30	0.553	2.568
31	0.547	2.603
32	0.536	2.636

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 3-n, ESPESOR: L= 3.334 um

formula : $n = N \times \lambda / 6.668$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
18	0.871	2.351
19	0.829	2.362
20	0.792	2.376
21	0.758	2.387
22	0.727	2.399
23	0.699	2.411
24	0.675	2.430
25	0.651	2.441
26	0.631	2.460
27	0.612	2.478
28	0.595	2.499
29	0.580	2.523
30	0.566	2.547
31	0.553	2.571
32	0.543	2.605

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 1b-n, ESPESOR: L= 3.424 um

formula : $n = N \times \lambda / 6.848$

N	λ (um)	n .
19	0.851	2.361
20	0.811	2.369
21	0.776	2.390
22	0.745	2.393
23	0.716	2.405
24	0.691	2.422
25	0.667	2.435
26	0.645	2.449
27	0.625	2.464
28	0.608	2.486
29	0.591	2.503
30	0.577	2.528
31	0.563	2.549
32	0.552	2.577
33	0.542	2.612

MUESTRA: 1b-r, ESPESOR: L= 3.597 um

 formula : $n = N \times \lambda / 7.194$

N	λ (um)	n .
19	0.888	2.345
20	0.848	2.358
21	0.811	2.367
22	0.778	2.379
23	0.748	2.391
24	0.720	2.402
25	0.695	2.415
26	0.672	2.429
27	0.651	2.443
28	0.631	2.456
29	0.614	2.475
30	0.598	2.494
31	0.583	2.512
32	0.570	2.535
33	0.558	2.560
34	0.547	2.585
35	0.538	2.617

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 4-A, ESPESOR: L= 3.797 um

formula : $n = N \times \lambda / 7.594$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
21	0.853	2.359
22	0.819	2.373
23	0.786	2.381
24	0.756	2.389
25	0.730	2.403
26	0.705	2.414
27	0.683	2.428
28	0.662	2.441
29	0.643	2.455
30	0.625	2.469
31	0.609	2.486
32	0.593	2.499
33	0.580	2.520
34	0.567	2.538
35	0.556	2.561
36	0.545	2.584
37	0.537	2.514
38	0.528	2.552

MUESTRA: 4-B, ESPESOR: L= 3.800 um

 formula : $n = N \times \lambda / 7.600$

N	$\lambda(\text{um})$	n .
21	0.854	2.360
22	0.819	2.371
23	0.787	2.382
24	0.757	2.391
25	0.729	2.398
26	0.705	2.412
27	0.683	2.426
28	0.662	2.439
29	0.643	2.454
30	0.625	2.467
31	0.609	2.484
32	0.594	2.501
33	0.580	2.518
34	0.567	2.536
35	0.556	2.561
36	0.546	2.586
37	0.537	2.612
38	0.529	2.645

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 3-B, ESPESOR: L= 5.108 um

formula : $N = N_x \sqrt{10.216}$

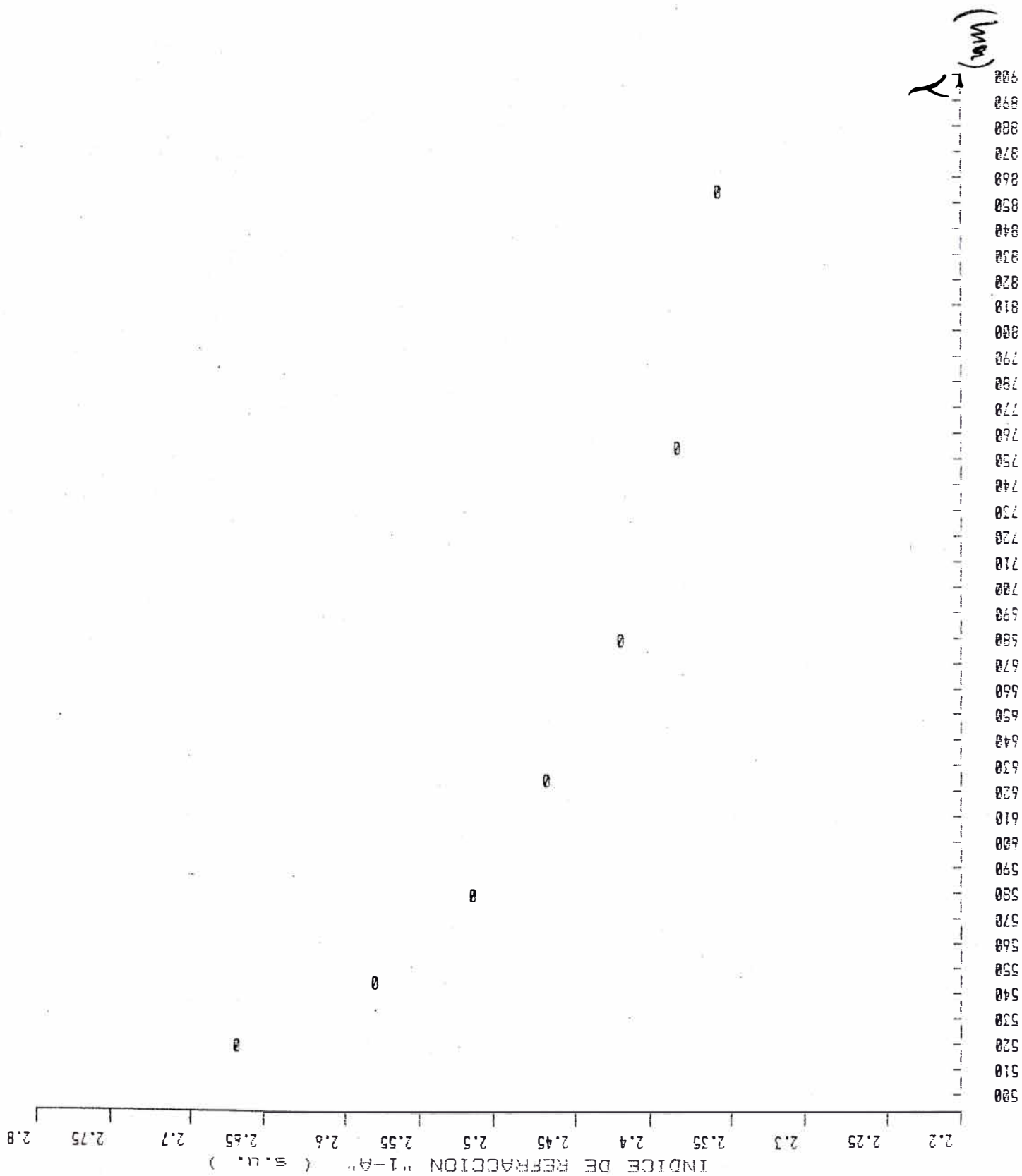
N	$\lambda(\text{um})$	n .
28	0.860	2.357
29	0.833	2.365
30	0.808	2.373
31	0.784	2.379
32	0.763	2.390
33	0.740	2.397
34	0.723	2.406
35	0.705	2.415
36	0.688	2.424
37	0.672	2.434
38	0.657	2.444
39	0.643	2.455
40	0.630	2.467
41	0.618	2.480
42	0.606	2.491
43	0.596	2.509
44	0.585	2.520
45	0.575	2.533
46	0.566	2.548
47	0.558	2.567
48	0.550	2.584
49	0.543	2.604
50	0.536	2.623
51	0.530	2.646

tablas INDICE de REFRACCION vs LONG. DE ONDA

MUESTRA: 3-A, ESPESOR: L= 5.161 μm

formula : $N = N_x \lambda / 10.322$

N	$\lambda(\mu\text{m})$	n .
29	0.840	2.360
30	0.814	2.366
31	0.790	2.373
32	0.768	2.381
33	0.747	2.388
34	0.728	2.398
35	0.710	2.407
36	0.692	2.413
37	0.677	2.427
38	0.662	2.437
39	0.648	2.448
40	0.635	2.461
41	0.622	2.471
42	0.610	2.482
43	0.599	2.495
44	0.589	2.511
45	0.579	2.524
46	0.569	2.537
47	0.560	2.550
48	0.553	2.569
49	0.545	2.587
50	0.539	2.608
51	0.532	2.629



