

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

REVISTA
DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS

Nueva Serie

Volumen III

Número 1

OVIEDO

1962



Depósito legal: O. 45 = 1962

IMPRESA Y LIBRERIA «GRÁFICAS SUMMA»
Nueva Vía de Penetración, 7 y Doctor Casal, 2 - OVIEDO

SUMARIO

Páginas

A) SECCION DE CIENCIAS QUIMICAS

- Daniel Carretero Moreno*: Extracción de fenol en columnas pulsantes 5
- José M. Pertierra*: Métodos rápidos de análisis de silicatos 61

B) SECCION DE CIENCIAS GEOLOGICAS

- Luis G. García de Figuerola*: Interpretación de algunos datos petrológicos del cámbrico asturiano 75
- Joaquín Mulas Sánchez*: Técnica, manejo y aplicaciones de la platina universal de Fedorov 95

EXTENSION DE BENOL EN COLIMINAS, LANTANA Y A CONTRACORRIENTE

A) SECCION DE CIENCIAS QUIMICAS

1. OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es determinar la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, en un sistema de flujo de un fluido que se mueve con velocidad constante, considerando la influencia de la velocidad de flujo y la concentración de benol en el fluido. Se pretende demostrar que la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, depende de la velocidad de flujo y de la concentración de benol en el fluido. Se pretende demostrar que la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, depende de la velocidad de flujo y de la concentración de benol en el fluido.

En primer lugar se debe tener en cuenta que la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, depende de la velocidad de flujo y de la concentración de benol en el fluido. Se pretende demostrar que la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, depende de la velocidad de flujo y de la concentración de benol en el fluido. Se pretende demostrar que la extensión de benol en coliminas, lantana y a contracorriente, depende de la velocidad de flujo y de la concentración de benol en el fluido.

EXTRACCION DE FENOL EN COLUMNAS, CONTINUA Y A CONTRACORRIENTE

POR

DANIEL CARRETERO MORENO

1. *Fin y planteamiento del problema.*

De todos los procedimientos de extracción líquido-líquido, el más elegante y práctico es el continuo que no es sino una reproducción, sencillamente llevada a cabo, de la extracción en contracorriente a múltiples etapas. Este modo de ponerlo en práctica en un solo aparato, ha sido extensamente aplicado en la absorción gaseosa y muy poco en el caso que nos ocupa, porque si bien resulta económico en su inicial montaje, no lo es por las alturas tan enormes empleadas en las columnas para conseguir un pequeño contenido en el extracto.

El objeto del presente trabajo es utilizar el mismo procedimiento pero llevando además una intensa agitación que reduzca los coeficientes de película o las H T U o las HETP, con la disminución de la altura total para un determinado grado de extracción. Esta agitación se puede conseguir por muchos caminos: mediante agitador, insuflación de un gas, pulsación electrónica (5, 9, 13, 14, 15, 17, 18, 25); nosotros usaremos el sistema de pulsación mecánica, que es ajeno a la columna

y que al mismo tiempo consigue una agitación reproducible, fácil y eficaz (1, 4, 7, 11, 19, 24, 27).

El sistema empieza a tener éxito y le auguramos un magnífico porvenir, siendo el camino que prodirá el sistema continuo de extracción líquido-líquido en contracorriente.

Adelantando ideas, vemos en este procedimiento una serie de ventajas fundamentales: La columna es continua y fácilmente automática, no necesitando aparatos de control finos y delicados; la altura total se reduce a una tercera o cuarta parte (10,26) respecto a una columna igual pero sin pulsación, que llamaremos "convencional", la limpieza rápida, la complicación mecánica muy pequeña y, por tanto, las reparaciones mínimas.

El presente trabajo estudiará la influencia de las variables que después se indican en función de la altura total de la columna, o más exactamente, aunque ello es lo mismo, la influencia de las variables en función de las unidades de transmisión. Esas variables son las siguientes:

relleno, naturaleza del sistema, relación de caudales, velocidad de caudales, frecuencia, pulsación y temperatura.

Considerando el problema desde un punto de vista general y amplio, se puede hacer un estudio por análisis dimensional, para obtener una relación entre la eficacia (en este caso $H T U$) y los distintos parámetros:

a) Por el teorema de Buckingham o teorema de π :

Las variables que intervienen, en principio, en el proceso, son:

G_D = Velocidad másica de la fase dispersa, gr/h m^2 ($M L^{-2} T^{-1}$).

D = Diámetro de la columna, cm (L).

μ_D = Viscosidad de la fase dispersa, poise ($M L^{-1} T^{-1}$).

D_D = Difusividad de la fase dispersa, cm^2/seg ($L^2 T^{-1}$).

ρ_D = Densidad de la fase dispersa, gr/cm^3 ($M L^{-3}$).

Nos hemos referido a la fase dispersa porque la $H T U$ se refiere al agua.

Usando el sistema C. G. S. se tendrán $5 - 3 = 2$ ecuaciones independientes, lo que representa que tendremos dos grupos adimensionales.

Estas ecuaciones pueden ser:

$$1.^{\text{a}} \quad D = c_1 G_D^a D_D^b \mu_D^d, \quad \text{de donde } c_1 = \left(\frac{D}{G_D^a D_D^b \mu_D^d} \right),$$

adimensional.

$$2.^{\text{a}} \quad d_D = c_2 G_D^x D_D^y \mu_D^z, \quad \text{de donde } c_2 = \left(\frac{d_D}{G_D^x D_D^y \mu_D^z} \right),$$

adimensional.

Como el numerador y el denominador han de tener las mismas dimensiones, para la primera ecuación podemos escribir el siguiente sistema:

$$\begin{cases} 1 = -2a + 2b - d \\ 0 = a + d \\ 0 = -a - b - d \end{cases} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{de donde: } a = -1 \\ b = 0 \\ d = 1 \end{array} \right.$$

La segunda ecuación nos lleva a:

$$\begin{cases} 1 = x + z \\ -3 = -2x + 2y - z \\ 0 = -x - y - z \end{cases} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{de donde } z = 0 \\ b = -1 \\ z = 1 \end{array} \right.$$

lo cual nos permite escribir:

$$f \left(\frac{D}{G_D^{-1} D_D^0 \mu_D^1} \cdot \frac{d_D}{G_D^0 D_D^{-1} \mu_D^1} \right) = 0$$

$$\text{c sea } f \left(\frac{D \cdot G_D}{\mu_D} \cdot \frac{D_D d_D}{\mu_D} \right) = (\text{Re}) (\text{Sc})^{-1} = 0$$

con lo que el proceso depende del número de Reynolds y del número de Schmit, es decir $H T U = f [(\text{Re}) (\text{Sc})^{-1}]$

b) Por el método de Rayleig

La $H T U_A$ es función de G_D , D , μ_D , D_D y d_D ; es decir

$$H T U_A = f (G_D, D, \mu_D, D_D, d_D)$$

Por análisis dimensional se puede escribir, ya que la $H T U$ tiene dimensiones de longitud (L):

$$(L) = z (M L^{-2} T^{-1})^a (L)^b (M L^{-1} T^{-1})^c (L^2 T^{-1})^d (M L^{-2})^e$$

$$\text{Suma de M: } 0 = + a + e$$

$$\text{Suma de T } 0 = - a - c - d$$

$$\text{Suma de L } 1 = - 2a + b - c + 2d - 3e$$

De las dos primeras ecuaciones se deduce que $d = e$

$$c = - a - e$$

De la última ecuación se deduce que $b = 1 + a$

Conservando sólo los exponentes a y e , se puede escribir:

$$\frac{HTUA}{z} = \left[(G_D)^a (D)^{a+1} (\mu_D)^{-a-e} (D_D)^e (d_D)^e \right]$$

Con lo que se llega a:

$$\frac{HTUA}{z} = \left[\left(\frac{D G_D}{\mu_D} \right) \left(\frac{D_D}{D d_D} \right) \right] = f \left[(Re) (Sc) \right]$$

De donde se deduce que: $HTUA = x D \cdot (Re)^y (Sc)^z$

$$\text{En este caso } (Re) = \frac{D \cdot d_D \cdot a \cdot f}{\mu_D}$$

$$\text{o } (Re)' = d \cdot d_D \cdot a \cdot f / \mu_D$$

Siendo d = tamaño del relleno; $a \cdot f = [LT^{-1}]$ que es una velocidad y $(Sc) = \mu_D / d_D \cdot D_D$

Para concretar el problema fijamos ciertas condiciones —relleno, naturaleza del sistema y temperatura— y se opera en una columna de dimensiones dadas, con un material de relleno determinado a temperatura ambiente para el sistema benceno-fenol-agua, variando la frecuencia, la pulsación y los correspondientes flujos líquidos. Se han tratado soluciones acuosas diluidas en fenol, con benceno como disolvente selectivo. En la misma columna se han realizado pruebas, como después se indica, sin pulsación, es decir, trabajando como una columna “convencional”.

Una de las variantes antes citadas, es la agitación o grado de turbulencia, fundamental en el caso de fenómenos en los que hay transferencia de materia y también superficie de contacto. Este índice de turbulencia se consigue en una columna corriente convencional, por la diferencia de densidades del disolvente y de la solución, diferencia que, cuando es pequeña, no es eficaz.

En las columnas pulsantes esta diferencia sigue siendo eficiente aun cuando sea del orden de 0,05 (22).

Datos de sumo interés sobre las columnas pulsantes rellenas se encuentran en los trabajos de Feick y Anderson (8) y Chantry, Von Berg y Wiegandt (3) y es curiosa la plena coincidencia de todos los autores en la preferencia de pequeñas amplitudes con grandes frecuencias sobre lo inverso, es decir, grandes amplitudes y pequeñas frecuencias. Se ha trabajado preferentemente en columnas pulsantes de platos perforados (1, 4, 7, 11, 19) y se han revisado los experimentos llevados a cabo en columnas de relleno, cuyos datos han sido publicados por Thornton (23). Una comparación de las dos técnicas de trabajo, ha sido realizada por Treibal (24) y por Von Berg y Wiegandt (27).

Resumiendo: el presente trabajo tiene por objeto la extracción de fenol en columnas pulsantes de forma continua y en contracorriente, utilizando benceno como disolvente selectivo.

2. Bibliografía

2.1 De columnas pulsantes.

- (1). BELAGA, M. W., BIGELOW, J. E., U. S. *Energy Comm. Declas Soc.* K T-133 (Enero, 1952).
- (2). BROWN, F. H., BURI, C. R., J. CHEM. Soc. 123.2430 (1923).
- (3). CHANTR, W. A., VON BERG, R. L. WIEGAND, H. F., Ind. Eng. Chem. 47, 1153 (1955).
- (4). COHEN, R. M., BAYER, G. H., Chem. Eng. Progr. 49, 279 (1953).
- (5). COPLAN, B. V., DAVIDSON, J. K., ZABROSKI, E. L., Ibid, 50, 403 (1954).
- (6). DEMO, B. V., EWING, R. *Tesis en Ingeniería Química Mass. Inst. Technol.* (1936).
- (7). ADWARDS, R. B., BAYER, G. H., A. I. Ch. E. Journal, 2, 148 (1956).
- (8). FEICK, G., ANDERSON H. M., Ind. Eng. Chem. 44, 404, (1952).
- (9). GALLO, S. C., HARTVIGSEN, B. (Standars Oil Development Co.) U. S. Pat. 2, 562, 783 (31 de julio 1951).
- (10). GOUNDRI, P. C., ROMERO, Y. M. *Proyecto de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Cordell.* (Febrero, 1950).
- (11). GRIFFITH, W. L., JASNY, G. R., TUPPER, H. P., U. S. Atomic Energy Comm. Declass. Doc. Rapt. AEGD, 3440 (1952).
- (12). "Internacional Critical Tables", Vol. III P. 404, (McGraw-Hill Nueva York, 1928).

- (13). OLDEHUE, J. Y., RUSHTON, J. H., Chem. Eng. Progr., 48, 297 (1952).
- (14). PODBICLNIAK, W. J., U. S. Pat. 2.044, 996 (23 de junio 1935).
- (15). REMANN, G. H. (shell Development C.), Ibid, 2.601, 674 (24 de junio de 1952).
- (16). SCHEIBEL, E. G., Chem. Eng. Progr., 44, 681, 771 (1948).
- (17). SCHEIBEL, E. G., Ind. Eng. Chem., 42, 1947 (1950).
- (18). SCHEIBEL, E. G. KARR, A. E., Ibid., 42, 1043 (1950).
- (19). SEGE, G., WOODFELD, F. M., Chem. Eng. Progr. 50, 396 (1954).
- (20). SHERWOOD, T. K., "Absortion and Extraction" pp. 256-63. McGraw Hill, New York, 1937.
- (21). SHERWOOD, T. K., EVANS, J. E., LONGCOR, J. V. A., Trans. Am. Inst. Chem. Engrs, 35, 597 (1939)
- (22). STEPHENSON, R., Chem. Eng. Progr. 49, 340 (1953).
- (23). THORTON, J. D., Chem. Eng. Progr., Symposium Ser, 50, N.º 13, 39 (1954).
- (24). TREYBAL, R. E., "Advances in Chemical Engineering", T. B. Brew, J. W. Hoopes, Jr. eds. pp. 317-23 Academic Press. Nueva York, (1956).
- (25). VAN DIJCK, W. J. D., U. S. patent 2.011, 186 (13 agosto 1935).
- (26). VON BERG., R. L., WIEGANDT, H. F., Chem. Eng. 59 N.º 6, 200 (1952).
- (27). Ibid., 61, N.º 7, 183 (1954).
- (28). POTNIS, G. V., BIJAWAT H. C., y DORAÍSWANY, L. E., Ind. Eng. Chem., 51, N.º 5, 645-650 (1959).

2.2. De análisis de fenol.

- (29). HORIBA, S., "Memoir College Science", Kyoto Imperial University, 1, 49, (1914).
- (30). PHLIP y BRAMLEI, J., Chem. Soc. 107, 377 (1915).
- (31). PHLIP y CLARK, J., Chem. Soc. 127, 1274 (1925).
- (32). ROTHMUND y WILSMORE, Z. Physik Chem., 40, 623, (1925).
- (33). TAGLIAVINI, G., ARICH, G. y BIANCANI, M., Ann. Chimica, 45, 292 (1955).
- (34). TAGLIAVINI, G., ARICH, G. y BIANCANI, M., Chimica e Industria. XXXVII, 882 (1955).
- (35). TAKAHASHI, KIMOTO, SAKURAI, Rep. Inst. Ind. Scien. University Tokio, 5, N.º 6, 121 (1955).
- (36). HAND, D. B., J. Phys. Chem. 34, 1961 (1930).
- (37). STAVELEY, L. A. A., JEFFES, J. H. E., MOY K. A. E., Trans. Faraday Soc., 38, 5 (1943).
- (38). KOPPESCHAAR, ZTSCHR, f. anal. Ch., 15, 233, 1879).
- (39). TAGLIAVINI, G. y ARICH, G., La Ricerca Scientifica, 28, 12 diciembre (1958).

2.3. De extracción de fenol.

- (40). Dow Chemical Co., datos no publicados de Laboratorio y de la Industria.

2.4. De solubilidad benceno-agua.

- (41). WALTER y LACHMANN, Braun Rollnarch, 28, 32 (1930).
(42). Berl-Lunge (IV, 281, 1947).
(43). Hill, L. Journ. Amer. Soc. Chem. 45, 1143 (1923).
(44). KIRK-OTHMER, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2, 423, (1948).

3. Parte experimental

3.1 Descripción del aparato

La figura 1, ilustra perfectamente el aparato que hemos utilizado para nuestro trabajo. Consiste aquél, en un tubo de vidrio de 910 mm. de longitud y 41 mm. de diámetro interior. Dicho tubo está relleno de anillos Raschig de vidrio que ocupan 810 mm. de altura en la columna, quedando ambos extremos sin relleno para conseguir una fácil separación por decantación. Las características del anillo Raschig citado son las siguientes:

Material: vidrio

Dimensiones: 7 x 7 x 0,75 mm.

Peso: 800 Kg/m³

Peso específico del sólido: 2.620 Kg/m³

Diferencia de pesos: 1.820 Kg/m³

Número de anillos: 2.920.000 por m³

El soporte del relleno es una rejilla de acero inoxidable con una superficie libre del 90 por 100, teniendo otra rejilla igual por la parte superior, disposición que han empleado otros investigadores (3,8). En ambos extremos de la columna se tiene un diámetro mayor, lo que unido a que en los mismos existe relleno, hace que ellos sirvan de decantadores. El benceno se alimenta por el fondo de la columna a través de un contador y la solución a tratar entra por la parte superior des-

pués de haber atravesado otro contador; las salidas de ambas corrientes se miden de la misma forma, incluyendo además dos controles de nivel para poder variar, según los experimentos, la fase continua y la dispersa, o viceversa.

El generador de pulsación es un émbolo de carrera variable que corre a través de un cilindro, pudiendo variar no solamente la carrera, sino también el número de emboladas por unidad de tiempo. El sistema utilizado es benceno-fenol-agua. Nos han servido de orientación los datos de equilibrio de Tagliavini y Arich (39) pero como las aguas fenólicas utilizadas en nuestro trabajo proceden de la fabricación de fenol por síntesis a partir del benceno (sulfonación de éste e hidrólisis posterior) estas aguas fenólicas llevan sulfato sódico (11 por 100) y sulfito sódico (9 por 100) disuelto, con lo que el coeficiente de reparto ha variado ligeramente. Como estos componentes son constantes, se ha determinado experimentalmente el coeficiente de reparto del fenol entre el benceno y las aguas salinas, siendo este valor 14,7 a temperatura ambiente, valor que hemos tomado y empleado en todos los cálculos.

3.2 Procedimiento

La columna se llena de fase continua, poniendo en funcionamiento el generador de pulsación a la velocidad y amplitud determinada. Las aguas fenólicas se introducen en la columna a un caudal fijado, lo mismo que el benceno, y una vez conseguidos los caudales deseados se deja funcionar la instalación durante 45 minutos, a lo largo de los cuales la columna coge el régimen deseado despreciándose hasta entonces ambas salidas. A partir de un momento dado, y continuando con el mismo régimen de marcha que en la preparación, se ponen en funcionamiento el cronómetro y los cuatro contadores de caudal.

Por si el nivel primitivo no coincide con el final, se han colocado cuatro contadores cuya misión es medir las entradas y salidas, de forma que en todos los ensayos se ha tenido un balance de materia de 1,00. El error de los cuatro contadores es menor del 0,5 por 100 e idéntico en todas las operaciones. El procedimiento de análisis empleado es el de Koppeschaar (38) modificado por nosotros ligeramente, como en su lugar indicaremos.

Todas las operaciones han durado una hora aproximadamente y los análisis, que se realizaban por partida triple, se hacían de las dos salidas y de una entrada de los líquidos de la columna, cuyas muestras se tomaban de forma que fueran completamente homogéneas, es decir, se recogían en recipientes y se agitaban perfectamente antes de tomar las muestras. El benceno de entrada estaba desprovisto completamente de fenol, con el fin de facilitar el cálculo y evitar errores. Las aguas fenólicas tenían una concentración que oscilaba entre 17-25 gr/l de fenol. El análisis del fenol en el benceno de salida se realizaba por el mismo procedimiento analítico y, a la vez, se rectificaba para separar el fenol cuyo resultado con el análisis era completamente concordante.

3.3 Datos sobre el aparato y sus características

El volumen del relleno de la columna de diámetro 41 mm. y de altura 810 mm. vale:

$$\pi \cdot 41^2 \cdot \frac{810}{4} \cdot 10^{-9} = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Como 1 m³. de este tipo de relleno presenta una superficie de 890 m²., el área de contacto de relleno de la columna alcanza: 1,07 x 10⁻³. x 890 m²/m³ = 0,952 m².

Por otro lado, 1.200 cm³. de agua, se han llenado de anillos Raschig 7 x 7 x 0,75 mm., desplazando éstos 212 cm³. de agua, con lo que se tienen los siguientes diámetros real y efectivo:

$$\text{vacío: } \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot h = 1.200$$

$$\text{con anillos: } \pi \cdot \frac{d_2^2}{4} \cdot h = 1.200 - 212 = 988$$

$$\text{con lo que } d_2 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{988}{1200}} = d_1 \cdot 0,907$$

es decir, el diámetro efectivo vale: 41 mm. 0,907 = 37,2 mm. y la sección de la columna tiene por valor:

$$\pi \cdot \frac{37,2^2 \text{ mm}^2}{4} = 1085 \text{ mm}^2 = 0,1085 \text{ dm}^2.$$

este último valor lo hemos empleado con mucha frecuencia para calcular velocidades y amplitudes "dentro" de la columna.

Con los caudales antes citados de aproximadamente $100 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{dm}^2$ y $37 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{dm}^2$, para las fases acuosas y bencénica respectivamente, se tienen unos tiempos de contacto o de permanencia en la columna de 280 segundos y 800 segundos para ambas fases.

3.4 Fórmulas para calcular la eficacia

La eficacia de la extracción se ha calculado, obteniendo la HTU total referida al agua. Igual se podría haber realizado calculando la HETP o el tanto por ciento extraído teniendo en cuenta las concentraciones de entrada y salida de las aguas fenólicas.

Como las soluciones son diluidas hemos empleado la siguiente fórmula:

$$\text{HTU}_{\text{TA}} = \frac{L}{(C_{A_1} - C_{A_2}) / \Delta C_{\text{lm}}} \quad (1)$$

en donde L es la altura de relleno de la columna, C_{A_1} y C_{A_2} las concentraciones de entrada y salida de las aguas fenólicas y ΔC_{lm} la media logarítmica según la expresión:

$$\Delta C_{\text{lm}} = \frac{(C_{A_1} - C_{A^*_1}) - (C_{A_2} - C_{A^*_2})}{2,3 \lg \frac{(C_{A_1} - C_{A^*_1})}{(C_{A_2} - C_{A^*_2})}} \quad (2)$$

siendo $C_{A^*_1}$ y $C_{A^*_2}$ las concentraciones en equilibrio.

La fórmula (1) obedece a la ley de la simple distribución y sus posibles errores se reflejan por igual en todas las experiencias.

De la misma forma se podría haber calculado la HTU_{TB} referida al benceno, con lo cual, las ecuaciones (1) y (2) "mutatis mutandis", quedarían de esta forma:

$$\text{HTU}_{\text{TB}} = \frac{L}{(C_{B_2} - C_{B_1}) / \Delta C_{\text{lm}}}$$

$$\text{y } \Delta C_{\text{lm}} = \frac{(C_{B^*_1} - C_{B_1}) - (C_{B^*_2} - C_{B_2})}{2,3 \lg \frac{(C_{B^*_1} - C_{B_1})}{(C_{B^*_2} - C_{B_2})}}$$

Si, como en nuestro caso, el benceno de entrada tiene concentración O_x , estas últimas ecuaciones quedarían así:

$$HTU_{TB} = \frac{L}{(C_{B_2} - C_{B_1}) / C_{B_1}^* - (C_{B_2}^* - C_{B_2})} \cdot \frac{C_{B_1}^*}{2,3 \lg. (C_{B_2}^* - C_{B_2})}$$

Aún sería más correcto la suma de las dos H T U, es decir:

$$HTU_{total} = HTU_{TB} + HTU_{TA}$$

pero, para facilitar el cálculo, y teniendo en cuenta que la HTU de más influencia es la del agua, todos los cálculos se han realizado con la ecuación (1), siendo las conclusiones igualmente válidas.

3.5 Programa experimental.

Si, como hemos indicado en el apartado 1, la eficacia de extracción depende de relleno, naturaleza del sistema, relación de caudales, velocidades de flujo, frecuencia y amplitud, utilizaremos una misma columna e idéntico sistema y fijados ambos, operaremos de forma que se vea la influencia de la HTU en función de la relación de caudales, velocidades de flujo, frecuencia y amplitud.

Las treinta y ocho primeras pruebas realizadas nos han servido de tanteo o preparación para estudiar la transferencia de materia, velocidades de inundación, concentración de las soluciones, etc., para obtener resultados reproducibles. Se observa que relleno más pequeño conduce a mejores extracciones. Remo y Ewing (6, 20) han conseguido HTU de 30 cm. con anillos de 12 mm. y nosotros HTU de 25 cm. con anillos de 7 mm.

Cada operación, una vez puesta la columna a régimen, se han realizado, por lo menos tres veces, llevando a cabo hasta seis operaciones en las mismas condiciones si, en alguna ocasión, los resultados no eran prácticamente reproducibles. Con todo ello, hemos adquirido la práctica suficiente para evitar errores y sacar unas conclusiones previas: por ejemplo, la extracción es más eficaz si la fase continúa la forma el benceno en una columna pulsante y la misma condición apenas influye en una columna no pulsante. (Véase Tabla I).

