

# TECNICA, MANEJO Y APLICACIONES DE LA PLATINA UNIVERSAL DE FEDOROV

POR

DR. D. JOAQUÍN MULAS SÁNCHEZ

Catedrático del Instituto Jovellanos de Gijón

## COMO SE REALIZO ESTE TRABAJO

Durante los cinco años que pertencí al Instituto "Lucas Mallada" de Investigaciones Geológicas del C.S.I.C. como becario y ayudante, no utilicé en ningún momento la Platina Universal de Fedorov. Es más, mi conocimiento de los métodos de Fedorov no pasaba de saber que existían.

El período comprendido entre 1954 a 1958 lo dediqué al estudio de la Petrología de la Zona de Enlace Guadarrama-Gredos y para ello utilicé métodos de campo, de microscopio corriente y químicos. En aquella época llegué a dominar las técnicas teodolíticas recogiendo con este propósito muestras orientadas; sin embargo no encontré facilidades para ese trabajo y presenté mi tesis sin haberlas utilizado.

Un año más tarde, ya catedrático de Instituto y desligado del Instituto "Lucas Mallada" mi deseo se mantenía y con ocasión de una convocatoria de Pensiones de Estudio para Catedráticos publicada por la Comisaria de Protección Escolar y Social solicité una de ellas, proponiendo como trabajo: "Técnica y Manejo de la Platina Universal de Fedorov y sus Aplicaciones".

Al mismo tiempo comuniqué al Excmo. Sr. D. Maximino San Miguel de la Cámara, con el que mantenía frecuente correspondencia, mis intenciones de estudiar estas técnicas dentro del Instituto "Lucas Mallada" del que era director. Su respuesta no solo fue afirmativa autorizandome, sino que manifestaba en ella gran alegría por que yo continuaré mi perfeccionamiento en uno de los métodos mas importantes de Geognosia.

Me fue concedida la Pensión para realizar el trabajo en Madrid dentro del "Instituto "Lucas Mallada" durante los meses de Agosto y Septiembre de 1961.

El 17 de Mayo murió D. Maximino en Cartagena y tuve que entrar en relaciones directas con D. José María Fuster Casas, catedrático de Petrología de la Universidad y Jefe de la sección de Petrografía del Instituto "Lucas Mallada". Le escribí una primera carta informándole de mi situación. Muy cortés y amistosamente me indicó que la sección sólo contaba con dos platinas que estaban siendo utilizadas continuamente y que de momento y sobre todo para el período que a mi me interesaba no podría complacerme.

En esta situación me puse en contacto con D. Antonio Arribas investigador del Laboratorio de Mineralogía de la Junta de Energía Nuclear, de donde había llegado a mis oídos contaban con una Platina Universal. Mi propuesta fue aceptada pero sólo para el mes de Septiembre, ya que durante el mes de Agosto todo el personal estaba de vacaciones.

Así estaban las cosas en el mes de Julio, no muy claras por cierto, sin que me faltaran tentaciones de renunciar a la Pensión. No obstante decidí seguir adelante planeando para el mes de Agosto el estudio teórico de la Platina U., en aquellos centros que pudieran proporcionarme bibliografía sobre el asunto, y luego aprovechar el mes de Septiembre para el trabajo práctico en la J.E.N. ,

Dispuesto a no dejar pasar los días sin provecho comencé a frecuentar diariamente la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, donde afortunadamente encontré en francés, inglés y alemán la mayor parte de los libros que se citan en la Bibliografía. De ellos pacientemente fui sacando todo lo que contenían referente a técnica, manejo y aplicaciones de la Platina Universal.

El 20 de Agosto tuve la fortuna de ponerme en contacto con D. Tirso Febrel, ingeniero de Minas y Jefe del Laboratorio de Petrografía del Instituto Geológico y Minero de España. Le conté mis problemas y accedió a darme unas lecciones prácticas del manejo de la Platina Universal.

Dado el permiso por el director del Instituto Geológico, Sr. Almela, desde la tarde del 21 de Agosto hasta el 31 asistí todos los días al citado laboratorio. Quede ya aquí patente mi profundo agradecimiento por el Sr. Febrel.

Llegó Septiembre y prolongué mi trabajo en la Junta de Energía Nuclear, donde en todo momento tuve a mi disposición no sólo una Platina Universal sino los libros y el material que necesité. Allí continué asistiendo diariamente hasta finalizar el período, el 30 de Septiembre.

Desde entonces hasta el momento de la presentación de esta Memoria he dedicado a su confección todo el tiempo libre que me han dejado las ocupaciones oficiales.

En total puedo asegurar que han sido cinco meses dedicados casi por completo a este fin.

La Memoria se presenta con ambiciones de Tratado. He puesto el máximo interés, incorporando razonamientos originales o aclarando otros que a mi juicio vienen confusos en otros textos.

Además estoy convencido de haber realizado un buen servicio para aquellos que se interesen por estos métodos.

Las próximas generaciones de geólogos españoles, que se presentan numerosas, deben conocer desde los años de Facultad cuando estudian la Mineralogía y la Petrografía, estos interesantes métodos, propicios a la investigación de los materiales terrestres.

Finalmente deseo que conste mi agradecimiento a tres personas:

D. Maximino San Miguel de la Cámara (q. e. p. d.).  
D. Tirso Febrel.  
D. Antonio Arribas.

Gijón, Diciembre de 1961.

\* \* \*

## ALGO DE HISTORIA

La construcción de la Platina Universal o Teodolítica no fué obra exclusiva de Fedorov. Antes de él, ilustres investigadores en Cristalografía, idearon aparatos, aunque imperfectos, en los que un cristal o una preparación podía tomar posiciones diversas en el espacio.

Primero, con idea de medir ángulos diedros se construyeron goniómetros teodolíticos; así Leeson en 1848 ideó un aparato de tres movimientos: Dos horizontales y uno vertical.

Más tarde en 1856 Highley construyó un aparato de rotación con movimiento en altitud y azimut.

En 1861 Valentín utilizó un aparato que podía ser acoplado a la platina del microscopio.

Aparatos parecidos más o menos perfeccionados los encontramos descritos en Nageli y Schewendeuer (1867), Ebner (1874), West (1880), Brogger (1884) y Fuess (1899).

En 1891 Klein describe el primero de los muchos aparatos que ideó y que fue construido por Fuess, apropiado para el cálculo del índice de refracción.

En 1889 Fedorov presentó su Platina Universal que fue perfeccionando hasta 1898. Su inmediato seguidor, discípulo y colaborador fue Nikitin que dió gran impulso a los métodos de

su maestro a la vez que introdujo perfeccionamientos e ideas originales. También entre sus colaboradores se cuenta Bolderiev.

Son dignos de mención Schroeder van der Kolk (1895), Siethoff (1903), Arschinow (1910), que utilizaba grandes hemisferios de vidrio, Wright (1911) que colocó los arcos que llevan su nombre para la medida de los ángulos verticales.

Berek en 1925 la hizo apta para el trabajo petroestructural.

Entre los primeros extranjeros que asimilaron los métodos de Fedorov se cuentan los suizos L. Duparc y M. Reinhard que los aplicaron principalmente al estudio de las plagioclasas.

Por último citaremos a Emmons (1929) diseñador del primer modelo de la Platina Universal de Cinco Ejes.

En España fueron introductores el profesor Pardillo y el ingeniero Domingo de Orueta, así como el investigador Marcet Riba que desde el año 1922 hasta la actualidad viene practicando estas técnicas.

En el presente se poseen Platinas Universales en los siguientes centros españoles.

Instituto Geológico y Minero de España en su laboratorio de Petrografía dirigido por el ilustre ingeniero D. Tirso Febrel, primer investigador en Petrología Estructural; secundado por el también ingeniero de Minas D. José Sierra.

Junta de Energía Nuclear, en su laboratorio de Mineralogía donde el Dr. D. Antonio Arribas es conocedor de estos métodos dirigidos hacia la determinación de especies mineralógicas.

Instituto "Lucas Mallada" de Investigaciones Geológicas del C.S.I.C. del que hasta su muerte fue director el maestro de los petrografos españoles D. Maximino San Miguel de la Cámara. En su sección de Petrografía de la que es Jefe el Dr. D. Jos María Fuster Casas, catedrático de Petrología de la Universidad de Madrid hay dos platinas de cuatro ejes, siempre ocupadas.

Laboratorio de Petrología de la Universidad de Barcelona dirigido por el catedrático D. Alfredo San Miguel petrógrafo de categoría internacional.

Y por último el Museo de Ciencias Naturales de Barcelona, primero en el tiempo, donde sigue trabajando el ya citado Dr. Marcet Riba.

A pesar que la Platina Universal es un instrumento de gran valor en Geognosia, muy pocos son los geólogos que la conocen, siendo contados la que la dominan. Hasta hace unos meses yo no conocía más que la platina corriente y ahora puedo asegurar que después de practicar en ella e introducirme en sus métodos se me ha abierto un mundo nuevo de conocimientos y posibilidades de investigación.

### CONSTITUCION DE LA PLATINA UNIVERSAL

La Platina Universal es un aparato constituido fundamentalmente de unos anillos que giran según determinados ejes y de unas piezas ópticas especiales. (F-1).

Sosteniendo los anillos y permitiendo que tomen diversas posiciones en el espacio existe un soporte que se une a la Platina del Microscopio por medio de dos tornillos.

La Platina Universal mas utilizada es la denominada de Cuatro Ejes, siendo ésta la que describiremos a continuación.

### E J E S

Varias son las denominaciones que reciben. Convenimos en llamarlos  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  y el de la Platina del Microscopio. (F-3).

$E_1$  en posición inicial es vertical coincidiendo con el eje del Microscopio. Los ángulos que describe se denominan azimutales u horizontales. Su giro mueve el disco interno que tiene una estría en el borde. La escala de graduaciones está en el anillo concéntrico inmediato y va de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Al girar el eje la estría va marcando la graduación correspondiente.

$E_2$  en posición inicial en horizontal N-S. Los ángulos que describe se denominan zenitales o verticales. Su giro mueve el

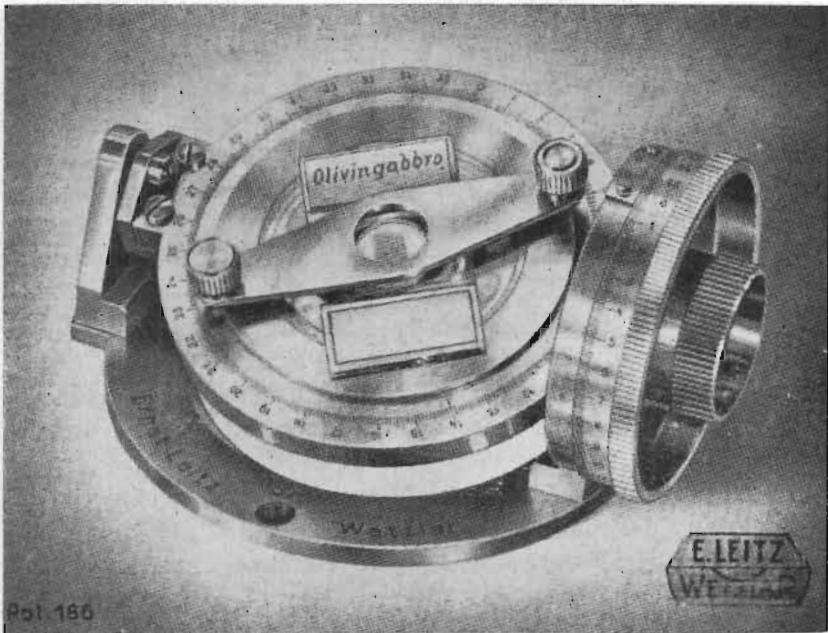


Fig. 1.—Platina Universal de cuatro ejes

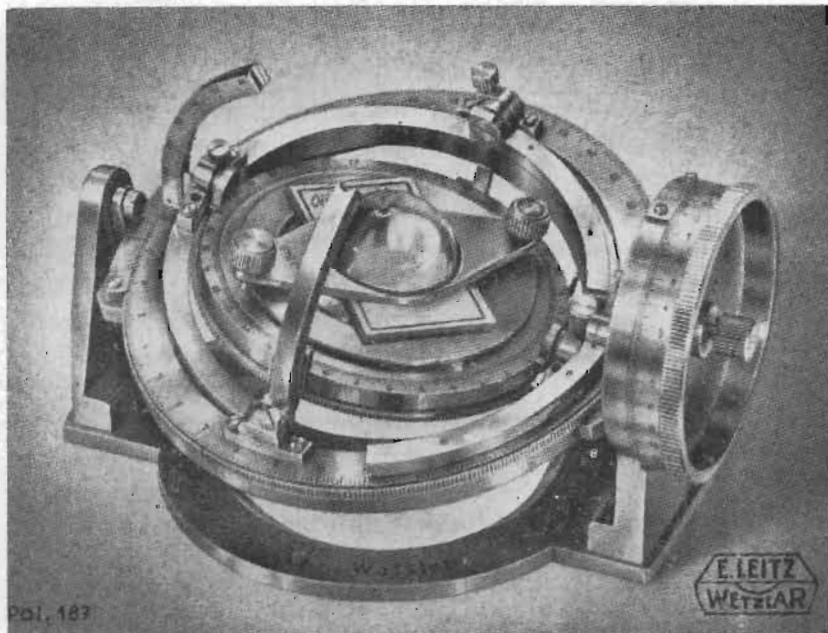


Fig. 2.—Platina Universal de cinco ejes

disco interno y el anillo concéntrico inmediato que tiene un saliente vertical con una marca. La escala que va de 0° a 60° está sobre dos arcos verticales, uno al W y otro al E.

$E_3$  está vertical en posición inicial. Los ángulos que mide son horizontales. Su giro mueve el disco y dos anillos concéntricos. La escala va de 0° a 360° y está sobre el anillo más externo de la Platina. Es el menos utilizado.

$E_4$  es horizontal y en posición W-E (Izquierda-derecha) inicialmente. Su giro mueve todos los anillos. La escala está sobre un tambor graduado colocado a la derecha del observador. (No debe decirse "a la derecha de la Platina Universal" pues las platinas no tienen derecha). Puede utilizarse como eje de medida o a veces de comprobación cuando  $E_1$  y  $E_2$  son los de medida.

El eje de la Platina del Microscopio, coincidente con el eje del tubo del microscopio mueve toda la Platina Universal. Se utiliza generalmente como eje de comprobación, pero también puede serlo de medida.

## PIEZAS OPTICAS

El anillo interno tiene en su borde interior un reborde circular en el que se acopla justamente un disco de vidrio.

Por debajo se coloca una semiesfera maciza de vidrio, y por encima la lámina delgada y otra semiesfera. En el gráfico puede verse esta disposición (F-4) y (F-5).

Uniendo las piezas hay una sustancia adherente que puede ser glicerina, aceite de cedro u otra sustancia de parecidas características. Su misión principal es la de evitar capas de aire en el contacto de las diversas piezas. La permanencia de capas de aire produce reflexiones totales y otros fenómenos ópticos derivados que entorpecen y equivocan la visión de las secciones minerales contenidos en la lámina transparente. Tanto la glicerina como el aceite de cedro han sido utilizados por mí, y he podido comprobar que en los casos que sea necesario el continuado desplazamiento de la preparación o que se deje



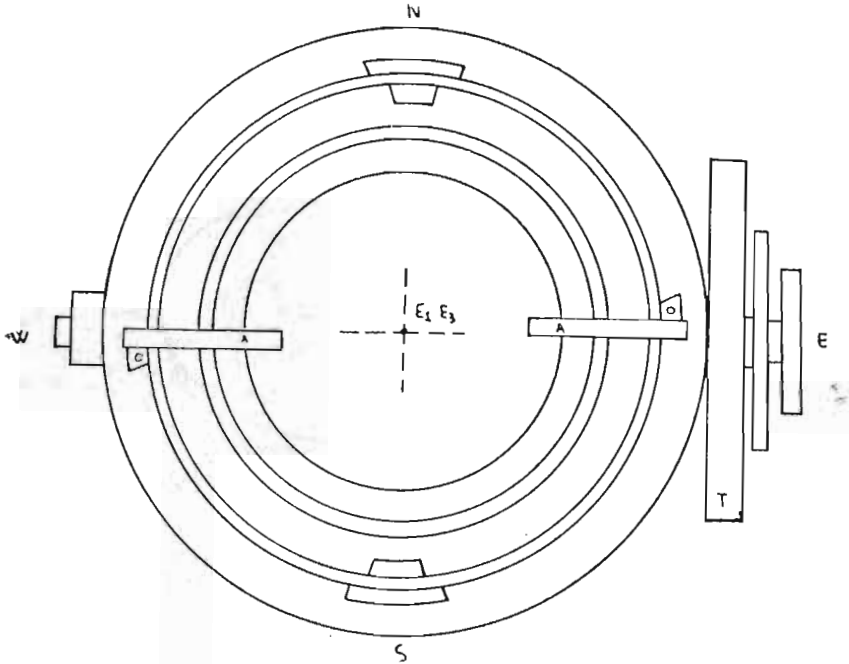


Fig. 3

A = Arcos verticales graduados para medir en ángulo zenital  
 T = Tambor graduado para medir los giros de  $E_4$  (W-E)

montada de un día para otro es preferible el aceite de cedro. El deslizamiento es más suave y tarda más en secarse.

Ambos hemisferios de vidrio han de tener el mismo índice de refracción, y en lo posible lo más próximos al mineral que se va a estudiar. Normalmente van con la Platina Universal tres juegos de hemisferios, de tres índices, que sirven para los minerales más corrientes.

Si el índice de refracción del vidrio de los hemisferios difiere del mineral son necesarias ciertas correcciones de las que se tratará más adelante.

