

La Serie Universitaria de la Fundación Juan March presenta resúmenes, realizados por el propio autor, de algunos estudios e investigaciones llevados a cabo por los becarios de la Fundación y aprobados por los Asesores Secretarios de los distintos Departamentos.

El texto íntegro de las Memorias correspondientes se encuentra en la Biblioteca de la Fundación (Castello, 77. Madrid-6).

La lista completa de los trabajos aprobados se presenta, en forma de fichas, en los Cuadernos Bibliográficos que publica la Fundación Juan March.

Estos trabajos abarcan las siguientes especialidades: Arquitectura y Urbanismo; Artes Plásticas; Biología; Ciencias Agrarias; Ciencias Sociales; Comunicación Social; Derecho; Economía; Filosofía; Física; Geología; Historia; Ingeniería; Literatura y Filología; Matemáticas; Medicina, Farmacia y Veterinaria; Música; Química; Teología. A ellas corresponden los colores de la cubierta.

Edición no venal de 300 ejemplares, que se repartió gratuitamente a investigadores, Bibliotecas y Centros especializados de toda España.

Este trabajo fue realizado con una Beca de España, 1975, individual. Departamento de Física. Centro de trabajo: Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense. Madrid.

Fundación Juan March



BIBLIOTECA FJM

FJM-Uni 59-Afo  
Efectos magneto-ópticos de simetría p  
Afonso Rodríguez, Carmen Nieves.  
1031631



Biblioteca FJM

Fundación Juan March (Madrid)

SERIE UNIVERSITARIA



Fundación Juan March

# Efectos magneto-ópticos de simetría par en metales ferromagnéticos

Carmen Nieves Afonso Rodríguez

FJM  
Uni-  
59  
Afo  
59

Efectos magneto-ópticos de simetría par en metales ferromagnéticos/Carmen Nieves Afonso Rodríguez



Fundación Juan March  
Serie Universitaria

59

# Efectos magneto-ópticos de simetría par en metales ferromagnéticos

Carmen Nieves Afonso Rodríguez



Fundación Juan March  
Castelló, 77. Teléf. 225 44 55  
Madrid - 6

*La Fundación Juan March no se solidariza  
necesariamente con las opiniones de los  
autores cuyas obras publica.*

Depósito Legal: M - 18907 - 1978

I.S.B.N. 7075 - 089 - 5

Ibérica, Tarragona, 34.—Madrid-7

## I N D I C E

|  | Página |
|--|--------|
| I.— INTRODUCCION . . . . .   | 1      |
| II.— METODO DE MEDIDA . . . . .  | 6      |
| 2.1. Introducción . . . . .  | 6      |
| 2.2. Dispositivo experimental . . . . .  | 9      |
| III.— MUESTRAS FERROMAGNETICAS . . . . .   | 13     |
| 3.1. Películas policristalinas . . . . .   | 13     |
| 3.2. Muestras amorfas . . . . .  | 14     |
| 3.3. Películas monocristalinas de Ni . . . . .   | 16     |
| IV.— RESULTADOS EXPERIMENTALES . . . . .   | 19     |
| 4.1. Muestras policristalinas . . . . .  | 19     |
| 4.2. Muestras amorfas . . . . .  | 26     |
| 4.3. Conclusiones . . . . .  | 34     |
| V.— ESTUDIO DE LOS EFECTOS M-O PARES EN LAMINAS<br>MONOCRISTALINAS DE Ni . . . . .           | 35     |
| 5.1. Planteamiento del problema . . . . .  | 35     |
| 5.2. Análisis del efecto m-o par en transmisión, usando el nuevo sistema de medida . . . . . | 38     |
| 5.3. Efectos m-o impares en la configuración de Voigt . . . . .                              | 44     |
| 5.4. Conclusiones . . . . .  | 46     |
| BIBLIOGRAFIA . . . . .   | 49     |



## I INTRODUCCION.-

Las propiedades ópticas de los metales de dependen fundamentalmente de los electrones de las capas incompletas. La corriente que se induce en el metal por una radiación electromagnética incidente se calcula en la teoría microscópica cuántica, a partir de las transiciones electrónicas intrabanda e interbanda excitadas por la radiación. En un metal ferromagnético, las propiedades ópticas dependen además de la imanación, dando lugar a una serie de efectos magneto-ópticos, que aunque no todos son exclusivos de los ferromagnéticos, si adquieren en ellos características especiales. La explicación de estos efectos m-o debe buscarse en la interacción de la imanación o spin de los electrones, con la corriente o movimiento forzado por el campo eléctrico de la onda electromagnética incidente.

En la teoría fenomenológica de los efectos m-o (1), la aplicación de un campo magnético en una dirección determinada, equivale a la aparición en el medio (suponemos isótropo) de una anisotropía uniaxial inducida. Esta se describe considerando que la permitividad dieléctrica  $\epsilon$  del medio es un tensor simétrico que se escribe, suponiendo que la imanación es paralela al eje Z:

$$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_1 & -i\epsilon_2 & 0 \\ i\epsilon_2 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_0 \end{pmatrix}$$

donde:  $\epsilon_1 = \epsilon_1^r - i\epsilon_1^i = (n^*)^2$ ;  $\epsilon_2 = \epsilon_2^r - i\epsilon_2^i$ ;  $n^* = n - ik$

Los elementos no diagonales del tensor, responsables de los efectos m-o, son proporcionales a la imanación macroscópica del medio, cambian de signo al cambiar ésta y sus partes real e imaginaria correspondientes a la imanación de saturación se llaman constantes m-o (a veces se introduce el parámetro m-o complejo Q, de forma que  $\epsilon_2 = \epsilon_1 Q$ ).

La influencia de la imanación en los elementos diagonales, según la teoría fenomenológica, es de segundo orden:

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 (1 + fQ^2)$$

donde f sería un nuevo parámetro m-o complejo. Esta contribución suele despreciarse por ser  $|Q| \ll 1$ .

Los efectos m-o dependen, entre otros parámetros del ángulo de incidencia de la luz. En incidencia normal y cuando la imanación de la muestra está en el plano de la película, los efectos m-o proporcionales a la imanación (llamados de 1<sup>er</sup> orden) se anulan y se ven sustituidos por unos efectos m-o menores proporcionales al cuadrado de la imanación y por tanto de simetría par respecto a ella.

En (3) se da cuenta de la 1<sup>a</sup> observación experimental de una modulación de simetría par en la intensidad de la luz transmitida por películas delgadas de Fe, Co y permalloy, y cuando luz linealmente polarizada ( $\lambda=0.95\pm 0.15\mu\text{m}$ ) incidía normalmente sobre ellas; este efecto se intentó explicar como una birrefringencia magnética. Posteriormente (4) observan también este efecto en la luz transmitida por una película delgada de Fe y para una longitud de onda de  $0.635\mu\text{m}$ ; estos autores y (5) desarrollan una teoría clásica partiendo de la hipótesis de la teoría fenomenológica que introduce el segundo parámetro  $m$ -o  $f$ , como coeficiente de la dependencia de los términos diagonales del tensor de permitividad en la imantación.

Los trabajos teóricos (6) predicen la existencia de efectos  $m$ -o de simetría par y en particular, en la configuración de Voigt, una elipticidad de la luz transmitida y una rotación del eje mayor respecto de la dirección de la polarización incidente. Este trabajo extiende la teoría del acoplamiento spin-órbita desarrollada en primer orden por (7) a un segundo orden en el cual incluye los efectos de anisotropía que aparecen en cristales cúbicos.

Recientemente (8) mide detalladamente la dispersión del efecto par en transmisión, al que con-

sideran una birrefringencia magnética lineal; partiendo de la teoría fenomenológica de (9) calculan una conductividad óptica efectiva que depende cuadráticamente de la imanación.

Los primeros trabajos publicados, sobre la existencia de estos efectos m-o de simetría par en la luz reflejada, son los de (10-13). Estudian la modulación que se produce en la luz reflejada por discos monocristalinos de Fe, Co y Ni, cuando luz linealmente polarizada incide sobre su superficie, estando la muestra imanada en su plano; también llevan a cabo medidas en policristales, como un promedio de lo que ocurre en las tres direcciones cristalográficas. Se observa un efecto fuertemente dependiente de las direcciones cristalográficas e interpretado a la vista de la influencia anisótropa de la orientación del vector imanación en la estructura de bandas del metal ferromagnético a través de la interacción spin-órbita.

En el presente trabajo nos hemos propuesto clarificar el origen de los efectos m-ò pares en los metales ferromagnéticos, analizando la posible contribución que la anisotropía cristalina pudiera tener en ellos. Para ello nos hemos propuesto en primer lugar el diseño y puesta a punto de una instalación de medida de los efectos m-o de simetría par en la configuración de Voigt. Se han realizado medidas detalladas de la dispersión de

estos efectos en películas delgadas policristalinas de Fe, Co y Ni y de distintos espesores; las medidas se han hecho en la luz transmitida y reflejada por las muestras, comparando asía ambos efectos.

Con el fin de separar la posible contribución de la anisotropía cristalina en estos efectos, se decidió llevar a cabo medidas en materiales ferromagnéticos amorfos. Se hizo un primer ensayo con una aleación amorfa comercial (Metglass 2826) encontrando un efecto par no nulo en la luz reflejada; dada la imposibilidad de poder preparar láminas delgadas de los metales ferromagnéticos estables en la fase amorfa a temperatura ambiente, se ópto por estudiar con cierto detalle estos efectos en una aleación amorfa Fe-Si, cuyos resultados se han revelado muy interesantes. Finalmente nos proponemos cerrar este estudio con la medida de estos efectos en muestras monocristalinas de Ni, analizando el comportamiento del efecto según las distintas direcciones cristalográficas.

## II METODO DE MEDIDA.-

### 2.1 Introducción.-

El método de medida usado se basa en el carácter par de los efectos m-o, que hace que no cambien de signo al cambiar el del campo; podemos deducir entonces que en ellos solo intervienen procesos de imanación debidos a rotaciones. Si consideramos una película ferromagnética uniáxica ideal cuyo ciclo de histeresis en la dirección difícil de imanación (ED) sea el de la fig.1 y hacemos incidir luz linealmente polarizada de forma que el vector  $\vec{E}$  de la radiación incidente sea paralelo al ED, al aplicar un campo magnético alterno  $H$  paralelo a  $\vec{E}$ , la intensidad de la luz transmitida en función del campo aplicado variaría de acuerdo con la fig.2(a); en el caso real en que los ciclos presentan histeresis, con un campo coercitivo  $H_c$  distinto de cero, la señal que detectaríamos tendría la forma de la fig.2(b).

Llamemos  $T_{\parallel}$  a la intensidad de la luz transmitida por nuestra muestra cuando la imanación es paralela al vector  $\vec{E}$  de la radiación incidente y  $T_{\perp}$  cuando es perpendicular. En la zona 1 del ciclo todos los spines están paralelos al campo aplicado con lo que tendremos una señal correspondiente a  $T_{\parallel}$ ; a medida que disminuimos el campo a-

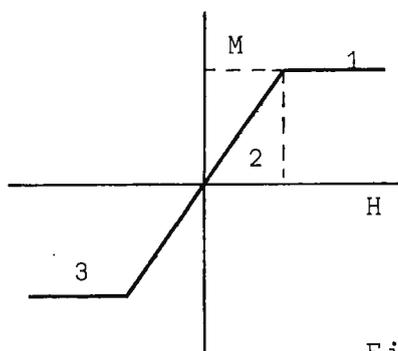
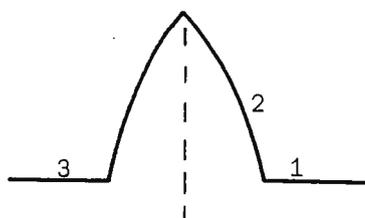
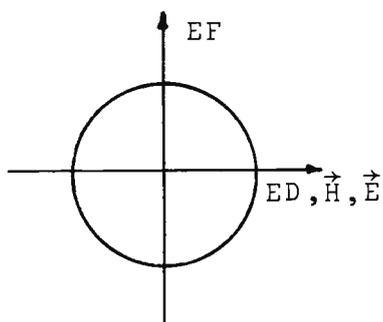
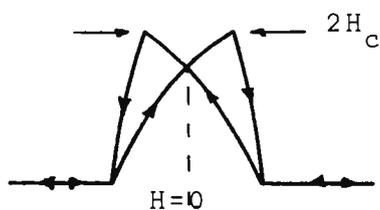


Fig. 1



(b)

Fig. 2



(a)

plicado y para campos menores que el de anisotropía, los spines comienzan a girar dando lugar a una variación en la luz transmitida que tendrá un máximo (o mínimo) para campo cero y que correspondería a que todos los spines estuviesen paralelos al eje fácil (EF) y por tanto perpendiculares a  $\vec{E}$ , con lo que la luz transmitida sería  $T_{\perp}$ . Al aumentar el campo en sentido opuesto, la señal varía de nuevo hasta alcanzar el valor  $T_{\parallel}$ , cuando hayamos saturado la muestra en sentido opuesto. La interpretación de la fig. 2(b) que correspondería

a un caso general en que hubiese una cierta histeresis sería análoga; ahora tenemos dos picos máximos (mínimos) cuya separación es  $2H_c$  como consecuencia de la histeresis y la intensidad transmitida a campo cero ya no es  $T_{\perp}$ , ya que al no existir una anisotropía uniáxica ideal, no todos los spines estarán perpendiculares a  $\vec{E}$  cuando sea cero el campo magnético aplicado. (3) usaron este método para medir  $T_{\parallel}-T_{\perp}$ , como la altura de la señal de la fig.2; sin embargo en películas no uniáxicas, la amplitud del ciclo ( $\Delta T, H$ ) no sería la del efecto ( $T_{\parallel}-T_{\perp}$ ).

Hemos desarrollado un sistema experimental de medida parecido al propuesto por (14) y que recientemente ha usado (8) en sus medidas. La idea consiste en, fijada la polarización de la luz incidente, rotamos la imanación de la muestra mediante la aplicación de un campo magnético rotatorio con lo que conseguimos que la imanación de la muestra pase de estar paralela a estar perpendicular al vector eléctrico  $\vec{E}$ , dos veces en cada ciclo; de esta forma tendremos que la luz transmitida por la muestra está modulada por una señal sinusoidal de frecuencia doble de la del campo magnético aplicado y cuyo valor pico a pico será proporcional a  $T_{\parallel}-T_{\perp}$ . Esta señal sinusoidal será una pequeña fracción de la luz total transmitida por la película; el cociente  $T_{\parallel}-T_{\perp}/T$ , siendo  $T$

la luz transmitida por la película ferromagnética en ausencia de campo magnético aplicado, nos da la modulación de la luz transmitida.