3.5.1 *Efectos de la frecuencia y pulsación.*

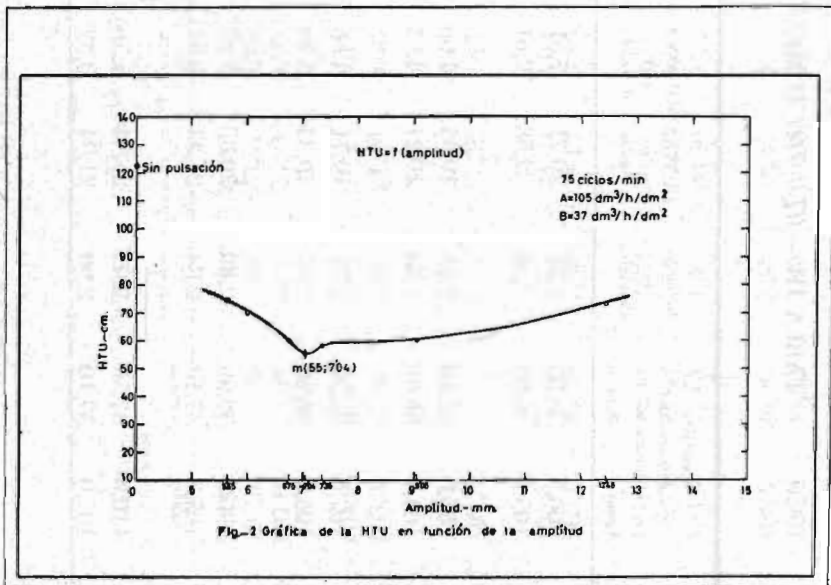
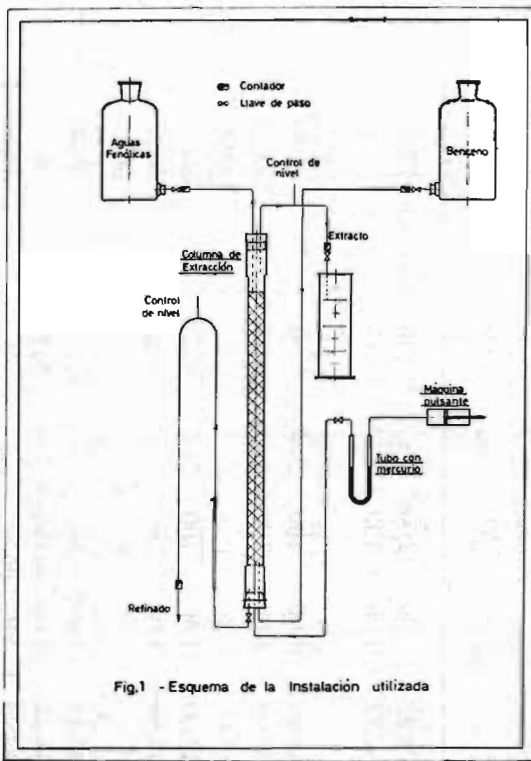
En esta serie de pruebas hemos mantenido unos caudales constantes, modificando solamente la frecuencia y la pulsación. Los caudales empleados han sido aproximadamente $100 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{dm}^2$ y $40 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{dm}^2$ para las fases acuosas y bencénica respectivamente, que corresponden al 30 por 100 de las velocidades de inundación.

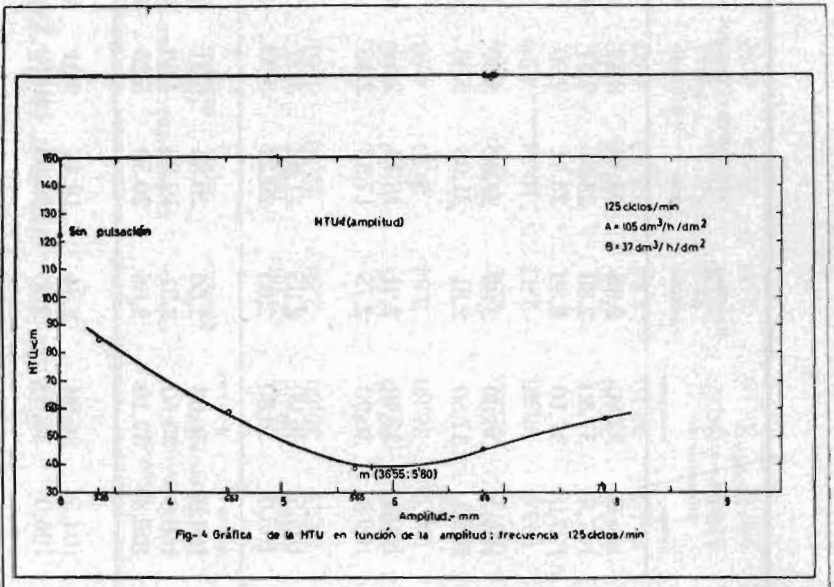
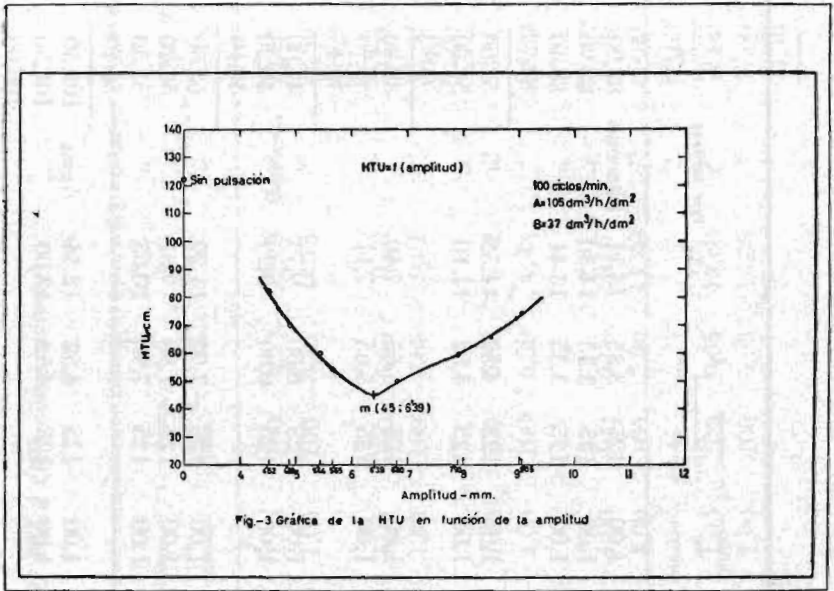
Para comparar las HTU conseguidas en una columna pulsante con las obtenidas en una columna convencional, se realizan las pruebas 38 a 40, teniendo un mismo valor de 122 cm., tanto si la fase continua es el benceno o las aguas fenólicas. Dichos valores están reflejados en la Tabla I y figuras 2, 3, 4 y 5.

Después, y manteniendo todo constante, se realizan pruebas a 25, 50, 75, 100, 125 y 150 pulsaciones/minuto, variando las amplitudes entre 2,25 y 18,10 mm. Estos valores se refieren a las amplitud "dentro" del relleno, que han sido hallados por cálculo, es decir, para una posición dada de la corredera del generador pulsante, se ha medido la amplitud en la parte sin relleno de la columna y se ha calculado la producida en el relleno. Queremos observar que la amplitud aun para la misma embolada, varía con la frecuencia, ya que el tubo en U con mercurio amortigua la pulsación; por tanto, para cada frecuencia se ha medido la amplitud independientemente.

Los ensayos hasta el número 83, se realizan a frecuencias de 25 y 50 ciclos/minuto variando las correspondientes amplitudes, obteniendo resultados no reproducibles, para la frecuencia de 25 ciclos/minuto, por lo que se rechazan y en consecuencia, para este sistema, no es posible emplear frecuencias inferiores a 50 ciclos/minuto. Ello se debe a que a pequeña frecuencia, que comunica poca agitación al sistema y gran amplitud, —para paliar el anterior inconveniente— existe, entonces, evacuación grande de líquido no consiguiendo por ello, el equilibrio práctico.

Otra serie de pruebas se realizan a la frecuencia de 75 ciclos/minuto y con amplitudes de 5'65, 7'35, 10'72 y 12,45 mm., cuyos resultados se reflejan en la Tabla II y figura 2. A la vista de ellos, se observa que la HTU disminuye al aumentar la amplitud hasta llegar a un valor mínimo, para aumentar después cuando se la amplitud adquiere valores mayores. Este esquema general, se reproduce en los siguientes ensayos.





existiendo, por consiguiente, para un sistema, caudal, relleno y frecuencia dados, un valor óptimo de la amplitud que es muy interesante.

Los ensayos siguientes se refieren a la frecuencia de 100 ciclos/minuto y con amplitudes de 4,52, 5,65, 6,80, 7,80 y 9,05 mm., valores reflejados en la Tabla III y figura 3. Vemos, igualmente, que el fenómeno sigue la pauta anterior, pero es de notar que la amplitud óptima es menor que antes.

Las operaciones con frecuencia de 125 ciclos/minuto y 150 ciclos/minuto a diferentes amplitudes están reflejadas en las Tablas IV y V y figuras 4 y 5.

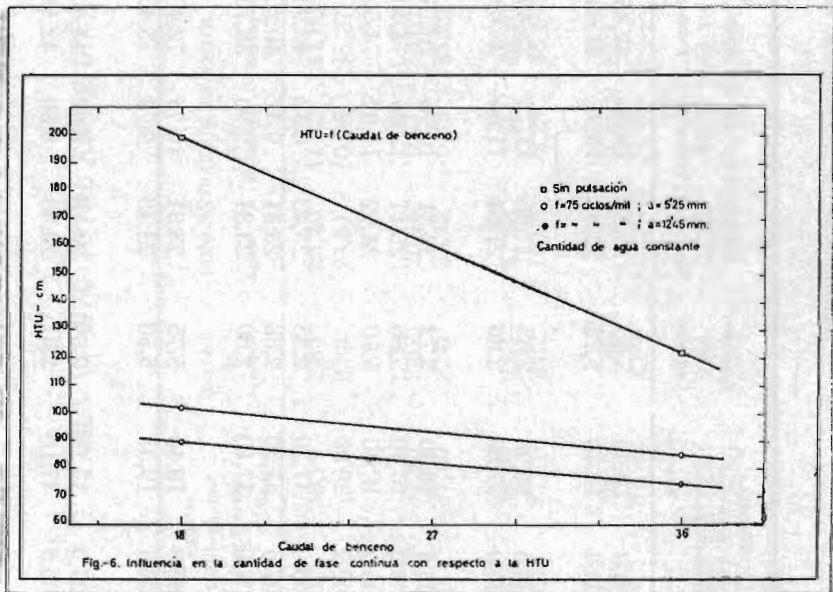
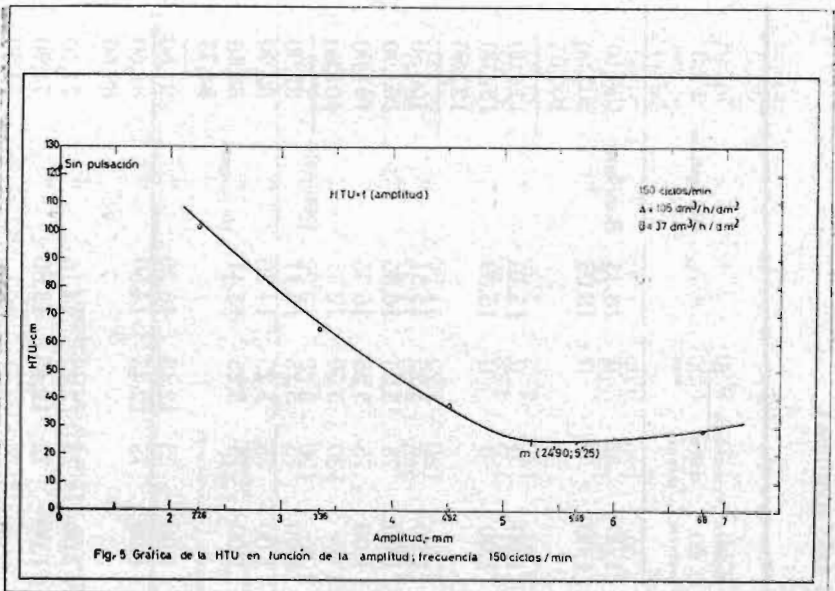
Hasta aquí, se ha estudiado la frecuencia y la amplitud en relación con la HTU. A la vista del hábito de las curvas (véase figuras 2, 3, 4 y 5) vemos que existe un fenómeno con mínimo. Todo proceso físico-químico en donde hay un mínimo, obliga a pensar en la existencia de dos fuerzas antagónicas y contrarias, de las cuales, en principio, una es inferior a la otra creciendo hasta anularla para después rebasarla. La anulación se refleja en el mínimo, las ramas de la curva indican preponderancia de una de las fuerzas.

Al principio, estamos en presencia de una agitación que a medida que aumenta la amplitud (a frecuencia constante), dicha agitación es mayor con lo que se produce una disminución en el valor de la HTU. Esta mayor agitación lleva consigo la formación de diminutas gotas que determinan una mayor transferencia de materia por aumentar la superficie de contacto; pero a medida que la amplitud rebasa esos límites óptimos y nos vamos acercando a energías de pulsación elevadas, se llega a conseguir un depósito excesivo de fase dispersa, es decir, ha ocurrido una "inundación" de fase dispersa en la fase continua, con lo que la transferencia de materia y el contacto entre las fases es menor, obteniendo, en consecuencia, mayores valores de HTU.

En el apartado 4, obtendremos una fórmula que da, para este sistema, la relación entre la frecuencia y la amplitud óptima, así como una ecuación que relaciona la HTU con las mismas variables.

3.5.2 *Influencia del cambio de la fase continua (intersustitución de fase)*

En una columna no pulsante no tiene influencia, para los mismos caudales, la variación de fases, es decir, el que la fase continua sea benceno o aguas fenólicas apenas influye en el valor de HTU. Por



el contrario este factor tiene influencia decisiva en una columna pulsante. Una vez demostrado prácticamente que en nuestro caso se consiguen mejores extracciones cuando la fase continúa que llena la columna es el benceno, vamos a comparar los resultados obtenidos variando el caudal de la fase continúa, tanto en una columna convencional como pulsante. La Tabla VI y Fig. 6 dan los valores obtenidos si, manteniendo constante la fase acuosa, se varía la fase continúa. En ellas vemos que en una columna no pulsante la influencia es superior al 60 por 100, mientras que en una pulsante sólo alcanza el 20 por 100, cuando se dobla la fase continua.

3.5.3 *Influencia de la variación de caudales.*

Otra serie de ensayos nos han llevado a confeccionar las Tablas VII, VIII, IX y X, referente a considerar la influencia de la HTU dependiente de la relación de caudales. Estas tablas están representadas en las Figs. 7, 8, y 9 en donde, además se han reflejado los valores de la Tabla X, relativo a una columna no pulsante.

Según esta Tabla se concluye:

1.º) Que a medida que aumenta la relación de gastos, aumenta el valor de la HTU.

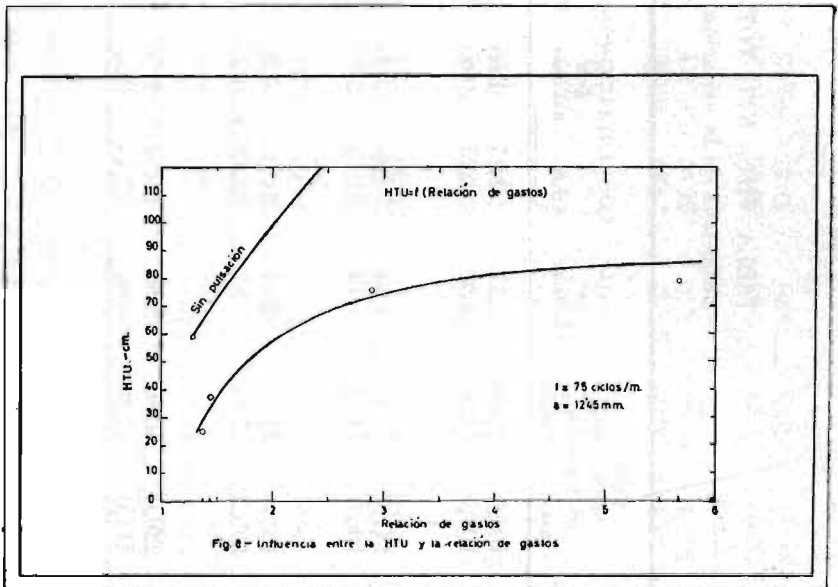
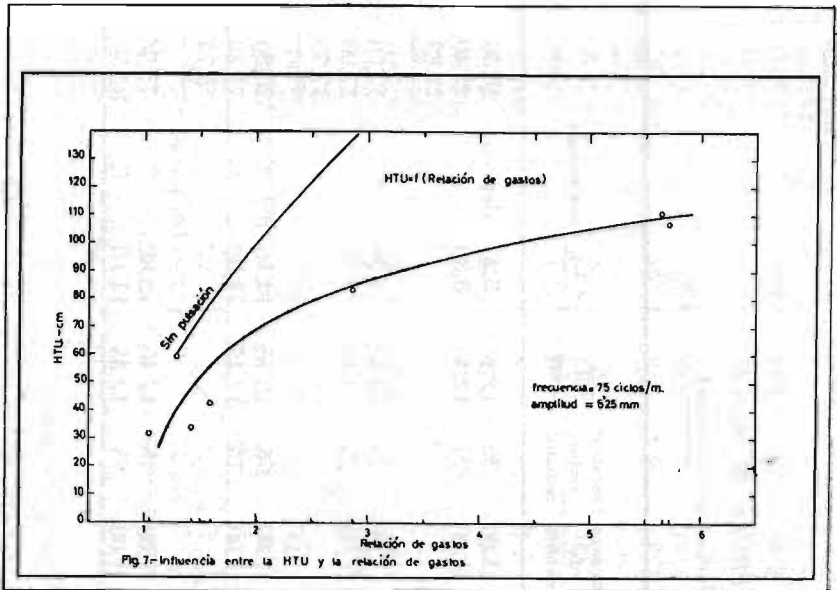
2.º) Que para una misma relación de caudales, se obtiene un valor de la HTU menor, si el caudal del disolvente aumenta, por efecto de la solubilidad.

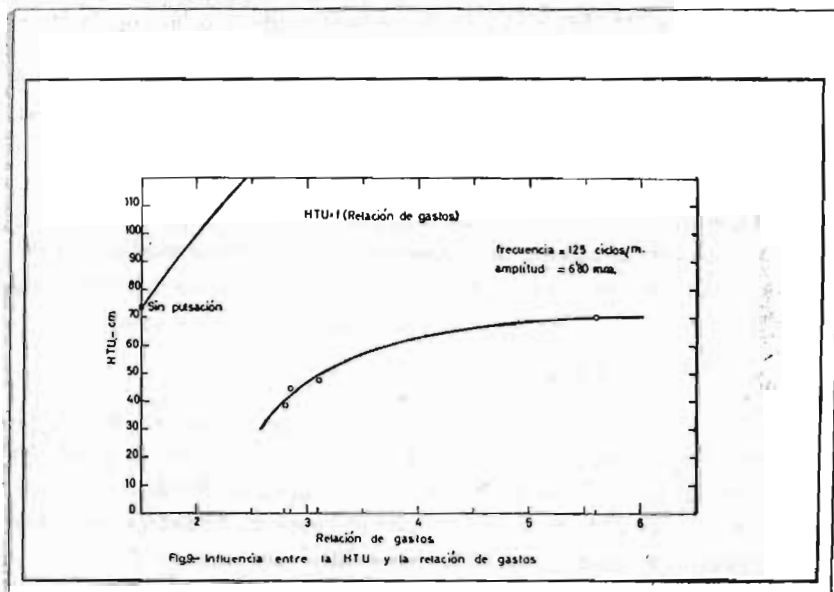
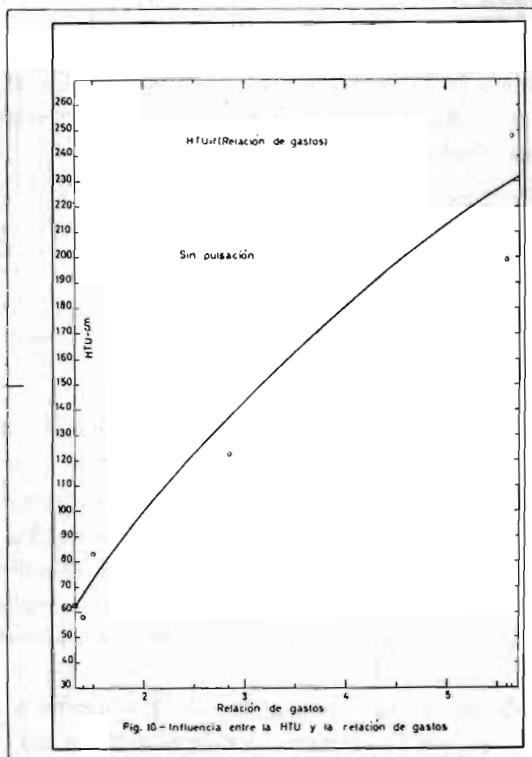
La Tabla VII y Fig. 7, se refieren a la relación de la variación de caudales, para frecuencias de 75 ciclos minuto y amplitudes de 5,22 mm. y la Tabla VIII y Fig. 8, para la misma frecuencia y el valor de 12,45 mm. de amplitud. Por ello deducimos que:

1.º) A medida que aumenta la relación de gastos, aumenta el valor de la HTU.

2.º) Para una misma relación de caudales, se obtiene una HTU menor, si el caudal del disolvente aumentó, por efecto de la solubilidad.

3.º) La influencia de la variación de caudales en una columna pulsante es menor que en una columna convencional.





Por último la Tabla IX y Fig. 9, consignan el mismo fenómeno para la frecuencia de 125 ciclos/minuto y a las tres conclusiones anteriores podemos añadir:

4.º) Para mayores frecuencias la influencia de la variación de la relación de caudales, sobre el valor de la HTU, es menor que para frecuencias pequeñas

4. *Elaboración de resultados.*

Se ha calculado la HTU según la ecuación (1), de todas las pruebas, reflejándose dichos valores en las Tablas.

El valor de la HTU no es el exacto correspondiente a este sistema, sino que da el grado de extracción conseguido. La fórmula (1) se refiere a la HTU total referida al agua, que es el que más influencia tiene en el valor de la HTU integral. Una mayor eficacia de la columna nos conduce a un valor menor de la HTU, o dicho de otro modo cuanto menor sea la HTU, más número de unidades de transmisión contiene la columna y dado una altura de la columna a menor valor de la HTU, es como si la columna fuera más alta, de más pisos.

A guisa de ejemplo, vamos a detallar el cálculo de la operación 84 (Tabla II). Idéntico cálculo se ha llevado a cabo con las trescientas pruebas.

4.1 *Cálculos analíticos.*

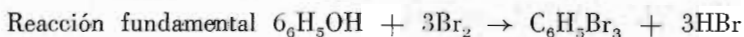
Los análisis de las aguas fenólicas y del benceno de salida se ha realizado por el método de Koppeschaar, ligeramente modificado por nosotros para evitar errores. Indiquemos a continuación ambos procedimientos:

a) *Método de Koppeschaar*

Se echan 25 cm³ de solución problema en un matraz aforado de 500 cm³. Se añaden 100 cm³ de solución de cloruro bórico al 20 por ciento, se agita, se diluye hasta enrasar y se filtra en dos filtros corrientes y en uno de 242. Se cogen 25 cm³ de muestra filtrada y se llevan a un frasco con tapón esmerilado de un litro que contiene 200 cm³ de

agua y 10 cm.³ de solución de bromo N/2. Se acidifica con 50 cm.³ de ácido clorhídrico al 20 por ciento y se cierra inmediatamente el matraz. Se agita bien y se deja en reposo durante cuarenta y cinco minutos, refrigerándolo con agua. La solución debe permanecer coloreada de amarillo.

Se añaden, rápidamente, 20 cm.³ de solución de yoduro potásico al 10 por ciento y se cierra, inmediatamente el frasco. Se agita bien y, después de cinco minutos de reposo, se valora el yodo en exceso por el método acostumbrado del tiosulfato sódico N/10 y almidón:



$$\text{equivalencias: } \frac{C_6H_5OH}{6} = Br = I = S_2O_3''.$$

Cálculos: (volumen de Br N/10 corregido como volumen de

$$\text{Br N/1 volumen de } Na_2S_2O_3 \text{ corregido) } \frac{0.094}{6} \times \frac{500}{25} \times \frac{1000}{25} =$$

=volumen Br N/10 corregido correspondiente al Br N/2 = volumen $Na_2S_2O_3$ corregido) 1,254 gr/l.

b) Modificación del método anterior.

El método actual es igual, pero para evitar la constante variación en el factor del agua de bromo, se valora la muestra en blanco cuyo gasto de la solución de tiosulfato la llamaremos K, con lo cual la fórmula anterior se convierte en:

(K — volumen de $Na_2S_2O_3$) 1,2450 f, en gr/l (3) siendo f el factor de la solución de tiosulfato que antes también intervenía en el cálculo.