Los hemisferios están armados en sendos arcos metálicos, sencillo en el inferior y con dos expansiones de forma alada en el superior. En los extremos de las expansiones hay un agu-

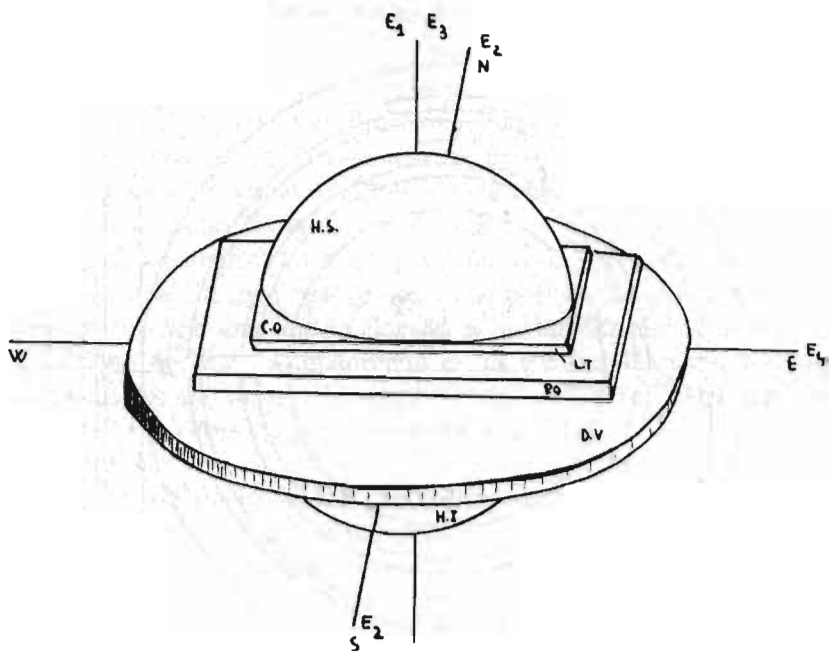


Fig. 4—Ejes y piezas ópticas para la Platina Universal

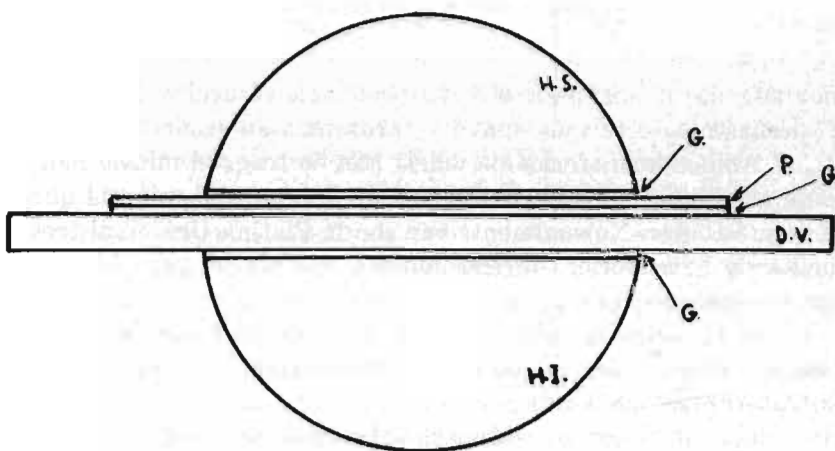


Fig. 5

H. S. = Hemisferio superior; H. S. = Hemisferio inferior  
 G = Glicerina; P = Preparación; D. V. = Disco de vidrio

jero que coincidirá con otro agujero perforado en la Platina. Por cada agujero pasará un anillo de rosca que sujetará el Hemisferio superior a la Platina Universal.

Cuando las piezas ópticas son del mismo o muy cercano índice de refracción del mineral, el conjunto es atravesado por los rayos de luz como si fuera una esfera homogénea. La propiedad de las esferas homogéneas de no desviar cualquier dirección de la luz que siga la dirección de un radio de la esfera, permite inclinar la preparación sin que los rayos que atraviesan las secciones minerales emerjan desviados.

Para la visión de las preparaciones que se estudian en la Platina Universal se utilizan Objetivos especiales y condensadores adicionales.

## MONTAJE DE LA PLATINA UNIVERSAL

Las operaciones de montaje consisten en la incorporación de las piezas ópticas y de la preparación al disco interno de la Platina Universal y luego fijar ésta a la Platina del Microscopio. (F-7).

Dispuesto el disco interno en posición horizontal, se coloca sobre su reborde interior el disco de vidrio.

En la parte superior del disco de vidrio se echa una o dos gotas de glicerina o de aceite de cedro, e inmediatamente por la parte del portaobjetos se adhiere la preparación apretando suavemente para que no queden burbujas. La preparación ha de colocarse aproximadamente perpendicular a la línea que une los dos agujeros.

Sobre el cubre objetos se echa una o dos gotas de la misma sustancia y encima se coloca el hemisferio superior de vidrio, procurando que sus agujeros coincidan con los de los anillos. Entonces se introducen los tornillos, enroscándolos hasta que se note ligera resistencia.

Para colocar el hemisferio inferior se voltea por  $E_2$  los dos anillos internos quedando hacia arriba la parte inferior del disco de vidrio. Sobre él se echa una o dos gotas y a continuación se ajusta el hemisferio inferior apretándolo suavemente.

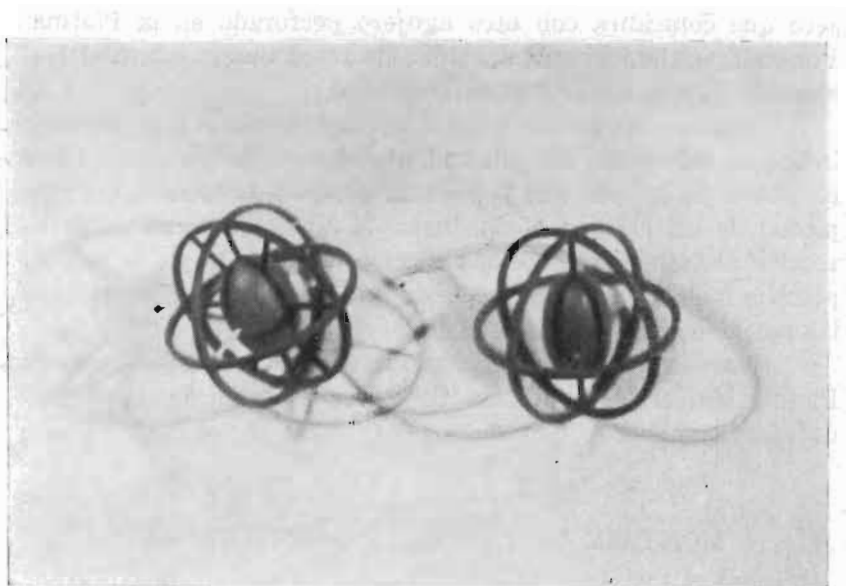


Fig. 6

Modelos de elipsoides biaxico y uniaxico

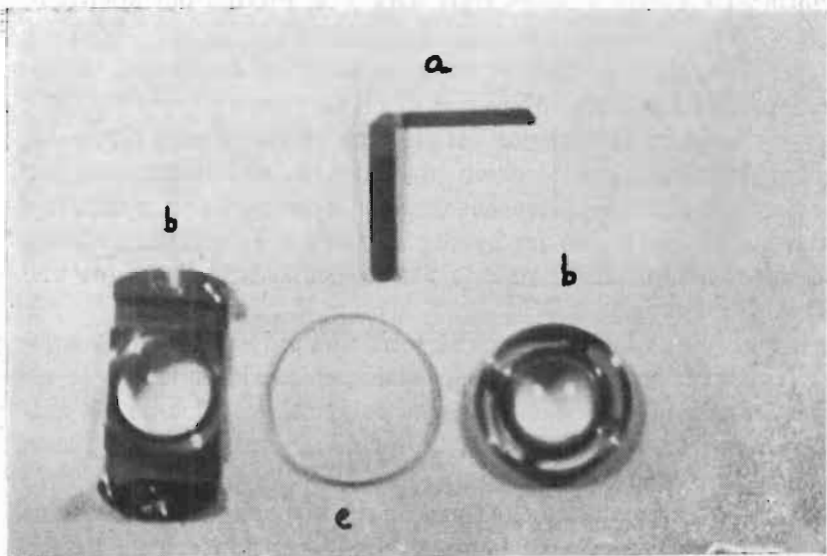


Fig. 7

- a) Escuadra guía de la preparación
- b) Hemisferio de vidrio
- c) Disco de vidrio

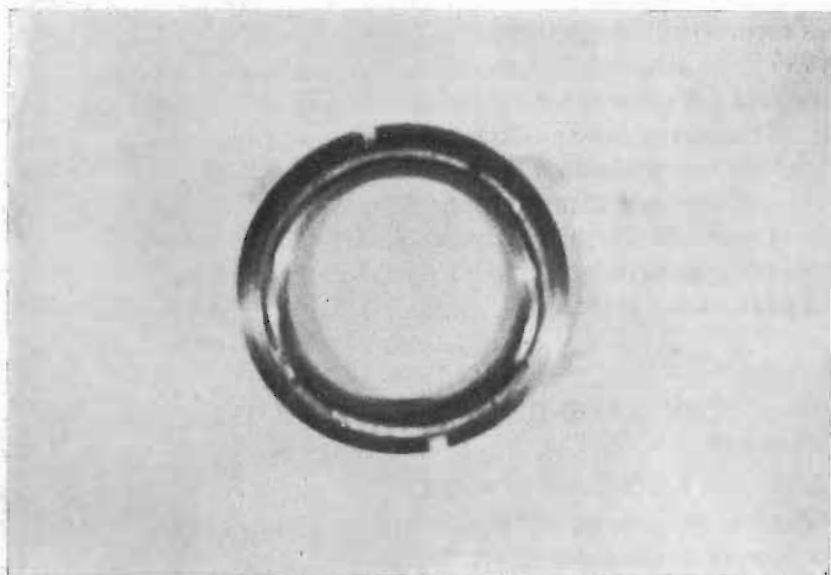


Fig. 8

ANILLO INTERNO separado de su Platina. Obsérvese las dos muescas del borde para el paso de los tornillos

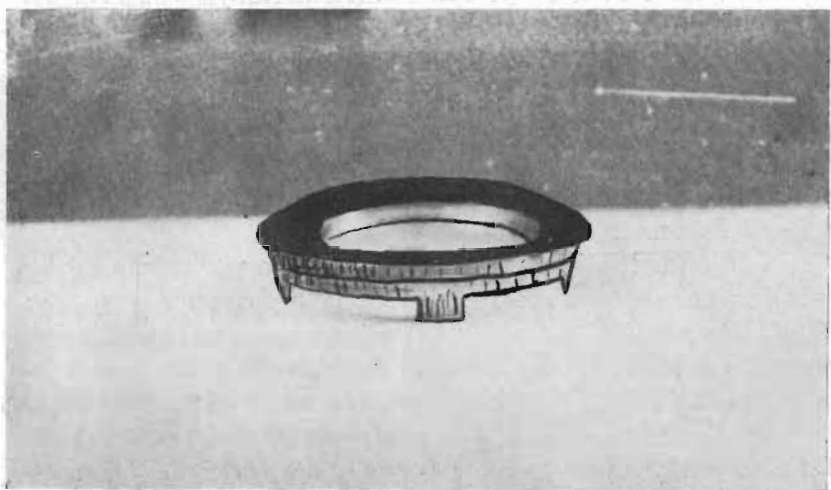


Fig. 9

ANILLO INTERNO. La parte superior se eleva o descende con relación a la inferior, sujetando la superior y girando la inferior al ejercer presión con el dedo sobre uno de los pies del anillo

Después de quitar en la Platina del Microscopio la tapa en forma de disco perforado; se lleva sobre dicha platina, la Universal; de manera que coincidan los agujeros y dejando a la derecha del observador el tambor que mueve  $E_3$ . Se introducen los tornillos en los agujeros, pero no se aprietan hasta no realizar las operaciones de centrado. (F-10) y (F-11).

Caso de utilizar condensador, éste ha de colocarse antes de situar a la Platina Universal sobre la platina corriente. Al contrario, el objetivo se pondrá después, como medida preventiva para evitar golpes.

### CENTRADO DE LA PLATINA UNIVERSAL

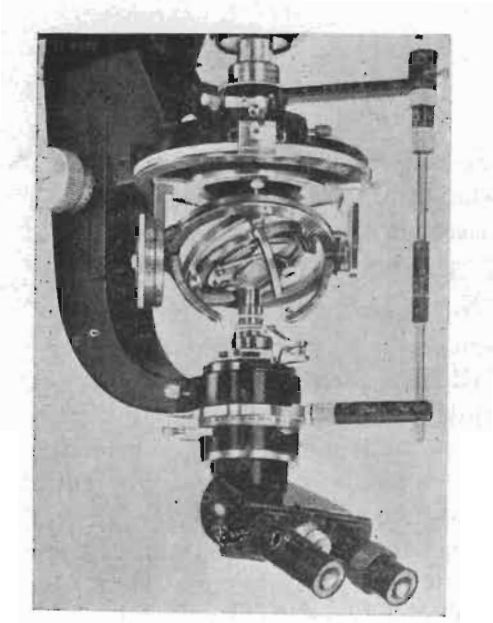
Las operaciones de centrado tienen por objeto hacer coincidir los ejes en un punto que aproximadamente ha de ser el centro del grano a observar.

La primera de estas operaciones es la misma que se realiza con la platina corriente después de colocado el objetivo. Hacemos que el eje de giro de la platina coincida exactamente con el eje óptico del microscopio con ayuda de unos tornillos de centrado. Esta es una operación suficientemente conocida por todos los que han utilizado el microscopio polarizante.

A continuación se ha de comprobar si los ejes verticales de la Platina Universal coinciden con el eje óptico del microscopio, partiendo de una graduación cero de los ejes horizontales.

Se ha de partir, que los dos ejes verticales coinciden, pues si así no fuera, tal defecto no podríamos rectificarlo, por ser defecto de construcción.

Fijados los ejes horizontales en cero por medio de los tornillos correspondientes, se enfoca la preparación y se gira  $E_1$ . Si  $E_1$  coincide con el eje del microscopio, un granillo que coincida con el cruce de los hilos del retículo permanecerá inmóvil y cualquier otro granillo visible en el campo de visión descubrirá circunferencias con centro en el cruce de los hilos. En caso contrario  $E_1$  no coincide con el eje óptico del microscopio y hay que llevarlos a coincidir. Para esto; dado que los tornillos de fijación de la Platina Universal se han dejado flojos;



Platina Universal de cinco ejes montada en un microscopio binocular

Fig. 11



Platina Universal montada en el microscopio

Fig. 10

se desplaza toda ella ligeramente en las direcciones que convenga por sucesivos tanteos hasta conseguir que el giro de  $E_1$  deje inmóvil al granillo que se lleva al cruce de los hilos del retículo. Entonces  $E_1$  coincide con el eje del microscopio y los tornillos deben apretarse definitivamente, para evitar desplazamientos que destruirán la coincidencia.

Como todos los ejes de la Platina Universal deben cortarse en un punto que es el centro de ella; si se ha hecho coincidir el eje del microscopio con los ejes verticales, el eje del microscopio pasará por el centro de la Platina Universal. Ahora bien, el punto de cruce de los ejes debe estar contenido en el plano de la Lámina Transparente pues si así no fuera, el grano en observación se desplazaría al girar los ejes horizontales y los ángulos de inclinación o zenitales vendrían con error.

Para comprobar ésto y rectificar si es preciso se gira  $E_2$  o  $E_3$  observando si los granos se desplazan o no. En último caso quiere decir que el centro de la Platina Universal está dentro de la lámina transparente.

Si hay desplazamiento, el plano de la lámina transparente estará encima o por debajo del centro. Para llevarlos a coincidir, existe un resorte debajo del anillo interno que eleva o descende la preparación hasta que por sucesivas aproximaciones desaparece el desplazamiento anterior. (F-8) y (F-9).

La amplitud del movimiento del resorte es pequeña, por lo que las preparaciones deben tener un vidrio portaobjetos delgado.

## PARALELISMO DE LOS EJES HORIZONTALES CON LOS HILOS DEL RETICULO

Para comprobar si el eje N-S es paralelo al hilo N-S y el W-E es paralelo con el hilo W-E, se hace lo siguiente:

Se sube el tubo del microscopio hasta enfocar una partícula de polvo posada sobre la superficie esférica del hemisferio superior y luego se gira uno cualquiera de los dos ejes horizontales.



Entonces se observará si la partícula enfocada se desplace paralela o no a uno de los hilos del retículo. En el primer caso hay paralelismo; en el segundo, el eje girado formará un cierto ángulo con el plano de vibración del nicol correspondiente.

Para llevarlos paralelos, se gira la platina del microscopio el ángulo necesario; al que se llegará por breve tanteo.

No suele ser corriente que se dé este segundo caso, pero si ocurre, el ángulo que aparezca en la graduación de la platina del microscopio lo hemos de tener en cuenta para que entre en la corrección del ángulo azimutal, obtenido por giro de un eje vertical.

Dado que ambos ejes horizontales son perpendiculares y que los planos de vibración de los nicoles o lo que es lo mismo los hilos del retículo son también perpendiculares entre sí; se deduce que si un eje tal como el N-S es paralelo al hilo N-S, el eje W-E lo será al hilo W-E. Para que tal cosa no sucediera sería necesario que los ejes horizontales no fueran perpendiculares cuando las graduaciones indican que debían serlo. Este sería un defecto de construcción poco probable.