## 2.2 Dispositivo experimental (fig.3).-

Campo magnético: El campo magnético rotatorio se ha conseguido con dos pares de carretes de Hemholtz cruzados de forma que los campos que producen sean perpendiculares. Se alimentan con corrientes sinusoidales (17 cc) desfasadas  $\pi/2$ ; el campo máximo que podíamos aplicar por este sistema ha sido de unos 150 Oe, suficiente para saturar las muestras en el plano de la película. Las señales que provienen de un generador, habiendo desfasado una de ellas  $\pi/2$ , se llevan a sendos amplificadores de potencia y con su salida se alimentan los carretes Hemholtz.

Sistema óptico: Como fuente luminosa se ha usado una lámpara de wolframio y para algunas medidas en UV, una lámpara de Xenon con bulbo de cuarzo. Se ha usado un monocromador Jarrel-Asch de rango espectral 1.0-0.23 $\mu$ m y cuya resolución es de 50-70 Å en función de la apertura usada; también se utilizaron filtros interferenciales de la casa Balzers. Como detectores se emplearon dos fotomultiplicadores cuya respuesta espectral empalmaba a 0.6 $\mu$ m y un fotodiodo. Se tuvo cuidado de pantallar los tubos fotomultiplicadores de los cam-

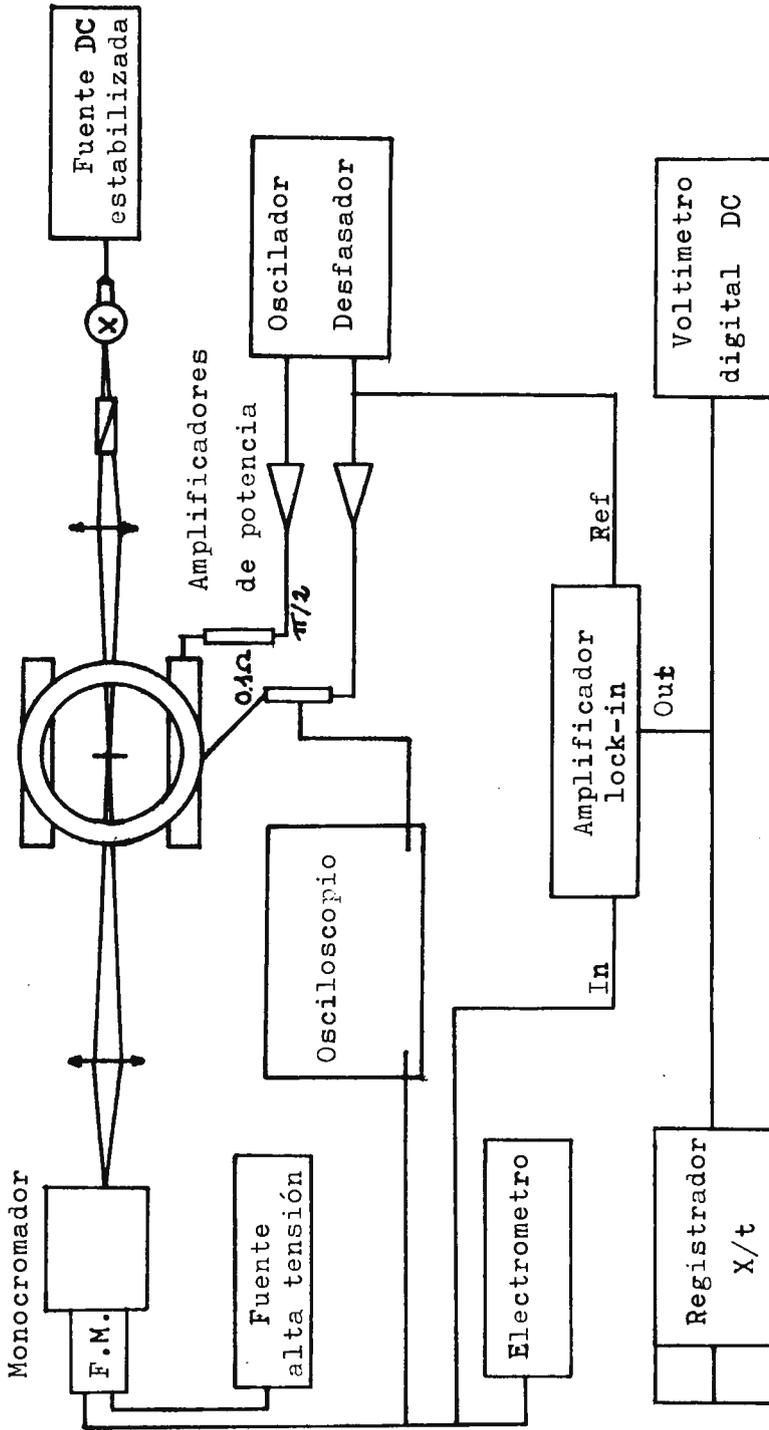


Fig. 3

pos magnéticos de dispersión que pudiesen enmascarar los resultados.

Todo el sistema óptico se ha diseñado cuidadosamente con el fin de evitar vibraciones que puedan estar en fase con la señal a medir. Se ha construido un banco óptico con dos brazos que giran en torno al eje en que se sitúa la muestra y montados sobre un semicírculo graduado de 30 cm de radio. Los carretes Hemholtz están colgados, aislados totalmente del sistema óptico y pueden girar respecto al eje en que se sitúa la muestra. Los materiales usados en el sistema óptico no son ferromagnéticos y los que están próximos a la zona donde el campo es intenso no son metálicos, con el fin de evitar las posibles vibraciones inducidas. No obstante se procedió a medir el efecto residual de las vibraciones en la luz reflejada por un espejo de aluminio, resultando ser de  $\Delta I/I = 5 \times 10^{-7}$  lo que nos da una idea de la sensibilidad del dispositivo experimental y nos garantiza que en el orden de magnitud en que trabajaremos, el efecto de las vibraciones es despreciable

Dispositivo de detección: La determinación de la variación de la intensidad de luz reflejada o transmitida al girar la imanación se hizo midiendo las variaciones correspondientes en la tensión de salida del fotodetector,  $\Delta I/I$  donde  $\Delta I$  es la variación de la intensidad de luz transmitida o re-

flejada por la muestra cuando la intensidad incidente es  $I$ . La señal alterna  $\Delta I$ , que es sinusoidal y de frecuencia doble de la del campo magnético aplicado, la medimos con un detector en fase, sintonizando el segundo armónico de la señal de referencia que es proporcional al campo aplicado.

El artificio descrito no nos permite conocer cual es el signo absoluto del efecto; esto se hizo observando la señal en el osciloscopio con luz blanca y siguiendo el razonamiento explicado en la introducción sobre la forma de los ciclos  $(\Delta I, H)$ .

### III MUESTRAS FERROMAGNETICAS(\*).-

Se han analizado basicamente tres tipos de muestras ferromagnéticas: películas delgadas policristalinas de Fe, Co y Ni, muestras amorfas (películas delgadas de FeSi y una cinta comercial de Metglass 2826) y películas monocristalinas epitaxiadas de Ni.

#### 3.1 Películas policristalinas.-

Estas muestras se han preparado sobre sustratos de vidrio a temperatura ambiente y en su mayoría, por evaporación en vacío ( $1 \times 10^{-6}$  torr) y usando como evaporador un filamento trenzado de wolframio. Dos muestras de Ni (500 y 250 Å) se obtuvieron en un sistema de pulverización catódica tipo triodo, en una atmósfera de Ar ultrapuro de  $2 \times 10^{-4}$  torr. Una muestra de Co (600 Å) se preparó en un sistema de UAV con presión residual de  $6 \times 10^{-11}$  torr y usando como evaporador un cañón de electrones. Los espesores se han medido de

---

(\*) Quiero agradecer a la Dirección del Instituto de Física de Materiales del CIF "Torres Quevedo", las facilidades que me ha dado para la utilización de las instalaciones de vacío y difracción de dicho Instituto, así como a todos los miembros del grupo de Lámina Delgada por su colaboración.

forma aproximada durante la evaporación con un oscilador de cuarzo; posteriormente se determinaron de forma más exacta usando un microscopio interferométrico de Tolanski.

### 3.2 Muestras amorfas.-

El primer tipo de material amorfo usado (Metglass 2826) es una aleación comercial en forma de cinta de 1.2 mm de ancho y 0.05 mm de espesor:  $\text{Fe}_{46}\text{Ni}_{40}\text{P}_{16}\text{B}_6$ . Con el fin de tener una muestra de dimensiones adecuadas, cortamos varios trozos y los pegamos paralelamente hasta conseguir un cuadrado de  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  aproximadamente.

El segundo material usado, mucho más interesante desde nuestro punto de vista, ha sido películas delgadas amorfas de FeSi. De acuerdo con los datos publicados en la literatura (15), para medir nuestros efectos m-o pares en láminas amorfas de Fe, Co o Ni necesitaríamos realizar las medidas "in situ" y a  $4^\circ\text{K}$ , ya que a temperatura ambiente no son estables en la fase amorfa; así decidimos ensayar con una aleación ferromagnética amorfa, estable a temperatura ambiente. De la amplia gama de aleaciones que hay en la literatura, hemos seleccionado el  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$ ; hay algunos datos de su obtención por evaporación (16) y por pulverización catódica de radiofrecuencias (17) y (18) Hemos preparado estas láminas por pulverización catódica tipo triodo, en una presión de argón ul-

trapuro (99.9995%) del orden de  $10^{-4}$  torr, focalizando el plasma con un campo magnético (40-100 Oe). Los parámetros del sistema, tensión del cátodo, densidad de corriente, presión de argón, etc, se han variado analizando detalladamente como afectaban estos a las propiedades magnéticas de las muestras y a su estructura.

Las propiedades magnéticas se analizaron por efecto Kerr trasversal, observándose que eran en general magneticamente blandas con campos coercitivos según el eje fácil de unos 2 Oe; las muestras eran marcadamente anisotropas, con un eje magnéticamente fácil inducido por el campo magnético axial que se usaba para focalizar el plasma y con cuya dirección coincidía en todas las muestras; este resultado es análogo al que encuentra (17).

La estructura de las muestras se observó por difracción de rayos X y dirección de electrones; ambas técnicas mostraban ausencia de cristales. La última de ellas nos permitió observar la transición de fase amorfo-cristal de la lámina, en el portamuestras de caldeo del microscopio electrónico. Se aprecia la nucleación brusca de cristales y un crecimiento esferulítico de grandes cristales análogo al observado por (16,19).

La temperatura de recristalización se ha determinado de forma indirecta registrando por el

método de las cuatro puntas el salto irreversible de la resistividad de las películas a dicha temperatura. Se calentaron las muestras en vacío de  $10^{-6}$  torr, en el rango de temperaturas de 77-700°K; la fig.4 nos ofrece la variación de la resistividad de dos muestras de distinta composición normalizada a la resistividad eléctrica de la fase amorfa a 77°K ( $\rho_0$ ). Obsérvese que la resistividad eléctrica de la fase amorfa es prácticamente constante hasta los 400°K, mientras que en la fase cristalina varía acusadamente con la temperatura. Obsérvese también que la temperatura de transición (500 y 600°K aproximadamente) parece ser mas alta al aumentar la composición de Si, resultado que parece estar de acuerdo con (17).

La composición de las muestras se ha analizado por fluorescencia de rayos X, por microsonda electrónica (EDAX-Philips) y espectrofotometría de absorción de llama(\*).

### 3.3 Películas monocristalinas de Ni.-

Las películas delgadas monocristalinas se han obtenido por epitaxia de Ni sobre un sustrato

---

(\*) Quiero agradecer a los Dres. J.L.Brändley y A. Hernandez-Pacheco, del Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Geológicas, así como a la Dra. F. Barba del Instituto de Cerámica y Vidrio del C.S.I.C. las facilidades y ayuda prestada en el análisis de las muestras.

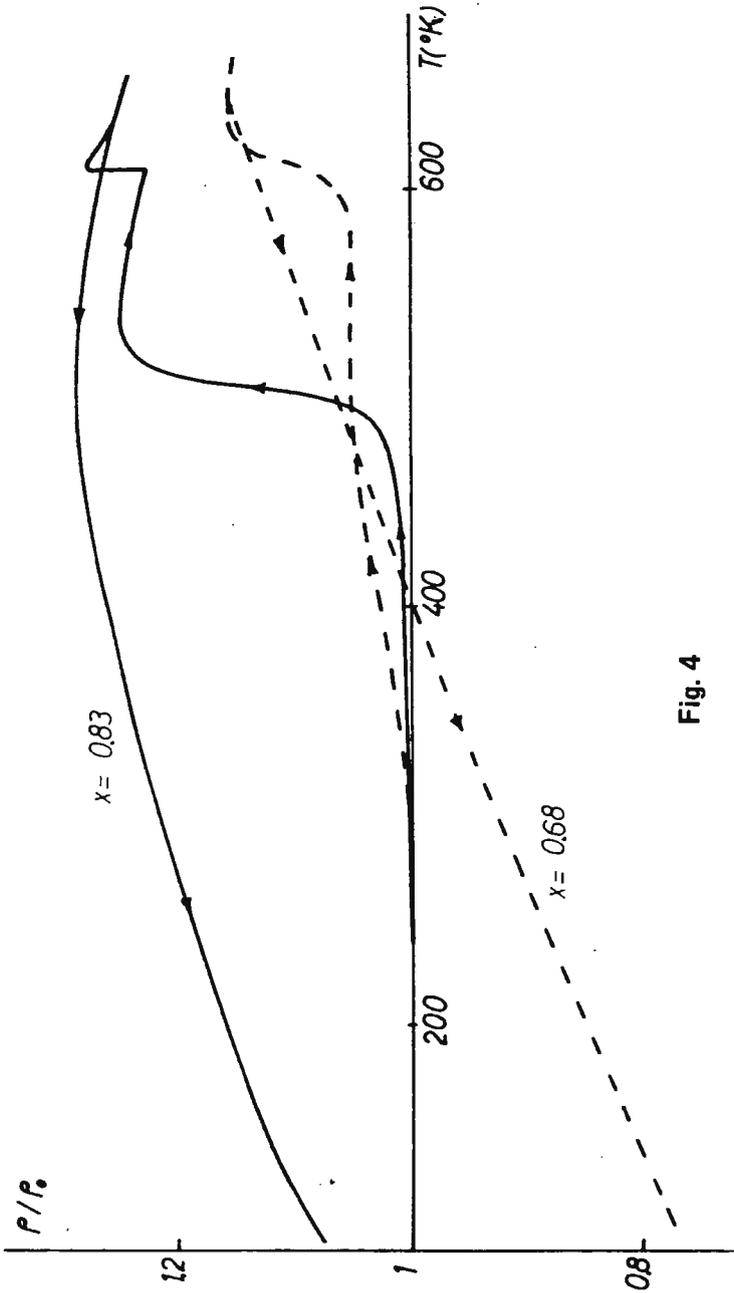


Fig. 4

monocristalino:ClNa y mica. Las muestras se han preparado en un sistema de UAV con presión residual de  $5 \times 10^{-11}$  torr; como evaporador se usó un cañón de electrones para el primer tipo de sustratos, sustituyéndose por uno de filamento para la mica (como es sabido el tipo de evaporador puede influir en el crecimiento epitáxico de una sustancia sobre otra). Los espesores de las muestras se determinaban de forma aproximada durante la evaporación; su determinación de forma exacta tuvo que hacerse indirectamente, midiendo la densidad óptica del níquel en función del espesor, ya que al no ser perfectamente planos los sustratos, las técnicas interferométricas habituales no servían.