4.1.1 Análisis de la alimentación CA_1

Aplicando la ecuación (3) a las aguas fenólicas de entrada se tienen los siguientes valores para la operación 84.

$$K = 50,6 \text{ cm.}^3$$

$$V = 31,1 \text{ cm.}^3$$

$$f = 0,9943.$$

con lo que sale:

$$1.254 (50,6 - 31,1) \cdot 0,9943 = 12,18 \text{ gr/l.}$$

4.2.1 *Análisis del refinado CA₂*

Idéntico procedimiento, pero en lugar de tomar 25 cm.³ que nos daría un resultado final con un error del 2 por ciento, se toman 100 cm.³ con lo que la fórmula (3) queda así:

$$(K - V) \cdot f \text{ en gr/l.}$$

Para la operación 84, se tiene:

$$K = 50,6 \text{ cm.}^3$$

$$V = 22,8 \text{ cm.}^3$$

$$f = 0,9943$$

$$\text{o sea, } 0,3135 (50,6 - 22,8) \cdot 0,9943 = 8,68 \text{ gr/l.}$$

4.1.3 *Análisis del extracto, CB₂*

La salida del benceno, se realiza por dos métodos, el anteriormente indicado y la rectificación del benceno y fenol.

a) El método de análisis químico es igual al descrito en 4.1.1 pero tomando 10 cm.³ de muestra y diluyendo hasta 1.000 cm.³ de los que se cogen 25 cm.³ La fórmula (3) queda así:

$$6,27 (K - V \cdot f) \text{ en gr/l.}$$

Para el ensayo número 84, se tiene:

$$6,27 (50,6 - 43,5) \cdot 0,9943 = 24,60 \text{ gr/l.}$$

b) El método de análisis físico se realiza así:

Sobre un matraz de dos litros de capacidad se monta una columna de 50 cm. de cuerpo útil (ref. Afora 2552) con reflujo. Al calderín se echan 1.000 cm.³ de extracto que pesan 884 gr. y rectificando se tiene:

1) 962 cm.³ de benceno (840 gr.) de 0,46 gr/l de fenol (analizado como luego diremos).

2) 44,5 gr. de fenol de punto de congelación 38,40°C. = 90,38 por ciento. Cuyo balance de material es la unidad:

El extracto tiene, por consiguiente, la siguiente concentración:

$$0,9938 \cdot 44,5 + 0,962 \cdot 0,46 = 44,67 \text{ gr/l.}$$

que está en perfecto acuerdo con 44,60 gr/l. obtenido por análisis químico.

La concentración del benceno rectificado se ha calculado tomando 25 cm.³ de muestra directamente, con lo que la ecuación (3) queda así:

$$0,063 (K - V) \cdot f \text{ en gr/l.} \quad (6)$$

y para la operación 84, toma el siguiente valor:

$$0,063 (47,7 - 40,2) \cdot 0,9943 = 0,47 \text{ gr/l.}$$

4.2 Mediciones.

La operación 84 ha durado 58 minutos y 15 segundos, con lo cual, por la columna han pasado:

11.290 cm.³ de aguas
3.910 cm.³ de benceno

que corresponde a

$$\frac{11.290 \text{ dm.}^3 \cdot 60 \text{ minutos/hora}}{58,25 \text{ minutos}} = 107 \text{ dm.}^3/\text{h/dm.}^2$$

y 3.910 dm.³, que corresponden a 37,10 dm.³/h/dm.²

La relación de gastos es, por consiguiente:

$$\frac{11290}{3910} = 2,89$$

y las condiciones operatorias:

75 ciclos/minuto y
5,65 mm. de amplitud.

4.3 Cálculos.

Según lo anterior se tiene:

$$\begin{aligned}
 CA_1 &= 24,18 \text{ gr/l} \\
 CA^*_1 &= 1,64 \text{ ''} \\
 CA_2 &= 8,68 \text{ ''} \\
 CA^*_2 &= 0,59 \text{ ''} \\
 CB_1 &= 0 \text{ ''} \\
 CB_2 &= 44,60 \text{ ''}
 \end{aligned}$$

Aplicando la fórmula (1), por partes tendremos:

$$\Delta C_{lm} = \frac{(24,18 - 1,64) - (8,68 - 0,59)}{2,3 \log \frac{(24,18 - 1,64)}{(8,68 - 0,59)}} = 14,12 \text{ gr/l}$$

$$HTU = \frac{14,12 \text{ gr/l } 81 \text{ cm.}}{(24,18 - 8,68) \text{ gr/l}} = 73,79 \text{ cm.}$$

Con objeto de ordenar la presentación de los cálculos, vamos a realizar lo anterior, de forma simplificada, referente a la prueba número 117 (Tabla IV).

Esta operación tiene las siguientes características:

Caudal de la fase acuosa	104,2	dm. ³ /h/dm. ²
Caudal de la fase bencénica	36,80	''
Concentración de la alimentación, CA ₁	21,82	gr/l.
Concentración de la alimentación, en equilibrio, CA [*] ₁	1,48	''
Concentración del refinado, CA ₂	5,87	''
Concentración del refinado en equilibrio, CA [*] ₂ ..	0,40	''
Concentración del disolvente, CB ₁	0	''
Concentración del extracto, CB ₂	45,15	''
Frecuencia	125	ciclos/minuto
Amplitud	4,52	mm.
Fase continua	Benceno	

Calcularemos:

- Relación de caudales
- Balance de materia
- Media logarítmica de concentraciones
- H T U

$$a) \frac{104,2}{36,80} = 2,83$$

$$b) \frac{104,2 (21,82 - 5,87)}{36,80 \cdot 45,15} = 1,00$$

$$c) \Delta C_{lm} = \frac{(C_{A_1} - CA^*_1) - (C_{A_2} - CA^*_2)}{2,3 \log \frac{(C_{A_1} - CA^*_1)}{(C_{A_2} - CA^*_2)}}$$

$$\Delta C_{lm} = \frac{(21,82 - 1,48) - (5,87 - 0,40)}{2,3 \log \frac{(21,82 - 1,48)}{(5,87 - 0,40)}} = 11,34 \text{ gr/l}$$

$$d) HTU = \frac{L \cdot \Delta C_{lm}}{C_{A_1} - C_{A_2}} = \frac{81 \text{ cm. } 11,34 \text{ gr/l}}{(21,82 - 5,87) \text{ gr/l}} = 57,60 \text{ cm.}$$

4.4 Fórmulas que rigen el fenómeno

Teniendo en cuenta todas las variables constantes a excepción de la frecuencia y amplitud, hemos considerado, hasta ahora, el proceso cualitativo estableciendo una relación entre frecuencia, amplitud y H T U.

En este apartado vamos a estudiar la citada relación de forma cuantitativa, para el sistema agua-fenol-benceno y para ello consideramos constantes: el relleno, el sistema, los caudales, su relación y la temperatura.

Hemos indicado antes, que los gráficos se componen de dos ramas, una descendente y otra ascendente, unidas por un mínimo, existiendo, por consiguiente, dos fuerzas antagónicas que en este punto se igualan.

Nuestras fórmulas, que dan la relación entre frecuencia, amplitud y HTU, se refieren a la rama descendente, hasta el mínimo. En di-

cha rama el fenómeno es perfectamente reproducible por depender de la agitación que también es reproducible, no ocurriendo lo mismo en la zona de la rama ascendente ya que al depender de la inundación de la fase dispersa en la continua, la agitación no es reproducible.

Si se dibujan, en papel semi-logarítmico, las amplitudes óptimas frente a las frecuencias correspondientes, se obtiene la figura 11, que tiene la siguiente forma:

$$f = \alpha + \beta \log a_n \quad (7)$$

en donde α y β son constantes dependientes del sistema caudal, temperatura y naturaleza del relleno. Ello indica que la amplitud óptima es función exponencial de la frecuencia. Según esto, la HTU depende del producto frecuencia x amplitud, para cualquier valor individual de la frecuencia o de la amplitud.

En la figura 12 se ha representado la HTU en función de la frecuencia, a amplitud constante, y en la figura 13 se ha dibujado la HTU frente al producto $f \cdot a$, que es el producto de las figuras 2, 3, 4 y 5 por la figura 12. Por ésta se ve que la HTU, es función lineal de la frecuencia y como ésta es función exponencial de la amplitud óptima (ecuación 7), la HTU resulta serlo también.

Además, la figura 13 señala un mínimo para la HTU frente al producto $f \cdot a$, dando un límite sobre la pulsación que no hace aumentar la eficacia y que define una condición óptima. Chantry, Berg y Wiegant (3) han demostrado que para los sistemas benceno-ácido acético-agua, metilisobutilcetona-ácido acético-agua y acetato de etilo-ácido acético-agua, existe la misma ecuación (7) con distinto valor para las constantes, siendo la amplitud inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia.

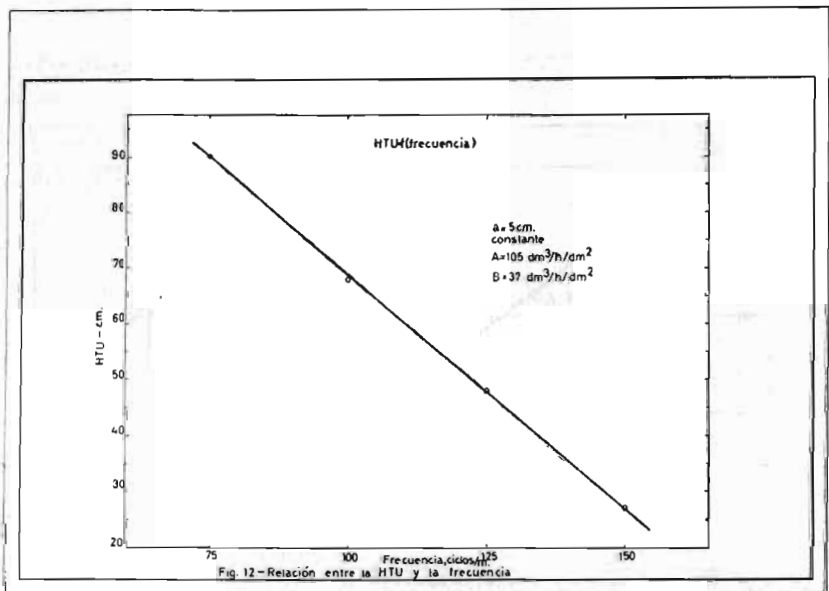
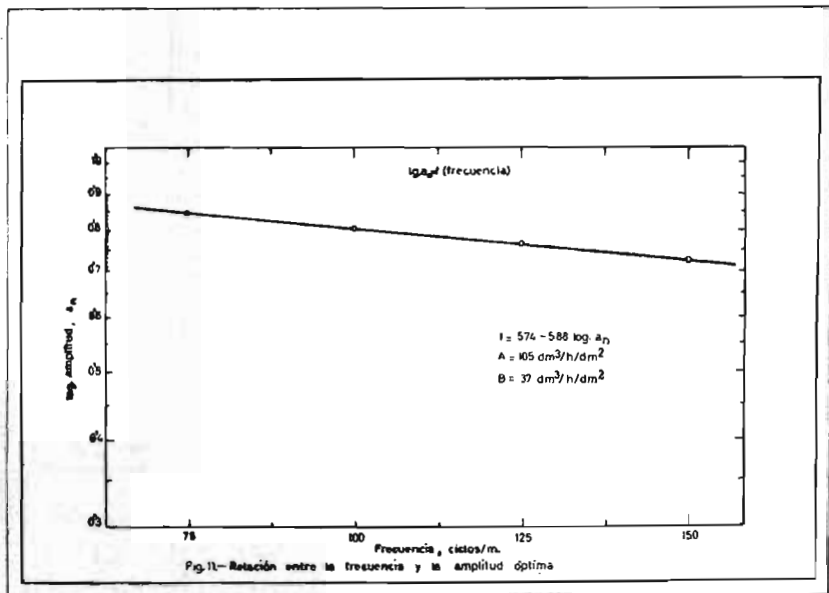
Para el caso que nos ocupa y teniendo en cuenta el cuadro I:

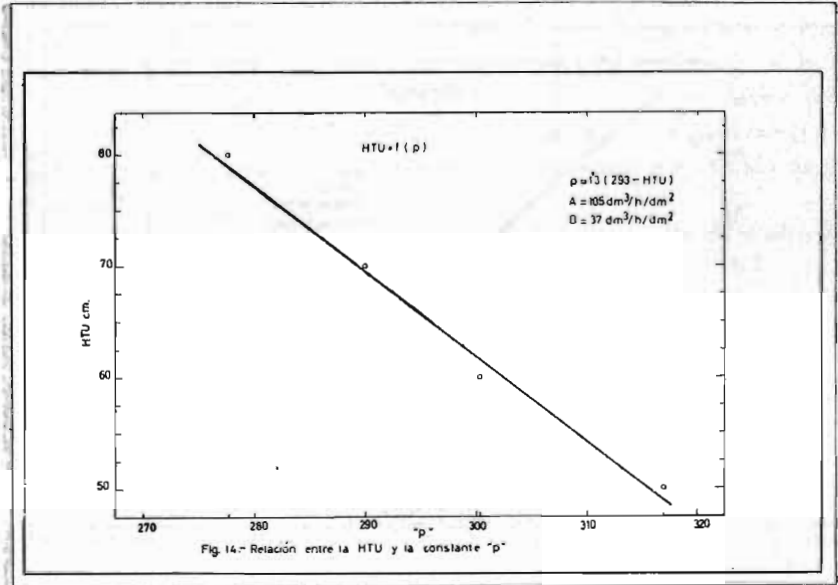
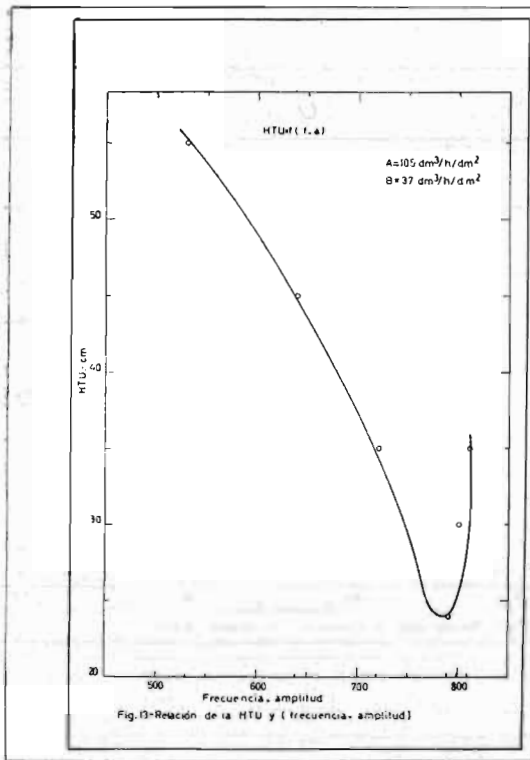
CUADRO I

f c/min	a_n , mm	$\log a_n$	HTU, cm.
75	7,04	0,848	55
100	6,39	0,805	45
125	5,78	0,762	35
150	5,25	0,720	24

la ecuación (7) toma la siguiente forma:

$$f = 574 - 588 \log a \quad (8)$$





Si la ecuación (7), da una relación exponencial entre la frecuencia y la amplitud óptima, cabe pensar también que existe una relación similar exponencial entre la frecuencia y la amplitud para un valor constante de la HTU. Representando frecuencia frente a amplitud, a HTU constante, obtendremos una ecuación de la siguiente forma:

$$f = p + s \log a \quad (9)$$

en donde p y s , son consonantes y a representa la amplitud en función de la frecuencia f , para una HTU dada.

Para HTU = 60 cm., podemos escribir el siguiente cuadro II:

CUADRO II

f , c/min	a , mm	$f \cdot a$	$\log a$	HTU, cm
75	6,75	506	0,83	60
100	5,44	544	0,74	60
125	4,45	555	0,65	60
150	3,69	555	0,55	60

quedando la ecuación (9) así:

$$f = 303 - 276 \log a$$

para HTU = 60 cm. y para el sistema benceno-fenol-agua, que nos ocupa.

Si se realiza lo mismo para HTU = 70 cm. formaremos el cuadro III:

CUADRO III

f	a	$f \cdot a$	$\log a$	HTU
75	6,00	450	0,778	70
100	4,88	488	0,689	70
125	3,96	495	0,598	70
150	3,05	459	0,484	70

con lo cual la ecuación (9) queda:

$$f = 290 - 276 \lg a$$

que nos permite deducir que de las constantes p y s de la ecuación (9), la primera es dependiente de la HTU, mientras que la s es independiente

de la misma. Vamos a relacionar la dependencia entre la HTU y la constante p :

Para ello representamos los valores de HTU de la ecuación (9) en coordenadas rectangulares frente a los valores de p (figura 14), obteniendo una ecuación en la que aparecen otras dos constantes, esta ecuación es:

$$p = q (r - HTU) \quad (10)$$

que nos relaciona el valor de p en función de la HTU, como antes apuntábamos.

Con los valores p y HTU, obtenemos analíticamente los valores de q y r que son, respectivamente 1,30 y 293; con lo cual la ecuación (10) toma la siguiente forma:

$$p = 1,3 (293 - HTU) \quad (11)$$

(La figura 14 se ha representado con los valores del cuadro IV).

CUADRO IV

p	HT , cm.	q	r
317	50	1,3	293
303	60	1,3	293
290	70	1,3	293
277	80	1,3	293

Por último, las ecuaciones (9) y (10) conducen a una ecuación que relaciona las características pulsantes con la HTU, que es el motivo final de nuestro trabajo para el sistema benceno-fenol-agua, esta ecuación es:

$$f = q (r - HTU) + s \lg a \quad (11)$$

cuyas constantes ya calculadas, da:

$$f = 1,30 (293 - HTU) - 276 \cdot \log a \quad (12)$$

para un caudal y tipo de relleno definido.

4.5 Condiciones óptimas y límites de validez.

En el apartado 3.5.1 se indicaba que por debajo de 50 ciclos/minuto, los resultados no eran concordantes, por lo que el fenómeno-

no es enteramente reproducible, debido a que para tener una eficacia elevada había que suministrar al sistema amplitudes mayores con lo que no se consigue un equilibrio práctico, por evacuación grande de líquido en cada embolada. Indudablemente el fenómeno se reproduce para estas frecuencias con amplitudes mayores, pero entonces la eficacia de extracción disminuye considerablemente.

La figura 15, está dibujada con los valores de la Tabla XI y dichos valores se han obtenido después de repetidos ensayos, lo que afirma que el fenómeno no es perfectamente reproducible; si bien estos valores, para la frecuencia de 75 ciclos/minuto, satisfacen las fórmulas, podemos asegurar que el límite de frecuencias para la validez de la ecuación (12) están en los 50 ciclos/minuto.

Queremos repetir también, que dichas fórmulas se refieren a la rama descendente hasta el mínimo, que es cuando el sistema tiene unas características constantes.

Se han realizado ensayos a 175 y 200 ciclos/minuto cuyas tablas XII y XIII están representadas en las figuras 16 y 17. El fenómeno sigue la misma pauta que en otras ocasiones pero el mínimo de la curva adquiere mayores valores, es decir, que la amplitud óptima, a_n , da una HTU mayor que para la frecuencia de 150 ciclos/minuto.

Comparemos los valores de frecuencia, amplitud óptima y producto de ambos valores con la HTU mínima para las frecuencias de 125, 150, 175 y 200 ciclos/minuto cuyos valores están reflejados en la figura 13.

El producto de frecuencia por amplitud tiene un valor aproximadamente de 770, pudiendo formar el siguiente cuadro:

CUADRO V

Frecuencia ciclos/minuto	Amplitud óptima mm.	F . a_n	HTU, cm.
125	5,78	720	35
150	5,25	790	24
175	4,54	800	30
200	4,05	810	35

El mínimo corresponde a la frecuencia de 150 ciclos/minuto, es decir, para valores superiores a esta frecuencia, aunque el fenómeno sigue con su mismo hábito, la eficacia disminuye y por tanto para va-

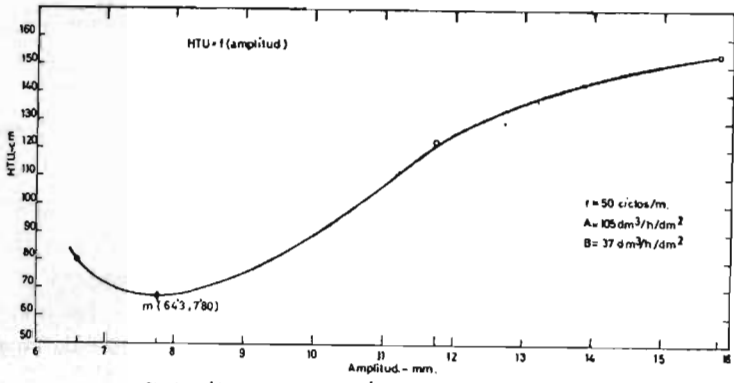


Fig. 15.- Gráfica de la HTU en función de la amplitud.

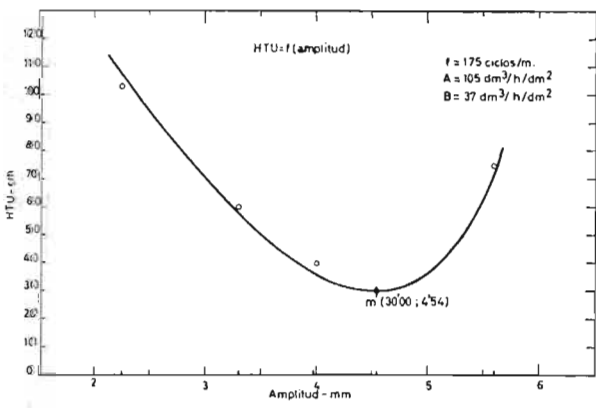


Fig. 16.- Gráfica de la HTU en función de la amplitud.

lores de frecuencia superiores a los 150 ciclos/minuto la eficacia decrece y las fórmulas obtenidas no se ajustan a la realidad exactamente. Y para valores de frecuencia inferiores a los 150 ciclos/minuto la eficacia también disminuye. (Véase tabla XIV).

Resumiendo, se tiene: los límites de frecuencia para el sistema benceno-fenol-agua están comprendidos entre 50 y 200 ciclos/minuto, siendo la frecuencia de 150 ciclos/minuto la óptima, es decir, con la que se consiguen mayores extracciones.

Vamos a definir ahora los límites de la amplitud a una frecuencia dada y su condición óptima:

Para una frecuencia dada el límite superior de la amplitud es cuando se cumple que $a = a_n$, siendo a_n la amplitud óptima, es decir, con la que se consigue una HTU mínima. Esta amplitud óptima se calcula, para el sistema benceno-fenol-agua con la ecuación (8) y una vez ballada se puede obtener con la ecuación (12) la HTU mínima correspondiente.

El límite inferior de la amplitud se puede fijar teóricamente, ya que la frecuencia y amplitud son nulas cuando la HTU es igual a la HTU obtenida sin pulsación.

Aunque la ecuación (11) no se puede aplicar en condiciones no pulsantes, vamos a utilizarla, dando un valor a la frecuencia definido y positivo, con lo cual se obtiene una HTU que en este caso corresponderá a una HTU_{sp} sin pulsación. Es decir, la HTU_{sp} obtenida según Tabla I, se sustituye en la ecuación (12) y dada una frecuencia, se obtiene una amplitud que será a_{sp} , sin pulsación; por lo tanto, para cada frecuencia, no se puede utilizar la ecuación (12) para amplitudes mayores que la a_{sp} obtenida. La amplitud es generalmente muy pequeña, aumentando la eficacia en un 5 por ciento sobre los valores no pulsados a amplitudes más pequeñas que a_{sp} .

Vamos a calcular ahora los intervalos de amplitud según lo arriba indicado para las frecuencias 75, 100, 125 y 150, que corresponden a las amplitudes de la rama descendente. Como hemos indicado anteriormente, tomamos el valor de la HTU_{sp} sin pulsación igual a 122 cm., y para el caso de 75 ciclos/minuto, según la ecuación (12) se tiene:

$$75 = 1,3 (293 - 122) - 276 \cdot \log a$$

de donde $a = 3,42$ mm.

El límite superior de la amplitud viene dado por la ecuación (8) que, para esta frecuencia de 75 ciclos/minuto, tiene el siguiente valor:

$$75 = 574 - 588 \log a$$

de donde $a_n = 7,06$ mm.

El cuadro V, resume los límites de la amplitud para las frecuencias que se citan siguiendo el cálculo anterior, en donde a_n representa el límite superior que coincide con la amplitud óptima y a_p es el límite inferior:

CUADRO VI

f	a_n	$\log a_n$	a_p	$\log a_p$
75	7,06	0,848	3,42	0,53
100	6,39	0,805	2,75	0,44
125	5,78	0,763	2,23	0,348
150	5,25	0,725	1,81	0,257

cuyos límites, repetimos, coinciden con la rama descendente de las figuras 2, 3, 4 y 5.

Los cuadros I y V dan, para las distintas frecuencias, las HTU mínimas en función de las amplitudes correspondientes, según las ecuaciones (8) y (12). Para comprobar ambas ecuaciones, realizamos una serie de experimentos que están reflejados en la Tabla XIV, con lo que se puede admitir perfectamente la ecuación (12) ya que está en completo acuerdo con las pruebas experimentales.