#### CORRECCION DEL ANGULO ZENITAL

Cuando las piezas ópticas y el grano del mineral en observación son del mismo índice de refracción, el ángulo que es necesario girar un eje horizontal para realizar cualquier medida viene dado en los arcos verticales en su verdadero. (F-12).

No ocurre así si se utilizan hemisferios de distinto índice de refracción que el del mineral. Entonces el ángulo observado es distinto que el verdadero, pues se produce refracción al cambiar a medio de distinta densidad. Sin embargo podemos llegar a este último valor por existir entre el ángulo observado (O), el ángulo verdadero (V), el índice de refracción del mineral (M) y el índice de refracción de los hemisferios (H), la siguiente proporción:

$$\text{sen } V = \frac{H}{M} \cdot \text{sen } O \quad (1)$$

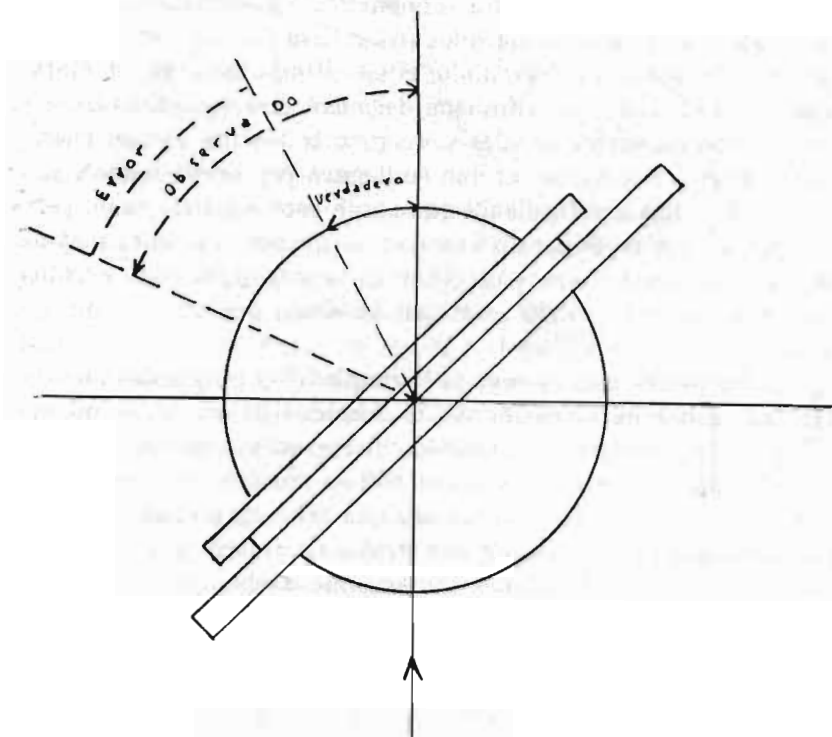


Fig. 12

Paso de la luz a través de los hemisferios y de la preparación cuando son de igual o de distinto índice de refracción

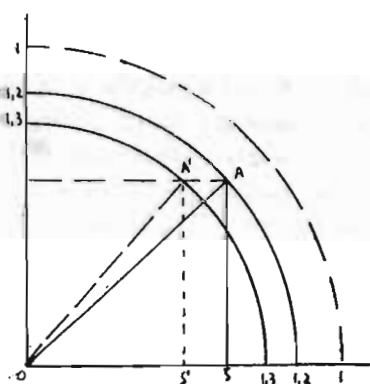


Fig. 13

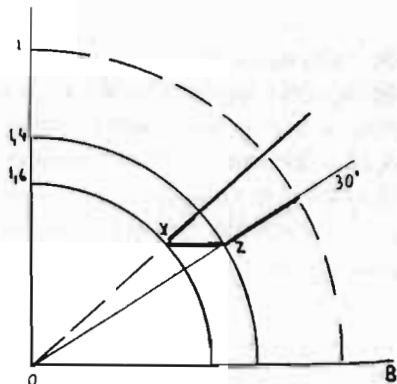


Figura 14

Corrección del ángulo zenital

donde al ser conocidos M, H y O podemos llegar de forma analítica al valor de V.

Fedorov para hallar el ángulo verdadero de manera rápida ideó el ábaco que se presenta esquemáticamente en la fig. 14 que resuelve la ecuación (I).

El ábaco es un cuadrante de círculo surcado por tres clases de líneas: Radios, arcos concéntricos y paralelas.

Los radios están de grado en grado a partir del radio cero que es la normal a la preparación en posición inicial; es decir coincidente con el eje del microscopio.

Los arcos concéntricos tienen por radios los inversos de los índices de refracción (1;1,1;1,2;.....2;...).

Las paralelas, lo son a la normal. Son líneas auxiliares en el número que se precise.

Ahora en el graf. 13 tengamos un ángulo tal como AOS referido a la circunferencia (1,2) de radio OA, entonces  $\text{sen AOS} = \text{AS}$ .

Si deseamos encontrar ese mismo valor del seno sobre otra circunferencia (1,3), trazamos desde A una línea paralela a OB hasta que corte a dicha circunferencia. Sin duda alguna  $A'S' = AS$ ; ahora bien A'S' corresponde a un ángulo A'O B.

Teniendo en cuenta estos razonamientos y a la vista del ábaco la regla de corrección es la siguiente:

Se busca el ángulo observado (referido a la normal) se sigue el radio correspondiente hasta encontrar el arco que representa el índice de refracción del mineral y desde el encuentro se sigue la línea paralela al origen de ángulos hasta encontrar el arco que representa el índice de refracción de los hemisferios; desde el encuentro se sigue el radio, el cual nos dará el valor del ángulo verdadero.

Para aclarar ideas valga el siguiente ejemplo: Sean  $30^\circ$  el ángulo observado; 1,4 el índice del mineral; 1,6 el índice de los hemisferios y OB la normal u origen de ángulos. (F-14).

Se busca los  $30^\circ$ , se sigue el radio hasta Z, desde aquí se sigue la paralela a OB hasta Y, desde aquí se sigue el radio OY hasta la circunferencia exterior donde aparecerá la graduación del ángulo verdadero; en este caso  $35^\circ$ .

Fig. 15 — Elipsoide biáxico

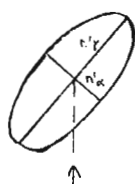
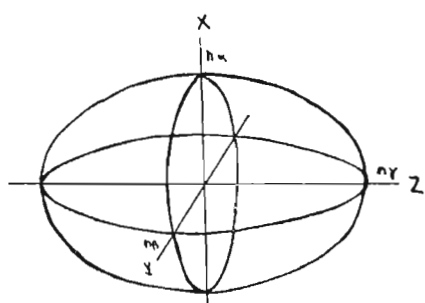


Fig. 16 Sección cualquiera

Fig. 17 — Elipsoide uniáxico

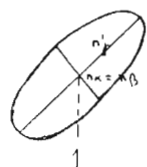
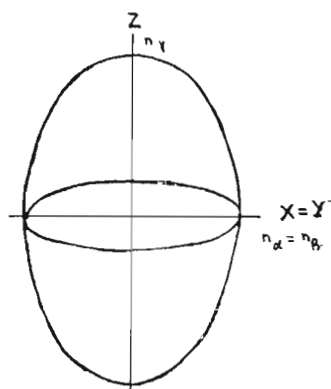


Fig. 18 Sección cualquiera

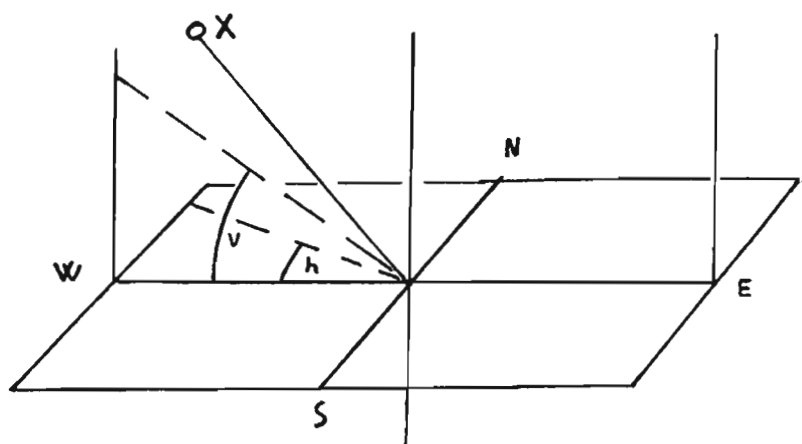


Fig. 19

Colocación de un eje óptico o principal en dirección W-E

X = Eje óptico uniáxico o Eje principal biáxico

V = ángulo zenital; h = ángulo azimutal

Como los ángulos zenitales generalmente son referidos al plano horizontal no hay que olvidarse que para su corrección hay que referirlos a la normal del plano horizontal y por tanto hallar el complemento.

## MEDIDA DE LA ORIENTACION DE MINERALES UNIAXICOS

Nos interesa recordar: (F-17) y (F-6).

A) El elipsoide uniáxico tiene dos índices principales de refracción  $n_x$  y  $n_z$  y otro secundario variable comprendido entre los dos principales.

B) En la dirección del eje óptico la luz no sufre ni doble refracción ni polarización, siendo ésta la única dirección con esta propiedad.

C) Son uniáxicos los cristales de los sistemas exagonal y tetragonal, coincidiendo el eje óptico con el eje senario (o ternario) o cuaternario (o binario) respectivamente.

D) En el elipsoide uniáxico podemos distinguir tres tipos de secciones:

1.—La perpendicular al eje óptico o eje principal de simetría que es el plano principal de simetría.

2.—Las que contienen al eje óptico, denominadas secciones principales que están determinadas por el eje óptico y cualquiera de los ejes binarios. Son infinitas en número.

3.—Secciones cualesquiera, ni perpendiculares al eje óptico ni conteniéndolo. (F-18)

Las secciones: 1, es circular, 2, elípticas todas iguales, 3, elípticas diferentes según elipses uno de cuyos ejes es fijo variando el otro entre  $n_x$  y  $n_z$ .

E) Si la dirección de propagación de la luz es paralela al eje óptico sólo se propaga la onda ordinaria.

Si la dirección de propagación es perpendicular al eje óptico se propagan dos ondas: La ordinaria con índice constante y la extraordinaria con índice máximo.

Si la dirección de propagación es oblicua al eje óptico se originan dos ondas: La ordinaria de índice constante y la extraordinaria de índice variable entre  $n_x$  y  $n_z$ .

Recordemos también lo que ocurre cuando colocamos un cristal uniáxico entre nicoles cruzados, variando la orientación del elipsoide en las posiciones siguientes:

- 1.—Colocado el eje óptico paralelo a la dirección de propagación de la luz, la luz polarizada pasa sin sufrir desviación del plano de vibración y quedará extinguida al llegar al analizador.
- 2.—Colocado el eje óptico paralelo a la dirección de vibración de la luz polarizada, o sea, perpendicular a la propagación de la luz y contenido en el plano de polarización. La luz pasa polarizada al llegar según el eje óptico al cristal sin modificación y por tanto se extingue en el analizador.
- 3.—Colocado el eje óptico paralelo a la dirección de vibración del analizador, o sea, perpendicular a la propagación y contenido en el plano de vibración del analizador; la luz polarizada al llegar al cristal según el eje binario, pasa y se extingue en el analizador.
- 4.— Colocado el eje óptico en el plano perpendicular a dirección de propagación, serán dos casos particulares los consignados en 2 y 3. En otro de los infinitos casos cualesquiera, la luz polarizada al llegar al cristal originará dos ondas de vibraciones perpendiculares entre sí de índices  $n_x$  y  $n_z$ . Cada una, al llegar al analizador se descompondrá en dos componentes y como uno de estos componentes vibra en ambas ondas paralela al analizador, las dos ondas pasan, aunque con variación de intensidad luminosa, según el ángulo que formen con el plano del analizador.
- 5.—En el caso general de ser el eje óptico oblicuo a la dirección de propagación de la luz, al llegar la luz polarizada al cristal originará dos ondas: una ordi-

naria de índice constante para todos los casos ( $n_x$  si el cristal es positivo y  $n_z$  si el cristal es negativo) y otra extraordinaria de índice  $n_y$  de valor comprendido entre  $n_x$  y  $n_z$ .

Haremos las siguientes distinciones:

a) El eje óptico y el eje de la elipse  $n_y$  están contenidos en el plano de vibración del polarizador o del analizador. Entonces la luz pasa por el cristal sin modificación y por tanto se extingue al llegar al analizador.

b) El eje óptico y  $n_y$  no están contenidos en ninguno de los planos de vibración de los nicoles. Entonces se originan dos ondas que al llegar al analizador se descomponen en cuatro, dos de las cuales vibran paralelas a la dirección de vibración del analizador y por tanto pasan. Habiendo, por este motivo, luminosidad.

La Platina Universal nos permite colocar un solo grano cristalino en posiciones críticas de extinción y deducir de ellas la orientación del elipsoide.

Reconocido el mineral como uniaxial (lo supondremos positivo para concretar), centrados los ejes, las graduaciones a cero y los nicoles cruzados, las operaciones para medir la orientación del elipsoide en el espacio, son las siguientes: (F-19)

- 1.—Se enfoca el grano y se gira  $E_1$  hasta una de las posiciones de extinción  $n_x$  o  $n_y$ .
- 2.—Se gira  $E_2$  (N-S) y se verá si la extinción persiste o no. En el primer caso, el eje binario ( $n_x$ ) está N-S o sea coincidente con  $E_2$  y por tanto  $n_x$  y el eje óptico ( $n_z$ ) están en el plano vertical W-E, plano de vibración de un nicol. En el segundo caso será  $n_y$  el que coincida con  $E_2$  y al girar se perderá la extinción pues el eje óptico es sacado del plano de vibración del nicol.

Como de una a otra posición puede pasarse por giro de  $90^\circ$  de  $E_1$ , caso de no permanecer la extinción se gira  $E_1$   $90^\circ$  y tendremos necesariamente extinción permanente al girar  $E_2$ . Entonces sabemos que el eje óptico ( $n_z$ ) están en el plano vertical W-E.

- 3.—Se gira  $E_4$  (W-E) unos grados para deshacer la extinción. La preparación girará esos mismos grados y lo mismo el eje óptico que describirá una superficie cónica. Pero lo importante es darse cuenta que el eje óptico sigue formando el mismo ángulo con  $E_4$  (W-E) que antes del giro, y como  $E_4$  está contenido en el plano de la preparación y ésta y el eje óptico han girado como un todo, el ángulo entre ambos se mantiene.
- 4.—Se gira  $E_2$  hasta extinción. Para conseguir esta extinción es necesario que el eje óptico esté paralelo a uno de los hilos del retículo o paralelo a la dirección de propagación de la luz. Como en  $E_2$  hay un eje binario, el eje óptico no podrá estar en el plano N-S y en el plano horizontal al mismo tiempo. Quedan por tanto dos posiciones del eje óptico en las que se origina la oscuridad: La posición vertical por ser dirección de isotropía y la posición W-E por coincidir con uno de los planos de vibración de los nicoles. Ningún  $n_y$  puede coincidir con W-E que no sea  $n_x$  o  $n_z$  pues si coincidiera sería perpendicular a dos  $n_x$  (el que coincide con el eje N-S y el que está contenido en un plano horizontal con dirección N-S) y sabemos que sólo el eje óptico es perpendicular a más de un  $n_x$ .
- 5.—Se gira la Platina del Microscopio para comprobar si la extinción persiste o no. Si persiste quiere decir que  $n_z$  está vertical; si no persiste, horizontal. No debe volverse  $E_4$  a cero antes de comprobar esto último, pues en caso de que el eje óptico estuviera vertical se le desplazaría de esta posición.
- 6.—Se toma nota de las graduaciones de  $E_1$  y de la  $E_2$  teniendo en cuenta para este último: 1.º si el borde levantado está al W o al E; 2.º si el eje óptico lo pusimos vertical u horizontal. Entonces tendremos las coordenadas esféricas del eje óptico del cristal.
- 7.—Pasar a proyección.



A partir del paso 5 podemos conocer el signo óptico del mineral. El procedimiento es muy fácil si tenemos colocado o podemos colocar el eje óptico en el plano horizontal. Se hace así:

Se gira la Platina del Microscopio  $45^\circ$  a partir del cero para colocar un eje binario paralelo a la vibración de la cuña de cuarzo ( $n_z$ ). Si al ir introduciendo la cuña aparece banda de extinción no hay compensación, por tanto el eje binario es  $n_x$ . Si no hay banda de extinción no hay compensación, por tanto el eje binario es  $n_z$ . En el primer caso el cristal es Positivo; en el segundo Negativo.

En la práctica, todas estas operaciones se realizan en un período de tiempo no superior al minuto, incluyendo el paso a la proyección.

## MEDIDA DE LA ORIENTACION DE MINERALES BIAXICOS

Comencemos por recordar que: (F-15) y (F-6)

a) El elipsoide biáxico tiene tres índices principales de refracción,  $n_x$ ,  $n_y$  y  $n_z$ .

b) Son biáxicos los cristales pertenecientes a los sistemas rómbico, monoclinico y triclinico.

c) Los dos ejes ópticos forman un ángulo denominado  $2V$  que está contenido en el plano  $XZ$ , siendo por tanto perpendiculares a  $Y$ . Los ejes ópticos son las únicas direcciones de isotropía del elipsoide, o sea, no se realiza en ellas ni doble refracción ni polarización. El ángulo  $2V$  puede ser tan pequeño en algunos minerales, que puede confundirse a este respecto con uniáxicos.

d) En el elipsoide uniáxico podemos distinguir los siguientes tipos de secciones:

1.—Secciones circulares, perpendiculares a cualquiera de los ejes ópticos.