Sobre el crecimiento epitáxico del Ni sobre ClNa hay muchos datos en la literatura (p.e. 20 y 21); calentando los sustratos de ClNa a  $350^{\circ}\text{C}$  y evaporando a  $8 \overset{\circ}{\text{A}}/\text{seg}$ , se observó un crecimiento del Ni con su plano (100) paralelo al sustrato. Sobre la obtención de Ni sobre mica, hay muy pocos datos publicados (22,23,24); después de varios intentos sin éxito se consiguió obtener una lámina de Ni con su plano (111) paralelo al sustrato, evaporando a  $5 \overset{\circ}{\text{A}}/\text{seg}$  sobre un sustrato de mica calentado a  $500^{\circ}\text{C}$ .

La estructura cristalina de estas muestras fué analizada cuidadosamente por microscopía y difracción de electrones, así como por difracción de rayos X.

IV RESULTADOS EXPERIMENTALES.-4.1 Muestras policristalinas.-

Medidas en la luz transmitida: Las fig.5,6 y 7 nos ofrecen la modulación en la luz transmitida en función de la longitud de onda de la luz y para distintos espesores de las muestras de Fe, Co y Ni. Si comparamos estos resultados en el Fe y Co con aquellos teóricos calculados por (5) (ver línea de puntos), vemos que en el Fe hay un acuerdo general en cuanto a la dependencia del efecto con la longitud de onda, mientras que la amplitud medida experimentalmente del máximo negativo es casi cinco veces menor que la teórica y contrariamente a los resultados teóricos, las curvas correspondientes a espesores mas altos cambian de signo a longitudes de onda mas cortas.

El efecto medido en películas delgadas policristalinas de Co (fig.6) se comporta de forma muy distinta al calculado por (5); experimentalmente presenta grandes picos de amplitud en el visible e infrarrojo cercano en lugar del cambio de signo que predicen los cálculos teóricos y que no se observa en todo el rango de energías analizado.

El comportamiento del efecto en el Ni no fué publicado por (5); nuestras medidas presentan un cambio de signo aproximadamente para  $0.7\mu\text{m}$  y una

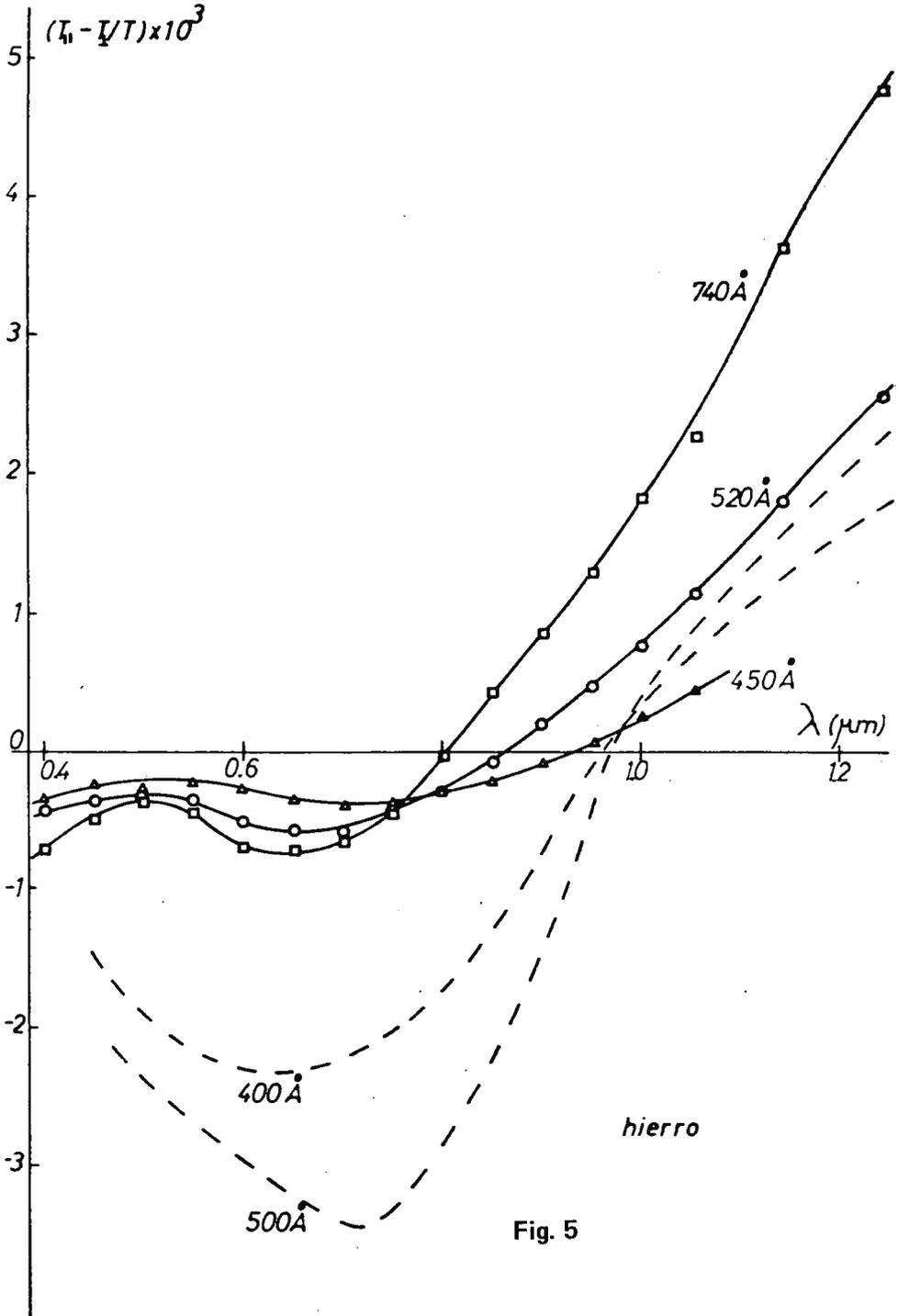


Fig. 5

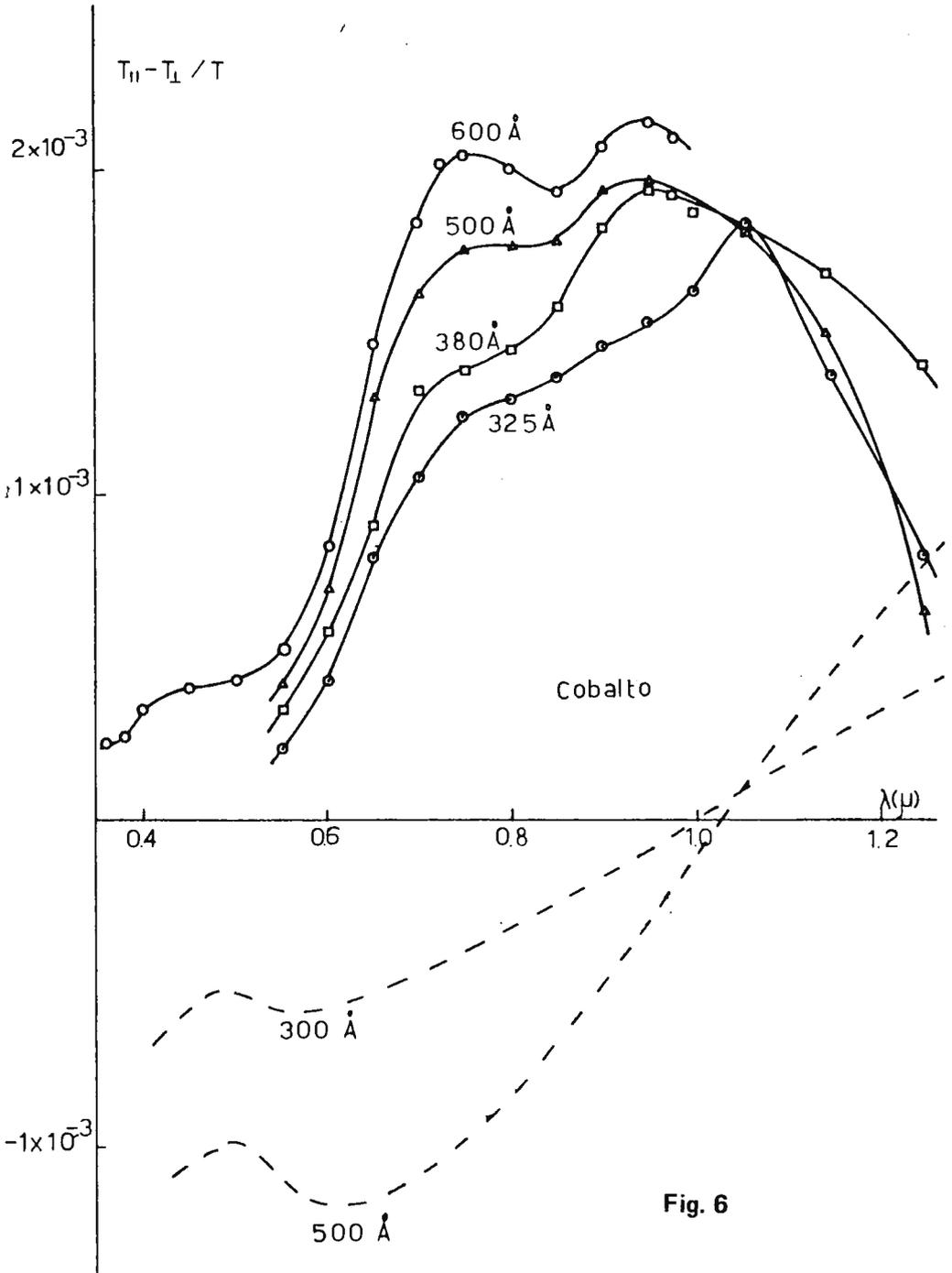
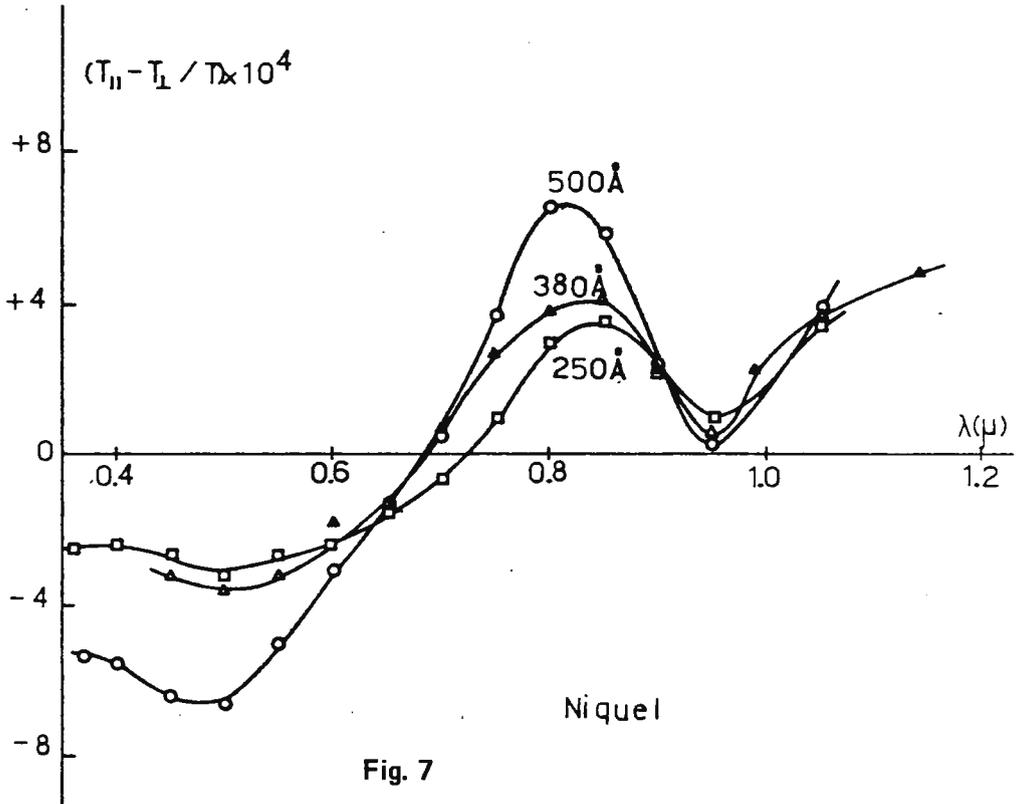