4.6 Balance de materia.

Por último, para terminar este estudio, vamos a realizar un balance completo de materia que nos permita contrastar la pérdida de benceno y fenol que se va en el extracto.

Considerando que este trabajo cae dentro de la Ingeniería Química donde se admiten errores hasta del 10 por ciento, no queremos pasar por alto lo anteriormente indicado, si bien es de resaltar que las solubilidades mutuas que haremos mención no son datos seguros por su pequeñez.

A continuación indicamos una serie de datos, tomados de la Bibliografía, que comprueban la disparidad de resultados llevados a cabo por varios investigadores sobre las solubilidades mutuas del benceno y del agua.

Así, Walther y Lachmann (41) dan como solubilidad del benceno en el agua a 20°C, 0,17 por 100. Berl-Lunge (42) da: 0,082 volúmenes de benceno en 100 volúmenes de agua a 20°C, lo que representa 0,07 por ciento en peso, valor que no concuerda en absoluto con el anterior.

Por lo que respecta a la solubilidad del agua en el benceno, Hill (43) da a 25°C, 0,073 por ciento y otros autores (44) 0,05 por ciento y 0,057 por ciento a 18°C y 20° C respectivamente. Berl-Lunge (42), sin embargo, a 20°C da como solubilidad 0,211 volúmenes de agua en 1.000 volúmenes de benceno, que corresponde a 0,024 por ciento en peso.

Los cuadros siguientes dan la solubilidad mutua del benceno y agua en presencia de fenol y estando presente sulfito sódico (9 por ciento) y sulfato sódico (11 por ciento). Dichas tablas se han obtenido mediante análisis y por consideraciones teóricas.

Como las soluciones empleadas son muy diluídas respecto al contenido de fenol, la solubilidad sigue una ley lineal, a temperatura constante, por lo que hemos determinado el agua contenida en un benceno con riquezas del 1 por ciento, 3 por ciento y 5 por ciento en fenol. La representación de estos puntos es una recta, por lo que los demás valores se han determinado por cálculo. El análisis de este agua se ha llevado a cabo por retención con cloruro cálcico. Los valores se encuentran consignados en la Tabla A y han sido contrastados por el trabajo de Tagliavini y Arich (*loc. cit.*)

Los valores de la Tabla B no son tan seguros. Hemos partido del mismo principio, es decir, la solubilidad del benceno en agua es función lineal del contenido en fenol, a temperatura constante, y siendo aproximadamente la mitad de la solubilidad del agua en el benceno, hemos extrapolado a diluciones pequeñas para conseguir los valores consignados. No hemos encontrado un método eficaz y seguro de laboratorio para obtener y determinar el benceno contenido en el agua.

Tabla A. solubilidad del agua en benceno a 20°C, en presencia de fenol, sulfito sódico y sulfato sódico.

Fenol % peso	Benceno % peso	Agua % peso
0,00	99,93	0,07
0,50	99,36	0,14
1,00	98,82	0,18
1,50	98,28	0,22
2,00	97,74	0,26
2,50	97,20	0,30
3,00	96,66	0,34
3,50	96,12	0,38
4,00	95,58	0,42
4,50	95,04	0,46
5,00	94,50	0,50
5,50	93,96	0,54
6,00	93,42	0,58
6,50	92,88	0,62
7,00	92,34	0,66
7,50	91,80	0,70
8,00	91,26	0,74

Tabla B. Solubilidad del benceno en el agua a 20°C, en presencia de fenol, sulfito y sulfato sódicos.

Fenol % peso	Benceno % peso	Agua % peso
0,00	0,04	99,96
0,50	0,08	99,42
1,00	0,10	98,90
1,50	0,12	98,38
2,00	0,14	97,86
2,50	0,16	97,34
3,00	0,18	96,82
3,50	0,20	96,30
4,00	0,22	95,78
4,50	0,24	95,26
5,00	0,26	94,74

Con la ayuda de las tablas anteriores, vamos a calcular la influencia de las solubilidades mutuas en la operación número 117, tomando como base la unidad de peso:

Agua: entrada:

$$104,2 \text{ dm.}^3/\text{h}/\text{dm.}^2 \cdot 1,085 \text{ Kg}/\text{dm.}^3 = 104,2 \text{ dm.}^3/\text{h}/\text{dm.}^2 \cdot 21,82 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}/\text{dm.}^2 = 111,9 \text{ Kg}/\text{dm.}^2/\text{h.}$$

salida:

$$104,2 \cdot 1,090 \cdot 0,995_6 + 36,80 \cdot 0,890 \cdot 0,00_5 = 113,1$$

Benceno: entrada:

$$36,80 \cdot 0,878 = 32,3_0.$$

salida:

$$36,80 \cdot 0,890 \cdot 0,943_6 + 104,2 \cdot 1,090 \cdot 0,000_8 = 31,0_4.$$

Para la operación número 84, resulta asimismo lo siguiente:

Agua: entrada

$$107,0 \cdot 1,087 = 107,0 \cdot 24,8 \cdot 10^{-3} = 113,7.$$

salida:

$$107,0 \cdot 1,085 \cdot 0,991_5 + 37,10 \cdot 0,889 \cdot 0,00_6 = 115,3.$$

Benceno: entrada:

$$37,10 \cdot 0,878 = 32,5_0.$$

salida:

$$37,10 \cdot 0,889 \cdot 0,955_6 + 107,0 \cdot 1,085 \cdot 0,000_9 = 31,6.$$

Por último queremos hacer notar que este trabajo ha tenido aplicación inmediata en una instalación de síntesis de fenol por sulfonación habiendo pasado por una planta piloto con capacidad para tratar 20 Tm. de aguas/mes, y siendo finalmente proyectada una instalación capaz para tratar 500 Tm/mes, que actualmente funciona y recupera 6 Tm. mensuales de fenol 99-100 por ciento. El proyecto de ambas plantas ha tenido como base fundamental la superficie de contacto y el tiempo de permanencia de las dos fases dentro de la columna pulsante, es decir, nos hemos basado prácticamente en el número de Reynolds (Re), ya que el número de Froude (Fr) y el de Newton (Ne) eran despreciables.

Adjuntamos un esquema de la planta que recupera 6 Tm. de fenol/mes de concentración 99-10 por ciento, queriendo hacer notar que la pérdida total de benceno asciende al 0,5 por ciento sobre las aguas

tratadas, correspondiendo el 0,1 por ciento al efecto de la solubilidad de éste en el refinado y el 0,4 por ciento a pérdidas por evaporación. Estos valores representan una pérdida total de 0,4 Kg. por Kg. de fenol recuperado, siendo aproximadamente 0,08 Kg. por Kg. de fenol por efecto de la solubilidad y 0,32 Kg./kg. de fenol recuperado por pérdidas de evaporación. El aparato 66 y 67 (figura 18) son colector y refrigerante de salmuera para paliar la citada evaporación, habiéndose reducido la pérdida por evaporación a la tercera parte.

5. Conclusiones.

Resumiendo en este apartado todo lo que hemos venido diciendo a lo largo de este trabajo, tanto original como de comprobación de otros autores, se tiene:

1.^a La eficacia en la extracción líquido-líquido, en una columna a contracorriente depende:

- a) de la relación de caudales de ambas fases.
- b) de la velocidad de flujo.
- c) de la agitación.

2.^a En el caso del sistema benceno-fenol-agua, la extracción es mayor si la fase continua es benceno, cuando se trata de una columna pulsante.

3.^a Para el mismo sistema no tiene influencia el cambio de fase, si se trata de una columna no pulsante.

4.^a Para el citado sistema y columnas pulsantes, existe una ley que se cumple en el intervalo de frecuencia de 50-200 ciclos/minuto, estando regida dicha ley por la ecuación (12):

$$f = 1,30 (293 - HTU) - 276 \cdot \log a$$

5.^a Para el sistema que nos ocupa y columnas pulsantes, la frecuencia y la amplitud óptima (correspondiente a una HTU mínima) están relacionadas por la ecuación (7):

$$f = 574 - 588 \log a_n$$

6.^a La máxima extracción para el sistema que nos ocupa, corresponde a la frecuencia de 150 ciclos/minuto, cuando la amplitud es de 5,25 mm.

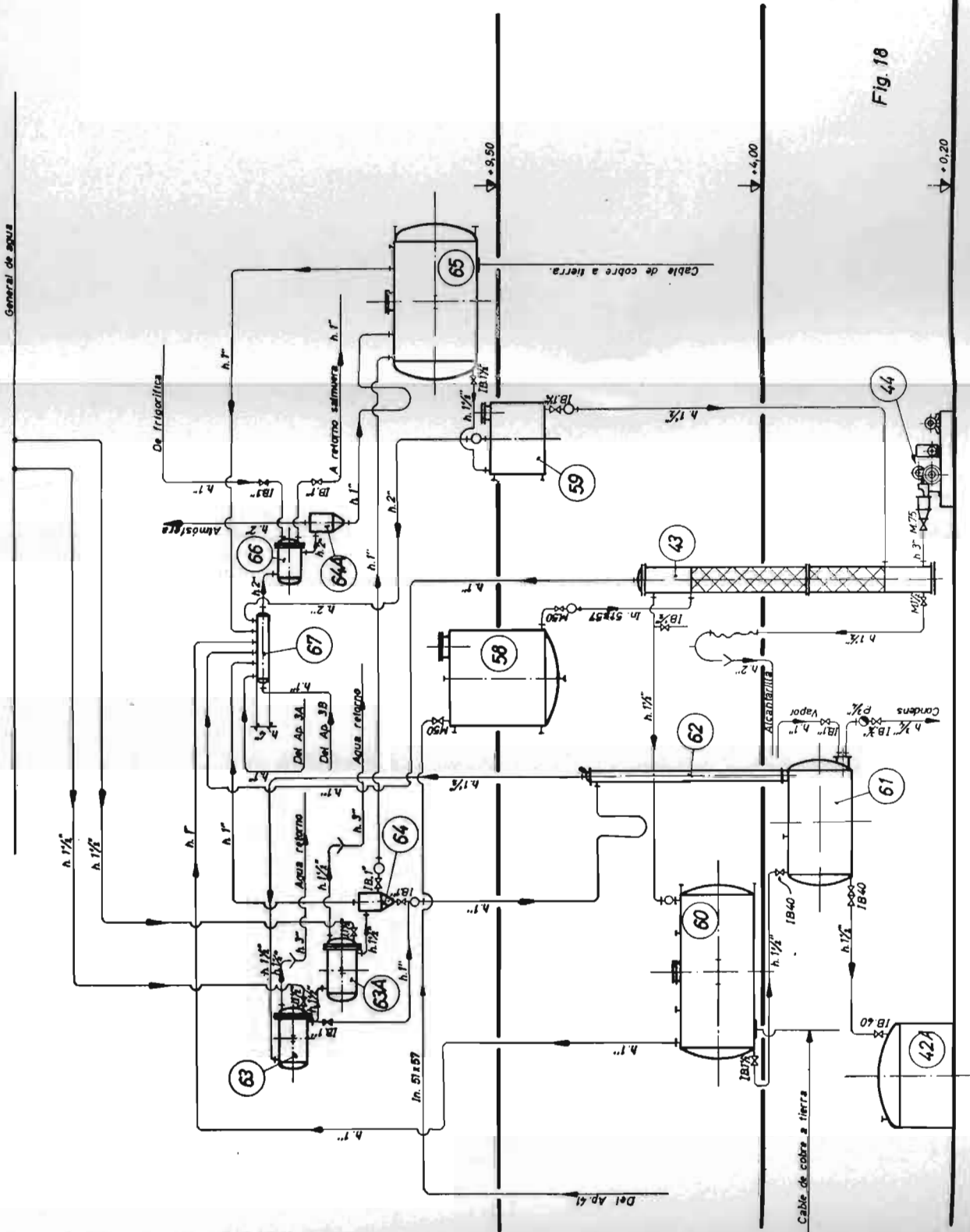


Fig. 18

7.ª Para el citado sistema el rendimiento de extracción o eficacia es función lineal de la frecuencia y exponencial de la amplitud, en el intervalo considerado.

8.ª La influencia de la variación del caudal del disolvente sobre la eficacia de extracción, es elevada en una columna no pulsante y pequeña en una columna pulsante.

9.ª Respecto a la relación de gastos podemos confirmar:

a) Columna no pulsante:

A mayor relación de gastos, menor eficacia.

A igualdad relación de gastos, si el caudal del disolvente aumenta, se obtiene mayor extracción.

b) Columna pulsante:

A mayor relación de gastos, menor eficacia; pero no con tanta influencia como en una columna no pulsante.

A igualdad relación de gastos, si el caudal del disolvente aumenta, se obtiene mayor eficacia de extracción.

La variación de la relación de gastos, influye menos que en una columna no pulsante, siendo esta influencia menor para mayores frecuencias.

Las conclusiones primera, octava y novena comprueban la experimentación de otros autores, para diferentes sistemas del aquí tratado y las restantes conclusiones son originales.

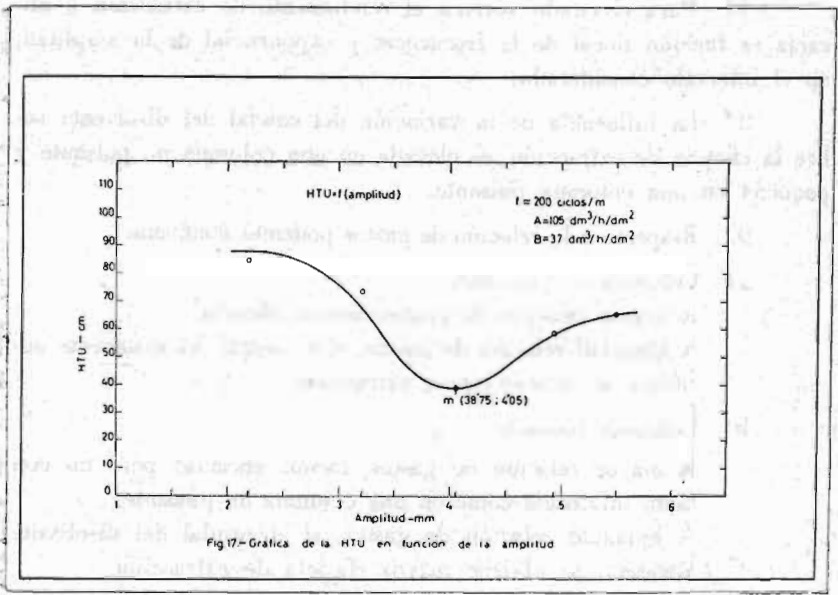


Fig.17.-Gráfica de la HTU en función de la amplitud

6. Nomenclatura.

a	= Amplitud (distancia entre las posiciones extremas de cada embolada o impulso "dentro" del relleno) en mm.
a_n	= Amplitud para una HTU mínima, dada una frecuencia en mm.
a_{sp}	= Amplitud para cuando $HTU = HTU_{sp}$ en la ecuación(12).
C	= Concentración en fenol, gr/l.
C*	= Concentración en equilibrio, gr/.
	= Media logarítmica de concentración, gr/l.
CA	= Concentración en gr/l. de fenol de la fase acuosa.
CA ₁	= Concentración en gr/l. de fenol de la alimentación.
CA* ₁	= Concentración en gr/l. de fenol de la alimentación, en equilibrio.
CA ₂	= Concentración en gr/l. de fenol del refinado.
CA* ₂	= Concentración en gr/l. de fenol del refinado, en equilibrio.
CB	= Concentración en gr/l. de fenol del disolvente.
ΔC_{lm}	= Concentración en gr/l. de fenol en la fase bencénica.
CB ₁	= Concentración en gr/l de fenol del disolvente.
CB* ₁	= Concentración en gr/l. de fenol del disolvente, en equilibrio.
CB ₂	= Concentración en gr/l. de fenol del extracto.
CB* ₂	= Concentración en gr/l. de fenol del extracto, en equilibrio.
f	= Frecuencia de pulsación, en ciclos/minuto.
GA	= Caudal de la fase acuosa, en $dm.^3/h/dm.^2$
GB	= Caudal de la fase bencénica, en $dm.^3/h/dm.^2$
HTU	= Altura de una unidad de transmisión, en cm.
HTU _{min}	= Altura de una unidad de transmisión mínima, en cm.
HTU _{sp}	= Altura de una unidad de transmisión en una columna pulsante o "convencional".
HTU _{TA}	= HTU total referida al agua.
HTU _{TB}	= HTU total referida al benceno.
L	= Altura de relleno de la columna, en cm.
p, q, r, s	= Constantes.
α, β	= Constantes.
1 (subíndice)	= Condiciones de entrada.
2 (subíndice)	= Condiciones de salida.

RESUMÉ

L'auteur utilise les colonnes pulsées pour l'extraction de phénol en solutions aqueuses, en usant del benzène comme un solvant selectif et rapporte l'efficacité d'extraction avec les variables qui interviennent dan cette operation unitaire en obtenant pour le systeme cité de très bonnes conditions. Finalment il cite l'aplication de cet étude à une instalation manufacturière après avoir expérimenté en une plante pilote.

SUMMARY

The author uses pulsed columns for the extraction of water solutions of phenol using benzene as a selective disolvent and compares the extraction efficiency with the variables that take place in this unit operation, obtaining for the quoted system the best of conditions. Lastly he quotes the application of this study to a factory installation after experimenting in a pilot plant.

KURZREFERAT

Der Erfinder gebraucht die Pulsierkolonnen zum Extraction des Phenol in wässrig Lösung; dabei benützt er Benzol als ausgesuchtes Lösemittel und benieht die Wirksamkeit der Extraction dem Veränderlichen die teilnehmen dass bei dieser einheitlichen Operation mit dem angeführten System die beste Beschffenheit erreicht wird. Endlig gibt der Erfinder die Verwendung dieser Arbeit an einer fabrikmässigen Einrichtung an nach dem Experiment an einer Pilot-Anlage.

MÉTODOS RÁPIDOS DE ANÁLISIS DE SILICATOS

Conferencia dada el día 24 de abril de 1962 en la
IV Semana de Estudios Cerámicos, en Madrid

POR

D. JOSE M. PERTIERRA

Se estudia la evolución de los métodos de análisis químicos de rocas, silicatos y productos cerámicos, señalando las tres bases de la misma: a) Rapidez; b) Nuevos reactivos orgánicos; y c) La aplicación trascendental de los métodos físico-químicos, que elevan la precisión y sensibilidad.

En tiempos de Berzelius (1824) se disgregaban los silicatos mediante FH en SO_4H_2 y su análisis basado en la fusión alcalina apenas ha evolucionado. La técnica de Lawrence-Smith (1871), de ataque con CO_3Ca y ClNH_4 , no modificó grandemente la marcha analítica de silicatos, que ofrece en nuestros días, el mismo esquema que hace cien años. Esto permite designar los métodos analíticos con el justo título de clásicos y diferenciarlos de las técnicas modernas de análisis de silicatos.

La técnica clásica, ataca el silicato con la mezcla CO_3Na_2 — CO_3K_2 en crisol de platino. Disolución en ClH diluído y doble

o triple insolubilización de SiO_2 por evaporación a sequedad. Operación lenta y delicada por el peligro de salpicaduras, evitadas con la calefacción del contenido de la cápsula, mediante calefacción de arriba hacia abajo, con lámpara de cuarzo, rayos infrarrojos. Comprobación de la SiO_2 , mediante su volatilización con FH. En el líquido filtrado se precipitan con amoníaco, los hidróxidos de Al, Fe y Ti, que pueden ir acompañados de P_2O_5 , V_2O_5 , MnO_2 , etc. Hidróxidos que deben purificarse y reprecipitarse, para servir a la determinación de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 . El Fe, se halla por gravimetría o colorimetría. El líquido de filtración de los hidróxidos, sirve a la determinación de CaO, en forma de oxalato, y de MgO, por calcinación del fosfato amónico magnésico. Esta introducción de los iones alcalinos, obliga a una nueva disgregación, para efectuar la determinación de los alcalinos, que se determinan como perclorato o cloroplatinato potásico y por el acetato complejo de uranilo y sodio.

Esta técnica clásica conserva aún, a pesar de su lentitud y ciertos inconvenientes, gran crédito y consideración, porque su conjunto es sencillo, con pocas limitaciones de su aplicación, precisa un material rudimentario y está al alcance de muchos ayudantes de analista.

Sus dos mayores inconvenientes: lentitud y los errores sistemáticos, causados al utilizar el líquido filtrado de la separación de un precipitado, para la determinación de otros elementos. El poder absorbente de los hidratos de ácidos silíceos y de alúmina, es causa de inseguridad.

TECNICAS MODERNAS ANALITICAS PARA SILICATOS

Entre los métodos para análisis de silicatos, dados en la literatura, que significan una evolución y progreso, se menciona por orden cronológico: COBEA, Comité Belga para el Estudio de Arcillas, (1943-1948); Hedin R. del Instituto Sueco del Cemento, (1947); Salmang H. (1952); Mayaux P. N. del Instituto Nacional del Vidrio, de Charleroi (1953); Flaschka H. en Suiza, colaborador del Prof. Schwarzenbach, padre de las complejas (1955); Konopicky K. director del Instituto de Investigacio-

nes sobre Productos Refractarios de Bonno, (1955); Shapiro y Brannock W. del Geological Survey de Estados Unidos N. A. (1956); Sajo I. en Hungría (1955); Moran A. M. y Kiehl M. que perfeccionan la espectrografía cuantitativa de silicatos apoyándose en los trabajos de Ricard de la Universidad de Lyon. (1955); Bennet H., Hawley W. G. y Eardley R. P. de la British Ceramic Research Association, (1958); Archer K., Flint D. y Jordan J. de la British Coal Utilization Research Association (1958); Radmacher W. y Schnitz, del Brennstoffchemischen Institut der Ruhrkohlen-Beratung G. m. b. H de Essen (1957), así como otras numerosas publicaciones, en las que se hace por vez primera aplicación de reactivos orgánicos y métodos espectrofotométricos.

El método de COBEA, significó un progreso en relación a la técnica clásica. Exige dos muestras disgregadas, una por $\text{FH-SO}_4\text{H}_2$ y otra por CO_3Na_2 CO_3K_2 . El tiempo de análisis, 18 horas. El ataque por FH sirve para las determinaciones de Na, K, Ca, Mg, Fe, Al y Ti.

El método de Hedin, acorta el tiempo de análisis a 9 horas. Exige tres disgregaciones: una por $\text{FH-SO}_4\text{H}_2$ para Na_2O y K_2O ; otra para SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y TiO_2 ; y otra para MgO y CaO .

La determinación del Na_2O , se hace por precipitación con acetato de cinc y uranilo, disolución y medida de la intensidad del color con una longitud de onda de 436 $\text{m}\mu$. La determinación de K_2O , se efectúa por precipitación de cloroplatinato potásico, que disuelto en ClH y mezclado con IK , se mide la intensidad de coloración con longitud de onda de 546 $\text{m}\mu$.

Otras determinaciones colorimétricas: SiO_2 por el molibdato amónico al 20 por ciento formando el complejo amarillo; Fe_2O_3 por el sulfocianuro potásico al 20 por ciento; TiO_2 , por el Perhidrol; Al_2O_3 , por el Aluminon o sal amónica del ácido aurintricarboxílico, Violeta de cromo GG. o también mediante el Ferrón (ácido 8-hidroxi-7-iodo-5-quinolein-sulfónico); MgO , por el amarillo de titanio, amarillo de tiazol o amarillo de Clayton, $\text{C}_{28}\text{H}_{19}\text{O}_6\text{N}_3\text{S}_4\text{Na}_2$, que forma un complejo rojo con los iones magnesio. El CaO , por precipitación y gravimetría del oxalato o valoración con MnO_4K .

Salmang, para resolver las dificultades de los análisis de silicatos, introdujo las determinaciones directas de cada elemento. Reemplaza la disgregación con carbonatos alcalinos por el ataque con NaOH; la disgregación ácida, la efectúa con $\text{FH}\cdot\text{ClO}_4\text{H}\cdot\text{NO}_3\text{H}$; la mutua adsorción de hidratos de Si y al, la vence realizando la determinación directa de la Al_2O_3 , con oxiquinoleina, en unión del Fe y Ti, que se hallan luego por separado, por métodos colorimétricos. La oxina se valora por bromotometría. El MgO, lo determina gravimetricamente con oxiquinoleina; el Na con el acetato de uranilo y el K por el cobaltonitrato.

El método rápido de análisis de silicatos de Shapiro y Brannock, basado en la espectrofotometría, la volumetría y la fotometría de llama, es la representación típica del análisis moderno, que utiliza medios de trabajo de coste nada despreciable. Dos disgregaciones: una con NaOH en crisol de Ni, sirva para la determinación de SiO_2 y Al_2O_3 ; otra con $\text{FH}\cdot\text{SO}_4\text{H}_2$ en cápsula de Pt con tapa, sirve para hallar: Mn, Fe, Ti, P, Ca, Mg, Na y K.

