

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Minería

Estudio Microscópico de Minerales

TESIS DE GRADO

**Para optar el Título de
INGENIERO DE MINAS**

J. RAMON QUIROZ SANCHEZ

Promoción Ing. Morales Macedo

LIMA - PERU

1960

DEDICATORIA

A mi Madre y Hermanos
con todo cariño,
quienes con sacrificio y sin
desmayos, han hecho posible la
culminación de mis estudios.

A G R A D E C I M I E N T O

Mi más sincero agradecimiento a todos los Catedráticos de la Facultad de Minería por las enseñanzas que de éllo he recibido.

Al personal técnico del departamento de Geología y en especial al Jefe de Geólogos: Ing° U. Petersen B., y al Dr H. W. Kobe, quienes me proporcionaron la más generosa ayuda a la realización de este estudio.

Al Dr. Rudolf Foster por su orientación técnica en lo referente a Granulometría Microscópica, aplicada al beneficio de minerales.

Finalmente mi agradecimiento a todos aquellos que colaboraron en la feliz terminación y mejor presentación de esta tesis.

I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo, fruto de una feliz experiencia obtenido en las Practicas Vacacionales realizados en el Laboratorio Petrológico y Petrográfico del departamento de Geología de Oroya, durante los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril del año 1958, ha sido elaborada gracias a la ayuda prestada por la Cerro de Pasco Corporation.

Al poner en consideración de los Señores Miembros del Jurado, el contenido intergrade este estudio, no quiero significar que constituye un estudio completo en lo referente a microscopía mineral, por ser éste un problema muy complejo que requiere el concurso de una gran experiencia en el análisis y precisión en la observación así como practica en el manejo cuidadoso del microscopio y sus aditamentos.

Sin embargo, pienso que puede constituir una pequeña contribución al micro-conocimiento de los minerales muy útil en la clasificación de rocas ígneas, estudio que abarca el campo del Geologo - Petrologo.



I N D I C E

Capitulo I

FISICA MINERAL

1.- Propiedades físicas de los minerales:		
Peso Especifico.....	pag.	1
2.- Propiedades Opticas de los minerales:		
Delineamiento de algunas propiedades ópticas.	"	2
3.- Principales propiedades ópticas:		
1). Formas de los cristales en sección.	"	3
2). Clivaje y Parting.	"	4
3). Índice de Refracción. Determinación.	"	6
4). Color de los minerales en sección	"	8
5). Pleocroismo.	"	9
6). Colores de Interferencia.	"	10
7). Angulos de Extinción. Su medida.	"	11
8). Birrefringencia en los minerales.	"	12
a.- Determinación de la birrefringencia.	"	12
b.- Determinación del espesor de la...	"	13
c.- Birrefringencias anormales.	"	14
9). Angulo óptico.	"	14
10). Caracter óptico:..	"	15
11). Figuras de Interferencia.	"	17
De cristales uniaxiales..	"	17
De cristales Biaxiales..	"	21
12). Propiedades ópticas de los minerales según el sistema en que cristalizan..	"	25

Capitulo II

MINERALES EN ROCAS IGNEAS

1.- Introducción.	"	27
2.- Secciones delgadas de minerales.	"	28
3.- Representación triangular		
4.- Minerales en rocas igneas. Clasificación.	"	30
1.- Grupo: Cuarzo..	"	32
5.- Grupo: Feldespatos..	"	35
Plagioclasas..	"	40

Grupo: Feldespatoides..	pag.	43
<u>Minerales ferromagnesianos...</u>	"	48
Grupo: Micas..	"	48
Grupo: Anfiboles..	"	52
Grupo: Piroxenos..	"	59
Turmalina..	"	70
Berilo.	"	71
Melilita..	"	72
Grupo: Olivinos..	"	73
<u>Constituyentes accesorios: ...</u>	"	78
Grupo: Granates..	"	78
Grupo: Epidota.	"	81
Zircón...	"	87
Titanita ó Esfena...	"	88
Vesuvianita...	"	89
Cianita ó Distena.	"	90
Topacio...	"	91
Estaurolita...	"	92
Andalucita...	"	94
Grupo: Fosfatos..	"	95
Fluorita..	"	97
Axinita...	"	97
<u>Constituyentes Secundarios</u>		
Clinocloro..	"	99
Antigorita..	"	100
Crisotilo..	"	101
Talco...	"	102
Caolín...	"	103
Montmorillonita..9	"	104
Pirofilita, Halocita.	"	105
Cordierita.	"	106
Sillimanita...	"	107
Grupo: Zeolitos...	"	109
Grupo: Carbonatos...	"	110 B
Grupo: sulfatos...	"	110 E

5.- Algunos reports de analisis de minerales en sección.

Capitulo III

ROCAS IGNEAS

1.- Clasificación de rocas igneas.	pag.	111
2.- Algunas clasificaciones mineralógicas cuantitativas...	"	113
3.- Clasificación Mineralógica Cuantitativa de "Johannsen"	"	115
Estudio del Sistema de Clasificación.	"	116
Nomenclatura en este Sistema.	"	122
4.- Reglas para la clasificación de rocas igneas por este Sistema.	"	123
Observaciones Importantes.	"	126
5.- Tablas de Clasificación de Johannsen.	"	127
6.- Observaciones a las tablas de Clasificación.	"	128
7.- Ejemplos con el uso de las tablas de clasificación.	"	128
8.- Representación gráfica de rocas.	"	133
9.0 Medida de volúmenes.	"	134
10.- Algunos reports de análisis de rocas.	"	

Capitulo IV

ROCAS IGNEAS (continuación)

1.- Grados de Cristalización.	"	135
2.- Cristalitos	"	136
3.- Microlitos.	"	138
4.- Esqueletos de cristales.	"	138
5.- Esferulitos y Litopbza	"	139
6.- Deformación de cristales.	"	139
7.- Desarrollo zonal.	"	140
8.- Texturas y estructuras microscopicas.	"	141
a.- Textura granular.	"	142
b.- Textura porfirítica.	"	143
c.- Textura micrográfica.	"	144
d.- Textura ofítica y diabásica.	"	145
e.- Otra texturas similares,	"	145

f.- Textura pilotaxíticas.	pag. 146
g.- Textura traquítica.	" 146
h.- Textura microlítica.	" 147
i.- Textura bostonítica.	" 147
j.- Textura fluidal.	" 147
k.- Textura poikilitica.	" 147

Capitulo V

MINERALES OPACOS

1.- Introducción.	
2.- Estudio de minerales opacos: briquetas.	" 148
3.- Superficies pulidas de pirita.	
4.- Tablas para la determinación de minerales opacos: Descripción.	" 150
5.- Cuadros de propiedades ópticas de algunos minerales opacos analizados en el Laboratorio de la Oroya. Cerro de Pasco.	
6.- Briquetas de concentrados: su estudio.	" 153
Tipos importantes de enlaces de minerales en menas.	
Reports de analisis de concentrados.	
7.- Tamaños de molienda de minerales.	" 156
8.- Granulometría microscopica.	
9.- Tamaños de liberación.	

CAPITULO I

FISICA MINERAL

1.- PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES .

El estudio y conocimiento de estas propiedades que constituyen importante parte de la Mineralogía General, conocido por muchos autores como Física Mineral, tiene gran interés incluso en la mineralogía mas elemental, porque sirven para reconocer las especies, para determinar y clasificar los minerales.

PESO ESPECIFICO .

Es de gran importancia, como se comprenderá mas tarde, porque complementa el estudio de las propiedades ópticas de los minerales, y es la relación entre el peso de un volumen del mineral y el del mismo volumen de agua destilada a 4°C.

En la práctica rara vez se refiere a esta temperatura, si no a la ordinaria de los laboratorios, porque la diferencia es tan pequeña que no influye demasiado, salvo en los casos en que necesita gran precisión.

Son varios los medios para determinar el peso específico de los minerales, siendo el mas importante el que utiliza el picnómetro, conocido también como método del frasco.

El peso específico por este método se obtiene mediante la fórmula:

$$P.e. = \frac{P}{M + P - P'}$$

en la cual:

P = peso del mineral en el aire

M = peso del frasco lleno con agua hasta la línea de enrase.

P' = peso del frasco lleno con agua hasta la línea de enrase y con el mineral dentro.

DUREZA .

Esta propiedad es útil al mineralogista principalmente cuando se trata de secciones pulidas de minerales opacos, no así cuando se analiza secciones delgadas.

La observación se hace entre nicoles paralelos, estableciendo comparaciones entre las rayas trasadas en minerales vecinos, considerando la siguiente selección: minerales "blandos", "medios" y "duros", de acuerdo a la escala de Mohs, cuyos límites para estos rangos de dureza son: de 1 á 3, de 3 á 5 y por encima de 5.

2.- PROPIEDADES OPTICAS .

DELINEAMIENTO DEL ESTUDIO DE ALGUNAS PROPIEDADES OPTICAS.-

El objeto del estudio de las propiedades características que se observan bajo el microscopio ha proporcionado una serie de datos para identificar los minerales componentes de una roca y así poder determinarla dentro de una clasificación que la mostraremos posteriormente.

Este estudio lo podemos sintetizar así:

OBSERVACIONES CON LUZ ORDINARIA

- 1º.- Investigación de formas características, tales como formas cristalinas, matrices (cristalitos), color, clivaje, dureza, etc.
- 2º.- Determinación del relieve y por consiguiente del índice de refracción.

OBSERVACIONES CON NICOLES PARALELOS

- 1º.- Determinación del índice de refracción promedio relativo con respecto a medios o líquido de inmersión por el "método de Becke" o "Línea de Becke".
- 2º.- Observación del pleocroísmo.
- 3º.- Color del mineral.
- 4º.- Observación de algunas inclusiones, en forma y ordenamiento

OBSERVACIONES CON NICOLES CRUZADOS

- 1º.- Colores de interferencia y evidencia de maclas.
- 2º.- Estudio del ángulo de extinción, total o parcial; paralela, simétrica o inclinada.

- 3°.- Medida del ángulo de extinción.
- 4°.- Angulo óptico de cristales.
- 5°.- Estudio del carácter óptico de minerales.
 - a) Minerales isotrópicos (extinción total)
 - b) Minerales anisotrópicos:
 - Cristales uniaxiales
 - Cristales biaxiales
- 6°.- Determinación del espesor de la sección, mediante el conocimiento de la birefringencia o viceversa.

OBSERVACION CON LUZ CONVERGENTE Y LUZ POLARIZADA

- 1°.- Determinación de figuras de interferencia de cristales uniaxiales y biaxiales.
- 2°.- Determinación del carácter positivo o negativo mediante el uso de láminas de cuarzo, mica o yeso sobre las figuras de interferencia de cristales uniaxiales y biaxiales

3

3.- PRINCIPALES PROPIEDADES OPTICAS .

- 1°.- Determinación de la forma de cristales en sección.

En secciones delgadas de roca sólo se observan cortes de cristales mas o menos distorsionados que dependen no solamente de la forma del cristal sino también de la dirección en que se realiza el corte, sin contar el hecho de que secciones de la misma apariencia puedan obtenerse por cortes de cristales totalmente diferentes. Sin embargo, a pesar de estas dificultades es posible, por comparación de un número de secciones delgadas de la misma roca, determinar la forma de los cristales.

De acuerdo a la dirección de corte, un cubo por ejemplo seccionado paralelamente a una cara forma un cuadrado, una truncadora sobre un ángulo sólido forma un triángulo, y si el corte es paralelo a un diedro pasando por el centro, formará un exágono. De la misma forma pueden obtenerse de cristales bien diferentes formas similares, así un exágono no solamente se obtiene de un cubo, sino también seccionando un octaedro o un dodecaedro rómbico siguiendo la misma dirección cristalográfica, o bien cortando un prisma o una pirámide exagonal, perpendicularmente a su eje vertical

Si en secciones delgadas de rocas, como ya dijimos, se constata la presencia de algunos cristales de un mismo mineral, la comparación de diversas secciones poligonales

permitirá formarse una idea del sistema que le corresponde al cristal, y si por procedimientos ópticos o por otros medios podemos determinar aproximadamente la dirección cristalográfica, reconoceremos cuales son las caras representadas por los diferentes cortes del cristal.

Tratándose de minerales accesorios, cuando ocurren como sedimentos detríticos, pueden retener su forma cristalina, como sucede con el zircon, los cuales, cuando son cortados, lo hacen a lo largo de su cara de desarrollo o de clivaje, proporcionando así la posibilidad de reconocer el eje cristalográfico. De acuerdo a su forma original (accesorio) y a la dirección de facilidad de rotura, por su clivaje, la forma de un fragmento es:

- a).- Prismático, ejemplo: zircon, sillimanita, apatita, turbalina, etc.
- b).- Tabular, ejemplo: micas, yeso, feldespatos (plagioclasas).
- c).- Granular a irregular, ejemplo: cuarzo, granate, estaurolita, epidota, ilmenita, etc.

Estas formas no siempre tiene carácter dogmático, sin embargo cuando se trata de formas prismáticas o tabulares, permiten el estudio de otras propiedades ópticas con cierta precisión y facilidad para el fin que se persigue.

2º.- CLIVAJE Y PARTING .- Depende del sistema del cristal y de la naturaleza del mismo.- Esta propiedad de los minerales observada con luz ordinaria, se desarrolla en direcciones características.- En sección delgada un mineral que posee clivaje, ésta se presenta como líneas de dirección de mínima cohesión, las hendiduras o grietas que se observan como líneas paralelas, son trazas de planos de clivaje. Si un mineral no posee clivaje, las líneas que representan esas grietas o hendiduras son irregulares y quebradas.

Un clivaje es "perfecto" cuando las líneas son rectas, largas e ininterrumpidas, como suceden con cristales de mica, fluorita, etc.

Si la línea de clivaje es interrumpida, aunque no en forma continua, se dice que existe clivaje "bueno", porque muestra separación aunque siempre siguiendo la misma dirección, como sucede con hornblenda, augita, ortosa, etc.

Un clivaje es "pobre" cuando se presente bastante irregular a lo largo de la traza, como sucede con cristales de olivino.

El clivaje "pinacoidal" es bien desarrollado solamente en una dirección, como lo muestra las secciones de mica.- El clivaje "prismático" es por lo general paralelo a dos direcciones, como en piroxeno y anfíboles.

Clivaje en una dirección.- Muchos minerales solo tiene clivaje en una sola dirección, entre ellos, muscovita y topacio, que en secciones delgadas aparecen como líneas paralelas espaciadas moderadamente. Si los planos de clivaje son paralelos a la sección, no aparecen dichas líneas y entonces da la sensación de la no existencia de clivaje.

Clivaje en dos direcciones .- El grupo de piroxeno y anfíboles son muestra de minerales que desarrollan dos direcciones de clivaje; sin embargo, ambos grupos diferencian por la amplitud del ángulo de clivaje, que en conjunto forman el clivaje prismático.

Las dos direcciones de clivaje pueden formar un ángulo de 90° en cristales ortorómbicos y tetragonales.

Clivaje de tres direcciones.- Este tipo de clivaje varía mucho, la mas simple es la paralela a las faces de un cubo. Secciones con este tipo de clivaje, presentan formas triangulares y cuadradas, como se observa en la fig.1

Clivaje romboedral es uno de los tipos mas comunes entre los carbonatos, se observa frecuentemente con apariencia en forma entrecruzada, presentando el cristal plano de clivaje penetrantes en la sección. Este tipo de clivaje es generalmente obtenido por roturas paralelas a varias direcciones en cristales del sistema ortorómbico, monoclinico y triclinico.

Clivaje en cuatro direcciones.- El clivaje de este tipo es paralelo por lo general a las caras de un octaedro produciendo una apariencia triangular, como sucede con cristales de fluorita. El diamante tambien a menudo presenta este tipo de clivaje.

Clivaje en seis direcciones.- La esfalerita es uno de los pocos minerales con clivaje paralelo a seis diferentes direcciones de un dodecaedro.

Cuando en algunos minerales ocurre una fractura paralela a una dirección pero que no representa ninguna traza de un plano de clivaje, se dice que tiene "Parting", o líneas

de debilitamiento, como ocurre en cristales de apatita y en los piroxenos como augita, hedenbergita, aegirita, etc.

3.- INDICE DE REFRACCION.

Cuando los rayos de luz, encuentran a su paso un cuerpo transparente lo atraviezan, constituyendo esta propiedad la Refracción, en la cual el rayo refractado forma cierto ángulo, llamado ángulo de refracción, con la normal a la superficie sobre la que incide el rayo, ángulo que es distinto al de incidencia, porque sufre desviación o hay cambio en la dirección de propagación de la luz, por variar la velocidad con que se propaga en el medio mineral. La relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción que es constante es lo que se denomina Índice de refracción (N).

Dentro de este estudio es importante el conocimiento de la propiedad conocida como "Relieve", que se presenta como elevaciones o depreciones de ciertos minerales sobre un plano de sección, debido a la diferencia en sus índices de refracción, dicho en otras palabras, existen ciertos minerales que se presentan en alto relieve. Probablemente los rayos de luz provenientes de la superficie inferior de los minerales en sección delgada, aparecen como viniendo de los puntos de intercepción de los rayos refractados, Fig. 2, por consiguiente, los minerales que tienen un índice de refracción alto aparecen en alto relieve sobre los otros.

Si sobre una sección delgada de un mineral cualquiera colocamos una gota de un líquido con un índice de refracción igual a la del mineral, se observa que todo relieve o rugosidad en la superficie desaparece, desde que no se produce ni reflexión ni refracción, y luz atravieza la superficie de contacto sin sufrir ninguna deflección. En cambio, si el índice es mayor o menor, aparece un relieve que se pone de manifiesto por un sombreado alto relieve.

En conclusión, el relieve depende de la diferencia de los índices de refracción del líquido de inmersión y de la sustancia y no al hecho de que el medio de inmersión tenga alto o bajo índice, sin embargo también puede suceder que el relieve depende o resulte de inclusiones, productos de alteración, clivaje, fracturas internas, absorción o transmisión de luz.

En la Fig. 3, se da una idea de lo que representa el relieve en las secciones delgadas.

DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION DE UN MINERAL.

En general existen diversidad de métodos para determinar los índices de refracción de un mineral, en esta tesis solo haremos mención de una de usadas e importantes tal es el conocido como método de "Becke Line"

Se basa en la inmersión de un pequeño cristal de mineral en un líquido de índice de refracción diferente, lo cual produce un fenómeno característico en la superficie de contacto, fenómeno que fué observado y estudiado por Becke.

Ello consiste en que, en el contacto de dos sustancias de diferente índice, observadas al microscopio, con nicoles paralelos, aparece una línea definida rodeando la sección del cristal, además del propio límite de ésta. Pero lo más importante de esta línea es que, cuando se sube o se baja el tubo del microscopio ligeramente, ésta que al comienzo de la operación está confundida con el borde del cristal, se desplaza fuera o dentro del mineral, como una línea concéntrica. El desplazamiento de esta línea de contorno, siempre es en el sentido de la sustancia de mayor índice, es decir que si el medio en el cual está sumergido el mineral, tiene un índice superior, al producirse la elevación del tubo del microscopio, la línea que se conoce con el nombre de "Línea de Becke" se desplaza hacia afuera del mineral, y según va apartándose va engrosando hasta desaparecer, si nuevamente bajamos el tubo, esta línea aparece se torna definida, para que al final se confunda con el contorno del cristal.

Este fenómeno depende de la total reflexión de los rayos incidentes cuando pasan de un medio denso a otro menos denso. Consideremos dos sustancias, de índices n y N , Fig 4 separadas por un plano de contacto vertical, además suponemos N mayor que n , como observamos en la figura, parte de la luz en los rayos 1 y 2, pasan a través del medio de índice n y son refractados por el plano de contacto, pasando después al otro medio, y parte de los rayos 3 y 4, son reflejados en el mismo medio. El efecto es una concentración de luz encima del contacto en el lado de mayor índice de refracción

Una de las aplicaciones prácticas de este método, es determinar cual de dos sustancias o minerales en sección adyacentes, tiene mayor índice de refracción. Por lo general de uno de los minerales en comparación se conoce su índice y por tanto la relación del otro con él se obtiene. Si dos sustancias son conocidas, teniendo una un índice de refracción

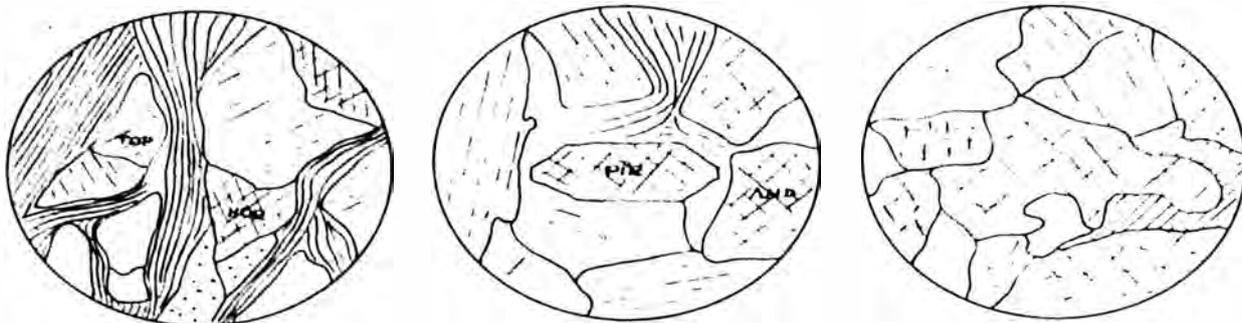


Fig.# 1.- Secciones mostrando diferentes clases de clivaje.

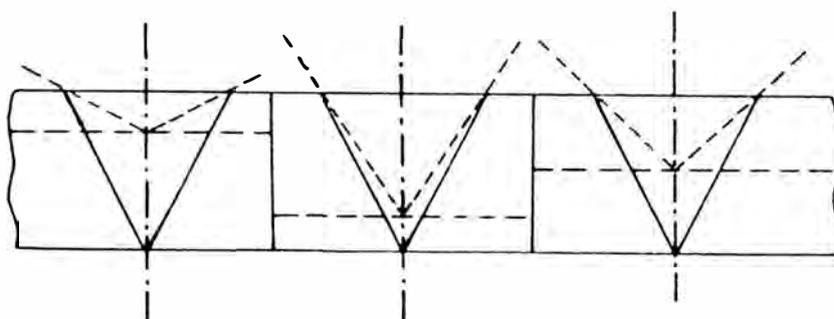


Fig.# 2.- Interpretación del alto relieve en los minerales.

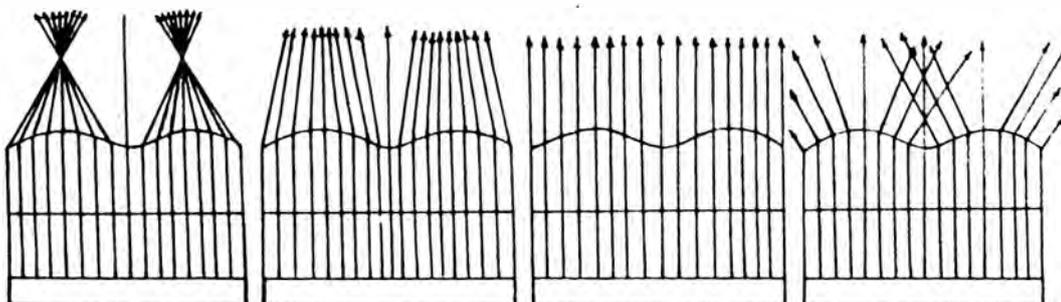


Fig.# 3.- "Relieve", concentración de la luz encima del contacto en el lado de mayor índice de refracción.

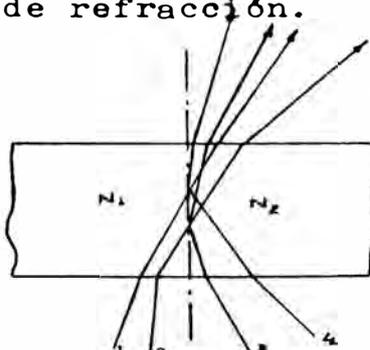


Fig.# 4.- Explicación del efecto de la figura anterior.

Alto, y la otra baja en comparación con un tercero que es desconocido, se podrá establecer límites definidos para el desconocido.

La medida de los índices de refracción en cristales anizotrópicos (en dos direcciones), y su comparación con los índices de refracción de alguna sustancia conocida, fué aplicada por Becke, para determinar principalmente los feldspatos con buenos resultados. Dentro de éstas, las plagio-clasas han sido determinadas como veremos en su oportunidad.

Una de las sustancias que bien se usa, por lo conveniente que resulta al establecer comparaciones es el balsamo de Canadá, sustancia amorfa, aunque de índice no siempre constante, variando principalmente con el calor y tiempo de la sección delgada especialmente si hay acceso de aire. Sin embargo esta variación es infima que no siempre se toma en cuenta, salvo cuando el índice a determinar cae entre los límites de variación del índice del balsamo, entonces es necesario determinaciones mas aproximadas.

Existen además una serie de Medios de comparación, cuyos índices se conocen de antemano, en los cuales se van de sitando los minerales desconocidos (principalmente minerales reducidos a polvo), con el fin de estrechar cada vez más los límites de variación del índice de esta sustancia desconocida, y así mediante el uso de tablas de índices de refracción, determinar el nombre de la sustancia y sus verdaderos valores máximo y mínimo del índice de refracción. Por supuesto que la identificación del mineral mediante la determinación del índice esta auxiliado por otras propiedades ópticas que iremos estudiando en el curso de esta tesis.

Como nomenclatura para especificar los índices de refracción, usamos la empleada por muchos autores que consideran: Ng como índice máximo, Nm índice medio, Np índice mínimo y No como índice con luz ordinaria.

4.- COLOR DE LOS MINERALES EN SECCION.

Esta propiedad puede ser observada tanto con luz ordinaria como con luz polarizada con nicols paralelos.

Con luz ordinaria los minerales (excepto los opacos) son: "Idiocromáticos" y "Alocromáticos". La primera es debida a una propiedad innata en el mineral llamada poder de absorción de luz. Si un cristal posee este poder de absorción de luz para una cierta longitud de onda y no en cualquier dirección, se dice que posee Dicroismo, y cuando la absorción

6/7 COLORES DE INTERFERENCIA.

Esta propiedad de algunos minerales, (anisotrópicos) son observados con nicoles cruzados.

Un particular color de interferencia depende:

- a.- Del espesor de la sección.
- b.- De la orientación del corte de la sección u orientación del fragmento.
- c.- De la birrefringencia del mineral, (diferencia entre índices de refracción máximo y mínimo).
- d.- De la naturaleza de la luz.

Generalmente para el estudio de un mineral se usa el máximo color de interferencia, la cual se observa en las secciones que poseen la máxima diferencia de índices de refracción ó máxima diferencia de haces producidas por doble refracción.

Los máximos colores de interferencia estan tabulados en diagramas especiales, como el que se observa en la figura # 5, donde el orden de éstos máximos colores se estiman mediante el uso de placas o cuñas de cuarzo o cualquier otro aditamento compensador del microscopio.

Las sustancias isotrópicas, en general no muestran colores de interferencia, en cambio las sustancias anisotrópicas, si lo hacen siendo éste máximo cuando la sección son orientadas de tal manera que las ondas de luz polarizada que atravieza al sección son las ondas con el máximo y mínimo índice de refracción.- Hay sustancias, no obstante de ser anisotrópicas que presentan un color gris oscuro o negro, durante la rotación del microscopio, esto significa que tales secciones han sido cortadas perpendicularmente al eje óptico.

Existe además una cierta relación entre los colores de interferencia y la posición de extinción, de los cristales en lo que respecta principalmente a que al rotar la platina del microscopio, los colores de interferencia en muchos granos, se vuelven oscuros cuatro veces (otras dos); correspondiendo esta posición de opacameinto a la extinción del mineral, de la cual nos ocuparemos más de talladamente en el título correspondiente.

Los colores de interferencia normales, resultan cuando una sustancia es isotrópica para una longitud de luz, y anisotrópica para otra.- Los granates, leucita, etc, algunas veces muestran estos fenomenos de anomalía.

7.- ANGULOS DE EXTINCION.

Cuando la dirección de las vibraciones principales de un cristal coinciden con los nicoles del microscopio, la luz desaparece y el campo se vuelve oscuro, este momento se llama "Posición de Extinción" y ocurre por lo general en una rotación de 360°.

En cristales isotrópicos y en secciones basales de cristales anisotrópicos uniaxiales, permanece igualmente oscura durante la rotación de la platina del microscopio, pero ésta oscuridad es ya completa, debido en primer lugar a la facilidad de vibración de la luz en cualquier dirección.

En secciones perpendiculares a la base, ocurre una doble refracción, y el campo oscurece solamente cuando la traza del plano basal y la dirección perpendicular a él son paralelas a la cruz del campo del microscopio, porque en los cristales uniaxiales son paralelos el eje de vibración principal y el eje cristalográfico, y esta extinción tiene lugar solamente cuando el eje cristalográfico es paralelo a la cruz ocular.

En secciones inclinadas entre las dos anteriores, el campo se oscurece en la posición en que la traza del plano de la base, o el que contiene el eje cristalográfico es paralela a la cruz axial del campo.

Más especialmente, una extinción es paralela, cuando la dirección de vibración de la luz en el cristal, coincide con los lados del mismo clivaje o planos de macla; Simétrica, cuando la posición de extinción coincide con el clivaje prismático, y Asimétrica o Inclinada, cuando esta posición de extinción bisecta los ángulos entre dos lados, dos clivajes ó dos planos de macla, Fig. # 6.

Los cristales del sistema ortorrómbico, tetragonal, romboédrico y exagonal, poseen extinción paralela; los del sistema monoclínico y triclínico, poseen extinción inclinada y también simétrica; y los del sistema cúbico y amorfo, son isotrópicos.

MEDIDA DEL ANGULO DE EXTINCION.

Para conocer la simetría óptica, y con ella la geométrica de los cristales cortados, es siempre necesario conocer los ángulos que forman las direcciones de extinción con los bordes del cristal o las líneas de exfoliación ó cruceros. Para medir estos ángulos se coloca la lámina delgada de la pla-

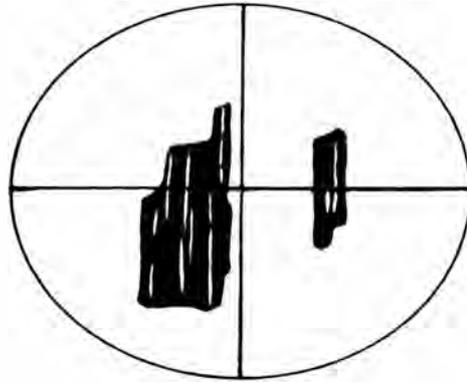


Fig 6.- EXTINCION PARALELA

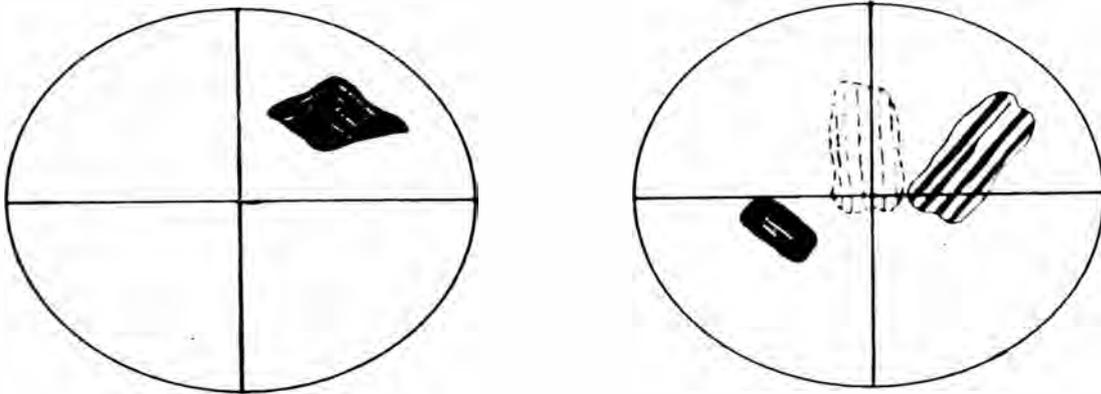


Fig 7.- EXTINCION SIMETRICA E INCLINADA

tina del microscopio entre nicoles paralelos, se hace coincidir el hilo vertical del ocular con la arista ó línea de cruce y se lee el número de grados en el vernier del microscopio, se cruza los nicoles, pudiendo suceder uno de los siguientes fenómenos: ó que la lámina aparece oscura en cuyo caso decimos que la extinción es paralela, ó que la lámina se presenta iluminada, y decimos que la extinción es inclinada, en este caso se gira la platina con cuidado hasta alcanzar el máximo de oscuridad y se lee entonces el número de grados que señala el limbo de la platina, la diferencia entre la primera y segunda lectura, nos dá el valor del ángulo de extinción que forma el borde la sección con la dirección de extinción.- Este proceso puede repetirse un gran número de veces, tomando despues un promedio de las lecturas hechas,

Tratandose de secciones delgadas de feldspatos en especial plagioclasas, se fija la posición de extinción gracias a la ayuda de las maclas Albita, Cañsbad o una combinación de éllas, Fig.# 8.

8.- BIRREFRINGENCIA EN LOS MINERALES.

La birrefringencia se mide como la diferencia entre los índices máximo y mínimo de una sustancia.

Así, en los cristales uniaxiales es la diferencia numérica entre el índice máximo N_w y el mínimo N_e , lo mismo sucede en cristales biaxiales en los cuales nos se considera el índice medio.

Tambien esta propiedad puede determinarse mediante el microscopio polarizante, para lo cual conociendo el espesor de la lámina, se observa el color más bajo y el más alto de polarización en diversas sustancias de distinta orientación ya que como indicamos el valor de la birrefringencia es la diferencia entre la máxima y mínima refringencia.

En la figura # 5, presentamos una tabla con su correspondiente escala de colores para el cálculo rápido y aproximado de la birrefringencia.

a.- DETERMINACION DE LA BIRREFRINGENCIA.

Para la determinación gráfica de esta propiedad con sus valores, se usa la tabla de la figura # 5 o cuadro de Michel-Levy, que muestra las relaciones entre el espesor, birrefringencia y colores de interferencia.- En estas tablas las abci

Las representaciones muestran los valores de la birrefringencia en millonésimos de milímetro, con colores tan estrechamente ligados como es posible al incremento de retardación. Esto significa que los colores de interferencia en este eje van a ir incrementando su intensidad de izquierda a derecha, estando en la izquierda los más tenues; en las ordenadas de estas tablas, están presentes los espesores de la sección expresado en micrones ó milésimos de milímetro. Las líneas diagonales representan las retardaciones producidas por los diferentes espesores de la sección.

Para determinar la birrefringencia de un mineral, se procede a determinar el espesor de la sección, usando principalmente entre otros métodos, el máximo color de interferencia de un mineral conocido, de birrefringencia conocida, que esté lo más cercano al fragmento desconocido, cuarzo por ejemplo tiene una birrefringencia igual a 0.009 y sus colores de interferencia a un espesor de 0.03 milímetros es gris claro o grisáceo, sin mostrar ninguna zona coloreada.