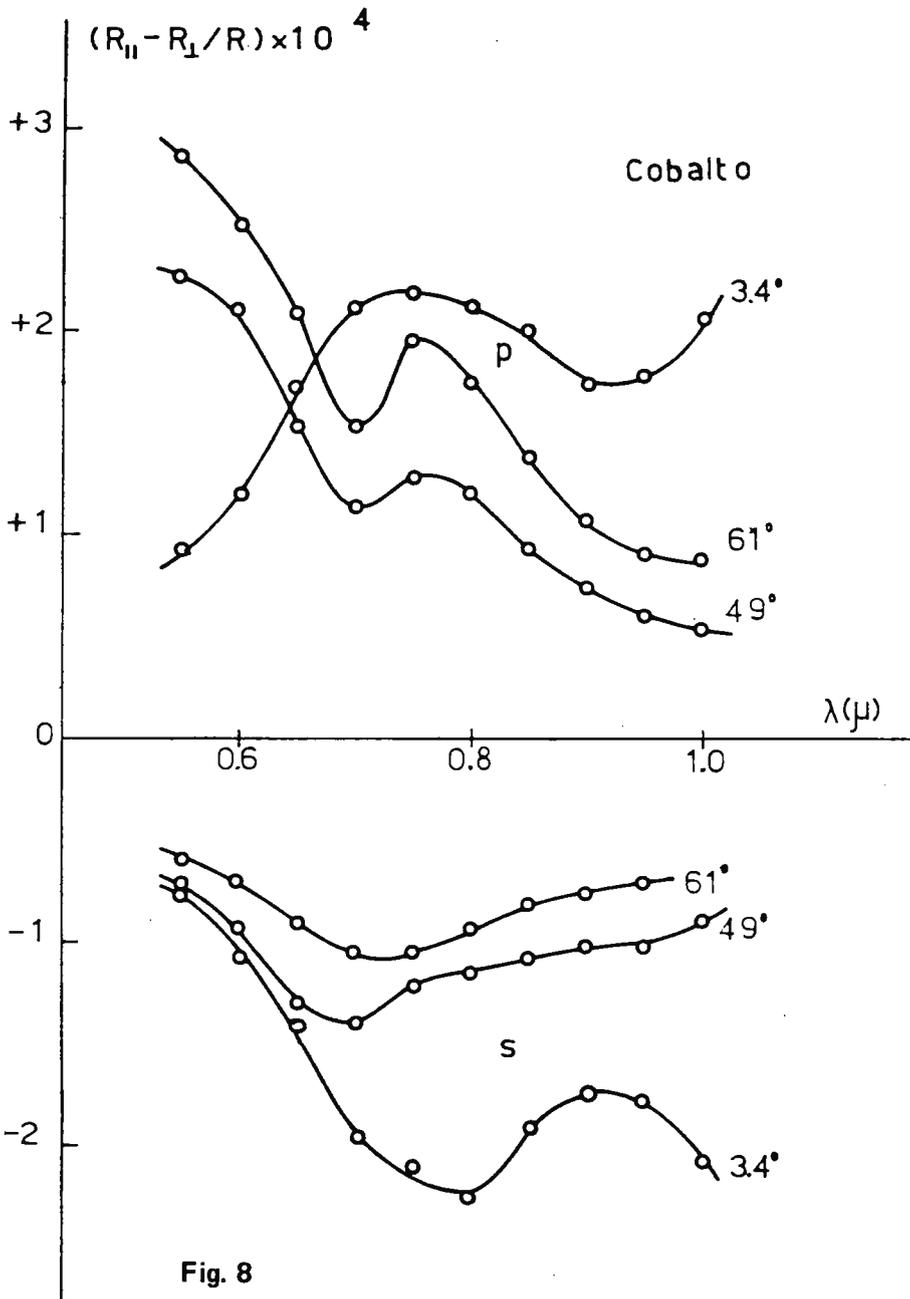
Fig. 6



amplitud, en general, mas pequeña que la del Fe o Co.

Medidas en la luz reflejada: La medida del efecto en la luz reflejada dependerá de que tengamos polarización p o s incidente, ya que solo habrá simetría en torno a la dirección de incidencia de la luz cuando la incidencia sea normal; así pues es de esperar que ambos efectos coincidan en incidencia normal, El cambio de signo del efecto que aparece en la fig.8 se refiere a un cambio de signo respecto al campo aplicado, pero no a un cambio del signo absoluto del efecto. En dicha fig.8 observamos este efecto para tres ángulos de incidencia de la luz; notemos que si comparamos el resultado obtenido en incidencia casi normal ( $3.4^\circ$ ) con el obtenido en la luz transmitida (fig.6) ambos efectos resultan muy similares en cuanto a la dependencia con la longitud de onda, siendo el efecto observado en la luz reflejada un orden de magnitud menor.

En la fig.9 se observa el efecto medido en la luz reflejada por una lámina de Ni, siendo la incidencia de la luz aproximadamente normal y para polarizaciones p y s; la curva de trazos representa el efecto medido en la luz transmitida, dividido por 10 su amplitud. De nuevo observamos que el efecto en reflexión es un orden de magnitud menor que el observado en transmisión y que su es-



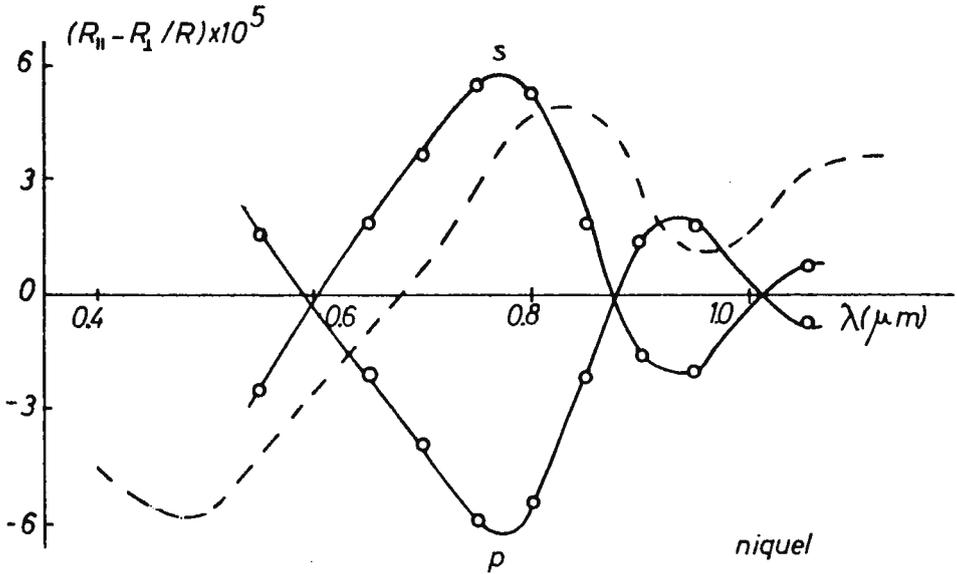


Fig. 9

estructura con la longitud de onda es análoga en ambos casos, conservándose la posición de los máximos o mínimos pero observándose un desplazamiento de los cruces hacia el UV cercano en el efecto medido en la luz reflejada.

Conclusiones: Los resultados obtenidos parecen señalar que el efecto medido en la luz transmitida y el medido en la luz reflejada por láminas policristalinas de los metales ferromagnéticos, tienen mucho que ver en su dependencia con la longitud de onda y reduciéndose la amplitud del efecto al medirlo en la luz reflejada, en un orden de magnitud. Recuérdese que el segundo de estos e-

fectos se atribuía a un efecto de la anisotropía cristalina mientras que el primero se atribuía a una birrefringencia magnética lineal. Con el fin de analizar estas dos hipótesis, nos hemos propuesto estudiar estos efectos en muestras amorfas, ya que en ellas no hay posible influencia de la anisotropía cristalina y solo se vería la componente isótropa del efecto.

#### 4.2 Muestras amorfas.-

Metglass: Este material es una cinta comercial de una aleación de  $\text{Fe}_{46}\text{Ni}_{40}\text{P}_{16}\text{B}_6$ ; en ella solo ha sido posible llevar a cabo medidas en la luz reflejada. En realidad esta muestra ha sido usada como test de la existencia de los efectos m-o pares en los materiales amorfos; los resultados obtenidos son los de la fig.10, en la cual se aprecia un efecto no nulo, de un orden de magnitud perfectamente comparable al de los otros metales ferromagnéticos y cuya estructura con la longitud de onda es bastante plana. Debido a las limitaciones particulares de nuestra muestra, que era magnéticamente anisótropa no pudiéndose saturar en una dirección, hubo que hacer las correcciones correspondientes en la amplitud del efecto por lo que supone una fuente de error apreciable en la amplitud de dicho efecto. Obsérvese de nuevo que el efecto medido en incidencia normal (en realidad  $3.4^\circ$ ) pa-

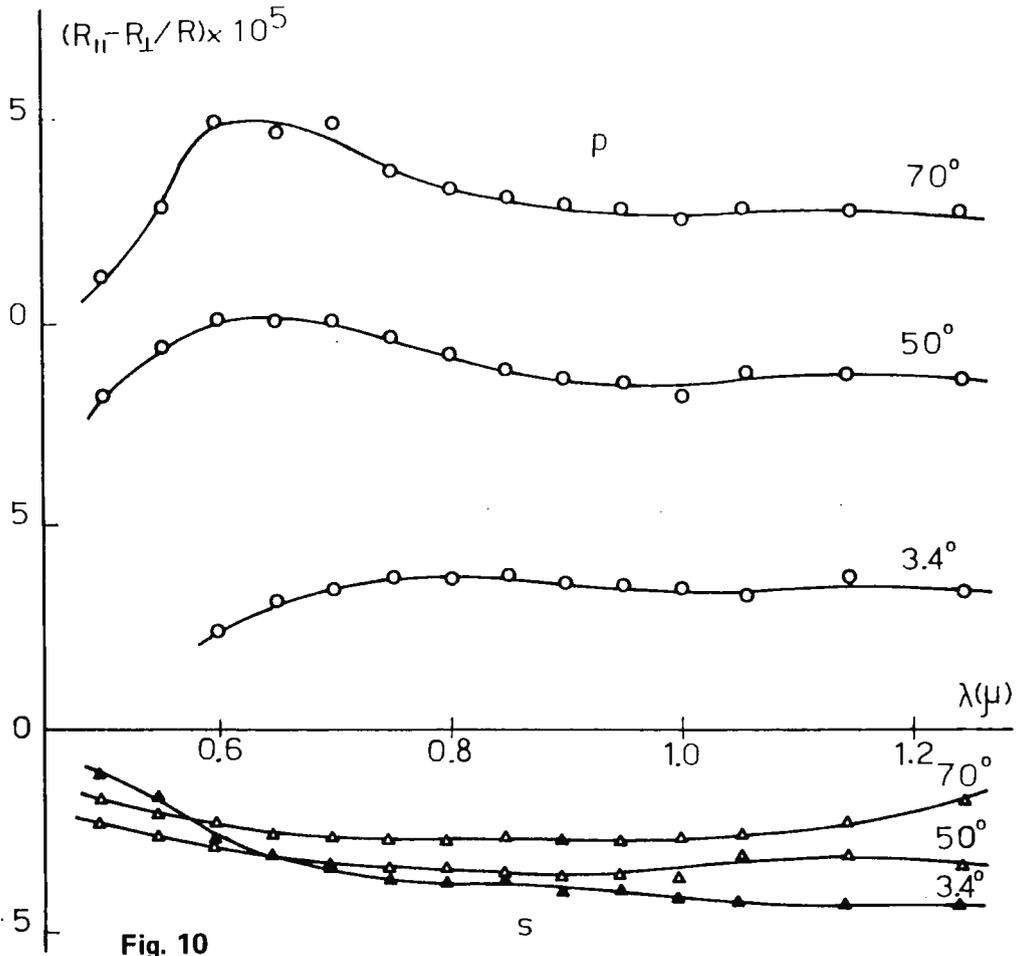


Fig. 10

ra polarizaciones p o s es el mismo, siendo el cambio de signo un cambio respecto al campo y no del signo absoluto del efecto.

Láminas delgadas de FeSi: La medida de los efectos m-o pares en estas láminas se ha llevado a cabo en tres muestras de  $\text{Fe}_{0.83}\text{Si}_{0.17}$  de espesores 915, 610 y 300 Å. En la fig.11 se observa la variación del efecto en función de la longitud de onda para las tres muestras en la fase amorfa y para la muestra mas gruesa, una vez recristalizada por recocido en vacío; obsérvese que la recristalización reduce la amplitud a la mitad pero apenas afecta la dependencia del efecto con la longitud de onda. Tambien es importante observar la gran amplitud del efecto medido, así como su dependencia con la longitud de onda que recuerda bastante a la del Fe pero trasladada hacia el UV.

Finalmente se midió el efecto en la luz reflejada por la muestra mas gruesa . La fig.12 ofrece los resultados obtenidos tanto en las fases amorfa como cristalina y para polarizaciones p o s de la luz incidente, siendo la incidencia aproximadamente normal ( $3.9^\circ$ ). La curva de trazos, representa el efecto que se obtiene en la luz transmitida reducido diez veces. Es interesante observar que de nuevo el efecto en la luz reflejada es un orden de magnitud menor que el que se presenta en la luz transmitida, y que la estructura del efecto