La determinación de SiO_2 , en forma del complejo amarillo sódico-molibdico de Bunting (1944) reducido a azul molibdeno y medida de la adsorción de luz a $650\text{ m}\mu$. La determinación de Al_2O_3 , mediante el complejo de aluminio, calcio y rojo de alizarina según Parker y Goddard (1950). El Fe y Ti también forman complejos con el calcio y la alizarina. El efecto del Fe es eliminado, por formación de ferricianuro ferroso y el del titanio se halla empíricamente por una corrección pequeña. El TiO_2 se determina directamente sobre una parte alicuota, con H_2O_2 , SO_4H_2 y PO_4H_3 , colorimetricamente o por espectrofotometría a la longitud de onda $430\text{ m}\mu$ de la solución conteniendo el complejo amarillo formado por el Ti y el Tiron (1,2-dihidroxibenceno-3,5-disulfonato sodico de Yoe y Armstrong, 1947). El Fe total, se halla midiendo la adsorción a $560\text{ m}\mu$ de la solución conteniendo el complejo anaranjado ortofenantrolin ferroso. La determinación del CaO y MgO, se efectúa por volumetría con complejonas III, Versene o versenato según la terminología americana o sal disódica del ácido etilenodiaminotetraacético, usando murexida (purpurato amónico) como indicador para el Ca (com-

plejando el Fe y Al con tartrato sódico potásico, para que no interfieran) y empleando Eriochrome Black T, como indicador para el Mg, después de una separación rápida de R_2O_3 y precipitación del calcio como wolframato. El contenido de fósforo, se halla midiendo la luz transmitida a $430 m_{\mu}$, por una solución conteniendo el complejo amarillo ácido molibdicovanadiofosfórico de Kitson y Mellon (1944). El Mn se halla midiendo la luz transmitida a $525 m_{\mu}$ por una solución donde el Mn fue oxidado a MnO_4K por el IO_4K , según Willard y Greathouse (1917). Los alcalinos Na y K se determinan con el fotometro de llama, utilizando el litio como standard interno.

El método de Sajo para rocas, silicatos, minerales, escorias y materiales refractarios, está basado en la determinación volumétrica directa de los principales elementos; y cuando se hallan en cantidad inferior a uno por ciento, aplica la fotometría y colorimetría.

Para la SiO_2 utiliza un método original: el ácido silícico en presencia de iones potasio y fluor, da un precipitado de hexafluoruro silico potásico K_2SiF_6 , que separado y puro, hidroliza dando 4 FH, que valora con sol. de CO_3Na_2 de factor conocido. La Al_2O_3 se determina con la complexona III. El reactivo que no haya reaccionado con el ion Al, se complejiza ahora con una sol. de SO_4Zn en presencia de ferro-ferricianuro de bencidina, como indicador. El Al se elimina del complejo mediante la adición de $FlNa$ y la cantidad de complexona III combinada al Al y puesta en libertad, se valora con una solución conocida de SO_4Zn , en presencia del mismo indicador. Este análisis indirecto por el versenato III, permite dosar el Al, en presencia de Ca, Ba, Fe, Mn, Cu, Co, V, Ti, SiO_2 , PO_4^{3-} , NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- . Los alcalis se hallan por fotometría de llama, colorimetría o por el tetrafenilboruro, $(C_6H_5)_4B Na$, que forma con el K un compuesto insoluble.

Se recoge a continuación la aplicación de los nuevos métodos de análisis de silicatos, al estudio de las cenizas de carbones, por Radmacher y otros. Se disgrega con $CO_3Na_2-CO_3K_2-B_4O_7Na_2-NO_3K$ agitando con hilo de platino. La determinación espectrofotométrica de SiO_2 la realiza por el método del ácido silico-molibdico amarillo, que reduce con el ácido 1-amino-2-naf-

tol-4-sulfónico a ácido silicomolibdico azul, midiendo el coeficiente de extinción con luz de $720 \text{ m}\mu$. Para la determinación de Al_2O_3 aplica la reacción con la eriochromocianina, que permite la fotocolorimetría, aún en presencia de los iones silicato. La separación previa de SiO_2 , que consume tiempo y es delicada puede ser excluida. Tampoco perturban los iones Fe^{3+} , al no reaccionar con la eriochromocianina, en virtud de la presencia del ácido tioglicólico de Al. La determinación del Fe en presencia de Al puede lograrse con los reactivos: 2,2'-dipiridilo o el 1,10-fenantrolina, que con Fe^{2+} dan colores estables, que siguen la ley de Beer. El Fe^{3+} se reduce a Fe^{2+} , completamente con el clorhidrato de hidroxilamina, a la temperatura ordinaria en 20 minutos. Para el Ti utiliza el ácido cromotrópico, que da un complejo amarillo intenso. El Fe perturba, pero mediante el hipodisulfito sódico, se descompone el complejo de cromotrópico de hierro. El Al y Ca, forman con el ácido cromotrópico complejos incoloros; es preciso por esto trabajar con exceso de reactivo. La determinación del fósforo colorimétricamente por el método del ácido fosfomolibdico, es perturbada por la presencia de iones Fe^{3+} , As^5 y V^5 . Pero reducidos mediante el piro-sulfito sódico a grados inferiores de valencia, no perturban.

El esquema de trabajo analítico según Archer y otros, es similar al dado por Shapiro. Dos disgregaciones: una con NaOH en crisol Ni y otra con $\text{FH-SO}_4\text{H}_2$ en crisol de Pt. Determinan la SiO_2 por el molibdato amónico amarillo que reduce al complejo azul con ácido tartárico y el ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico y mide la densidad óptica con la longitud de onda $650 \text{ m}\mu$.

Para la determinación de Al_2O_3 aplica la alizarina rojo-S (alizarin-3-sulfonato sódico) sugerido por Atack (1915) que forma una laca de Al en solución amoniacal estabilizada por la glicerina y acidulada con ácido acético, antes de medir la intensidad del color con longitud de onda $475 \text{ m}\mu$. El Fe es hallado midiendo la densidad óptica, de una solución conteniendo el complejo violeta de Fe^{3+} con el Tiron (1,2-dihidroxibenceno-3,5-disulfonato disódico) según Yoe y Jones (1944). Este reactivo también es utilizado en la determinación del Ti, formando un

complejo amarillo limón de alta sensibilidad. La interferencia del Fe^{3+} se elimina mediante su reducción con ditionito sódico en solución reguladora a p_H 4,7. La determinación del Fe y Ti, se efectúa simultáneamente. Se mide la densidad óptica a $560 \text{ m}\mu$ para hallar el Fe. Luego se reduce con ditionito sódico y se mide la densidad óptica con longitud de onda de $430 \text{ m}\mu$.

El Mn se determina mediante la medida de la densidad óptica de una solución, con este metal oxidado a MnO_4^- por el periodato potásico. Longitud de onda usada $525 \text{ m}\mu$.

El fósforo se halla colorimetricamente mediante la medida de la densidad óptica a $430 \text{ m}\mu$ de la solución del complejo amarillo de fosfovanadiomolibdato amónico, según Kitson y Mellon (1944).

La determinación de Ca y Mg, se logra por volumetría con el ácido etilendiamino tetracético, que iniciado por Schwarzenbach (1946) se ha desarrollado mucho, figurando más de cien referencias en la Monografía de Hopkins y Williams. "Organic Reagent for Metals". Bank (1952) aplicó dicho reactivo en el análisis de silicatos, separando primeramente Fe, Al y Ti con amoníaco y valorando $\text{Ca} + \text{Mg}$, con el EDTA, utilizando negro de eriocromo como indicador. Archer, no precipita antes con el amoníaco el Fe, Al y Ti, sino que los compleja con trietanolamina y utiliza un indicador "tamiz" para las volumetrías. El indicador mezcla, para el calcio, está formado por murexida y naftol verde B. La o-cresoltaleína complexona "tamizada" con el rojo de metilo y un colorante verde, paraamina verde BN, sirve para la valoración del Mg con el EDTA.

La fotometría de llama, sirve para hallar el Na y K.

El producto de la disgregación con NaOH, se aplica a la determinación de SiO_2 y Al_2O_3 . El producto de la disgregación $\text{FH-SO}_4\text{H}_2$ sirve para obtener los restantes elementos arriba mencionados. Para la determinación del vanadio en las cenizas de los carbones o minerales, se requiere una disgregación de un gramo de muestra en crisol de Pt con CO_3Na_2 . El botón fundido se disuelve frío en agua. Se neutraliza la disolución con SO_4H_2 4N con anaranjado de metilo indicador. Poner un poco de solución de 8-hidroxiquinoleína y extraer con cloroformo la oxima de vanadio.

Con carbonato sódico se convierte la solución clorofórmica en crisol de Pt, en vanadato sódico. Con ácido fosfórico y wolframato sódico y ácido sulfúrico se forma un color amarillo cuya intensidad se mide a 436 m μ . en el espectrofotómetro.

En 1961, Staufenger ha publicado un método rápido de análisis de silicatos, donde figura la disgregación con carbonatos sódico y potásico y bórax. En veinte minutos, la disgregación está lograda. Disuelto el botón con ClH concentrado, se lava con poco agua para que la concentración del ClH no sea inferior al 25 por ciento, que es necesaria para la precipitación de SiO₂ con una solución de gelatina al dos por ciento. La solución problema se debe calentar a 70°C al agregar la gelatina. Después de treinta minutos de reposo se tiene una precipitación cuantitativa. Se filtra por papel y se calcina en crisol de Pt, primero corta llama y al final a 1.000°C. Se verifica el tanto por ciento de SiO₂ mediante su volatilización con FH.

Este sencillo método requiere de tres a cuatro horas.

En el líquido de filtración de SiO₂, hervido se precipitan los hidróxidos con amoníaco en presencia de rojo de metilo. El precipitado lavado se redissuelve en ClH y se precipitan de nuevo. Los líquidos filtrados reunidos sirven para la determinación del Ca y Mg. El precipitado de hidróxidos de Fe, Al y Ti se disuelve y sirve para valorar el Fe coloriméricamente con el ácido sulfosalicílico, según Wallraf (1956). El Ti y Mn, no perturban la determinación hasta concentraciones de 0,2 por ciento. La intensidad de color se mide a la longitud de onda de 520 m μ .

El Ti se halla coloriméricamente, preparando en medio sulfúrico, mediante el agua oxigenada el anión complejo amarillo TiO₂(SO₄)₂. Se aplica un fotómetro Lange, con luz de filtro de 520 m μ . Tanto para el Fe como con el Ti, deben prepararse curvas de calibrado.

La determinación de la alúmina mediante volumetría con la complexonas exige la selección cuidadosa del indicador entre los numerosos ya propuestos: Chromazurol - S (Theis 1955), ferro-ferricianuro potásico (Sajo, 1955), ferricianuro con nafidina (Flascka, 1955). Debe trabajarse en una zona de p_H entre 5 y 6, lo que obliga al empleo de soluciones reguladoras a base de acetato sódico. Sin que hayan sido aún aclaradas las causas,

esta sal origina perturbaciones. Houda (1957) utilizando anaranjado de xileno, logra la complexometría del aluminio, sin trastornos y emplea como indicador, el hexametilenotetramina como regulador del p_H . Staufenberg, lo modifica. Del volumen 250 c. c. de la redisolución de los R_2O_3 , toma 50 c. c. Añade gotas de solución al 0,1 por ciento de Tropeolin-60. A la sol, fuertemente clorhídrica añade amoníaco hasta alcanzar el p_{H2} , observando por el cambio de color de rojo a rosa. Añade un exceso medido de la sol. 0,01 N de complexona (Titriplex de Merck), 10-15 cc. de la sol. al diez por ciento de hexametilenotetramina, para alcanzar el p_{H8} (indicador especial B Lyphan para p_H 3,9-5,4) se hierve dos minutos y se enfría. Si la sustancia analizada contiene 20 a 30 por ciento de Al_2O_3 , se emplean unos 0,4 gr. de muestra y se necesitan 25-30 c. c. de sol. 0,01 N de complexona. Deberá hallarse la complexona en pequeño exceso, ya que la reacción con los iones Al es lenta.

A la sol. fría, se añaden 1-3 gotas de sol. 0,5 por ciento del indicador anaranjado de xilenol. (Th. Schuchard, Munich). Con una sol. 0,01 N de nitrato de plomo se valora el exceso de complexona, hasta lograr el cambio de color de amarillo a rojo débil. Mediante esta valoración se halla la suma de $Al_2O_3 + Fe_2O_3$. El valor de Fe_2O_3 se halla coloriméricamente y expresado en porcentaje, se multiplica por 0,6386 y el producto se resta del valor de alumina, calculado para la suma alumina y óxido de hierro antes hallado y dado en porcentaje. Una comparación de los métodos gravimétrico y complexométrico para la determinación de Al_2O_3 , señala que los valores para el segundo son algo inferiores al primero, pero que los valores son más reproducibles por complexometría, que por gravimetría. Cuando la muestra contiene menos de 3 por ciento de TiO_2 y de 0,7 por ciento de MnO_2 , la determinación de Al_2O_3 por el método dado transcurre sin perturbaciones.

La determinación del calcio y magnesio, se efectúa con el filtrado de la separación de los sequióxidos, llevados a un aforado de 500 c. c. y del que se toman 100 c. c. Se llevan al p_H 13 con NaOH al 13 por ciento. Se añaden unas gotas de una sol. de ácido calconcarboxílico Merck. La cal se valora con una solución de complexona 0,01 N, hasta cambio de color de rojo a azul. Un

centímetro cúbico de complexona 0,01 N = 0,5608 mg. de CaO. Según Lott y Cheng (1957), se puede efectuar luego la valoración de MgO, en la misma solución utilizada para el CaO. Se agrega la cantidad necesaria de sol. reguladora (60 gr. ClNH_4 en 200 c. c. agua + 570 c. c. de NH_3 sol. conc. diluido a 1 lt.) Calentar a 60°C para disolver el $\text{Mg}(\text{OH})_2$, juntar a un centímetro cúbico de sol. reguladora y una gota de sol. de negro riorcromo -T, en caliente y valorar con solución de complexona, hasta el cambio de color.

ENSAYOS ACERCA DE LA DETERMINACION VOLUMETRICA DE LA ALUMINA

La más reciente publicación acerca de la determinación de la alumina, según un método volumétrico, ha sido dada por Voinovitoj I.A. y Lefranc-Kouba A., Chim. Anal. 42, 543, (1960) que parece tener interés para el trabajo de rutina en el control analítico. Aplica la valoración con el EDTA, ácido diaminoetileno tetraacético, según la técnica desarrollada por Vanninen y Ringbom (Anal. Chim. Acta, 12, 308, 1955), en el que la alumina es complejada con un exceso de EDTA y este exceso es valorado con cinc, utilizando ditizona como indicador. Al aplicar esta técnica a los productos sílicoaluminosos, Voinovitoj prefiere efectuar una precipitación con cupferrón, a la técnica de extracción con un disolvente, dada en los "British Standard", revisados del año 1961, para la separación del hierro y titanio.

Los primeros ensayos se han efectuado con disoluciones conteniendo cantidades conocidas y exactas de alumina. La finalidad de estos ensayos, era conocer el poder de recuperación de la valoración con el EDTA. Los resultados experimentales se dan en la siguiente Tabla:

Tabla I

Al_2O_3 agregada, mg	Al_2O_3 recuperada, mg	
25	24,99	25,02
40	40,06	40,04
50	49,98	49,95
80	80,02	80,07

Estos resultados pueden considerarse como satisfactorios, ya que el máximo error es equivalente a 0,035 por ciento.

Se pasó luego a ensayar el método volumétrico, sobre productos cerámicos y minerales, para ensayar el método de extracción de cationes complejados mediante disolventes orgánicos, tema sobre el cual se está investigando en el Laboratorio de Química Orgánica de nuestra Facultad.

El método de trabajo, consistió en la disgregación de un gramo de muestra por fusión alcalina y la disolución en ClH , seguida la deshidratación de la sílice, que se separa por filtración. Después del tratamiento con $\text{FH-SO}_4\text{H}_2$, el residuo era fundido con piro sulfato sódico y disuelto para ser incorporado al filtrado principal. Enrasado a 500 c. c., se toma un volumen que contenga una parte equivalente a 0,2 gr. de la muestra para realizar la separación del Fe y Ti por extracción con cupferrón y cloroformo. Se añaden 20 c. c. de ClH (p. esp. 1,18) y luego 20 c. c. de cloroformo y 10 c. c. de una solución de cupferrón al 6 por ciento. Se tapa el embudo de bromo o de extracción y se agita fuerte. Permitir de cuando en cuando disminuir la presión, separando cuidadosamente el tapón y lavar el mismo y cuello con agua. Dejar separar las dos capas y extraer la capa de cloroformo. Confirmar que la extracción ha sido completa, mediante la adición de unas gotas de cupferrón a la solución acuosa, que no deberá originar un precipitado coloreado permanente. Agregar varias porciones de 10 c. c. de cloroformo, en repetidas extracciones de la capa acuosa, hasta que la coloración del cloroformo sea imperceptible. Verter la capa acuosa en un erlenmeyer de 500 c. c. Agregar dos gotas de anaranjado de metilo y amoníaco (p. esp. 0,88) hasta inicial alcalinidad. Reacidular rápidamente con ClH (p. esp. 1,18) y añadir cinco gotas en exceso. Poner cantidad suficiente de solución valorada de EDTA 5,05N, preparada disolviendo 18,6125 gr. de la sal disódica dihidratada en 1 lt. de agua; esta solución es valorada contra una solución de Zn 0,05 N preparada disolviendo 3,2690 gr. de Zn metálico purísimo en 10 c. c. de ClH concentrado; diluir a 1 lt.; la capa de óxido sobre el cinc deberá ser lavada antes con un ácido y el metal desecado antes de la pesada de precisión. 1 cc. de esta solución de Zn equivale a 2,55 mg.

de Al_2O_3 . El exceso de esta solución de EDTA se prevé teniendo en cuenta que 1 c. c. equivale a 1,27 por ciento de Al_2O_3 . Añadir entonces la solución de acetato amónico, preparada con 120 centímetros cúbicos de ácido acético glacial, en 500 c. c. de agua y 74 c. c. de amoníaco de p. esp. 0,880, para diluirla finalmente a 1 lt. Se consigue con esta solución que el anaranjado de metilo vire a amarillo y se añaden aún 10 c. c. más de dicha solución reguladora. Hervir la solución diez minutos y enfriar rápidamente.

Mezclar con un volumen igual de alcohol de 95 por ciento y 1-2 c. c. de la solución del indicador ditizona, preparada con 0,0125 grs. de ditizona en 50 c. c. de etanol al 95 por ciento. Y valorar con la solución 0,05 N de Zn desde el color verde-amarillo hasta la aparición de rosa permanente.

Cálculos: Si V es el volumen de EDTA 0,05 N y v es el volumen de la sol. 0,05 N de Zn empleado en la valoración:

$$\text{Al}_2\text{O}_3\% = 1,275 (V - v)$$

Resultados analíticos:

Caolín de Burela (Lugo):

Método gravimétrico clásico			Volumetría EDTA		
1	2	Media	1	2	Media
33,01	33,06	33,035	33,00	32,97	32,98

El método gravimétrico da resultados más altos que el volumétrico, sin duda debido a la sílice residual. Los duplicados concuerdan bien en ambos métodos. Y la diferencia media entre los resultados, es mayor en el método gravimétrico 0,054, que en el volumétrico 0,038, según otros ensayos.

Como conclusión, se puede deducir que el método volumétrico ha sido comprobado, que posee igual exactitud que el gravimétrico y tiene la ventaja de su mayor rapidez. El método volumétrico tiene la desventaja de la interferencia del manganeso, cuando se halla en cantidades considerables.

B) SECCION DE CIENCIAS GEOLOGICAS

En el E. 68 de No. y Comar. del Inst. Geol. y Min. de Espana, se hicieron la descripciones de unas zonas empujadas como del Cambrio del Cabo de Peñas (2). Una parte corresponden a los trabajos sobre desmoronamientos de Tinas Viejas del T. 4 (3) y Malla de Lantero Plomero (4) ambos pertenecientes al Cuaternario inferior del Surco. Nuestra intencion es de dar a conocer la composicion mineralogica y otras caracteristicas de estos materiales mediante notas sucesivas permitiendo asi el conocimiento de su genesis y composicion de la fase de alimentadora.

Aunque en un modo los datos, se pueden saber ya algunas conclusiones importantes sobre las que hablaran en esta nota. Para las mismas conclusiones se dar en un otro momento.

INTERPRETACION DE ALGUNOS DATOS PETROLÓGICOS DEL CAMBRICO ASTURIANO

POR

LUIS G. GARCIA DE FIGUEROLA

INTRODUCCION

En el n.º 63 de Not. y Comun. del Inst. Geol. y Min. de España publicamos la descripción de unas rocas consideradas como del Cámbrico del Cabo de Peñas (3). En breve aparecen otros dos trabajos sobre desmuestres de Tineo-Puente del Tuña (5) y Villar de Lantero-Pilotuerto (4), ambos pertenecientes al Cámbrico inferior del Narcea. Nuestra intención es ir dando a conocer la composición mineralógica y otras características de estos sedimentos mediante notas sucesivas que permitan un mejor conocimiento de su génesis, y composición de la provincia alimentadora.

Aunque son pocos los datos, se pueden sacar ya algunas consecuencias importantes sobre las que hablaremos en esta nota. Parte de ellas son evidentes de por sí y no creo puedan

ser discutidas. Otras pertenecen a esa zona difusa de "probables" y habrá que esperar una mayor abundancia de observaciones sobre puntos similares para decir la última palabra.

Nos abstenemos aquí de describir en detalle las muestras estudiadas.

ROCAS DEL CABO DE PEÑAS

Los ejemplares estudiados se pueden agrupar en tres series de composición diferente.

a) **Rocas con aporte efusivo.**—Están constituidas por material vítreo o afanítico, en el que aparecen diseminados cristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas. Estos dos últimos pueden aparecer euhedrales, sustituidos en parte por calcita y otros carbonatos, o alterados a sericita, etc. El feldespato potásico lo consideramos como sanidina. En una de las preparaciones, las determinaciones sobre los feldespatos nos dan la proporción de Or/Plag. igual a 0,8. En otros ha sido posible determinar el índice de refracción del vidrio que es próximo a 1,53 lo que representa una cantidad de sílice igual o mayor al 55 por 100.

Estos datos proporcionan una idea química de la roca que podría incluirse entre las latitas cuarcíferas. En cambio nosotros dicen apenas nada respecto a la forma en que se originaron. Únicamente la falta de minerales fémcicos, o restos de los mismos, y la pequeñez de los cristales de los tectosilicatos nos inclinan hacia un origen piroclástico mejor que mediante una corriente de lava. Cuando menos, para parte de la formación. Como no hemos encontrado grandes zonas diferenciadas por el color, tamaño, etc., serían piroclásticas a partir de cenizas o lapillis. Es decir, un "tuff", o "Welded tuff", en el sentido de Smith (10). Baselga (9) traduce el término por el de toba volcánica, idea tomada de las obras de San Miguel de la Cámara y otros. Así pues, las rocas del Cabo de Peñas pertenecientes a la serie de aporte efusivo dominante serían tobas volcánicas, en parte vitreas y en parte cristalinas.

Como es lógico, e independiente de si son piroclásticas o de manto de lava, han sufrido procesos de desvitrificación con el nacimiento de cristales euhedrales. Problema de sobra conocido y estudiado en detalle para las ignibritas, y que depende del gradiente de la temperatura que a su vez está influido por la distancia al foco emisor, temperatura del magma, potencia de la formación, etc. Algunos de estos datos quizás pudieran averiguarse mediante un detenido estudio sobre el terreno.

La presencia de carbonatos que sustituyen a otros cristales o aparecen formando filoncillos nos obliga a admitir un proceso metasomático posterior a la deposición que debió de ser por aguas descendentes puesto que las rocas no presentan signos de metamorfismo creciente. Esto demostraría que las tobas se originaron en zonas someras correspondientes a la zona de precipitación de la calcita, o bien que fueron recubiertas más tarde por el agua a la profundidad indicada. También deducimos que la formación ha de ser poco potente o que los ejemplares fueron recogidos en la parte alta de la misma.

b) **Rocas calizas con material efusivo.**—Es una serie muy interesante que representa distintos tipos de peperinos, pocas veces descritos para las formaciones antiguas. El carbonato y la roca efusiva se mezclan en proporciones y tamaños diferentes, apareciendo el carbonato como cemento que engloba a la lava, o bien a la inversa. El primero es en parte dolomita, según el método de tinción de Tikhomirov por el violeta del metilo (11). También hay algo de siderita. En una de las preparaciones encontramos restos fósiles que suponemos de arqueocitados. La microfotografía de uno de ellos ha sido publicada (3). Queda claro que se trata de una serie sedimentaria en cuanto al carbonato y no de un origen metasomático.