Conocido el espesor de la sección, se fija el color de la interferencia más fuerte del fragmento del mineral desconocido; este color lo comparamos con la del diagrama de Michel-Levy y mediante una vertical, por este color buscamos la intersección con la horizontal que marca el espesor; la diagonal por este punto indicará la birrefringencia del mineral desconocido. Así, si un mineral en una sección de espesor igual a 0.034 tiene un color azul del tercer orden, la diagonal en el punto de intersección es 0.035, valor de máxima birrefringencia para Humita y Olivino. Mediante otras características se determina que el mineral desconocido es Olivino.

b.- DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA SECCION

Esta determinación se hace en función del máximo color de interferencia de un mineral de birrefringencia conocida. Así, por ejemplo, en un granito, los fragmentos de cuarzo son fácilmente identificables debido a su elevada birrefringencia y si existen numerosos fragmentos, es probable que sea una sección paralela al eje óptico y su birrefringencia tenga el valor máximo de 0.009. Este valor está dado por una diagonal en el diagrama; se sigue esta diagonal en el diagrama hacia el ángulo cero, en su recorrido se intercepta con la vertical que marca el color de interferencia observado y la ho-

ESPESOR DE LA SECCION EN MILIMETROS

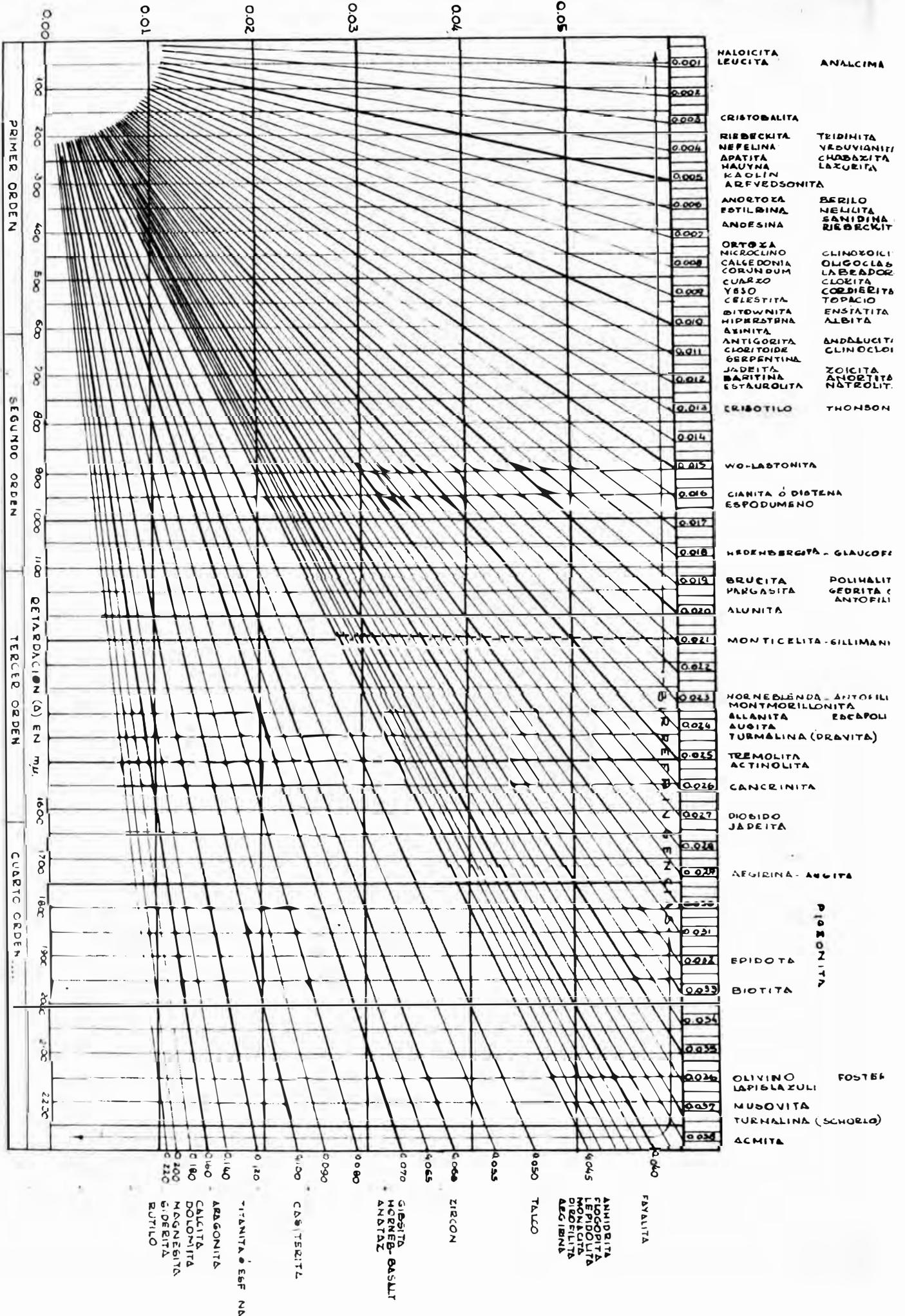


Fig. # 5. - TABLA DE COLORES DE INTERFERENCIA DE MINERALES COMUNES. (Michael-Levy)

rizantal pro este punto a la izquierda señala el espesor de la sección.- Igualmente en una sección de basalto que tiene fragmentos de Labradorita cuya máxima birrefringencia se sabe que es 0.008, si su máximo color de interferencia es un "paja débil" el espesor de la sección será 0.034.

c.- BIRREFRINGENCIAS ANORMALES.

Las birrefringencias anormales tienen una íntima relación con los colores de interferencia anormales, de manera que las causas que la originan son las mismas.

1.- Una causa de colores anormales es el hecho de que en ciertos minerales la birrefringencia es cero para determinadas ondas de luz (longitudes de onda) como sucede con la Melilita, (color azul anormal), Vesuvianita, Labradorita, etc.

2.- Otra causa de colores anormales de interferencia es que la luz de un sistema de iluminación no viaja estrictamente en dirección paralela y la retardación es deferente y parece una mezcla de colores de interferencia.

3.- Otra causa para estos colores anormales es la modificación producida por el color del mineral mismo, así la clorita cuando es verde oscuro, muestra un color de interferencia verdoso en lugar del azul normal, igualmente sucede con la biotita y la hornblenda que puede aparecer con color propio.

9.- ANGULO OPTICO

El ángulo óptico ($2V$), es el ángulo agudo entre los ejes ópticos de cristales biaxiales.- Puede relacionarse directamente a los índices de refracción y también al ángulo óptico aparente ($2E$).

Un método usual empleado en la determinación del ángulo óptico se basa sobre un examen de las figuras de interferencia.- El resultado sin embargo, no es completamente exacto, y se usan aparatos especiales que consideran que las figuras de interferencia no se presentan en superficies planas sino en superficies curvadas y por tanto imposible de dirigir la visual hacia el centro y los lados al mismo tiempo.

El método consiste en estimar la distancia entre isogiras de una figura de interferencia en posición diagonal ó apreciación de la curvatura de las isogiras de una figura con el eje óptico central.

10.- CARACTER OPTICO.

Dentro de esta propiedad de los minerales voy a considerar: Isotropismo, Anisotropismo y los ya estudiados: birrefringencia y colores de interferencia.

Un cuerpo es transparente, cuando una cierta cantidad de luz es ligeramente observado por el cuerpo sea cual fuera la longitud de onda.- Si esta absorción no es uniforme el cuerpo aparece coloreado u si la absorción es muy grande que no deja pasar la luz, entonces el mineral es opaco.

a.- SUSTANCIAS ISOTROPICAS.

Son aquellas en que la luz viaja con igual velocidad en cualquier dirección, esto significa que la absorción para cualquier color es igualmente la misma en cualquier dirección.

Estas sustancias, si son atravesadas por un rayo de luz, tanto el rayo como la onda de luz, tienen una misma dirección y son perpendiculares al frente de ondas.

Con luz polarizante, una sustancia isotrópica es completamente oscura en cualquier posición de la platina del microscopio.

b.- SUSTANCIAS ANISOTROPICAS.

En estas sustancias, la luz viaja con diferente velocidad en diferentes direcciones, como sucede en cristales del sistema tetragonal, exagonal, ortorrómbico, monoclinico y triclínico.- Estas sustancias en que las velocidad varía con la dirección, un rayo de luz no tiene el mismo sentido que su onda, ni la misma dirección, pero, la onda de luz sigue siendo normal al frente de ondas.

Los cristales anisotrópicos presentan doble refracción es decir que la luz viaja a travez de él se divide en dos rayos que vibran mutuamente perpendiculares entre sí, dependiendo su velocidad del respectivo índice de refracción.

Estas sustancias comprenden:

A).- Cristales Uniaxiales.- De los rayos de luz en que queda dividido la luz al atravesar una sustancia anisotrópica como resultado de la doble refracción, uno vibra con igual velocidad en cualquier dirección llamado: Rayo Ordinario, cuyo índice de refracción es w ; el otro vibra con diferente velocidad en cualquier dirección llamado Rayo Extraordinario, cuyo índice de refracción es e ; estos dos rayos coinciden solo en una dirección o eje principal a lo largo del cual no exis

te doble refracción, o sea que son Monorefringentes, porque los valores de w y e , son iguales.- Este eje principal se conoce con el nombre Eje de Isotropía ó Eje Optico, que por lo general es paralelo al eje cristalográfico en este tipo de cristales.

Concluyendo, los cristales uniaxiales son aquellos que poseen un solo eje de birrefringencia o un solo eje óptico en los cuales están confundidos los rayos ordinario y extraordinario produciendo el efecto de una refracción sencilla.

B).- Cristales Biaxiales.- En este tipo de cristales existen tres ejes de vibración o direcciones de vibración, que son perpendiculares entre sí, cuyos índices de refracción son N_g , N_m y N_p respectivamente.- La posición de estos ejes de vibración varía en los diferentes cristales, así en los del sistema ortorrómbico, los ejes de vibración coinciden con los ejes cristalográficos; en los del sistema monoclinico solo coincide uno, en cambio en cristales triclínicos no hay coincidencia de ningún eje.

Lo más importante de estos cristales es que poseen además dos ejes de birrefringencia o ejes ópticos, de allí el nombre de biáxicos.

Estos dos ejes al cortarse forman dos ángulos, uno agudo y otro obtuso cuyas bisectrices se denominan: Bisectriz Aguda y Bisectriz Obtusa respectivamente.- Por lo general estas bisectrices coinciden con dos ejes de vibración, con el máximo y mínimo índice de refracción.

c.- SIGNO OPTICO.

Entre los cristales uniaxiales se llaman positivos, a los que tienen el eje óptico mayor que el transversal, siendo este el de máxima elasticidad, y aquel el de mínima.- Dicho en otras palabras un cristal uniaxial es positivo cuando el índice de refracción del rayo extraordinario: e , es mayor que el índice de refracción del rayo ordinario: w , y negativos, en caso contrario esto es: e menor que w .

Así, la Ápatita con $w=1.638$ y $e=1.634$, es negativo lo mismo que Calcita con $w=1.658$ y $e=1.486$, en cambio cuarzo con $w=1.544$ y $e=1.553$ es positivo.

En secciones cortadas normalmente al eje óptico y observadas con luz polarizada en un solo plano (nicoles para-

lelos), los colores que se observan no varían desde que se deben al rayo ordinario, que como hemos visto tienen la misma velocidad en cualquier dirección, por tanto ellos tienen igual coeficiente de absorción y no importa que la platina del microscopio rote, permanecen inmutables.- En cambio cuando la sección es cortada oblicuamente, aparece una diferencia de colores, la cual va aumentando llegando a un máximo cuando la sección es paralela al eje óptico.

En los cristales biáxicos, se consideran como positivos, aquellos cuya bisectriz aguda coincide con la dirección del rayo de vibración lenta o de mínima elasticidad, cuyo índice de refracción es N_g , y negativo, aquel cuya bisectriz aguda coincide con la dirección de vibración rápida o dirección de máxima elasticidad o de menor índice de refracción: N_p .

Los siguientes son unos pocos ejemplos de cristales positivos y negativos.

Positivos (+)	Negativos (-)
Albita	Aragonita
Azufre	Axinita
Baritina	Epidota
Crisotilo	Hiperstena
Enstatita	Muscovita
Topacio.	Ortoza.

11.- FIGURAS DE INTERFERENCIA

Las observaciones hechas con luz convergente permiten el estudio de un fenómeno importante que auxiliado de otras propiedades, principalmente del índice de refracción, determina la naturaleza de un mineral desconocido.- Durante las observaciones con luz convergente se cruzan los nicoles, de tal manera que solo las sustancias anisotrópicas pueden ser analizadas.

FIGURAS DE INTERFERENCIA DE CRISTALES UNIAXIALES.- Si una sección delgada es observada con los nicoles cruzados, introduciendo dentro del microscopio la lente de Bertrand y colocando en su posición normal la lente convergente; el campo permanecerá uniformemente oscura si la sustancia es monorrefringente y aparecerá en él, si es uniaxial una figura llamada de interferencia, la cual es simétrica si el cristal ha sido cor

tado perpendicularmente al eje óptico, compuesto de anillos concéntricos negros y blancos atravesada por una cruz negra fija cuyo centro coincide con la del campo y cuyos brazos coinciden con la cruz axial del ocular, Foto # 3.- La distancia del cada anillo al centro de la figura de interferencia depende de la birrefringencia y también del espesor de la sección.- Cuando la doble refracción es fuerte, la muestra gruesa y el lente de convergencia de pequeño ángulo de conicidad los anillos se acercan al centro.

Las secciones simétricas también se obtienen en secciones basales de espesor uniforme, la variación del espesor por la irregularidad de los granos interfiere considerablemente en la interpretación de la figura.

SIGNO OPTICO DE CRISTALES UNIAXIALES.- Se consideran tres casos:

a.- Sección perpendicular al eje óptico.- Se trata de una sección paralela a la cara basal del cristal.- El número de anillos concéntricos (líneas isocromáticas) depende del valor de la doble refracción, Fot. # 1 y 6, de la abertura del condensador: Fot. # 2 y del espesor de la sección, como sucede si comparamos una figura de cuarzo con una de calcita, Fot. # 1 y 3.- El signo positivo y negativo se determina mediante el uso de placas o cuñas especiales como de mica, cuarzo y yeso que se colocan en el microscopio por encima del objetivo.

Placa de Mica.- Una vez determinada la figura de interferencia, introducimos una placa de mica de un $\frac{1}{4}$ de onda en dirección diagonal a la de vibración de los nicoles observándose que el centro de la cruz se separa en dos manchas o puntos también oscuros cuya posición dentro de los cuadrantes pone de manifiesto el signo del cristal.

Si al introducir la cuña de mica, en la dirección NW-SE con respecto a la cruz axial del campo del microscopio, la figura de interferencia aparece como la mostrada en la Foto # 4, el cristal es negativo; en él aparecen las dos manchas oscuras perpendicularmente a la longitud de la placa.- De idéntica manera si el cristal es uniaxial positivo, Fot. # 3, las dos manchas oscuras Fot. # 5, se presentan a lo largo o paralelamente a la longitud del aditamento de mica, Fig. # 9.

Placa de Cuarzo.- Si utilizamos una cuña de cuarzo en lugar de una de mica, observaremos un cambio progresivo debido al aumento constante del aditamento en forma de diedro.- El fenómeno

meno es sí consiste en un movimiento de los colores de interferencia hacia el centro de dos cuadrantes opuestos y hacia afuera en los otros dos.

Si la cuña de cuarzo tiene las mismas características mostradas en la figura 10, es decir la dirección de vibración lenta normal a su longitud, al introducirla en la dirección: NW-SE sobre la sección de un cristal uniaxial positivo, los colores se moverán apartándose del centro de la figura en los cuadrantes SE y NW, (cuadrantes que atraviesa la cuña) y acercándose al centro en los otros restantes.- En cristales uniaxiales negativos, la separación es en los cuadrantes perpendiculares a la dirección de introducción de la placa y la contracción en los cuadrantes restantes.- Si la cuña de cuarzo, tiene la dirección de vibración lenta paralela a su longitud las consideraciones antes dichas para cristales positivos y negativos suceden en forma inversa.

Placa de yeso.- Este tipo de placa es usada principalmente cuando el mineral posee baja refringencia, es decir cuando aparece en la figura de interferencia la cruz axial sin ningún anillo.- Si la placa usada es la que proporciona colores de interferencia del primer orden (rojo o violeta), al colocarla sobre la sección de un cristal uniaxial producirá cambios de color, debidos preferentemente al incremento o decremento de una determinada longitud de onda al de la placa de yeso.- Se ha comprobado que cuando este aumento es de un $\frac{1}{4}$ de onda, similar al de la placa de mica, el color rojo cambia a azul y si la disminución es en la misma cantidad se produce un cambio de rojo a amarillo dentro de los colores de interferencia del primer orden.- La cruz axial que no es influenciada permanece dentro del rojo de la cuña de yeso.- Así, si sobre la sección de un cristal uniaxial positivo, introducimos la placa de yeso en la dirección NW-SE con respecto a la cruz característica de la figura de interferencia, se observará en los cuadrantes NE-SW, unas manchas azules adyacentes al centro y un color amarillo en los cuadrantes NW-SE; los colores son más pronunciados que los proporcionados por una placa de mica.- Si el cristal es uniaxial negativo, el fenómeno sucede en forma inversa tomando el color azul en los cuadrantes NW-SE, y el amarillo en los cuadrantes NE-SW, Fig.# 11.

b).- Sección inclinada al eje óptico.- Por lo general su -

SIGNO OPTICO DE FIGURAS UNIAXIALES.

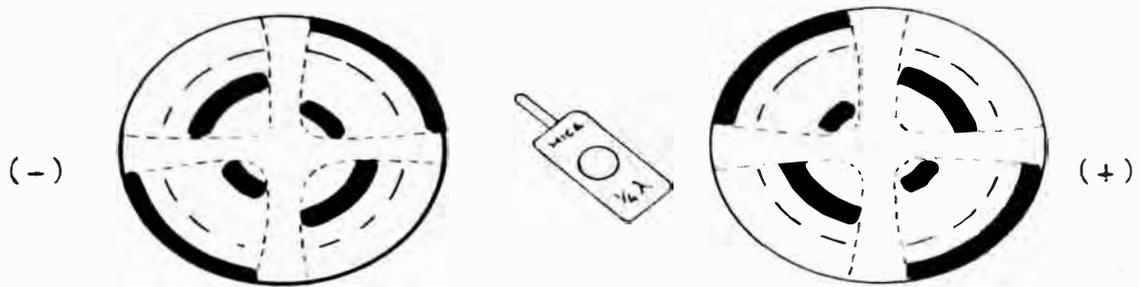


Fig. # 9.- Efecto de la cuña de mica sobre la figura Uniaxial de una sección perpendicular al eje óptico.

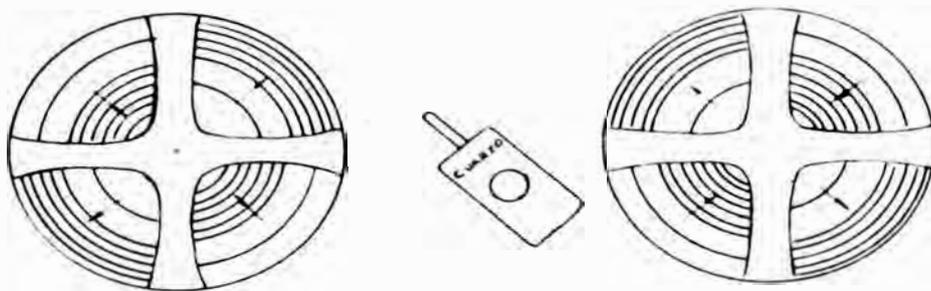


Fig. # 10.- Efecto de la cuña de cuarzo sobre la figura Uniaxial de una sección perpendicular al eje óptico.

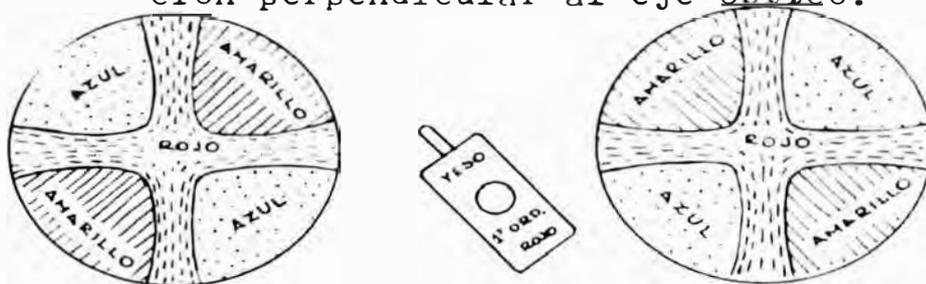


Fig. # 11.- Efecto de la placa de yeso sobre la figura Uniaxial de una sección perpendicular al eje óptico.

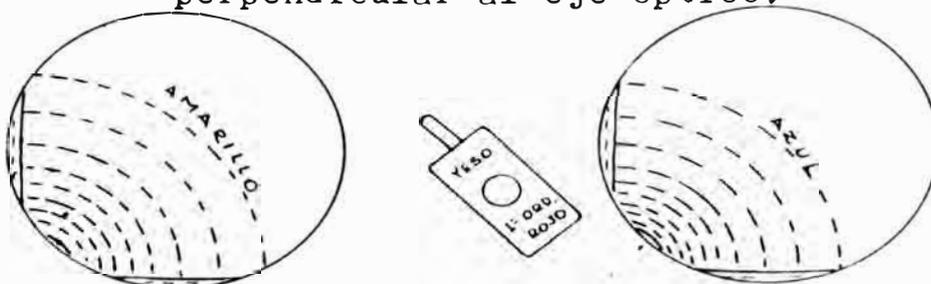


Fig. # 14.- Efecto de la placa de yeso sobre la figura Uniaxial de una sección inclinada al eje óptico.

cede y muy a menudo, que la sección es inclinada y no paralela a la fase basal, no obstante es posible realizar un estudio de figuras de interferencia que son excentricas, completando mentalmente la parte invisible. Este análisis es aún mas facil de hacer cuando ó mientras el centro de la figura permanezca en el campo, Foto # 6; en élla se observa, que el centro de la cruz axial ha sido desplazado a un lado, estando el centro óptico rodeado de anillos concéntricos. Al producirse la rotación de la platina del microscopio, simultaneamente se desplaza el centro óptico como muestra la foto # 7.

Las diferentes posiciones que va adquiriendo una figura de interferencia que es poco inclinada con respecto a un plano basal lo observamos en la fig. # 12.

Si la sección es más inclinada, el centro muchas veces, sale y permanece fuera del campo del microscopio, Fig. # 3, apareciendo el brazo de la cruz axial mas o menos flexionada. Si la sección así es rotada los 4 brazos de la figura de interferencia aparecerá en el campo del microscopio sucesivamente, haciendo un recorrido a través de éste, manteniéndose mas o menos paralelamente a los hilos del ocular, sin producirse un flexionamiento agudo al abandonar ésta, siendo este hecho característico importante para diferenciarla de ciertas figuras biaxiales, en las cuales las isogiras al abandonar el campo lo hacen curvándose en forma hiperbólica.

Si la primera isogira en un cristal uniaxial cruza el campo de izquierda a derecha, la segunda lo hará de arriba hacia abajo, la tercera, de derecha a izquierda, y la cuarta de abajo a arriba, parte de este movimiento lo observamos en la Fig. # 3.

El signo óptico puede obtenerse teniendo cuidado de colocar el cuadrante de mejor visibilidad de la figura excentrica: Fig. # 14; empleándose mismas láminas accesorias mencionada anteriormente, haciéndose el análisis mental de la parte visible de la figura.

Si examinamos una sección de una roca al azar se buscará granos de mineral cuya figura de interferencia se aprecie mejor, mostrando la menor interferencia de colores, porque la birefringencia de una sección decrece conforme ella se aproxima a ser paralela a una basal, siendo esta sección por consiguiente la que muestra mejor una aproximada figura de interferencia simétrica.

FIGURAS DE INTERFERENCIA
DE CRISTALES UNIAXIALES

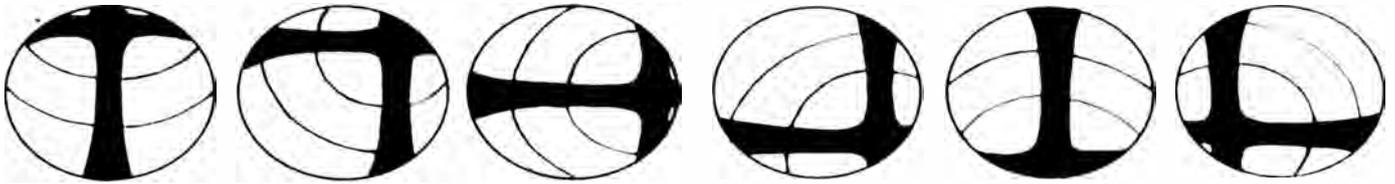


Fig. # 12.- Diferentes posiciones de la figura de interferencia de una sección inclinada al eje óptico.

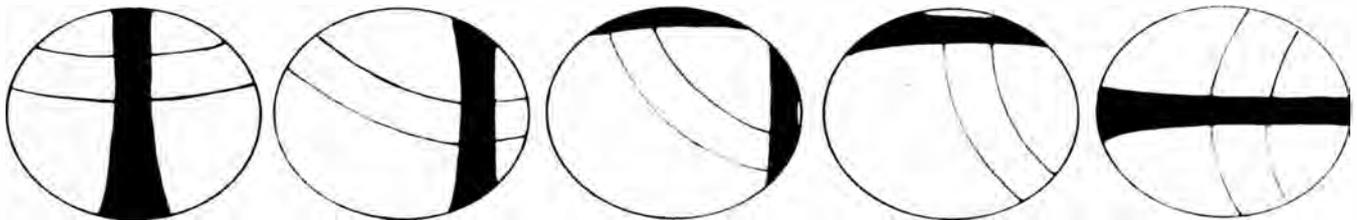


Fig. # 13.- Sentido de movimiento de las isogiras de una figura de interferencia Uniaxial.

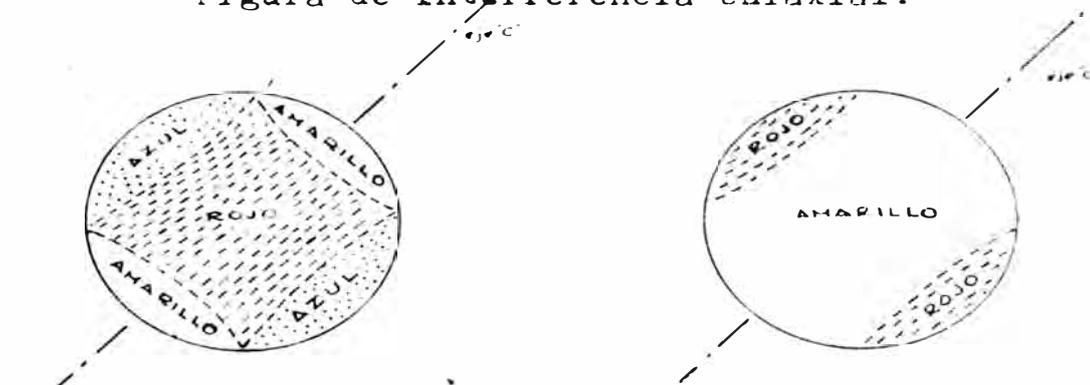


Fig. # 15.- Figura de Interferencia de una sección paralela al eje óptico, en posición diagonal.

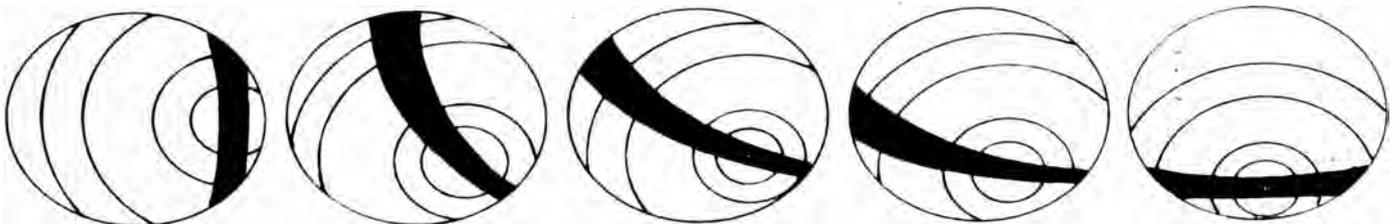


Fig. # 19.- Diferentes posiciones de una sección inclinada al plano axial.- Los ejes ópticos emergen dentro del campo de vista.- Las bisectrices están fuera de él.

c.- Sección paralela al eje óptico.- Cuando una sección prismática, o una sección paralela al eje óptico, se observa bajo el microscopio se obtiene una figura indefinida que conduce a errores en la interpretación. La figura es analoga a la obtenida en cristales biaxiales de la cual es difícil diferenciarlo.

En esta clase de secciones las isogíras son hipérbolas en lugar de brazos rígidos y solo en momentos instantáneos aparece la cruz axial que desaparece rápidamente a lo largo del eje óptico en un pequeño movimiento de la platina del microscopio, siendo esta rapidez de separación la que puede diferenciarlo de cristales biaxiales. La Foto # 8 muestra una figura de interferencia paralela al lente óptico, en la cual la cruz axial no está completamente indefinida, y el lente óptico va en la dirección por donde las hipérbolas desaparecen. Si a partir de esta posición rotamos la platina del microscopio 45° , aparece una cierta interferencia coloreada en el campo, Fig. # 15, cuya escala de colores desciende en los cuadrantes donde está el eje óptico, y un aumento en los otros dos restantes.

En secciones gruesas o de minerales de doble refracción alta, este aumento o caída en los colores de interferencia se observa solamente en el centro, más allá hay una paridad uniforme.

El signo óptico de este tipo de figuras se pone en evidencia con el auxilio de los mismos elementos accesorios y mejor aún con una placa de cuarzo, con el objeto de determinar los colores de interferencia, en efecto, si ésta es aditiva (aumento de interferencia) el mineral es positivo, y si se produce una baja en los colores de interferencia, el mineral es negativo.

Se puede usar también una placa de yeso teniendo en cuenta las consideraciones hechas en las secciones basales

FIGURAS DE INTERFERENCIA DE CRISTALES BIAXIALES . Cuando se hace observaciones sobre secciones delgadas de cristales biaxiales con luz convergente polarizada, se ve cierto tipo de figuras de interferencia que sólo en determinadas posiciones (45° de los hilos del ocular) difieren de la de los cristales uniaxiales, y no obstante que en determinados casos es difícil establecer una diferencia absoluta entre ellas, no es imposible que se logre, si se consigue analizar cuidadosamente el cristal, o rotando una y más veces la platina, o es

cogiendo otro cristal del mismo mineral que presente una figura de interferencia mas clara.

Las mejores figuras, y las mas simétricas son aquellas cuyas secciones son cortadas perpendicularmente a la bisectriz aguda.

SIGNO OPTICO DE FIGURAS BIAXIALES.- El caracter óptico en este tipo de figuras, tiene las mismas características que aquellas de figuras uniaxiales, y para su observación se utilizan los mismos implementos anteriores siguiendo, los mismos métodos.

a).- Sección perpendicular a la bisectriz aguda.- Cuando el plano de los ejes ópticos es paralela a la dirección de vibración del polarizador, la figura se presenta como la que aparece en la foto # 9, pero si se produce una rotación de 45° la figura de interferencia cambia a la mostrada en la foto # 10.

En el primer caso o posición paralela, foto # 9, la figura consiste de dos isogiras oscuras que forman una cruz similar a la de las figuras uniaxiales. El brazo horizontal es mas delgado y definido que el vertical. En dos puntos del brazo horizontal, que son los puntos de salida de los ejes ópticos, se observan des series de elipses oscuras, las cuales se alargan y sueldan formando primero un ocho y despues una sola curva que rodea los dos focos.

El número de líneas isocromáticas o anillos al rededor de cada eje depende igual que en cristales uniaxiales del poder de doble refracción del mineral y del espesor de la sección, foto # 11. En una sección gruesa de un mineral de alta birrefringencia el numero de curvas es mayor que en una sección mas delgada y de baja birrefringencia.

En la posición diagonal, foto # 10, los focos pueden distinguirse porque son dos direcciones a lo largo de las cuales no se produce ninguna doble refracción ni birrefringencia y se manifiestan como puntos negros.

La variación del ángulo óptico , tambien produce un cambio en la apariencia de la figura de interferencia, cuando este ángulo es pequeño, la semejanza con un cristal es mayor, foto #9. Si el ángulo es mayor de 60° , los focos de la figura por lo general permanecen fuera del campo del microscopio, los brazos de la cruz desaparecen rapidamente al pequeño movimiento de la platina, para formar las dos hipérbolas; esta rapidez de recorrido depende de la aber-

tura de los ejes ópticos.

Para el estudio del signo óptico, colocamos la figura en la posición diagonal, teniendo cuidado de mantener siempre las hipérbolas en los cuadrantes NW y SE respectivamente. Si utilizamos una placa de yeso, la mas comunmente usada en este tipo de cristales, observaremos la aparición de colores azul y amarillo y el cambio de las isogiras a rojo, por el mismo producido en cristales uniaxiales. El rojo o violeta de la cuña de yeso por efecto adicional o de sustracción de ondas de retardación cambia a azul o amarillo respectivamente.

Si al introducirse la cuña de yeso en la dirección NW SE, aparece el color azul en los cuadrantes NE y SW y amarillos en los otros dos, el cristal es biaxial positivo; si en esta posición el amarillo sustituye al azul y el azul al amarillo, el cristal es biaxial negativo, Fig # 16.

Si rotamos 90° la platina, los colores permanecen en su posición, cambiando la dirección de las hipérbolas, como muestra la Fig. # 17.

Usando placas adicionales de mica o de cuarzo, el fenómeno es similar al observado en cristales uniaxiales, esto es: si el cristal es positivo, el movimiento de los colores de interferencia es hacia afuera en los cuadrantes NW y SE y hacia adentro en los otros dos, si el cristal es negativo el movimiento es en sentido inverso, es decir un acercamiento de los colores de interferencia en los cuadrantes NW y SE y un alejamiento en los otros dos, Fig # 18.

b).- Sección perpendicular a la bisectriz obtusa.- Una figura de interferencia simétrica, tambien se obtiene de una sección cortada perpendicular a la bisectriz obtusa, sin embargo ésta difiere de la obtenida en el primer caso, debido a la amplitud del ángulo óptico.

Si el ángulo óptico es 90° o próximo a él, la figura de interferencia en ambos casos son semejantes, pero los focos no aparecen en el campo de vista.

Colocada la sección en posición diagonal, no aparecen las hipérbolas de la figura, porque estas presentan su lado concavo a la bisectriz obtusa y salen del campo óptico, a diferencia de una sección referida a su bisectriz aguda, que tiene su convexidad hacia la bisectriz y puede ser observada, es, esta propiedad que puede servir para averiguar cuando se trata de una bisectriz aguda y cuando de una obtusa.

FIGURAS DE INTERFERENCIA
DE CRISTALES BIAXIALES

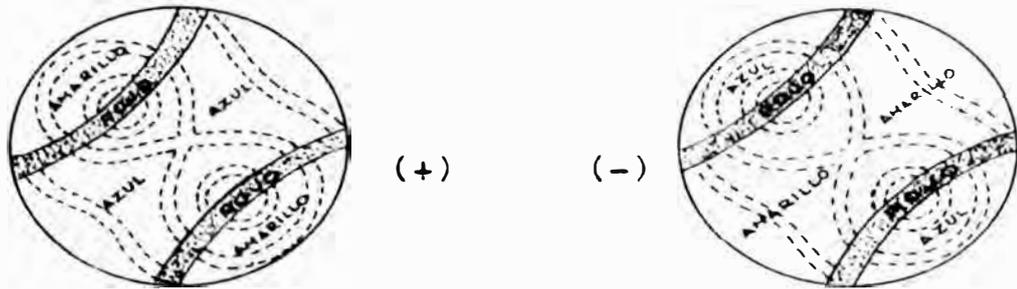


Fig. # 16.- Efecto que produce el uso de una placa de yeso sobre la figura biaxial de un mineral.

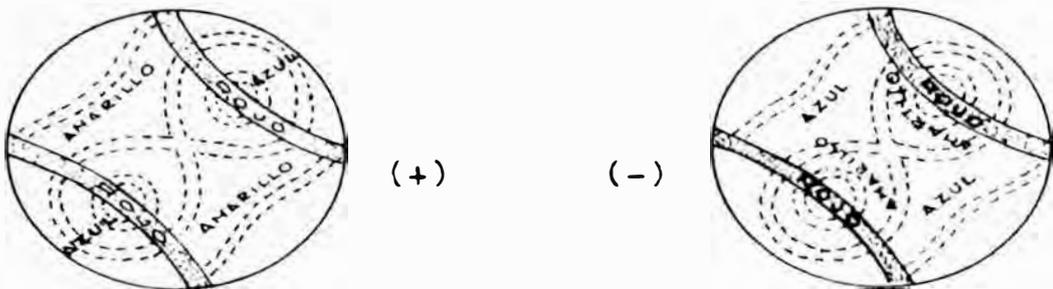


Fig. # 17.- La misma sección anterior rotando la platina del microscopio 90°.