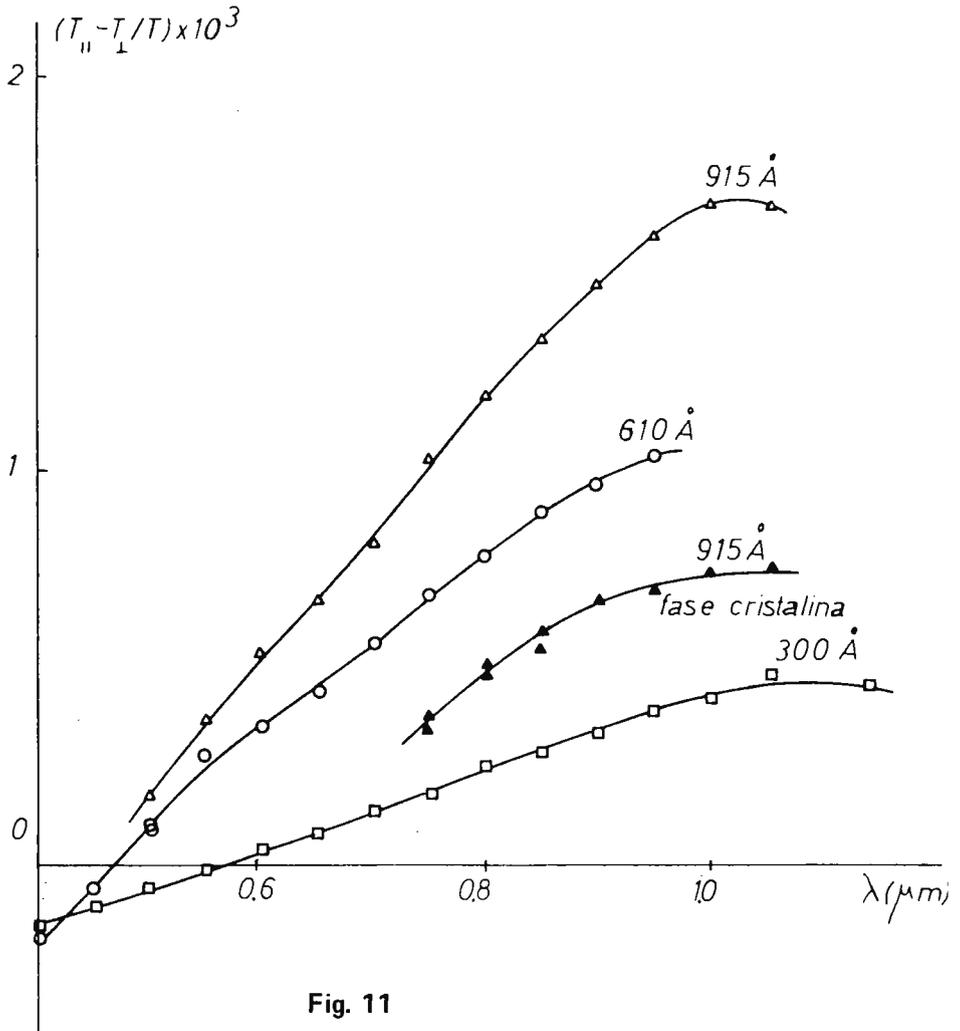


Fig. 11

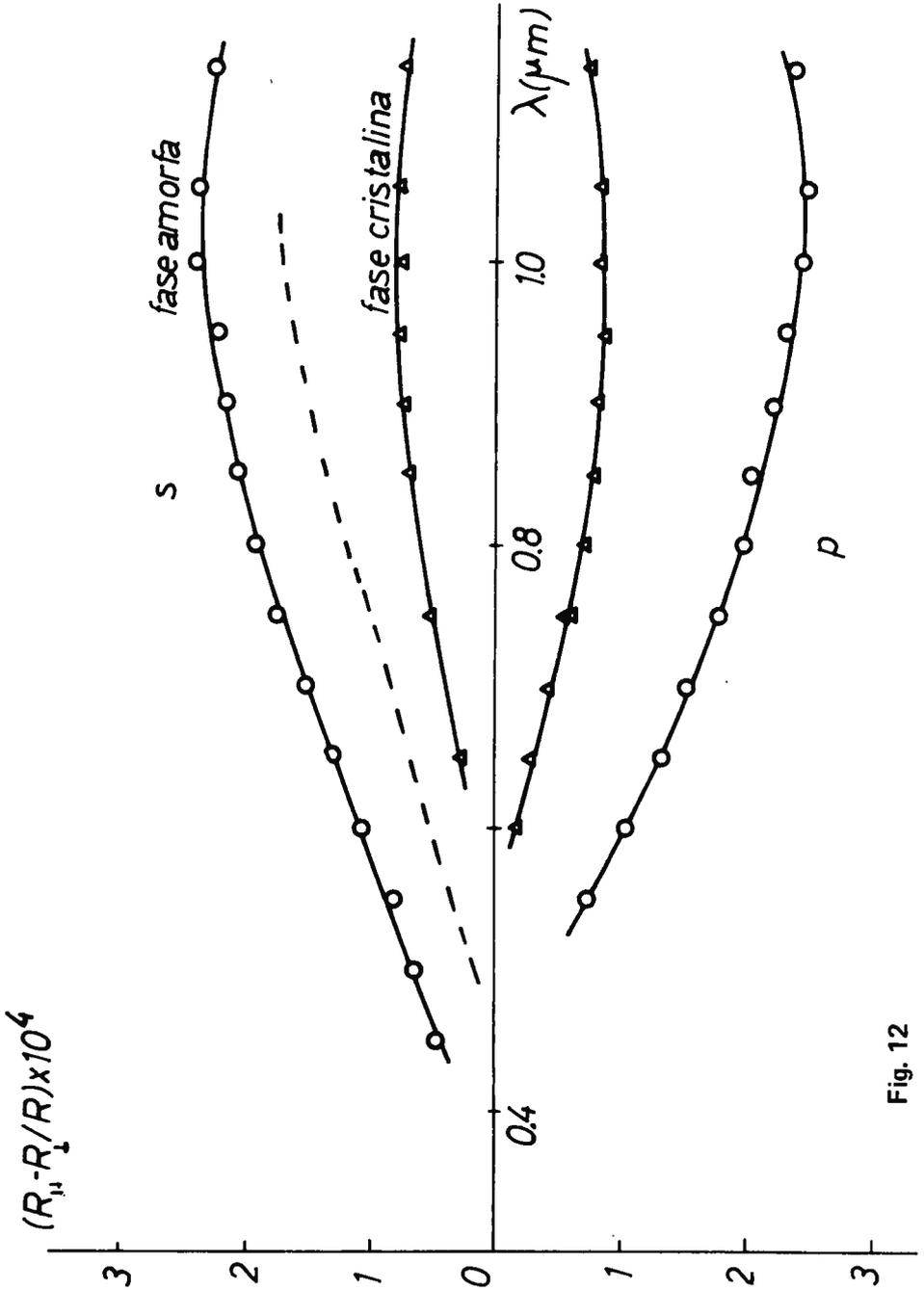


Fig. 12

con la energía de la radiación incidente es muy similar en ambos casos. Nuevamente la recristalización de las muestras reduce la amplitud del efecto a la mitad pero no afecta a su dependencia con la longitud de onda.

Medidas del efecto Kerr transversal en las muestras amorfas: Se ha creído interesante el medir la amplitud del efecto Kerr transversal en función de la longitud de onda en estas muestras amorfas, debido a las aplicaciones tecnológicas que éstas puedan tener y con el fin de aportar datos experimentales sobre la dependencia de los efectos m-o en ferromagnéticos amorfos, ausentes en la literatura.

Los resultados obtenidos resultan ser muy interesantes dada la gran amplitud del efecto observado que llega a ser un 1% de la luz reflejada. La fig.13 nos ofrece la amplitud del efecto Kerr en función de la longitud de onda y para distintos ángulos de incidencia de la luz en la muestra de Metglass; obsérvese que el efecto medido tiende a ser grande en el ultravioleta cercano y para un ángulo de incidencia próximo a los  $60^\circ$ .

Los resultados obtenidos en una muestra de FeSi con un 83% de Fe son los de la fig.14. De nuevo el efecto medido resulta ser muy grande son variaciones del 1% de la luz reflejada en el UV cercano; nuevamente observamos que la recristalización de la muestra reduce la amplitud del efecto Kerr a la mitad pero no afecta fundamentalmente a

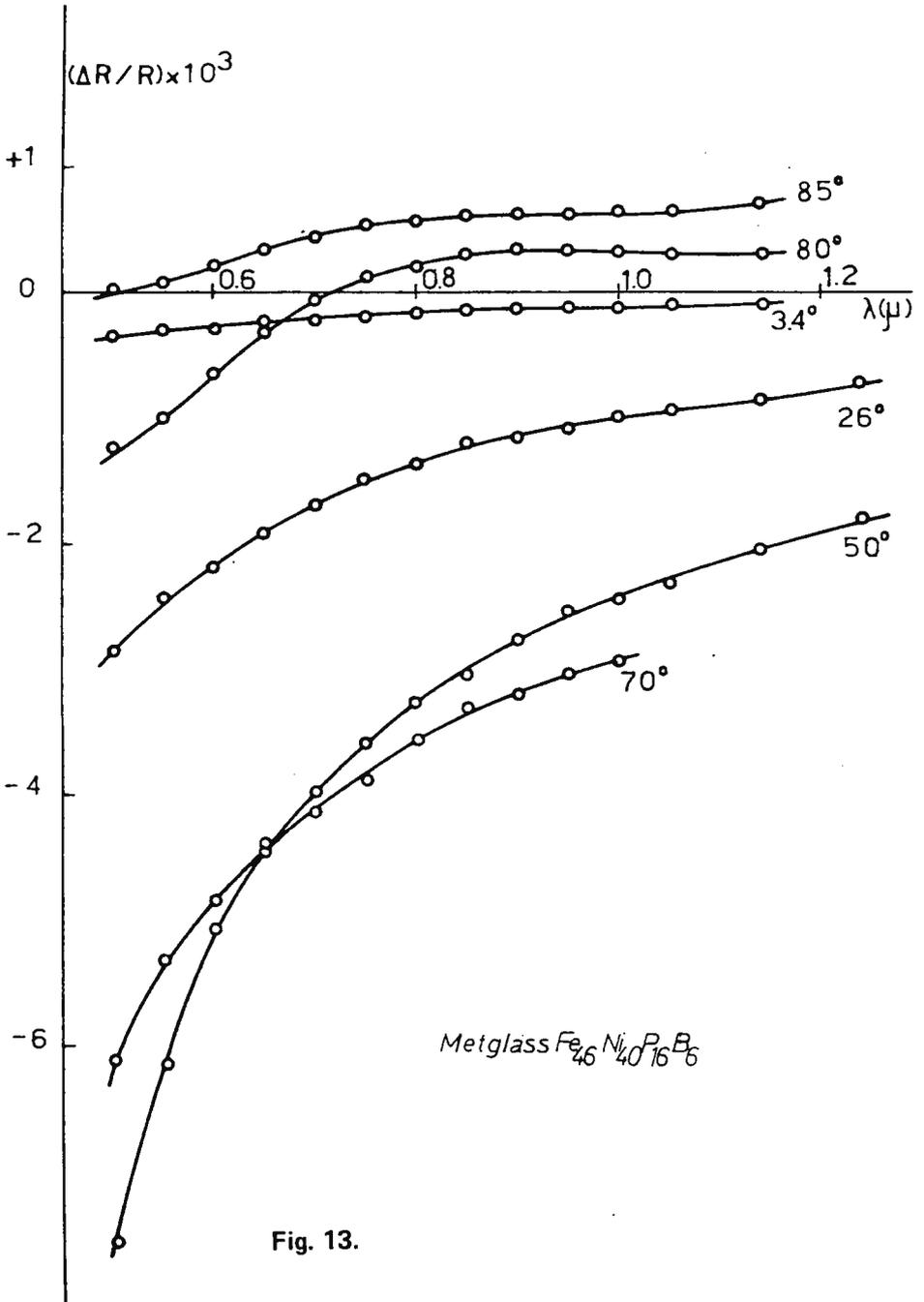


Fig. 13.

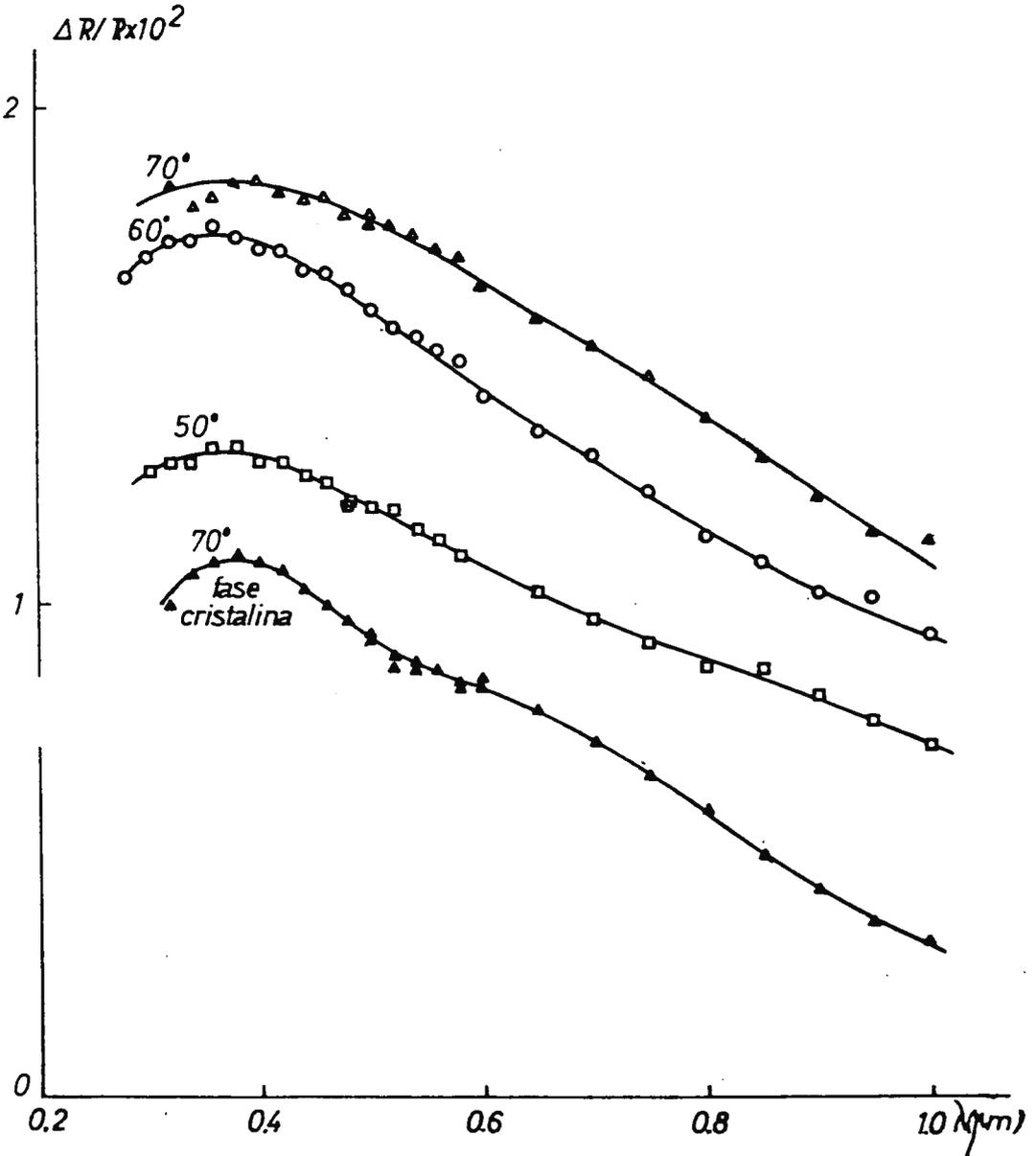


Fig. 14

su estructura general con la longitud de onda de la radiación incidente.