- 2.—Secciones principales, perpendiculares a uno de los ejes principales del elipsoide o lo que es lo mismo paralelas a los planos XY, XZ o YZ. Estas secciones son elípticas teniendo por ejes de la elipse dos índices principales de refracción.
- 3.—Secciones elípticas, uno de cuyos ejes sea X, Y o Z, teniendo el otro un valor intermedio entre los otros dos.
- 4.—Secciones elípticas cuyos ejes sean distintos de X, Y o Z. (F-16)

e) Si la propagación de la luz es paralela a un eje óptico sólo se propaga la onda ordinaria que vibra en todas las direcciones de un plano perpendicular al eje óptico.

Si la propagación de la luz es paralela a uno de los ejes principales del elipsoide se originan dos ondas polarizadas que vibran respectivamente paralelas a los otros dos ejes principales.

Si la propagación es perpendicular a un eje principal y oblicua a los otros dos, se originan dos ondas, una de ellas vibra paralela al eje perpendicular y a la otra según una dirección perpendicular a la propagación de la luz y contenida en el plano formado por los otros dos ejes.

Si la dirección de propagación de la luz es oblicua a los tres ejes principales lo que es lo mismo a los tres planos principales, se originan dos ondas cuyas direcciones de vibración no son paralelas a ningún eje principal del elipsoide.

Pasemos ahora a observar lo que ocurre cuando colocamos un cristal biáxico entre nicoles cruzados:

- 1.—Colocado un plano principal del elipsoide en el plano de vibración de uno de los nicoles, o sea, vertical (N-S o W-E) hay extinción. En esa posición un eje principal estará horizontal (W-E o N-S).
- 2.—Colocados dos planos principales coincidiendo respectivamente con los planos de vibración de los nicoles, su intersección será un eje principal del elipsoide, el tercer plano principal estará horizontal y los otros dos ejes ocuparán las posiciones N-S y W-E.

3.—Colocado un eje óptico paralelo a la propagación de la luz hay extinción.

4.—Cuando los ejes de elipses-sección cualesquiera son paralelos a las direcciones de vibración de los nicoles, hay extinción.

La Platina Universal permite llevar un grano mineral a las posiciones que deseamos y a partir del valor de los giros realizados, deducir la primitiva posición del elipsoide. (F-19).

Veamos cómo se realiza sabiendo que el mineral es biáxico:

1.—Se enfoca un grano y se le lleva a extinción por giro de  $E_1$ .

2.—Se gira  $E_2$ . Si la extinción permanece tenemos un eje principal en posición horizontal N-S. Si no permanece continuamos con el siguiente paso.

3.—Se gira  $E_4$  con  $E_2$  a cero. Si la extinción conseguida por  $E_1$  persiste quiere decir que tenemos un plano principal vertical en dirección N-S o lo que es lo mismo que un eje de la indicatriz está coincidiendo con  $E_4$ . Si la extinción no persiste, que suele ser lo corriente, significa que las elipses-sección que se originan no tienen los ejes paralelos a las direcciones de vibración de los nicoles. Significa también que ningún eje de elipsoide coincide con  $E_4$ , ni está en el plano horizontal.

Sus posiciones no horizontales pueden ser:

En el plano N-S

En el plano W-E

En otro plano cualquiera.

Si estuviera en el plano N-S, para llevarlo horizontal tendríamos que girar  $E_4$ . Si estuviera en el plano W-E tendríamos que girar  $E_2$ . Si estuviera en cualquiera otra posición combinaríamos cualquiera de estos movimientos con giros de  $E_1$ .

Como no sabemos cuál de las posiciones es la que se presenta, si deseamos colocar un eje principal del elipsoide en posición W-E se procede por giros sucesivos de  $E_1$  y  $E_2$  escogiendo siempre la extinción más próxima y comprobando cada

giro por  $E_4$  hasta que se consiga extinción persistente por giro de  $E_4$ .

4.—La extinción conseguida en el paso 1 se deshace por giro de  $E_4$ . Se gira  $E_2$  hasta extinción más próxima.

5.—Se gira  $E_4$ . Si la extinción conseguida por  $E_2$  persiste quiere decir que un eje del elipsoide estaba inicialmente en el plano W-E en posición no horizontal que el giro de  $E_2$  lo puso horizontal manteniéndose en el plano W-E. Si la extinción no persiste, que suele ser lo corriente, significa que el eje del elipsoide formaba un ángulo con el plano W-E que el giro de  $E_2$  mantiene constante. No se consigue acercar (valga la palabra) el eje principal al plano W-E por giro de  $E_2$ .

Pero también sabemos que un eje del elipsoide formaba un ángulo con el plano horizontal y que al girar  $E_2$  lo acerca o aleja (hace al ángulo mayor o menor), aunque para el caso es lo mismo pues si un eje principal se aleja, otro se acerca.

El giro de  $E_2$  consigue disminuir el ángulo que un eje principal del elipsoide formaba con el plano horizontal.

5a.—Deshecha la extinción por giro de  $E_4$ , se gira  $E_1$  hasta la extinción más próxima.

6.—Se gira  $E_4$ . Si la extinción conseguida por giro de  $E_1$  persiste quiere decir que el giro de  $E_2$  llevó un eje principal al plano horizontal y luego el giro de  $E_1$  a la dirección W-E.

Si la extinción no persiste, significa que el eje principal del elipsoide quedó formando un ángulo con el plano horizontal después del giro de  $E_2$ , ángulo que el giro de  $E_1$  mantuvo constante. No se consigue por tanto acercar (disminuir el ángulo) un eje principal al plano horizontal por giro de  $E_1$ .

Pero también sabemos que un eje principal formaba un ángulo con el plano W-E y que el giro de  $E_1$  lo aumenta o disminuye. Y como si para un eje principal lo aumenta para el otro lo disminuye, podemos enunciar:

El giro de  $E_1$  disminuye el ángulo que un eje principal formaba con el plano W-E.

7.—Deshecha la extinción por giro de  $E_4$ , se gira  $E_2$  hasta la extinción más próxima.

Y se continúan repitiendo los giros de  $E_1$  de acercamiento al plano W-E, de  $E_4$  de comprobación y de  $E_2$  de acercamiento

to al plano horizontal hasta que el giro de  $E_4$  deja extinción permanente, lo que nos dice que un eje principal lo tenemos en el plano horizontal y en el plano vertical W-E, o sea, coincidente con el eje  $E_4$ .

Conviene tener presente aunque es caso particular poco frecuente que si al girar  $E_1$  permanece la extinción, hay un eje óptico vertical.

El criterio de escoger la posición más próxima de extinción, teóricamente es tan válida como escoger la posición de extinción más alejada, pero prácticamente es el único camino viable contando con las posibilidades técnicas de la Platina Universal corriente que no permite giros superiores a los  $60^\circ$  para un eje horizontal.

Manteniendo el criterio de escoger siempre la extinción más próxima, estamos seguros que un eje principal se acerca al plano W-E y al plano horizontal.

9.—Para llevar a la posición W-E un eje principal, hubo que girar  $E_1$  y  $E_2$  y los ángulos girados vendrán expresados en las respectivas graduaciones, teniendo en cuenta al pasar a la proyección si el giro de  $E_2$  levantó el borde W o E del disco.

10.—Para saber qué eje principal hemos colocado W-E, se hacen las siguientes pruebas, después de girar la platina del microscopio  $45^\circ$  a partir de su posición cero:

- a) Se gira  $E_4$  en uno y otro sentido observando si hay alguna posición de extinción en el giro. Caso de que la hubiera, los ejes ópticos estarían en un plano vertical, luego el eje colocado W-E es el Y.
- b) Si no fuera Y, para discernir cuál de los otros dos es, se introduce un compensador conveniente.

11.—El eje principal encontrado se lleva a proyección como se indicará más adelante.

12.—Para colocar otro eje principal en posición W-E se pueden seguir varios procedimientos. Uno de los más utilizados en la Platina Universal de Cuatro Ejes es el siguiente:

giro por  $E_4$  hasta que se consiga extinción persistente por giro de  $E_4$ .

4.—La extinción conseguida en el paso 1 se deshace por giro de  $E_4$ . Se gira  $E_2$  hasta extinción más próxima.

5.—Se gira  $E_4$ . Si la extinción conseguida por  $E_2$  persiste quiere decir que un eje del elipsoide estaba inicialmente en el plano W-E en posición no horizontal que el giro de  $E_2$  lo puso horizontal manteniéndose en el plano W-E. Si la extinción no persiste, que suele ser lo corriente, significa que el eje del elipsoide formaba un ángulo con el plano W-E que el giro de  $E_2$  mantiene constante. No se consigue acercar (valga la palabra) el eje principal al plano W-E por giro de  $E_2$ .

Pero también sabemos que un eje del elipsoide formaba un ángulo con el plano horizontal y que al girar  $E_2$  lo acerca o aleja (hace al ángulo mayor o menor), aunque para el caso es lo mismo pues si un eje principal se aleja, otro se acerca.

El giro de  $E_2$  consigue disminuir el ángulo que un eje principal del elipsoide formaba con el plano horizontal.

5a.—Deshecha la extinción por giro de  $E_4$ , se gira  $E_1$  hasta la extinción más próxima.

6.—Se gira  $E_4$ . Si la extinción conseguida por giro de  $E_1$  persiste quiere decir que el giro de  $E_2$  llevó un eje principal al plano horizontal y luego el giro de  $E_1$  a la dirección W-E.

Si la extinción no persiste, significa que el eje principal del elipsoide quedó formando un ángulo con el plano horizontal después del giro de  $E_2$ , ángulo que el giro de  $E_1$  mantuvo constante. No se consigue por tanto acercar (disminuir el ángulo) un eje principal al plano horizontal por giro de  $E_1$ .

Pero también sabemos que un eje principal formaba un ángulo con el plano W-E y que el giro de  $E_1$  lo aumenta o disminuye. Y como si para un eje principal lo aumenta para el otro lo disminuye, podemos enunciar:

El giro de  $E_1$  disminuye el ángulo que un eje principal formaba con el plano W-E.

7.—Deshecha la extinción por giro de  $E_4$ , se gira  $E_2$  hasta la extinción más próxima.

Y se continúan repitiendo los giros de  $E_1$  de acercamiento al plano W-E, de  $E_4$  de comprobación y de  $E_2$  de acercamiento

to al plano horizontal hasta que el giro de  $E_4$  deja extinción permanente, lo que nos dice que un eje principal lo tenemos en el plano horizontal y en el plano vertical W-E, o sea, coincidente con el eje  $E_4$ .

Conviene tener presente aunque es caso particular poco frecuente que si al girar  $E_1$  permanece la extinción, hay un eje óptico vertical.

El criterio de escoger la posición más próxima de extinción, teóricamente es tan válida como escoger la posición de extinción más alejada, pero prácticamente es el único camino viable contando con las posibilidades técnicas de la Platina Universal corriente que no permite giros superiores a los  $60^\circ$  para un eje horizontal.

Manteniendo el criterio de escoger siempre la extinción más próxima, estamos seguros que un eje principal se acerca al plano W-E y al plano horizontal.

9.—Para llevar a la posición W-E un eje principal, hubo que girar  $E_1$  y  $E_2$  y los ángulos girados vendrán expresados en las respectivas graduaciones, teniendo en cuenta al pasar a la proyección si el giro de  $E_2$  levantó el borde W o E del disco.

10.—Para saber qué eje principal hemos colocado W-E, se hacen las siguientes pruebas, después de girar la platina del microscopio  $45^\circ$  a partir de su posición cero:

- a) Se gira  $E_4$  en uno y otro sentido observando si hay alguna posición de extinción en el giro. Caso de que la hubiera, los ejes ópticos estarían en un plano vertical, luego el eje colocado W-E es el Y.
- b) Si no fuera Y, para discernir cuál de los otros dos es, se introduce un compensador conveniente.

11.—El eje principal encontrado se lleva a proyección como se indicará más adelante.

12.—Para colocar otro eje principal en posición W-E se pueden seguir varios procedimientos. Uno de los más utilizados en la Platina Universal de Cuatro Ejes es el siguiente:

Se vuelven las graduaciones a cero y se gira  $E_1$  hasta la posición de extinción a  $90^\circ$  de la conseguida en el paso 1.

El resto se realiza exactamente igual que para el primer eje

13.—En el caso de que uno de los ejes principales hallados directamente sea el Y, podemos, a partir del paso 10a, colocar uno o los dos ejes ópticos verticales, mediante giro de  $E_4$  en uno u otro sentido.

Si aparecen los dos ejes ópticos, la diferencia de lecturas nos da el valor de  $2V$ . Si aparece uno solo, nos fijaremos en la graduación, en el sentido del giro de  $E_4$  y lo llevaremos a proyección, como se indicará más adelante.

En la práctica, la medida de la orientación del elipsoide biáxico, incluida la proyección, se realiza en menos de tres minutos.

## PROYECCIONES

Las proyecciones que suelen utilizarse para el trazado de los datos obtenidos en la Platina Universal son la Estereográfica y la de Lambert. La primera se utiliza principalmente para la determinación de especies mineralógicas y la segunda preferentemente para la construcción de diagramas con finalidad petroestructural.

Damos por conocidas estas proyecciones así como el uso de sus redes o canebas correspondientes, de Wulff y de Smith.

En la determinación de especies minerales es indiferente que la proyección que se haga sea la de cualquiera de los hemisferios. En los trabajos de Petrología Estructural se conviene que lo sea el hemisferio inferior en atención a que los buzamientos se materializan en ese hemisferio.

Se conviene también que el plano de proyección sea el plano de la preparación en su posición inicial o lo que es lo mismo el plano perpendicular al eje del microscopio.

Una vez medida una dirección o plano cristalográfico u óptico, aunque puede tomarse nota y proyectarse después, se consigue mayor rapidez haciendo la proyección seguidamente.



Movimiento del papel transparente sobre la red fija para la colocación de ángulos azimutales y zenitales

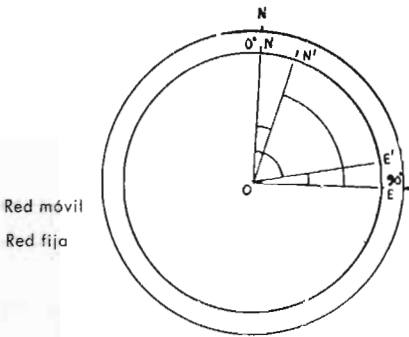


Fig. 20

Colocación del ángulo azimutal. La red fija aunque es del mismo tamaño que la circunferencia del papel transparente se ha hecho mayor para ver mejor la demostración. OE' = Posición inicial del eje de la indicatriz  
NON' = E'OE; NOE' = N'OE

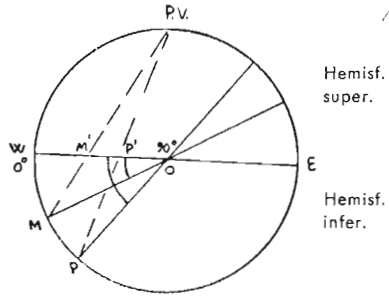


Fig. 21

Proyección estereográfica de los ejes OP y OM de granos minerales cuando es W-E la línea de referencia y el borde levantado está al W.

— Eje del Microscopio

— Eje del Microscopio

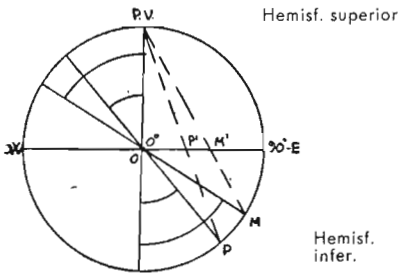


Fig. 22

Proyección estereográfica de los ejes OP y PM de granos uniaxiales cuando la línea de referencia es el eje del microscopio y el borde levantado del disco está al W.

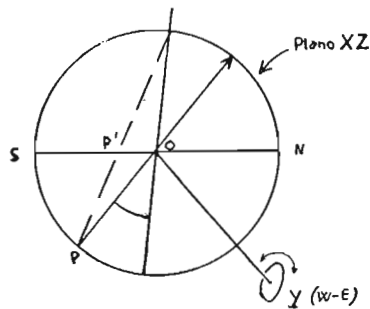


Fig. 23

Proyección estereográfica de un eje óptico en cristales biaxiales cuando se conoce Y y se ha movido E<sub>4</sub> para ponerlo vertical en sentido contrario a las agujas de un reloj

A la derecha del microscopio, con la Platina Universal incorporada, se coloca un bastidor que lleva una red de Wulff o de Smith fija. Encima de ella y sujeto a un aro móvil que gira en el plano de la red y con centro, en el centro de la red, se coloca un papel transparente que girará con el aro.

Antes de proceder a la proyección hemos de colocar la fallilla de tal forma que su N-S, origen de graduaciones azimutales y líneas de referencia coincidan con las de la Platina Universal.

Generalmente se trabaja situando el origen de las graduaciones de  $E_1$  al Norte. El  $E_2$  coincidiendo con la línea N-S y el  $E_3$  con la W-E.

Basta para mantener estas relaciones entre red y Platina Universal hacer una raya sobre el papel transparente que nos indique el Norte.

Así dispuesto, podemos comenzar la proyección de direcciones o planos sin olvidar cuándo son unos u otros y sin olvidar nunca la línea de referencia.

Procedamos a la proyección del eje óptico de un mineral uniáxico:

1.—Se gira el papel transparente hasta que la rayita coincida con la graduación obtenida para el eje  $E_1$  (F-20).

2.—Manteniendo la posición obtenida en 1, el ángulo zenital se cuenta a partir del centro o a partir de los extremos del diámetro W-E o N-S, según el plano o línea de referencia tomada.

Si el eje óptico fue llevado a coincidir con el eje del microscopio se cuenta a partir del centro. Si el eje óptico fue llevado a coincidir con la línea W-E o N-S se cuenta a partir de uno de los extremos, W, E, o N, S. (F-21) y )F-22).

