

Les dades cristal·logràfiques assolides pels mètodes universals de Fedorow

per

JAUME MARCET i RIBA (1)

Investigació de l'el·lipsoide òptic

Mètodes indirectes

Investigació de l'el·lipsoide, per observacions estauroscòpiques i per mides de retards o birrefringències.

En aplicar els mètodes directes sols és possible en un 26 % de les vegades fixar la posició d'un dels eixos de l'el·lipsoide, devent-se realitzar la determinació de les altres constants per mètodes indirectes.

FEDOROW sols feu ús en les primeres etapes dels mètodes universals de la platina de dos eixos, amb la qual la determinació de les constants es realitzava indirectament, mitjançant extincions i aplicant les construccions de FRESNEL, que fixaven els eixos òptics i amb ells els plans de l'el·lipsoide i llurs eixos.

Quan apareixien els eixos massa oblics, no podent-se aplicar els mètodes directes, basava la determinació del pla dels eixos en la mida de retards; l'orientació dels eixos quedava fixada per les direccions d'extinció.

També NIKITIN ha fet estudis especials d'alguns mètodes indirectes per determinar la birrefringència i l'angle dels eixos òptics en aquells casos que la determinació directa no és possible.

L'intima relació que uneix els diversos elements que caracteritzen l'el·lipsoide, lligats al valor $2V$ dels eixos, permet fer dita determinació mitjançant mides d'extincions, retards o birrefringències, ja en una sola secció o en varies.

Partint de l'extinció, del retard o de la birrefringència d'una secció es pot conèixer la posició del pla dels eixos òptics, el signe dels eixos de l'el·lipsoide, la posició de la bisectriu aguda i llur signe, i per tant, el del mineral, l'angle dels eixos òptics i la obliquïtat de l'el·lipsoide respecte determinats pols.

Quan són conegudes algunes de les constants els mètodes es simplifiquen molt.

(1) Parts I, II, III, veure BUTLLETÍ, Febrer de 1925, pp. 54-59; IV, V, VI, Juny, pp. 157-162; VII, novembre, pp. 211-216.

Mètodes estauroscòpics

En començar-se a aplicar els mètodes universals, quan sols es disposava de la platina de dos eixos, la determinació de l'el·lipsoide es realitzava fixant els eixos mitjançant els angles d'extinció de diverses seccions.

FEDOROW utilitzà diverses *curves d'igual extinció*, la intersecció de les quals fixava els eixos i aquests feien conèixer els plans de l'el·lipsoide i les bisectrius.

NIKITIN, DUPARC i WALLERANT han tractat d'aquests mètodes

Quan l'altre eix no quedava determinat, se'l situava amb les direccions d'extinció, aplicant les construccions de FRESNEL.

La tècnica resultava poc precisa, donant resultats dubtosos en minerals quelcom dispersius; les determinacions amb la platina de dos eixos foren abandonades en adoptar-se la de tres eixos, amb la qual les determinacions es realitzen directament.

Investigació de l'angle dels eixos òptics

Mètode de FEDOROW-NIKITIN, per l'extinció d'una secció especial.—

NIKITIN completant el mètode seguit per FEDOROW a base de construccions de FRESNEL, ha donat una taula per determinar l'angle dels eixos òptics $2V$ a base d'observacions estauroscòpiques segons la normal a l'eix I en seccions formant un angle I amb el pla dels eixos òptics, corresponents a diversos valors α de la posició de la bisectriu dels eixos òptics respecte la normal a l'eix I, així com a base d'un angle $2V$ hipotètic; també, per determinar el valor $2V$ en seccions formant angles I amb el pla dels eixos òptics, essent l'angle de la bisectriu amb la normal a l'eix I de 30° .

Dit autor ha estudiat la sensibilitat i precisió del mètode.

En les taules de NIKITIN es poden deduir els angles $2V$ per l'extinció d'una determinada secció.

FEDOROW sols acostumava emprar aquest mètode quan no es podien fixar els eixos per llur gran inclinació o quan formaven un angle $2V$ massa petit.