Más interesante es la parte efusiva que se presenta en masas irregulares, de material opaco, mezclado con clinocloro y ceolitas, arcillas, óxidos de Fe y algo de material afanítico. Puede aparecer con estructura vitrofídica fluidal, con esferulitos rellenos de clorita o de clorita más calcita, que muy bien pueden representar una estructura relicto de tipo vacuolar. Por fin, en otros casos, aparece con tendencia porfídica de matriz

abundante que llega hasta el 82,5 por 100 en volumen, isótropa y fenocristales de diversos tamaños. Son de feldespatos claramente euhedrales aunque contengan inclusiones vítreas. Algunos de ellos los consideramos de sanidina o anortoclasa, y otros son de plagioclasas. Las medidas de extinción sobre (010) dan valores de 5 a 10 grados, lo que indica una proporción de An/Ab superior a 30. Así pues, estas plagioclasas serían más básicas que las encontradas entre las rocas piroclásticas descritas antes.

La serie se debió de originar en aguas poco profundas, donde se estaba depositando el carbonato cálcico, y simultáneamente o poco después se produjo una extrusión volcánica según el esquema clásico de la génesis de los peperinos.

El carbonato cálcico debió de sufrir una removilización posterior ya que encontramos calcita sustituyendo algunos cristales de la parte efusiva, fenómeno por demás muy frecuente. En cuanto a la presencia de dolomita o de carbonato magnésico, es un fenómeno que se sale del marco de este trabajo. Como en tantos casos puedo producirse simultáneamente al de calcio o posterior a él. De las observaciones que hemos hecho no se desprenden datos a favor o en contra, si bien al no aparecer minerales claramente metasomáticos parece menos probable que se hayan producido por este proceso.

c) **Rocas detríticas.**—Comprende tipos bastante diferentes en cuanto a tamaño que varía desde una arenisca pelítica a una pudinga. Sin entrar en datos de morfometría y granulometría sino únicamente de composición, diremos que los granos encontrados son:

1) de cuarzo, más abundante en los ejemplares de tamaños finos.

2) de cuarcita típica con los cristales bien interpemetrados entre sí, sin casi cemento, o muy poco de tipo clorítico.

3) de arenisca cuarcífera con cemento arcilloso en parte sustituido por clorita y sericita y algunos cristalitas de cirón.

4) de mirmequitas y micropegmatitas que presentan distintas asociaciones típicas del feldespato y cuarzo. El primero alterado a caolín. Hay también algo de proclorita y de

rutilo. Existen algunas agrupaciones clásicas de los llamados porfidos cuarcíferos o rocas similares. A veces contienen cristales radiales de turmalina y cubos de un mineral opaco. La ortosa puede estar sustituida por la calcita que respeta los límites del cristal antiguo.

5) de roca efusiva, de distintos tamaños, en general bien redondeados, estructura vitrofidica o vacular, con o sin microlitos de plagioclasas como único mineral autígeno del propio grano nadando en una pasta abundante en opacos. Sólo en un ejemplar se ha podido determinar el índice de refracción que resultó ser de un valor aproximado a 0,56, lo que nos da un contenido de sílice algo superior al 50 por 100. Es decir, relativamente bajo, lo que está de acuerdo con la abundancia de minerales opacos.

Dado que en uno de los ejemplares se encontraron granos detríticos de micropegmatitas y de rocas efusivas envueltos por cemento calizo y efusivo hemos de admitir que cuando menos, parte de la serie detrítica es anterior al peperino. Así como la existencia de emisiones de lava en distintos momentos de la misma sedimentación y que al mismo tiempo que se erosionaban rocas efusivas, se producían nuevas manifestaciones volcánicas.

El estudio comparativo de los granos de procedencia efusiva es altamente interesante. En toda la serie está clara la presencia de un vulcanismo próximo, pero su carácter químico no es el mismo. Consideradas en conjunto pueden establecerse tres tipos que presentan diferencias apreciables:

I. Rocas básicas anteriores al peperino

II. Rocas algo menos básicas que dieron lugar al peperino.

III. Latitas cuarcíferas que formaron la toba volcánica.

La primera se caracteriza por las plagioclasas de tipo andesina, SiO_2 , alrededor de 50 por 100, vidrio opaco, sin cuarzo libre y con muchos microlitos de plagioclasas. La segunda también con plagioclasas, sin cuarzo, con sanidina y vidrio de índice que representa un contenido en sílice algo superior al anterior. Ya hemos mencionado antes las características de la tercera. Su orden de sucesión en el tiempo está claro para la

primera y la segunda, pero queda indeterminada la tercera. Por su mayor acidez, y según la evolución normal de un foco magmático sería posterior a las otras dos. Puede representar también un episodio aislado, en cualquier momento, y por asimilación de rocas siálicas de forma local.

El tamaño de los granos en la serie detrítica, varía de 0,05 a 15 mm., y teniendo en cuenta las ideas de Dreyfuss (11), sobre la profundidad de sedimentación encontramos para el término más grueso, (la pundinga), un máximo de 20 a 30 metros. Para el resto, la profundidad es superior a los 40 pero no llega a los grandes fondos. Se trata, pues, de una serie litoral. Idea apoyada también por la presencia de los peperinos, e incluso el cemento de algunos ejemplares que contienen algo de hierro oolítico.

Por cierto que la presencia de este elemento indica la existencia de un clima cálido y húmedo para las tierras inmediatas. También el carbonato cálcico, que parece ser de precipitación química (con o sin intervención de la biosfera) sugiere una temperatura alta en el agua. Todo esto está en desacuerdo con la hipótesis de Lotze (8) sobre un clima frío en la base del Cámbrico Asturiano. Más adelante volveremos a hablar de la cuestión.

En la provincia alimentadora existirían: la roca efusiva, areniscas, cuarcitas y diques o formaciones de granófidos. Es curiosa la presencia de los granófidos junto a la efusiva y a las areniscas. De la literatura existente, principalmente inglesa, parece que es frecuente la asociación de las tres, y precisamente los granófidos pueden originarse por la interacción de las efusivas de carácter básico sobre complejos areniscosos (12). Las areniscas y las cuarcitas serían de la misma serie sedimentaria y pertenecerían a estadios más o menos recristalizados.

ROCAS DEL NARCEA

Afloramientos de Tineo-Puente del Tuña.—Después de la cartografía de Sánchez de la Torre y Prado (5), las rocas estudiadas pertenecen a un nivel estratigráfico inferior a las calizas del Rodial que vienen considerándose como del Acadiense. En el propio Rodial nosotros no hemos encontrado signos fosilíferos pero sí en el Narcea. A ambos lados del río, pues aquí las calizas constituyen un sinclinal en forma de herradura o de horquilla abierta hacia el Este y cuya rama más meridional llega hasta la altura de Bebares. Es bastante probable que en la zona de Bebares-Las Colladas falte el Cámbrico alto y que las cuarcitas armoricanas sean discordantes sobre el inferior, o bien que el discordante sea el Potsdamiense sobre el complejo del Acadiense-Georgiense. Cuando estudiemos en detalle la petrología de la zona trataremos de aclarar la cuestión. Solamente la mencionamos en relación a las tillitas de Lotze (8).

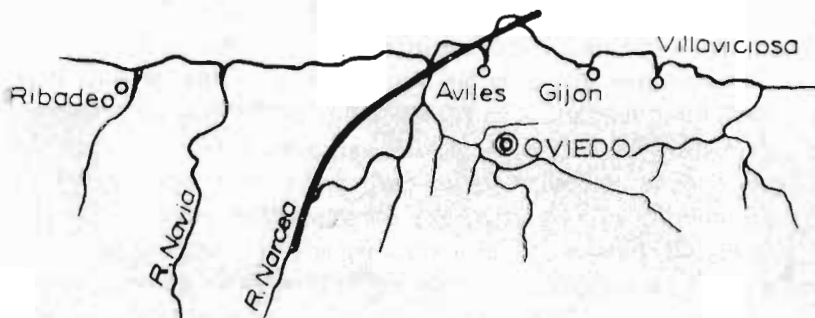


Fig. 1

Para este autor existen en la base del Cámbrico. Llopis y Martínez Alvarez (7) aseguran no haber encontrado material alguno que pueda ser comparado con una tillita. Existe en Combacio un potente conglomerado síliceo discordante sobre el Cámbrico bajo y en contacto con una serie cuarcítica. Pienso yo que quizás Lotze pueda haber considerado estas cuarcitas como del Georgiense. Pero en una excursión realizada con los alumnos encontramos un buen yacimiento de crucianas en las mismas

(fots. 1 y 2) y no nos cabe duda son del Ordoviciense. Que por cierto forma uno de los sinclinales más espectaculares que conozco, aloja más lejos del devónico y ha sido atravesado por una intrusión batolítica de poco radio.

Las rocas estudiadas en Tineo-Puente del Tuña corresponden a una serie detrítica cuyos extremos están constituidos por cuarcitas y finos conglomerados efusivos. Estas últimas han sido consideradas recientemente por Llopis y Martínez Alvarez (6) como de un vulcanismo reciente de tipo basáltico. Barrois ya las cita (1) como un conglomerado procedente de rocas de composición diabásica. Después de los estudios que hemos realizado nos inclinamos por la idea de Barrois. También es interesante consignar que hemos podido localizar, entre las cuarcitas, un verdadero manto o dique de rocas efusivas no detríticas en una zona algo alejada de ese punto, ya fuera del área estudiada y cartografiada.

Un problema interesante es la presencia de nódulos de carbonatos relativamente grandes. No pueden considerarse como detríticos por su carácter anguloso. Pueden interpretarse como una autobrecha incipiente según las ideas de Curtis (2), pero tendríamos que admitir que los fragmentos de roca básica contenían bastantes gases en oclusión lo que es propio de un depósito piroclástico y no de sedimentos detríticos. En algunos tramos aparecen estos carbonatos rellenando fisuras o formando filoncillos cortos. Por otro lado los nódulos aparecen bien cristalizados, en placas grandes, y con algún resto del cemento silíceo-efusivo dentro de ellos. Quizás se deban a procesos de sustitución. Fenómenos de sobra conocidos que pueden llegar incluso a verdaderas brechas similares a la formación de carneolas.

En los tipos más ricos en granos de cuarzo, el cemento es muy escaso, por veces peculiar o más raramente basal, sericítico o pelítico con abundancia de óxidos de Fe. Aparte del cuarzo que aparece redondeado o subredondeado y con signos evidentes de recristalización marginal, encontramos también granos de circón, turmalina, plagioclasas y feldespato potásico.

No cabe duda que algunos granos detríticos proceden de una arenisca o cuarcita más antigua. Otros de un granófono de

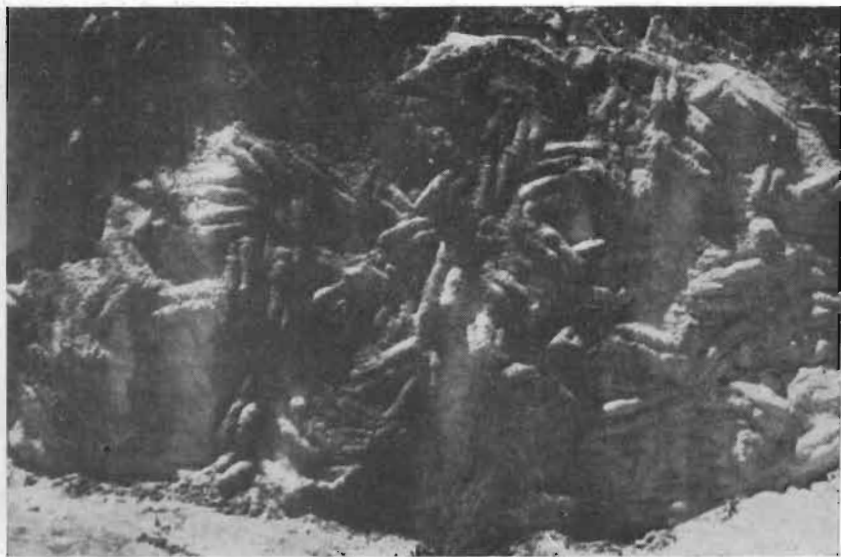


Foto 1

Pistas gigantes en la cuarcita ordoviciense del Narcea. Kilómetro 11 de la carretera de La Florida a Cornellana. (Foto Figuerola)

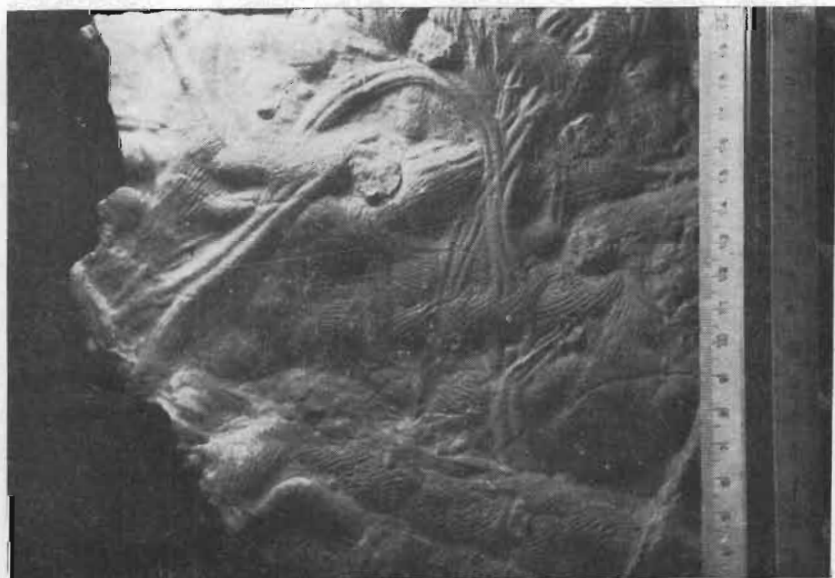


Foto 2

Crucianas del mismo yacimiento que las de la fotografía anterior (Foto Prado)

donde quizás salieron los de cuarzo que tienen extinción en abanico y los de plagioclasas y feldespato potásico. También es lógico que puedan proceder de un granito o roca similar, pero la falta de elementos melanocráticos o sus derivados no apoya mucho esta idea.

Los granos básicos se pueden estudiar en algunos ejemplares del Puente del Tuña con relativa seguridad. Unos son de estructura diabásica con plagioclasas de tamaño medio, alteradas en gran parte o sustituidas y enmascaradas por el carbonato cálcico de neoformación que origina placas sin respetar los límites de los minerales antiguos. No aparecen silicatos fémicos primitivos pero sí cantidad de proclorita sola o asociada con la calcita. Tampoco se observan cristales de feldespato potásico o de cuarzo. Por las medidas efectuadas sobre las plagioclasas nos encontramos con un valor de An de 28 por 100. Hay abundantes cristalitos opacos de hábito cúbico (fot. 3).

Otros granos de la roca básica aparecen constituidos por una pasta amorfa tachonada de puntos opacos y zonas parduzcas. A veces presentan bastantes microlitos alargados y mal terminados, maclados longitudinalmente que pueden ser de sanidina o de plagioclasas. Hay pequeñas vacuolas rellenas de calcita o pennina.

Por último aparecen otros que conservan en medio de una masa más o menos isótropa, y con menos o ningún microlito, secciones hexagonales típicas de olivino (algunas quizás puedan ser de augita) convertidas en clorita (fot. 4).

Así, pues, entre los granos básicos hay tres clases diferentes. Los que tienen abundancia de microlitos y los que presentan secciones de olivino o augita pueden corresponder al mismo tipo de quimismo aunque originados de distinta forma. Procederían de una diabasa olivínica o de un basalto. El otro tipo se diferencia claramente. Se trata de una diabasa andesítica o labradorítica. Punto al que llega también Barraís en los afloramientos de Tineo, y que además dice que el mineral fémico debió de ser una augita titanada.

Si queremos ahora relacionar estos fragmentos de efusivas con los encontrados en Cabo de Peñas, tendremos que incluir todos en el que allí llamábamos tipo I, o quizás aún más

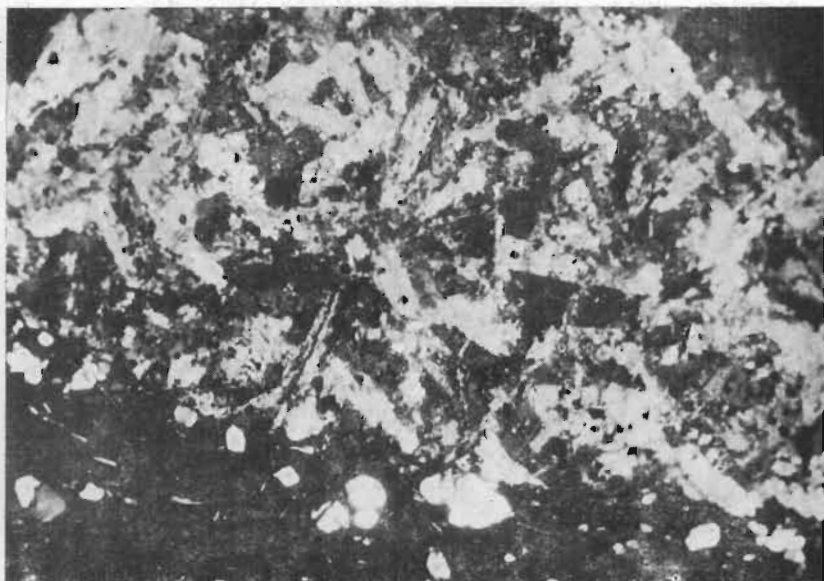


Foto 3

Detalle del contacto entre un grano diabásico y otro afanítico en las rocas del Puente del Tuña. N + , 30 D aprox. (Foto Prado)

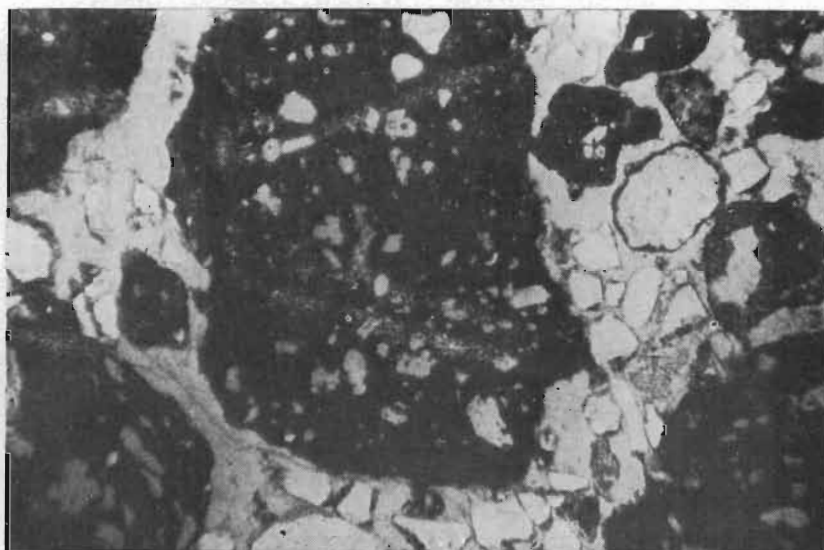


Foto 4

Granos de cuarzo y de roca básica en un cemento clorítico. En la masa opaca de la elusiva se pueden observar algunas secciones propias de olivinos o augita. Ejemplar de Tineo. Luz paralela 34 D. aprox. (Foto Prado)

básico. En consecuencia, y en el supuesto de un foco magmático único y de evolución normal, los fragmentos de Tineo-Puente del Tuña corresponderían a un nivel inferior a la serie de los peperinos y a las tobas volcánicas del Cabo de Peñas.

Afloramientos de Villar de Lantero-Pilotuerto.—Lotze (8) sitúa el contacto Precámbrico-Cámbrico del valle del Narcea en Castiello y cree se debe a una discordancia orogénica. Incluso localiza en el kilómetro 23 (más exactamente en el 22.800) de la carretera de La Espina a Ponferrada la superficie entre ambas formaciones (fot. 6). Llopis y Martínez Alvarez (7) suponen tal contacto de origen mecánico con evidentes signos de cabalgadura. No admiten la pretendida discordancia asintica, suponiendo por el contrario que desde el Precámbrico al Westfaliense D no ha habido movimientos orogénicos en Asturias.

De nuestro estudio petrográfico se desprende que las rocas del Cámbrico, a pocos metros de la mencionada superficie, muestran claros signos cataclásticos de una intensidad media. Dato que además está de acuerdo con las observaciones sobre el terreno, si bien el plano de esta falla o fractura parece que abandona luego el mencionado contacto para cortar las pizarras del Narcea hacia el SE y las cuarcitas del Cámbrico hacia el NW. Hay además otras fallas más o menos perpendiculares a ésta que enmascaran el paso de unas formaciones a otras.

Personalmente creo que hacen falta más datos en zonas próximas para adoptar cualquiera de las dos posturas, ya que la existencia del contacto mecánico local no invalida de por sí los plegamientos anteriores al Cámbrico, o cuando menos la presencia de tierras emergidas relativamente próximas a la zona de sedimentación de las cuarcitas. Las preparaciones microscópicas del Precámbrico dan idea de un medio mucho más profundo, están fuertemente replegadas, presentan movilidad y neoformación de cuarzo, y cristales antígenos de turmalina. Por el contrario las del Cámbrico corresponden a medios más superficiales, sin micropliegues, con poca movilidad de la sílice, excepto en las proximidades de fracturas y fallas, y no presentan cristales idiomórficos de turmalina.



Foto 5

Aspecto más corriente de la cuarcita subarcósica del Georgiense. Muestra tomada en el km. 20 de la carretera de La Espina a Ponferrada. N + , 34 D aprox. (Foto Prado)



Foto 6

El contacto entre el Precámbrico y el Georgiense. En primer término las pizarras del Narcea con vegetación abundante; al fondo, las cuarcitas de la base del Cámbrico. La fotografía esta tomada desde Villar de Lantero hacia el NW. (Foto Figuerola)

Aguas abajo de este punto, exactamente en el kilómetro 22 de la misma carretera, vuelven a aflorar las pizarras del Narcea, ahora por indiscutible falla que sigue la margen derecha del río hasta Villanueva de Sorriba, donde otro contacto, con bastante probabilidad también de falla con dirección NW, presenta nuevamente el Georgiense que se continúa hasta el Rodical. Es en este segundo tramo donde adquiere un gran desarrollo.

En ambos tramos del Cámbrico bajo hemos efectuado un demuestre de las diferentes rocas que hemos encontrado. Estos son: protocuarцитas impuras con tránsitos hacia subgrauwackas y subarcosas, calizas dolomitizadas, calizas cuarcíferas dolomitizadas, pelitas arcillosas y microconglomerados poligénicos.

En el cuadro que se adjunta se da la composición en minerales detríticos de los ejemplares más típicos:

	Cuarcita (subgrauwacka)	Microconglomerado	Cuarcita (Subarcosa)	Pelita arcillosa	Cuarcita Ferruginosa	Caliza cuarcífera dolomitizada	Caliza dolomitizada
Cuarzo	■	—	■	—	■	—	—
Ortosa		?	—	—			—
Microclina			—		—	—	
Plagioclasas						—
R. Efusivas	■	—					
Granofidos		—	?		—		
Areniscas			—	—	—		
Biotita						
Turmalina				—	—	—	—
Circon				—	—	—	

Quizás debiéramos de incluir otros minerales como la clorita, sericita, caolinita u óxidos de Fe que puedan ser detríticos, pero ante la inseguridad preferimos dejarlos y considerarlos como si fuesen autógenos.

Las cuarcitas llegan a ser subarcosas por la proporción de feldespatos y subgrauwackas por los granos de rocas efusivas vítreas. Por la presencia de estos dos componentes y por el bajo grado de recristalización del cuarzo se establece una distinción muy neta con las correspondientes al silúrico, y no hay lugar a confusión una vez observadas ambas.

La presencia simultánea de la ortosa muy alterada (a veces ligada a la clorita) y la microclina muy fresca (fot. 5) y menos redondeada, plantea una interrogante sobre la provincia alimentadora. Pueden proceder de la misma roca plutónica, filoniana o migmatítica originada en dos procesos a diferente temperatura, o bien de dos rocas diferentes. La diferencia en alteración y esfericidad nos inclina por este segundo supuesto.

En cuanto a los granos de efusivas se trata de forma clara de una roca básica en la que sólo se pueden distinguir finos y pequeños microlitos de feldespatos. Su contorno es más o menos redondeado de forma que tanto pueden haberse depositado a partir de cenizas o "lapilli" como por sedimentación normal a partir de vidrios volcánicos o de "tuff" poco o nada recristalizados.

También aparecen en esta serie detrítica algunos granos de estructura pegmatítica, de areniscas anteriores y de trozos de esferulitos cuarcíferos. Una vez conocida la composición de los ejemplares del Cabo de Peñas, atribuimos los pegmatíticos y esferulíticos a formaciones de granófidos o similares. Y en cuanto a los de arenisca ya dicen de por sí su origen. Anotemos por último la presencia de granos detríticos de turmalina y que también aparecía ligada a los granófidos del Cabo de Peñas.

Las pelitas arcillosas aparecen estratificadas en finos bancos entre parte de las cuarcitas y similares: son de grano muy fino y ricas en óxidos de Fe.