Si como hemos convenido es el hemisferio inferior el que se proyecta debemos fijarnos de qué lado, Oeste u Este, Norte o Sur, el disco central queda levantado para proceder de la siguiente forma:

Cuando la línea de referencia es la W-E o N-S se comienza contando a partir del lado correspondiente al borde levantado del disco.

Cuando la línea de referencia es la vertical se cuenta hacia el borde descendido del disco a partir del centro.

Por ejemplo, si los ángulos obtenidos son: azimutal ( $E_1$ ) =  $325^\circ$  y zenital ( $E_2$ ) =  $32^\circ$ . El eje óptico se puso vertical y el borde levantado del disco quedó al W. Se lleva la raya a la graduación  $325^\circ$  y a partir del centro se cuentan  $32^\circ$  hacia el Este estando  $0^\circ$  en el centro.

### PROYECCION DE LOS EJES PRINCIPALES DE LA INDICATRIZ BIAXICA = (F-11)

Siendo la línea de referencia la W-E y estando el origen de ángulos azimutales en el Norte, se procede como si en el caso del eje óptico uniáxico le hubiésemos llevado a coincidir con la línea W-E. Por ejemplo: Sea  $a = 285^\circ$  y  $z = 40^\circ$ , borde elevado al E. Se lleva la rayita del papel transparente a coincidir con la graduación  $285^\circ$  y a partir del Este se cuentan  $40^\circ$ .

Con los datos del segundo eje de la indicatriz se opera de la misma forma. Y la proyección del tercero puede deducirse fácilmente sobre el círculo de proyección sabiendo que es el polo del plano que forman los otros dos.

**Proyección de ejes ópticos.**—Si nos encontramos con la afortunada circunstancia de medir directamente el eje Y, podemos colocar uno o los dos ejes ópticos verticales por giro conveniente de  $E_3$ . (F-23).

El tambor que mide los giros de  $E_3$  nos dará la graduación y el sentido del giro. Si el giro se hizo en el sentido de las agujas de un reloj, el punto caerá en la semicircunferencia Norte; si al contrario, en la semicircunferencia Sur. Se traza el punto de proyección Y y la del círculo máximo a  $90^\circ$  de Y contando sobre el diámetro W-E. A partir del punto de intersección del círculo máximo y W-E se cuenta sobre el círculo máximo hacia arriba o hacia abajo, según el sentido del giro, el número de grados que marca el tambor  $E_3$ .

Si el otro eje óptico ha sido medido directamente se obra de la misma forma. Si no ha sido encontrado, se deduce fácilmente una vez que tenemos proyectados los ejes X y Z, sabiendo que los ejes X y Z son bisectrices del ángulo de los ejes ópticos.

Los gráficos adjuntos servirán para comprobar que son correctas estas operaciones y trazados.

Los signos utilizados son:

$$\begin{aligned} X &= \circ \\ Y &= + \\ Z &= \triangle \\ \text{Eje óptico} &= \square \end{aligned}$$

## DIFERENCIACION DEL CARACTER ISOTROPICO, UNIA- XICO Y BIAXICO DE UN MINERAL

Enfocado un grano de un mineral desconocido se gira  $E_1$

a) si permanece extinguido puede ser isótropo o anisótropo con un eje vertical.

b) si se ilumina es anisótropo (o si estaba iluminado).

En caso de a se gira  $E_2$

a-1) si se mantiene la extinción es isótropo o anisótropo con una sección principal del elipsoide vertical que contiene al eje o ejes ópticos y está en dirección E-W.

b-1) si se ilumina es anisótropo y además Biáxico. No puede ser uniáxico pues al mantenerse la extinción por giro de  $E_1$  quiere decir que el eje óptico (uniáxico) se mantenía vertical y por tanto la sección circular horizontal. Después, el giro de  $E_2$  desplazó al eje óptico en el plano vertical E-W, manteniendo un eje binario de la sección circular horizontal. Después el giro de  $E_2$  desplazó al eje óptico en el plano vertical E-W, manteniendo un eje binario de la sección circular en posición N-S y en estas condiciones un mineral uniáxico debe estar extinguido.

En caso de b se gira  $E_1$  hasta una posición de extinción y se prueba por giro de  $E_2$ .

a-2) si permanece extinguido puede ser uniaxico con el eje óptico en dirección N-S o en el plano E-W. Puede ser biaxico con un eje principal del elipsoide en posición N-S, lo que quiere decir que dicho eje estaba horizontal antes del giro de  $E_1$  y que el giro de  $E_1$  lo ha colocado N-S en el momento de la extinción.

b-2) si se ilumina puede ser uniaxico o biaxico

En caso de a-1 se gira  $E_4$  manteniendo el giro de  $E_2$

a-3) si se mantiene la extinción es isotropo o biaxico con una sección principal vertical N-S y una oblicua E-W.

b-3) si se ilumina es anisotropo

En caso de a-2 se vuelve  $E_2$  a cero. Se busca con  $E_1$  la otra posición de extinción a  $90^\circ$ . Se prueba por giro  $E_2$ .

a-4) si la extinción permanece significa que hay una sección principal horizontal.

b-4) si se ilumina es Uniaxico. No puede ser biaxico, pues si en a-2 un eje del elipsoide estaba N-S, un giro de  $90^\circ$  de  $E_1$  sustituiría un eje del elipsoide por otro y al probar con  $E_2$  tendría que producirse el efecto de oscuridad.

En caso de b-2 se vuelve  $E_2$  a cero. Se gira  $E_1$  hasta la otra posición de extinción a  $90^\circ$  y se prueba por giro de  $E_2$ .

a-5) si la extinción permanece es Uniaxico. Sabemos que no hay E-W un eje del elipsoide, pero como no hay un N-S esto obliga a que sea un eje binario de la sección circular del elipsoide uniaxico. Si un eje principal del elipsoide biaxico no estaba N-S en la primera posición de extinción por giro de  $E_1$  tampoco puede estarlo al girar cualquier número de grados a partir de la primera posición pues el ángulo que formaban  $E_1$  y el eje principal debe conservarse.

b-5) si se ilumina nos manifiesta que no tenemos N-S tampoco en esta posición de extinción por giro de  $E_1$  un eje binario de la sección circular del elipsoide uniaxico, pues si lo tuvieramos necesariamente resultaría oscuridad. Luego es Biaxico.

En caso de a-3, manteniendo los giros de  $E_2$  y  $E_4$ , se prueba con la Platina del Microscopio. Entonces con seguridad

a-6) si la extinción permanece es Isotropo.

b-6) si se ilumina es Biaxico.

En caso de **b-3** se vuelve a cero el giro de  $E_1$  con lo que el eje óptico del elipsoide uniáxico o los ejes ópticos del elipsoide biáxico volverán a estar en el plano vertical E-W. Se deshace también el giro de  $E_2$  que vuelve a cero, ocupando entonces un eje óptico la posición vertical. Entonces si el eje óptico pertenece al elipsoide uniáxico la sección circular será horizontal. Si el eje óptico pertenece al elipsoide biáxico la sección principal YX o YZ es oblicua.

se gira unos grados  $E_1$  y se prueba con  $E_2$ .

a-7) si la extinción permanece significa que el giro de  $E_1$  lo único que hizo fue sustituir el eje binario que estaba N-S por otro eje binario de la sección circular del elipsoide uniáxico, lo que no sería posible si fuera biáxico. Luego es Uniáxico.

b-7) si se ilumina significa que el giro de  $E_1$  quitó al eje Y de la posición N-S, no siendo sustituido por ningún equivalente. Luego es Biáxico.

En caso de **a-4** sabemos que N-S ha de haber un eje principal y que E-W también, pero desconocemos al tipo de elipsoide que pertenecen. No obstante podemos asegurar que inicialmente teníamos una sección elíptica uniáxica o biáxica en el plano horizontal.

Se mantiene  $E_2$  con giro de unos grados y se prueba con  $E_4$ .

a-8) si la extinción persiste quiere decir que E-W había vertical una sección circular y que el giro de  $E_2$  lo único que hizo fue sustituir un eje binario por otro. Luego es Uniáxico.

b-8) si se ilumina quiere decir que es uniáxico que tenía el eje óptico E-W o biáxico con un eje principal E-W y que el giro de  $E_2$  sacó del plano horizontal.

En caso de **b-8** se vuelven a cero los giros de  $E_2$  y  $E_1$ . Se gira  $E_1$   $90^\circ$  con lo que el eje óptico del elipsoide uniáxico o el eje principal de la indicatriz biáxica que estaban E-W pasan a N-S. Se gira  $E_2$  unos grados y se prueba con  $E_4$ .

a-9) si la extinción permanece significa que el giro de  $E_2$  sustituyó un eje binario por otro, en la sección circular uniáxica. Luego es Uniáxico.

b-9) si se ilumina significa que el giro de  $E_2$  sacó al eje principal de la indicatriz biáxica del plano horizontal no siendo sustituido por otro equivalente. Luego es Biáxico.

Cuando tengamos los ejes ópticos en un plano vertical puede diferenciarse el carácter uniáxico o biáxico colocando dicho plano N-S o E-W y probar con  $E_4$  o  $E_2$  respectivamente para ver si aparecen dos posiciones de extinción o sólo una.

Lógicamente, en aquellos casos que el ángulo de los ejes ópticos sobrepase las posibilidades técnicas de la platina, este procedimiento no será seguro. Si aparece una sola posición de extinción, nada podemos asegurar.

La comprobación realizada en el caso a-1 es necesaria para tener seguridad absoluta, pues no puede descartarse el improbable caso de quitar un eje óptico de la posición vertical por giro de  $E_2$  y sustituirlo por el otro eje óptico.

En la práctica, es raro que nos encontremos con los casos más desfavorables y la distinción suele ser rápida. Pero incluso en los casos extremos se tarda menos de medio minuto en determinar el carácter isotrópico, uniáxico o biáxico de un mineral.

### C L A V E

	Se gira $E_1$	
	Extinción permanente	1
	Luminosidad	2 Anisótropo
1	Se gira $E_2$	
	Extinción permanente	3
	Luminosidad	BIAXICO
2	Se gira $E_1$ a extinción	
	Se prueba con $E_2$	
	Extinción permanente	4 Anisótropo
	Luminosidad	5 Anisótropo
3	Se gira $E_4$	
	Extinción permanente	6
	Luminosidad	7 Anisótropo

4	Se vuelve $E_2$ a cero. Se busca la otra posición de extinción por giro de $E_1$ . Se prueba con $E_2$ . Extinción permanente Luminosidad	8 Anisótropo UNIAXICO
5	Se vuelve $E_2$ a cero. Se busca la otra posición de extinción por giro de $E_1$ . Se prueba con $E_2$ . Extinción permanente Luminosidad	UNIAXICO BIAXICO
6	Se gira la platina del Microscopio Extinción permanente Luminosidad	ISOTROPO BIAXICO
7	$E_2$ y $E_4$ a cero. Se gira $E_1$ unos grados. Se prueba con $E_2$ . Extinción permanente Luminosidad	UNIAXICO BIAXICO
8	Se gira $E_2$ unos grados. Se prueba con $E_4$ . Extinción permanente Luminosidad	UNIAXICO 9
9	$E_2$ y $E_4$ a cero. Se gira $E_1$ $90^\circ$ . Se gira $E_2$ unos grados. Se prueba con $E_4$ . Extinción permanente Luminosidad	UNIAXICO BIAXICO

### SENTIDO DE LA DISPERSION

Una de las propiedades que también interesa conocer y que a veces sirve para distinguir un mineral de otro a modo de comprobación, es el sentido de la dispersión.

Esta propiedad, en general, suele determinarse utilizando luz blanca convergente por los métodos ordinarios utilizados en el microscopio polarizante. Incluso este método es más rápido que el que se usa en Platina Universal.



Sabiendo que la dispersión es la diferencia del ángulo  $2V$  para luz roja y el  $2V'$  para luz violeta, basta con obtener el valor de estos ángulos para las dos longitudes de onda, sobre el mismo mineral.

Ahora bien, el valor absoluto de este ángulo-diferencia no es constante, sino tan sólo su sentido, a saber:

$$2V > 2V' \quad \text{o} \quad 2V < 2V' \quad \text{que se expresa}$$

$$\text{roja} \lesseqgtr \text{violeta} \quad \text{o en abreviatura} \quad r \lesseqgtr v$$

que es como nos lo encontramos en los libros de mineralogía óptica.

Utilizando la Platina Universal se opera primero con una de las dos luces monocromáticas, hasta encontrar los ejes ópticos y proyectarlos en la falsilla de Wulff. A continuación se hace lo mismo utilizando la otra luz.

Sobre la Falsilla de Wulff se verá cuál de los dos ángulos es el mayor. (F-24).

Las dificultades para la determinación de esta propiedad hacen que en raras ocasiones se eche mano de ella utilizando la Platina Universal. Hay que utilizar dos fuentes distintas de luz monocromática, los ejes ópticos puede que no se encuentren fácilmente y además la propiedad no es muy importante.

## ORIENTACION DE LOS PLANOS DE UNION Y DE CRUCERO

El plano de unión de dos individuos maclados o un plano de exfoliación, son como planos cualesquiera situados en el espacio que quedarán perfectamente determinados si conocemos sus coordenadas esféricas o las de sus polos.

Dos giros, uno azimutal y otro zenital teniendo el plano N-S como plano de referencia nos dan la situación del plano de que se trate.

Si un plano o lo que es lo mismo su traza en el plano horizontal la giramos por  $E_1$  hasta que coincida con la línea N-S,

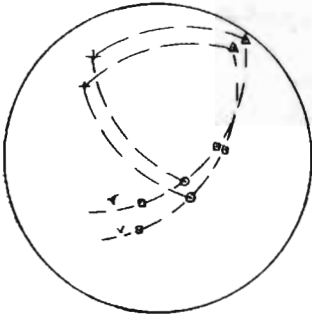


Fig. 24  
Sentido de la dispersión

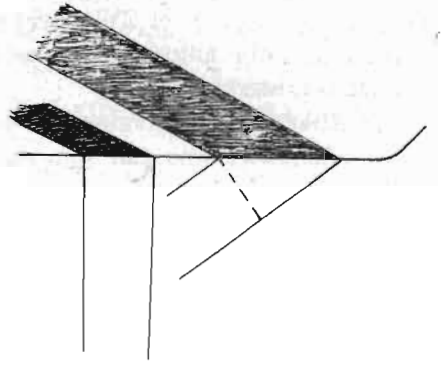


Fig. 25  
La traza mas fina corresponde a la posición vertical

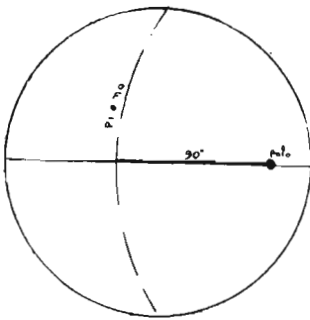


Fig. 26  
Proyección de un plano de exfoliación y su polo

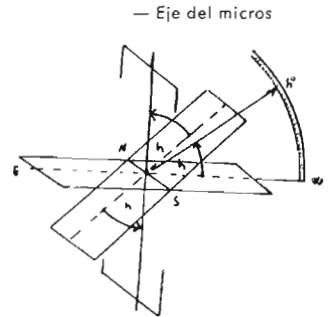


Fig. 27  
Después de colocar la traza del plano de exfoliación N-S por giro de E\_s, observe el movimiento de dicho plano al ser puesto vertical y donde hay que tomar la graduación

en esta posición el plano de exfoliación o de unión formará un cierto ángulo con el plano N-S, con el que llevaremos a coincidir por giro de  $E_2$ . Con ello tendríamos vertical y en dirección N-S, el plano.

Para colocarlo vertical se gira  $E_2$  hasta que la traza sea lo más fina posible. Observando la figura 25 vemos que es en posición vertical cuando la sección del plano (plano real con espesor) por el plano horizontal es más delgada.

Cuando el plano está vertical, la perpendicular al plano estará horizontal y la preparación y el disco que la contiene marcará sobre el arco graduado el ángulo vertical buscado.

(F-27). Si contamos el valor del ángulo vertical a partir del lado de la circunferencia del círculo de proyección que corresponde al borde levantado del disco, lo que proyectamos es el polo. Si contamos el valor del ángulo a partir del centro de la falsilla hacia el borde levantado del disco encontraríamos el círculo máximo que corresponde al plano. En general, se suele proyectar sólo el polo.

Se utiliza el signo  $\neq$  para los planos de crucero y  $\square$  para los de unión.

En resumen: La traza del plano se lleva paralela al hilo N-S del retículo mediante giro de  $E_1$ . Se pone vertical el plano por giro de  $E_2$  teniendo en cuenta el borde levantado del disco, se proyecta sobre la red de Wulff. (Fig. 26).

## MEDIDA DEL RETARDO ( $\Delta$ )

Para medir el Retardo utilizando la Platina Universal hemos de escoger las secciones más convenientes, o sea, las secciones normales a los ejes de la Indicatriz X, Y o Z que son las que presentan las birrefringencias principales máximas  $n_z - n_y$ ,  $n_z - n_x$ ,  $n_y - n_x$ . Otras secciones cualesquiera nos llevarán a calcular birrefringencias menores correspondientes a otras elipses de secciones no principales tales como  $n_z - n_y$ ,  $n_z - n_x$ ,  $n_y - n_x$ , etc., etc.

Si en una preparación tenemos muchos granos de una especie mineral diversamente orientados, se escoge el de orientación más conveniente cuando utilizamos la platina corriente. La dificultad se presenta cuando no existe ningún grano en orientación propicia. Entonces la utilidad de la Platina Universal es obvia, pues su movilidad es tal que podemos situar el grano del mineral en la posición conveniente.