Mètodes per mides de retards o birrefringències

En les primeries dels mètodes universals FEDOROW com s'ha indicat empleava la platina de dos eixos, amb la que l'el·lipsoide es fixava, quan el pla dels eixos era molt oblic, mitjançant una sèrie de retards, que fixaven la posició del pla indicat.

Les direccions d'extinció d'ell fixaven la posició dels eixos de l'el·lipsoide continguts en aquell pla.

L'antiga tècnica era poc còmoda i precisa, perfeccionant-se amb la platina de tres eixos, que permet la determinació directa.

Investigació de les birrefringències principals, de l'angle dels eixos òptics i signe òptic del mineral

Mètodes usals.—Els mètodes usals de TERTCH i WALLERANT, per la *característica* d'una secció o la de l'el·lipsoide, per mides de retards o

birrefringències, i el de CESÀRO pel valor del *retard mínim característic* poden ésser aplicats en algunes ocasions.

Mètode de NIKITIN, per a l'investigació de la birrefringència d'una secció principal col·locada perpendicular a l'eix I de FEDOROW. — La determinació indirecta de la birrefringència d'una secció perpendicular a l'eix I de FEDOROW es pot realitzar determinant senzillament la birrefringència d'una de les dues seccions principals de la zona de l'eix I de FEDOROW en coincidència amb un eix de l'el·lipsòide, nomenada *secció fonamental*, i la d'altre de la mateixa zona o *secció auxiliar* que formi amb dita secció un angle ψ .

Amb aquelles dades s'obté, essent la *secció fonamental* ($\gamma' - \rho$)

$$(\gamma' - \rho) = (\gamma' - n_1) - (\rho - n_1) = BF - BA$$

Si la *secció fonamental* és ($n_1 - \alpha'$),

$$(\rho - \alpha') = (n_1 - \alpha') - (n_1 - \rho) = BF - BA$$

Amb el valor trobat i l'angle $\pm 2V = 2(90^\circ - \psi)$ s'obté en la gràfica de BOLDIREFF, si s'utilitza com *secció fonamental* ($\gamma' - n_1$)

$$(\gamma' - \rho)$$

Si s'utilitza com *secció fonamental* ($n_1 - \alpha'$),

$$(\rho - \alpha')$$

Amb les esmentades diferències,

$$(\gamma' - \alpha') = (\gamma' - \rho) + (\rho - \alpha')$$

En la taula de NIKITIN s'obté directament amb les diferències ($\gamma' - \rho$) o ($\rho - \alpha'$) la birrefringència de la secció normal a l'eix I de FEDOROW.

Aquest autor fa un estudi magistral del seu mètode, deduint la precisió obtinguda en els diversos casos possibles, i les correccions a aportar en aquelles diferències per obtenir resultats exactes. En seccions paral·leles als eixos, com ha deduit dit autor, no hi ha necessitat de cap correcció.

En cristalls uniàxics, essent la *secció fonamental* la secció cíclica, normal a l'eix òptic, la birrefringència donada per la *secció auxiliar* permet determinar directament la birrefringència màxima del mineral.

Per aquells cristalls ha donat NIKITIN un quadre que ofereix directament la birrefringència a base de *seccions auxiliars* formant amb la *secció fonamental* angles petits, de 10 a 20.º, que permeten investigar minerals molt birrefringents, de 0.06 a 0.20.

Aquest mètode és aplicat quan el pla dels eixos coincideix o s'apropa molt al de la preparació, no podent ésser aquells determinats directament.

La bona disposició de les dades afavoreix la determinació de la birrefringència.

Mètode de NIKITIN-BEREK per mides de retards principals reduïts. — BEREK ha donat a conèixer recentment una modificació del mètode de NIKITIN, que simplifica molt l'investigació.

En llur mètode s'utilitzen *retards principals reduïts*.