CONCLUSIONES

Dejando a un lado el hecho de haber clasificado unas rocas interesantes como los peperinos y "tuff" tan antiguos, y que ya de por sí tiene su importancia, conviene señalar otros datos que pueden deducirse de los comentarios que anteceden.

En primer lugar tenemos que las rocas del Cabo de Peñas pueden relacionarse con las del Narcea, y consiguientemente debemos considerarlas también como del Georgiense. En ambos afloramientos las rocas se han originado a poca profundidad como si se tratase de una facies marginal de un geosinclinal que en el mapa quedaría representada (con algunas reservas) como se indica en la figura 1. La presencia de esta zona marginal de un vulcanismo que se destruye simultáneamente a sus emisiones indican un episodio de la segunda fase de un geosinclinal según la evolución tectónica general. Las emisiones de espilitas estarían a mayores profundidades mientras que aquí estarían las de quimismo variable en arcos de islas, emisiones subáreas, etc. Los granos detríticos de procedencia "terrestre" también apoyan esta idea.

La alternancia repetida en gran parte de las areniscas arcóscas de Pilotuerto con un relativo aire de flysch, parece indicar por otro lado que la sedimentación fué simultánea al comienzo de movimientos pertenecientes al ciclo siguiente. Lo que representa una evidente contradicción y quizás haya que pensar que tal alternancia se deba a otros factores (cambios en la provincia alimentadora, clima, nivel de las aguas, etc.)

La presencia de los peperinos puede relacionarse con los tramos calizos más o menos dolomitizados e impuros que se encuentran intercalados entre las cuarcitas del Georgiense del valle del Narcea.

Hemos dicho que en el cauce del Narcea el silúrico es discordante sobre el Cámbrico bajo y medio y que es probable falte el tramo más alto. Por el momento es imposible decir si se trata de una discordancia orogénica o de falla.

La provincia alimentadora es en todas partes poligénica. Pero hacia Villar de Lantero se hace más arcósica lo que indica un transporte más corto o bien condiciones químicas más es-

tables para los feldspatos. El tamaño relativamente pequeño de los granos apunta hacia un transporte lento más propio de tierras emergidas en estado morfológico maduro o senil que en formas juveniles. Como es lógico, en estos últimos también pueden formarse depósitos de areniscas pero entre ellos deben de aparecer conglomerados a poco que la erosión se efectúe sobre rocas de alguna consistencia.

No se evidencia la presencia de granitos precámbricos de forma clara. Los feldspatos pueden proceder de los granóidos, y el cuarzo de esta roca o de las areniscas preesistentes. De todas formas no se puede negar rotundamente su existencia. Lo que sí conviene indicar es que es más abundante el feldspato potásico que las plagioclasas y entonces, o bien el supuesto granito tenía las plagioclasas ricas en An y se alteraron rápidamente, o se trataba de una roca pobre en ellas.

RESUMEN

Se comentan algunos aspectos de las rocas del Cámbrico descritas en otros trabajos publicados o en vías de publicación. Tanto en los afloramientos del Cabo de Peñas como en los del Narcea, se encuentran evidentes signos de un vulcanismo de carácter eminentemente básico, pero con episodios ácidos en el Cabo de Peñas. Los materiales detríticos demuestran que las profundidades de sedimentación fueron relativamente pequeñas y que procedían de una zona con rocas de distintos tipos. Se puede establecer una correlación basada en el quimismo de las rocas efusivas.

SUMMARY

In connection with other studies of Early Cambrian age from Peñas cape and Narcea River, it has been established some consequence envelope the genesis of **its rocks and most likely** source material for them.

BIBLIOGRAFIA

- (1). BARROIS. Ch.—*Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de Galicie*. Lille, 1882.
- (2). CAROZZI, A. V.—*Microscopic Sedimentary Petrography*. Edit. Jon Wiley & Son, N. Y., 1960.
- (3). GARCIA DE FIGUEROLA, L. C.—*Las rocas del Cámbrico: I De los afloramientos del Cabo de Peñas*. Not. y Comuns. del Inst. Geol. y Min. de España. N.º 63, 1961.
- (4). GARCIA DE FIGUEROLA, L. C.—*Las rocas del Cámbrico: II De los afloramientos de Lantero-Pilotuerto (Narcea)*. (En prensa).
- (5). GARCIA DE FIGUEROLA, L. C., PRADO, J. y SANCHEZ DE LA TORRE, L.—*Las rocas del Cámbrico: III De los afloramientos de Tineo-Puente de Tuña*. (En prensa).
- (6). LLOPIS LLADO, N. y MARTINEZ ALVAREZ, J. A.—*Sobre el Terciario continental del Occidente de Asturias y su significación morfotectónica*. Brev. Geol. Ast. año IV, núm. 1-2, 1960.
- (7). LLOPIS LLADO, N. y MARTINEZ ALVAREZ, J. A.—*Bibliografía crítica*. Brev. Geol. Ast., año V, núm. 1-2, 1961.
- (8). LOTZE, F.—*El Precámbrico de España (vers. española de G. de Llarena)*. Not. y comuns. del Inst. Geol. y Min. de España. núm. 60, 1960.

- (9). NOVO y F. CHICARRO, P.—*Diccionario de Geología y Ciencias Afines*. Edit. Labor, 1957.
- (10). SMITH, R. L.—*Ash flows*. Bull Geol. Soc. Amer. v. 71, 1960.
- (11). STRAKHOV, N. M.—*Méthodes d'étude des Roches Sedimentaires*. Anal. del Ser. Inf. Geol., Moscou Vers. Francesa, del C.N.R.S.) 1958.
- (12). WAGER, L. R., WEEDON, D. S. and VINCENT, E. A.—*A granophyre from Carie Uaigneich, Isle of Skye, containing quartz paramorphs after*. Min. Mag., núm. 30, 1959.
- (13). WILLIAMS, H., TURNER, F. J. and GILBERT, C. M.—*Petrography*. edit. Rreeman an and Co. 1957.

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° a 360° . 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

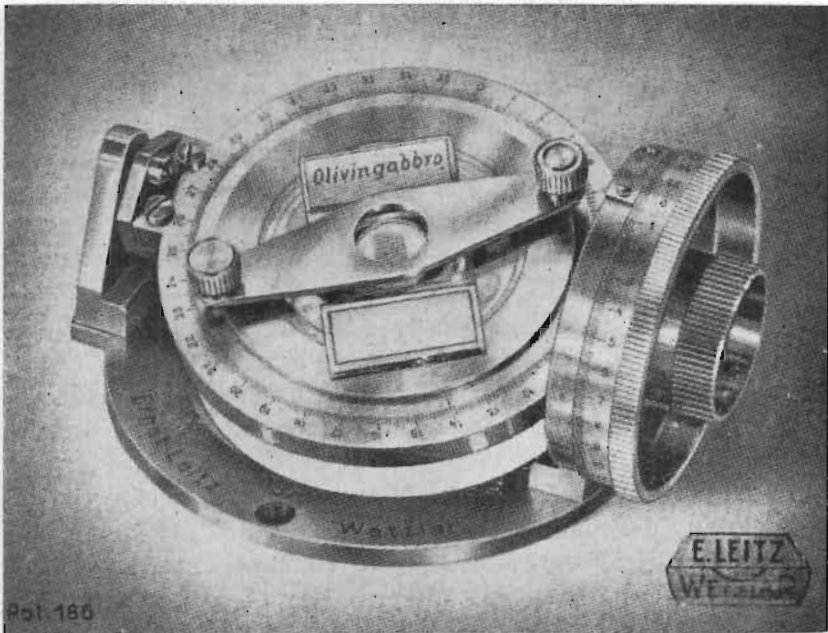


Fig. 1.—Platina Universal de cuatro ejes

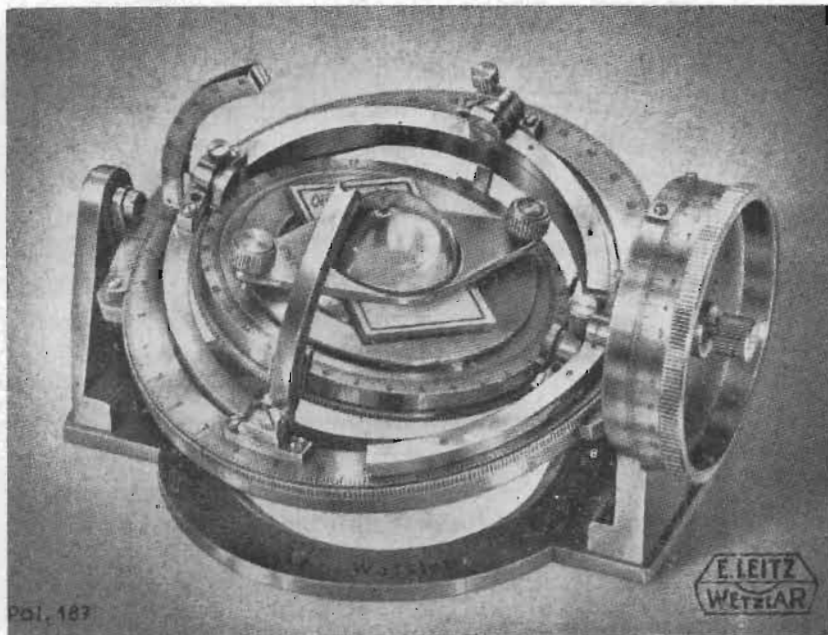


Fig. 2.—Platina Universal de cinco ejes

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

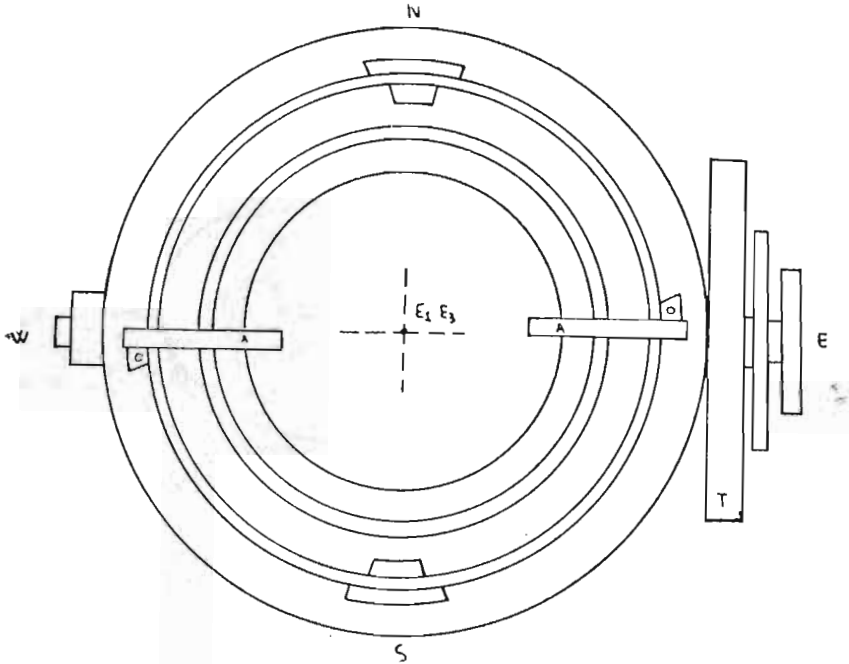


Fig. 3

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-

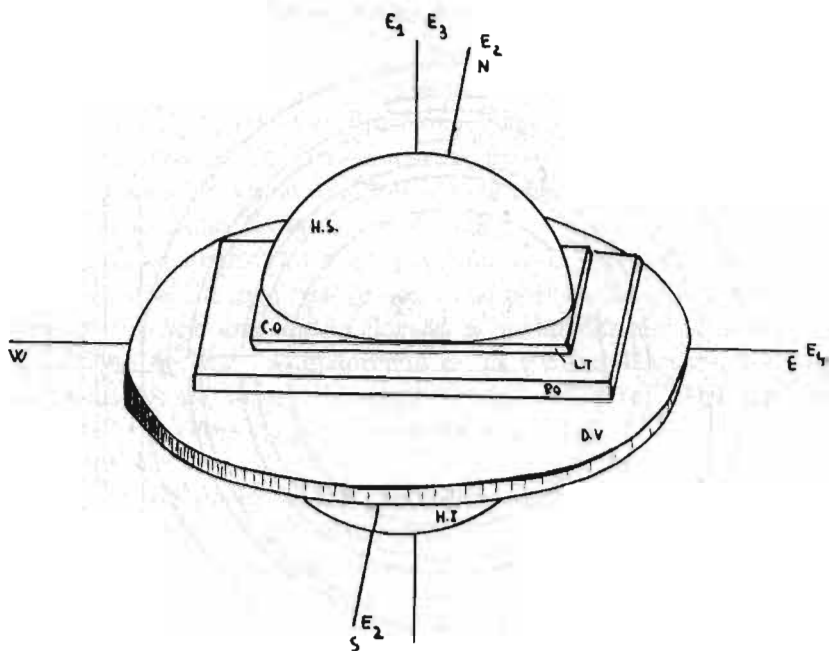


Fig. 4—Ejes y piezas ópticas para la Platina Universal

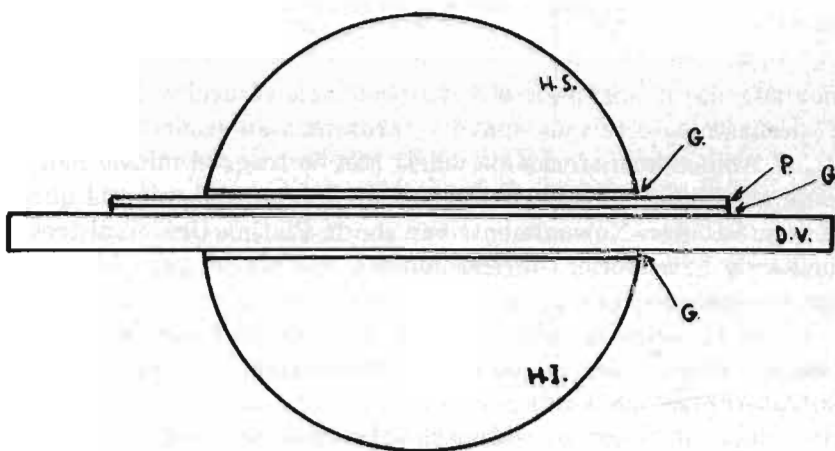


Fig. 5

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.

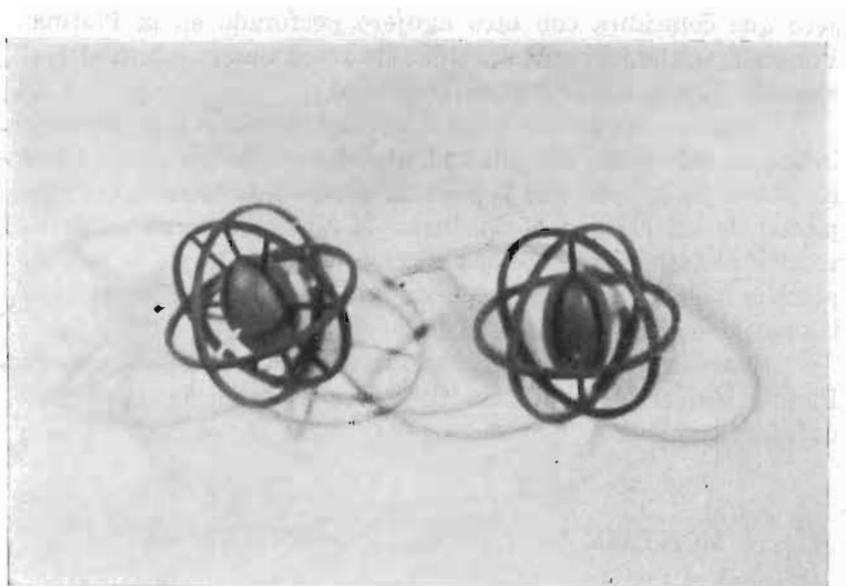


Fig. 6

Modelos de elipsoides biaxico y uniaxico

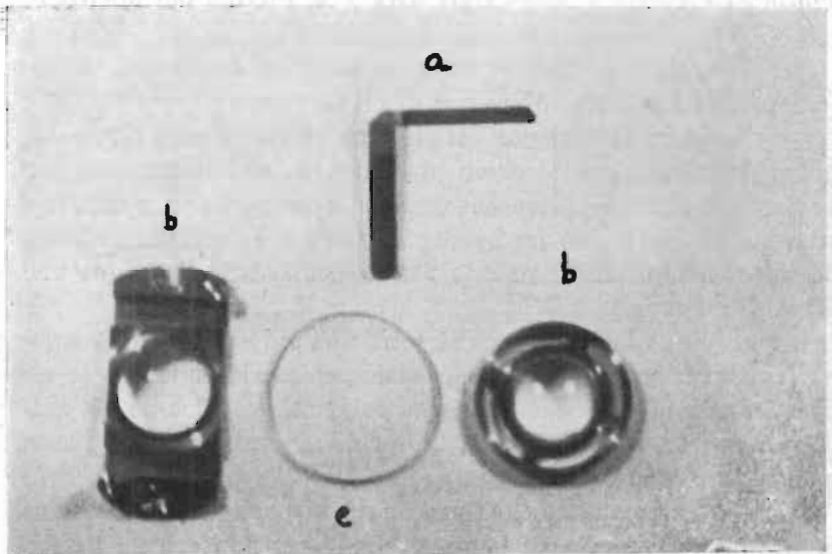


Fig. 7

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

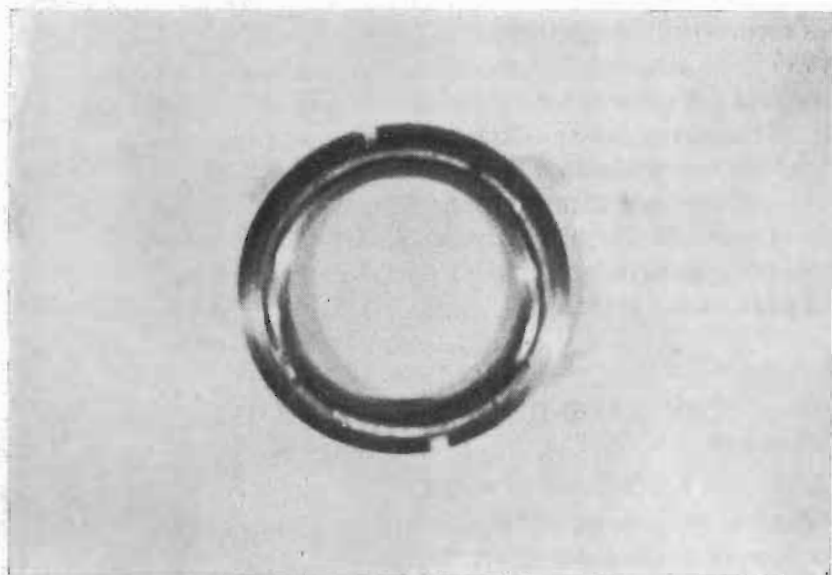


Fig. 8

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

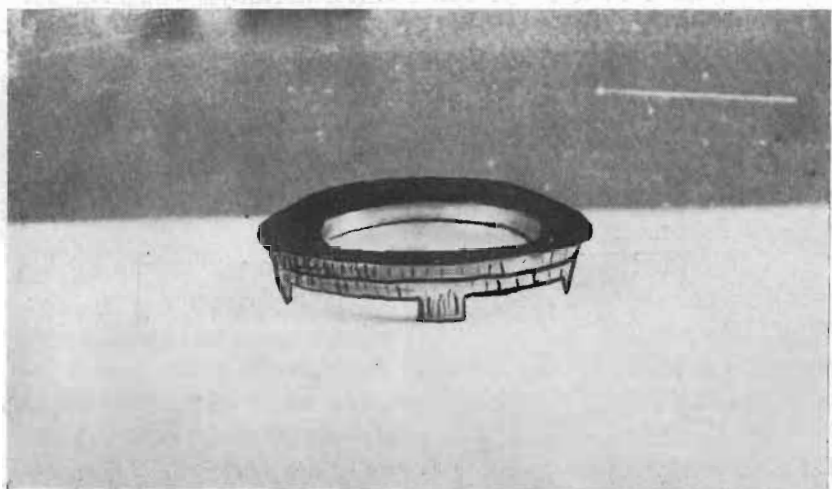


Fig. 9

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

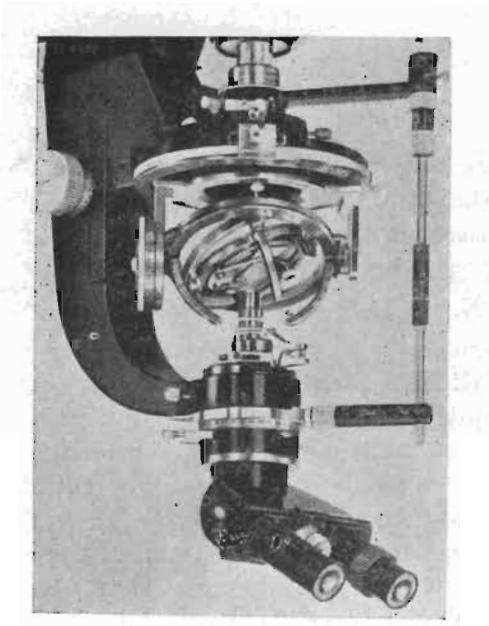
Las operaciones de centrado tienen por objeto hacer coincidir los ejes en un punto que aproximadamente ha de ser el centro del grano a observar.

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:

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

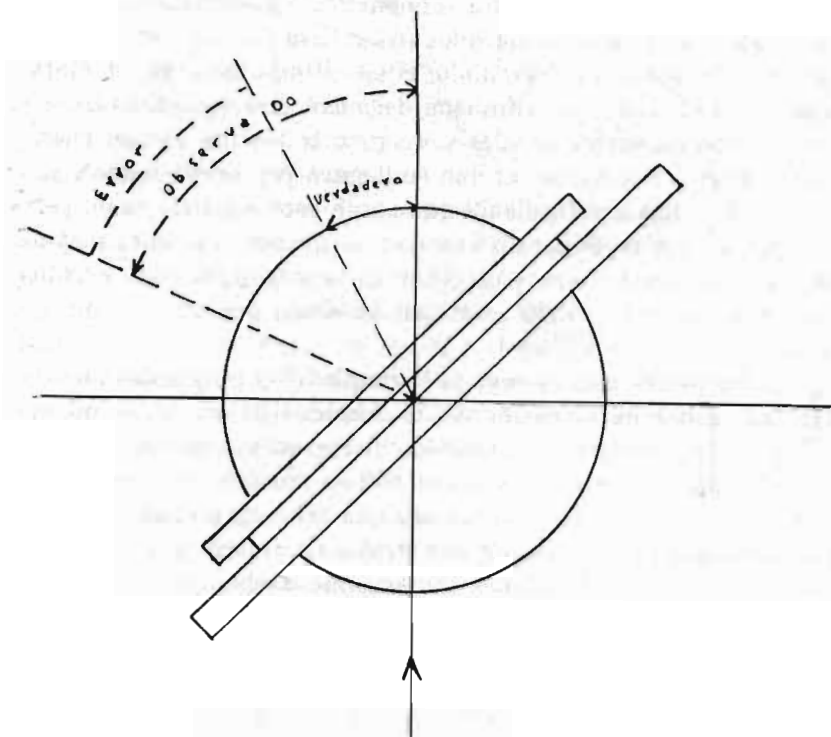


Fig. 12

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

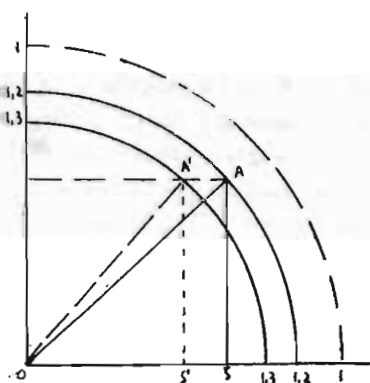


Fig. 13

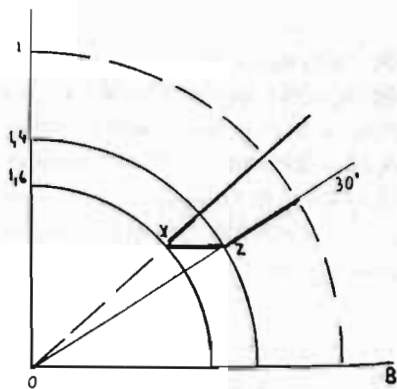


Figura 14

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° 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° , 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° .