Conclusiones: Nuestros resultados sobre los efectos m-o pares en aleaciones ferromagnéticas amorfas demuestran en primer lugar la existencia de estos efectos con una amplitud comparable o mayor a la observada en las muestras policristalinas analizadas anteriormente, lo que no descarta la posibilidad de una importante componente isótropa en la explicación de estos efectos. La recristalización de las muestras reduce la amplitud de los efectos m-o, tanto de los pares como del Kerr transversal, a la mitad pero no afecta esencialmente a la estructura con la longitud de onda. Este resultado puede ser muy importante a la hora de interpretar estos efectos a la luz de una teoría que tenga en cuenta la anisotropía cristalina.

V ESTUDIO DE LOS EFECTOS M-O PARES EN LAMINAS MONOCRISTALINAS DE Ni.-

5.1 Planteamiento del problema.-

Las direcciones cristalográficas  $|100|$  y  $|110|$  en el Ni, son direcciones difíciles de imanación, necesitándose campos mayores de 250 Oe para saturarlas en esas direcciones; la amplitud del campo rotatorio máxima que podíamos aplicar con el método experimental explicado anteriormente era de 150 Oe, insuficiente en la medida de las epitaxias de Ni sobre ClNa.

(14) medía los efectos pares en la luz reflejada por monocristales usando dos campos magnéticos perpendiculares: un campo continuo  $H_{\perp}$  de amplitud suficiente para saturar la muestra en esa dirección y un campo alterno  $H_{\parallel}$  perpendicular, ambos aplicados paralelamente a la superficie de las muestras. Con ello consigue que la imanación de la muestra oscile en torno a la dirección de aplicación del campo continuo. Si aplicamos  $H_{\perp}$  paralelamente al plano de incidencia de la luz estando el vector eléctrico de la radiación incidente contenido en él, detectaríamos una señal proporcional a la componente de la imanación en la dirección del campo alterno, que varía desde su valor de saturación a su valor remanente. La situación óptima sería elegir las amplitudes de los

campos de forma que se consigan giros de  $90^\circ$  en la imanación, con lo que tendríamos una intensidad de la luz reflejada que varía desde  $I_{\parallel}$  (M E) a  $I_{\perp}$  (M E) cuando el campo alterno fuese máximo. La señal alterna detectada sería de frecuencia doble de la del campo alterno aplicado y su valor pico a pico sería  $I_{\parallel} - I_{\perp}$ . Esta situación sería análoga a la que proponían (3) para la medida del efecto Voigt en láminas uniáxicas descrito anteriormente.

En nuestro caso las láminas presentan en su plano ejes  $|100|$  a  $90^\circ$  y a  $45^\circ$  con ellos, ejes  $|110|$  ambos difíciles de imanación. Se observa que usando el método anterior, la amplitud del efecto depende críticamente de las amplitudes de los campos usados, llegando incluso a anularse para campos continuos muy altos; también se detectan cambios de fase de la señal al variar las amplitudes de los campos o sus direcciones de aplicación respecto a las cristalográficas. En cualquier caso, se observa un efecto muy pequeño, que corresponde a variaciones de  $10^{-6}$  veces la luz transmitida.

Se hace por tanto necesario calibrar este nuevo sistema con una muestra conocida y en la cual puedan compararse los resultados obtenidos por los dos sistemas de medida. Para ello usamos una muestra policristalina de Co, que como sabemos tiene un efecto grande en el visible con lo

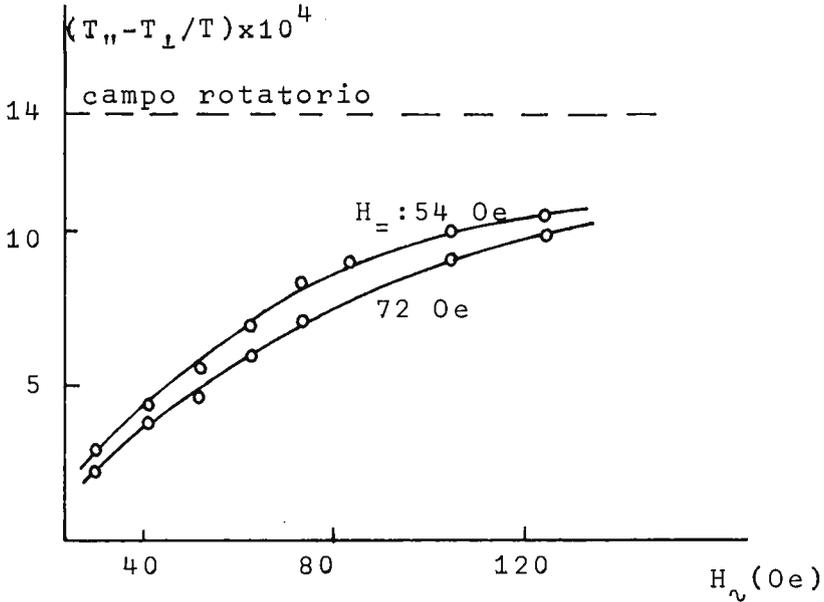


Fig.15

que no tendremos que trabajar en sensibilidades extremas. En la fig.15 vemos la variación de la amplitud del efecto en función de la amplitud del campo alterno aplicado y para dos valores diferentes del campo continuo; la línea de trazos superior representa el valor obtenido con el campo rotatorio, que siempre es superior. También se ha hecho otro tipo de estudio fijando las amplitudes de los campos y girando la lámina sobre sí misma; se observa una variación en la amplitud del efecto de un 15% al girar la muestra de  $0-180^\circ$ . El resultado obtenido con el campo rotatorio, como era de esperar, es siempre el mismo; esto nos comprueba lo que habíamos apuntado antes: la di-

rección de aplicación del campo continuo es muy crítica, siempre que la lámina posea algún tipo de anisotropía magnética.

Con el fin de analizar las propiedades magnéticas se observaron las muestras por efecto Kerr transversal, resultando en el caso del Ni lancetas de rotaciones muy lejos de la saturación para campos aplicados de 100 Oe. Con el fin de saber si el campo continuo (350 Oe) era capaz de saturar el Ni, se llevó a cabo medidas de la susceptibilidad transversal en estas muestras usando el método experimental desarrollado por (25). Con dicho método se determina en realidad las dos componentes de la susceptibilidad; una componente en fase con el campo alterno aplicado y otra en cuadratura que tiene su origen en la dispersión de la imanación respecto al eje de anisotropía. Los resultados parecen indicar que para valores de  $H_v$  de 30 Oe y un valor máximo del campo continuo aplicado, alcanzamos la zona reversible de la susceptibilidad aplicando el campo continuo paralelamente a las direcciones  $|100|$  o  $|110|$ .

### 5.2 Analisis del efecto m-o par en transmisión, usando el nuevo sistema de medida.-

Vamos a describir a continuación el estudio detallado que se llevó a cabo del efecto m-o par en la luz transmitida por la muestra "test" de Co

y por la muestra monocristalina de Ni, usando dos campos magnéticos perpendiculares: un campo continuo y otro alterno de distinta amplitud. Como apuntamos ante, la fase de la señal detectada depende críticamente de las amplitudes de los campos y de sus direcciones de aplicación respecto a las direcciones cristalógraficas o de anisotropía magnética. Por ello sintonizamos nuestro detector en fase con el campo alterno aplicado y medimos la componente en fase con el campo  $\Delta T'$  y la componente en cuadratura  $\Delta T''$ ; la amplitud del efecto será  $\Delta T = \sqrt{(\Delta T')^2 + (\Delta T'')^2}$ .

En la fig.16 se representa la variación de la componente en fase  $\Delta T'$  medida en la muestra de Co, para un solo sentido de aplicación del campo continuo (el efecto es simétrico respecto al campo aplicado) y para distintos valores del campo alterno. Se observa que la señal pasa por un máximo acusado para un valor del campo alterno, tendiendo luego a cero; los máximos se van desplazando hacia los campos continuos altos a medida que aumenta la amplitud del campo alterno. Esto era de esperar ya que para un valor de  $H_{\perp}$  fijo, el máximo corresponderá al valor de  $H_{\parallel}$  necesario para producir giros máximos de la imanación; a partir de este punto, y al aumentar la amplitud de  $H_{\perp}$ , la imanación realizará giros menores hasta que el valor del campo sea lo suficientemente alto para que un campo alterno perpendicular no consiga sa-

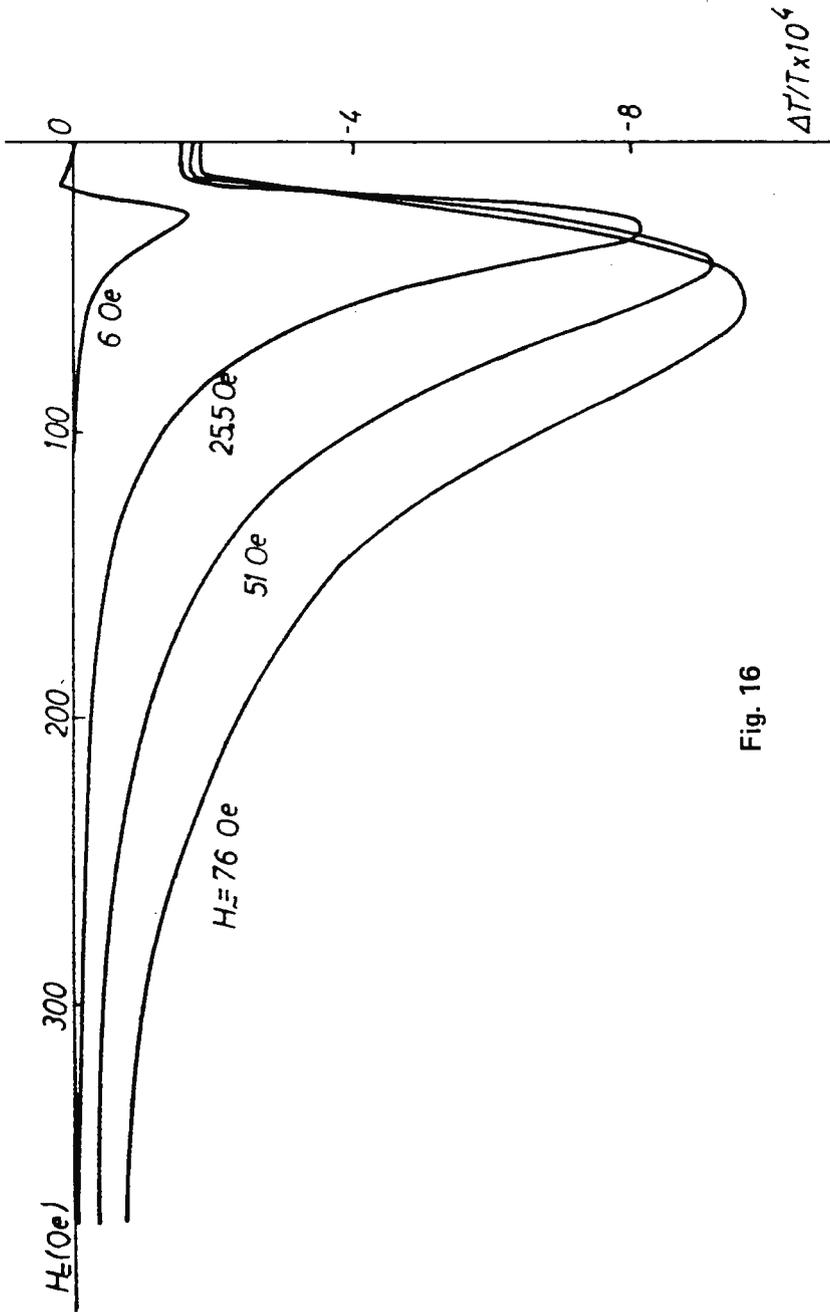


Fig. 16

car la imanación del eje inducido por  $H_{\perp}$ ; asimismo la caída a cero de la señal será tanto mas rápida cuanto mas pequeña sea la amplitud de  $H_{\parallel}$ ; el comportamiento de la componente en cuadratura del efecto es totalmente análoga. Realizamos otro tipo de estudio, dejando fijo el valor de  $H_{\parallel}$  y girando la muestra sobre sí misma; se observa una estructura análoga a la de la fig.16 pero ahora la señal es máxima cuando el campo continuo se aplica en la dirección del eje difícil de la muestra, como era de esperar.