Exceptuando los casos extremos de tener originalmente los ejes X, Y o Z formando con el eje del microscopio un ángulo inferior a  $30^\circ$  en los que no se pueden obtener las birrefringencias máximas respectivas, por no poder colocar X, Y o Z horizontales combinados de dos en dos.

La misión de la Platina Universal en el cálculo del Retardo, directamente relacionado con el cálculo de la birrefringencia, es la de situar una sección principal en el plano horizontal.

Escogido el grano que se va a estudiar debe hacerse un tanteo previo proyectando los ejes del elipsoide, y así a la vista del estereograma asegurar cuál o cuáles de los ejes podremos colocar en posición horizontal y en consecuencia hallar las birrefringencias correspondientes.

Los ejes que se proyectan a más de  $60^\circ$  del centro de la falsilla no se los podrá poner verticales y por consiguiente, tampoco horizontal la sección principal que le es perpendicular, requisito necesario para utilizar los compensadores.

Ya sabemos que ésta es una dificultad técnica de las piezas ópticas de la Platina.

Supuesto válido un eje para ponerlo vertical o bien un par de ellos para ser puestos horizontales, que es lo mismo, se darán los pasos para hacer reales estas consecuencias.

En los casos particulares de estar el eje de que se trate en el plano N-S o W-E basta con girar  $E_3$  o  $E_2$  el número de grados que forme con el eje del microscopio en el sentido conveniente, bastando sólo un paso.

En general, los pasos para ponerlo vertical serán dos:

a) Giro de  $E_1$  en el sentido y número de grados indicados en la falsilla, hasta quedar en el plano W-E.

b) Giro de  $E_2$  en el sentido y grados que marque la falsilla para llevarlo a coincidir con el eje del microscopio.

Se ha aconsejado la proyección previa sobre la falsilla para así proceder con seguridad sobre la birrefringencia o birrefringencias que podremos calcular, pero es claro que antes de deshacer el giro de  $E_1$  y  $E_2$ , y comprobado el eje de que se trata, podemos ver directamente sobre la Platina Universal si logramos ponerlo vertical, y si es así, ponerlo. Como entonces lo tenemos horizontal W-E, basta girar  $90^\circ$  el eje  $E_2$ .

Sea por ejemplo el eje Y el que hemos colocado vertical por los procedimientos anteriores, entonces X y Z ocupan las posiciones N-S y W-E o viceversa.

Al girar  $45^\circ$  la platina del microscopio e introducir el compensador de Berek comprobaremos si se produce banda de extinción al girar el compensador en uno u otro sentido. En tal caso seguimos. Si no ocurre así giramos la platina del microscopio  $90^\circ$  y entonces estaremos en la posición para hacer las medidas en el compensador de Berek.

No me extiendo en explicar el porque de las operaciones realizadas para que los compensadores se utilicen racionalmente. Supongo al que esto lea conocedor del funcionamiento de los compensadores y en especial el de Berek. Pero si así no fuera, le remito a cualquier tratado de cristalografía óptica.

Dispuestos los ejes en la posición indicada e introducido el compensador de Berek estando en la graduación  $30^\circ$ , se gira éste en el sentido de la graduación creciente hasta que se observe banda de extinción y se anota a qué grados se produce. Igualmente se hace en sentido decreciente.

Sean las graduaciones obtenidas  $43^\circ$  y  $19^\circ$  respectivamente. Con ellas se opera de la manera que indican los folletos explicativos que acompañan al compensador de Berek. A saber:

$$i = \frac{43^\circ - 19^\circ}{2} = 12^\circ$$

En una tabla (I) se encuentra  $\log. (12^\circ) = 8.640$

Se busca la constante del compensador,  $\log. C = 3.923$

---

12.563

En otra tabla (II) se busca Antilog.  $563 = 366$

De la característica 12 se resta 10 y el resto se aumenta en 1.

$$12 - 10 + 1 = 3$$

que nos da el número de cifras que hay antes de la coma en 366 es decir 366, que es el valor del Retardo.

$$\Delta = 366 \text{ milimicras}$$

Si en la fórmula  $n_z - n_x = + \frac{\Delta}{e}$  sustituimos los valores del retardo y del espesor tendremos:

$$n_z - n_x = \frac{366}{46888} = 0,0078$$

---

Lo mismo se haría para calcular las otras birrefringencias principales. En el caso favorable de que las tres pudieran calcularse llegaríamos a obtener los valores de los tres índices de refracción principales. Este no suele ser corriente en un solo grano.

## MEDIDA DEL ESPESOR DE UNA PREPARACION

Para el cálculo de la birrefringencia, uno de los datos que hay que conocer es el espesor de la preparación.

Varios procedimientos se dan en los tratados de óptica cristalográfica, pero a veces son difíciles de llevar a cabo o son más o menos inexactos.

El procedimiento que se funda en la utilización de la Platina Universal, requiere que la preparación exista un mineral de birrefringencia conocida. El cuarzo es un mineral de birefringencia conocida. es corriente en las rocas y puede servir para este fin.

Pero si se da el caso de que las rocas en estudio no tienen o se supone que no tienen cuarzo es aconsejable introducir un grano de este mineral en la preparación.

Colocada la preparación en la Platina Universal y con las graduaciones en el origen se lleva un grano de cuarzo al centro del campo del microscopio para poder utilizar los compensadores.

Ahora se maniobra de tal forma que consigamos poner una sección principal del elipsoide o sea la determinada por el eje óptico y un eje binario, perpendicular al eje del microscopio.

Para esto operamos de igual manera que cuando proyectamos ejes ópticos de indicatriz uniaxial. Llevamos primero el eje binario a posición N-S y luego el eje óptico a la W-E por giros convenientes de  $E_1$  y  $E_2$  seguidos de las correspondientes comprobaciones.

Situado el eje óptico horizontal necesariamente un eje binario coincidirá con el eje del microscopio.

Giramos  $45^\circ$  la platina del microscopio (si la ranura de los compensadores está en posición diagonal) e introducimos el compensador de Berek en la ranura.

Como lo que vamos a obtener es el Retardo se realizan las mismas operaciones que hemos indicado en el artículo precedente.

Un ejemplo nos servirá para aclarar ideas:

La extinción se consiguió a los  $39^\circ$  al girar el compensador de Berek en el sentido de las agujas de un reloj (en sentido de la graduación creciente). La extinción se consiguió a los  $22^\circ$  girando al contrario (en sentido de la graduación decreciente).

Con estos datos operamos así:

$$i = \frac{39^\circ - 22^\circ}{2} = 8,5^\circ$$

$$\begin{array}{rcl} \log. (8,5^\circ) & = & 8.341 \\ \log. C & = & 3.923 \\ \hline & & 12.264 \end{array}$$

$$\text{Antilog } 264 = 422$$

$$12 - 10 + 1 = 3$$

$$\Delta = 422 \text{ milicras}$$

Como la birrefringencia del cuarzo = 0,0090 y

$$e = \frac{\Delta}{n_z - n_x}$$

tenemos

$$e = \frac{422}{0,009} = 46888 \text{ milimicras}$$

$$\text{Espesor} = 46,888 \text{ micras}$$

La única pero excepcional dificultad que tiene este método es que sólo contemos con uno o pocos granos de cuarzo cuyos ejes ópticos formen con el plano horizontal ángulos mayores de 60°.

#### MEDIDA DEL ANGULO $Z \wedge c$

La expresión  $Z \wedge c$  representa el ángulo que forman el eje  $Z$  de la indicatriz y el eje  $c$  cristalográfico. (F-28) y (F-29).

El valor de este ángulo conviene hallarlo en aque llos casos que sea posible, pues su determinación, puede ayudar a alcanzar el mineral buscado.

Se procede de la siguiente manera: (F-30).

- 1.—Se encuentra y proyecta  $Z$  como es sabido.
- 2.—Como  $c$  es la intersección de los planos de cruceo, basta conproyectar estos planos y su proyección en el estereograma nos dará la proyección de  $c$ .
- 3.—El ángulo que formen los puntos  $Z$  y  $c$  en el estereograma será el  $Z \wedge c$  buscado (F-31).



Determinación de  $Z \wedge c$

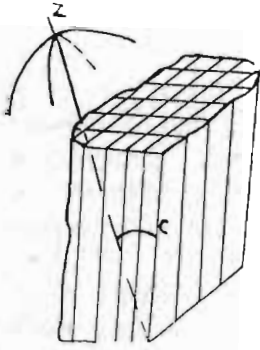


Fig. 28

$Z$  = Eje Z de la Indicatriz

$c$  = Línea de intersección de dos planos de exfoliación

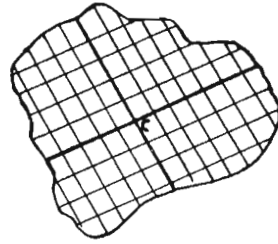


Fig. 29

Líneas de Cruceiro (Sección)

$c$  = Punto intersección de dos línea de cruceiro

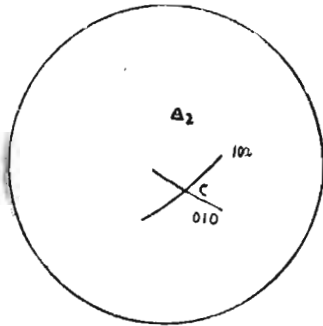


Fig. 30

Proyección de  $Z$  y  $c$

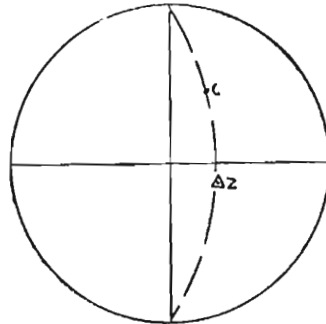


Fig. 31

Angulo de  $Z$  con  $c$

## MEDIDA DEL ANGULO MAXIMO DE EXTINCION

Cuando deseamos medir el ángulo máximo de extinción de un mineral con relación a una dirección cristalográfica, sin utilizar la Platina Universal, puede ocurrir que la medida directa sea imposible si contamos con un solo individuo. La sección del mineral puede ser tal que no se consiga ese valor.

Si la preparación de la roca que estudiamos es de una roca en la que existen varios individuos de la misma especie, se acostumbra a ensayar con ellos hasta conseguir el ángulo máximo. Pero puede darse el caso, sobre todo en rocas metamórficas que las secciones de todos los individuos estén igualmente orientadas y el ángulo de extinción sea para todos aproximadamente el mismo.

En general puede sentarse que el ángulo máximo de extinción, sin ayuda de la Platina Universal se obtiene con incertidumbre.

Utilizando la Platina Universal es suficiente un solo grano. Basta con llevarlo a diversas posiciones y escoger aquella que nos de el ángulo máximo de extinción.

Con  $E_1$  se coloca la dirección cristalográfica paralela al hilo longitudinal N-S del retículo. Con  $E_2$  y  $E_4$  se ensayan diversas posiciones, cambiando la elipse, sección del grano, y se prueba el valor del ángulo de extinción con la platina del microscopio.

Cuando haciendo el giro de  $E_2$  o  $E_4$  en un sentido el ángulo aumenta debemos proseguir en tal sentido y al contrario si disminuye. De esta forma conseguiremos el ángulo de extinción que no puede ser superado o sea el ángulo máximo de extinción.

También es posible a veces llevar el grano a una posición crítica que sabemos ha de ser la que de el ángulo máximo de extinción.

## DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ANORTITA DE UNA PLAGIOCLASA

Una aplicación interesanté, de la Platina Universal es la de llegar a calcular la composición química de las plagioclasas.

En el método de esta determinación se parte del hecho de que el elipsoide de Albita tiene una orientación distinta que el elipsoide de Anortita referidos ambos a los mismos elementos cristalográficos fijos.

Esta diferencia que se presenta en los dos términos extremos de las plagioclasas también es perceptible entre dos términos de distinta composición química. La orientación del elipsoide de una plagioclasa cualquiera vendrá dada en función de su composición química y viceversa.

Los términos de poco contenido en Anortita tendrán una orientación próxima a la del elipsoide de Albita, y según el por ciento de Anortita vaya aumentando irán alejándose de esa orientación hasta casi coincidir con la del elipsoide de Anortita en los términos más ricos en silicato aluminico cálcico. Conviene no obstante tener presente que la Albita tiene signo positivo y la Anortita negativo, existiendo entre ambas tres cambios de signos.

Supongamos toda la serie idiomorfa de las plagioclasas con sus elipsoides orientados con relación a direcciones cristalográficas fijas, tales como planos de exfoliación, de unión o de macla. Proyectemos en cada término plagioclásico los ejes del elipsoide X,Y,Z; entonces los puntos de proyección de X,Y,Z para toda la serie de las plagioclasas darán tres curvas, cada una de las cuales, por ejemplo la X, contiene a los puntos de proyección de los ejes X de todos los elipsoides de la serie.

Supongamos ahora, al contrario, que fijamos los ejes del elipsoide. Entonces serán las direcciones cristalográficas las que varíen de posición para cada plagioclasa de composición distinta.

Esto último suele ser más cómodo en la determinación del contenido de la Anortita de las plagioclasas por el método de la Platina Universal y en el gráfico 32 son los ejes del elipsoide los que se mantienen fijos.

Para el trazado de las curvas del contenido en Anortita, los investigadores utilizaron términos puros de plagioclasa, por lo que a veces no corresponden exactamente con términos de la serie real en las que el potasio entra en la composición. (F-32).

## Contenido en anortita y planos de unión

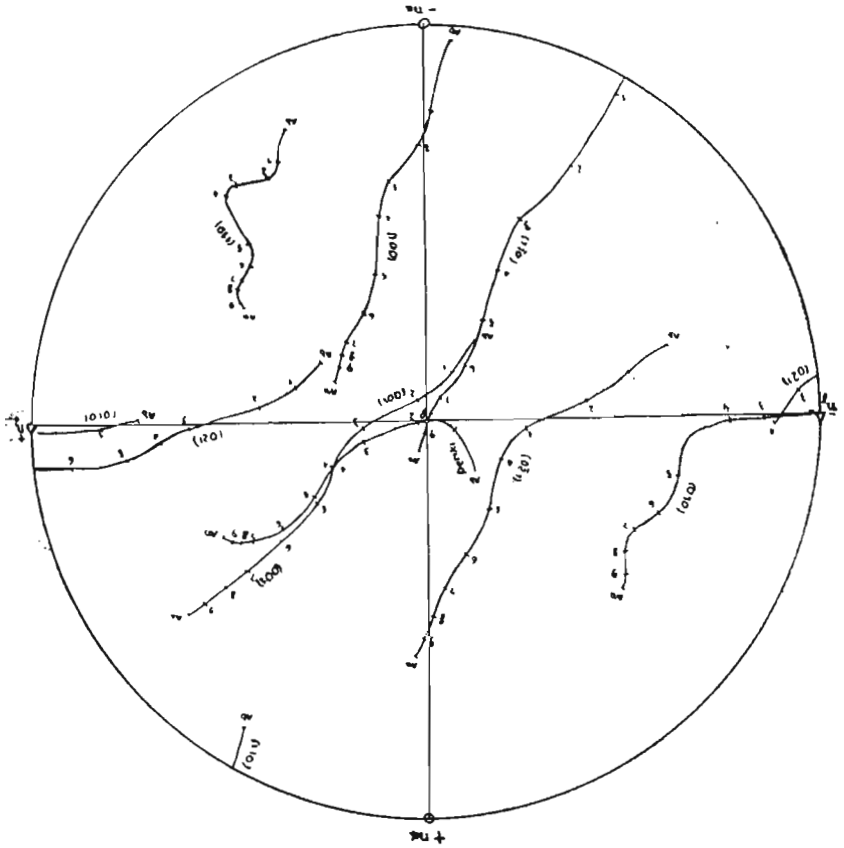


Fig. 32

Estereograma de Federov-Nikitiv con plano de proyección en xz

A la vista de l gráfico vemos que éste es un círculo de proyección, contenido en el plano de proyección determinado por los ejes X, Z y cuyo centro coincide con la proyección de Y.

En el punto Norte de la circunferencia de proyección aparece un extremo de X, el positivo, es decir  $+ X$ . Al Sur  $- X$ . Igualmente al Este  $+ Z$  y al Oeste  $- Z$ .

Dentro del círculo aparecen varias curvas en uno de cuyos extremos está la Anortita y en el otro la Albita; habiendo entre ambas unas divisiones numeradas de 0 a 10, que indican por cientos de Anortita, correspondiendo el 10 al 100 por ciento. Junto a estas curvas está la notación de la dirección cristalográfica, cuyo polo se hizo variar al hacer fijos los ejes principales del elipsoide biáxico.

Veamos ahora cómo se procede en la práctica, contando con el gráfico y teniendo montada la preparación en la Platina Universal y ésta en la platina de microscopio:

1.—De la plagioclasa que vamos a determinar se llevan a proyección estereográfica en la forma ya conocida los ejes X, Y, Z y cuantos planos cristalográficos sean posibles, ya sean de unión o de crucero, aunque suelen bastar dos, o una si su notación es conocida. Los planos más propicios para esta determinación son  $(1\bar{1}0)$  y  $(110)$  generalmente de exfoliación,  $(021)$  y  $(0\bar{2}1)$  de unión de la ley de Baveno,  $(010)$  de crucero o de unión que dan varias soluciones,  $(001)$  también frecuente y el de unión de la macla de Periclina bastante inseguro.

2.—Como los puntos de proyección obtenidos, lo son sobre el plano de la preparación hemos de referirlos al plano de proyección definido por X Z. Entonces X y Z se proyectarán sobre la circunferencia del **círculo de proyección a  $90^\circ$**  uno del otro; Y por ser perpendicular a X Z **se proyectará** en el centro del círculo. A su vez los puntos de proyección de los planos cristalográficos emigrarán a una nueva posición que distará angularmente de la inicial el mismo ángulo que la primera posición de Y distaba del centro del círculo.