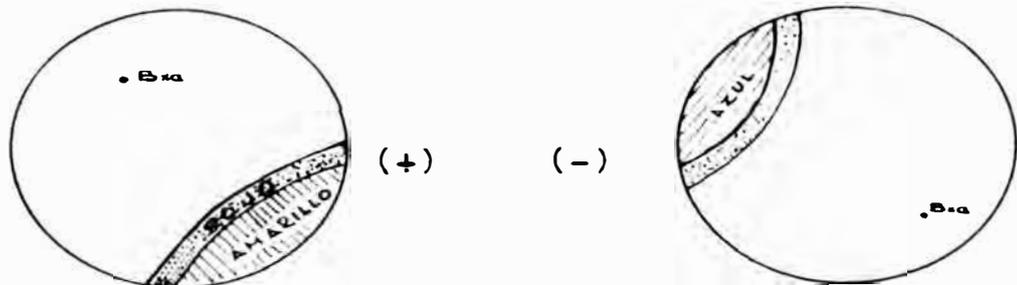


Fig. # 23.- Efecto de una placa de yeso sobre la figura de una sección inclinada.

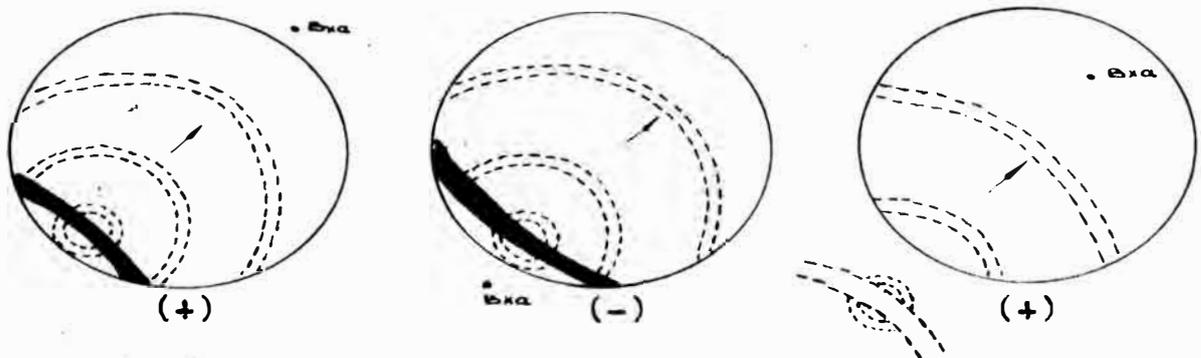


Fig. # 24.- Sentido de movimiento de los colores de interferencia en una sección inclinada al eje óptico, debido al empleo de una placa de cuarzo.

Colocada la figura en la posición paralela, esto es cuando coincide el plano de los ejes ópticos y el plano de vibración de los nicoles; figura similar al de la foto # 9, las isogiras aparecen un poco confusas, para desaparecer instantaneamente en el preciso momento en que se sobrepasa de esta posición.

Para el estudio del signo óptico, se aprovecha esta posición paralela, teniendo en cuenta las mismas consideraciones hechas al tratar secciones perpendiculares a la bisectriz aguda, tanto al usar cuñas de yeso, como al utilizar cuñas de mica y cuarzo.

c.- Secciones inclinadas a las bisectrices.- Cuando la sección es inclinada a una de las bisectrices, muchas veces, solo se observa un foco con mayor o menor claridad, manteniendo siempre el lado convexo de las hipérbolas hacia la bisectriz aguda cuando es colocada en posición diagonal (45°). Cuanto mas cerca a la periferie se presenta el foco, la similitud con figuras uniaxiales en la posición paralela es mayor.

Las secciones inclinadas al plano de los ejes ópticos tienen tambien la misma apariencia y lo podemos considerar dentro de este caso, como lo demuestran las Fig. #s 19, 20, 21 y 22.

Una característica importante en este tipo de figuras es el hecho de que las isogiras se flexionan cuando atraviezan el campo del microscopio, salvo el caso de secciones perpendiculares al plano óptico, en las cuales la isogira es recta cuando esta colocado en medio del campo, curvandose ligeramente al giro de la platina.

Respecto al signo óptico, cuando la sección es inclinada en general, se deberá tener en mente las mismas consideraciones del primer caso, en la parte visible de la figura, principalmente en el uso de la placa de yeso, Fig # 23.

Con una cuña de cuarzo, el movimiento de los colores de interferencia en las secciones inclinadas es exactamente el mismo que en cristales uniaxiales y solo se tiene que imaginar el resto de la figura, como se observa en la Fig. # 24.

d).- Secciones perpendiculares a un eje óptico.- Secciones perpendiculares a uno de los ejes ópticos, muestran curvas circulares concéntricas, atravezadas por una isogira recta cuando esta en posición paralela, Foto # 12, si la sección

FIGURAS DE INTERFERENCIA
DE CRISTALES BIAJIALES.

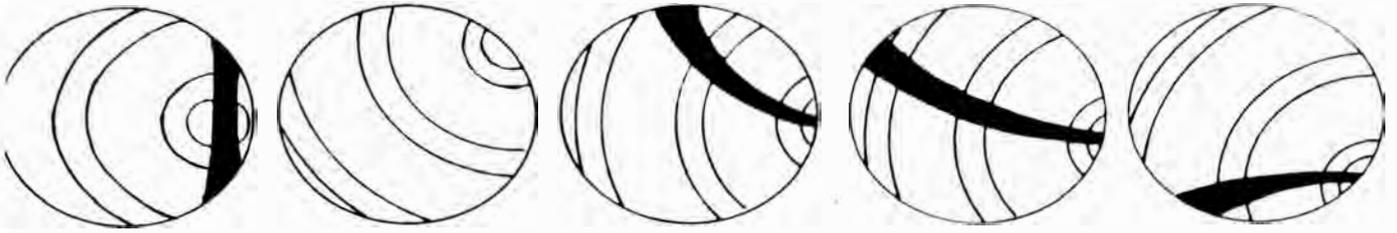


Fig # 20.- Sección inclinada al plano axial.- Los ejes Ópticos y bisectrices están fuera del campo del microscopio.

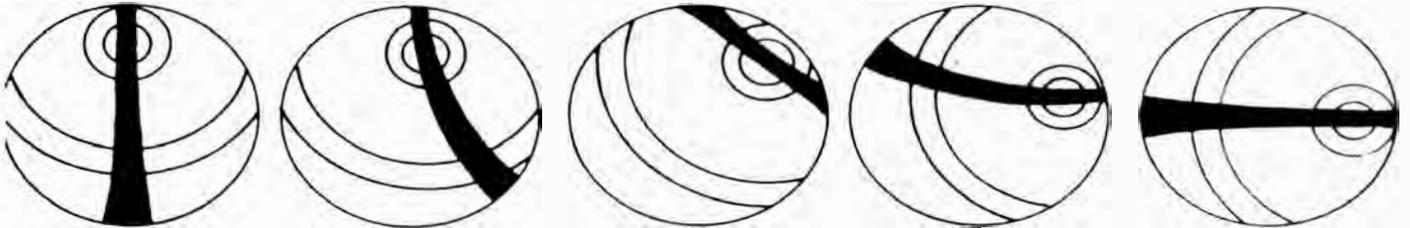


Fig. # 21.- Sección perpendicular al plano axial.- Un eje está fuera del campo del microscopio.- La isogira es recta en medio del campo.

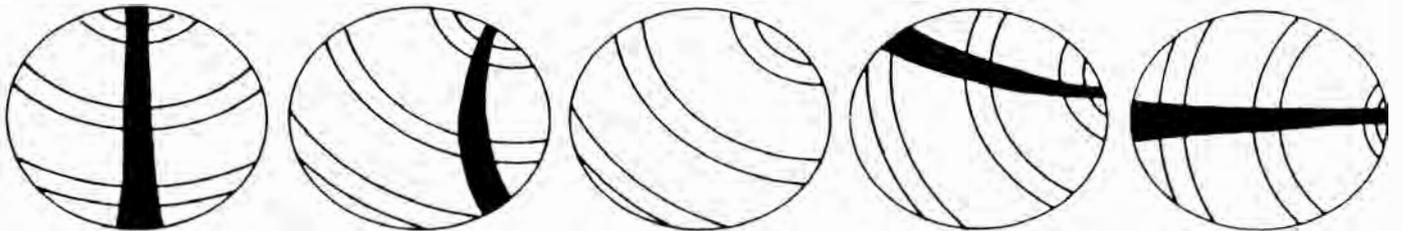


Fig # 22.- Sección perpendicular al plano axial.- Los ejes Ópticos y bisectrices están fuera del campo del microscopio.- La isogira es recta cuando atraviesa el medio campo.



Fig # 18.- Sentido de movimiento de los colores de interferencia debido al efecto que produce el uso de una placa de mica o de cuarzo.- En el primer caso la figura es Biaxial positivo, en el segundo Biaxial negativo.

se mueve a una posición diagonal, esta isogira sufre una pequeña curvatura, foto # 13, con su convexidad hacia la bisectriz aguda. Si la rotación continua, las bisectrices giran sobre un eje que es el foco.

La amplitud de la curvatura de la hipérbola depende del valor del ángulo óptico, cuanto mas pequeño es, mayor es la curvatura.

Para el estudio del signo óptico, al igual que en secciones perpendiculares a la bisectriz aguda, hay que tener en mente las mismas consideraciones que para figuras uniaxiales perpendiculares al eje óptico, dentro de la parte visible.

e).- Secciones paralelas al plano óptico.- Las secciones paralelas al plano axial, pueden reconocerse con nicoles cruzados por los altos colores de interferencia, con luz convergente la figura de interferencia es parecida a la de cristales uniaxiales, foto # 8, paralelas al eje óptico. En principio, la figura de interferencia no es decisiva para establecer una diferencia entre ambos.

Según lo ha demostrado Becke, la bisectriz en este tipo de secciones es la línea de unión de los cuadrantes de bajos colores.

En estas secciones, el signo óptico se determina de la misma forma que para cristales uniaxiales, ya tratados en secciones paralelas al eje óptico.

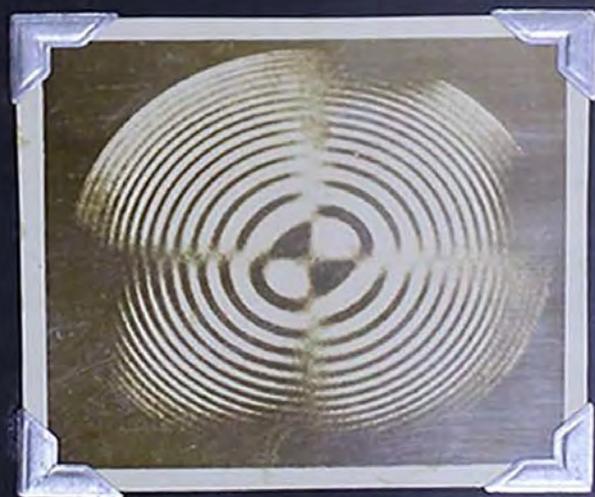
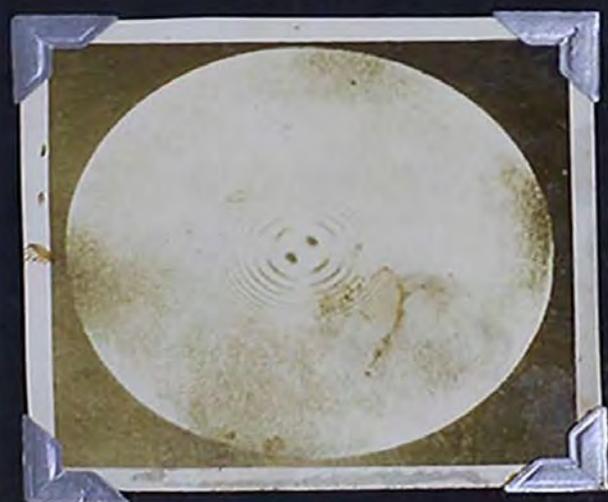
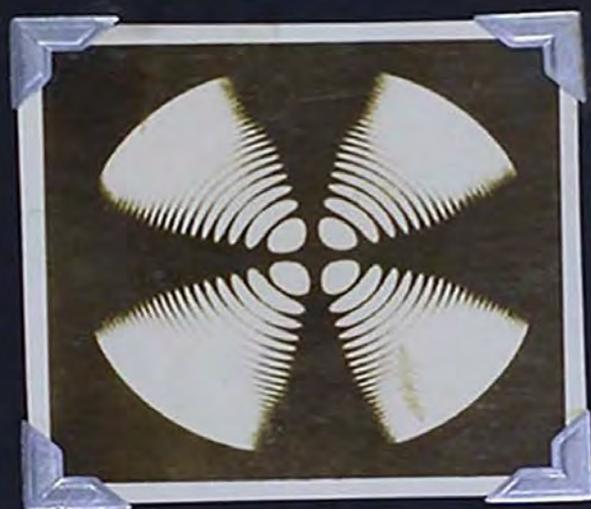
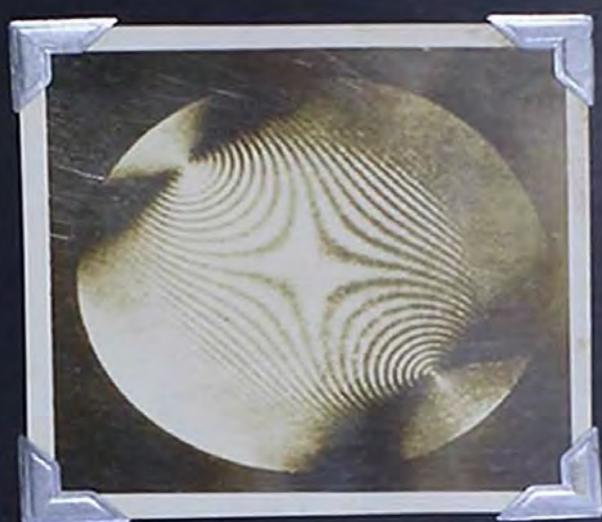
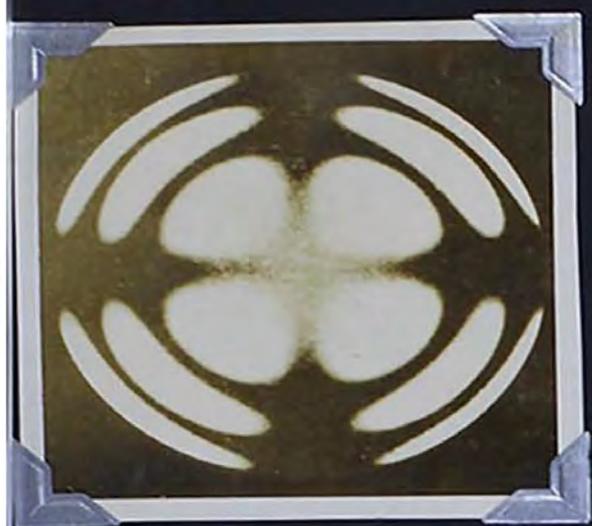
12.- PROPIEDADES OPTICAS DE LOS MINERALES SEGUN EL SISTEMA EN QUE CRISTALIZAN

Los minerales de diferentes sistemas presentan distintas propiedades ópticas; los del sistema cúbico son todos isótropos, sea cualquiera la orientación de la lamina delgada, por lo que aparecen oscuros entre nicoles cruzados, en toda la rotación de la platina, y con luz convergente no producen figuras de interferencia (granates, espinelas, fluorita, etc). Los del sistema hexagonal y tetragonal tienen iguales caracteres ópticos; son anizitrópicos, uniaxiales, siendo el eje óptico, el eje de simetría superior y único; las secciones delgadas de los minerales que cristalizan en estos sistemas, tallados normalmente al eje c, se comportan entre nicoles cruzados como isótropas, es decir que se mantienen extinguidas en todas las posiciones de la platina, pero con luz convergente producen una figura de inter-

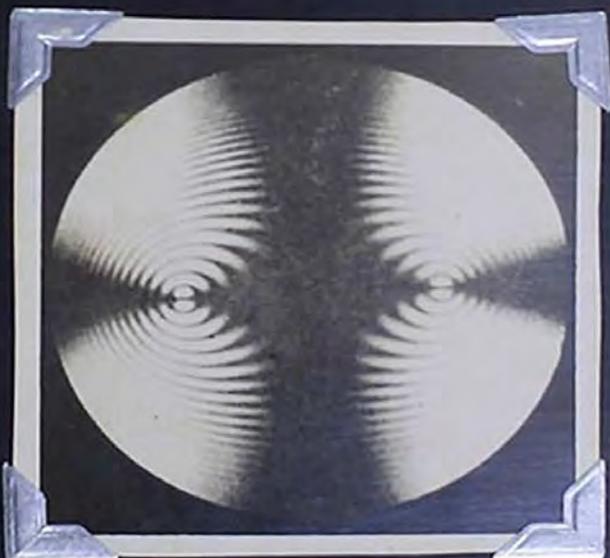
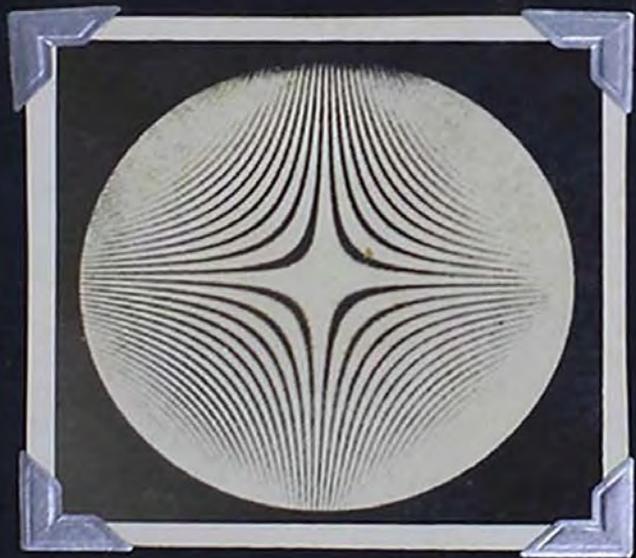
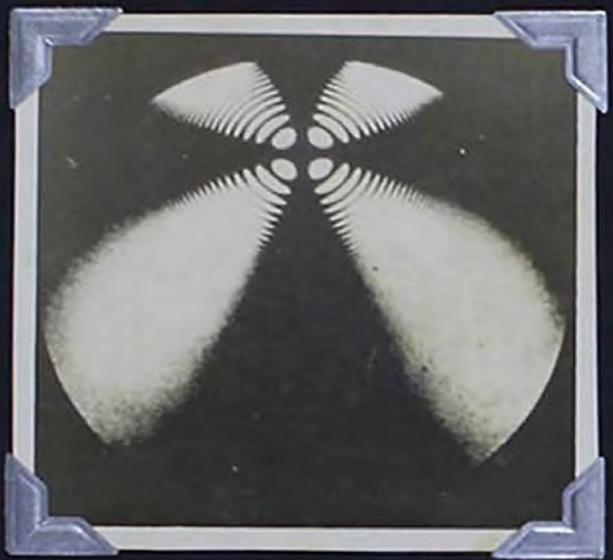
ferencia característica de los cristales uniaxiales, como la de la foto # 3; las secciones paralelas al eje c, entre nicoles cruzados, aparecen oscuras cuando sus lados son paralelos a los hilos de la ~~la~~ cruz del ocular, por lo que decimos que tienen extinción paralela, y parecen iluminadas en las otras posiciones.

Los del sistema rómbico, son birrefringentes y biáxicos; el plano de los ejes ópticos es un pinacoide, la extinción es recta en las secciones prismáticas y oblicua en las piramidales; no hay ninguna sección que se mantenga siempre extinguida en una rotación de la platina, sino que todas se extinguen cuatro veces y se iluminan otras tantas, al girar la platina 360°. Con luz convergente dan figuras de interferencia biáxicas (fotos # 9 y 10). Los del monoclinico son ~~tem~~ bien birrefringentes y biaxiales; el plano de los ejes ópticos es paralelo o normal al plano de simetría (clino-pinacoide); la extinción es paralela según el ortopinacoide, ortodomo y base; según las demas caras, la extinción es inclinada. Los del triclinico son igualmente birrefringentes, biáxicos y tienen estinción inclinada en todas las caras y sec ciones.

- Fot.# 1.- Sección gruesa de cuarzo, cortado normalmente al eje óptico. La figura de interferencia tiene pocos anillos. Nicoles cruzados.
- Fot.# 2.- Sección standart de Topacio corta a ángulo recto a la bisectriz aguda. La figura de interferencia es ta colocada en posición diagonal. Nicoles cruzados.
- Fot.# 3.- Figura de interferencia de Calci-ta en secciones cortadas a ángulo recto al eje óptico. La sección es gruesa. Nicoles cruzados.
- Fot.# 4.- Figura de interferencia de Calci-ta en secciones normales al eje óp-tico utilizando la placa de mica ($\frac{1}{4}$ de onda) y mostrando el caracter negativo del mineral. Nicoles cruzados.
- Fot.# 5.- Figura de interferencia de seccio-nes de Zircón perpendiculares al eje óptico, utilizando la placa de mica ($\frac{1}{4}$ de onda), mostrando el ca-racter positivo del mineral. Nico-les cruzados.



- Fot.# 6.- Figura de interferencia de Calci-
ta en secciones cortadas oblicua-
mente al eje óptico. La inclina-
ción es ligera. Nicoles cruzados.
- Fot.# 7.- Figura de interferencia de Calci-
ta en secciones cortadas ligera-
mente oblicuas al eje óptico y co
locada en posición diagonal. Nico
les cruzados.
- Fot.# 8.- Figura de interferencia de Calci-
ta en secciones cortadas paralela
mente al eje óptico. Eje óptico en
posición horizontal. Nicoles cru-
zados.
- Fot.# 9.- Figura de interferencia de Arago-
nita en secciones cortadas perpen-
dicularmente a la bisectriz aguda
colocada en posición paralela. La
sección es gruesa. Nicoles cruzados.

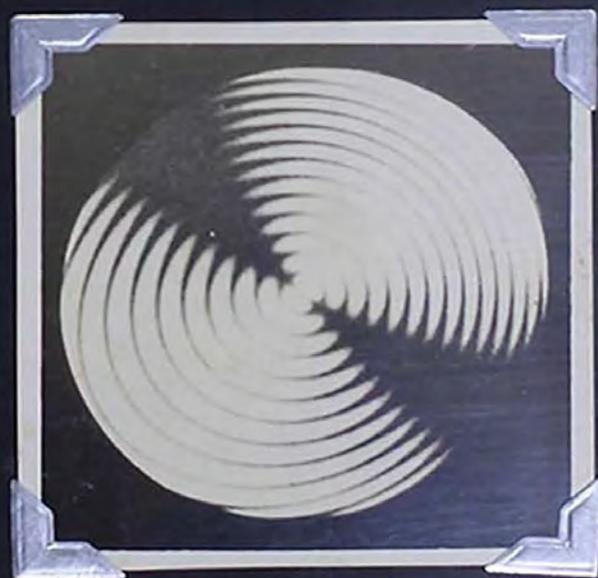
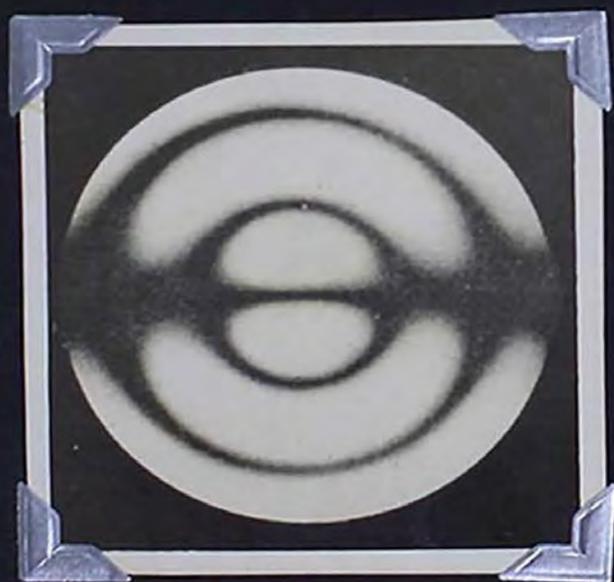
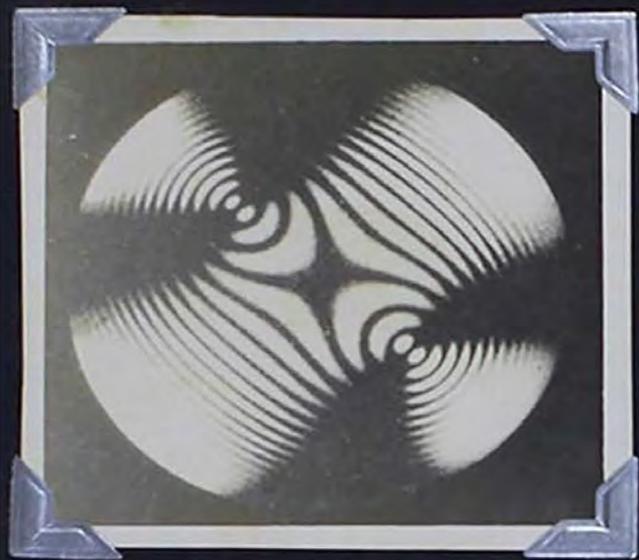


Fot.# 10.- Figura de interferencia de Aragonita en secciones perpendiculares a la bisectriz aguda, colocada en posición diagonal. Nicoles cruzados.

Fot.# 11.- Figura de interferencia de Muscovita en secciones gruesas perpendiculares a la bisectriz aguda. Posición diagonal. Nicoles cruzados.

Fot.# 12.- Figura de interferencia de Topacio (biaxial) en secciones cortadas perpendicularmente al eje óptico. Posición paralela. Nicoles cruzados.

Fot.# 13.- Figura de interferencia biaxial de Topacio. Sección normal al eje óptico colocada diagonalmente, $2V = \text{aprox. } 60^\circ$. Nicoles cruzados.



CAPITULO II

MINERALES EN ROCAS IGNEAS

1.- INTRODUCCION.

Los minerales presentes en rocas igneas, dependen de muchos factores entre los cuales podemos mencionar:

- a).- Composición original del magma.
- b).- Proceso de enfriamiento del magma.
- c).- Alteraciones hidrotermales y neumatolíticas.
- d).- Alteración superficial e intemperismo.

El averiguar si un mineral es igneo, es decir, que cristalizó directamente del magma por cualquier proceso, o si se ha introducido a una roca por cualquier otro proceso especial es verdaderamente difícil, no obstante se conocen minerales característicos tales como Sillimanita y Cordierita de rocas metamórficas, cuya presencia en rocas igneas significa un proceso de contaminación.

Dentro de ciertos límites, gracias a la ayuda prestada por los laboratorios de la Cerro de Pasco (Oroya) y de textos de descripciones mineralógicas, me ha sido posible determinar estos minerales aunque no en su mayoría.

En el estudio de rocas igneas, como veremos mas adelante hay minerales que tienen una marcada importancia para su clasificación, (Capitulo III), esto equivale a decir que tales minerales son principales o primordiales, como cuarzo, feldespatos, feldespatoides, tambien piroxenos, anfiboles, micas, etc. y otros cuya ausencia o presencia no afecta el tipo de roca, sino tan solo indica que determinada clase posee estos minerales accesorios y otros que son productos de alteración llamados minerales secundarios, mas comunes en rocas metamórficas.

En el analisis de los minerales, solo se ha considerado sus propiedades ópticas primordiales, suficientes para su identificación, y he agragado ademas valores correspondientes a la gravedad específica con el objeto de estructurar al

gunos diagramas de composición similares a los del texto "Optical Mineralogy" de A.N. Winchell y así poder establecer comparaciones de composición en minerales complejos.

2.- SECCIONES DELGADAS DE MINERALES.

DELINEAMIENTO DE SU ESTUDIO.- El examen óptico de una sección delgada se hace de acuerdo a la determinación que se requiere de algunos minerales mediante los métodos de observación tratados anteriormente.- Este estudio es hecho principalmente con luz transmitida, salvo el caso de minerales opacos cuyo examen se hace con luz reflejada y en secciones pulidas, como veremos en el Capítulo VI

Las características de un agregado son de importancia petrográfica y petrológica y pueden ser agrupados como sigue:

A.- Determinación de minerales, esto es primordial para determinados minerales que existen en relativa cantidad no así para minerales que pasan desapercibidos.

Esta determinación la hacemos empleando una u otra característica del mineral en sección, en el caso de feldspatos, específicamente de plagioclasas por ejemplo, basta la medida del ángulo de extinción o más comúnmente del índice de refracción, para determinar un componente dentro de la serie Albita - Anortita.- Cualidades muy importantes para la clasificación de un agregado.

Otra forma de operar sobre los minerales es reduciéndolos a polvo fino, y haciendo sobre él las observaciones como si estuvieran en sección delgada.- Este modo de operar es de gran elasticidad, porque puede hacerse numerosas apreciaciones, hasta poder asegurarse de la naturaleza del mineral con la ayuda de tablas especiales de propiedades ópticas.

El orden de este examen microscopio por lo general es el siguiente:

- 1.- Índice de refracción máximo y mínimo.
- 2.- Pleocroismo, color y formas en sección.
- 3.- Naturaleza de la sustancia: Isotrópica o Anisotrópica.
- 4.- Medida del ángulo de extinción.- Maclas.
- 5.- Caracter óptico:
 - a.- Colores de interferencia.
 - b.- Birrefringencias.

- d).- Uniaxial Biaxial.
- e).- Positivo Negativo.

5.- Muchas veces este examen se ayuda con test químicos, como son comportamiento frente a ácidos conocidos, o en forma de cristales especiales frente a reactivos ad-hoc.

B.- Asociación de minerales; esto proporciona evidencia de origen y génesis de la roca, y proporciona también datos cualitativos para la clasificación de ella.

C.- Proporción relativa de minerales, proveyendo datos cualitativos para la clasificación y comparación con tipos a fines.

D.- Tamaño e inter-relación de minerales.

- 1.- Textura de la roca, cuando esta compuesto de un aproximado tipo uniforme de agregado.
- 2.- Estructura, cuando la roca esta formado de mas o menos la misma clase de agregado.

3.- REPRESENTACION TRIANGULAR.

EMPLEO EN EL ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS.- Este sistema de representación es actualmente muy usado tanto en metalúrgia como en la moderna geología y petrología, razón por la cual hacemos especial mención por emplearlo muy a menudo en el estudio de minerales y rocas.

Cuando es necesario obtener la relación o correlación de 3 constituyentes u otras variables se usa este sistema de representación.

El principio es que tres variables pueden representarse por un punto en un diagrama triangular, teniendo este punto la propiedad de que su distancia a los tres lados del diagrama, son proporcionales a los valores de las tres variables. El punto puede ser considerado en cada caso, como el centro de gravedad del triángulo, si nos imaginamos concentrado las masas de las variables o constituyentes en cada vertice.

Uno de los métodos simples de precisar la posición del punto P, que representa a los tres constituyentes, que llamaremos a, b y c, lo apreciamos en la Fig # 25. Se han referido las cantidades a, b y c, a porcentajes del total A + B + C siendo estos porcentajes: n, m y r.

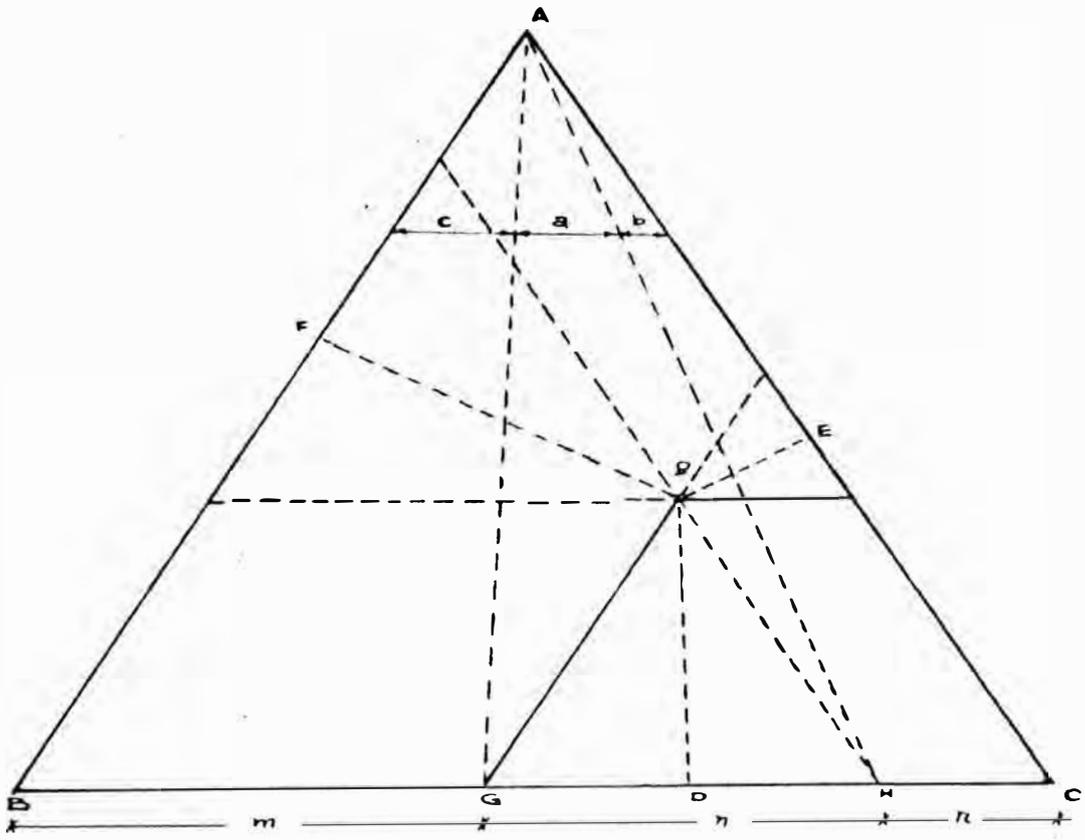


Fig 25.- REPRESENTACION GRAFICA.

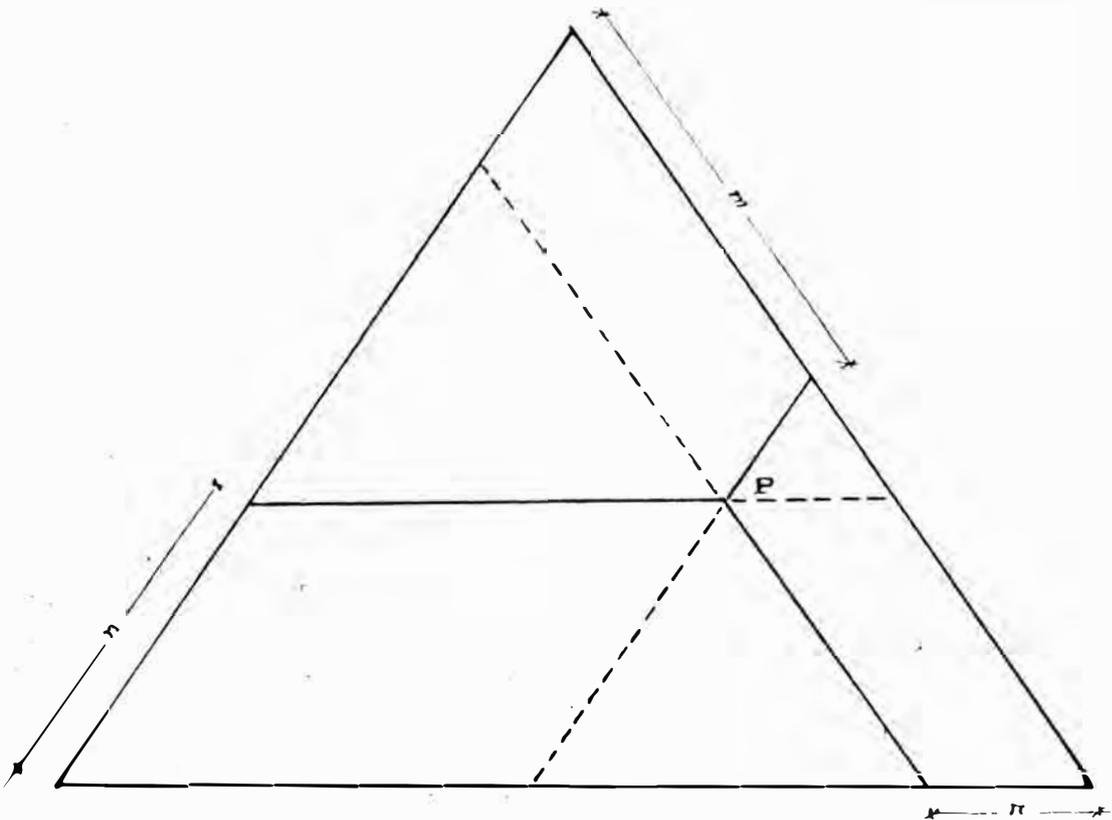


Fig 26.- REPRESENTACION GRAFICA.