**DETERMINACIÓ DEL RETARD I DE LA BIRREFRINGÈNCIA
DE LES
SECCIONS PRINCIPALS PERPENDICULARS A I.
(MÈTODE DE NIKITIN-BEREK)**

SECCIONS EXAMINADES	Angles ψ A Sf Sa	Posició de les seccions I - (I') $\alpha_1; \alpha_2; (\alpha'_1; \alpha'_2)$	Angles d'inclin. (φ) en el mineral	VALORS DELS RETARDS					Retard. obser. Δ	Retard. reduïts Acx φ'	RETARDS REDUÏTS DE LES SECC. I I		BIRREFRINGÈNCIES			BIRREF. de les SECCIONS I I	OBSERV. Invest. pel mètode de NIKITIN		
				Valor de polarització	Dis. del compensador	Suma	Promig	Retard. obser. Δ			Retard. reduïts Acx φ'	ε	ε norm.	Birr. aux. $\frac{\Delta}{\epsilon}$	Difer. B f - B a			Valor de correctiu δ	Difer. corregi- des
Secció fonam. Sf	0° =	10° (11°)	31°30'				39	390			2		0,0195	0,000			0,0090		
Seccions auxiliars Sa	10° =																		
	20° =	22° (20°)					45	450			2,04		0,0220	0,025				0,0100	
	30° =	33° (30°)					50	500			2,21		0,0226	0,031				0,0075	
	40° =	38°30' (35°)					52	290			2,34		0,0222	0,027				0,0055	
	50° =	44°30' (40°)					56	560			2,50		0,0224	0,029				0,0050	
	70° =																		
	80° =																		
	90° =																		
	30° =	44°30' (40°)						500			2,49		0,0200	0,005				0,0020	

Mètode de BOLDIREFF, per les birrefringències principals, l'angle dels eixos òptics i l'índex del mineral. - Les conegudes relacions entre les birrefringències principals de l'el·lipsoide, l'angle dels eixos òptics i l'índex del mineral han estat incorporades per BOLDIREFF als mètodes universals.

De les fórmules simplificades i de llurs gràfiques n'han fet us diversos investigadors.

BOLDIREFF ha construït gràfiques que permeten la determinació de les birrefringències i l'angle dels eixos òptics i el signe del mineral, utilitzades en dits mètodes per NIKITIN, i després generalitzades.

NIKITIN estudià la precisió obtinguda en la determinació d'una birrefringència principal per la suma algèbrica de les altres dues birrefringències principals; en la d'una birrefringència principal a base de l'altre birrefringència i l'angle dels eixos òptics; així com en la de la birrefringència d'una secció principal col·locada perpendicularment a l'eix I de FEDOROW.

DETERMINACIÓ DELS RETARDS, DE LES BIRREFRINGÈNCIES PRINCIPALS I DE L'ANGLE 2V DELS EIXOS I SIGNE ÒPTICS

CONSTANTS ÒPTIQUES	Observades	Deduïdes	VALORS DE LES CONSTANTS	OBSERVACIONS
Ba		0,0060	0,0060	Mèt. NIKITIN
Bo	0,195		0,0195	Mèt. directe
Nm		0,0255	0,0255	Mèt. BOLDIREFF
2V	+ 51° 30		+ 51°30	Mèt. directe

Investigació inductiva de l'el·lipsoide. (1)

L'aplicació pràctica de les relacions íntimes que uneixen els diversos elements de l'el·lipsoide, deduïdes analíticament per BFER, LIEBICH, adoptades per GRAILICH, MALLARD, GROTH, etc. i complementades després trigonomètricament per SOUSA-BRANDAO, BEREK i WEBER, ha estat la deducció per aquests darrers investigadors d'un mètode que partint de les direccions d'extinció es determinen la major part de les constants òptiques.

Mètode de BEREK, per l'extinció característica d'una secció. — SOUSA-BRANDAO basant-se en aquelles relacions establí el seu *mètode esteroscòpic d'orientació òptica* amb el que partint de les direccions d'extinció

(1) Expressió del Prof. F. PARDILLO.

d'una o dues seccions és possible deduir l'obliquïtat de l'el lipsoide, l'angle $2V$ dels eixos òptics, el valor relatiu dels índexs de cada un dels eixos, i per tant el signe de cada bisectriu i el del mineral.