3.—Después de transportados los puntos de proyección se lleva el papel transparente sobre el gráfico 32 haciendo coincidir X y Z del papel transparente:

Primero con  $+ X$  y  $+ Z$  del gráfico.  
Segundo con  $- X$  y  $- Z$  del gráfico.

Se da la vuelta al papel transparente y se hace coincidir:

Tercero con  $+ X$  y  $- Z$  del gráfico.  
Cuarto con  $-X$  y  $+ Z$  del gráfico.

En una de esas posiciones los puntos de los planos cristaligráficos caerán sobre sus curvas correspondientes.

El porqué de colocar el transparente sobre el gráfico en las cuatro posiciones citadas es debido a que ignoramos: Primero. Si la parte inferior de la plagioclasa de la preparación coincide con la parte inferior de la plagioclasa correspondiente del gráfico; y segundo, cuál de los dos extremos de  $X$  o de  $Z$  hemos proyectado. (Gráficos F-33-34-35 y 36).

Si al proyectar el elipsoide se encontró posición favorable para proyectar uno de los ejes ópticos, deduciremos el valor de  $2V$  que puede servir de comprobación del contenido de Anortita consultando las tablas o gráficos que relacionan el ángulo de los ejes ópticos y la composición química de las plagioclasas.

## DETERMINACION DE LA LEY DE MACLA EN UNA PLAGIOCLASA

Las maclas de las plagioclasas se agrupan según tres leyes: Normales, paralelas y complejas.

En la ley de las normales, el eje de macla es perpendicular a una cara del cristal que es plano de unión y de simetría. Sus tipos son:

Albita con plano de unión en (010).  
Manebach con plano de unión en (001).  
Baveno derecha con plano de unión en (021).  
Baveno izquierda con plano de unión en ( $\bar{0}21$ ).

Aclaración gráfica del porqué se coloca en cuatro posiciones  
el papel transparente sobre los estereogramas

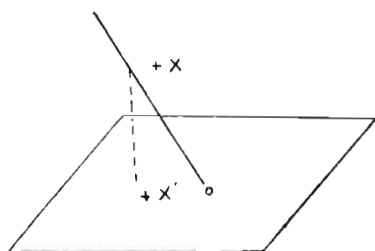


Fig. 33

Hemisferio superior, parte positiva

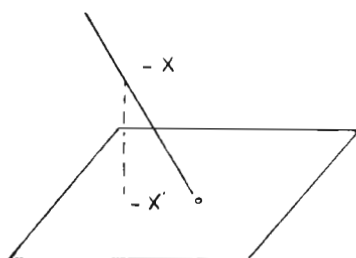


Fig. 34

Hemisferio superior, parte negativa

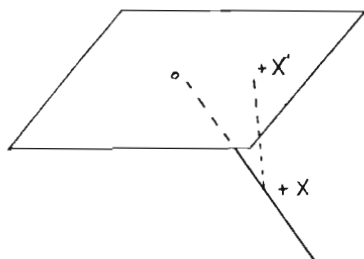


Fig. 35

Hemisferio inferior, parte positiva

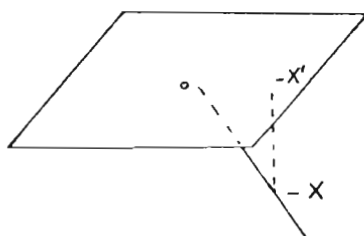


Fig. 36

Hemisferio inferior, parte negativa

En la ley de las paralelas el eje de macla es una arista del cristal y el plano de unión una cara de la zona definida por el eje. Sus tipos son:

- Karlsbad con eje en (001) y plano (010).
- Aclina con eje en (010) y plano (001).
- Periclina con eje en (010) y plano en (010).
- Ala con eje en (100) y plano (010) ó (001).

En la ley de las complejas el eje de macla es normal a una arista del cristal y está contenido en una cara real o posible del cristal que hace de plano de unión. Sus tipos son:

- Albita-Ala con eje perpendicular a (100) y plano de unión (010).
- Albita-Karlsbad con eje perpendicular a (001) y plano de unión (001).
- Manebach-Ala-Aclina con eje perpendicular a (100) y plano de unión (001).
- Manebach-Aclina-Ala con eje perpendicular a (010) y plano de unión (001).

La ley de las normales es fácil de reconocer utilizando la Platina Universal. Basta colocar el plano de unión en posición vertical y probar si coincide con el de simetría. Si así fuera se daría:

Las indicatrices de ambos elementos serían simétricas. Aparecerán ambos elementos con el mismo color de interferencia cuando el plano de unión está vertical N-S y giramos según el eje  $E_2$ ; 3.º: Los ángulos de extinción de ambos elementos son iguales respecto al plano de unión.

Un caso especial será la aparición de la macla de Baveno. Esta se reconoce observando simplemente que el plano de unión o de macla sigue dirección diagonal en una asociación de forma cuadrangular.

En general, ya pertenezca una macla a una o a otra ley procederemos en principio, igual que lo hicimos al determinar el contenido de Anortita para cada uno de los elementos de la macla, fijándonos ahora qué curva de plano de unión del grá-



## Leyes de Macla de las plagioclasas

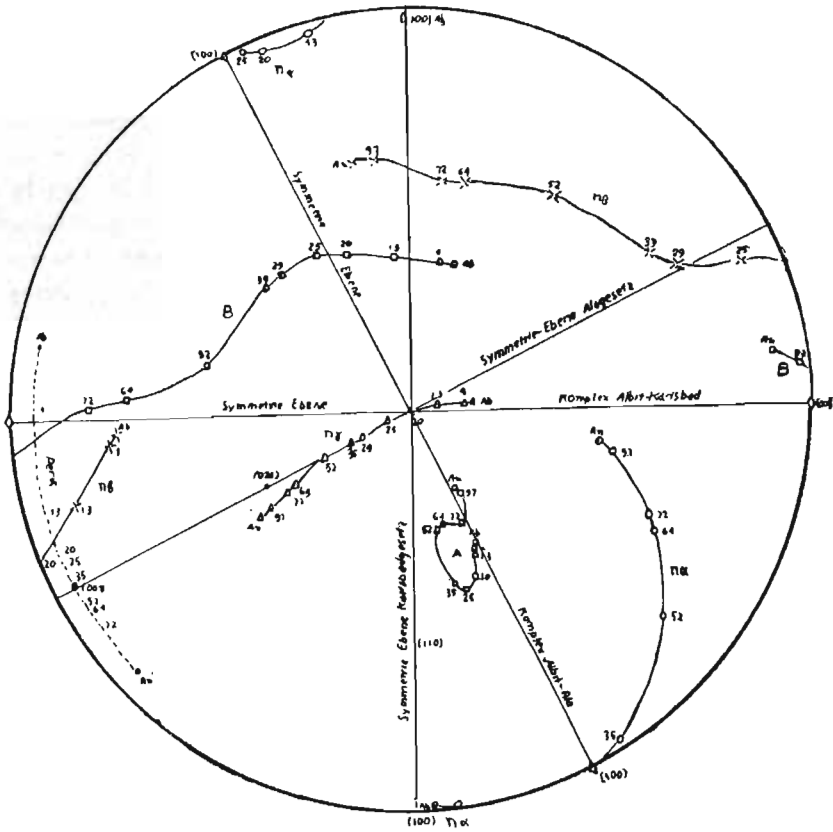


Fig. 37

Etereograma con plano de proyección sobre el macropinacoido (010)

(Tomado del Reingard)

fico coincide con el punto correspondiente al plano de unión proyectado. La curva sobre la que coincide el punto puede ser cualquiera de las que representan planos de unión, de la ley de Baveno, de Periclina, (010) ó (001). Como cada uno de los planos de unión (001) y (010) puede pertenecer a varias leyes de macla, así (010) a la de Albita, a la de Ala, Albita-Ala, Albita-Karlsbad y Karlsbad; y (001) a la de Manebach, Aclina, Manebach-Ala o Ala-Manebach-Aclino, llegaremos a la certeza de la ley de macla llevando el papel transparente, previamente modificado, sobre cada uno de los dos gráficos construídos para este propósito.

Los gráficos II (F-37) y III (F-38) han sido construídos haciendo a un plano de unión plano de proyección, cayendo por tanto su polo en el centro del círculo de proyección. En consecuencia, los ejes del elipsoide, ejes ópticos y planos de macla describirán las curvas y ocuparán las posiciones correspondientes en la nueva proyección. En el gráfico II (37) viene el nombre perteneciente a cada curva y a cada macla. Sólo aparece proyectado uno de los dos individuos de la macla. En el papel transparente haremos con los puntos proyectados, las operaciones necesarias que traen consigo hacer plano de proyección al plano de unión.

Si el plano de unión obtenido en el gráfico I es (010) llevaremos el papel transparente sobre el gráfico II, y si el (001) sobre el gráfico III.

En ambos casos superpondremos el centro del papel transparente en el del estereograma y buscaremos la posición en que las proyecciones de X, Y, Z de cualquiera de las dos indicatrices del papel transparente coincidan con sus curvas correspondientes del gráfico. En esta posición, el polo del plano de macla caerá sobre un diámetro del gráfico que nos indica la ley de macla que buscamos. Lógicamente este diámetro será la proyección de un plano de simetría y dejará a ambos lados simétricamente a las dos indicatrices.

Conviene tener en cuenta por si pudiera ocurrir que los planos de unión de las leyes de la Albita y Manebach pertenecientes a las leyes normales son (010) y (001) respectivamente, y caso de que se llegara hasta aquí sin haberlas reconoci-

## Leyes de Macla de las plagioclasas

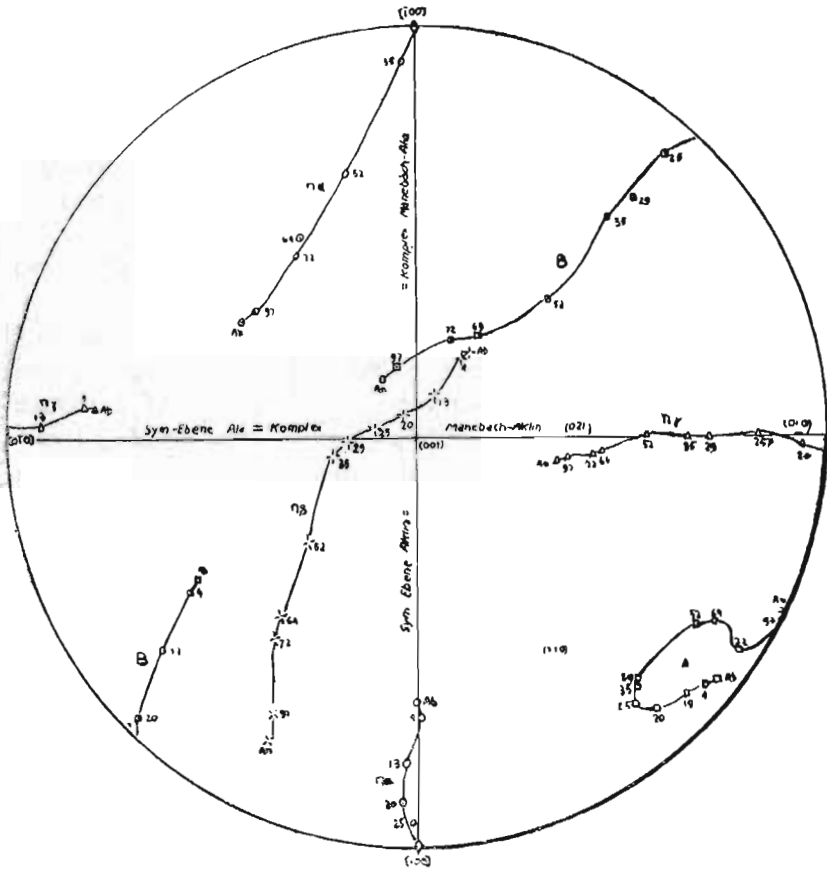


Fig. 38

Estereograma con plano de proyección en el Basipinacoide (001)

(Tomado del Reingard)

do, ésto resultaría fácil al saber que el plano de unión (de proyección) ha de ser plano de simetría. Por tanto basta girar  $180^\circ$  el papel transparente para comprobar si la indicatriz de un elemento coincide con la del otro. En caso afirmativo pertenece a la ley de las normales.

## DISTINCION ENTRE PLAGIOCLASAS DE ALTA Y BAJA TEMPERATURA

Sabido que la macla de una plagioclasa pertenece a la ley de las normales o de las no normales, existen dos gráficos sobre los que superponiendo el papel transparente sabremos si la plagioclasa es de alta o de baja temperatura.

Uno de los gráficos vale para las normales (F-39) y otro para las paralelas y complejas (F-40).

La construcción de estos entereogramas se ha hecho partiendo de dos series de plagioclasas de origen conocido, una originada a alta temperatura y la otra a baja, realizando para ambas series las mismas operaciones que se explicaron en la obtención del diagrama para la determinación del contenido en Anortita.

El plano de proyección es el XZ y el centro del círculo está ocupado por Y.

Como son dos, las series que proyectamos, cada plano o dirección cristalográfica vendrá en el estereograma representado por dos curvas: una correspondiente a alta temperatura y otra a baja temperatura.

En el transparente, Y ocupará el centro y X y Z estarán en la circunferencia del círculo de proyección y el resto de los puntos ocuparán las posiciones que les correspondan.

Sólo quedará, como en la determinación del contenido de Anortita, buscar por superposición la posición propicia en la que los puntos de proyección de las direcciones o planos cristalográficos caen sobre las curvas.

Es evidente que existirá una posición en la que los puntos coincidirán con las curvas de la serie de la alta o de la





baja temperatura, y eso nos dirá si la plagioclasa es de alta o de baja.

Como las curvas que pertenecen a una misma notación suelen estar poco separadas, conviene exaltar al máximo la exactitud de las medidas con la Platina Universal, así como las emigraciones de los puntos cuando cambiamos de plano de proyección.

## CONSTRUCCION DE DIADRAMAS ESTRUCTURALES

Una de las aplicaciones principales de la Platina Universal es la de aparato auxiliar de la Petrología.

La orientación de los ejes ópticos, de los ejes de la indicatriz, de los planos de exfoliación o de macla y las caras de máximo desarrollo son las huellas del estilo de presiones que sufieron los minerales o de las condiciones de presión existentes en el momento de su formación. E incluso por el estudio de la Platina Universal se puede llegar a consecuencias sobre si los procesos se realizaron a alta o a baja temperatura.

La Petrología estructural ha ido aumentando en importancia y hoy día existen en España un par de tratados sobre la materia. El de San Miguel Arribas, breve noticia, y el de Febrel Molinero, que se adentra más detalladamente en la problemática petroestructural.

Aquí no pasaré de mostrar el desarrollo elemental de la obtención de un diagrama estructural sencillo como es el del cuarzo.

Los pasos para su obtención serán:

- Recogida de muestras en el campo.
- Preparaciones transparentes.
- Proyección de los ejes ópticos.
- Construcción de diagrama.

**Recogida de muestras.**—Cualquiera que sea la intención de nuestro estudio petroestructural, la recogida de una muestra

debe hacerse de tal forma que en el laboratorio podamos reproducir una posición homóloga.

En general se procederá del siguiente modo: (F-41) y (F-42).

Escogida la porción de roca que convenga se desprende con el martillo y se vuelve a colocar en su posición original. Sobre la superficie externa, que ha de procurarse sea lo más llana posible, se pega un pedazo de esparadrapo, sobre el que se trazará una recta horizontal y otra perpendicular a ella. En la primera se mide la dirección y en la segunda el buzamiento, tomando nota de estos datos en la libreta de campo. Así:  $d = N25^{\circ}E$ ,  $b = S E 37^{\circ}$ .

En el caso de que la muestra sea obtenida de un estrato o diaclasa bien definida y de la que ya tengamos su dirección y buzamiento, bastará indicar con una señal convencional una dirección. Ahora bien, esta abreviatura sólo es posible cuando la superficie externa particular es paralela a la superficie del estrato.

**Preparaciones transparentes.**—La sección que hagamos sobre la muestra ha de quedar bien definida.

El plano a que pertenece la preparación debe medirse con relación a la muestra o bien directamente en su posición homóloga a la que tenía en el campo.

En el primer caso bastará con marcar en la superficie externa de la lámina una señal que nos indique su posición relativa con la superficie externa de la muestra, haciendo también una señal parecida sobre la superficie de la muestra que es paralela a la de la lámina obtenida. (F-43 y (F-44).

Si deseamos conocer directamente la orientación del plano de la lámina, se utilizarán aparatos reorientadores como el citado por Ingerson. Con él se consigue llevar la muestra a una posición homóloga a la que poseía en el campo y así dispuesta podremos perfectamente determinar la verdadera dirección y buzamiento del plano de la lámina transparentes.

Cuando la lámina delgada se obtenga en un plano paralelo o perpendicular a la superficie externa de la muestra, o pa-



ralela a dirección, etc., que son casos especiales que casi siempre se utilizan, la obtención de la dirección y el buzamiento del plano de la lámina quedará abreviado.

En todos los casos hay que tener en cuenta que para poder saber la situación original de los granos minerales contenidos en la lámina es necesario conocer de ella lo siguiente:

Dirección y buzamiento.

Superficie superior (o inferior).

Parte derecha (o izquierda, o arriba o abajo).

Las marcas que se hagan inicialmente sobre la lámina delgada deben trasladarse a posiciones paralelas cuando sobre ella se realizan los pasos sucesivos de desgaste, pulimento y adhesión al cubreobjetos.