INDICE DE REFRACCION "2-A" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

520
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

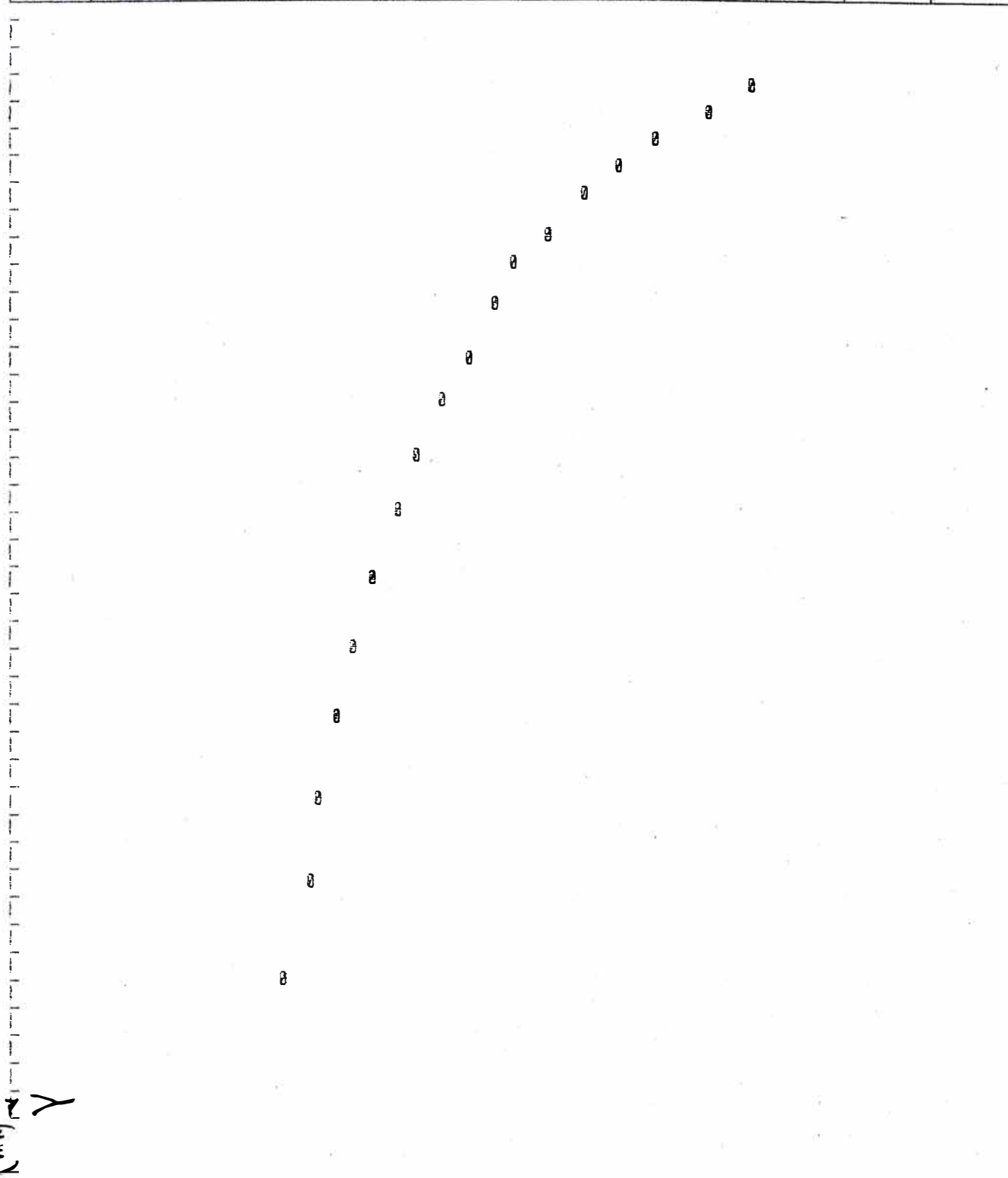
(mm) λ

INDICE DE REFRACCION "4-A" (s.u.)

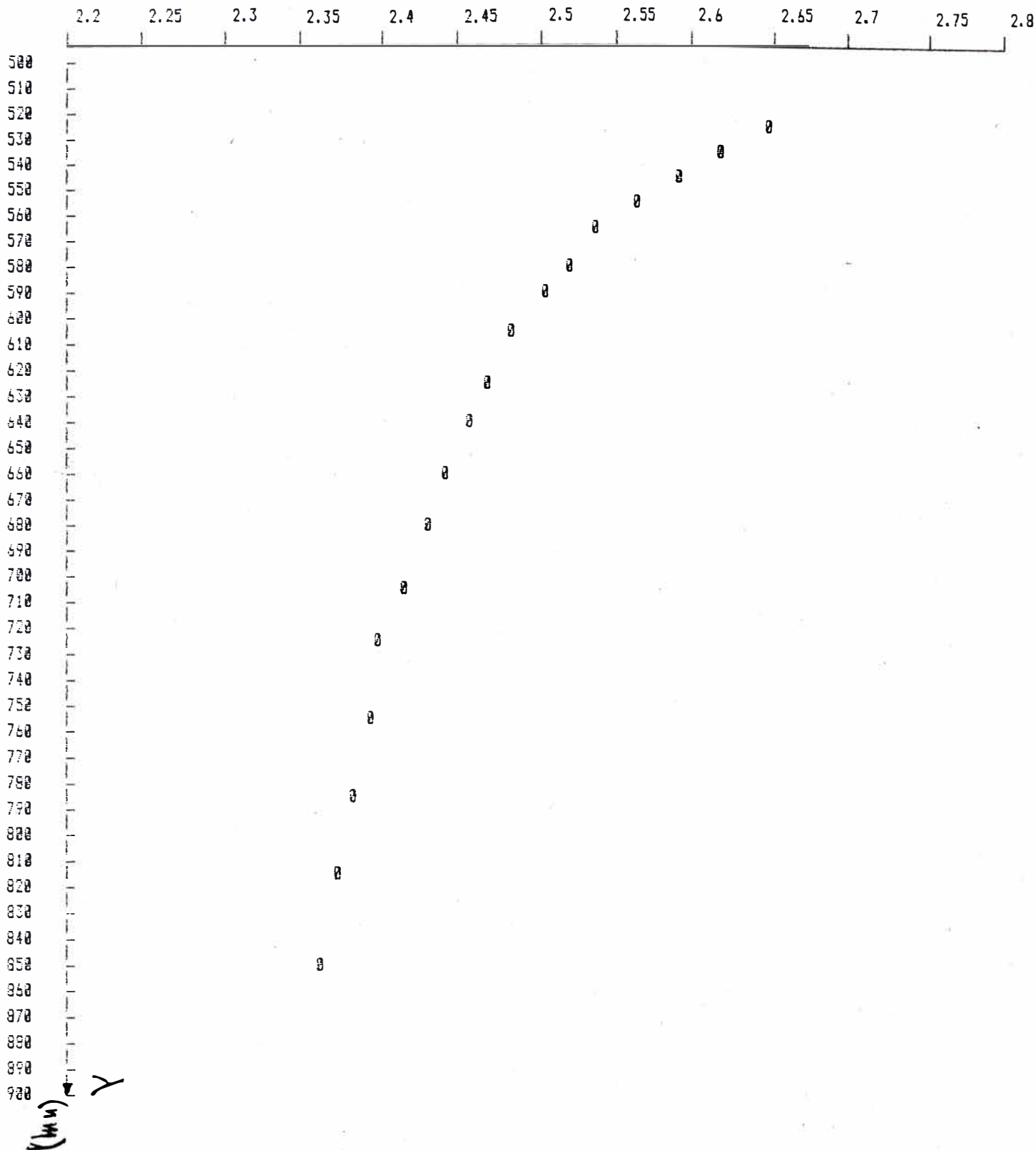
2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

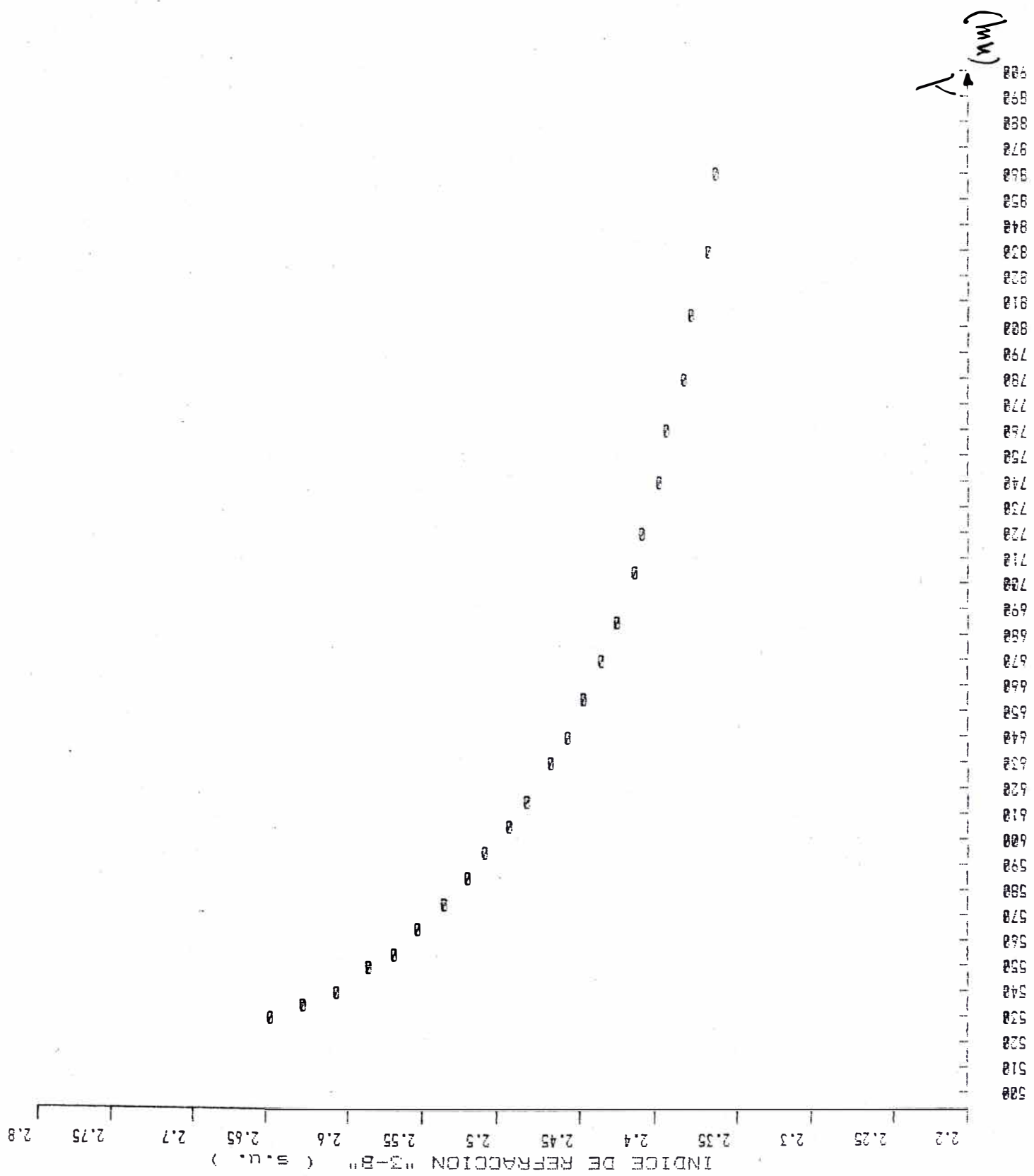
500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