En la base BC del triángulo equilátero dividido en 100 partes, se ha tomado $BG=m$, y del punto G , se ha trazado una paralela al lado AB , y considerando sobre élla el valor n , fijamos el punto P .- Las perpendiculares bajadas del punto P a los lados del diagrama triangular, son proporcionales a los constituyentes, lo cual se podría demostrar por semejanza de triángulos formados, al trazar $CH=r$ y $GH=n$.

Siguiendo este mismo sistema, podemos obtener la posición del punto P , graficando los porcentajes en los tres lados del triángulo a partir de cada vertice y en el sentido de las agujas del reloj, Fig.# 26; como vemos en el mismo caso anterior pero de empleo más general.

Inversamente si conocemos la posición del punto P , será fácil determinar los porcentajes de los constituyentes que representa.

Los usos particulares que tiene este sistema de representación son:

- 1.- Representación de rocas ígneas y metamórficas.
- 2.- Representación de isomorfismos, caso de los granates y otros grupos que veremos al tratar éstos.
- 3.- Representaciones de variaciones de composición en los minerales, especialmente en minerales ígneos.
- 4.- Representación de sistemas de cristalización ternarios.

En esta tesis lo utilizamos exclusivamente para determinación de minerales de composición compleja y para la clasificación de rocas por el sistema de "Johannsen".

3.- MINERALES EN ROCAS IGNEAS: CLASIFICACION.

Los minerales para su mejor estudio lo he clasificado de acuerdo a su importancia como componentes de rocas ígneas, esto significa que habrán tres grupos de minerales diferentes tanto por su abundancia, estructura, etc. como por sus propiedades físico y químicas.

Los grupos minerales a que me refiero son:

- I.- Constituyentes Esenciales.
- II.- Constituyentes Accesorios.
- III.- Constituyentes Secundarios.

CONSTITUYENTES ESENCIALES.- Es el grupo de mayor importancia

que por su relativa abundancia facilita la clasificación de las rocas, proporcionando además características especiales al predominio de determinado mineral de este grupo dentro de la composición de la muestra.

Este grupo de Constituyentes Esenciales está formado por un gran número de minerales tanto leucocráticos como melancráticos, dentro de los que podemos mencionar los siguientes:

- a.- Cuarzo, Calcedonia, Tridimita, Cristobalita, etc.
- b.- Feldespatos: Ortoza, Sanidina, Microclino, Plagioclasas.
- c.- Feldespatoides: Nefelina, Leucita, Sodalita, Hauynita, Analcima, Cancrinita, etc.
- d.- Minerales ferromagnesianos:

Micas: Muscovita, Biotita, Flogopita, Lepidolita, etc.

Anfiboles: Antofilita, Tremolita, Actinolita, Horneblenda, Arfvedsonita, Riebeckita, etc.

Piroxenos: Enstatita, Hiperstena, Clinoenstatita, Pigeonita, Diopsido, Hedenbergita, Augita, Acmita, Aegirita, Espodumeno, etc.-

Turmalina, Berilo, Melilita.

Olivinos: Olivino, Forsterita, Fayalita, Monticelita, etc.

Menas de hierro: Magnetita, Ilmenita, Cromita, Pirita, Hematita, etc.

CONSTITUYENTES ACCESORIOS.- Son minerales de menor importancia dentro de la composición de las rocas ígneas interviniendo en pequeñas cantidades.

Son constituyentes accesorios, entre otros los siguientes minerales:

Granates	Topacio	Apatita
Epidota	Vesuvianita	Estaurolita
Allanita	Corundum	Zoicita
Zircón	Fluorita	Clinozoicita
Rutilo	Andalucita	Axinita
Titanita	Escapolita	Monacita
Espinel	Muscovita	Cordierita
Cianita	Biotita	Lepidolita

CONSTITUYENTES SECUNDARIOS.- Como su nombre lo indica son mi

rales que son producto de alteración de otros llamados primarios.

Entre éstos minerales tenemos:

Caolín	Silimanita
Clorita	Talvo
Biotita	Montmorilonita
Analcima	Pirofilita
Halocita	Zeolitos
Carbonatos	Sulfatos

CONSTITUYENTES ESENCIALES

1.- CUARZO. (Fot.# 14)

FORMULA.- SiO_2 .- Es de estructura compleja.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Romboédrico, pseudo-exagonal.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_w = 1.544$$

$$N_e = 1.553$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.65$

FORMAS EN SECCION.- Por lo general se presenta como cristales xenomórficos ó como estructuras de desarrollo con Ortoza, Microclino ó Plagioclasa.- Tambien en cristales sub-edrales rodeados por otros anhedrales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: coloreado, las inclusiones pueden servir de pigmentos amarillos, rojos, marrones, azules, verdes, negros, etc.- Con nicoles cruzados: los máximos colores de interferencia son blancos o gris amarillentos del primer orden en secciones de 0.03 milímetros.

PLEOCROISMO.- Ausente.

RELIEVE.- Bajo.

CLIVAJE.- Imperfecto; es común las fracturas concoidales.

MACLAS.- Raramente presentes en secciones delgadas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_e - N_w = 0.009$

EXTINCCION.- Cuando existe cristales sub-edrales, la extinción es paralela, por lo genral en cristales irregulares la extinción es ondulada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- En secciones estandar, la figura es Uniaxial positiva, con una cruz difusa.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2V = 0^\circ$

INCLUSIONES.- Las inclusiones líquidas o gaseosas son características.- También posee inclusiones de Rutilo (Sagenita) agujas de Turmalina, Epidota, Actinolita, Tremolita, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTICAS.- Son característicos del cuarzo sus cristales anhedrales de extinción ondulada, su color de interferencia a 0.03 milímetros de espesor; igualmente es distintivo la falta de clivaje y maclas.- La Cordierita aunque muy semejante es biaxial positiva con colores claros y maclado; el Berilo es Uniaxial negativo con índices de refracción mayores; la Escapolita igualmente es Uniaxial negativa.

DISTRIBUCION.- Muy distribuido en rocas ígneas, principalmente en aquellas que contienen feldespatos alcalinos como granitos, riolitas, dacitas, tonalitas, etc. También en gneises, micacitas, areniscas, cuarcitas, etc.

2.- CALCEDONIA. (Fot.# 15)

FORMULA.- SiO_2 .- Es de estructura compleja.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Romboédrico, pseudo-exagonal.

INDICES DE REFRACCION:

$$\begin{array}{l} N_w = 1.531 \\ N_e = 1.539 \quad N_o = 1.537 \end{array}$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.55 - 2.63$

FORMAS EN SECCION.- Formas masivas de estructura radial o fibrosas.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: coloreado, pigmentados por algunas impurezas; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son gris oscuro a blanco del primer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, parecido al del bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No posee, son comunes las fracturas concoidales.

MACLAS.- No posee.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

~~BIRREFRINGENCIA~~.- Débil, $N_e - N_w = 0.008$

EXTINCION.- Paralela, en raras variedades es inclinada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Uniaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2v = 0^\circ$.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su estructura en forma de plumas de ave, su relieve bajo, etc.

DISTRIBUCION.- Es un mineral secundario en rocas con sílice libre, en reemplazamientos irregulares en rocas ígneas intrusivas; también se presenta en calizas metamórficas en nodulos y bandas y es un principal constituyente de cherts.

3.- TRIDIMITA

FORMULA.- SiO_2 . Su estructura como silicato es compleja.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Rómbico, pseudo-exagonal.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_p = 1.469$$

$$N_m = 1.471$$

$$N_g = 1.473$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.27$

FORMAS EN SECCION.- Generalmente se presenta en agregados de cristales pequeños; estos cristales son exagonales en sección. Otras veces los agregados cristalinos son porosos.

COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia, son azul grisáceo ó blanco nuboso del primer orden.

PLEOCROSIMO.- No posee.

RELIEVE.- Moderado.

CLIVAJE.- No posee.

MACLAS.- Ausentes; sin embargo, algunas maclas angulares aparecen.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.004$

EXTINCCION.- Paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva, difícil de obtener por la pequeñez de los cristales. La bisectriz aguda es normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 35^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- No son comunes inclusiones gaseosas.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos de este mineral su aspecto microcristalino y baja refringencia que lo diferencian de la Cristobalita.

DISTRIBUCION.- Común en rocas volcánicas como riolitas, obsidiana, litopiza, etc. Menos común en rocas ácidas como /

finos cristales intersticiales y raro en rocas máficas.

4.- CRISTOBALITA

FORMULA.- SiO_2

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Exagonal, tetragonal pseudocúbica.

INDICES DE REFRACCION:

$$\begin{aligned} N_e &= 1.484 & N &= 1.485 \\ N_o &= 1.487 \end{aligned}$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.35$

FORMAS EN SECCION.- Agregados de cristales pequeños irregulares, exagonales ó cuadrados.- En desarrollos con feldespatos en forma esferulítica.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos; coloresdo, con nicoles cruzados, gris oscuro del primer orden, a veces oscuro completamente.

PELOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Moderado, mayor que él del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No posee, es común las fracturas concoidales.

CARACTER OPTICO.- Indefinido, puede anisotrópica é isotrópica en cristales vecinos.

BIRREFRINGENCIA.- Muy débil, $N_g - N_p = 0.003$

EXTINCCION.- Raras veces posee extinción ondulada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Puede ser Uniaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2V = 0^\circ$

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su fractura ondulada, sin clivaje, bajos índices de refracción y su aspecto en pequeños cristales irregulares ligeramente formados.

DISTRIBUCION.- En cavidades de rocas volcánicas como riolitas, andesitas, obsidiana, etc, asociado con tridimita.

5.- FELDESPATOS

Este grupo de minerales es importante como constituyente esencial de rocas ígneas; en efecto forma cerca del 60% del total, siendo los principales componentes que determinan su clasificación.

Los feldespatos son aluminosilicatos de potasio, sodio o calcio formado por diferentes minerales conocidos como: Or

toza, microclino, Sanidina, Adularia, Anortosa y la Serie : Plagioclasas Albita-Anortita.

Es importante en el estudio de los feldespatos el conocimiento de tres factores que opticamente son suficientes para definirlos dentro del grupo.- Estos factores son : Maclas, Angulo de Extinción ó Indices de Refracción.

MACLAS.- Los tipos más comunes de maclas en feldespatos son: Carlsbad, Baveno, Manebach, Albita y Periclina y las combinaciones Carlsbad-Albita, Albita-Periclina, Carlsbad-Periclina, Albita-Baveno, etc.

Siguiendo el lineamiento de este estudio nos limitaremos a mostrar la apariencia de estas maclas en sección.

La macla de Carlsbad aparece como dos bandas anchas separados por una línea divisoria que constituye el plano de composición; las líneas de clivaje son paralelas a éstas líneas divisorias, Fig.# 27, Fot.# 16, en las cuales el plano de composición es (010) y el eje de macla paralelo a (001).

La macla de Baveno se presenta también dividido en 2 partes, pero mediante una línea diagonal o plano diagonal de composición, Fig.#28; las líneas de clivaje son paralelas a los lados del cristal en sección.- El plano de composición es (021) y el eje de macla normal a (021).

La macla de Manebach, propia de la Ortoza, en sección transversal presenta la traza del plano de composición paralela a (010) lo mismo que las trazas del mejor clivaje Fig. # 29.- El plano de composición es basal y el eje de maclas normal a ésta.

La macla Albita ó Polisintética cuando es múltiple se manifiesta como un conjunto de bandas finas, oscuras y claras, dispuestas alternada y paralelamente a (010). Las trazas de clivaje son paralelas a estas bandas, Fig.# 30, Foto # 18.- El plano de composición es (010) y el eje normal a éste.

En la macla Periclina, las bandas de la macla Albita son inclinadas con respecto a la fase (001) Fig.# 31. Este ángulo de inclinación depende de la composición química como muestra la fig.# 32, Fot.# 18.

En la macla combinada Carlsbad-Albita la sección muestra una figura especial, cuya posición de extinción hace posible diferenciarlos; la serie de bandas delgadas se presenta en cada una de las bandas anchas de la macla Carlsbad.

La extinción de una de las bandas anchas produce la extin-

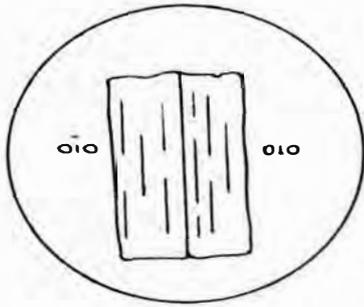


Fig. 27.- MACLA CARLSBAD EN SECCION DELGADA.

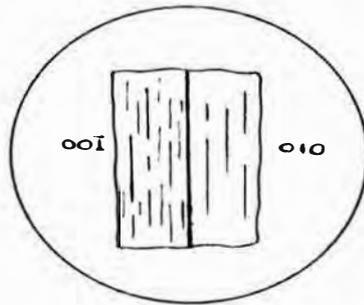


Fig. 28.- MACLA BAVENS EN SECCION DELGADA.

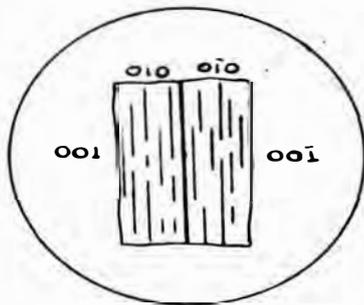
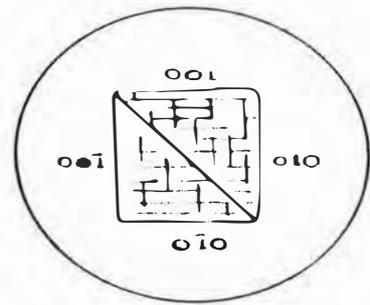


Fig. 29.- MACLA DE MANEBACH EN SECCION.

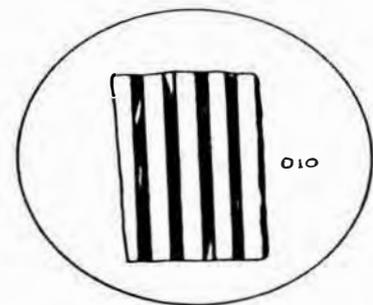
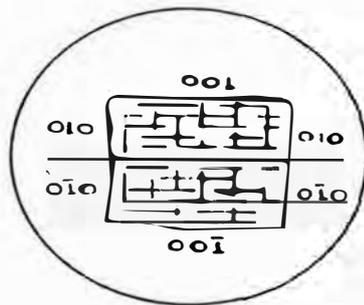


Fig. 30.- MACLA ALBITA EN SECCION..

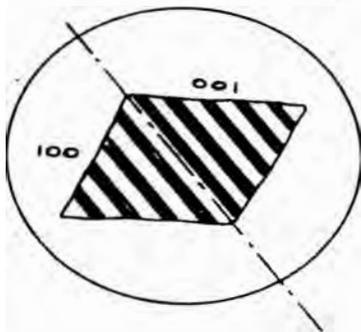
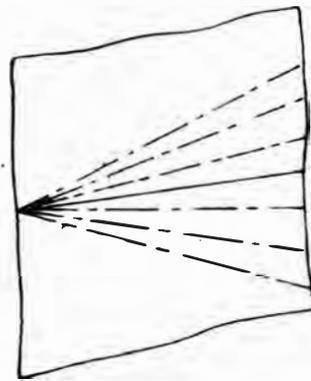


Fig. 31.- MACLA PERICLINA EN SECCION



- 15° Anortita
- 12° Bitodnita
- 6° Labradorita
- 0° Andésita
- +6° Oligoclasa
- +18° Olig-Albita
- +28° Albita

Fig. 32.- ANGULO DE EXTINCION EN FUNCION DE LA COMPOSICION DE LA PLAGIOCLASA.

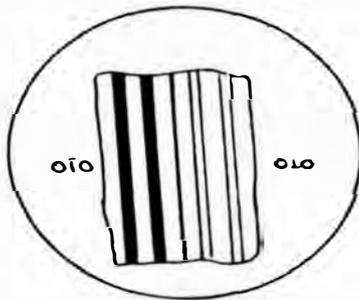


Fig. 33.- MACLA CARLSBAD-ALBITA.

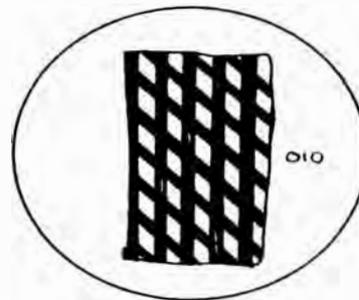


Fig. 34.- MACLA ALBITA-PERICLINA.

ción de las bandas delgadas, Fig.# 33, Fot.# 19.

La maclas Albita-Periclina, se presenta como una macla polisintética en dos direcciones, Fig.# 34 como sucede en el mineral Microclino, en el cual estas direcciones son más o menos perpendiculares entre sí, Fot.# 17

ANGULO DE EXTINCION.- Las posiciones de extinción por lo general se miden sobre secciones macladas, este es el metodo de Michel-Levy, aplicado principalmente a la serie Albita-Anortita.- La variación de estos ángulos se puede apreciar en la Fig.# 35, sobre la curva: "Máximo ángulo de Extinción en maclas Albita"

La medida del ángulo de extinción se toma en varios cristales y en distintas posiciones de extinción y de ellos se considera el valor promedio como el ángulo de extinción del mineral.

Cuando se trata de determinar el ángulo de extinción en maclas Carlsbad-Albita aplicamos el método de F.E.Wright que consiste en medir las posiciones máximas y minimas de extinción de los cuales el menor, resultado de un promedio, se grafica sobre el eje de las abscisas de un sistema de coordenadas, Fig.# 35 y el promedio de los mayores sobre curvas acotadas.- La intercepción de una determinada línea horizontal (a un valor angular dado) con la curva apropiada dá en proyección vertical la composición en porcentaje de la serie Plagioclasas.

INDICES DE REFRACCION.- Por lo general los feldespatos poseen bajos índices de refracción no obstante es posible determinarlos mediante el uso de medios especiales de índices más bajos, como el conocido con el nombre de Kollotith Medium que varía entre 1.52 y 1.534.

Tratandose de plagioclasas el analisis del índice de refracción juega un papel importante en la determinación del tipo de mineral dentro de la serie y su aplicación dentro de la clasificación de rocas en función de la plagioclasas Fig. # 35.

6.- ORTOZA (Fot.# 16)

FORMULA.- $KAlSi_3O_8$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.518$ $N_m = 1.524$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.57$

FORMAS EN SECCION.- Cristales subedrales a euhedrales de hábito primático o tabular en fenocristales.

COLORES EN SECCION.- Con los nicoles paralelos: coloreado; con los nicoles cruzados el máximo color de interferencia es blanco gris del primer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, índices de refracción menores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto, pinacoidal menos perfecto.

MACLAS.- Comunmente presenta maclas simples de acuerdo a la ley de Carlsbad, son raras las maclas pblisintéticas.

CHARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA. Débil, $N_g - N_p = 0.006-0.007$

EXTINCION.- Ligeramente inclinada sobre el pinacoide 5° , sobre la fase (001) es paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Figura difusa mostrando caracter Biaxial negativa; puede sin embargo aparecer Uniaxial.

ANGULO OPTICO.- Pequeño, $2V=0^\circ-12^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CHARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se diferencia del cuarzo por su figura de interferencia (cuarzo: Uniaxial positiva), maclas e índices de refracción, de Ortoza por su aspecto coloreado más nítido.

ALTERACION.- Puede alterar a arcillas.

DISTRIBUCION.- Es común en rocas ígneas felsíticas intrusivas o extrusivas como: Riolitas, Traquitas, Latitas, etc.

8.- MICROCLINO (Fot.# 17)

FORMULA.- $KAlSi_3O_8$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Triclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_p = 1.519 \quad 1.522$$

$$N_m = 1.522 \quad 1.526$$

$$N_g = 1.525 \quad 1.530$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.55$

FORMAS EN SECCION.-,Cristales subedrales a anhedrales generalmente acompañados de cuarzo y ortoza.

COLORES EN SECCION.- Coloreado parecido a la Ortoza entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados los máximos colo-

res de interferencia son blanco o grisáceo del primer orden.
PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, índices menores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto, pinacoidal menos perfecto

MACLAS.- Es muy común la presencia de maclas polisintéticas combinación de Albita y Periclina. Menos común otras maclas

CHARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópicas.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.008$.

EXTINCIÓN.- Inclinada, sobre (001) 15° y sobre secciones (010) 5° .

FIGURA DE INTERFERENCIA. La figura de interferencia aunque no es clara es biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 77^\circ - 84^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Normal a (010)

CHARACTERISTICAS DISTINTIVAS. Su aspecto maclado es muy característico para diferenciarlo de cualquier otro feldespato.

ALTERACION.- Altera a Sericita, Albita y Cuarzo; también a arcillas.

DISTRIBUCION.- Abundantemente en Pegmatitas, granitos, sienitas, etc. Prácticamente nunca como fenocristales en pastas afaníticas.

NOTA.- La Anortosa que es un microclino sódico tiene mismas propiedades que éste.

PLAGIOCLASAS

La serie plagioclasas comprende un conjunto de minerales cuyos componentes extremos son: Albita: (Ab), $NaAlSi_3O_8$ y Anortita (An), $CaAl_2Si_2O_8$.

En la determinación de los componentes de esta serie el método óptico más satisfactorio es el de la medida de los índices de refracción con la mayor precisión posible; existiendo para tal fin tablas especiales en función del porcentaje de plagioclasas, como la que mostramos enseguida:

Tipc:	% de composición	Np	Nm	Ng
Albita: Ab.	Ab ₁₀₀ An ₀ á ab ₉₀ An ₁₀	1.525	1.529	1.536
Oligoclasa	ab ₉₀ An ₁₀ á ab ₇₀ An ₅₀	1.539	1.543	1.547
Andesita	Ab ₇₀ An ₃₀ á Ab ₅₀ An ₅₀	1.550	1.553	1.557
Labradorita	Ab ₅₀ An ₅₀ á Ab ₃₀ An ₇₀	1.559	1.563	1.567
Bitownita	Ab ₃₀ An ₇₀ á Ab ₁₀ An ₉₀	1.567	1.572	1.576
Anortita: An	Ab ₁₀ An ₉₀ á Ab ₀ An ₁₀₀	1.576	1.583	1.589

PLAGIOCLASAS

(según Wright) - A. N. WINCHELL.

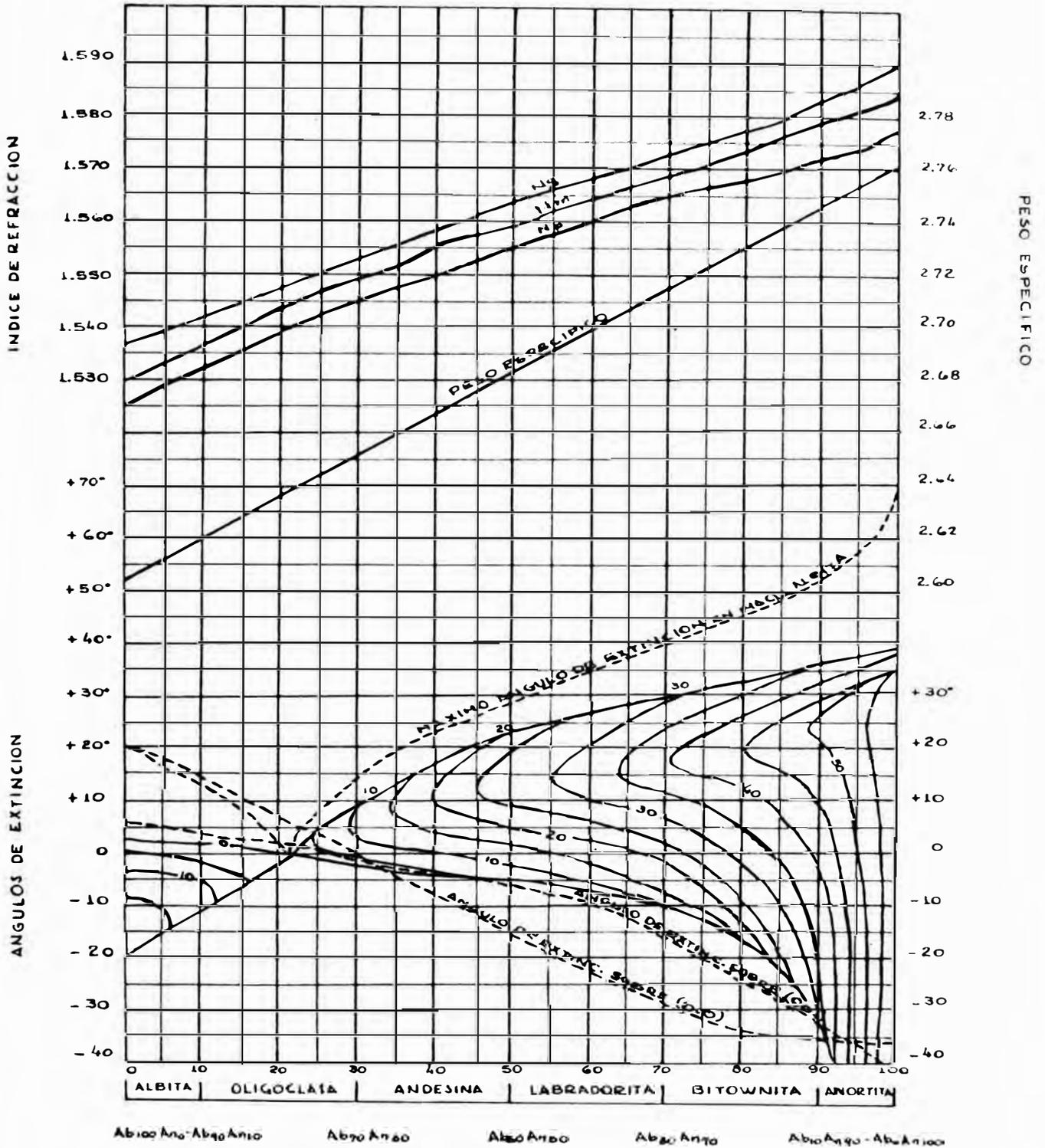


Fig. 35.- Composición de la plagioclasa en función de los índices de refracción, peso específico y ángulos de extinción.

Ademas, en la Fig.# 35, tenemos los diferentes porcentajes de composición en función de los índices de refracción maclas y ángulo de extinción.

Es importante tambien en las secciones de plagioclasas los desarrollos zonales, que es un conjunto de bandas concéntricas de diferente composición, estando por lo general las más básicas en el interior de élla.

9.- Albita.

FORMULA.- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; con pequeño porcentaje de $\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Triclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_p = 1.525$$

$$N_m = 1.529$$

$$N_g = 1.536$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.605 - 2.620$

FORMAS EN SECCION.- Cristales subdrales formanod conjuntos de desarrollo con microclíno; rara vez en fenocristales.

COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados, el máximo color de interferencia es a marillo pálido del primer orden, semejante al del cuarzo.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, índices menores que los del Básamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto, pinacoidal menos perfecto.

MACLAS.- Son comunes las maclas polisintéticas de la Albita muchas veces combinada con la macla Carlsbad, es menos frecuente la macla Periclina, inclinada más o menos 21° , Fotografía # 18.

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.011$

EXTINCCION.- Inclinada, el ángulo de extinción es entre 12° y 19° ; en secciones paralelas a (001) entre 3° y 5° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 77^\circ - 82^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Más o normal a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es uno de los miembros de esta serie que tienen el menor índice de refracción, aumentando de acuerdo al incremento del tenor de Calcio.

DISTRIBUCION.- Es constituyente principal de granitos alcali

nos, alcali-sienitas, sienitas nefelínicas y sus respectivos equivalentes.

10.- ANORTITA

FORMULA.- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Puede contener hasta 10% de $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ y KAlSi_3O_8 , también $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Triclínico.

INDICE DE REFRACCION:-

$$N_p = 1.576; N_m = 1.583$$

$$N_g = 1.589$$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales y sub-edrales, usualmente tabulares, también en masas lamelares y granulares

COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicols paralelos, con nicols cruzado el máximo de color interferencial es blanco gris amarillento del primer orden.

RELIEVE.- Bajo, con los índices de refracción mayores que los del Balsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto; pinacoidal menos perfecto

MACLAS.- Son usuales las maclas polisintéticas de la Albita a veces múltiples con maclas Carlsbad.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.013$

ESTINCCION.- Inclined, el ángulo de extinción sobre maclas Albite varía desde 51° a 70° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 79^\circ - 88^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Normal a (010)

ALTERACION.- Altera a Sericita, Caolín, Zeolitos, Escapolita Cuarzo, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de la Anortita sus índices de refracción y su alto contenido de calcio.

DISTRIBUCION.- Importante plagioclasa en rocas ígneas ricas en calcio, su presencia significa un incremento de este elemento, como sucede con un granito cálcico o una calcisienita

OBSERVACION.- Los otros componentes de la serie son mejor analizados comparando sus índices de refracción mediante muestras de mineral en polvo y usando medios de inmersión adecuados.

Determinado el índice de refracción de las plagioclasas se compara con los de la tabla anterior, la cual da di-

rectamente la composición del feldespato en porcentajes de Albita y Anortita.

GRUPO: FELDESPATOIDES

Los feldespatoides son aluminosilicatos de sodio y potasio que al igual que los feldspatos se presentan en rocas ígneas formando un tipo de rocas sin cuarzo con Nefelina o Leucita más o menos abundantes.

11.- NEFELINA (Fot.# 21)

FORMULA.- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; contiene hasta 25% de KAlSi_3O_8 .

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Exagonal, piramidal.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_w = 1.536 - 1.549$$

$$N_e = 1.532 \quad 1.544$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.62$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales ó anhedrales siendo los primeros de hábito prismático tabular corta de sección exagonal o cuadrada, algunas veces de estructura zonal.

COLORES EN SECCION.- Se presenta coloreado por algunas impurezas entre nicols paralelos; con los nicols cruzados los máximos colores de interferencia son grisaseos del primer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Muy bajo parecido al del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Imperfecto, no importante.

MACLAS.- Generalmente sin maclas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.003 - 0.005$

EXTINCCION.- Paralelo en secciones alargadas; algunas veces las secciones basales son isotrópicas.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es uniaxial negativa pero no muy nítida.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2V = 0^\circ$.

INCLUSIONES.- Pueden ser numerosos las inclusiones de otros minerales.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se confunde con la Apatita, y la Melilita pero puede diferenciarse por su refringencia ,

más baja. De la Ortoza por su figura de interferencia (ésta es Biaxial negativa); la Sodalita es Isotrópica, la Escapolita tiene birrefringencia fuerte y mayores índices de refracción.

ALTERACION.- Altera a Zeolitos, Cancrinita, Sodalita, Muscovita, Calcita, etc.- Puede alterar aunque raramente a arcillas y mas raramente a Caolín y granate.

DISTRIBUCION.- Por lo general se encuentra en rocas ígneas sódicas pobres en cuarzo, como sienitas, nefelínicas y fonolitas, en pocos basaltos.

12.-LEUCITA

FORMULA.- $KAlSi_2O_6$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Pseudo-cúbico.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_w = 1.508$$

$$N_e = 1.509$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.47$

FORMAS EN SECCION.- Generalmente como cristales euhedrales de sección octogonal.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos coloreado, con los nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son oscuros debido a su débil birrefringencia.

PLEOCROSIMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, índices menores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No importante.

MACLAS.- Es característica las maclas polisintéticas en varias direcciones semejantes a las del Microclino, pero muy poco visibles debido a la baja birrefringencia.

CARACTER OPTICO.- Practicamente isotrópica, muy pocos cristales son anisotrópicos.

BIRREFRINGENCIA.- Algunos cristales grande poseen una birrefringencia muy débil, otras son isotrópicas.

EXTINCION.- En pocas secciones rectangulares es paralela; por lo general en secciones basales es completamente oscura en cualquier posición de la platina del microscopio.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

INCLUSIONES.- Puede presentar algunas inclusiones de vidrio

magnetita, etc., ordenados radialmente.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Difiere de Analcima y Sodalita por sus índices de refracción y presencia de potasio.- Del Microclino, por su caracter óptico anisotrópico y figura de interferencia, así como por su refringencia y extinción.

LATERACION.- Altera fácilmente a Albita y Sericita.

DISTRIBUCION.- Se encuentra por lo general en rocas ígneas, alcalinas pobres en cuarzo, como basaltos, fonolitas, leucíticas, etc. y sus correspondientes tufos.

13.- ANALCIMA

FORMULA.- $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico.

INDICE DE REFRACCION:

$$N = 1.487$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.22$ á 2.29

FORMA EN SECCION.- Cristales euhedrales trapezoedrales que dan secciones casi rodeadas (redondeadas). Puede también presentarse como masas irregulares.

COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, completamente oscuro a veces con una birrefringencia muy débil.

RELIEVE.- Moderado, pero con los índices de refracción menores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje cúbico en 2 direcciones poco perfectas.

MACLAS.- Puede mostrar maclas complejas en algunas direcciones y en determinadas secciones anisotrópicas y no muy claras.

CARACTER OPTICO.- Practicamente isotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- En muy pocas secciones es muy débil.

EXTINCCION.- Completa.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Por lo general se usa test químicos para diferenciarlo de la Leucita y Sodalita, además de la comparación de sus índices de refracción.

DISTRIBUCION.- Es un mineral secundario, producto de alteración, a menudo asociado con Zeolitos, rara vez es un constituyente primario de rocas ígneas.

14.- SODALITA.

FORMULA.- $\text{NaCl} \cdot 3\text{NaAlSiO}_4$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico.

INDICES DE REFRACCION:

$$N = 1.483 - 1.487$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.14 - 2.40$

FORMAS EN SECCION.- En cristales euhedrales con secciones e
xagonales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: coloreado, gris
azulado, amarillo, azul, verdoso, rojo pálido, etc. Con los
nicoles cruzados es isotrópico.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.-, Moderado, índices de refracción menores que los de
del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Puede mostrar clivaje pero imperfecto.

MACLAS.- No se observa por la oscuridad del cristal.

CARACTER OPTICO.- Isotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Practicamente no posee.

EXTINCCION.- Completa.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

ALTERACION.- Altera a una masa fibrosa de Zeolitos, princi-
palmente Natrolita; puede igualmente alterar a una masa la-
mellar de Sericita, Cancrinita, Granate, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La Sodalita se caracteriza por
su baja refringencia entre las sustancias isotrópicas excep-
tuando solamente la Leucita, Analcima y Fluorita; de ellas
se establece diferencias mediante micro-reacciones.

DISTRIBUCION.- Presente en rocas ígneas pobres en cuarzo y
ricas en sodio, algunas veces asociado con Nefelina como
en Sienitas Sodalíticas, Traquitas, etc.

15.- HAUYINITA (Fot.# 22)

FORMULA.- $\text{NaSO}_4 \cdot 3(\text{Na}(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_4)$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico.

INDICES DE REFRACCION:

$N = 1.496 - 1.510$; varia con el contenid
do de Calcio que posee en pequeña cantidad.

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.4 - 2.5$

FORMAS EN SECCION.- Se observan cristales euhedrales de /

secciones exagonales, ligeramente redondeadas unas veces y otras exagonales incompletas.
COLORES EN SECCION.- Con los nicoles paralelos: coloreado con ligero predominio de azul claro, variando a muchos tonos. Con los nicoles cruzados en isotrópico.
RELIEVE.- Moderado; refringencia menor que la del Bálamo de Canadá.
CLIVAJE.- No es importante en secciones delgadas.
MACLAS.- No se observan en secciones delgadas.
CARACTER OPTICA.- Ópticamente isotrópico.
BIRREFRINGENCIA.- Muy raras veces posee una birefringencia muy débil.
EXTINCCION.- Completa, por ser isotrópica.
FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.
ALTERACION.- Puede alterar a Zeolitos.
CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es semejante a la Sodalita, pero ésta tiene índice de refracción ligeramente mas bajo.- Lo mismo puede afirmarse tratándose de la Analcima.
DISTRIBUCION.- También es propia de rocas ígneas pobre en cuarzo y ricas en sodio, como andesitas hauyníticas, fonolitas y traquitas, también hauyníticas.