BEREK poc després independentment dels estudis de SOUSA-BRANDAO realitzà una serie d'estudis encaminats a la determinació de les constants òptiques a base de les direccions d'extinció, trobant com SOUSA-BRANDAO una *funció característica* que fixa d'una manera simple i completa els elements de simetria òptica.

La funció de BERK és una forma simple de les antigues relacions de BEER i LIEBICH, que es presta a tota mena de deduccions, essent més general que la de SOUSA-BRANDAO.

El *mètode universal* de BERK és una generalització del seguit per FEDOROW i NIKITIN en la determinació de l'angle dels eixos òptics partint de l'extinció d'una secció especial prenent com *secció fonamental* el pla dels eixos òptics, aplicable quan els eixos no poden fixar-se directament per sortir massa oblics.

BERK generalitzà el mètode als altres dos plans principals. com ja havia fet SOUSA-BRANDAO, fent del mètode particular de FEDOROW un mètode general de determinació de les constants òptiques de l'el lipsoide.

L'*angle d'extinció característic* no sols dona l'angle dels eixos òptics sinó que especifica els diversos eixos, i per tant el signe òptic del mineral i la situació dels eixos òptics i eixos de simetria en relació amb la normal a la preparació i a notables direccions cristal·logràfiques.

Com fa notar BERK l'interessant i discutit problema de la determinació dels elements de simetria òptica a base de les direccions d'extinció, per molts investigadors estudiat i que fa aproximadament 60 anys sols tenia un interès teòric, promet ésser el mètode més usat ja que en les circumstàncies pitjors dona resultats ben acceptables.

Per facilitar l'aplicació del seu mètode ha publicat la casa LEIZT una concisa guia.

Les operacions que es realitzen són:

1. Localització de l'eix de l'el lipsoide en coincidència amb el del microscopi.
2. Determinació de les posicions d'extinció de la secció principal normal a l'eix.
3. Determinació del signe òptic de les direccions d'extinció.
4. Determinació de l'*angle d'extinció característic* φ en una secció especial.
5. Determinació de la característica òptica: a) angle $2V$ dels eixos òptics; b) caràcter de la birrefringència; c) orientació de la bisectriu aguda i obtusa respecte l'eix fixat.

Les gràfiques que dona permet fer les investigacions esmentades.

INVESTIGACIÓ INDUCTIVA DE L'EL·LIPSOIDE

MÈTODE DE L'EXTINCIÓ CARACTERÍSTICA

(MÈTODE DE BEREK)

SECCIONS EXAMINADES	POSICIÓ de les seccions I (I') $\alpha_1; \alpha_2 (\alpha'_2)$	Posició de les direccions d'extinció α_3			Signe òptic de I	Valors		Posició inicial de A_5	Posició de les direccions d'extinció α_5		ANGLES CARACT. D'EXTIN. φ $A_5 - \alpha_5$	Signe òptic dels EIXOS i ORIENT		ANGLES dels EIXOS 2V	OBSERV.
		Observacions	Suma	Promig		φ	$\alpha_3 + \varphi$		α_4	n_o, n'		n, n'	Signe OPTIC		
B ₀	172°; 42' d				α	φ	$\alpha_3 + \varphi$				71.5°	α	β	γ	$\varphi = 45^\circ$ $\alpha = 55^\circ$
															Dades de BEREK d'una pla-gioclàssa

Mètode de Berek, per la relació característica de retards. Aquest petrogràf basant-se en la semblant dependència que existeix entre la birrefringència i els elements de simetria ha establert el mètode paral·lel de la *relació característica de retards*, el valor de la qual dona l'angle dels eixos òptics, el signe òptic del mineral i el de cada un dels eixos.

El mètode de BEREK de la *relació característica de retards* és la generalització del de NIKITIN.

De la mateixa manera que el mètode de FEDOROW, que relaciona les direccions d'extinció i els elements de simetria òptica, el portà a llur mètode de l'*extinció característica*, les relacions de NIKITIN sobre la birrefringència li han permès deduir llur mètode de la *relació característica de retards*, fent molt més generals les fórmules de MALLARD.