(mm) γ

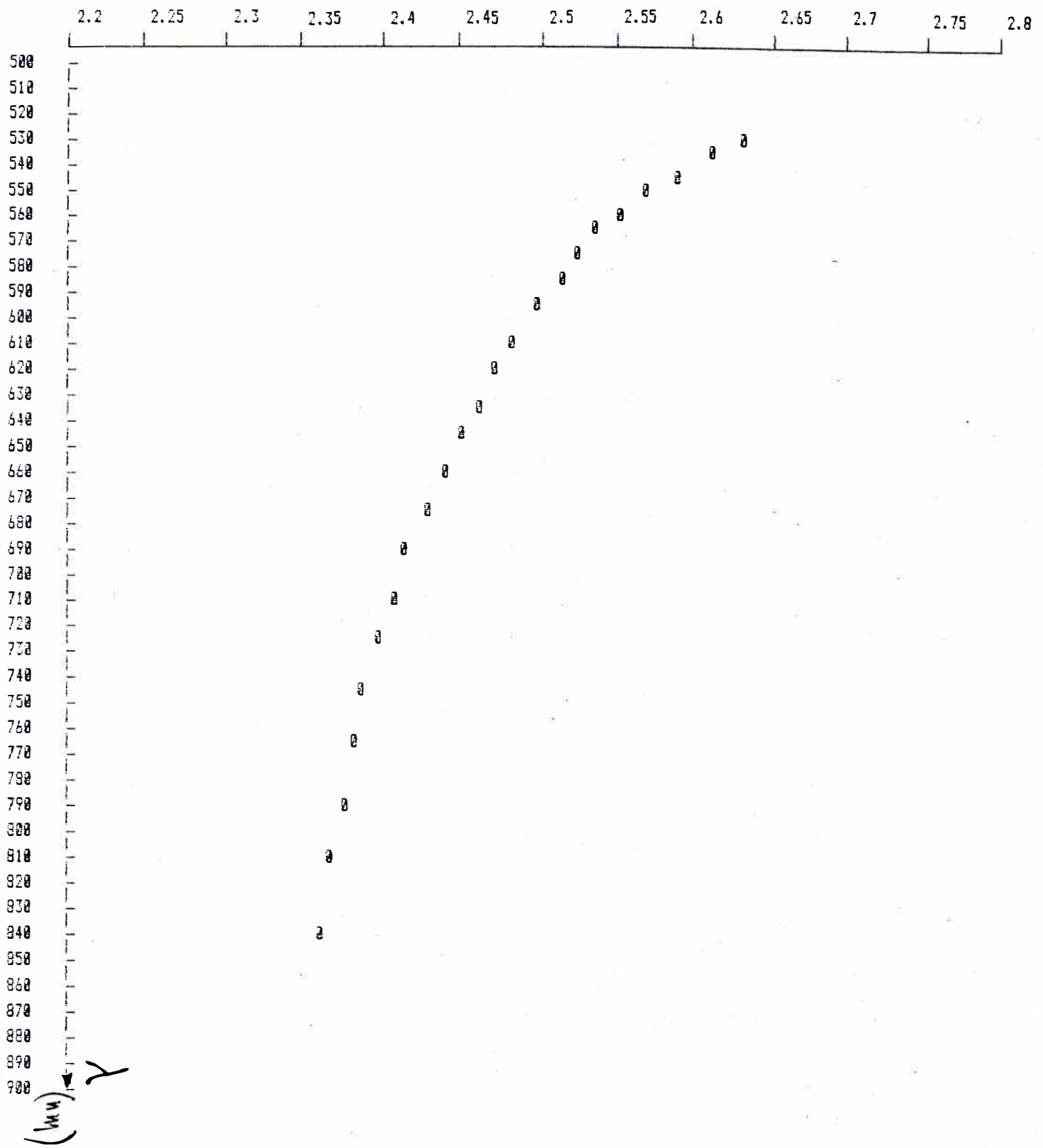


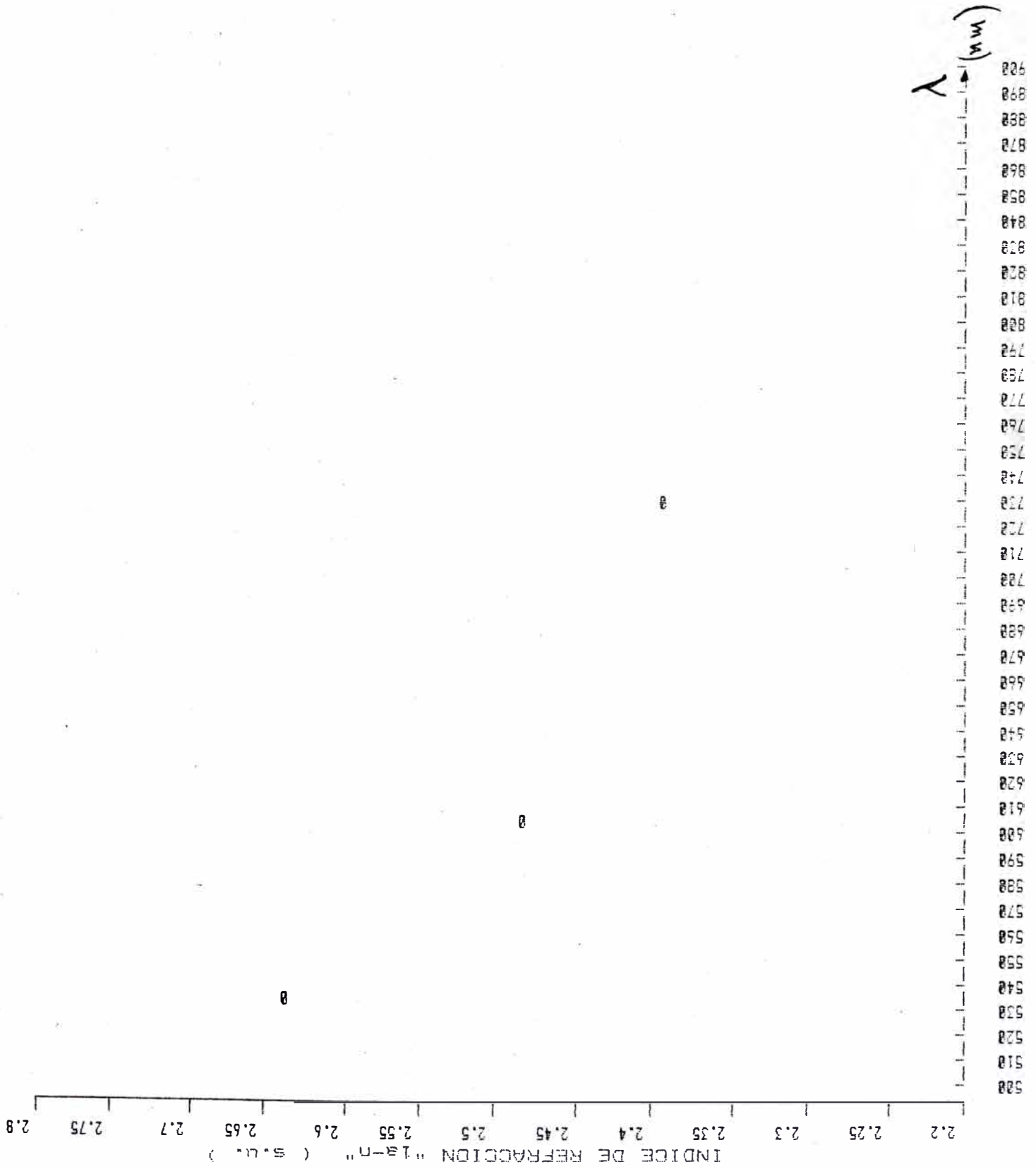
INDICE DE REFRACCION "4-B" (s.u.)