Fig. 15 — Elipsoide biáxico

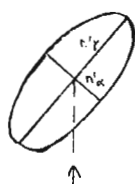
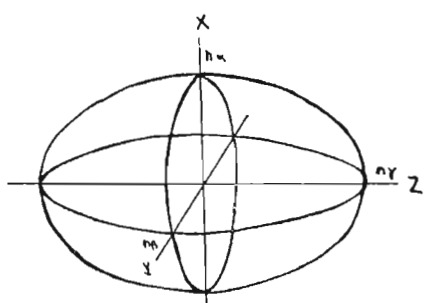


Fig. 16 Sección cualquiera

Fig. 17 — Elipsoide uniáxico

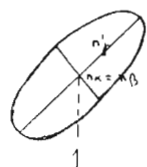
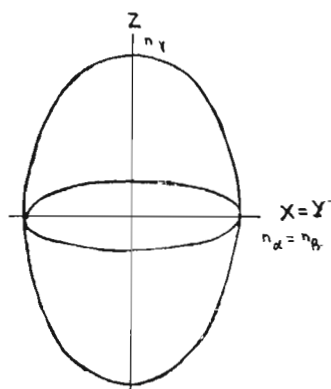


Fig. 18 Sección cualquiera

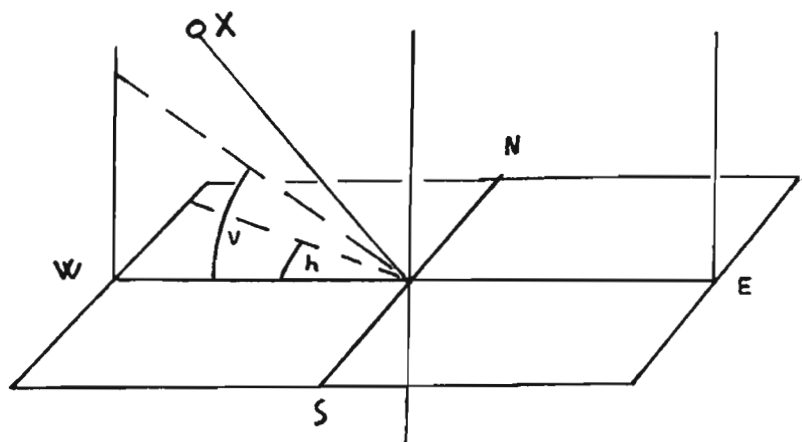


Fig. 19

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° de E_1 , caso de no permanecer la extinción se gira E_1 90° 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° 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° 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° 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° 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° 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° 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

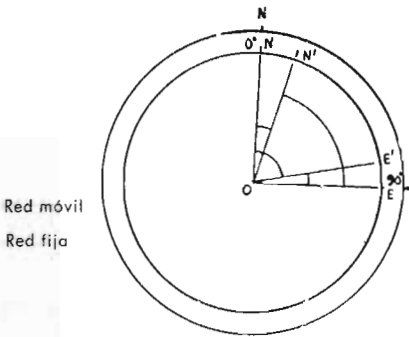


Fig. 20

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
 $NON' = E'OE$; $NOE' = N'OE$

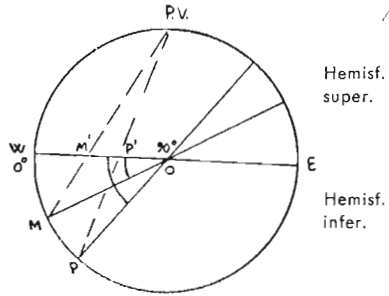


Fig. 21

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

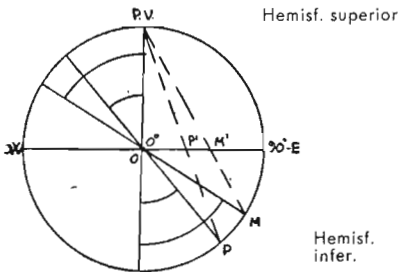


Fig. 22

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.

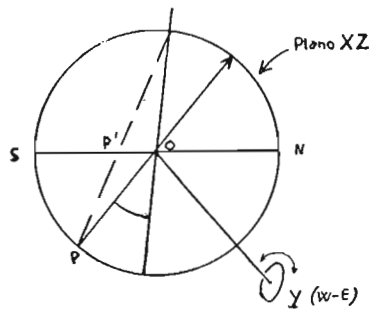


Fig. 23

Proyección estereográfica de un eje óptico en cristales biaxiales cuando se conoce Y y se ha movido E_4 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° y zenital (E_2) = 32° . El eje óptico se puso vertical y el borde levantado del disco quedó al W. Se lleva la raya a la graduación 325° y a partir del centro se cuentan 32° hacia el Este estando 0° 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° y a partir del Este se cuentan 40° .

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° 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 uniáxico con el eje óptico en dirección N-S o en el plano E-W. Puede ser biáxico 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 unáxico o biáxico

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

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

b-3) si se ilumina es anisótropo

En caso de a-2 se vuelve E_2 a cero. Se busca con E_1 la otra posición de extinción a 90° . 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 Uniáxico. No puede ser biáxico, pues si en a-2 un eje del elipsoide estaba N-S, un giro de 90° 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° y se prueba por giro de E_2 .

a-5) si la extinción permanece es Uniáxico. 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 uniáxico. Si un eje principal del elipsoide biáxico 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 uniáxico, pues si lo tuvieramos necesariamente resultaría oscuridad. Luego es Biáxico.

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 Isótropo.

b-6) si se ilumina es Biáxico.

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° 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° . 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,

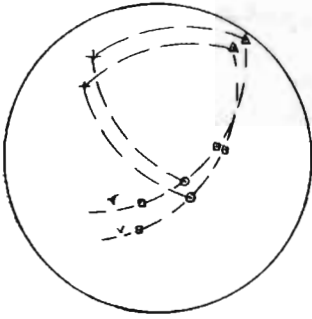


Fig. 24
Sentido de la dispersión

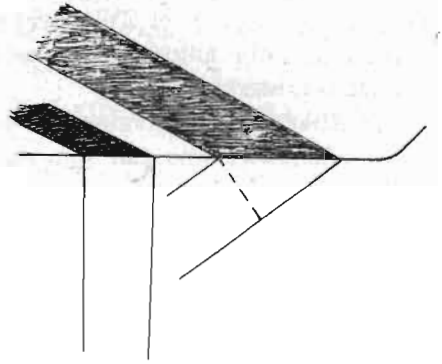


Fig. 25
La traza mas fina corresponde a la posición vertical

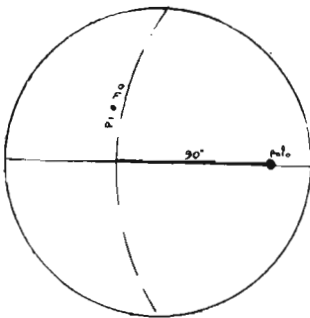


Fig. 26
Proyección de un plano de exfoliación y su polo

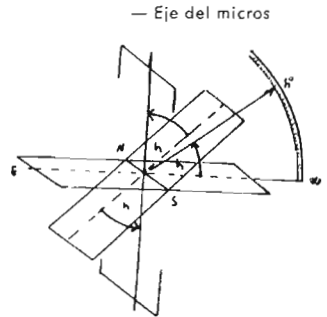


Fig. 27
Después de colocar la traza del plano de exfoliación N-S por giro de E_s, obsérvese el movimiento de dicho plano al ser puesto vertical y donde hay que tomar la graduación

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 (Δ)

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° 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° 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° 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° 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° 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° , 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° y 19° 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 manobra 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° 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° 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° 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 crucero, 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 $Z \wedge c$

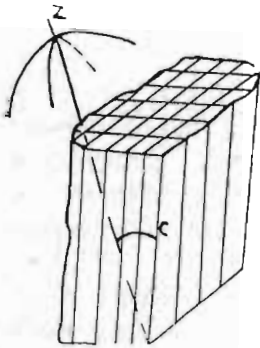


Fig. 28

Z = Eje Z de la Indicatriz

c = Línea de intersección de dos planos de exfoliación

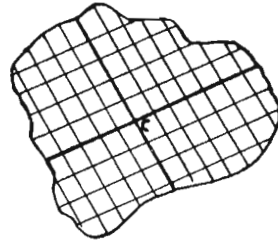


Fig. 29

Líneas de Cruceiro (Sección)

c = Punto intersección de dos línea de cruceiro

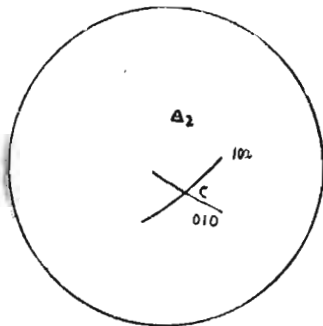


Fig. 30

Proyección de Z y c

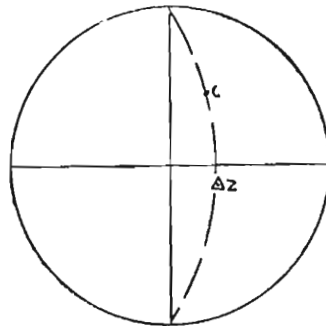


Fig. 31

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

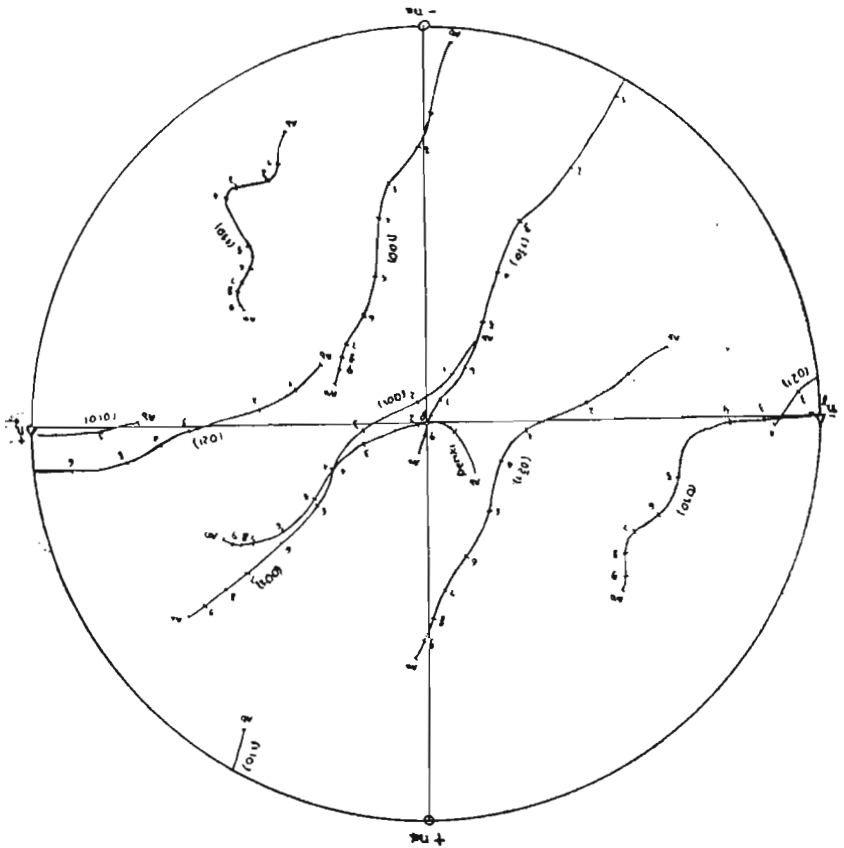


Fig. 32

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°** 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

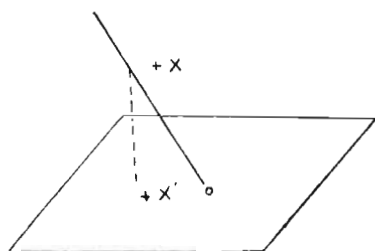


Fig. 33

Hemisferio superior, parte positiva

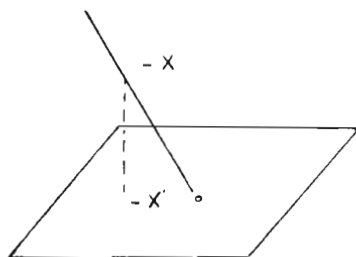


Fig. 34

Hemisferio superior, parte negativa

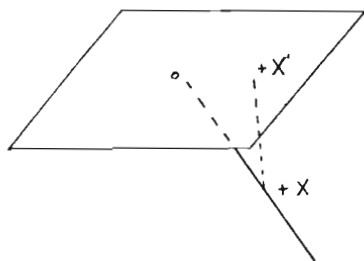


Fig. 35

Hemisferio inferior, parte positiva

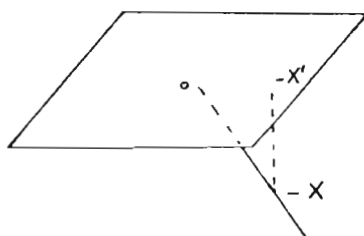


Fig. 36

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

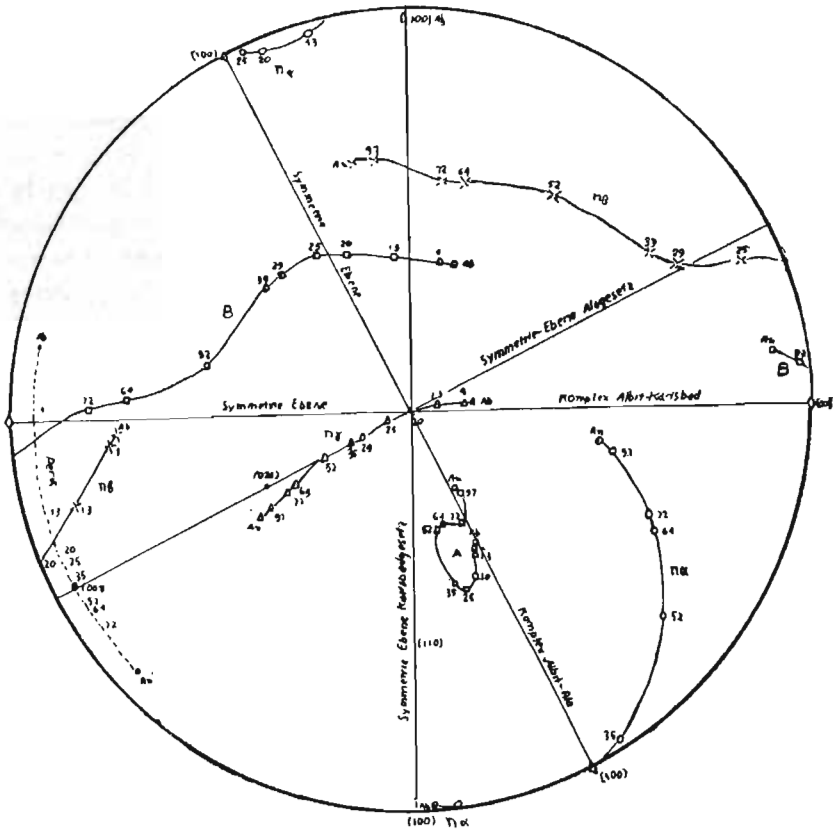


Fig. 37

Estereograma 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

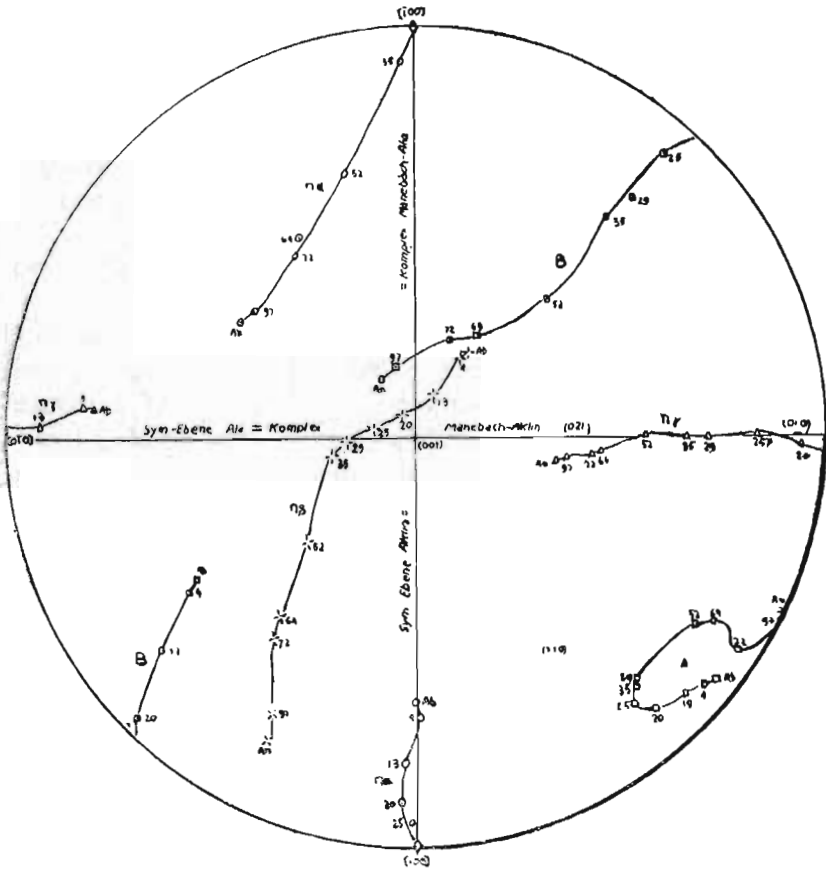


Fig. 38

Estereograma con plano de proyección en el Basipinacoido (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° 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

Leyes normales

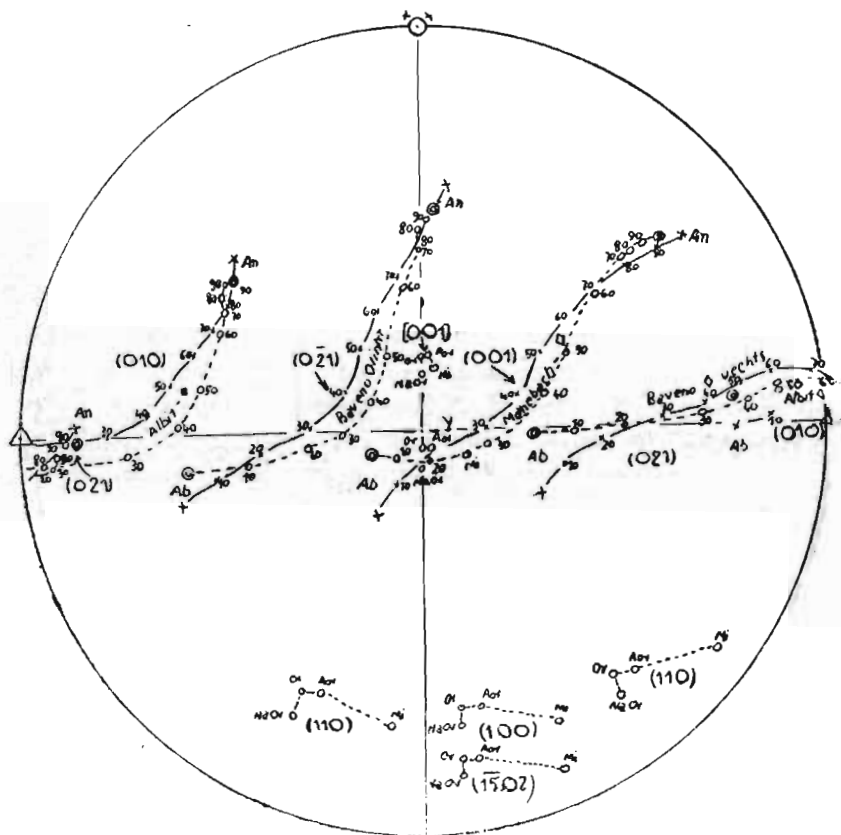


Fig. 39

O — O — O Alta temperatura

X — X — X Baja temperatura

(Tomado del Troger)

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

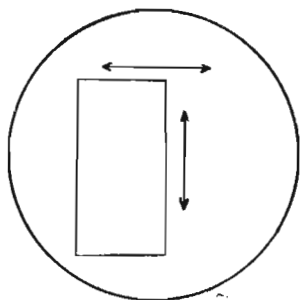


Fig. 46
Movimientos lícitos de la Preparación

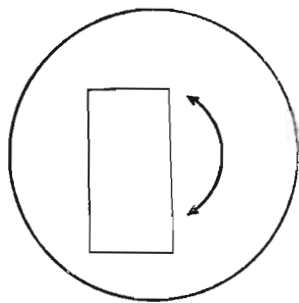


Fig. 47
Movimientos prohibidos de la Preparación

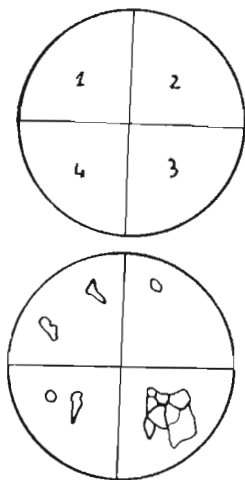


Fig. 48
División del campo de vista en cuadrantes convencionales

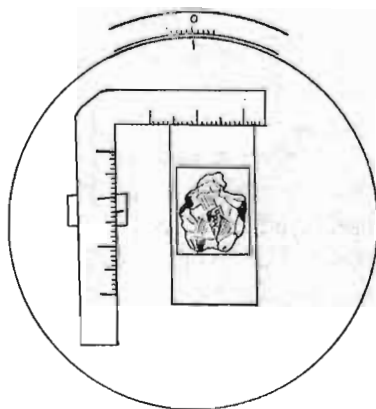


Fig. 49
Escuadra de carpintero guiando la Preparación

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.

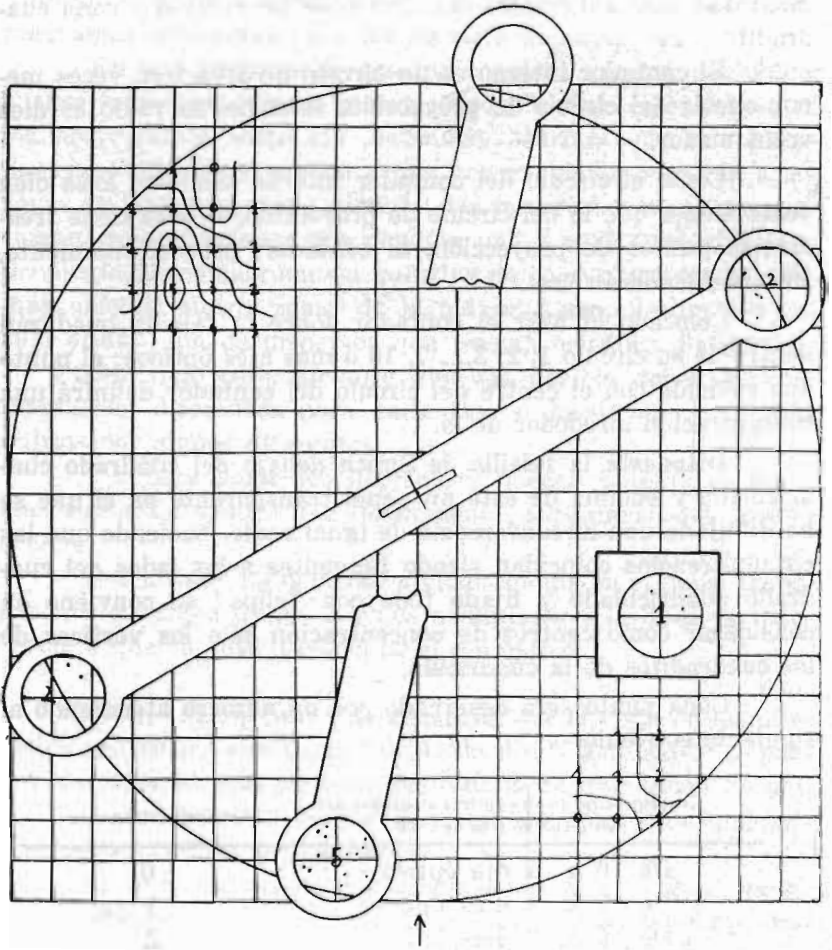


Fig. 50

Construcción de las líneas de densidad

(Tomado del Fairbain)

Muestras y preparaciones orientadas

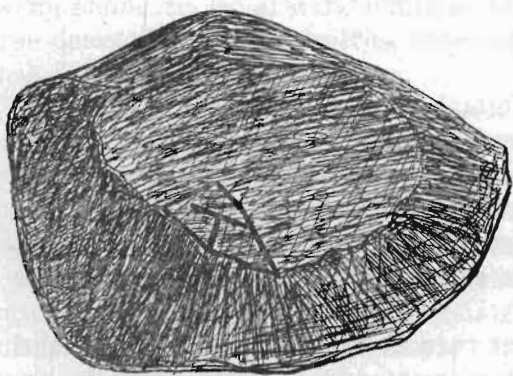


Fig. 41

La muestra en el campo

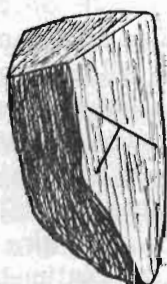


Fig. 42

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° 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).



REVISTA
DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE OVIEDO (ESPAÑA)

REDACCION:

SECCION DE QUIMICAS

DIRECCION: *Prof. Dr. Siro Arribas Jimeno*

SECRETARIA: *Srta. C. Alvarez Bartolomé*

SECCION DE GEOLOGICAS

DIRECCION: *Prof. Dr. M. Crusafont Pairo*

SECRETARIA: *Dr. J. A. Martínez Alvarez*

La suscripción anual es de 100 pesetas para España y de 150 pesetas para el extranjero (comprendidos los gastos de envío).