16.- CANCRINITA

FORMULA.- $\text{CaCO}_3 \cdot 3(\text{Na}(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$
SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Exagonal.
INDICES DE REFRACCION:
Nw = 1.515 - 1.524
Ne = 1.491 - 1.502
PESO ESPECIFICO.- G = = 2.42 - 2.50
FORMAS EN SECCION.- Cristales anhedrales muy irregulares, parecidos a la Calcita.- Cristales raros.
COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: coloreado en secciones standart.- Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia azules o verdes del segundo orden.
RELIEVE.- Bajo, refringencia menor que la del Bálamo de Canadá.
CLIVAJE.- Clivaje prismático bueno, paralelo a (1010).
MACLAS.- No comunes.
CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado a fuerte, $N_g-N_p=0.023-0.029$.

EXTINCIÓN.- Paralela a las trazas de clivaje.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa.

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones de líquidos, gases y sólidos.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS/- Se diferencia de la Nefelina por sus índices de refracción más bajos, igualmente se los puede diferenciar por la fuerte birrefringencia de la Nefelina. La Escapolita posee también refringencia más elevada. La Calcita es fuertemente birrefringente y de relieve alto.

ALTERACION.- Es raro su alteración a Natrolita principalmente.

DISTRIBUCION.- Asociado con Nefelina en rocas ígneas alcalinas, se encuentra principalmente en zonas de contacto.

MINERALES FERROMAGNESIANOS.

GRUPO: MICAS.

Este grupo incluye un conjunto de aluminosilicatos de potasio, magnesio, hierro, litio, etc.

17.- MUSCOVITA (Fot.# 23)

FORMULA.- $KAl_2(OH,F)_2(Si_3Al)O_{10}$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p=1.556-1.572$

$N_m=1.587-1.611$

$N_g=1.593-1.615$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.75 - 3.20$

FORMAS EN SECCION.- Las formas en sección son la de cristales subedrales delgados con delineamiento irregular; los agregados son lamelares formado por láminas individuales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicols paralelos es coloreado o verde pálido; con los nicols cruzados los máximos colores de in

terferencia son del segundo orden.

PLEOCROISMO.- Algunas variedades ricas en fierro tienen débil pleocroismo, aumentando con el tenor de éste.- En secciones gruesas estos colores de pleocroismo son: coloreado, amarillo pálido, marrón, etc.- En otras variedades: rojo purpura, rojo marrón, etc.

RELIEVE.- Moderado en comparación con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- No son importantes.

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.037 - 0.041$

EXTINCIÓN.- Inclinado con un pequeño ángulo de extinción entre 2° y 3° dando la impresión de extinción paralela en muchos casos.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa ; la bisectriz aguda ligeramente normal a (001)

ANGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 30^\circ - 45^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Perpendicular a la fase (010)

INCLUSIONES.- Principalmente de Zircón rodeado de halos pleocroicos, también de Apatita, Granate, Turmalina, Espinel, Magnetita, Cuarzo, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su clivaje micáceo.- No se puede precisar muy bien su diferencia con Clorita, Talco y Caolín, salvo haciendo análisis microquímicos.- No obstante su estructura en forma de ojos de pajarero es muy característico de este mineral, como se observa en la fotografía # 19.

18.- BIOTITA. (Fot.# 24)

FORMULA.- $K_2(Mg, Fe)_2(OH)_2(Al, Si)_3O_{10}$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.541 \quad 1.623$

$N_m = 1.574 \quad 1.676$

$N_g = 1.574 \quad 1.677$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.1 - 3.4$

FORMAS EN SECCION.- Son comunes las secciones exagonales incompletos, también los agregados lamelares, laminas grandes y pequeñas.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es amarillento marrón, verde oliva o verde.- Con nicoles cruzados los máximos colores de interferencia gradan sobre el rojo del segundo orden.

PLEOCROISMO.- Fuertemente pleocroico con los siguientes colores de cambio: amarillo a marrón rojizo, marrón oscuro a verde grass.

RELIEVE.- Moderado, índices de refracción mayores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- Puede presentarse aunque no son importantes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $n_g - n_p = 0.033 - 0.0054$.

EXTINCCION.- Inclinada con pequeño ángulo de extinción entre 0° a 3° , dando la impresión de una extinción paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa con la bisectriz aguda ligeramente normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Pequeño ángulo axial, $2V = 0^\circ - 25^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010)

INCLUSIONES.- Las inclusiones pueden ser de Zircón con halos pleocroicos, Apatita, Titanita, Rutilo, etc.

ALTERACION.- Altera facilmente a Clorita con Epidota, Calci-ta, cuarzo, Rutilo, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de este mineral sus colores oscuros y fuerte pleocroismo que lo diferencia de la Flogopita; de Turmalina por su figura de interferencia Uniaxial negativa; la Horneblenda tiene mayor ángulo de extinción y clivaje prismático anfibólico.

DISTRIBUCION.- Muy abundante en muchos tipos de rocas ígneas tambien en rocas metamórficas, gneisses y esquistos.

19.- FLOGOPITA

FORMULA.- $KMg_3(OH, F)_2(Al, Si_3)O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.551 - 1.562$

$N_m = 1.598 - 1.606$

$N_g = 1.598 - 1.606$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.8 - 3.0$

FORMAS EN SECCION.- Los cristales son prismáticos tabulares gruesos con secciones más ó menos exagonales.

COLORES EN SECCION.- Mineral de color marrón pálido, amarillento ó coloreado entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del tercer orden.

PLEOCROISMO.- Es ligeramente pleocroico con los siguientes colores: coloreado, amarillo, marrón, ect.

RELIEVE.- Claro, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal bueno.

MACLAS.- No son importantes, pueden distinguirse por la diferencia de colores en partes adyacentes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.044 - 0.047$.

EXTINCCION.- Inclínada con pequeño ángulo de extinción: 5° que semeja una extinción paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es biaxial negativa. La bisectriz aguda es ligeramente normal a (001)

ANGULO OPTICO.- Pequeño, $2V = 0^\circ - 10^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010)

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones aciculares que pueden ser de rutilo, hematita y turmalina.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La flogopita se distingue de la biotita por sus colores claros.

DISTRIBUCION.- Es relativamente raro en rocas ígneas, pero puede ocurrir en peridotitas, rocas leucíticas, serpentinas etc. - Es mas característico de calizas metamórficas.

20.- LEPIDOLITA

FORMULA.- $KAlLi_2(OH,F)Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:-

$N_p = 1.530 \quad 1.560$

$N_m = 1.550 \quad 1.598$

$N_g = 1.555 - 1.605$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.8 - 3.1$

FORMAS EN SECCION.- Agregado de cristales prismáticos cortos y tabulares gruesos.

COLORES EN SECCION.- Es coloreado entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del segundo orden.

PLEOCROISMO.- Débil pleocroismo, con los siguientes colores coloreado, rosado, violeta, etc.

RELIEVE.- Claro, índices de refracción mayor que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje basal bueno.

MACLAS.- Son comunes las maclas según la ley de la mica.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.025 - 0.045$

EXTINCCION.- Inclinada; ángulo de extinción entre 0° y 7° .- Puede aparecer paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 40^\circ - 46^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Normal a (010)

INCLUSIONES.- Puede tener inclusiones de rutilo, zircón, Ca siterita, topacio, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- No es precisa la diferencia con otros tipos de micas, por lo general se recurre a reacciones microquímicas ú otros medios no ópticos.

DISTRIBUCION.- Es raro en rocas ígneas; sin embargo, pueden encontrarse en pegmatitas, granitos, etc.

GRUPO: ANFIBOLES. (Fot.# 25)

Junto con los Piroxenos constituyen más o menos el 50% de los mafitos. Al igual que los piroxenos, cristalizan en 2 sistemas: ortorrómbico y monoclinico. Su clivaje prismático es característico, el ángulo entre las trazas del clivaje en una sección basal es cerca de 56° y 124° . En general, los anfiboles son minerales complejos, y un cristal simple, puede estar formado por dos, tres o más miembros del grupo. Esta variación de composición puede apreciarse en los diagramas adjuntos.

21.- ANTOFILITA ó GEDRITA

FORMULA.- $(Mg, Fe)_7(OH)_2(Si_4O_{11})_2$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.598 - 1.654$

$N_m = 1.613 - 1.662$

$N_g = 1.623 - 1.671$

PESO ESPECIFICO.- $G = 5.5 - 6.0$

FORMAS EN SECCION.- Agregados fibrosos, asbestiforme; cristales prismáticos columnares.

COLORES EN SECCION.- El mineral es coloreado con tonos pálidos entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan sobre el azul del segundo orden.

PLEOCROISMO.- Es propio de algunas variedades, siendo los colores de pleocroismo los siguientes: marrón pálido, amarillo, verde, etc.

RELEIVE.- Alto, refringencia mayor que el del Bálamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje prismático; ángulo de extinción: 54° y 126° entre sus trazas.

MACLAS .- Muy raras en seccion delgada.

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.017 - 0.025$

EXTINCION.- Paralela en secciones longitudinales y simétrica en secciones transversales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial positiva en la variedad Antholita y negativa en la Gedrita; la bisectriz aguda es normal a (010)

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V$ cerca a 90° .

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes opticos es paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son propias de la Gedrita, las inclusiones de biotita, espiñel, zircón, rutilo, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Puede diferenciarse de los anfiboles monoclinicos por su extinción paralela.

ALTERACION.- Altera a talco.

DISTRIBUCION.- Es un mineral común en rocas ígneas como: Dunitas y Peridotita; es más característico de rocas metamórficas, esquistos, etc.

22.- TREMOLITA (Fot.# 26)

FORMULA.- $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.599 - 1.118$

$N_m = 1.613 - 1.633$

$N_g = 1.625 - 1.641$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.0$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales de hábito prismático con secciones rómbicas características; también en agregados fibrosos.

COLORES EN SECCION.- Mineral coloreado entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del segundo orden sobre el verde (diagrama de Michel-Levy).

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Moderado, refringencia mayor que el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje prismático con 56° entre sus trazas.

MACLAS.- Pueden observarse maclas simples sobre secciones paralelas a (100).

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa, con la bisectriz aguda ligeramente normal a la fase (100).

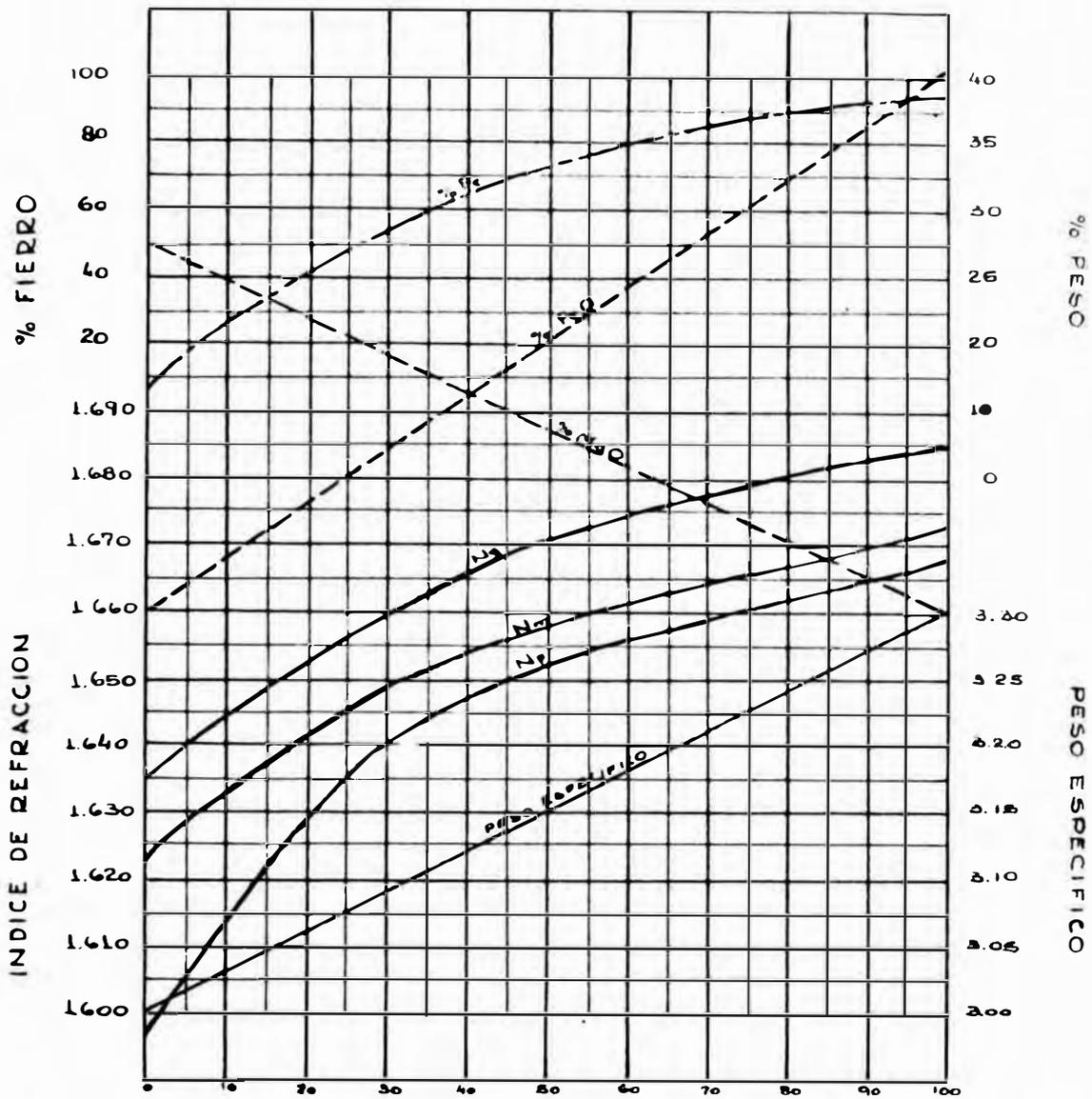
ANGULO OPTICO.- Grande, $2V$ más o menos 80° .

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos de este mineral su pequeño ángulo de extinción, su clivaje anfibólico, etc.; difiere de la Tremolita y Actinolita por la falta de color definido, por sus índices de refracción bajos (los más bajos entre los anfíboles monoclínicos). Los piroxenos y wollastonita se diferencian de él por su clivaje.

ALTERACION.- Usualmente altera a talco.

DISTRIBUCION.- Es un mineral secundario, raro en rocas ígneas. También se presenta en esquistos y rocas de contacto.



TREMOLITA
 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$
 $N_g = 1.635$
 $N_m = 1.623$
 $N_p = 1.607$
 $G = 3.00$
 $\text{Fe} = 6.5\%$

ACTINOLITA
 $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$
 $N_g = 1.667$
 $N_m = 1.653$
 $N_p = 1.648$
 $G = 3.15$
 $\text{Fe} = 64.5\%$

FERRO-TREMOLITA
 $\text{Ca}_2\text{Fe}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$
 $N_g = 1.685$
 $N_m = 1.673$
 $N_p = 1.668$
 $G = 3.30$
 $\text{Fe} = 96.5\%$

Fig 38.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DE TREMOLITA -ACTINOLITA.

23.- ACTINOLITA

FORMULA.- $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$.- Es la tremolita ferri-fera con 10% a 20% de FeO.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.638 \quad 1.668$

$N_m = 1.640 \quad 1.656$

$N_g = 1.659 - 1.685$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.3$

FORMAS EN SECCION.- Agregados fibrosos, aciculares; cristales de hábito prismático alargado.

COLORES EN SECCION.- Mineral coloreado con predominio verdoso entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del segundo orden. (diagrama de Michel-Levy)

PLEOCROISMO.- Débil, los colores pleocroicos son: amarillo pálido, amarillo, verdoso-verde oscuro pálido.

RELIEVE.- Alto comparado con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Prismático anfibólico con 56° ó 124° entre sus trazas.

MACLAS.- pueden observarse maclas simples.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.019 - 0.025$

EXTINCIÓN.- Inclinada, varía entre 14° y 17° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial positiva, la bisectriz aguda ligeramente inclinada a la fase (100).

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V$ entre 75° y 80° .

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- El color pálido, la extinción inclinada, etc son característicos de este mineral.- Se distingue de la hornblenda por sus colores en seccion y por la ausencia de aluminio, puesto de manifiesto mediante reacciones micro-químicas.- Los índices de la tremolita son ligeramente mayores y sus colores en seccion son diferentes del verde.

ALTERACION.- Altera a Clorita, Epidota, Calcita, etc.

DISTRIBUCION.- Es un mineral de alteración en rocas ígneas en esquistos y en rocas de contacto.

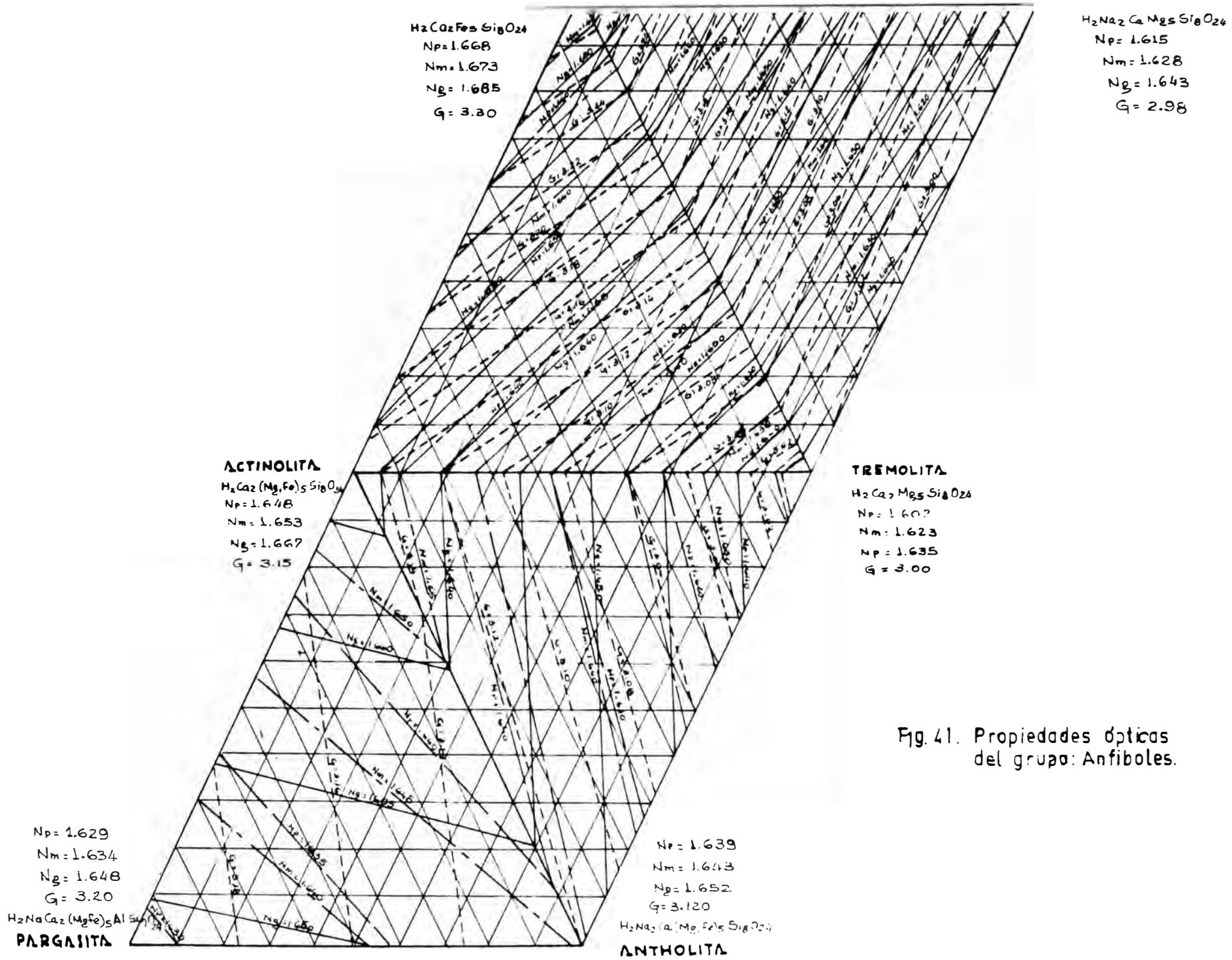


Fig. 41. Propiedades ópticas del grupo: Anfiboles.

24.- HORNEBLENDA (Fot.# 27)

FORMULA.- $Ca_2(Mg, Fe, Al)_{7-8}(OH)_2(\{Si, Al\}_{4O_{11}})_2$ aproximadamente.- Ver diagrama de composición según A.N.Winchell.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$$N_p = 1.614 \quad 1.675$$

$$N_m = 1.618 \quad 1.691$$

$$N_g = 1.633 \quad 1.701$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.0-3.5$, aumenta en razón directa del tenor de fierro.

FORMAS EN SECCION.- Cristales subedrales a enhedrales con ligero hábito prismático alargado con secciones transversales pseudoexagonales.- Menos común en agregados fibrosos.

COLORES EN SECCION.- Secciones de color verde oscuro a marrón ó negro, en la variedad Edenita lo mismo que en la Pargasita es coloreado, con los nicoles paralelos.- Con los nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son del segundo orden algunas veces influenciado por el color del mineral.

PLEOCROISMO.- Es más intenso en las variedades marrones que en las verdes; los colores de pleocroismo son variables: verde amarillento-verde oliva-verde oscuro; marrón pálido-verdoso-verde oscuro; amarillo claro-marrón oscuro-marrón verdoso oscuro; marrón verdoso-marrón rojizo, etc.

RELIEVE.- Moderadamente alto, mayor que el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje prismático anfibólico: 55° ó 125° entre sus trazas.

MACLAS.- Pueden presentarse maclas sobre (100)

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderadamente alto, no muy fuerte, $N_g - N_p = 0.019 - 0.026$

EXTINCCION.- Inclínada, en secciones longitudinales varia de 15° a 25°

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa, a excepción de la Pargasita que es positiva.

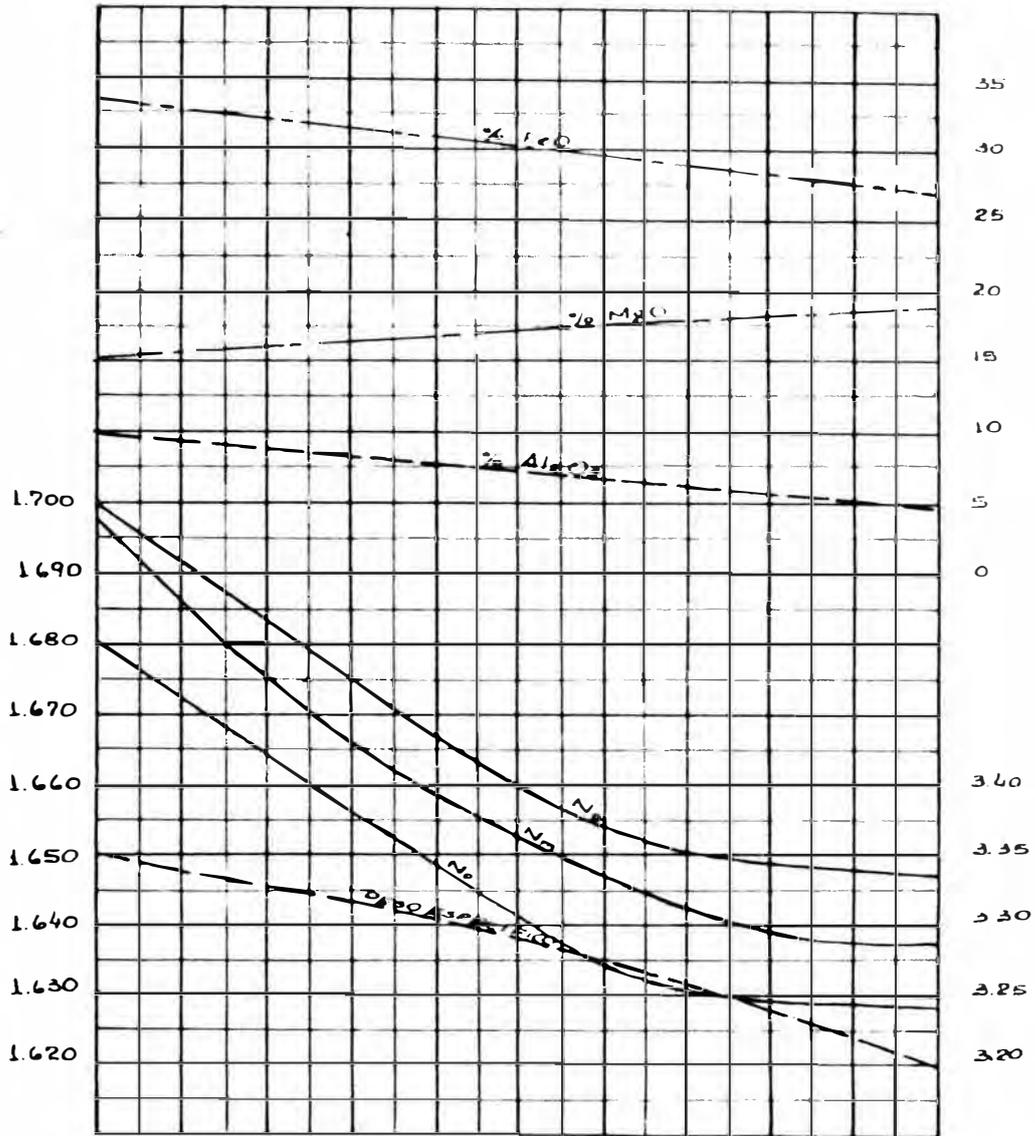
ANULO OPTICO,- Grande y variable, $2V = 38^\circ - 88^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones de Apatita, Zircón, Magnetita, Rutilo, etc, pero no es tan característico

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos de este

INDICES DE REFRACCION



PORCENTAJE EN PESO

PESO ESPECIFICO

$H_2NaCa_2(Mg,Fe)_4Al_2Si_7O_{24}$
HORNEBLENDA
 $N_g = 1.684$
 $N_m = 1.675$
 $N_p = 1.664$
 $G = 3.35$

$H_2Ca_2Na(Mg,Fe)_5AlSi_7O_{24}$
PARGASITA
 $N_g = 1.648$
 $N_m = 1.634$
 $N_p = 1.629$
 $G = 3.20$

Fig 40.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DE HORNEBLENDA-PARGASITA. (ANFIBOLES)

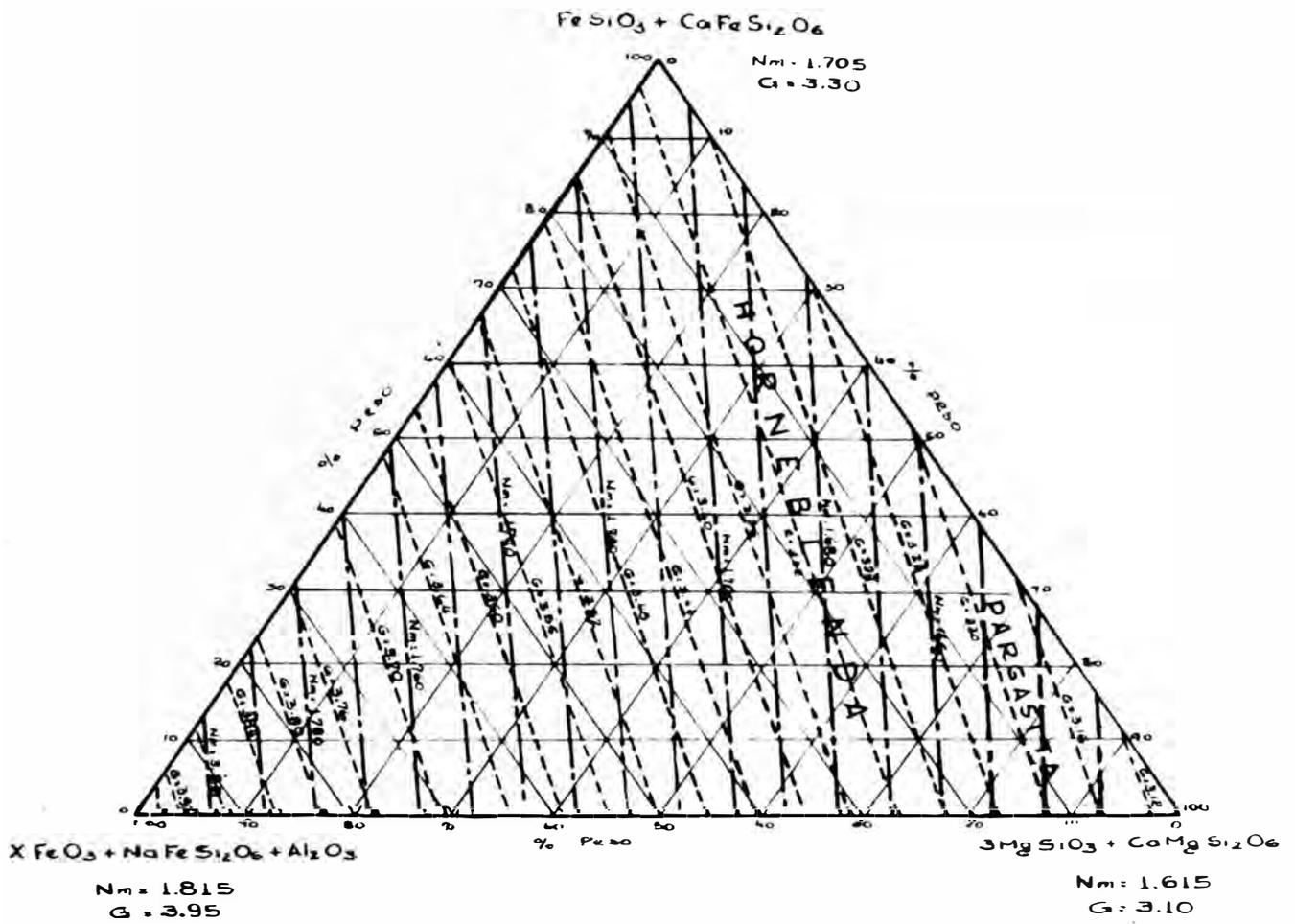


Fig 39.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS
DEL MINERAL HORNEBLANDA.

mineral: el pleocroismo, sus cristales alargados, extinción inclinada y ángulo de clivaje.- Existe diferencia con algunos minerales, la Pargasita por ejemplo es Biaxial positiva la Augita tiene clivaje prismático característico de los piroxenos y mayor ángulo de extinción (36°-45°); la Biotita tiene mejor clivaje y en una sola dirección y extinción casi paralela, 3°.

ALTERACION.- Altera a Clorita algunas veces con Epidota, Calcita, Siderita, Cuarzo, etc.- Menos comunmente altera a Biotita con Epidota; la Horneblenda Basáltica es producida por la oxidación del fierro de la Horneblenda común.

DISTRIBUCION.- Repartido en rocas ígneas, principalmente en Dioritas, Andesitas, Granitos, etc. Generalmente asociado con piroxenos.- Es también importante en algunos esquistos y rocas de contacto.

25.- ARFVEDSONITA

FORMULA.- $\text{Na}_3(\text{Fe}, \text{Mg})_4(\text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.683 \quad 1.695$

$N_m = 1.687 \quad 1.698$

$N_g = 1.688 \quad 1.705$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.33 - 3.45$

FORMAS EN SECCION.- Cristales prismáticos y también agregados fibrosos.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos los colores son: azul a negro; con los nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son del primer orden sobre el gris

PLEOCROISMO.- Fuerte con los siguientes colores de cambio: verde azulado-verde-azul; marrón amarillento-violeta; azul marrón-gris azulado oscuro-amarillo verdoso-gris o marrón verdoso.

RELIEVE.- más o menos alto.

CLIVAJE.- Clivaje anfibólico perfecto, 56° ó 124° entre sus trazas.

MACLAS.- No son importantes

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.005 - 0.008$.

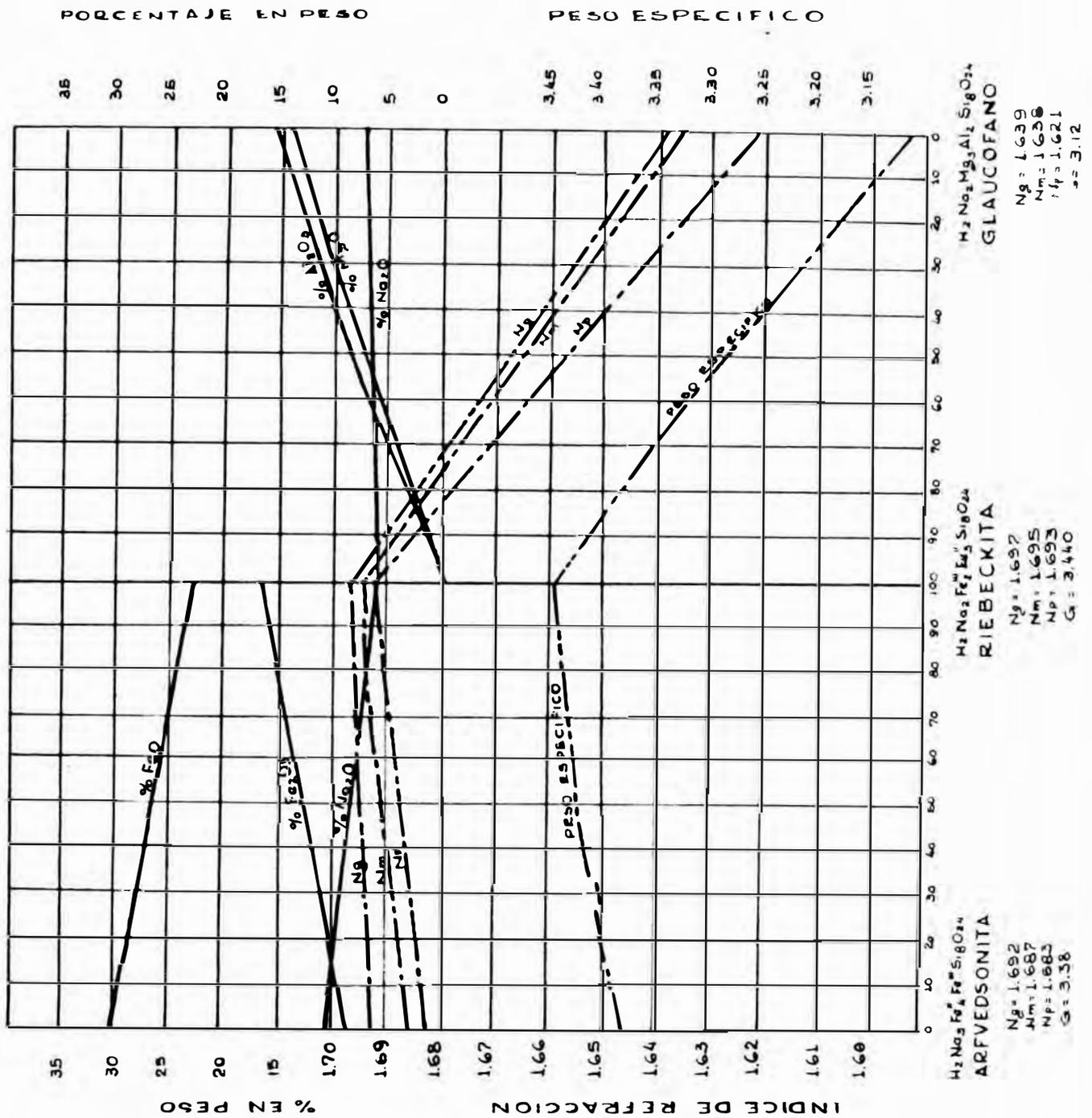


Fig 42.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO: ANFIBOLES..