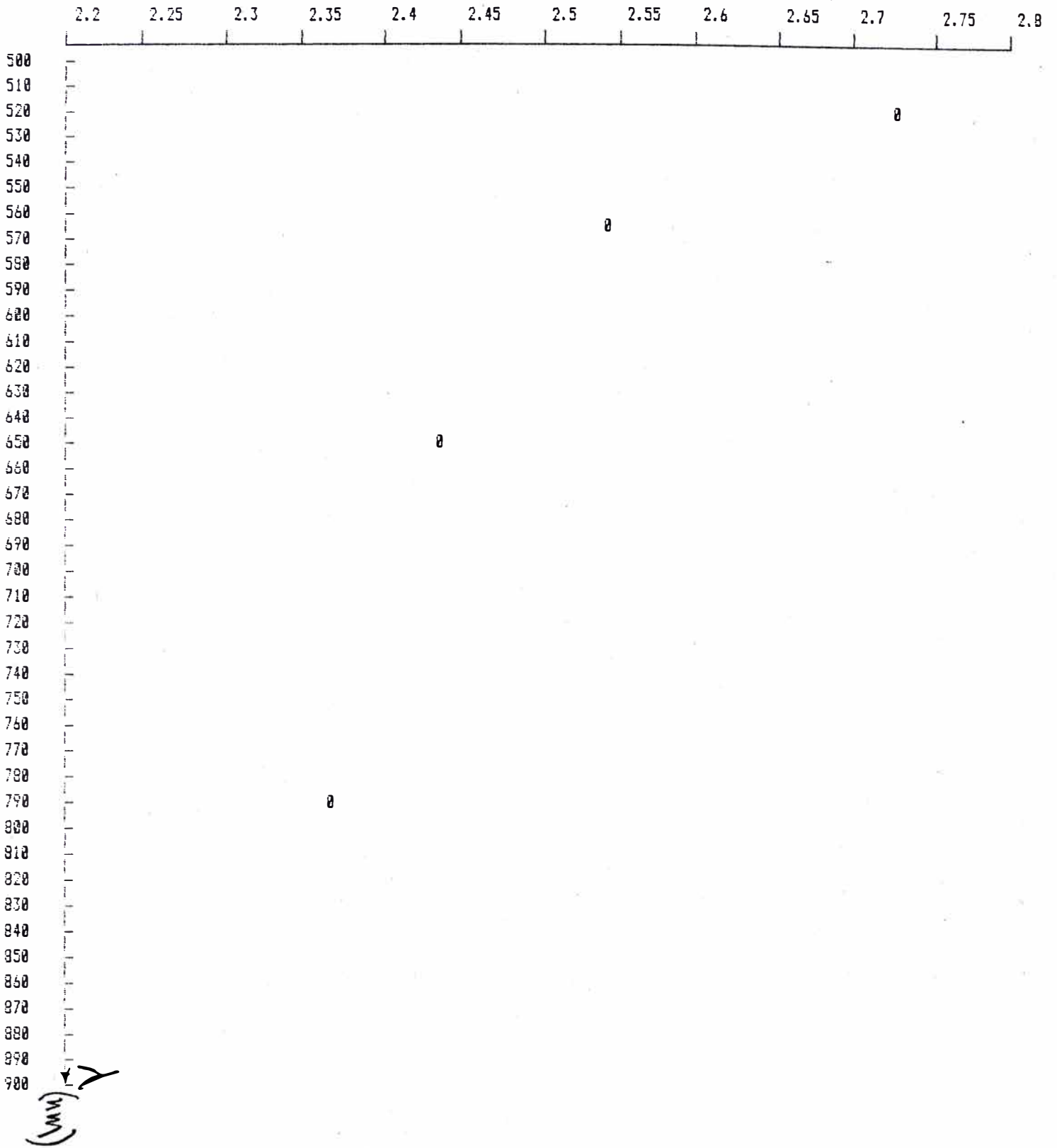


INDICE DE REFRACCION "3-A" (s.u.)





INDICE DE REFRACCION "1a-r" (s.u.)