La *relació característica de retards* d'una secció de la zona d'un eix de l'el·lipsoide permet deduir en la representació gràfica de l'equació deduida per BEREK totes les constants de l'el·lipsoide: l'angle dels eixos òptics, el caràcter de la birrefringència i l'orientació dels eixos.

Segons BEREK aquest mètode és el més aventatjós dels mètodes universals per l'exactitud dels resultats i la diversitat de dades que ofereix.

En llur darrera obra: *Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtisch* desenrotlla completament aquest novíssim mètode.

La manera de procedir és:

1. Localització d'un eix de l'el·lipsoide en coincidència amb l'eix I de FEDOROW.
2. Determinació del caràcter òptic de l'eix I.
3. Determinació de la *relació característica de retards*: a) determinació del retard de diverses seccions de la zona I formant amb l'eix de l'el·lipsoide angles $\alpha_1 = 0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 40^\circ$; b) determinació dels angles d'inclinació d'aquelles seccions; c) reducció dels retards observats als corresponents a l'espessor del mineral; d) cocient dels *retards auxiliars* reduïts per el de la secció normal a l'eix de l'el·lipsoide indicat.
4. Determinació de la característica òptica: a) angle dels eixos òptics; b) caràcter de la birrefringència; c) orientació dels eixos de l'el·lipsoide.

Quan no és possible fixar la posició d'un eix de l'el·lipsoide contingut en el pla de simetria normal a l'eix I BEREK dibuixa la *curva dels retards reduïts* que permet l'investigació.

Com fa notar l'autor, partint de la primera coordenada α_1 d'un pla es pot fixar la següent α_2 , que precisa la posició d'altre; els dos donen el tercer eix i el pla normal.

INVESTIGACIÓ INDUCTIVA DE L'EL·LIPSOIDE

MÈTODE DE LA RELACIO CARACTERISTICA DE RETARDS

(MÈTODE DE BEREK)

SECCIONS EXAMINADES	Angles ψ Sf Sa	POSICIÓ de les seccions I - (I') $\alpha_1, \alpha_2 (\alpha'_2)$	Angle φ d'inclin. òptic en el mineral	Signe de I	VALORS DELS RETARDS					RELACIÓ CARACTERÍSTICA DE RETARDS $\frac{\Delta\psi}{\Delta_0}$	SIGNES ÒPTICS DELS EIXOS I ORIENT.			ANGLES dels EIXOS 2V i SIGNES ÒPTICS	OBSERVES.	
					Color de polarització	Divis. del compensador	Suma	Forma	Retard. observ. Δ		Retards reduïts $\Delta \cos \varphi$	π_0	π_1			π_{90}
Secció fonam. Sf	0° =	- 370	α							1240	—	α	β	γ	—	Dades de BEREK.
Seccions auxiliars Sa	10° =															
	20° =															
	30° =	- 70								825	0,665				+ 60°, 40°	COS
	40° =															
	50° =															
	60° =	+ 23°								45	0,036				+ 63, 6°	COS
70° =																
80° =																
90° =	+ 53°									500	0,403			+ 64, 8°	COS	

VIII

**Investigació de l'allargament i de l'orientació de
l'el·lipsoide en el cristall.**

Tenint present les cares més desentrotllades o la tendència a un allargament, el caràcter d'ell es determina directament, conegut que sigui el signe, que es pot llegir en la projecció.

Allargament: *positiu.*

En la mateixa projecció es pot deduir la posició dels diversos plans de l'el·lipsoide i llurs eixos respecte a les cares o plans projectats, podent-se determinar les coordenades respectives.

Aquesta constant està íntimament lligada a la simetria del cristall, essent de gran importància llur determinació.

**DETERMINACIÓ DE L'ORIENTACIÓ
DE L'EL·LIPSOIDE**

ELEMENTS DE L'EL·LIPSOIDE	Elements del cristall	Angles	OBSERVACIONS
Bo (α)	[001]	43°	

IX

Investigació de la singònia del cristall.

Amb la sèrie de dades obtingudes, la deducció del sistema cristalí pot ésser fàcilment feta, relacionant les observacions dels elements geomètrics del cristall amb els òptics.

Singònia del cristall: *Sistema monoclinic.*