EXTINCIÓN.- Inclínada con pequeño ángulo: 14° a 20°
FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa con la bisectriz aguda inclinada 12° a 15° al eje c.
ÁNGULO OPTICO.- Grande.
PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).
CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS.- Comunmente color azul, birrefringencia débil, pleocroismo pecuñar, etc.
ALTERACIÓN.- Puede transformarse a Acmita con Lepidomelano. Altera a Limonita y Siderita.
DISTRIBUCIÓN.- En rocas ígneas alcalinas principalmente sódicas, tales como Sienitas Nefelínicas, Traquitas, Granitos Pegmatíticos etc, se encuentra distribuido.

26.- RIEBECKITA.

FORMULA.- $\text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACIÓN.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCIÓN:

$N_p = 1.650 \quad 1.693$

$N_m = 1.650 - 1.695$

$N_g = 1.660 \quad 1.697$

PESO ESPECÍFICO.- $G = 3.44$

FORMAS EN SECCIÓN.- Cristales subedrales de hábito prismático; agregados fibrosos.

COLORES EN SECCIÓN.- Mineral azul oscuro ó negro entre nicóles paralelos; con nicóles cruzados, los máximos colores de interferencia son del primer orden influenciados por el color del mineral.

PLECROISMO.- Fuerte, con los siguientes colores de cambio: azul índigo oscuro- azul profundo-verde-azulverdoso; amarillo marrón-violeta-amarillo-amarillo claro, etc.

RELIEVE.- alto, comparado con él del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje prismático perfecto, 124° ó 56° entre sus trazas.

MACLAS.- No importantes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.004 - 0.009$

EXTINCIÓN.- Inclínada con pequeño ángulo de extinción: 3°-5°.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Grande.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por el color y pleocroismo intenso lo mismo que por su pequeño ángulo de extinción.

DISTRIBUCION.- Ocurre en rocas ígneas sódicas: Granitos, Granitos Aplíticos, Sienitas, Pegmatitas, Traquitas, etc.- También en algunas rocas metamórficas.

Nota.- Otros anfíboles tales como: Cummingtonita, Grunerita, Glaucófano, etc no constan en este estudio porque no son característicos de rocas ígneas, objeto de este estudio.

GRUPO: PIROXENOS (Fot.# 28)

Los minerales de este grupo son importantes porque junto con los anfíboles y otros minerales oscuros constituyen los mafitos de las rocas ígneas.

Estos minerales cristalizan en dos sistemas: orto - rrómbico y monoclinico, teniendo un ángulo característico entre las trazas del clivaje de cerca de 93° .- Químicamente son metasilicatos de magnesio, fierro y calcio con silicatos dobles de sodio o litio con aluminio o fierro férrico

Del texto de A.N.Winchell tomamos las siguientes diferencias entre piroxenos y anfíboles desde el punto de vista óptico.

PIROXENOS

- 1.- Angulo de clivaje cerca de 93° .
- 2.- Cristales cortos usualmente prismáticos.
- 3.- Máximo ángulo de extinción en zonas verticales: 30° - 54° , (excepto ciertos tipos alcalinos de colores raros)
- 4.- Mayor número de especies positivas.
- 5.- Color y pleocroismo ge-

ANFIBOLES

- 1.- Angulo de clivaje cerca de 124°
- 2.- Cristales largos usualmente prismáticos.
- 3.- Máximo ángulo de extinción en zonas verticales: 0° - 25° (excepto ciertos tipos alcalinos de colores raros)
- 4.- Mayor número de especies negativas.
- 5.- Color y pleocroismo gene-

neralmente débiles.

6.- Altera a anfíbol.

ralmente fuertes.

6.- Altera a Clorita (cambia a piroxenos por fusión).

27.- ENSTATITA

FORMULA.- FeSiO_3 con menos de 5% de fierro. Entre 5 y 14% de FeO se llama broncita.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION:-

$$N_g = 1.656 \quad 1.661$$

$$N_m = 1.659 \quad 1.668$$

$$N_g = 1.665 - 1.672$$

Estos índices se incrementan con el contenido de fierro.

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.18$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales á anhedrales. Cristales prismáticos cortos con la sección cruzada, característicos de los piroxenos.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia en secciones standart son blanco amarillento o amarillo pálido de primer orden (diagrama de Michell-Levy).

PLEOCROISMO.- En secciones gruesas se aprecia los siguientes colores de pleocroismo: amarillo pálido á amarillo marrón, á verde brillante.

RELIEVE.- Alto, en comparación con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje bueno en 2 direcciones (prismático): 88° - 93° .- En secciones longitudinales las trazas de clivaje están en una sola dirección.

MACLAS.- Son raras.

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.009 - 0.011$, ligeramente parecido a los del cuarzo.

EXTINCION.- Paralela en todas secciones, principalmente en las cortadas paralelamente al eje cristalográfico.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial positiva. La bisectriz aguda es normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 58^\circ - 80^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano axial es paralelo a la fase (010).

INCLUSION.- No es raro inclusiones alargadas gaseosas o lí-

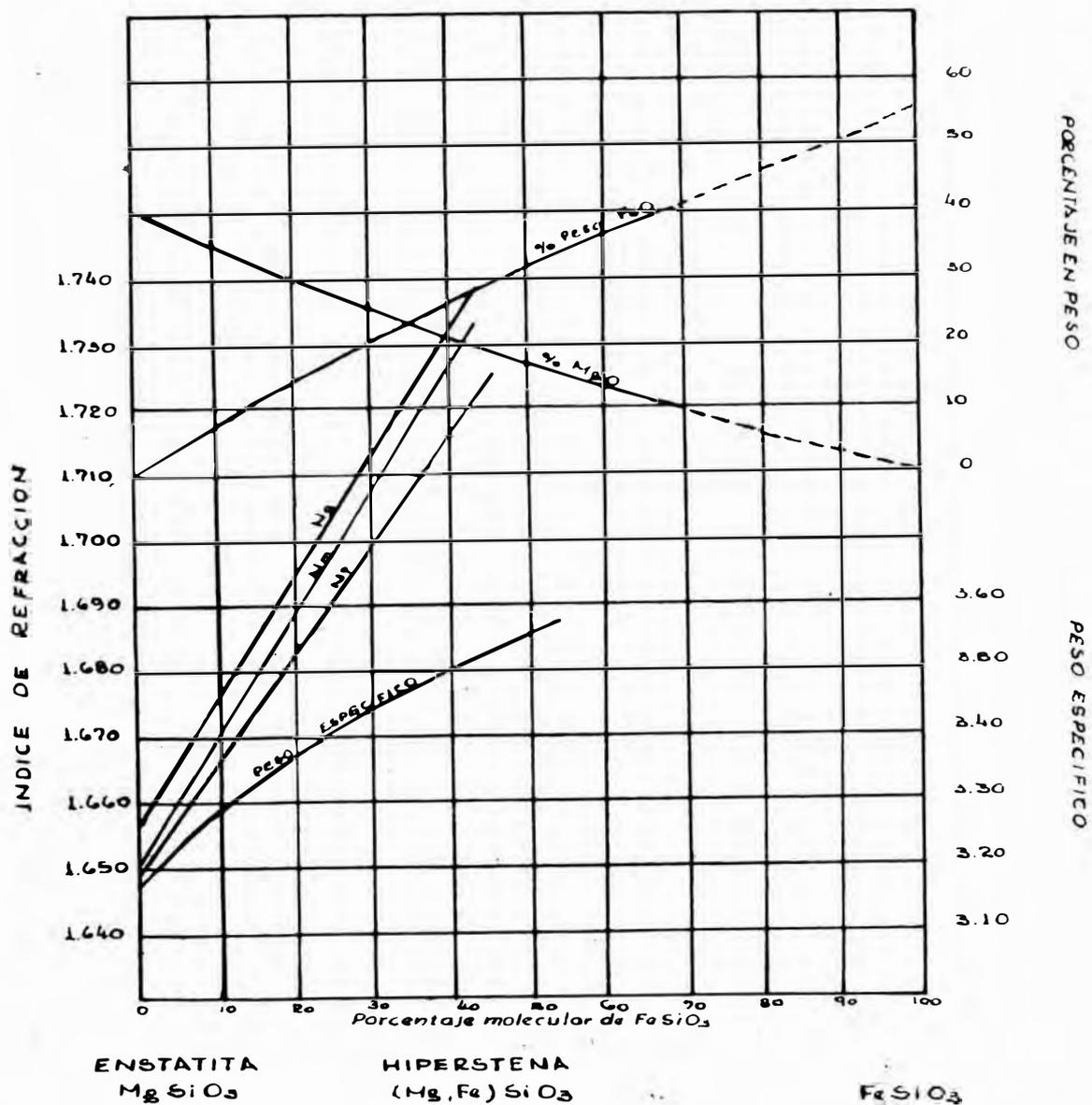


Fig 44.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO PIROXENOS.

quidas; igualmente, inclusiones vitrias y de varios otros minerales, como Magnetita, cuarzo, apatita, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se caracteriza por su figura positiva, su extinción paralela y sus índices moderadamente altos.- Se diferencia de la hiperstena por su signo óptico y por su refringencia más baja.- De los piroxenos monoclinicos, por su extinción paralela.

ALTERACION.- Altera facilmente a una variedad de antigorita llamada bastita; menos común es su alteración a Uralita, que es una variedad de hornblenda, y menos comunmente, a talco.

DISTRIBUCION.- La enstatita es un constituyente común en rocas ígneas mafíticas; puede presentarse también en esquistos cristalinos, siendo un constituyente común de muchos meteoritos.

28.- HIPERSTENA

FORMULA.- $(Mg, Fe)SiO_3$. - Con más de 14% de FeO.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION:-

$N_p = 1.673 \quad 1.715$

$N_m = 1.678 - 1.728$

$N_g = 1.683 \quad 1.731$

Al igual que en la Enstatita, los índices de refracción incrementan con el contenido de fierro.

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.3 - 3.5$

FORMAS EN SECCION.- Generalmente, en cristales sub-edrales de hábito prismático, con la sección característica de los piroxenos, más o menos cuadrada.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos, los colores del mineral son: rojizo o verdoso claro. Con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son: amarillo o rojo del primer orden.

PLEOCROISMO.- Incrementa con el contenido de fierro. Como colores de pleocroismo puede observarse: rojo claro á amarillo rojizo, rojo marrón; también amarillo á amarillo paja á rojo claro; o también claro verde á verde pálido; verde botella á azul cielo.

RELIEVE.- Alto, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Bueno en secciones paralelas en (010). Prismático (93°).

MACLAS.- Raramente presentes.

CARACTER OPTICO.- Sustancia ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.010 - 0.016$.
EXTINCIÓN.- Paralela en muchas secciones.
FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa, con la bisectriz aguda normal a (100)
ÁNGULO OPTICO.- Grande, $2V = 63^\circ$ ó 90° .
PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (010).
INCLUSIONES.- Al igual que en la Enstatita, son comunes algunas inclusiones.
CARACTER OPTICO.- Son distintivos de este mineral, el pleocroismo, extinción paralela, su refringencia alta, etc. Es parecido a algunas variedades de Andalucita, pero puede diferenciarlo la medida de sus índices de refracción.
ALTERACION.- Altera a Serpentina.
DISTRIBUCION.- La Hiperstena, junto con plagioclasas, constituye gran parte de algunas rocas plutónicas básicas, principalmente Noritas, Gabros hipersténicos; también en andesitas; menos común en peridotitas y piroxenos.

29.- CLINOLENSTATITA

FORMULA.- $MgSiO_3$.- Con pequeño contenido de fierro.
SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.
INDICES DE REFRACCION: -
 $N_p = 1.651$
 $N_m = 1.654$
 $N_g = 1.660$
PESO ESPECIFICO.- $G = 3.19$
FORMAS EN SECCION.- Cristales prismáticos raros.
COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicoles paralelos. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son: del primer orden (diagrama de Michell-Levy).
RELIEVE.- Alto, comparado con el Bálsamo de Canadá.
CLIVAJE.- Bueno sobre la fase (110). El ángulo de Clivaje piroxénico es 88° .
MACLAS.- Ausentes en seccion delgada.
CARACTER OPTICO.- Mineral ópticamente anisotrópico.
BIRREFRINGENCIA.- Débil, parecido al del cuarzo, $N_g - N_p = 0.009$
EXTINCIÓN.- Inclinada.- Ángulo de extinción 22° .
FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial positiva. La bisectriz aguda hace un ángulo de 22° con el eje cristalográfico c.
ÁNGULO OPTICO.- Moderadamente grande, $2V = 54^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Normal a (010).

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su ángulo de extinción de 22° sobre la fase (010).

ALTERACION.- Rara.

DISTRIBUCION.- Es raro en rocas ígneas. especies con menos fierro, puede existir en ciertas diabasas.

30.- PIGEONITA

FORMULA.- $(Ca, Mg)(Mg, Fe)(SiO_3)_2$.- Es un tipo de la serie clinostatita y diopsido, como muestra la Fig.# 37.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico

INDICES DE REFRACCION:-

$$N_p = 1.690 \quad 1.717$$

$$N_m = 1.691 \quad 1.719$$

$$N_g = 1.711 - 1.744$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.2 - 3.4$

FORMAS EN SECCION.- Como cristales sub-edrales a anhedrales. Secciones transversales son características del grupo de piroxenos.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos, coloreado; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia varían de rango a lo largo del segundo orden.

PLEOCROISMO.- Muy débil con los siguientes colores pleocroicos: verde amarillento, rosado marrón, blanco verdoso, marrón difuso, amarillo pálido, rosado, verde amarillento paja, verde de paja, etc.

RELIEVE.- Más o menos alto.

CLIVAJE.- Ligeramente prismático, 88° entre sus trazas.

MACLAS.- Maclas polisintéticas sobre la fase (100), no muy común.

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.021 - 0.027$

EXTINCION.- Inclínada. Posición de extinción entre 22° y 45°

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva. La bisectriz aguda es inclinada ($22^\circ - 45^\circ$) al eje cristalográfico.

ANGULO OPTICO.- Moderado y variable, $2V = 0^\circ - 40^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Normal a (010) cuando tiene bajo contenido de Calcio, y paralelo a él, con 7 á 10% de CaO.

INTERFERENCIA.- Las inclusiones son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por su posición de extinción, su pequeño ángulo axial, etc. Con Augita puede presentarse en maclas pero los diferencia su ángulo axial y su ángulo de extinción, ambos mayores.

ALTERACION.- Puede alterar a Serpentina, Calcito o Dolomita

DISTRIBUCION.- En rocas ígneas máficas, en basaltos, doleritas, diabasas y gabros.

31.- DIOPSIDO (Fot.# 29)

FORMULA.- $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$.- Hasta con 2% de FeO.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.664 \quad 1.678$

$N_m = 1.671 - 1.685$

$N_g \quad 1.694 - 1.703$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.27 - 3.40$

FORMAS EN SECCION.- Cristales sub-edrales; prismas cortos de sección transversal octogonal, propia de los piroxenos.

COLORES EN SECCION.- Coloreado entre nicoles paralelos. En la variedad Diallaga, puede observarse verde pálido á verde brillante. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan por encima del segundo orden (Diagrama de Michel-Levy).

PLEOCROISMO.- Débil en la variedad ferrosa Diallaga, con los siguientes colores pleocroicos: verdoso, marrón rojizo, etc.

RELIEVE.- Alto, mayor que el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Buen clivaje prismático a 88° entre sus trazas.

MACLAS.- Son comunes las maclas sobre la fase (100). También pueden ser comunes las maclas polisintéticas.

CARACTER OPTICO.- Mineral ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.025 - 0.030$.

EXTINCION.- Inclínada; la posición de extinción varía entre 36° á 44° , incrementándose en razón directa al tenor de hierro.

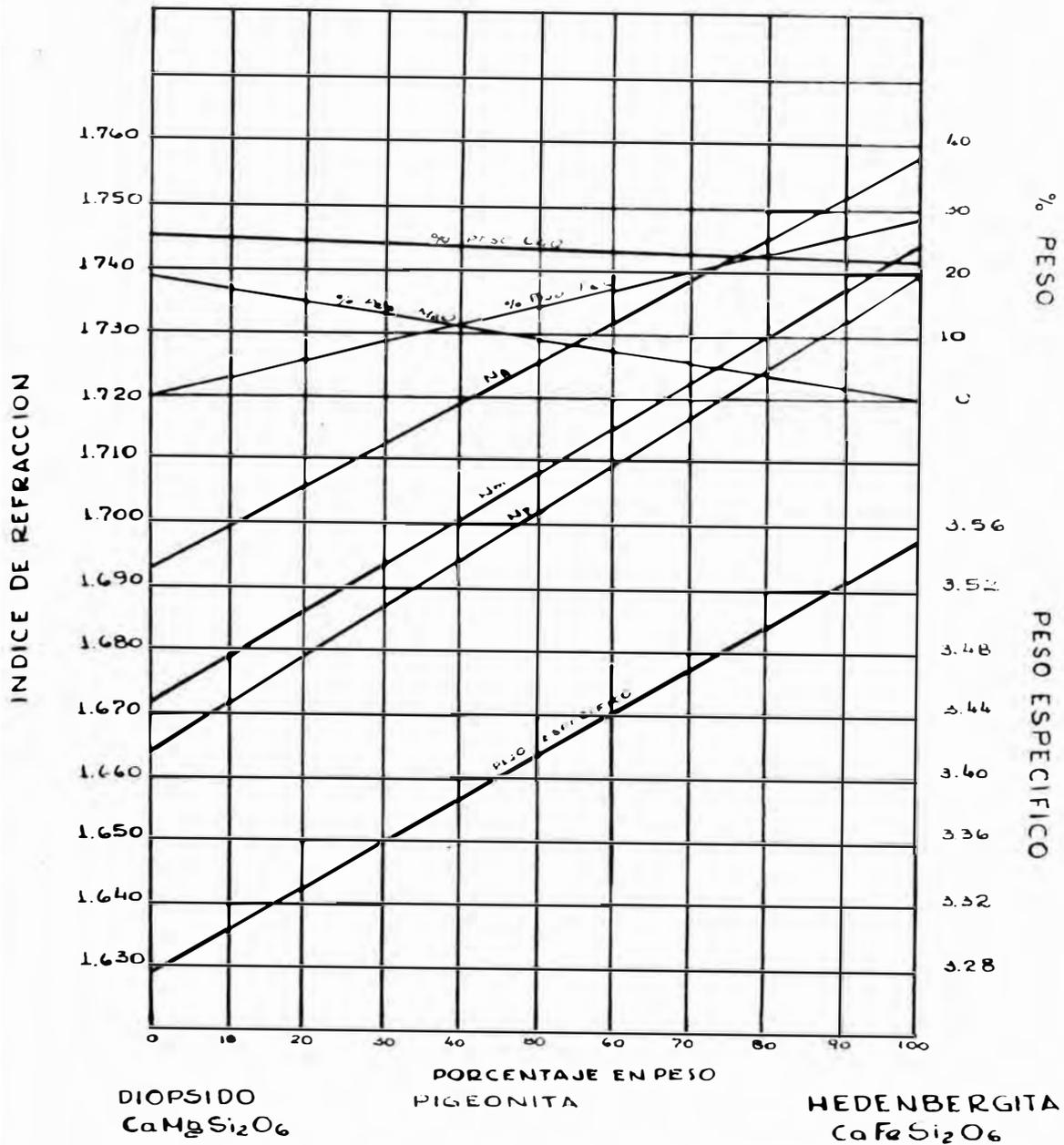
FIGURA DE INTERFERENCIA.- Figura Biaxial positiva; la bisectriz aguda a un ángulo de 38° con el eje c.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 58^\circ - 60^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Se observan inclusiones líquidas, gaseosas y vítreas, a veces ordenadas en zonas.

FIGURA 2



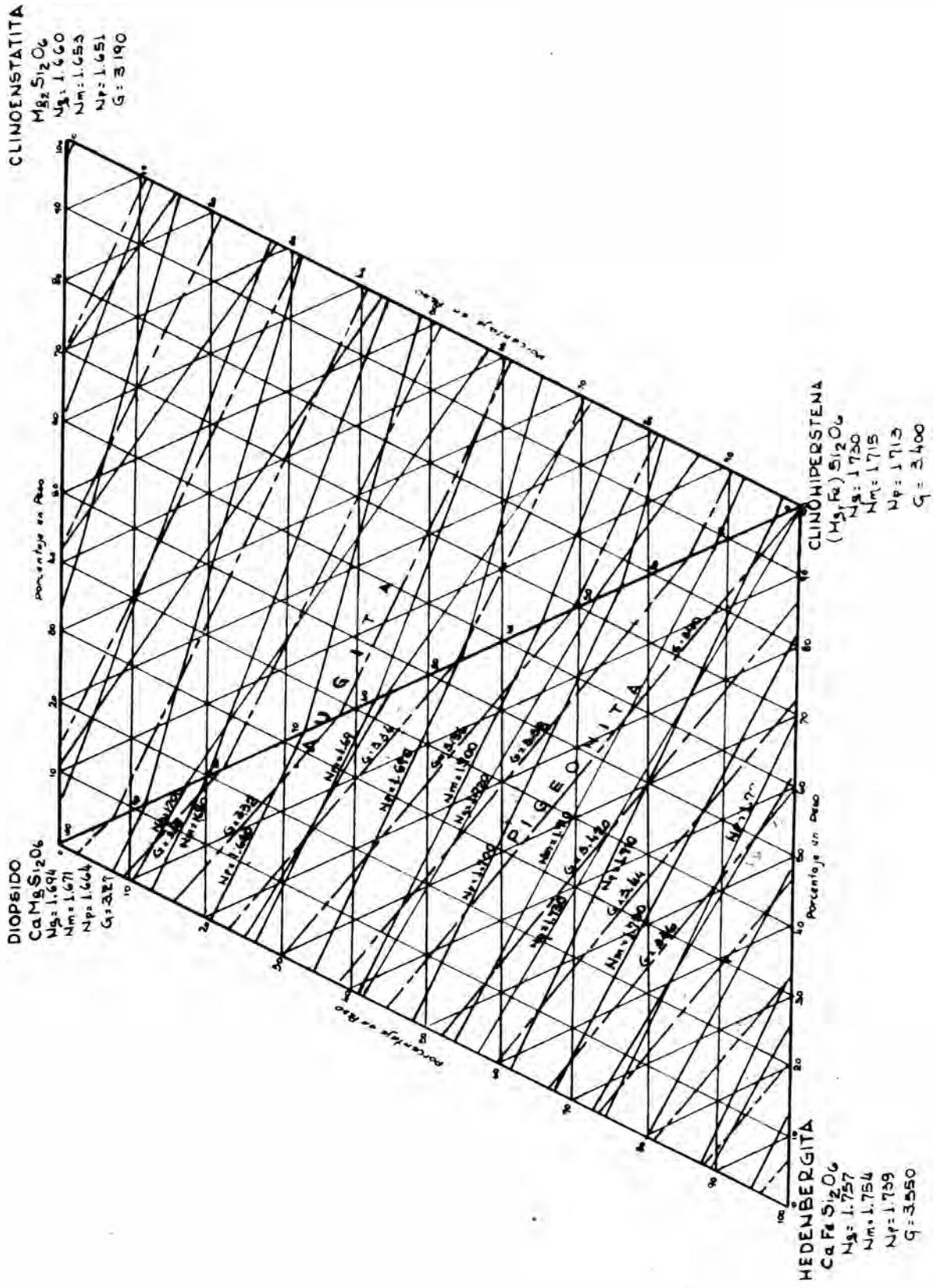


Fig. 43.- Composición y propiedades ópticas del grupo: Piroxenos.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se confunde con Augita, necesitando en último caso un análisis microquímico para diferenciarlos.- La Hedenbergita tiene menor refringencia. La Tremolita tiene un ángulo de extinción menor (10° - 20°). La Clinoenstatita también tiene ángulo de extinción menor (22°) é índices de refracción menores. La pigeonita, ángulo axial pequeño é índices ligeramente mayores. La Jadeita es un piroxeno sódico.

ALTERACION.- Altera a Antigorita, Clorita, Calcita, etc. También a Actinolita, Tremolita, Horneblenda, etc., ú otro Anfíbol (Uralita). Otros productos de alteración incluyen: Biotita, Feldespato, Talco, Opalo, etc.

DISTRIBUCION.- Es más o menos abundante en rocas ígneas, tales como granitos piroxénicos, Dioritas, Sienitas, Piroxenitas, etc. Es más importante en rocas metamórficas y en rocas de contacto, así como en algunos esquistos.

32.- HEDENBERGITA

FORMULA.- $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{SiO}_3)_2$.- Con más de 30% de FeO. La variación de FeO en Diopsido y Hedenbergita se puede apreciar en la Fig. # 37.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:-

$$N_p = 1.732 \quad 1.739$$

$$N_m = 1.737 \quad 1.745$$

$$N_g = 1.751 - 1.757$$

PESO ESPECIFICO: $G = 3.55$

FORMAS EN SECCION - Comunmente en prismas cortos y en agregados columnares.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos, coloreado, verdoso, etc.; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia cerca del violeta rosado del primer orden.

RELIEVE.- Muy alto, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.-Clivaje prismático(87° - 93°) sobre la fase (110).

MACLAS.- Pueden observarse algunas maclas polisintéticas.

CARACTER OPTICO.- Sustancia ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderada, $N_g - N_p = 0.018 - 0.019$.

EXTINCION.-Inclinada, siendo la posición de extinción 42° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva. La bisectriz aguda hace un ángulo de 48° con el eje \underline{c} .

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 60^{\circ}$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Del Diopsido se distingue por sus índices de refracción y ángulo de extinción mayores.

ALTERACION.- No es muy alterable.

DISTRIBUCION.- Es relativamente raro en rocas ígneas. Es común en zonas de contacto metamórfico, en depósitos, etc.

33.- AUGITA. (Fot.# 30)

FORMULA.- $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$.-Con contenido de Titanio.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:-

$$N_p = 1.681 - 1.720$$

$$N_m = 1.684 \quad 1.731$$

$$N_g = 1.704 \quad 1.748$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.2 - 3.6$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales á subedrales. Prismas cortos con secciones ligeramente cuadras ú octogonales características.

COLORES EN SECCION.- Es coloreado entre nicoles paralelos; las variedades ferrosas son verdes o marrones y rojizas a amarillentas en variedades ferrosas-titaníferas. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del segundo orden.

PLEOCROISMO.- No posee.- Algunas variedades lo poseen débil

RELIEVE.- Alto, definido.

CLIVAJE.- Prismático; ángulo entre sus trazas $87^\circ - 93^\circ$, sobre (110).

MACLAS.- Maclas simple sobre (100) o maclas polisintéticas sobre (001).

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderadamente fuerte, $N_g - N_p = 0.023 - 0.028$.

EXTINCCION.- Inclínada. Los ángulos de extinción varían entre 36° y 45° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva. La bisectriz aguda es inclinada con respecto al eje cristalo gráfico c .

ANGULO OPTICO.- Angulo óptico variable, $2V = 58^\circ - 67^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones gaseosas, líquidos y vítreas arregladas en zonas (estructura zonal).

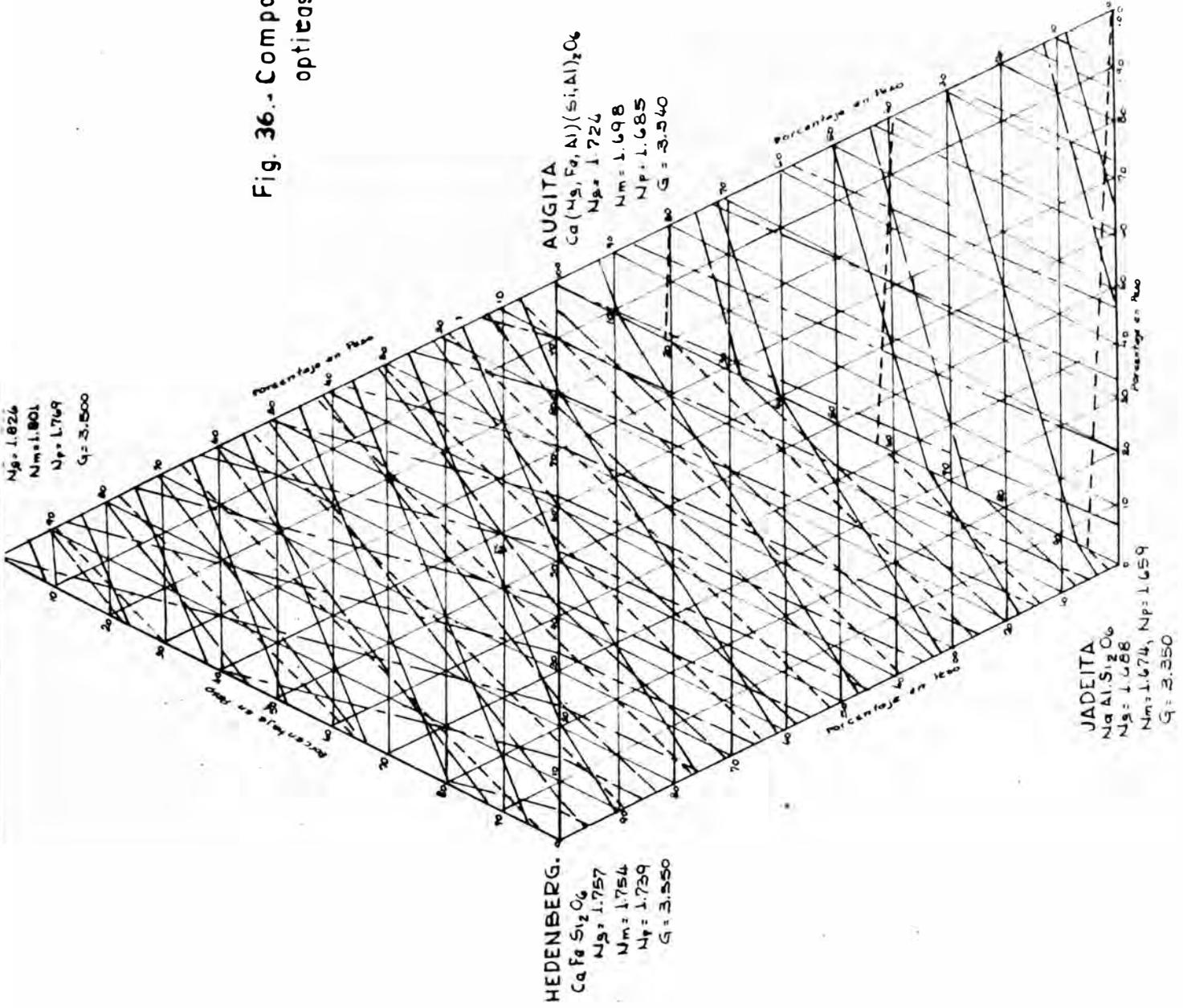


Fig. 36.- Composicion y propiedades opticas del grupo: Anfiboles.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Fácil de confundir con el Diopside; puede diferenciarles el ángulo de extinción. A veces es necesario un análisis microquímico por aluminio. La Aegirita, Acmita y Espodumeno tienen ángulos de extinción menores; la Jadeita contiene sodio.

ALTERACION.- Altera comunmente a Uralita y Horneblenda; otro producto de alteración es Antigorita, Biotita, Clorita, y en muchos casos Calcita, Cuarzo y Epidota.

DISTRIBUCION.- Es uno de los piroxenos más comunes en rocas ígneas; también en rocas metamórficas y gneisses.

34.- ACMITA

FORMULA.- $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.742 \quad 1.777$

$N_m = 1.768 \quad 1.801$

$N_g = 1.782 \quad 1.813$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.50 - 3.55$

FORMAS EN SECCION.- Cristales sub-hedrales de hábito prismático con terminacion angulares.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos: el mineral aparece marrón o verde, a veces amarillento. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son blanco gris o blanco del tercer orden.

PLEOCROISMO.- Unas veces tiene fuerte pleocroismo, otras es muy tenue; los siguientes son los colores de cambio: verde claro - verde amarillento - amarillo marrón, marrón oscuro-marrón claro - marrón amarillento - paja, verde oliva - verde gras - amarillo, marrón oscuro - verde marrón - marrón verdoso, etc.

RELIEVE.- Alto, comparado con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Prismático, 88° entre sus trazas; es común el parting sobre secciones (100).

MACLAS.- Puede ser maclado sobre secciones (100).

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.036 - 0.040$.

EXTINCCION.- Inclineda con pequeño ángulo de extinción, $5^\circ - 8^\circ$.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa; la bisectriz aguda hace un ángulo de más o

menos 5° con el eje cristalográfico.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 60^\circ - 84^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de este mineral su pequeño ángulo de extinción y su fuerte birrefringencia. Es posible diferenciarlo de los otros piroxenos por ese pequeño ángulo de extinción y por el signo óptico negativo, lo mismo que por su fuerte birrefringencia.

ALTERACION.- Muy poco alterable.

DISTRIBUCION.- Ocurre en rocas ígneas alcalinas, incluyendo Sienitas nefelínicas, Sienitas pegmatíticas, Fonolitas, etc

35.- AEGIRITA Y AEGIRITA-AUGITA

FORMULA.- $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si_2O_6$.- La Aegirita-Augita tiene una composición intermedia entre Augita y Aegirita, con adición de $NaFe(SiO_3)_2$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

<u>Aegirita</u>	<u>Aegirita-Augita</u>
$N_p = 1.680 - 1.744$	$N_p = 1.676 - 1.720$
$N_m = 1.687 - 1.768$	$N_m = 1.687 - 1.750$
$N_g = 1.709 - 1.798$	$N_g = 1.709 - 1.747$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.5$ (Aegirita), 3.4 (Aegirita-Augita)

FORMAS EN SECCION.- Cristales prismáticos de hábito tabular largo (Aegirita), y de hábito prismático corto en Aegirita-Augita. Transversalmente sus secciones son característicos de los piroxenos con 4 ú 8 lados.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos, los colores son verde en varios tonos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan sobre el verde del segundo orden para Aegirita-Augita, y del tercer orden para Aegirita.

PELOCROISMO.- Fuerte, con los siguientes colores pleocroicos: verde oscuro - verde claro - amarillo, etc. En Aegirita-Augita: verde oliva - amarillo, verde claro - amarillo verdoso amarillo paja - amarillo marrón, etc.

RELIEVE.- Alto, mayor que el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje prismático con $87^\circ - 93^\circ$ entre sus trazas

MACLAS.- Comunmente maclado sobre secciones (100).

CHARACTER OPTICO.- Es un mineral anisotrópico.