INDICE DE REFRACCION "4a-r" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

(mm) Y

INDICE DE REFRACCION "4a-n" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

(mm) Y

0

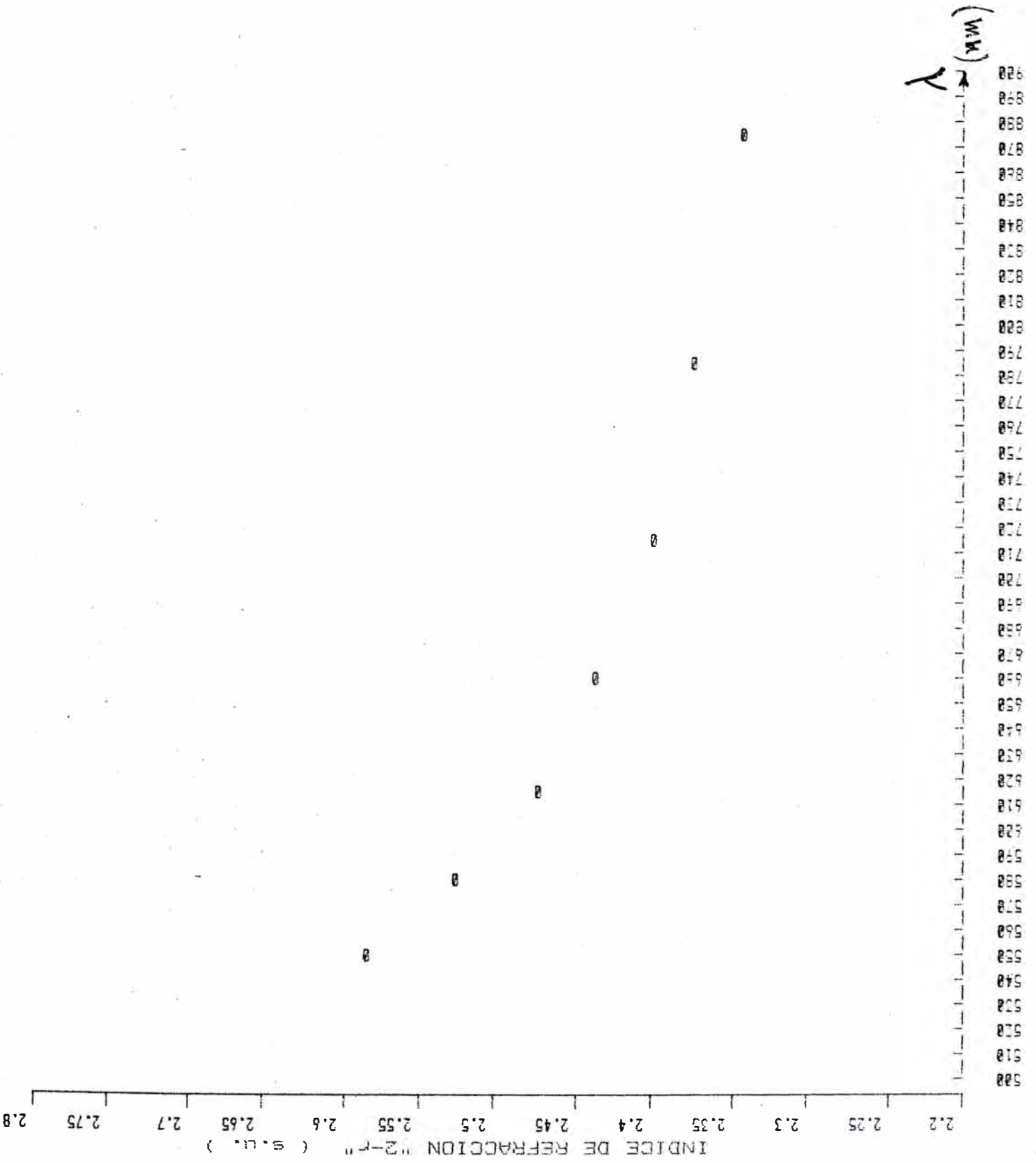
0

0

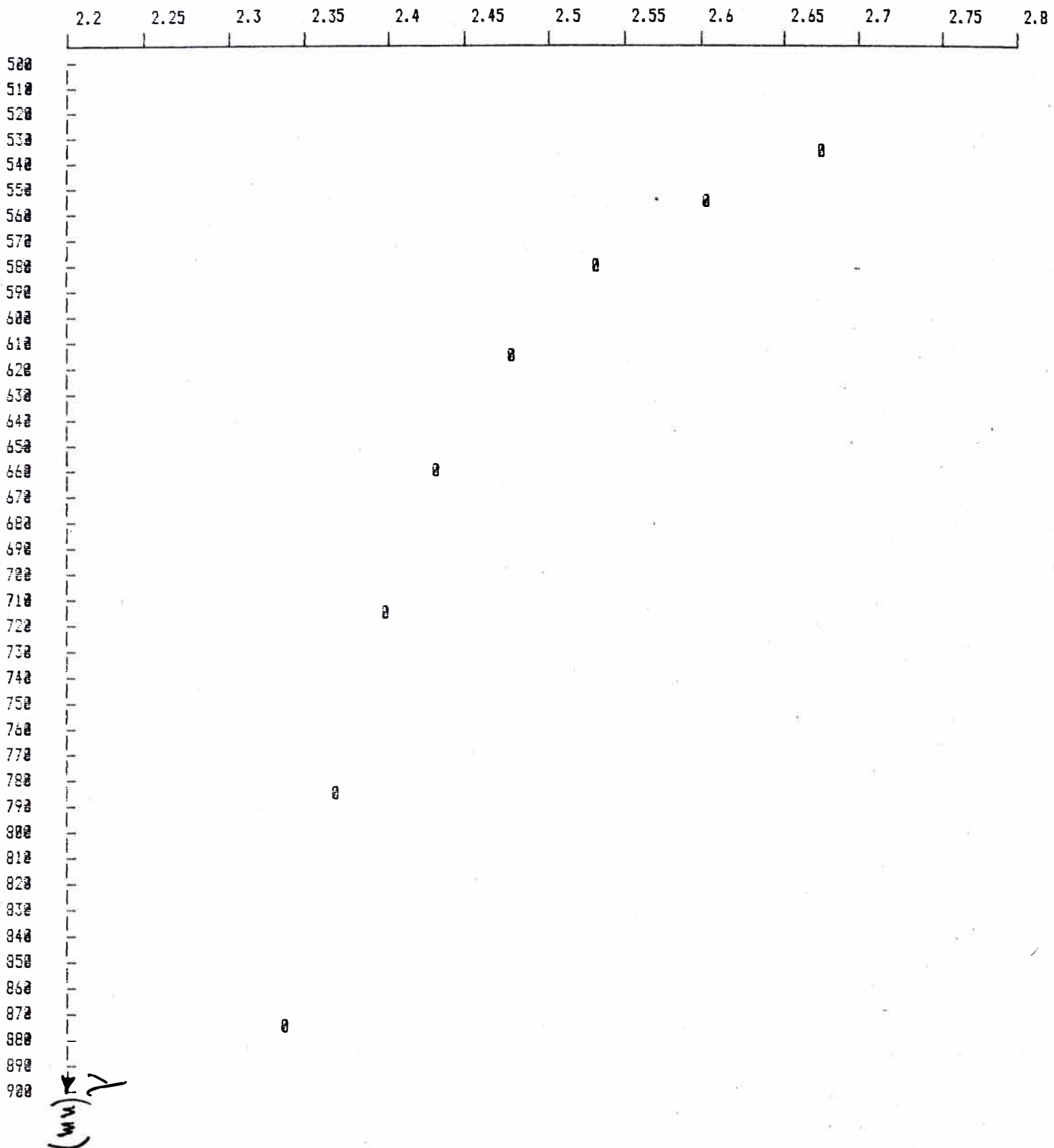
0

0

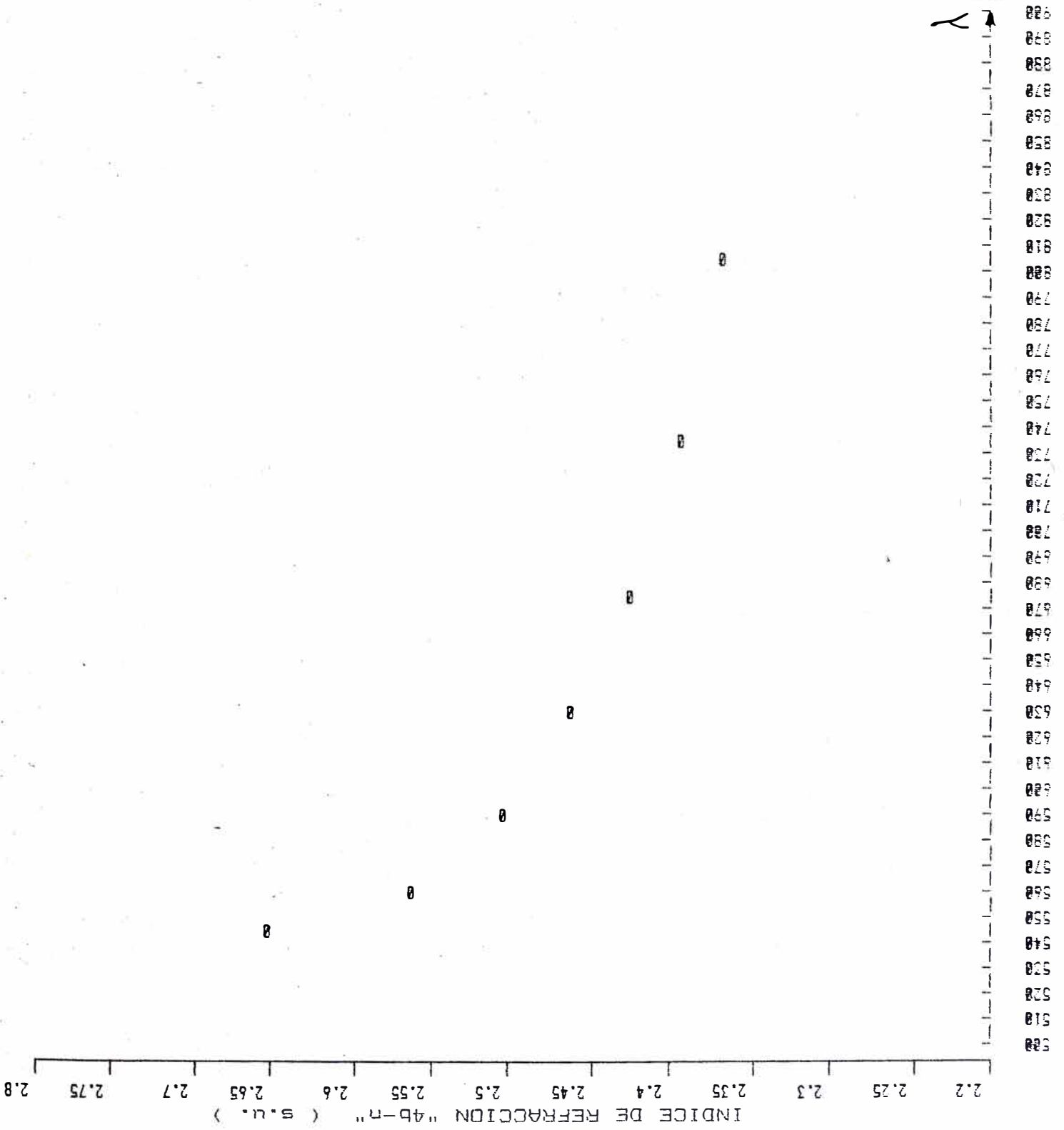
0



INDICE DE REFRACCION "4b-r" (s.u.)



λ (mm)



INDICE DE REFRACCION "2-n" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

λ
(mm)

0

0

0

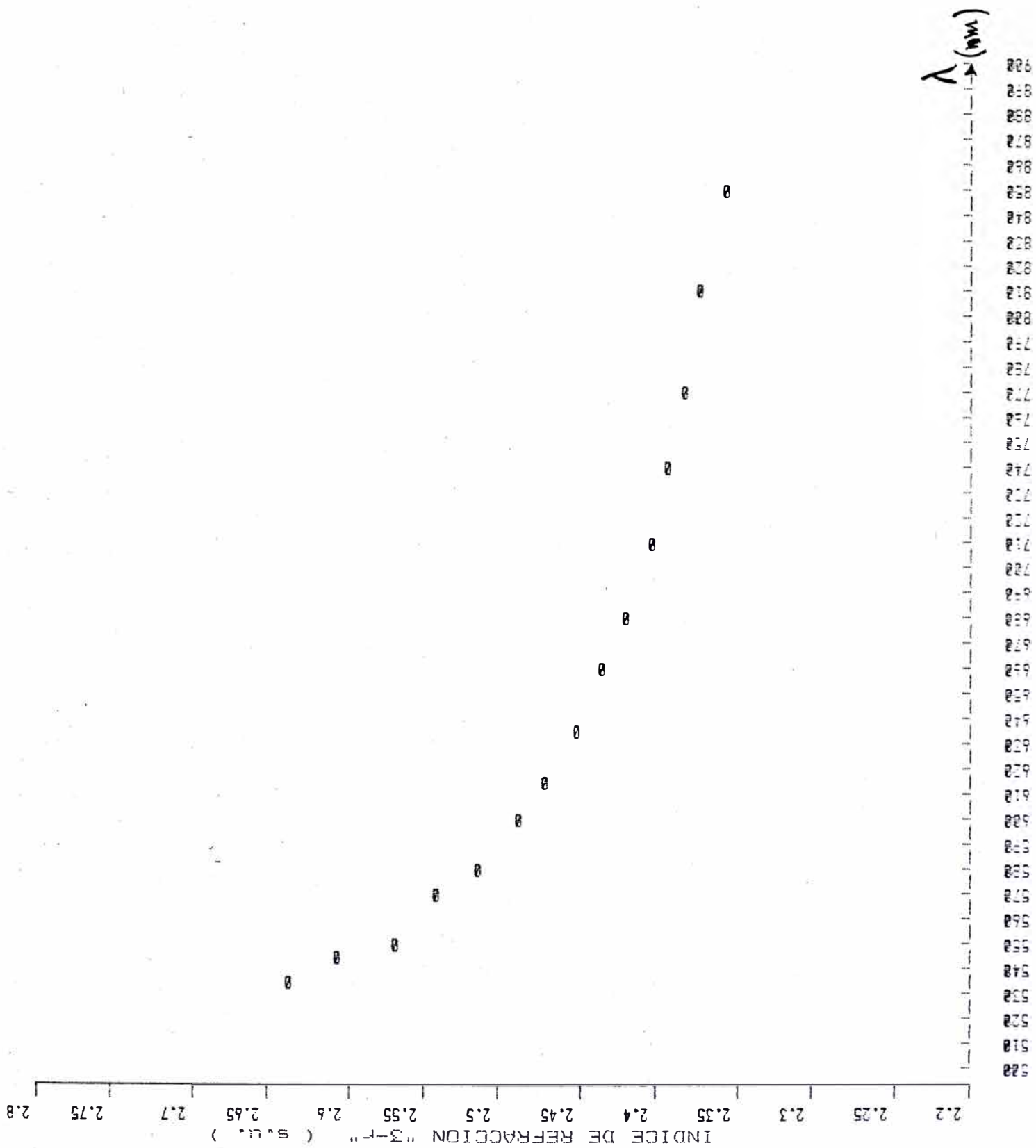
0

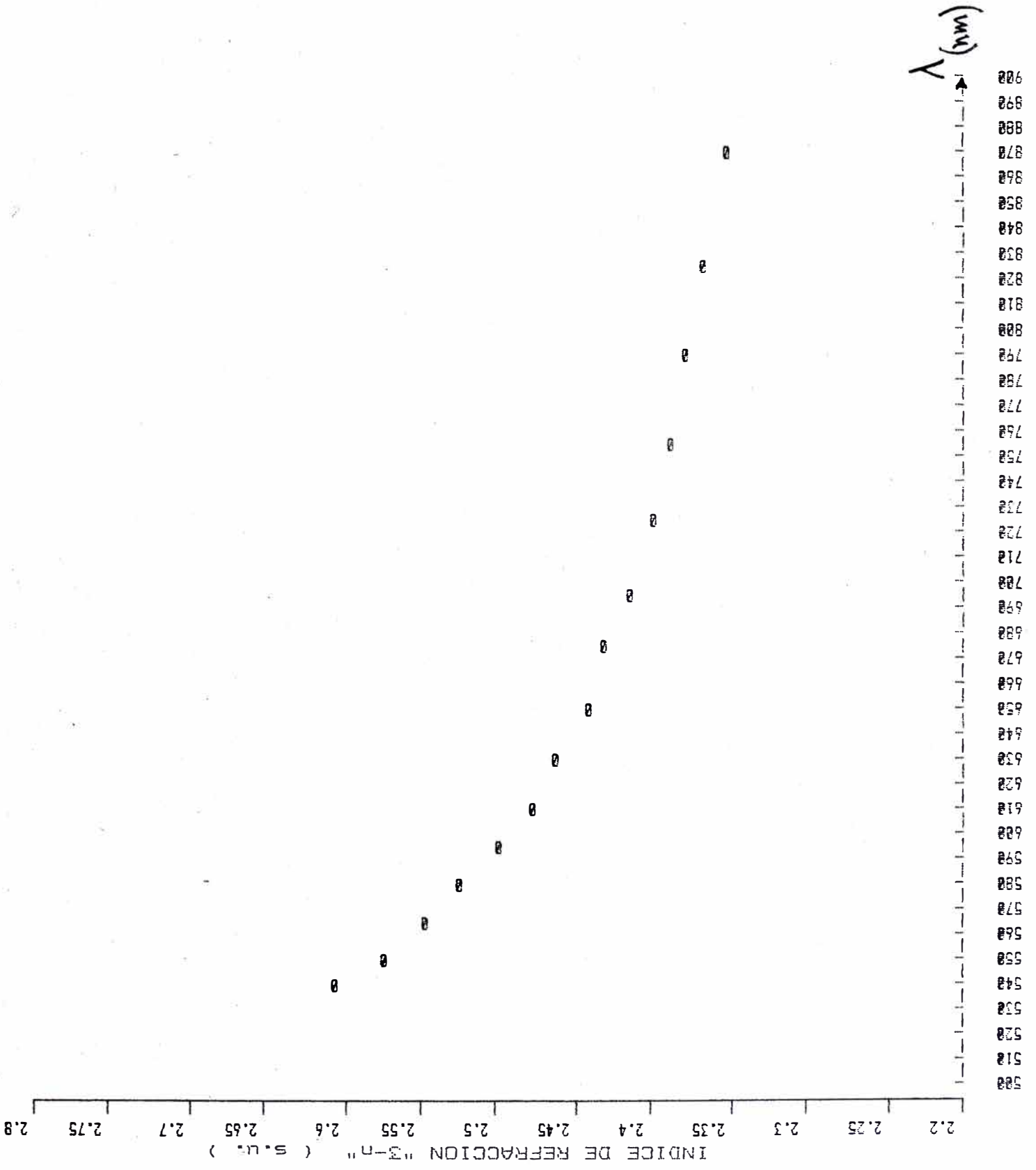
0

0

0

0





INDICE DE REFRACION "1b-n" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

(mm) γ

INDICE DE REFRACCION "1b-r" (s.u.)