Repetimos este estudio en la muestra epitaxiada de Ni; en la fig.17 observamos las dos componentes del efecto para tres valores distintos del campo alterno, aplicado en la dirección  $|110|$ ; vemos de nuevo que la señal pasa por unos máximos en función del campo continuo aplicado que son mucho mas suaves que en el caso del Co, lo que parece indicar que estamos muy lejos de conseguir grandes giros de la imanación respecto a la dirección de aplicación del campo continuo, con lo que la amplitud del efecto obtenida será mucho menor que su valor real. En la fig.18 observamos la componente en fase del efecto para una amplitud de  $H_{\parallel}$  fija y máxima, estando el campo aplicado paralelamente a la dirección  $|100|$  o  $|110|$ . La señal detectada en el primer caso es sensiblemente menor, lo cual era de esperar ya que se trata de

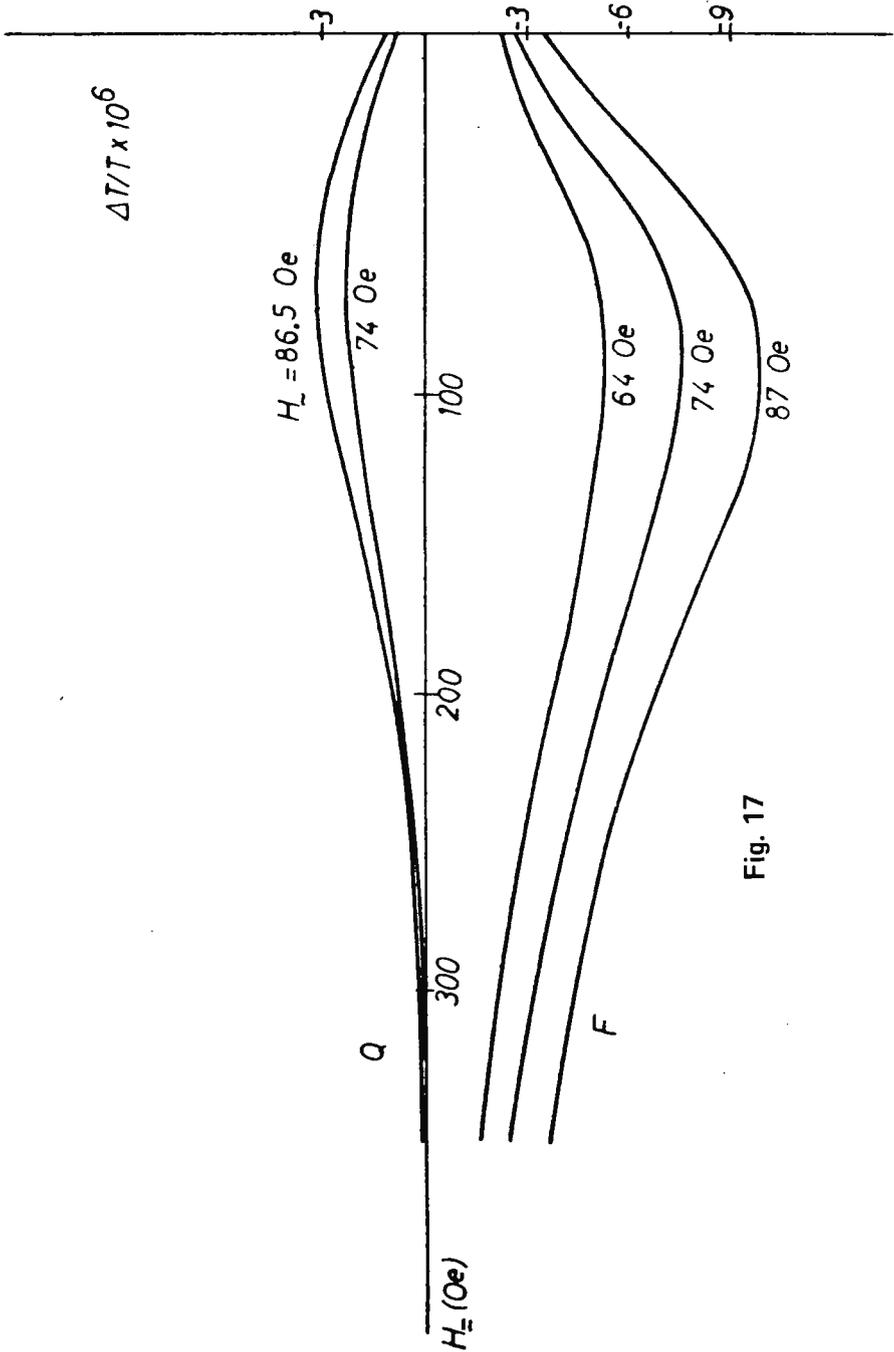


Fig. 17

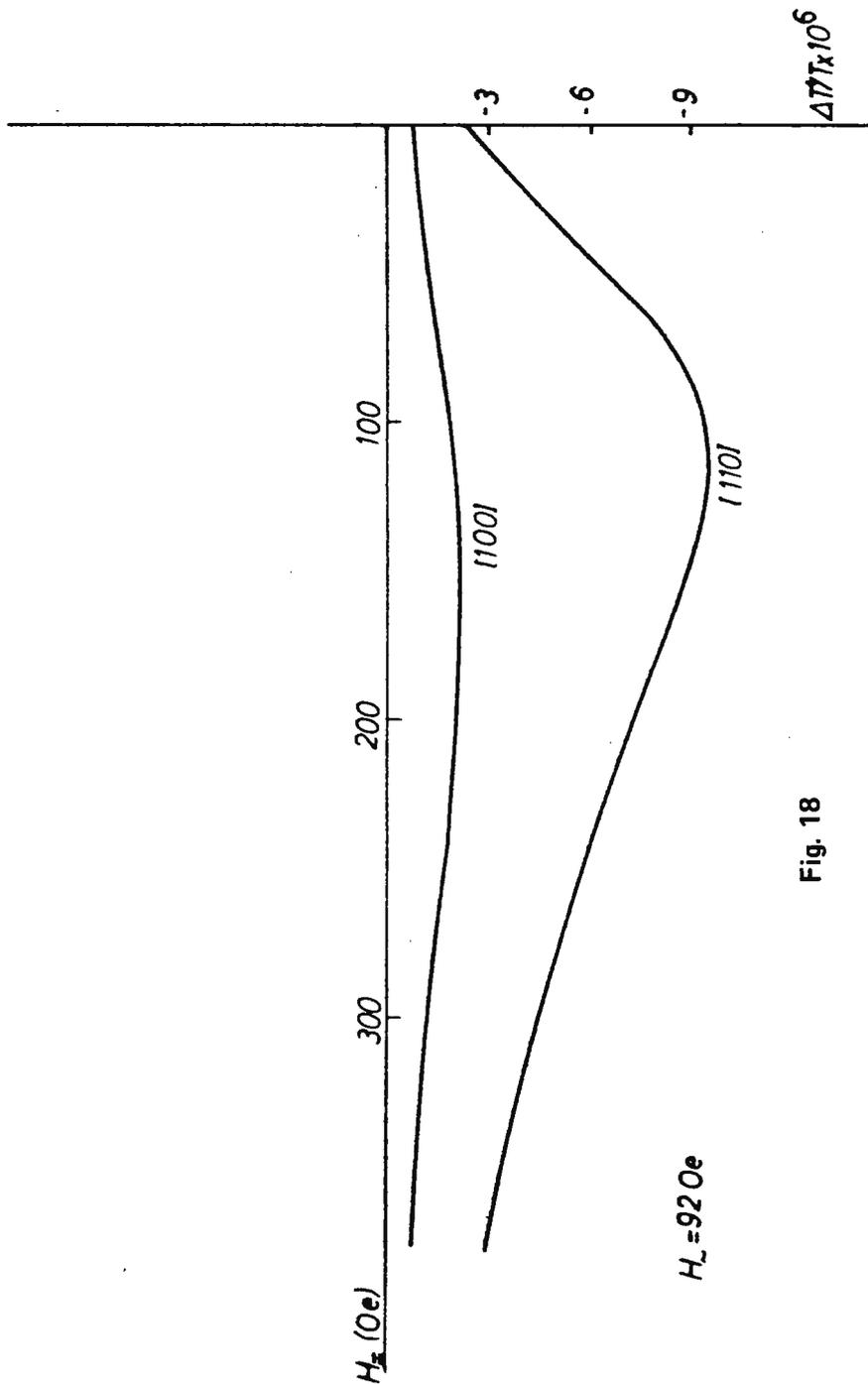


Fig. 18

una dirección magnéticamente mas difícil que la  $|110|$ .

### 5.3 Efectos m-o impares en la configuración de Voigt.-

En la configuración de Voigt, y analizando las muestras de Ni se observó que situando la polarización incidente entre p y s (a  $45^\circ$ ), se detectaba una señal m-o impar. Todos los efectos m-o impares se anulan en dicha configuración; en incidencia normal y cuando se imana la muestra perpendicularmente a su plano aparece el efecto Faraday polar, que consiste en la aparición de una elipticidad y un giro del eje de polarización proporcionales a la componente normal de la imanación.

Hicimos un estudio análogo al realizado en el caso de los efectos m-o pares, situando el vector eléctrico de la radiación incidente a  $45^\circ$  del plano de incidencia y aplicando el campo continuo en el plano de incidencia y para lolo a la dirección  $|100|$ . En la fig.19 vemos el resultado obtenido para la componente en cuadratura del efecto. Este efecto podrá explicarse quizás pensando en que al estar la dirección de fácil imanación del Ni  $|111|$  fuera del plano, cuando aplicamos un campo magnético en su plano, inducimos cambios en la componente de la imanación perpendicular a la

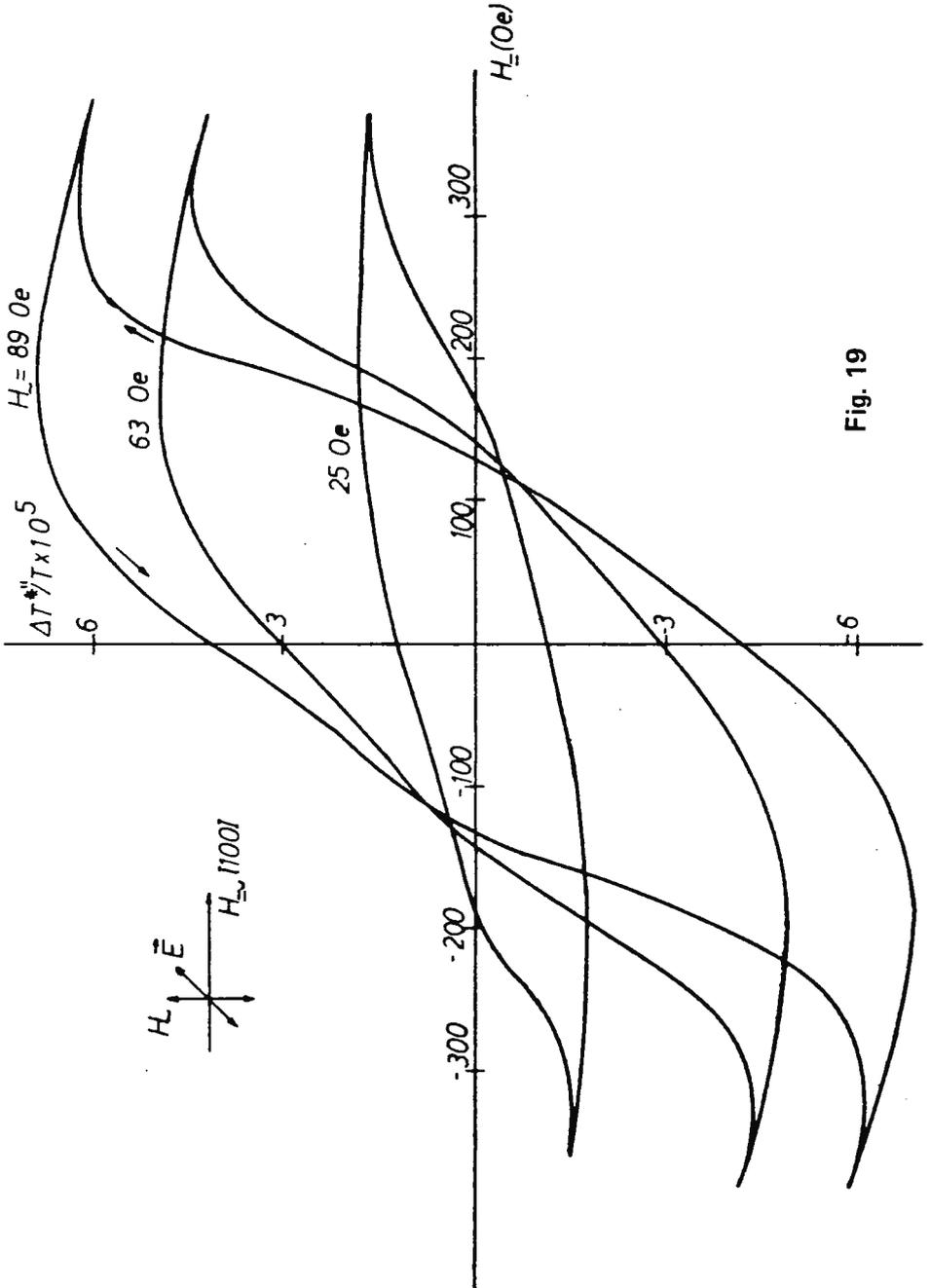


Fig. 19

lámina y esta señal pudiera corresponder a un efecto Faraday.

No obstante repetimos el estudio en la muestra de Co, encontrando los resultados de la fig. 20; se observa un efecto que cambia al cambiar el sentido de aplicación del campo continuo y sin embargo es asimétrico respecto a él; no presenta histeresis y se anula rápidamente en un sentido de aplicación del campo, mientras que en el otro lo hace lentamente. Estos resultados son muy difíciles de interpretar en el marco de un efecto Faraday y sería conveniente realizar medidas en otras muestras (p.e. en laminas amorfas) en las que exista una componente de la imanación perpendicular al plano de la muestra.

#### 5.4 Conclusiones.-

El método propuesto para el estudio de los efectos m-o pares en muestras epitáxicas de Ni no parece ser muy conveniente, dada su fuerte dependencia de las amplitudes relativas de los campos aplicados y de sus direcciones de aplicación. La amplitud medida es en general menor que la que mediríamos con el campo rotatorio con lo cual estamos seguros de no inducir giros de  $90^\circ$  en la imanación.