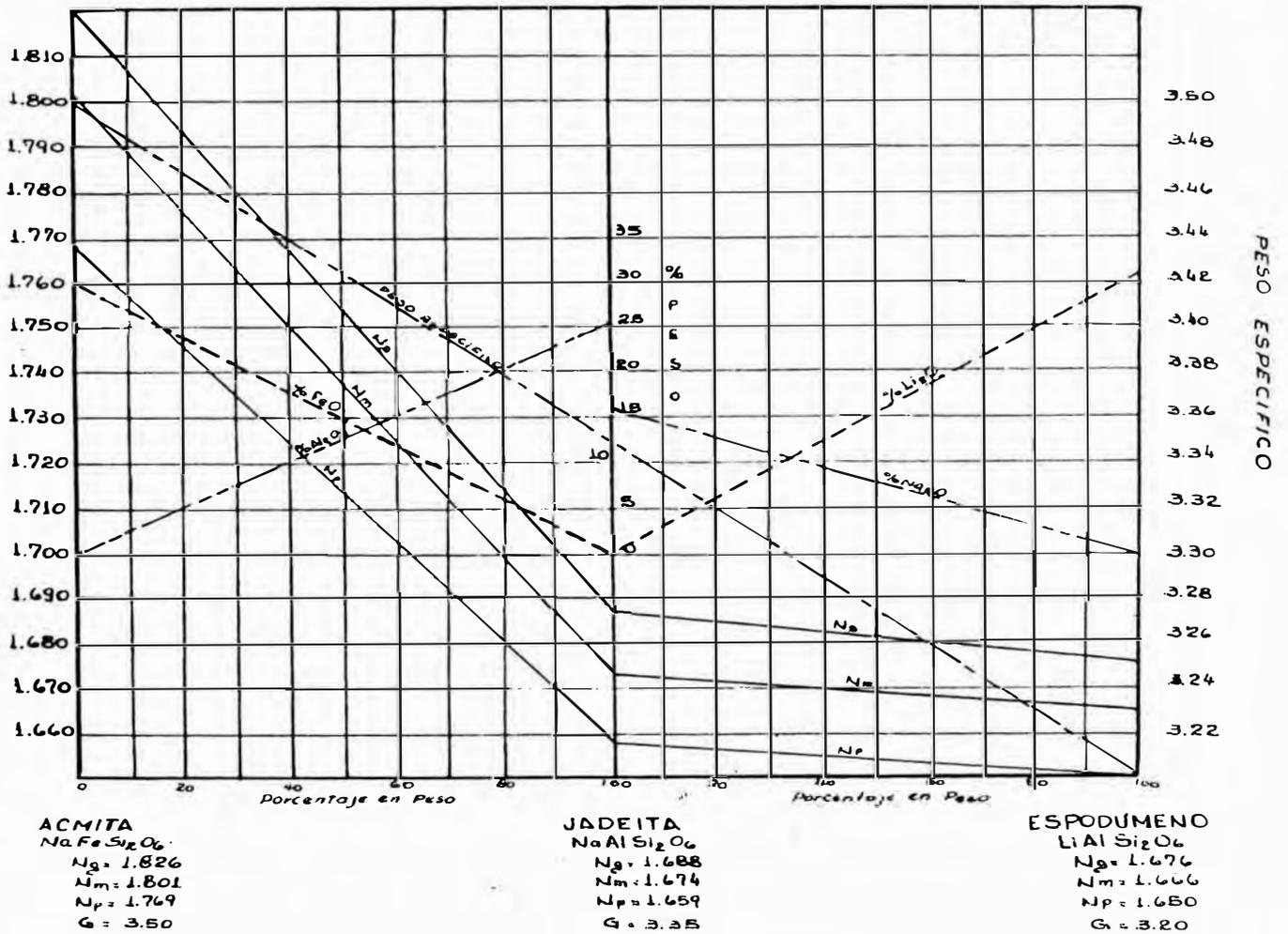
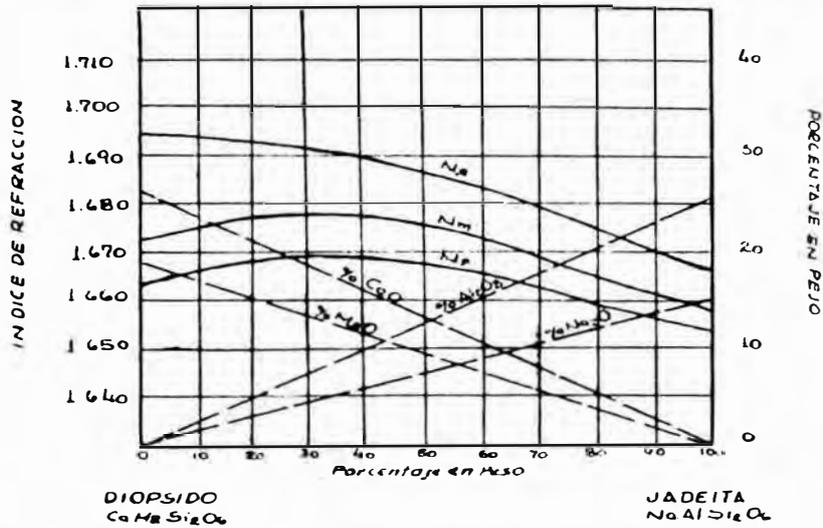


Fig. 37.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO: PIROXENOS..

BIRREFRINGENCIA.- Moderadamente fuerte, $N_g-N_p=0.029-0.054$ (Aegirita), $0.027-0.033$ (Aegirita-Augita).
EXTINCIÓN.- Inclinada, ángulo de extinción entre $2^\circ-10^\circ$, en Aegirita, y $15^\circ-33^\circ$ en Aegirita-Augita. C. Viola considera el ángulo de extinción de la Aegirita-Augita entre 60 y 70° .
FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa.- La bisectriz aguda inclinada con respecto al eje cristalográfico.
ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 60^\circ - 66^\circ$.
PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).
INCLUSIONES.- No sob comunes.
CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La Aegirita puede diferenciar se de otros piroxenos y de algunos anfiboles por su pequeño ángulo de extinción. La Aegirita-Augita se diferencia de la Augita por su fuerte pleocroismo, por el ángulo de extinción; las mismas consideraciones en el caso de la Acmita.
ALTERACION.- No siempre alterado.
DISTRIBUCION.- Común en Sienitas nefelínicas, Fonolitas y muchas otras rocas alcalinas, como Traquitas, Granitos sódicos, aplitas, etc.

36.- ESPODUMENO

FORMULA.- $LiAl(SiO_3)_2$.-
SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.
INDICES DE REFRACCION.-
 $N_p = 1.651 - 1.668$
 $N_m = 1.665 - 1.675$
 $N_g = 1.676 - 1.682$
PESO ESPECIFICO.- $G = 3.1 - 3.2$
FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales de hábito prismático, tabular alargado.
COLORES EN SECCION.- Mineral coloreado entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son sobre el rojo del primer orden.
PLEOCROISMO.- Algunas variedades presentan débil pleocroismo, con los siguientes colores de cambio: púrpura amatista, rosado y coloreado; también verde a verdoso coloreado.
RELIEVE.- Alto, mayor que el del Bálsamo de Canadá.
CLIVAJE.- Clivaje prismático con 87° a 93° entre sus trazas
MACLAS.- Puede ser maclado sobre secciones (100).
CARACTER OPTICO.- Mineral anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.014 - 0.025$.

EXTINCION.- Inclínada, con un ángulo de 23 y 27°.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial positiva, la bisectriz aguda inclinada con respecto al eje cristalográfico.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 54^\circ - 69^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- No son comunes.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se distingue de otros piroxenos monoclinicos por el ángulo de extinción, es difícil establecer una diferencia absoluta con la clinoenstatita, salvo el caso de un análisis microquímico por fierro, aluminio o magnesio.

DISTRIBUCION.- Ocurre principalmente en pegmatitas, asociado con albita, Lepidolita, etc., también en gneisses.

37.- TURMALINA (Fot.# 31)

Vamos a considerar de la variedad Turmalina 2 especies: la variedad ferrosa o schorlo y la variedad magnésica o dravita, y dentro de éstas la variedad alcalina de índice de refracción semejantes.

FORMULA.- Schorlo: $\text{NaFe}_3\text{B}_3\text{Al}_3(\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{27})(\text{OH})_4$.

Dravita: $\text{NaMg}_3\text{B}_3\text{Al}_3(\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{27})(\text{OH})_4$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Romboédrico (ditrigonal piramidal)

INDICES DE REFRACCION.-

Schorlo	Dravita
Nw = 1.640 - 1.690	Nw = 1.630 - 1.650
Ne = 1.720 - 1.660	Ne = 1.610 - 1.630

PESO ESPECIFICO:- G = 2.9 3.2

FORMAS EN SECCION.- Secciones longitudinales prismáticas; agregados fibrosos radiales. Las secciones transversales pueden ser triangulares o exagonales de lados convexos.

COLORES EN SECCION.- Los colores de absorción entre nicoles paralelos son: gris azulado, verde oliva marrón, coloreado, amarillo, verde pálido, rosado, azul pálido, etc. Con nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son elevados del segundo orden o bajo del tercer orden.

PLEOCROISMO.- Muestra los siguientes colores fuertes de cambio: en el Schorlo, amarillo claro a amarillo oscuro, o de marrón amarillento a negro; en la dravita, coloreado amarillo

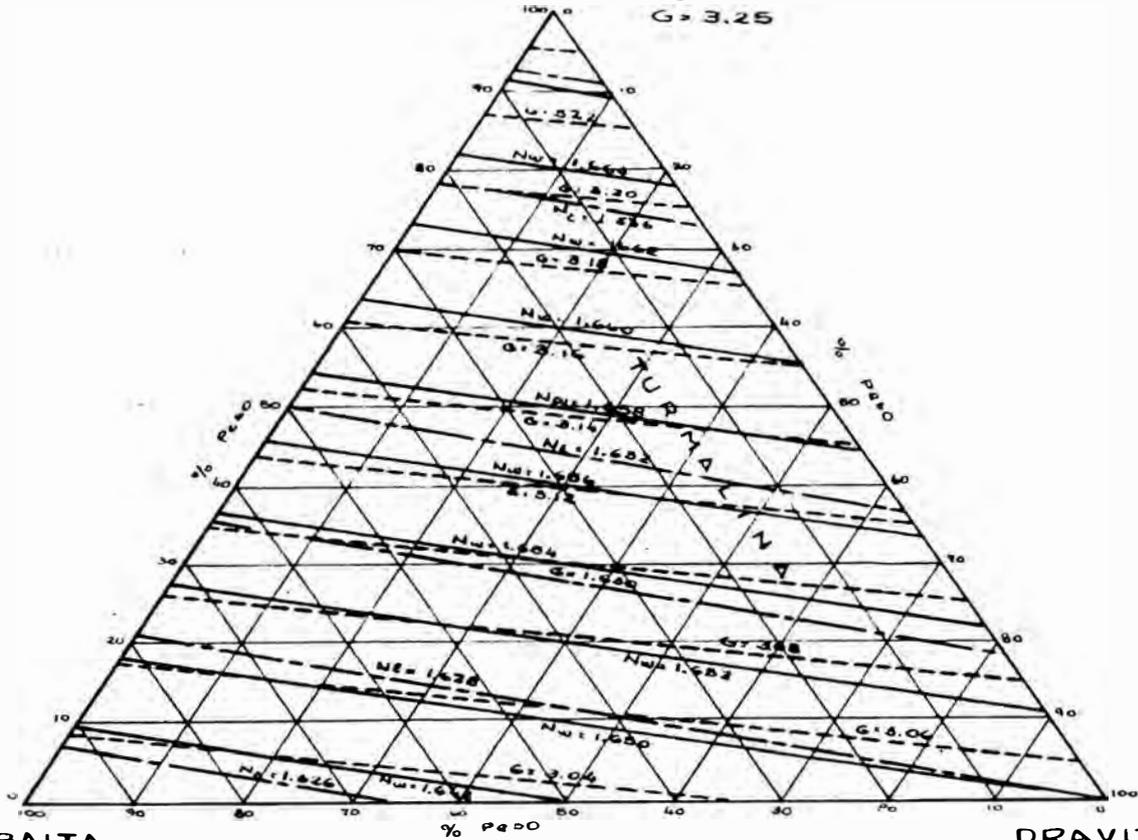
SCHORLO



Nw = 1.668

N_E = 1.639

G = 3.25



ELBAITA



Nw = 1.646

N_E = 1.625

G = 2.98

DRAVITA



Nw = 1.650

N_E = 1.628

G = 3.05

Fig 46.- COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO: TURMALINA.

llo pálido, o de amarillo pálido a marrón amarillento, o marrón.

RELIEVE.- Alto, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Irregular, son comunes las fracturas.

MACLAS.-Son raras.

CHARACTER OPTICO.- Mineral anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado a fuerte; en Schorlo, de 0.030 - 0.040, y en la Dravita, de 0.020 - 0.025.

EXTINCION.- Paralela en secciones longitudinales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Uniaxial negativa, figura difusa en secciones basales y con pocos anillos concéntricos.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2V = 0^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- No posee.

INCLUSIONES.- Principalmente de Zircón y Rutilo, con intensos halos pleocroicos.

CHARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son características de este mineral la extinción paralela y fuerte dicroismo. El Schorlo presenta los colores mas altos de absorción; la Dravita los mas bajos, y generalmente coloreados a amarillo pálido. Generalmente, el Schorlo se confunde con Biotita y Horneblenda, pero lo diferencia la ausencia de clivaje, además, estas dos últimas tienen caracter biaxial negativa.

ALTERACION.- Usualmente inalterado; sin embargo, puede mostrar cambios a Sericita, con Biotita y Clorita.

DISTRIBUCION.- Es relativamente abundante en pegmatitas, menos en granitos (Granitos turmalínicos), más o menos distribuido en esquistos, gneisses, pizarras, etc.; también como mineral detrítico.

38.- BERILO (Fot.# 32)

FORMULA.- $Al_2B_3Si_6O_{18}$; también incluye Na, K, Li, Cs.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Exgonal.

INDICES DE REFRACCION.-

Nw = 1.568 1.602

Ne = 1.564 1.591

PESO ESPECIFICO.- G = 2.73 2.91

FORMAS EN SECCION.- Cristales pequeños de hábito prismáticos, con secciones transversales exagonales; también en formas masivas granulares.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado, con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia

son: gris o blanco de primer orden.

DICROISMO.- Ausente en secciones delgadas. En secciones gruesas suele aparecer los siguientes colores dicroicos: en la esmeralda, de verde mar a verde amarillento; en berilos azules, de azul a azul verdoso o coloreado; en Berilos amarillos, de amarillo rojizo a amarillo oro; y en berilos rosados, de rosado pálido a coloreado.

RELIEVE.- Moderado en comparación con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No apreciable en sección delgada.

MACLAS.- No son comunes.

CARACTER OPTICO.- Mineral anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_w - N_e = 0.004 - 0.006$. Varía con el contenido de álcalis.

EXTINCION.- En secciones alargadas puede ser paralela. En secciones transversales, suele ser isotrópica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Presenta figuras difusas en secciones transversales, pero es uniaxial negativa. Suele ser anormalmente biaxial, con pequeño ángulo óptico aparente.

PLANO AXIAL OPTICO.- No posee.

INCLUSIONES/- Son comunes las inclusiones de líquidos, gases, y otros minerales, principalmente en los límites del cristal en sección, como muestrala Fot.# 32.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Difiere de la Apatita por sus bajos índices de refracción, en secciones gruesas, por su dicroismo; del cuarzo, por el carácter uniaxial positivo de éste; la Nefelina tiene índice de refracción menor.

ALTERACION.- Altera facilmente a Caolín, comenzando por las fracturas, volviéndose opca y blando.

DISTRIBUCION.- En pegmatitas, raramente en granitos, en esquistos micasios.

39.- MELILITA (Fot.# 33)

FORMULA.- La Melilita es una mezcla de dos silicatos, cuyas fórmulas son: $Ca_2Al_2Si_2O_7$; y $Ca_2MgSi_2O_7$, conocidas como Akermanita y Gehlenita. Las proporciones de esta mezcla son desconocidas. En el gráfico adjunto podemos observar la composición de este mineral, según A. N. Winchell.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Tetragonal.

INDICES DE REFRACCION.-

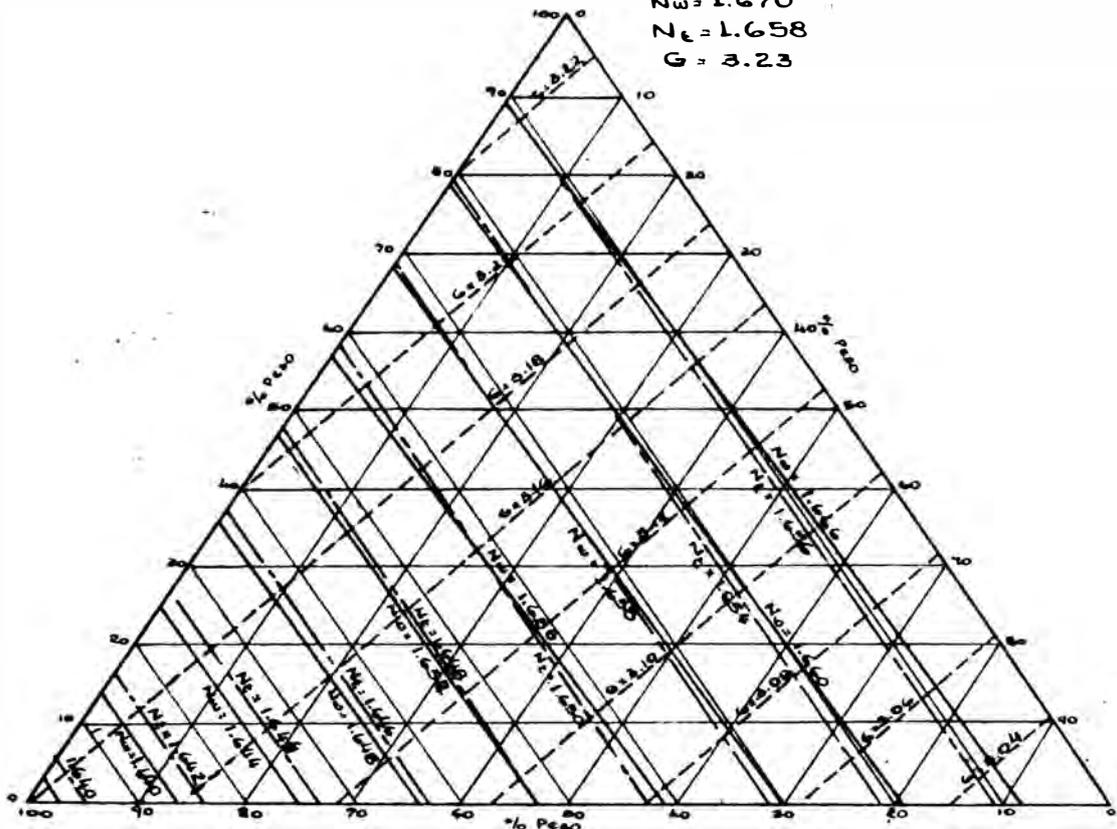
$N_w = 1.632 \quad 1.633$

$N_e = 1.626 \quad 1.629$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.9 \quad 3.4$

Fe-AKERMANITA
 $\text{Ca}_2\text{FeSi}_2\text{O}_7$

$N_w = 1.670$
 $N_e = 1.658$
 $G = 3.23$



AKERMANITA
 $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$
 $N_w = 1.633$
 $N_e = 1.639$
 $G = 3.18$

GEHLONITA
 $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$
 $N_w = 1.669$
 $N_e = 1.658$
 $G = 3.04$

Fig 47.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL MINERAL MELILITA.

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales, de hábito tabular con secciones transversales más o menos rectangulares; también se presentan como cristales anhedrales.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos es coloreado o ligeramente coloreado a amarillo pálido, con nicoles cruzados, los colores de interferencia son del primer orden sobre el gris (Diagrama de Michell-Levy). Muestra también colores anormales de interferencia.

DICROISMO.- No se observa.

RELIEVE.- Ligeramente alto en comparación con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Puede observarse clivaje pobre paralelo (001).

MACLAS.- No es rara la macla cruciforme.

EXTINCION.- Paralela en secciones alargadas.

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_w - N_e = 0.004 - 0.006$.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Uniaxial negativa, no obstante que uno de sus componentes es uniaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Cero.

INCLUSIONES.- Raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son características de este mineral su débil birrefringencia, sus colores de interferencia anormales, sus formas alargadas, etc. - Si existe algún parecido con Nefelina, se diferencia por el relieve bajo, además los índices de refracción de ésta, son igualmente bajos.

ALTERACION.- Puede alterarse aunque muy pobremente a Calcita y Zeolitos.

DISTRIBUCION.- Relativamente raro. Ocurre en rocas ígneas muy básicas, tales como basaltos melilíticos, lo mismo que en lavas leucíticas nefelínicas. Son asociados comunes Olivo, Leucita, etc.

GRUPO: OLIVINOS

Los minerales de este grupo son ortosilicatos de bases divalentes que cristalizan en el sistema ortorrómbico, se caracterizan por sus altos índices de refracción y fuerte birrefringencia.

Este grupo lo forman:

Olivino común	Forsterita
Fayalita	Monticelita.

40.- OLVINO. (Fot.# 34)

FORMULA.- $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION.

$N_p = 1.653 \quad 1.681$

$N_m = 1.667 \quad 1.706$

$N_g = 1.689 \quad 1.718$

PESO ESPECIFICO.- $G = 6.5 - 7.0$

FORMAS EN SECCION.- A menudo cristales anhedros con ligero lineamiento.- Con nicoles paralelos tambien puede observarse fenocristales con terminaciones angulares. (piramidales)

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos los colores son: coloreado ligeramente verdoso pálido. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del segundo orden (diagrama de colores de interferencia de Michel-Levy)

PLEOCROISMO.- No presenta.

RELIEVE.- Moderadamente alto y claro en comparación con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No muy perfecto en la dirección (010); son comunes las fracturas irregulares.

CARACTER OPTICO.- Mineral anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.034 - 0.037$

EXTINCCION.- Paralela principalmente a la dirección de los cristales y a las trazas del clivaje imperfecto.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- En buenas figuras es Biaxial positiva, con incrementode FeO, 13% ó más el mineral se vuelve negativo; la bisectriz aguda es normal a (010).

ANGULO OPTICO.- Grande por lo general $2V = 70^\circ - 90^\circ$.

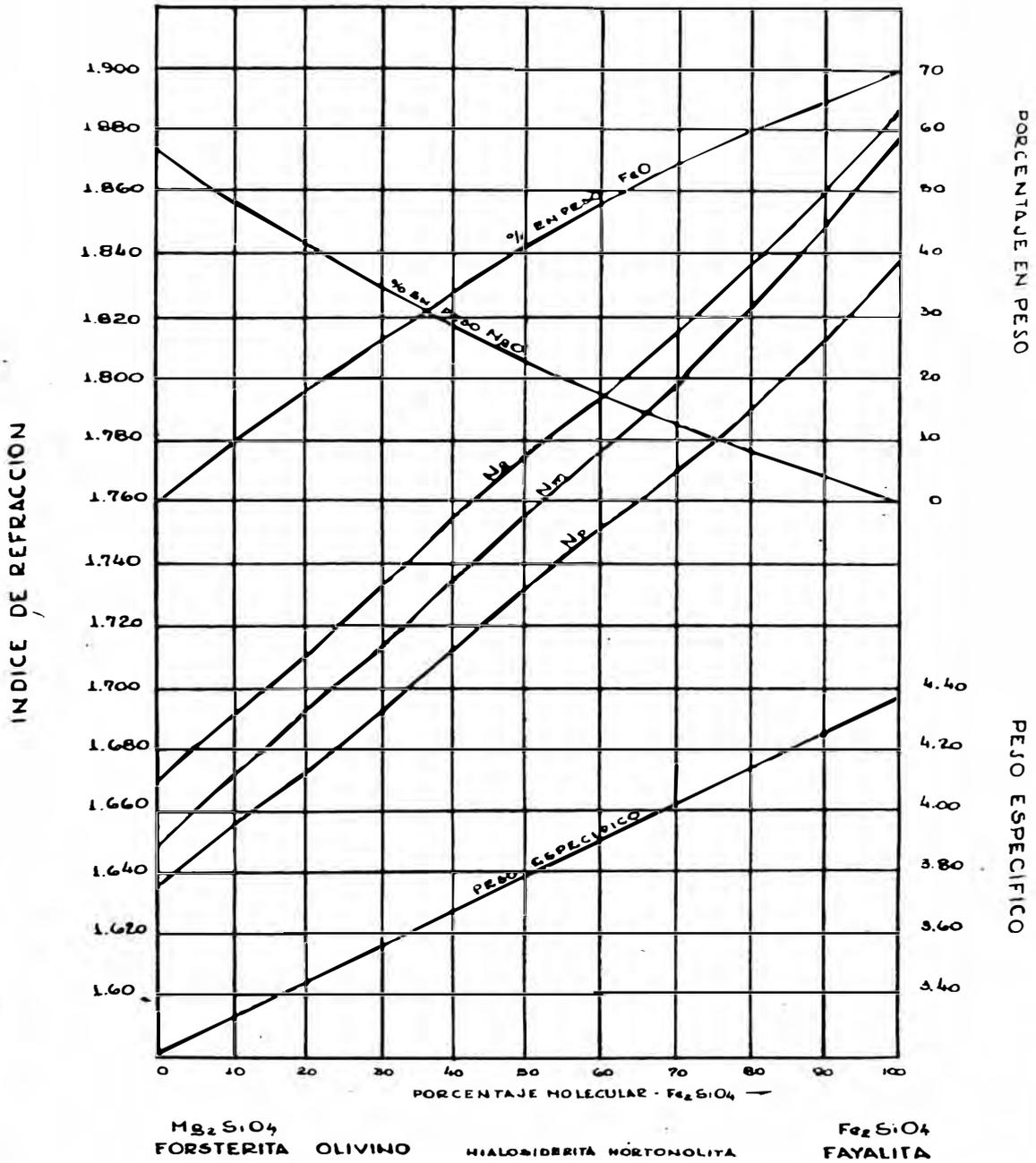
PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a la fase (010).

INCLUSIONES .- Son comunes las inclusiones de Magnetita, Espinel, Apatita é inclusiones líquidas y gaseosas como CO.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Fácilmente reconocible, en sección los cristales presentan terminaciones angulares, su refringencia es elevada, birrefringencia alta y principalmente sus superficies son irregulares.

Se confunde con el Diopsido, pero éste tiene mejor clivaje, débil birrefringencia y extinción inclinada.

ALTERACION.- Se altera comunmente a Antigorita la cual en sección delgada presente los mismos colores de interferencia pero su birrefringencia es débil; esta alteración se produ-



(según A.N. WINCHELL)

Fig 48.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO: OLIVINO

ce en fracturas y fisuras de clivaje; otra alteración común es la transformación en hematita, limonita o goethita.- En las zonas de contacto de olivino y plagioclasa se forman con tornos de reacción consistentes principalmente de olivino pieroxenos, talco, etc.

DISTRIBUCION.- Es un constituyente de varias rocas ígneas en muchos de las cuales es un componente esencial, tal es el caso de granitos pobres en cuarzo como gabros y basaltos olivínicos, peridotitas y en la variedad Dunita (roca enteramente de olivino).- Es común asociado de Augita, Hiperstena, Magnetita y Feldespatos.- También es un constituyente esencial de muchos meteoritos, junto con Enstatita y Cromita.

41.- FORSTERITA

FORMULA.- Mg_2SiO_4 .

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.

N_p	= 1.635	1.640
N_m	= 1.651	1.660
N_g	= 1.760	1.680

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.217$

FORMAS EN SECCION.- Puede presentarse como cristales anhedrales y también euhedrales, en este último caso son de hábito tabular.

COLORES EN SECCION.- Con nicols paralelos es coloreado, con nicols cruzados los máximos colores de interferencia son del segundo orden. (diagrama de Michel-Levy).

PLEOCROISMO.- No lo presenta.

RELIEVE.- Nitidamente alto, refringencia mayor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No muy bueno en las direcciones (010) y (001); son comunes las fracturas irregulares.

MACLAS.- Non muy raras.

CARACTER OPTICO.- Mineral anisotrópica entre nicols cruzados.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.035 - 0.040$

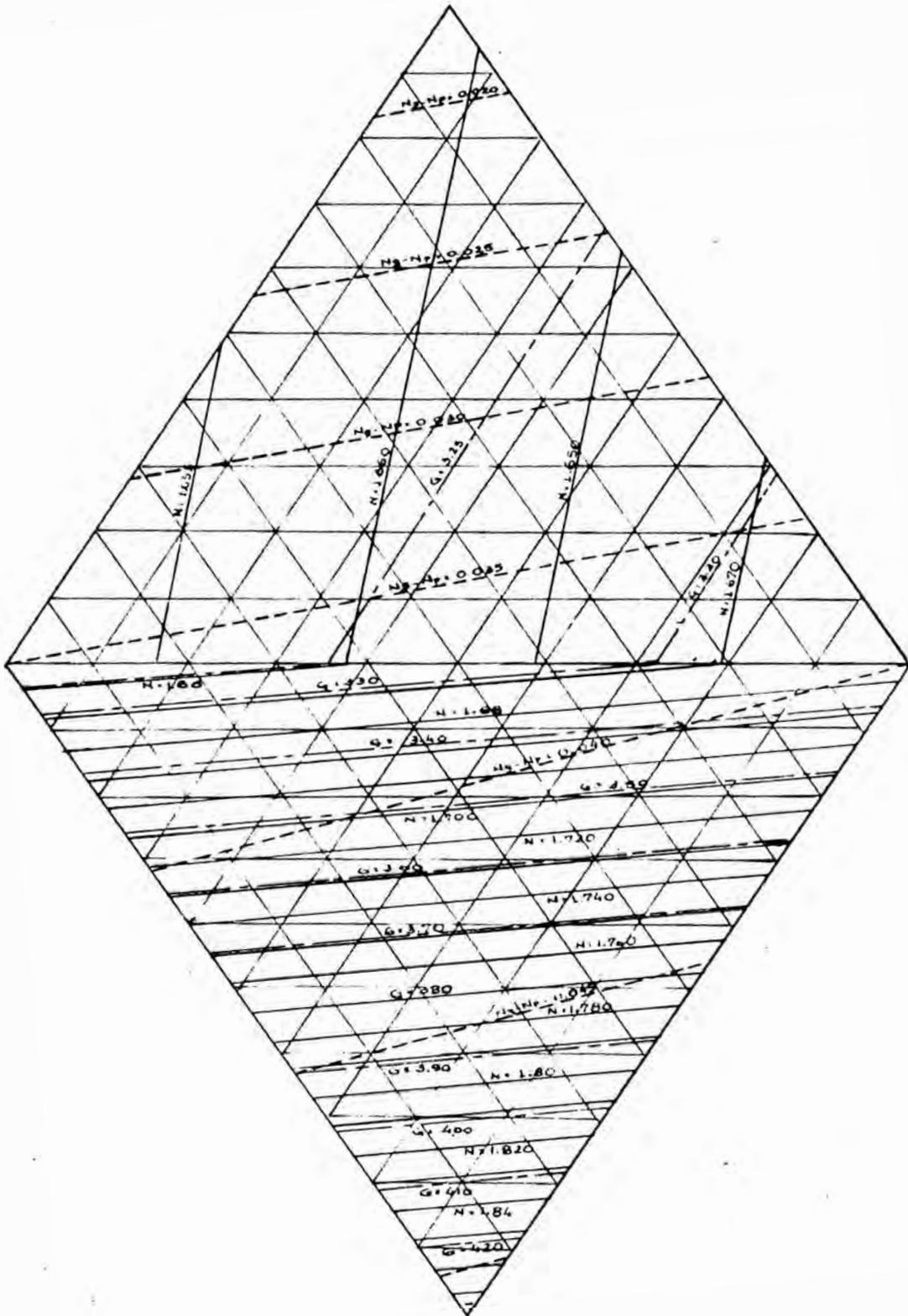
EXTINCCION.- Paralela a las trazas de clivaje.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva, la bisectriz aguda es normal a (100).

Fig.# 49.- Propiedades ópticas del grupo: Olivino.

MONTICELITA

$N = 1.659$
 $G = 3.20$
 $N_g - N_p = 0.0174$



OSTERITA
 $N = 1.651$
 $G = 3.217$
 $N_g - N_p = 0.035$

$N = 1.679$
 $N_g - N_p = 0.034$

FAYALITA

$N = 1.877$
 $G = 4.32$
 $N_p = 0.051$

ANGULO OPTICO.- Grande, cerca de 90°.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (001).

INCLUSIONES.- Raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se confunde con el Olivino común y solo puede diferenciarse por medidas precisas de los índices de refracción, peso específico ó mediante análisis de composición.

ALTERACION.- Hidratandose altera a Serpentina, igualmente altera a Antigorita, pero sin liberación de Magnetita como en el caso de Olivino.

DISTRIBUCION.- Existe principalmente en zonas de contacto y en calizas metamórficas.

42.- FAYALITA

FORMULA.- Fe_2SiO_4

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION.

$N_p = 1.823 - 1.835$

$N_m = 1.864 - 1.877$

$N_g = 1.873 \quad 1.886$

PESO ESPECIFICO.- $G = 4.320$

FORMAS EN SECCION.- Cristalización similar a la del Olivino común; cristales anhedros y rara vez euhedrales

COLORES EN SECCION.- Con nicols paralelos: coloreado con predominio de amarillo pálido, amarillo verdoso y amarillo rosado; con nicols cruzados los máximos colores de interferencia son sobre el verde del tercer orden.- Los colores anormales de interferencia son azules amarillentos.

PLEOCROISMO.- Si es que presenta pleocroismo puede ser debido a inclusiones ferruginosas en algunos casos.

RELIEVE.- Alto, índices de refracción mayores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No tan bueno en (010) y pobre en (100)

MACLAS.- Son raras,

CARACTER OPTICO.- Sustancia anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Muy fuerte, $N_g - N_p = 0.042 - 0.051$.- Decece con el reemplazamiento de fierro por magnesio.- En la variedad Hortonita con cerca de 6% de Mn_2SiO_4 y 25% de Mg_2SiO_4 ,

los índices son $N_p = 1.7684$, $N_m = 1.7915$, $N_g = 1.8031$ y la birefringencia 0.0347.

EXTINCIÓN.- Paralela a las trazas de clivaje.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Los cristales de este mineral son Biaxial negativo.- La bisectriz aguda normal a la fase (010)

ÁNGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 47^\circ - 50^\circ$, aumentando hasta 70° por incremento de magnesio en lugar de fierro.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralela a la fase (001).

INCLUSIONES.- Raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se confunde con el olivino, sin embargo es posible, por su carácter negativo, sus elevados índices de refracción, moderado ángulo óptico, colores de interferencia anormales y fuerte birrefringencia, establecer ciertas diferencias.

ALTERACIÓN.- La alteración es similar al del Clivino, principalmente altera a Antigorita aunque con mayor liberación de minerales de fierro.

DISTRIBUCIÓN.- Aunque no abundante se presenta en Riolitas y en otras rocas volcánicas, también en Pegmatitas y algunas rocas ígneas ricas en minerales de fierro.- Es abundante como productos metalúrgicos.

43.- MONTICELITA

FORMULA .- $CaMgSiO_4$

SISTEMA DE CRISTALIZACIÓN.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCIÓN.-

$N_p = 1.639 \quad 1.654$

$N_m = 1.646 \quad 1.664$

$N_g = 1.653 \quad 1.674$

PESO ESPECÍFICO.- $G = 3.20$

FORMAS EN SECCIÓN.- Puede presentarse como cristales anhedrales, en forma de agregados tabulares.

COLORES EN SECCIÓN.- Con nicols paralelos coloreado o debilmente coloreado con predominio de anaranjado rojizo.- Con nicols cruzados, los máximos colores de interferencia son sobre el rojo del primer orden.

PLEOCROISMO.- Puede ser ligeramente pleocroico.

RELIEVE.- Moderadamente alto en comparación con el del Bálamo de Canadá.

CLIVAJE.- Pobre la fase (010).

MACLAS.- Son poco comunes y pueden dar origen a secciones exagonales.

CARACTER OPTICO.- Sustancia opticamente snisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g-N_p=0.014-0.017$

EXTINCIÓN.- Paralela al lineamiento de las trazas de clivaje ó a los límites del cristal.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Moderadamente grande, $2V=72^\circ-90^\circ$

PLANO OPTICO.- El plano axial es paralelo a (001).

INCLUSIONES.- Raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se confunde con el Olivino, no obstante los diferencia su caracter negativo, su birrefringencia débil, y su clivaje pobre.

ALTERACION.- Una alteración común es a serpentina y tambien a una variedad de Augita.

DISTRIBUCION.- Se encuentra en rocas igneas alcalinas mafíticas cerca de contactos; tambien en calizas; puede formar ribetes al rededor del Olivino.- Practicamente es un mineral raro.

CONSTITUYENTES ACCESORIOS.

GRUPO: GRANATES. (Fot.# 35)

Este grupo de minerales tuvo especial interés de analizarlos en el laboratorio de la Cerro de Pasco (Oroya), ya que se trataba de guías regionales en una zona de contacto en Antamina.- Su estudio requirió la confirmación de un análisis espectrográfico.

Como conclusión los granates, uno rojo y el otro verde, resultaron una reunión de varios tipos de granates especialmente: Andradita, Grosularita, Almandina y Espesartita.

En el análisis de su composición se utilizaron los gráficos de las Fig.#s 50, 51, 53 y 52, que consta en el texto de A.N.Winchell y en le bolletin "Geological Abstracts".

A.N.Winchell agrupa los granates en dos familias, que las llama: Piralspita y Ugrandita que reunen tipos de granates isomórficos que tienen un elemento común.