2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8

500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900

λ
(mm)

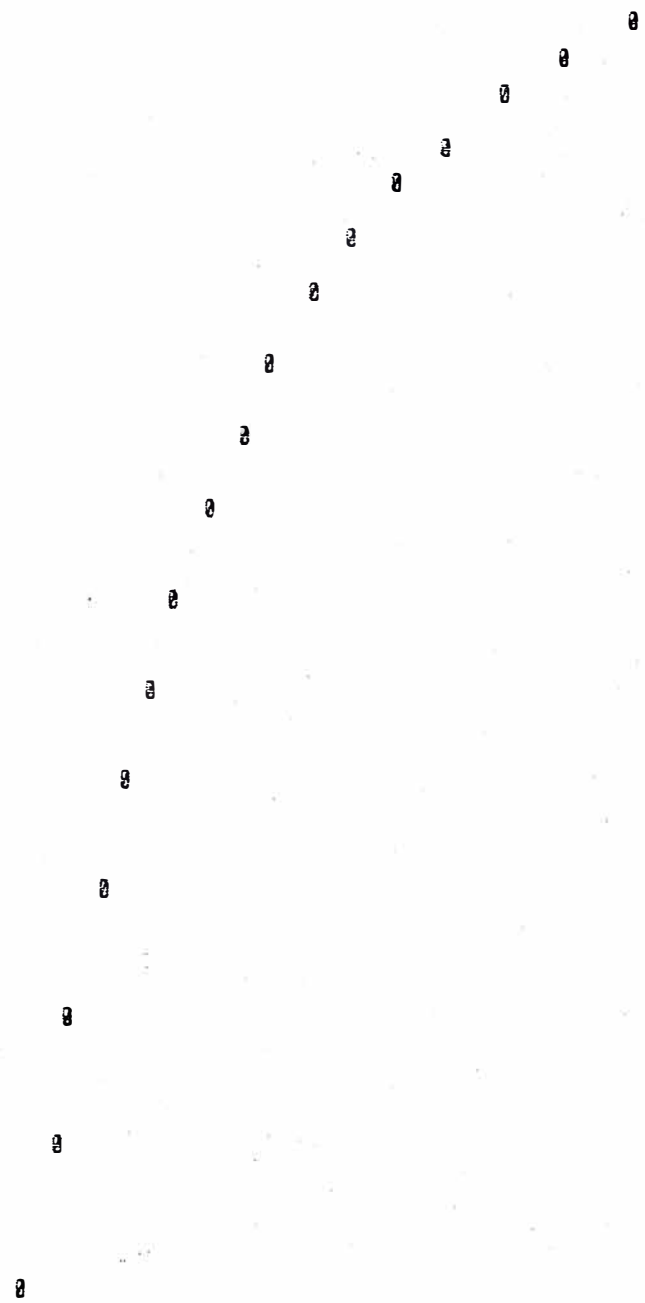


tabla : " n^2 vs $1/(\lambda^2 - 0.14443)$ "

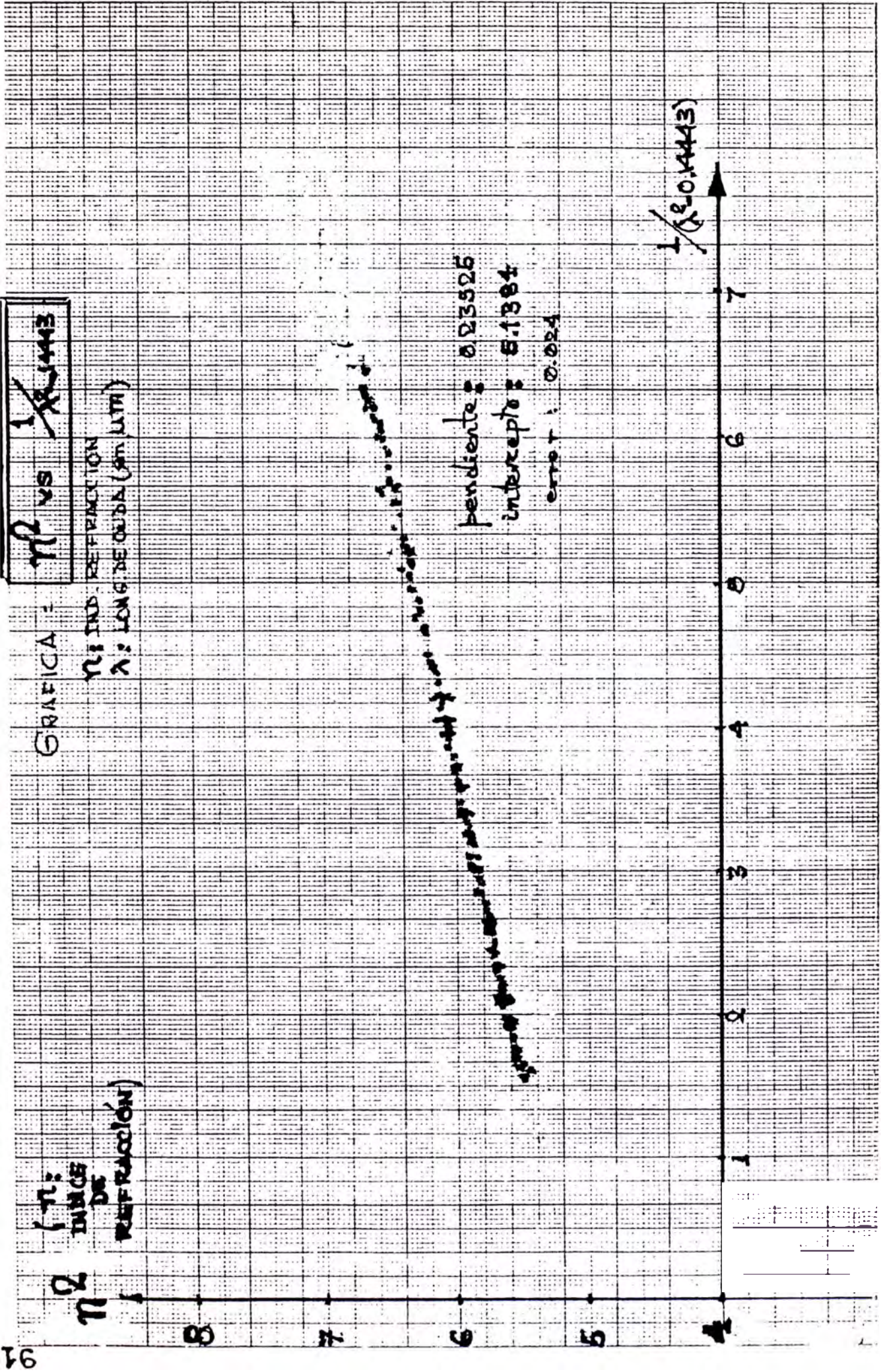
(n y λ se tomaron de tablas: "INDICE de REFRACCION")