Finalmente hemos diseñado un nuevo artificio que nos permite aplicar campos rotatorios mucho

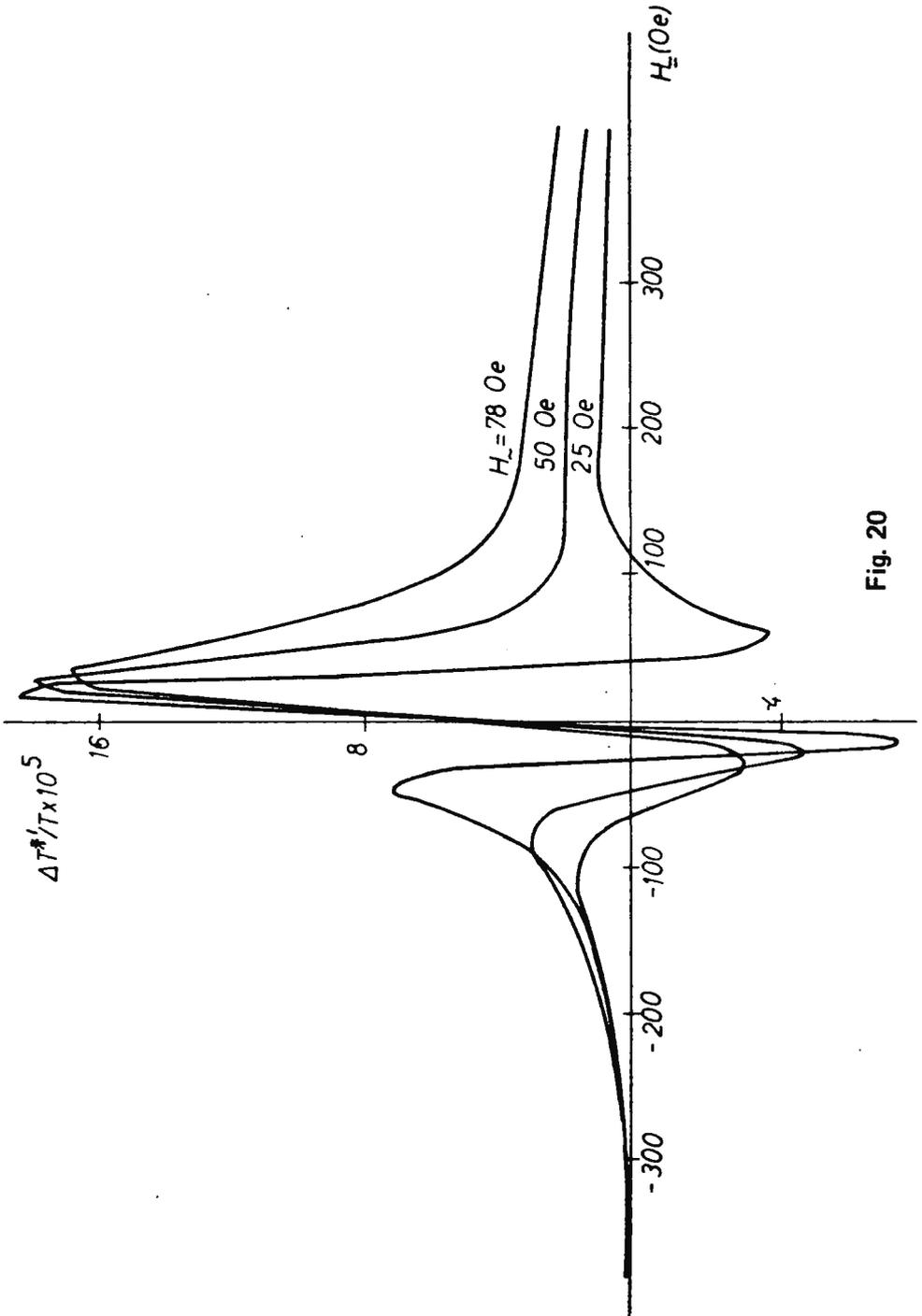


Fig. 20

mas intensos, La idea consiste en disponer dos imanes permanentes uno frente a otro separados unos 16 cm; cerramos el circuito magnético con un aro de hierro dulce y el sistema así constituido lo hacemos girar mediante un motor. De esta forma se consigue un campo en el entrehierro de unos 1700 Oe, que consideramos será suficiente para saturar el Ni en todas las direcciones y estar seguros que la imanación gira impulsada por el campo.

En la actualidad se trabaja con este nuevo artificio experimental, estudiando la influencia de la anisotropía cristalina en el efecto; se obtienen resultados en la luz transmitida análogos a los observados por (10-13) en la luz reflejada por monocristales, poniendo de manifiesto una dependencia del efecto con las direcciones cristalográficas.

BIBLIOGRAFIA.-

- (1) Sokolov AV, "Optical properties of metals",  
London: Blackie (1967)
- (2) Voigt W, "Magneto und elektrooptik" Teubner,  
Leipzig (1908)
- (3) Carey R, Thomas BWJ, Viney IVF, Weaver GH,  
J.Phys.D:Appl.Phys.1, 1879-84
- (4) Lissberger PH, Parker MR, J.Appl.Phys. 42,  
1708 (1971)/ Int.J.Magn.1, 209-18 (1971)
- (5) Carey R, Thomas BWJ, J.Phys.D:Appl.Phys.7,  
2362 (1974)
- (6) Donovan B, Medcalf T, Proc.Phys.Soc. 86, 1179  
(1965)
- (7) Argyres PN, Phys.Rev. 97, 334-45 (1955)
- (8) Birss RR, Collings N, Parker MR,  
Phys.Lett. 51A, 13 (1975)  
Physica 86-88B, 1203-4 (1977)
- (9) Bolotin GA, Fiz.Metal.Metall. 39, 46-56 (1974)
- (10) Krinchik Gs, Gushchin VS, JETP Lett.10, 24  
(1969)
- (11) Krinchik GS, Chepurova EE, JETP Lett.11, 64  
(1970)
- (12) Krinchik GS, Ganshina EA, Guschin VS, J.Phys.  
Coll.C1 (Supp 2-3) 32, 1061 (1971)
- (13) Krinchik GS, Chepurova EE, Yurchenko SE,  
Sov.Phys.Sol.State 15, 2043-4 (1974)
- (14) Carey R, Thomas BWJ, J.Phys.E:Sci.Inst. 4,  
545, (1971)
- (15) Wright JR, IEEE Trans.Magn. MAG-12, 95 (1976)
- (16) Sharma SK, Geserich HP, Theiner WA, Phys.Stat.  
Sol.(a), 32, 467 (1975)
- (17) Shimida Y, Kojima H. J.Appl.Phys.47,4156(1975)
- (18) Pockrand I, Verweel J, Phys.Stat.Sol.(a) 27,  
413,(1975)

- (19) Mangin PH, Marchal G, Rodmacq B, Janot CHR,  
Phil.Mag. 36, 643-56 (1977)
- (20) Matthews ed. "Epitaxial Growth" (A y B)  
Academic-Press (1975)
- (21) Chambers A, Prutton M, Thin Solid Films 1,  
235, (1967)
- (22) Allpress JG, Sanders JV, Surf.Sci. 7, 1 (1967)
- (23) Larson DC, Cristopher JE, Coleman RV, Isin A,  
J.Vac.Sci.Tech. 6, 670 (1969)
- (24) Reichelt K, J.Crys.Growth 11, 182 (1971)
- (25) Alameda JM, Tesis por la Universidad de Madrid  
(1977)



FUNDACION JUAN MARCH  
SERIE UNIVERSITARIA

**Títulos Publicados:**

- 1.— *Semántica del lenguaje religioso / A. Fierro*  
(Teología. España, 1973)
- 2.— *Calculador en una operación de rectificación discontinua/A. Mulet*  
(Química. Extranjero, 1974)
- 3.— *Skarns en el batolito de Santa Olalla/F. Velasco*  
(Geología. España, 1974)
- 4.— *Combustión de compuestos oxigenados/J.M. Santiuste*  
(Química. España, 1974)
- 5.— *Películas ferromagnéticas a baja temperatura/José Luis Vicent López*  
(Física. España, 1974)
- 6.— *Flujo inestable de los polímeros fundidos/José Alemán Vega*  
(Ingeniería. Extranjero, 1975)
- 7.— *Mantenimiento del hígado dador in vitro en cirugía experimental*  
José Antonio Salva Lacombe (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1973)
- 8.— *Estructuras algebraicas de los sistemas lógicos deductivos/José Plá Carrera*  
(Matemáticas. España, 1974)
- 9.— *El fenómeno de inercia en la renovación de la estructura urbana.*  
Francisco Fernández-Longoria Pinazo (Urbanización del Plan Europa 2.000  
a través de la Fundación Europea de la Cultura)
- 10.— *El teatro español en Francia (1935-1973) / F. Torres Monreal*  
(Literatura y Filología. Extranjero, 1971)
- 11.— *Simulación electrónica del aparato vestibular/J.M. Drake Moyano*  
(Métodos Físicos aplicados a la Biología. España, 1974)
- 12.— *Estructura de los libros españoles de caballerías en el siglo XVI.*  
Federico Francisco Curto Herrero (Literatura y Filología. España, 1972)
- 13.— *Estudio geomorfológico del Macizo Central de Gredos*  
M. Paloma Fernández García (Geología. España, 1975)
- 14.— *La obra gramatical de Abraham Ibn c Ezra/Carlos del Valle Rodriguez*  
(Literatura y Filología. Extranjero, 1970)

- 15.— *Evaluación de Proyectos de Inversión en una Empresa de producción y distribución de Energía Eléctrica.*  
Felipe Ruíz López (Ingeniería. Extranjero, 1974)
- 16.— *El significado teórico de los términos descriptivos/Carlos Solís Santos*  
(Filosofía. España, 1973)
- 17.— *Encaje de los modelos econométricos en el enfoque objetivos-instrumentos relativos de política económica./ Gumersindo Ruíz Bravo*  
(Sociología. España, 1971)
- 18.— *La imaginación natural (estudio sobre la literatura fantástica norteamericana).* / Pedro García Montalvo  
(Literatura y Filología. Extranjero, 1974)
- 19.— *Estudio sobre la hormona Natriurética.* / Andrés Purroy Unanua  
(Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1973)
- 20.— *Análisis farmacológico de las acciones miocárdicas de bloqueantes Beta—Adrenérgicos./ José Salvador Serrano Molina*  
(Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1970)
- 21.— *El hombre y el diseño industrial./Miguel Durán—Lóriga*  
(Artes Plásticas. España, 1974)
- 22.— *Algunos tópicos sobre teoría de la información./ Antonio Pascual Acosta*  
(Matemáticas. España, 1975)
- 23.— *Un modelo simple estático. Aplicación a Santiago de Chile*  
Manuel Bastarache Alfaró (Arquitectura y Urbanismo. Extranjero, 1973)
- 24.— *Moderna teoría de control: método adaptativo-predictivo*  
*Teoría y realizaciones.* /Juan Manuel Martín Sánchez  
(Ingeniería. España, 1973)
- 25.— *Neurobiología (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio*  
*sobre Investigaciones biológicas 1977)*
- 26.— *Genética (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio*  
*sobre Investigaciones biológicas 1977)*
- 27.— *Genética (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio*  
*sobre Investigaciones biológicas 1977)*
- 28.— *Investigación y desarrollo de un analizador diferencial digital*  
*(A.D.D.) para control en tiempo real.* /Vicente Zugasti Arbizu  
(Física. España, 1975)
- 29.— *Transferencia de carga en aleaciones binarias./ Julio A. Alonso*  
(Física. Extranjero, 1975)
- 30.— *Estabilidad de osciladores no sinusoidales en el rango de*  
*microondas.* / José Luis Sebastian Franco.  
(Física. Extranjero, 1974)

31. – *Estudio de los transistores FET de microondas en puerta común.* Juan Zapata Ferrer. (Ingeniería. Extranjero, 1975).
32. – *Estudio sobre la moral de Epicuro y el Aristóteles esotérico.* / Eduardo Acosta Mendez (Filosofía. España, 1973)
33. – *Las Bauxitas Españolas como mena de aluminio.* / Salvador Ordoñez Delgado (Geología. España, 1975).
34. *Los grupos profesionales en la prestación de trabajo: obrero y empleados.* / Federico Durán López (Derecho. España, 1975)
35. – *Obtención de Series aneuploides (monosómicas y ditelosómicas) en variedades españolas de trigo común.* / Nicolás Jouve de la Barreda. (Ciencias Agrarias. España, 1975).
36. – *Efectos dinámicos aleatorios en túneles y obras subterráneas.* / Enrique Alarcón Alvarez. (Ingeniería. España, 1975).
37. – *Lenguaje en periodismo escrito.* / Fernando Lázaro Carreter, Luis Michelena Elissalt, Robert Escarpit, Eugenio de Bustos, Víctor de la Serna, Emilio Alarcos Llorach y Juan Luis Cebrián. (Seminario organizado por la Fundación Juan March los días 30 y 31 de mayo de 1977).
38. – *Factores que influyen en el espigado de la remolacha azucarera, Beta vulgaris L.* / José Manuel Lasa Dolhagaray y Antonio Silván López. (Ciencias Agrarias. España, 1974).
39. – *Compacidad numerable y pseudocompacidad del producto de dos espacios topológicos. Productos finitos de espacios con topologías proyectivas de funciones reales.* / José Luis Blasco Olcina (Matemáticas. España, 1975).
40. – *Estructuras de la épica latina.* / M<sup>a</sup>. del Dulce Nombre Estefanía Alvarez. (Literatura y Filología, España, 1971).
41. – *Comunicación por fibras ópticas.* / Francisco Sandoval Hernandez (Ingeniería. España, 1975).
42. – *Representación tridimensional de texturas en chapas metálicas del sistema cúbico.* / José Antonio Pero-Sanz Elorz (Ingeniería. España, 1974).
43. – *Virus de insectos: Multiplicación, aislamiento y bioensayo de baculovirus.* / Cándido Santiago-Alvarez. (Ciencias Agrarias. Extranjero, 1976).
44. – *Estudio de mutantes de saccharomyces cerevisiae alterados en la biosíntesis de proteínas.* / Lucas Sanchez Rodriguez. (Biología. España, 1976).

- 45.— *Sistema automático para la exploración del campo visual.* José Ignacio Acha Catalina (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1975).
- 46.— *Propiedades físicas de las variedades de tomate para recolección mecánica/* Margarita Ruiz Altisent (Ciencias Agrarias. España 1975)
- 47.— *El uso del ácido salicílico para la medida del  $p^H$  intracelular en las celulas de Ehrlich y en escherichia coli/* Francisco Javier García-Sancho Martín. (Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1974).
- 48.— *Relación entre iones calcio, fármacos ionóforos y liberación de noradrenalina en la neurona adrenérgica periférica./* Antonio García García. (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1975).
- 49.— *Introducción a los espacios métricos generalizados.* Enrique Trillas y Claudi Alsina. (Matemáticas. España, 1974).
- 50.— *Síntesis de antibióticos aminoglicosídicos modificados./* Enrique Pando Ramos (Química, España, 1975).
- 51.— *Utilización óptima de las diferencias genéticas entre razas en la mejora./* Fernando Orozco y Carlos López-Fanjul (Biología Genética. España, 1973).
- 52.— *Mecanismos neurales de adaptación visual a nivel de la capa plexiforme externa de la retina./* Antonio Gallego Fernández (Biología Neurobiología. España, 1975).
- 53.— *Compendio de la salud humana de Johannes de Ketham./* M<sup>a</sup>. Teresa Herrera Hernández. (Literatura y Filología. España 1976).
- 54.— *Breve introducción a la historia del Señorío de Buitrago./* Rafael Flaquer Montequi. (Filosofía y Letras. España, 1975).
- 55.— *Una contribución al estudio de las teorías de cohomología generalizadas./* Manuel Castellet Solanas. (Matemáticas. Extranjero, 1974).
- 56.— *Fructosa 1.6 Bisfosfatasa de hígado de conejo: modificación por proteasas lisosomales./* Pedro Sánchez Lazo. (Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1975).
- 57.— *Estudios sobre la expresión genética de virus animales./* Luis Carrasco Llamas. (Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1975).
- 58.— *Crecimiento, eficacia biológicas y variabilidad genética en poblaciones de dípteros./* Juan M. Serradilla Manrique. (Ciencias Agrarias. Extranjero, 1974).