Se comienza desgastando y pulimentando por la superficie que no tiene señal. Se pega con bálsamo al portaobjetos por dicha superficie y sobre él, del lado de la lámina se dibuja con una punta más dura que el vidrio una señal idéntica a la que tenemos en la lámina. Así dejamos constancia de su orientación.

A continuación desgastamos por la superficie que tiene la señal y seguimos hasta la transparencia conveniente. Se pega el cubreobjetos, quedando ya en condiciones de ser estudiada. (F-45).

**Proyección de los ejes ópticos del cuarzo.**—Cada eje óptico de cuarzo se proyectará según sabemos y de esto no hay nada que decir. Sin embargo el gran número de ejes que es necesario proyectar para la obtención de un diagrama estructural, requiere un método para facilitar la exactitud y la rapidez.

Lo primero que hay que tener en cuenta es que la posición de la preparación al iniciar la medida de los ejes ópticos ha de mantenerse paralela hasta terminar con todos ellos. Son, pues, permitidas las translaciones de la preparación pero no sus rotaciones particulares. Cuando sea sometida a giros lo hará como un todo con los anillos de la Platina Universal. Es lógico que sea así, pues si cada eje óptico que midiéramos variáramos por giro particular la preparación, los ejes ópticos

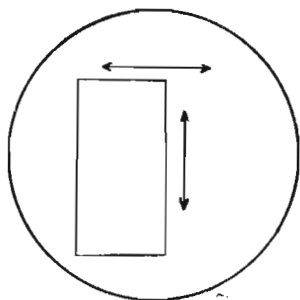


Fig. 46  
Movimientos lícitos de la Preparación

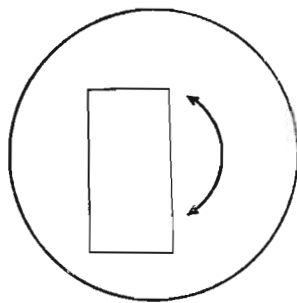


Fig. 47  
Movimientos prohibidos de la Preparación

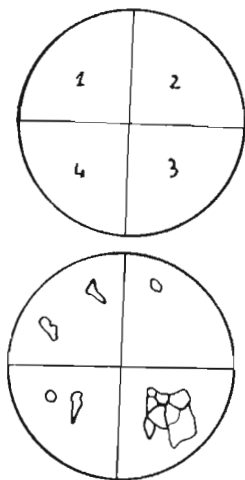


Fig. 48  
División del campo de vista en cuadrantes convencionales

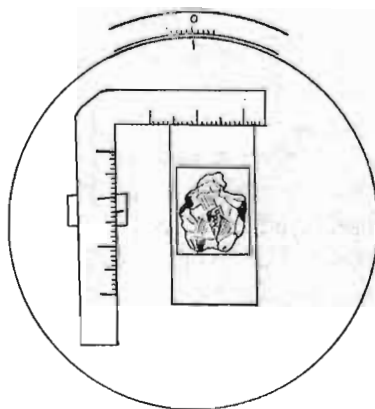


Fig. 49  
Escuadra de carpintero guiando la Preparación

que midiéramos a continuación estarían girados ese mismo ángulo y tendrían otras líneas de referencia, perdiendo en la proyección el ángulo original que formaban. (F-46) y (F-47).

Es, por tanto, condición indispensable partir en cada determinación y proyección de un eje óptico de una posición inicial paralela a la posición inicial de que partimos para medir el anterior.

Para mantener este paralelismo en las varias translaciones que se han de hacer para cambiar el campo visual se utiliza una pequeña escuadra de carpintero, metálica, uno de cuyos lados se acopla a un surco existente en el anillo interno de la Platina Universal, y el otro lado se mantiene en contacto con el lado menor del portaobjetos. Ambos lados de la escuadra llevan unas divisiones para controlar y medir cada translación. La translación según N-S tiene como referencia una rayita marcada junto al surco. La que se hace según W-E suele tomarse por referencia un vértice del portaobjetos. (F-49).

Mediante estos movimientos de translación se van llevando todos los granos de la preparación por el campo visual del microscopio, conviniendo previamente cómo han de hacerse las translaciones para no repetir.

Dada una posición de la preparación tendremos en el campo visual un determinado número de granos. Si son varios es aconsejable medirlos metódicamente para no repetir ni dejarse alguno. Este método, cada observador puede disponerlo a su gusto siempre que sea bueno y rápido.

Uno aceptable puede ser dividir el campo por los hilos del retículo en cuadrantes, comenzando por el superior —izquierda y seguir por el superior-derecha, inferior-derecha e inferior-izquierda. Además, si en un cuadrante existen varios granos, conviene hacer un dibujo esquemático de su posición relativa, tachándolos al irlos proyectando. (F-48).

El número de granos que normalmente se necesitan para obtener un diagrama estructural significativo es de trescientos, aunque puede ocurrir que tal cifra no sea precisa por observarse a los cien o doscientos una orientación dominante.

También conviene tener en cuenta que los granos de cuarzo pertenecientes a una roca pueden ser de generaciones

diferentes. Si esta distinción fuera fácil, es conveniente hacer diagramas diferentes para los de cada generación.

En una preparación pueden coexistir cuarzo magnético, cuarzo reaccional, cuarzo metamórfico y cuarzo cataclástico. Si los proyectamos todos sin distinción, ocurrirá que los puntos dispersos que corresponden a una generación se sumarán a las zonas de mayor concentración de otra generación o aunque aparezcan concentraciones que denoten una o varias orientaciones privilegiadas no sabremos a qué tipo de cuarzo pertenece. Además, pueden surgir zonas de la máxima acumulación por casual orientación de dispersos que tengan orígenes distintos.

Por todo esto, siempre que sea posible deben hacerse diagramas diferentes para cada tipo o hacer uno y distinguirlos por signos diferentes.

Por otra parte los diagramas pueden patentizar dos o más clases de granos que inicialmente supusimos del mismo origen.

Por último, no debemos olvidar anotar en el papel transparente el origen de los ángulos azimutales y la línea de referencia a que se llevó a coincidir el eje óptico.

**Dibujo de las líneas de densidad.**—A la vista de los puntos de proyección sobre una falsilla de Wulff o de Smith se pueden observar la zona o zonas del círculo de proyección de mayor o menor densidad de puntos y deducir con esta simple visión determinadas conclusiones.

Si se desean conseguir conclusiones más finas se ha de construir un diagrama, con el que las conclusiones groseras cualitativas pasan a conclusiones cuantitativas más ciertas.

La construcción de un diagrama se realiza partiendo de varias consideraciones o siguiendo diferentes caminos. El método más usual es el que conduce al dibujo de las líneas que unen puntos de igual densidad, entendiéndose por densidad de un punto el número de puntos de proyección comprendidos en un círculo unidad que tenga por centro dicho punto.

Los útiles necesarios para la construcción del diagrama son: Un cuadrado cuadriculado sobre papel transparente, un contador interno y un contador periférico. (F-50).

El cuadrado cuadrículado debe tener de lado la misma magnitud que el diámetro del círculo de proyección y cada cuadrado 1/20.

El contador interno es un círculo de área cien veces menor que la del círculo de proyección, es decir, su radio es diez veces menor.

Como el círculo del contador interno tiene un área cien veces menor que la del círculo de proyección, si éste tiene trescientos puntos de proyección, al contador, proporcionalmente, le corresponderán tres.

Colocado al azar el contador sobre la falsilla quedarán dentro de su círculo 1, 2, 3,... 7, 10 o más ejes ópticos; el punto que coincide con el centro del círculo del contador definirá una concentración alrededor de él.

Dispuesta la falsilla de Smith debajo del cuadrado cuadrículado y encima de éste un papel transparente en el que se ha dibujado una circunferencia de igual radio, haciendo que las circunferencias coincidan siendo tangentes a los lados del cuadrado cuadrículado y fijado todo con "clips" se conviene en considerar como centros de concentración sólo los vértices de los cuadraditos de la cuadrícula.

Cada punto será designado por un número atendiendo al siguiente convenio:

Concentración de ejes ópticos alrededor del punto con un área de 1/100	Notación del punto
De 0 a 1 eje óptico	0
De 2 a 4 ejes ópticos	1
De 5 a 7 ejes ópticos	2
De 8 a 10 ejes ópticos	3
De 11 a 13 ejes ópticos	4
De 14 a más ejes ópticos	5

Se lleva el centro del círculo del contador sobre cada punto-intersección de la cuadrícula y se cuentan en cada posición los ejes ópticos que quedan dentro del círculo, se consulta la tabla y sobre el punto-intersección se escribe el número-notación que corresponde a ese número de ejes.

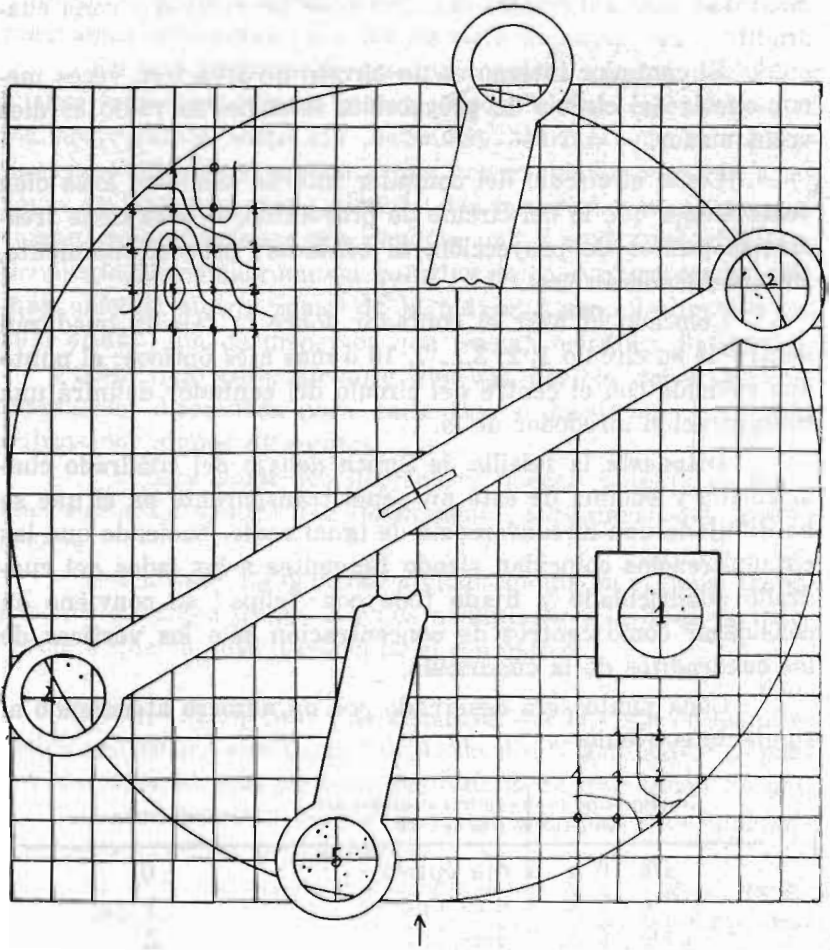


Fig. 50

Construcción de las líneas de densidad

(Tomado del Fairbairn)

Muestras y preparaciones orientadas

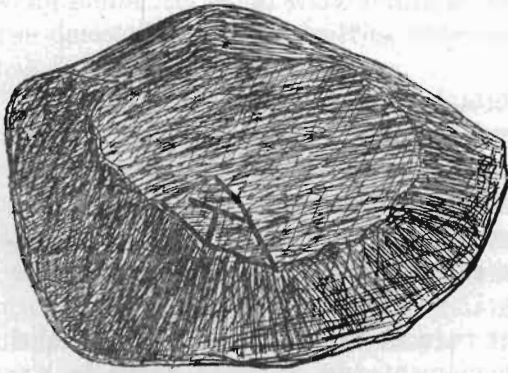


Fig. 41

La muestra en el campo



Fig. 42

La muestra aislada



Fig. 43

La sección de roca



Fig. 44

La sección de roca montada sobre el portaobjetos



Fig. 45

Preparación con el cubreobjetos dispuesta para el estudio

Para el margen incompleto (puntos de concentración que se han de tomar sobre la circunferencia del círculo de proyección) se utiliza un contador periférico construido como se indica en la figura 50.

Se coloca de tal forma que el punto medio de la ranura caiga en el centro de la red de Smith y los centros de los círculos del 1 por ciento sobre la circunferencia. Se comienza por cualquier posición y se cuenta el número de granos en los dos círculos opuestos. Se busca el número-notación que corresponde en la tabla y se marca este número-notación en el centro de ambos círculos.

Se gira el contador para llevar el centro de los círculos a un centímetro aproximadamente de distancia sobre la circunferencia y se procede de igual forma hasta que todo el perímetro ha sido recorrido.

En las intersecciones que no son numeradas (aquellas que al poner el contador interno sobre ellas queda parte del círculo del 1 por ciento fuera de la red) se utiliza también el contador periférico.

Coincidiendo la ranura con un diámetro que une punto-intersección con centro de la red, se lleva el centro de uno de los círculos del 1 por ciento a coincidencia con un punto-intersección; se cuenta el número de granos que hay entre los dos círculos opuestos, se busca el número-notación correspondiente en la tabla y se escribe el número-notación sobre el punto-intersección. Y así se procede con todas las que queden.

Marcados todos los puntos-intersección se pasa al dibujo de las líneas de densidad, realizando interpolaciones entre los puntos-intersección tal y como se muestra en el gráfico 50.

Trazadas las líneas de densidad, éstas definirán o limitarán zonas contorneadas por ellas. Las zonas se dibujan más oscuras cuanto más densas, para que a primera vista juzguemos dónde están las de menor o mayor concentración.

#### **Relación del diagrama con su posición real en el campo.—**

Una vez el diagrama construido se ha de relacionar con su posición real en el campo.

Para ésto se ha de tener en cuenta la orientación del diagrama con respecto a lámina transparente, la de ésta con



relación a la orientación de la muestra y la de ésta con relación a la orientación de un plano o dirección de campo o simplemente relacionada con el plano horizontal, fijados los puntos cardinales.

Los procedimientos para relacionar el diagrama de densidad obtenido, con direcciones y planos reales, pueden ser varios, siendo tanto más sencillas las operaciones cuanto más sencillas sean las relaciones entre el plano de la lámina transparente, la superficie medida de la muestra y el plano horizontal.

El procedimiento que da la visión más completa de la orientación de los ejes ópticos, es cambiar todos los puntos del diagrama o bien las zonas de mayor densidad al plano horizontal que entonces hace de plano de proyección, teniendo en cuenta la dirección, el sentido y la superficie superior de la lámina transparente. Se comprende que podemos ahorrarnos estas operaciones si previamente hacemos la lámina transparente paralela al plano horizontal.

Otro procedimiento que da una cierta visión y del que se pueden sacar muchas conclusiones es proyectar el plano horizontal y la dirección N-S sobre el plano del diagrama.

También en muchos casos conviene proyectar capas, lineaciones, etc., sobre el mismo plano de proyección del diagrama.

En tratados especiales de Petrología Estructural se detallan más y mejor estos métodos. Sin embargo, a ellos o a otros parecidos todo estudioso puede llegar por simples razonamientos.

## NOTICIA DE LA PLATINA UNIVERSAL DE CINCO EJES

Los ejes de esta platina son: (F-2)

$E_1$  y  $E_5$  verticales

$E_2$  es W-E interno

$E_4$  es W-1 externo

$E_3$  es el N-S

a los que se añade también el de la Platina del Microscopio.

Se incorpora por tanto un eje W-E a la de cuatro ejes.

Ofrece algunas ventajas en la medida de la orientación del elipsoide biáxico, pues permite medir el segundo eje principal de la indicatriz sin necesidad de volver al principio y manteniendo las coordenadas esféricas del primer eje, llegando a colocar los tres ejes en posiciones críticas: Uno, N-S; otro W-E, y el tercero vertical.

Al final nos aparecerán en las graduaciones correspondientes a  $E_1$ ,  $E_2$ , y  $E_3$  los valores que nos dan las orientaciones iniciales de los ejes principales.  $E_1$  y  $E_2$  para el primero.  $E_1$  y  $E_3$  para el segundo, pero con plano de referencia a  $90^\circ$  de el del primero, lo que hay que tener en cuenta al proyectar.

Por otra parte, la Platina Universal de cinco ejes fue construída para ser utilizada principalmente en el método de la doble variación, en la búsqueda de los índices de refracción.

## BIBLIOGRAFIA

- BASELGA, A. *Estudio Microscópico de Minerales y Rocas* (1945).
- BOLDYREV, A. K., *Cristalografía* (1934).
- CANDEL VILA, R., *Minerología* (1958).
- DUPARC, L. et REINHARD, M. *Les Methodes de Fedorof et leur application a la determination des plagioclases* (1923).
- EMMONS, R. C., *The Universal Stage* (1942).
- FAIRBAIRN, H. W., and CHAYES, F., *Structural Petrology of Deformed Rocks*. (1949).
- FEBREL, T., *Introducción al Estudio de la Petrología Estructural* (1941).
- JOHANSEN, A. *Manual of Petrographic Methods*. (1918).
- KLOCKMANN, F. und RAMDOHR, *Tratado de Mineralogía*.
- REINHARD, M., *Universal Drehtischmethoden*.
- SAN MIGUEL ARRIBAS, A., *Petrología Estructural*.
- SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M. y MARTINEZ STRONG, P., *Estudio de los Minerales Petrográficos*. (1945).
- SEARS, F. W., *Optica*. (1958).
- RROGER, W. E., *Optische bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. (1956).
- WAHLSTROM, E. E., *Optical Crystallography*. (1957).
- WINCHELL, A. N., *Elements of Optical Mineralogy an introduction to Microscopic Petrography*. (1949).