"1-A"	"2-A"	"4-A"	"4-B"
(9.70,5.54)	(1.57,5.49)	(1.72,5.57)	(1.71,5.57)
(2.33,5.67)	(1.89,5.58)	(1.90,5.63)	(1.90,5.62)
(3.09,5.85)	(2.24,5.68)	(2.11,5.67)	(2.11,5.67)
(4.02,6.07)	(2.64,5.76)	(2.34,5.71)	(2.33,5.72)
(5.15,6.33)	(3.09,5.87)	(2.34,5.71)	(2.58,5.75)
(6.46,6.45)	(3.60,5.98)	(2.84,5.83)	(2.84,5.82)
(7.81,7.10)	(4.17,6.10)	(3.11,5.90)	(3.11,5.89)
.	(4.80,6.24)	(3.40,5.96)	(3.40,5.95)
.	(5.47,6.41)	(3.72,6.03)	(3.72,6.02)
.	(6.20,6.61)	(4.06,6.10)	(4.06,6.09)
.	(6.95,6.84)	(4.42,6.18)	(4.42,6.17)
.	(7.68,7.12)	(4.82,6.25)	(4.80,6.42)
.		(5.22,6.35)	(5.21,6.49)
.		(5.64,6.44)	(5.64,6.59)
"3-B"	"3-A"	(6.09,6.56)	(6.07,6.68)
(1.68,5.56)	(1.78,5.57)	(6.55,6.68)	(6.51,6.78)
(1.82,5.59)	(1.93,5.60)	(6.97,6.83)	(6.97,6.88)
(1.97,5.63)	(2.09,5.63)	(7.44,6.98)	(7.40,7.00)
(2.13,5.66)	(2.25,5.67)		
(2.29,5.71)	(2.42,5.70)	"1 a-n"	"1 a-r"
(2.46,5.75)	(2.59,5.75)	(2.56,5.72)	(2.08,5.59)
(2.64,5.79)	(2.78,5.79)	(4.40,6.17)	(3.58,5.92)
(2.84,5.83)	(2.99,5.82)	(6.92,6.94)	(7.88,7.43)
(3.04,5.88)	(3.19,5.89)		
(3.26,5.92)	(3.40,5.94)	"4 a-r"	"4 a-n"
(3.48,5.97)	(3.63,5.99)	(1.63,5.52)	(1.53,5.50)
(3.72,6.03)	(3.86,6.06)	(2.33,5.69)	(2.19,5.66)
(3.92,6.09)	(4.13,6.11)	(3.23,5.89)	(3.02,5.84)
(4.21,6.15)	(4.39,6.16)	(4.37,6.13)	(4.06,6.07)
(4.49,6.21)	(4.67,6.23)	(5.68,6.49)	(5.31,6.38)
(4.74,6.30)	(4.94,6.31)	(7.11,6.99)	(6.67,6.83)
(5.06,6.35)	(5.24,6.37)		
(5.38,6.42)	(5.57,6.44)	"4 b-r"	"4 b-n"
(5.69,6.49)	(5.90,6.50)	(1.61,5.44)	(1.96,5.59)
(6.00,6.59)	(6.22,6.60)	(2.09,5.59)	(2.52,5.71)
(6.33,6.68)	(6.56,6.69)	(2.68,5.74)	(3.17,5.86)
(6.68,6.78)	(6.87,6.80)	(4.19,6.12)	(4.83,6.27)
(6.99,6.88)	(7.22,6.91)	(5.09,6.40)	(5.60,6.55)
(7.32,7.00)		(6.04,6.74)	(6.57,7.04)
.	"2-n"	(7.04,7.15)	.
"2-r"	(1.65,5.49)	.	.
(1.61,5.47)	(2.11,5.60)	.	.
(2.09,5.62)	(2.64,5.72)	.	.
(2.70,5.75)	(3.26,5.88)	.	.
(3.40,5.91)	(3.98,6.05)	.	.
(4.23,6.11)	(4.77,6.28)	.	.
(5.15,6.34)	(5.65,6.54)	.	.
(6.19,6.68)	(6.56,6.88)	.	.

tabla : n^2 vs $1/(2-0.14443)^2$

(n y λ se tomaron de tablas: "INDICE de REFRACCION")

"3-r"	"3-n"	"1 b-n"	"1 b-r"
(1.73,5.54)	(1.63,5.53)	(1.73,5.57)	(1.55,5.50)
(1.95,5.61)	(1.84,5.58)	(1.95,5.61)	(1.74,5.50)
(2.20,5.66)	(2.07,5.65)	(2.19,5.66)	(1.95,5.60)
(2.47,5.72)	(2.33,5.70)	(2.44,5.73)	(2.17,5.66)
(2.77,2.78)	(2.60,5.76)	(2.72,5.78)	(2.41,5.72)
(3.09,5.84)	(2.91,5.81)	(3.00,5.87)	(2.67,5.77)
(3.43,5.92)	(3.21,5.91)	(3.33,5.93)	(2.95,5.83)
(3.81,6.01)	(3.58,5.96)	(3.68,6.00)	(3.26,5.90)
(4.21,6.10)	(3.94,6.05)	(4.06,6.07)	(3.58,5.97)
(4.64,6.20)	(4.35,6.14)	(4.44,6.18)	(3.94,6.03)
(5.09,6.32)	(4.77,6.25)	(4.88,6.27)	(4.30,6.13)
(6.54,6.45)	(5.21,6.37)	(5.31,6.39)	(4.69,6.22)
(6.20,6.60)	(5.68,6.49)	(5.80,6.50)	(5.12,6.31)
(6.49,6.78)	(6.20,6.61)	(6.26,6.64)	(5.54,6.43)
(6.99,6.95)	(6.65,6.79)	(6.70,6.82)	(5.99,6.55)
.			(6.46,6.68)
.			(6.90,6.85)



A P E N D I C E I I

Tabla:Logaritmo de Transmitancia vs Espesor pelicula-I....	93
Graficas: $\ln(T_p)$ vs L -I.....	94
Tabla:Logaritmo de Transmitancia vs Espesor pelicula-II...	96
Graficas: $\ln(T_p)$ vs L -II.....	97

T_p : transmitancia promedio.
 L : espesor de película.

tabla : LOGARITMO DE LA TRANSMITANCIA vs ESPESOR DE PELICULA,
para 21 longitudes de onda

B L O Q U E I

ES ES $\lambda(\mu m)$	"1-A"	"2-A"	"4-A"	"4-B"	"3-B"	"5-A"
	1.27	2.26	3.80	3.80	5.11	5.16.
0.500	-3.612	-5.809	-	-	-	-
0.503	-3.158	-5.195	-6.215	-	-6.215	-6.908
0.505	-2.765	-5.116	-6.075	-	-6.120	-6.725
0.510	-2.104	-3.568	-5.382	-5.340	-5.952	-6.215
0.513	-1.852	-2.882	-4.017	-4.148	-5.404	-5.810
0.516	-1.635	-2.430	-3.507	-3.730	-4.605	-4.711
0.518	-1.439	-2.056	-2.882	-2.996	-3.772	-3.690
0.521	-1.334	-1.784	-2.364	-2.323	-2.765	-2.996
0.526	-1.097	-1.376	-1.715	-1.784	-2.067	-2.180
0.532	-0.911	-1.091	-1.427	-1.427	-1.640	-1.715
0.540	-0.678	-0.856	-1.064	-1.106	-1.266	-1.319
0.550	-0.555	-0.673	-0.846	-0.862	-0.992	-1.033
0.560	-0.454	-0.557	-0.693	-0.693	-0.801	-0.844
0.575	-0.365	-0.440	-0.548	-0.548	-0.635	-0.659
0.588	-0.312	-0.368	-0.462	-0.462	-0.536	-0.553
0.610	-0.261	-0.298	-0.373	-0.375	-0.443	-0.451
0.620	-0.243	-0.277	-0.344	-0.346	-0.404	-0.419
0.633	-0.227	-0.257	-0.315	-0.320	-0.371	-0.380
0.680	-0.190	-0.211	-0.252	-0.254	-0.287	-0.296
0.741	-0.174	-0.180	-0.207	-	-	-0.238
0.800	-0.164	-0.165	-0.186	-0.186	-0.186	-0.209

Logaritmo de la Transmancia [ln T] vs Espesor de Película [L]

BLOQUE I

T (en unidades)

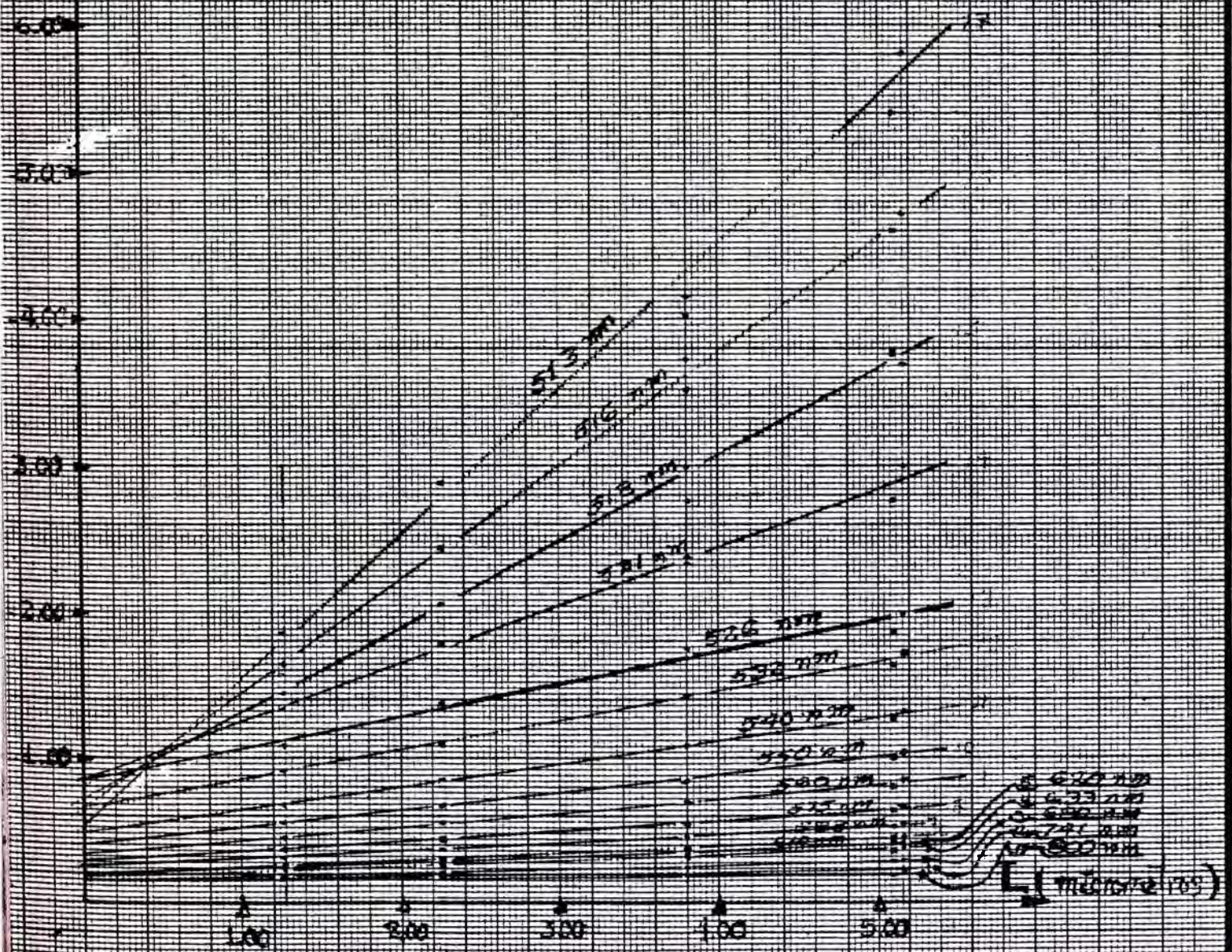


tabla: COEFICIENTE DE ABSORCION -CdS
 α (en cm^{-1})

BLOQUE I

λ (um)	α (cm^{-1})
0.800	110
0.741	160
0.680	312
0.633	380
0.620	440
0.610	450
0.588	620
0.575	735
0.560	950
0.550	1,155
0.540	1,520
0.532	1,985
0.526	2,640
0.521	3,960
0.518	5,800
0.516	7,950
0.513	9,580

tabla : LOGARITMO DE LA TRANSMITANCIA vs ESPESOR DE PELICULA para 13 longitudes de onda

BLOQUE II

Espejor	1a-n	1a-r	4a-r	5-r	5-n	3-r	3-n	1b-n	1b-r
$\lambda(\mu m)$	0.61 μm	0.67 μm	1.11 μm	1.12 μm	1.13 μm	3.25 μm	3.33 μm	3.42 μm	3.60 μm
.505	-2.703	-2.847	-4.423	-4.605	-4.605	-6.908	-6.215	-5.991	-6.215
.510	-2.080	-2.120	-3.507	-3.297	-3.297	-6.812	-6.119	-3.507	-5.991
.518	-1.427	-1.386	-2.207	-2.040	-2.040	-4.962	-4.828	-4.656	-4.791
.526	-0.976	-0.960	-1.470	-1.386	-1.347	-3.219	-2.996	-2.996	-
.538	-0.635	-0.635	-0.892	-0.868	-0.844	-1.897	-1.833	-1.833	-1.897
.556	-0.416	-0.386	-0.545	-0.548	-0.511	-1.050	-1.020	-1.030	-1.080
.575	-0.300	-0.290	-0.400	-0.370	-0.370	-0.730	-0.690	-0.690	-0.710
.595	-0.236	-0.236	-0.310	-0.290	-0.290	-0.530	-0.530	-0.530	-0.550
.625	-0.198	-0.196	-0.250	-0.240	-0.240	-0.420	-0.420	-0.420	-0.430
.667	-0.174	-0.174	-0.210	-0.198	-0.198	-0.340	-0.340	-0.340	-0.360
.714	-0.177	-0.163	-0.186	-0.186	-0.186	-0.300	-0.300	-0.300	-
.769	-0.160	-0.160	-0.174	-0.174	-0.174	-0.260	-0.260	-0.270	-0.270
.800	-0.160	-	-0.170	-0.170	-0.170	-0.250	-0.250	-0.260	-0.260

Logaritmo de la Transmisión vs Espesor de Polímero

BLOQUE II

AT^{1/2}

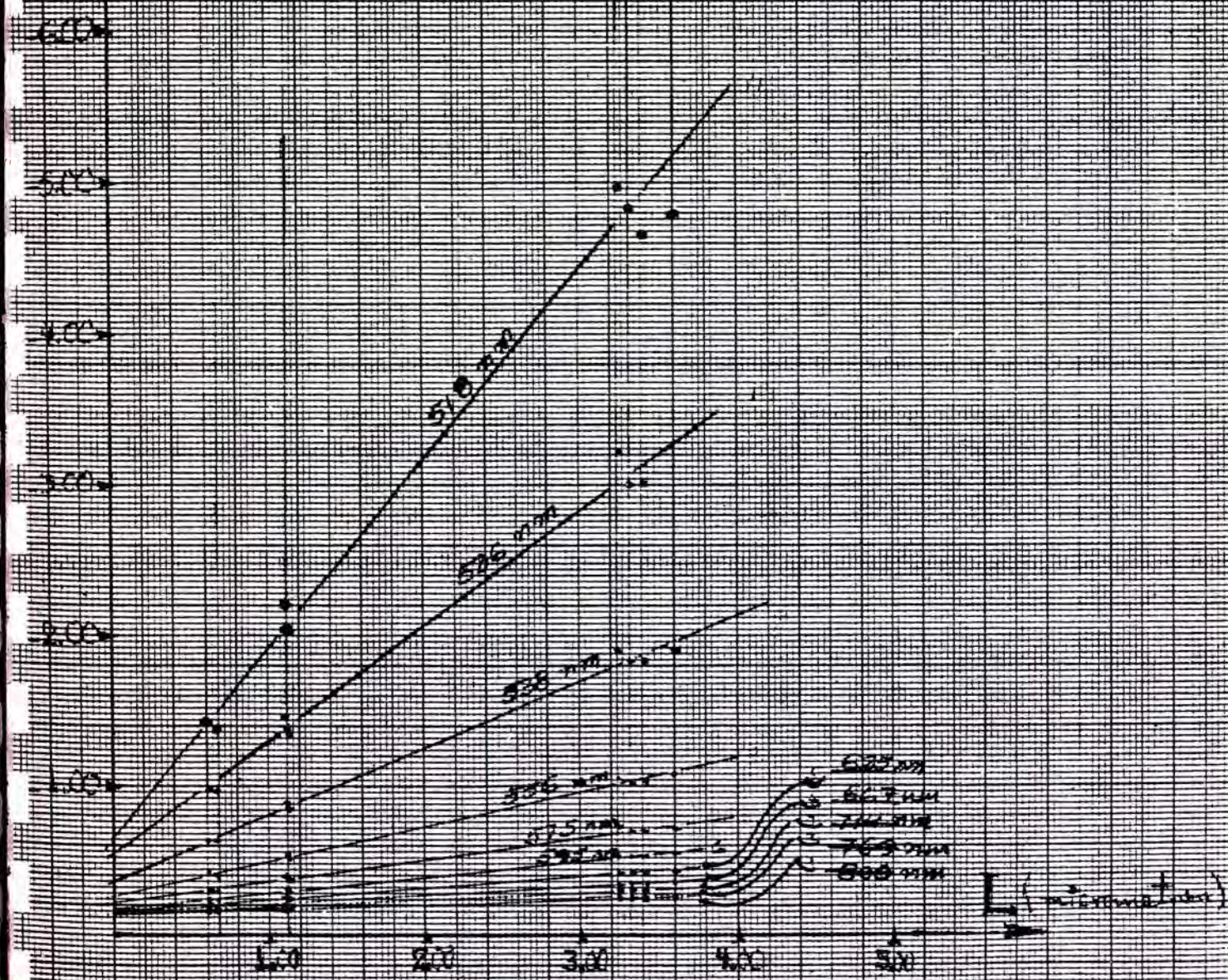


tabla: COEFICIENTE DE ABSORCION -CdS
 α (en cm^{-1})

BLOQUE II

λ (μm)	α (cm^{-1})
0.800	360
0.769	400
0.714	480
0.667	620
0.625	800
0.595	1050
0.575	1450
0.556	2300
0.538	4330
0.526	7600
0.518	10530

A P E N D I C E I I I

Tablas :	E vs λ ; (α) , (αE) , $(\alpha E)^{1/2}$ y $(\alpha E)^{2/3}$ vs E	100
	(BLOQUES I y II)	
Tablas :	INDICE de ATENUACION vs LONG. de ONDA.....	101
	(BLOQUES I y II)	
Graficas :	"k vs λ ".....	102
	(BLOQUES I y II)	

tabla : E vs λ , $\alpha(E)$, $(\alpha E)^{1/2}$, $(\alpha E)^{2/3}$ vs E

BLOQUE I

$\lambda(\mu\text{m})$	E (eV)	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$\alpha(E)$	$(\alpha E)^{1/2}$	$(\alpha E)^{2/3}$
0.800	1.55	100	155	12.45	28.6
0.740	1.68	150	251	15.86	39.8
0.680	1.82	250	455	21.33	59.2
0.620	2.00	440	880	29.66	91.8
0.588	2.11	600	1265	35.57	117.0
0.550	2.25	1180	2655	51.53	191.7
0.540	2.30	1550	3559	59.66	233.1
0.531	2.34	2000	4670	68.34	279.4
0.526	2.36	2640	6223	78.88	338.3
0.521	2.38	3940	9377	96.84	444.7
0.518	2.38	5900	14101	118.75	583.7
0.516	2.40	7820	18768	137.00	706.2
0.514	2.41	9540	22999	151.63	808.6

BLOQUE II

$\lambda(\mu\text{m})$	E (eV)	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$\alpha(E)$	$(\alpha E)^{1/2}$	$(\alpha E)^{2/3}$
0.800	1.55	360	558	23.62	67.8
0.770	1.61	390	628	25.06	73.3
0.714	1.74	450	782	27.96	84.8
0.557	1.86	620	1153	33.95	109.9
0.625	1.98	800	1587	39.84	136.1
0.590	2.10	1050	2207	46.98	169.5
0.574	2.16	1450	3132	55.96	214.1
0.556	2.23	2280	5084	71.31	295.7
0.539	2.30	4340	9982	99.91	463.6
0.527	2.35	7600	17883	133.73	683.8
0.520	2.38	11000	26228	162.00	883.0

Tabla : INDICE de ATENUACION vs LONG. de ONDA
 (k) (λ)

BLOQUE I

$\lambda(\mu m)$	$\alpha(cm^{-1})$	k
0.510	10,000	0.041
0.520	4,000	0.017
0.560	1,000	0.004
0.900	100	0.001

Tabla : INDICE de ATENUACION vs LONG. de ONDA
 (k) (λ)

BLOQUE II

$\lambda(\mu m)$	$\alpha(cm^{-1})$	k
0.520	11,000	0.046
0.530	6,400	0.027
0.550	2,600	0.011
0.580	1,300	0.006
0.600	1,000	0.005
0.900	300	0.002

INDICE DE ATENUACION - C/S