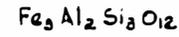
ANDRADITA



N = 1.895

G = 3.750

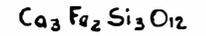
ALMANDINA



N = 1.830

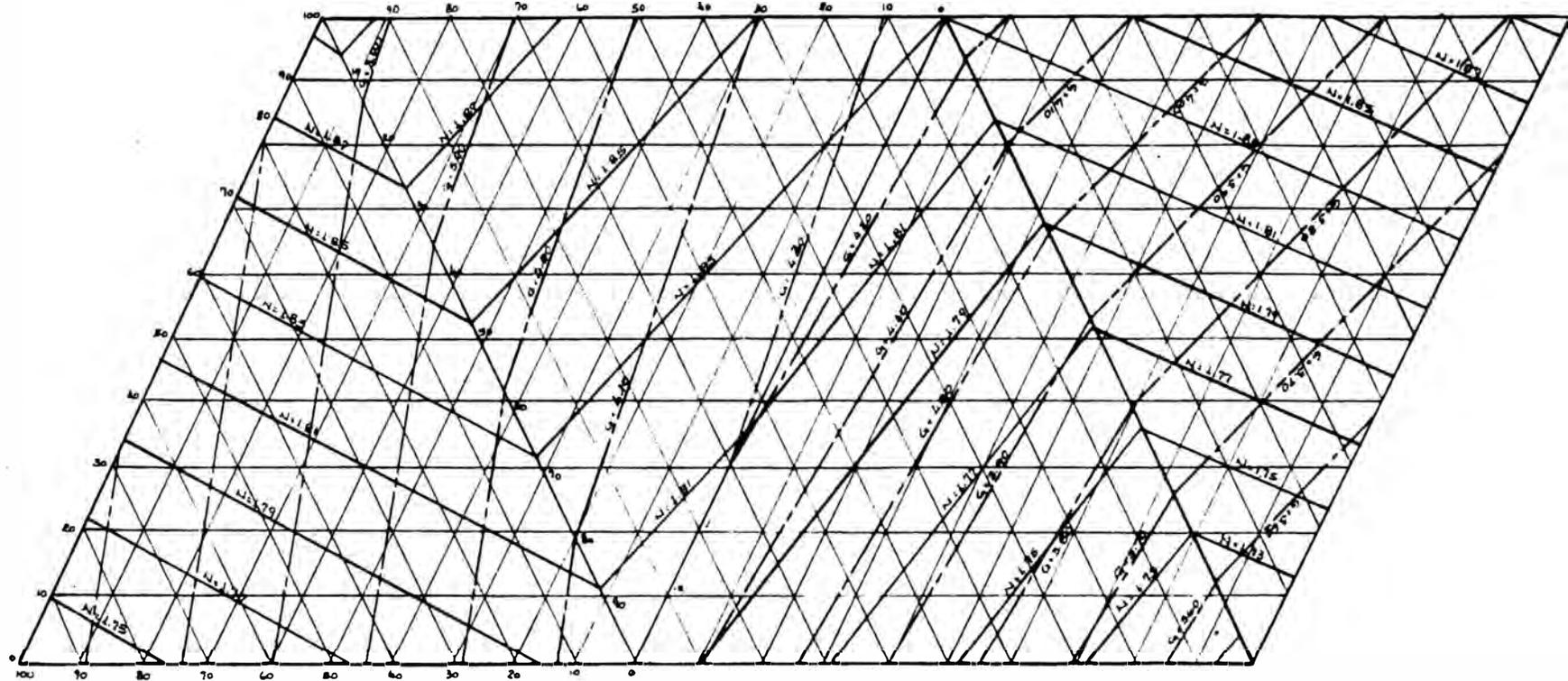
G = 4.250

ANDRADITA

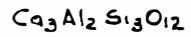


N = 1.895

G = 3.750



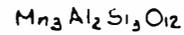
GROSULARIA



N = 1.735

G = 3.53

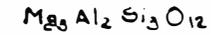
ESPESARTITA



N = 1.800

G = 4.180

PIROPO



N = 1.705

G = 3.510

Fig. 50.- Composicion y propiedades ópticas del grupo: Granates.

a.- Piralspita:

Piropo
Almandina
Espesartita.

b.- Ugrandita:

Uvarovita
Grosularita
Andradita.

<u>PIROPO</u>	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$; N = 1.705	1.750; G=3.5-3.8
<u>ALMANDINA</u>	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$; N = 1.766	1.830; G=4.1-4.3
<u>ESPESARTITA</u>	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$; N = 1.794	1.814; G=3.8-4.25.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico (Isométrico)

FORMAS EN SECCION.- Son comunes las secciones de ocho lados de dodecaedros incompletos; tambien se presenta en agregados cristalinos y en masas granulares.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos: las secciones de Piropo toman los colores de rojo y marrón, amarillentos o colores pálidos de rojo o marrón; las de Almandina marrón a rojizo y las de Espesartita rosado pálido.- Con los nicoles cruzados es isotrópico.

PLECROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Muy alto debido a sus índices de refracción elevados.

CLIMAJE.- Ausente; las fracturas son características.

MACLAS.- Maclas microscópicas son raras.

CARACTER OPTICO.- Son ópticamente Isotrópicas; la Espesartita puede ser algunas veces ligeramente anisotrópica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

ANGULO OPTICO.- No posee

BIRREFRINGENCIA.- Solo la Espesartita la posee muy débil; los diferentes índices de refracción se deben principalmente a la diferente composición de los granates,

EXTINCION.- Completamente oscura en cualquier posición de la platina del microscopio.

INCLUSIONES.- Son poco comunes; mas frecuentes son las estructuras zonales.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- En general los granates se identifican midiendo los índices de refracción y la gravedad específica, intereza tambien el color de la sección.- Rara vez se encuentra un granate que corresponde a un tipo sim -

ALMANDINA
 N. = 1.830
 G = 4.250

ANDRADITA
 N. = 1.895
 G = 3.750

ESPEARTITA
 N. = 1.800
 G = 4.180

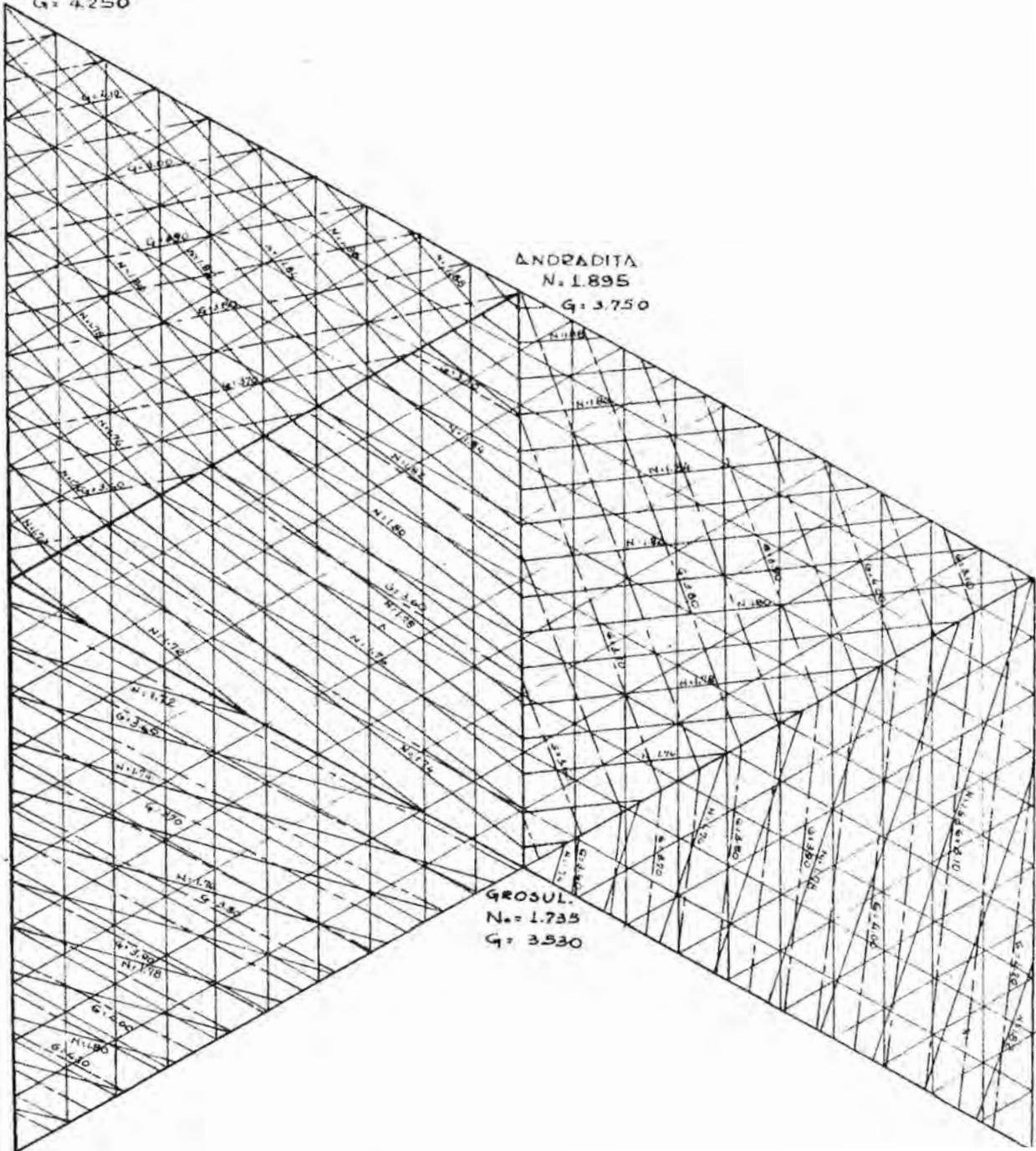
ROJO
 N. = 1.830
 G = 4.250

GROSUL.
 N. = 1.735
 G = 3.530

ALMANDINA
 N. = 1.830
 G = 4.250

Fig 51.- COMPOSICION Y PROPIEDADES OPTICAS DEL GRUPO: GRANATES.

ALMANDINA
 N. = 1.830
 G = 4.250



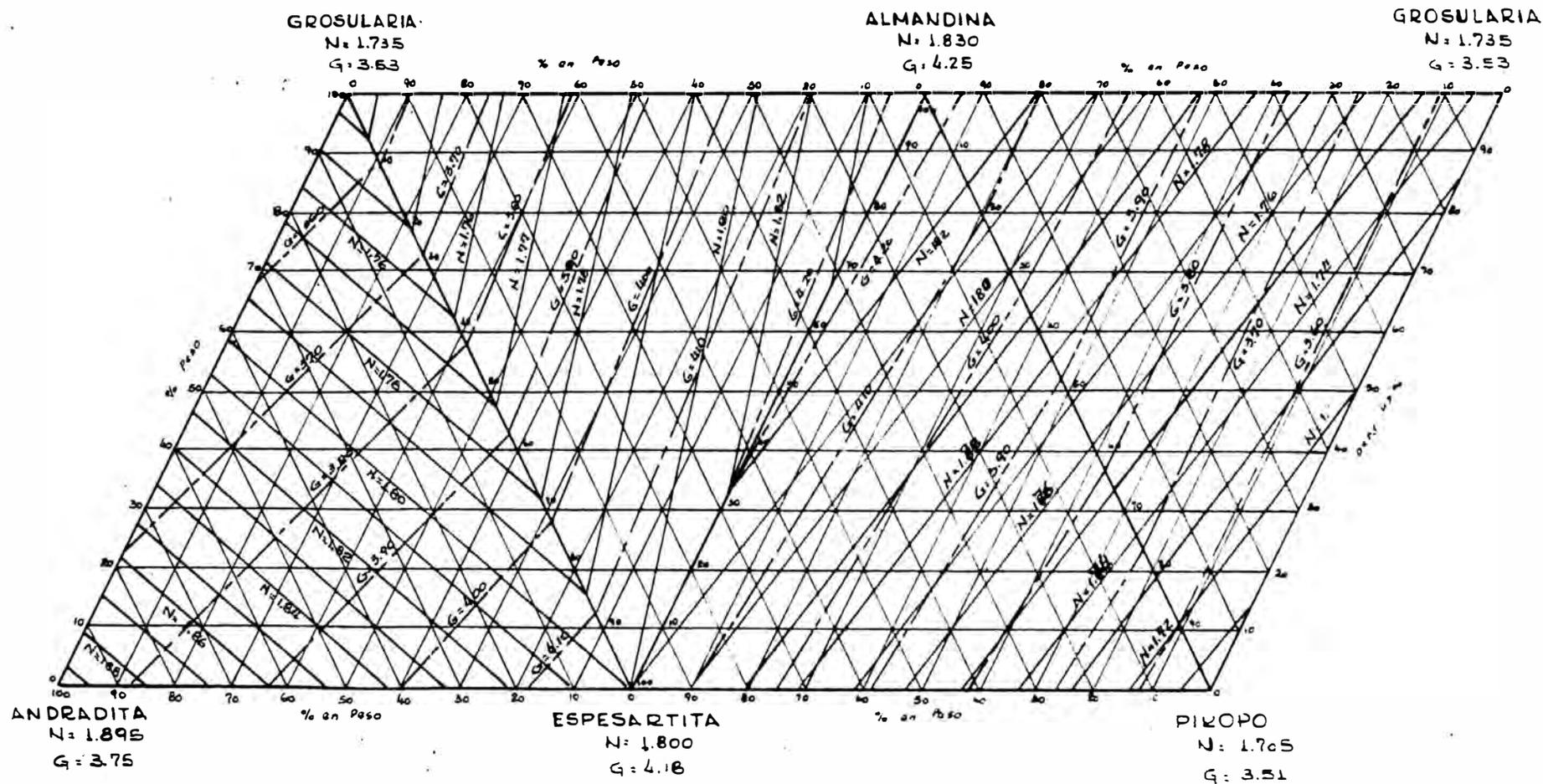


Fig. 52. Propiedades ópticas y composición del grupo: Granates.

ple, por lo general es una mezcla de varias especies, como se observa en los diagramas adjuntos.

Los granates de la familia Piralspita difieren de la Ugrandita por la ausencia de birrefringencia, este hecho junto con los índices de refracción pueden determinar la composición aproximada de los granates.- Se confunde con el Espinel pero éste tiene secciones más o menos rómbicas.

ALTERACION.- El Piropo puede alterar a una mezcla de feldespatos y Anfiboles ó tambien a Clorita.- La Almandina altera facilmente a Clorita y a Epidota, menos comunmente a Biotita Horneblenda, Escapolita, etc.- La Espesartita altera a Biotita.

DISTRIBUCION.- Son comunes en esquistos micaceos y gneisses tambien en rocas volcánicas; el Piropo especialmente en Peridotitas, serpentinas, etc.- Almandina es raro en rocas ígneas es común de gneisses y anfibolitas; la Espesartita en Pegmatitas y Biotitas, tambien en esquistos micaceos y cuarcitas.

<u>GROSULARIA</u>	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	N=1.735-1.763	G=3,4-3.6
<u>UVAROVITA</u>	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	N=1.838-1.870	G=3.4-3.8
<u>ANDRADITA</u>	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	N=1.857-1.895	G=3.7-4.1

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico. (Isométrico)

FORMAS EN SECCION.- Formas similares a los de la familia Piralspita, ésto és secciones poligonales (exagonales, ú octogonales) é igualmente en masas y agregados.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos, la Grosularia presenta sus secciones coloreadas con predominio marrón amarillento; la Uvarovita, verde; la Andradita, coloreado oscuro, marrón, rojo, amarillo etc.- Con los nicoles cruzados los colores de interferencia son bajos del primer orden, siendo por lo general isotrópicos.

DICROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Muy alto, debido a sus índices de refracción elevados.

CLIVAJE.- No posee.

MACLAS.- No se observa en sección delgada, pero mantiene la sección transversal del cristal.

CARACTER OPTICO.- Opticamente Isotrópica, principalmente en cristales pequeños; la Ugrandita presenta debil birrefringencia especialmente en secciones gruesas.

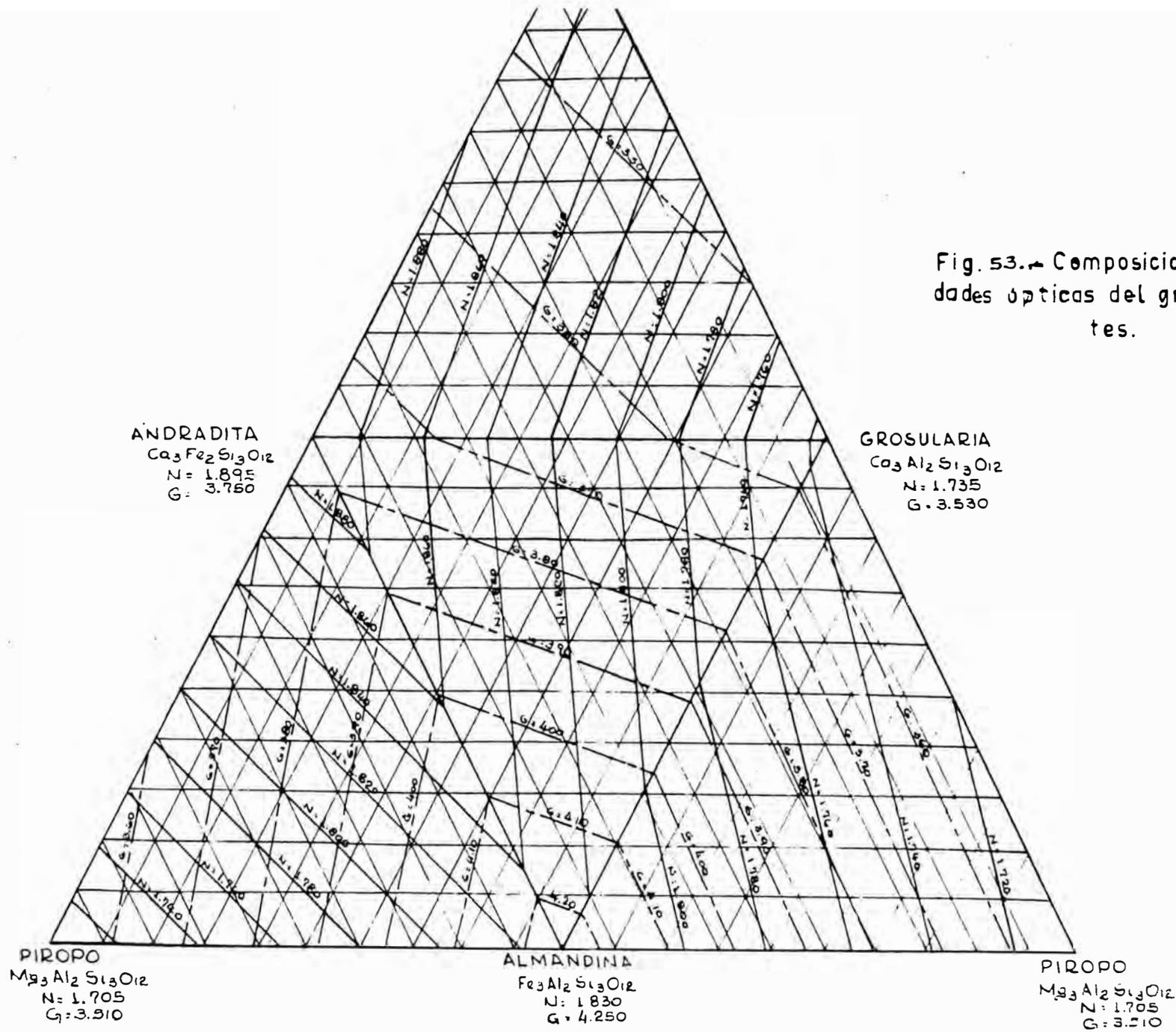


Fig. 53. Composición y propiedades ópticas del grupo: Granates.

ANDRADITA
 $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$
 N = 1.895
 G = 3.750

GROSULARIA
 $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$
 N = 1.735
 G = 3.530

PIROPO
 $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
 N = 1.705
 G = 3.510

ALMANDINA
 $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
 N = 1.830
 G = 4.250

PIROPO
 $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
 N = 1.705
 G = 3.510

BIRREFRINGENCIA.- No posee, excepción hecha de la Ugrandita.

EXTINCIÓN.- Completa, oscurece totalmente durante la rotación de la platina del microscopio.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

ANGULO OPTICO.- No posee.

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La Ugrandita presenta birrefringencia lo cual es raro en la familia Piralspita (la birrefringencia de la Espesartita no es común y es muy débil), la obtención de los índices de refracción, del peso específico y el uso de diagramas dan una idea de la composición de los granates.

Los granates pueden confundirse con el Espinel, pero éste se presenta en secciones rómbicas, además micro-reacciones pro magnesio y calcio pueden diferenciarlos.

ALTERACION.- La Grosularia puede alterar a Epidota, Clorita fedespato y Calcita; la Uvarovita a Clorita verde oscura con teniendo cromos; la andradita a Epidota, Limonita, feldespatos y Calcita.

DISTRIBUCION.- Raro en rocas plutónicas; puede presentarse en Sienitas Nefelínicas; es común en calizas de contacto, también en esquistos; la Uvarovita es la más rara de los granates, se encuentra como mineral secundario en cromitas, zonas de contacto, gneisses y Serpentinias; la Andradita es raro en rocas ígneas ácidas, Sienitas Nefelínicas y Fonolitas ricas en sodio (Melanita).- Así mismo en esquistos y Serpentinias.

GRUPO: ESPIDOTA (Fot.# 36)

De este grupo son importantes cuatro minerales que se encuentran en rocas ígneas, ellos son:

Epidota común o Pistacita.

Zoicita.

Clinozoicita.

Allanita u Ortita.

De las cuales solo la Zoicita es ortorrómbica, las otras son monoclinicas.

45.- EPIDOTA

FORMULA.- $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$.
 $4\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:

$N_p = 1.720 \quad 1.734$

$N_m = 1.724 \quad 1.763$

$N_g = 1.734 \quad 1.780$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.36 - 3.50$

FORMAS EN SECCION.- Cristales más o menos alargados en la dirección del eje b; también agregados angulares; las secciones transversales son hexagonales.

COLORES EN SECCION.- Con nicols paralelos, las secciones delgadas presentan colores amarillo pálido, verde amarillento y anaranjado; con nicols cruzados los máximos colores de interferencia gradan desde los colores bajos del segundo orden a los elevados del primer orden.

PLEOCROISMO.- El pleocroismo incrementa con el contenido de fierro; los colores de cambio son: coloreado, amarillo limón, verde pálido; azul pálido, amarillo verdoso; coloreado verde amarillento. rosado.- En secciones gruesas: verde, marrón, amarillo verdoso.

RELIEVE.- Alto, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Perfecto en la dirección (001) y bueno en la dirección (100)

MACLAS.- Puede mostrar maclas lamelares sobre (001).

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderadamente fuerte, $N_g - N_p = 0.014 - 0.046$, variando rápidamente con el contenido de Fe_2O_3 sobre todo cuando se trata de cristales simples.

EXTINCCION.- Paralela en secciones longitudinales; inclinada en secciones transversales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa, la bisectriz aguda es inclinada más o menos 5° con respecto al eje c.

ANGULO OPTICO.- Grande y variable, $2V = 70^\circ - 89^\circ$; decrece con el contenido de fierro.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

INCLUSIONES.- No posee, los cristales pueden ser zoneados.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos los cristales de Epidota por su fuerte birrefringencia, como result

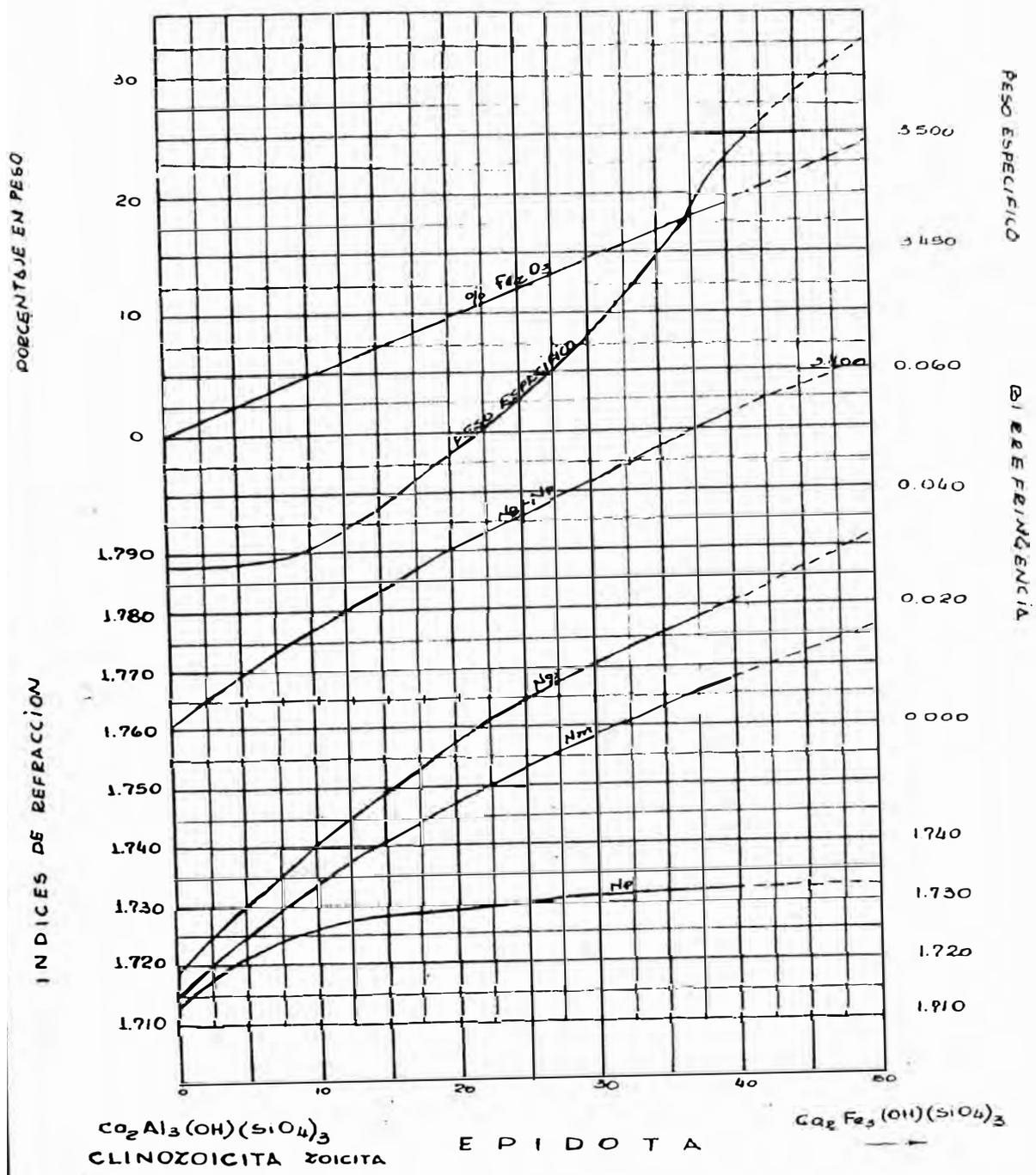


Fig. 54.- Composición y propiedades ópticas del Grupo: EPIDOTA.

tado de la variación y altos índices de refracción; por su extinción paralela en secciones longitudinales é inclinada en secciones transversales, por sus colores en sección y por su pleocroismo.- Se distingue del Diosido y Augita por su extinción paralela y de la Clinozoicita y Zoicita por su fuerte birrefringencia.

ALTERACION.- Es estable a temperatura ordinaria pero cuando se funde y recristaliza a menudo resulta Anortita y Augita.

DISTRIBUCION.- Es común en rocas ígneas también es común en zonas de contacto y esquistos.- Es igualmente abundante como producto de alteración de ferromagnesianos y feldespatos.

Puede estar asociado con Clorita y es algo común como mineral detrítico.

46.- ZOICITA.

FORMULA.- $Ca_2(Al,Fe)_3(OH)(SiO_4)_3$.
 $4CaO.3Al_2O_3.6SiO_2.H_2O$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION:

N_p	= 1.696	1.701
N_m	= 1.696	1.703
N_g	= 1.702	1.718

Estos índices de refracción al igual que el peso específico incrementan con el pequeño contenido de fierro.

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.25 - 3.36$

FORMAS EN SECCION.- Se presenta en cristales alargados paralelos al eje cristalográfico; en masas granulares.- Es poco común en formas euédrales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicols paralelos la sección es coloreada con matiz amarillento; la variedad magnésica es rosada.- Con los nicols cruzados, los máximos colores de interferencia son del primer y segundo orde; la variedad no forrosa presenta colores azulados anormales de interferencia.

PLEOCROISMO.- Esta propiedad es particular de las variedades magnésicas cambiando a los siguientes colores: rosado oscuro, rosado claro y amarillol

RELIEVE.- Alto comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Perfecto en una dirección (010), generalmente perpendicular a la longitud del cristal.

MACLAS.- Pueden presentarse maclas polisintéticas.

CARCTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil a moderado, $N_g - N_p = 0.006 - 0.017$

EXTINCIÓN.- Paralela a la longitud de los cristales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Cuando la Zoicita no tiene fierro es Biaxial positiva; el incremento de fierro lo vuelve negativa.

ANGULO OPTICO.- Cuando no tiene fierro $2V = 30^\circ$ y cuando tiene 5% de fierro $2V = 60^\circ$; este ángulo axial pasa por dero(0°) produciendo en este punto los colores anormales de interferencia dando la impresión de ser Uniaxial.

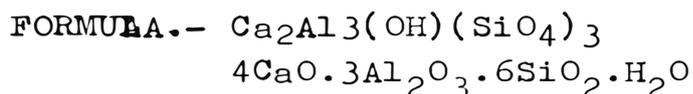
BLANO AXIAL OPTICO.- Sin fierro, plano axial paralelo a (010) con 5% de fierro paralelo a (001).

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos de este mineral sus secciones alargadas, su extinción paralela, débil birrefringencia, alto relieve, etc.- Se diferencia de la Epidota por la ausencia de colores definidos o también por su débil birrefringencia; de la Clinozoicita tanto por sus colores normales de interferencia como por su ángulo axial menor.

DISTRIBUCION.- Existe en rocas ígneas como producto de alteración de plagioclasas; también es hallado en vetas de cuarzo, en rocas ígneas alteradas; a menudo en esquistos y rocas metamórficas asociado con anfíbol siendo menos común que Clinozoicita.

47.- CLINOZOICITA



SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.713 \quad 1.724$$

$$N_m = 1.715 \quad 1.729$$

$$N_g = 1.719 - 1.734$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.35 - 3.38$

FORMAS EN SECCION.- Con nicols paralelos el mineral en sección es coloreado; con nicols cruzados los colores de in -

terferencia son del primer y segundo orden; dentro del primer orden los colores son anormales, el gris a veces es azul o blanco, el amarillo, es verdoso.

PLEOCROISMO.- No posee en seccion delgadas, no así en secciones gruesas, que tiene los siguientes colores pleocroicos: verdoso, rosado - verde, rojo profundo, etc.

RELIEVE.- Alto, en comparación con el del Bálsamo de Canadá
CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- Puede presentar maclas polisintéticas en algunas secciones, pero en general no son comunes.

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.006 - 0.040$.

EXTINCCION.- Paralela a la longitud de los cristales en muchas secciones.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Es Biaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 36^\circ - 90^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos de este mineral el alto relieve, la birrefringencia débil y los colores anormales de algunas secciones. Difiere de la Zoicita por su ángulo axial grande y por su extinción inclinada en algunos cristales; los índices de refracción de la Clinozoicita son ligeramente mayores que los de la Zoicita, y su figura de interferencia siempre positiva. La Epidota posee pleocroismo mas fuerte, índices de refracción mayores y figura biaxial negativa.

DISTRIBUCION.- En rocas ígneas, generalmente como mineral secundario, producto de descomposición de plagioclasas. También como producto de metamorfismo en anfibolitas, esquistos hornblendíticos, etc.

48.- ALIANITA ú ORTHITA

FORMULA.- $(Ca, Ce)_2(Al, Fe'', Fe''')_2(OH)(SiO_4)_3$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

N_p	=	1.64	1.77
N_m	=	1.65	1.78
N_g	=	1.66	1.80

PESO ESPECIFICO.- $G = 4.5 - 3.2$

FORMAS EN SECCION.- Cristales generalmente alargados euhedrales o subedrales; cristales aciculares y también en agregados masivos.

COLORES EN SECCION.- Nicoles paralelos, el mineral en sección es marrón, o marrón profundo; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del primer orden: azul oscuro, por lo general influenciado por el color marrón del mineral.

PLEOCROISMO.- Puede ser pleocroico con los siguientes colores de cambio: verde pálido, amarillo, coloreado, también influenciado por el color del mineral de marrón pálido a marrón rojizo.

RELIEVE.- Claro y alto en comparación con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Imperfecto en una sola dirección (001)

MACLAS.- Son raras las maclas en sección.

CARACTER OPTICO.- Como mineral secundario es anisotrópico, como primario es isotrópico.- Un mineral individual puede ser isotrópico y parcialmente anisotrópico a la vez.

BIRREFRINGENCIA.- Más o menos fuerte, $N_g - N_p = 0.010 - 0.030$.

EXTINCCION.- En algunas secciones es paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Puede ser Biaxial positiva o negativa, y también puede ser isotrópica.

ANGULO OPTICO.- Moderado.

PLANO OPTICO.- Paralelo a (010). Otras veces normal.

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son característicos su elevada refringencia, variación de birrefringencia y su pleocroismo de marrón a verde asociado con Epidota. De la Hornblenda se diferencia en que ésta tiene extinción inclinada y clivaje en dos direcciones.

ALTERACION.- La Alianita primaria altera a un mineral secundario del mismo nombre, trayendo como consecuencia que el peso específico decrezca de 4 a 5, a 3.2, lo mismo que el índice de 1.70 - 1.64, transformándose de isotrópica en anisotrópica.

DISTRIBUCION.- Es un mineral accesorio en granitos y sienitas pegmatíticas, y especialmente en rocas ácidas; se presenta igualmente en gneisses, esquistos y menas de fierro.

49.- ZIRCON

FORMULA.- $ZrSiO_4$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Tetragonal.

INDICES DE REFRACCION.-

Nw = 1.927 1.931

Ne = 1.982 1.993

PESO ESPECIFICO.- G - 4.66 4.70

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales pequeños de hábito prismático corto.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado a marrón pálido o gris; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia, son colores pálidos del cuarto orden.

DICROISMO.- Es propio de secciones gruesas y por lo general muy débil; cuando existe como inclusiones está rodeado de halos pleocroicos.

RELIEVE.- Muy alto, comparado con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No posee.

MACLAS.- No se observan maclas microscópicas, no obstante Mallard cree que la simetría tetragonal es debida a maclas muy microscópicas de unidades monoclinicas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópicas.

BIRREFRINGENCIA.- Muy fuerte, Ne-Nw=0.055-0.062.

EXTINCCION.- Paralela a los lados prismáticos.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Muy difícil de obtener, ya por lo elevado de sus índices de refracción, como por la pequeñez de sus cristales. Algunos autores lo consideran como uniaxial positivo, y otros, como biaxial positivo, con pequeño ángulo axial, esta anomalía aparece en cristales más desarrollados, especialmente los de estructura zonal, siendo en este caso demasiado difusa la figura, difícil de analizarla.- Particularmente, sólo he analizado cristales uniaxiales de Zircón.

ANGULO OPTICO.- Cero. $2v = 0$

PLANO AXIAL OPTICO.- No posee.

INCLUSIONES.- Existe como inclusión en otros minerales.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de este mineral su alto relieve. Puede diferenciarse de la Casiterita por la forma de sus cristales en sección, por su menor birrefringencia (0.095), por el tipo de roca en que se presenta y también por análisis microquímicos. La Apatita posee

débil birrefringencia (0.003) - 0.004), y relieve moderado; índices de refracción más bajos y figura de interferencia biaxial negativa.

ALTERACION.- Muy resistente a todo proceso de alteración.

DISTRIBUCION.- Es muy distribuído como constituyente accesorio de rocas ígneas, especialmente sienitas, granitos, dioritas y sienitas nefelínicas. Raro en graños y basaltos (peridotitas). También existe en muchas rocas metamórficas; es mas abundante como mineral detrítico.

50.- TITANITA Ó ESFENA (Fot.# 37)

FORMULA.- CaTiSiO_5 .

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.887 \quad 1.918$$

$$N_m = 1.894 \quad 1.935$$

$$N_g = 1.979 \quad 1.054$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.4. - 3.56$

FORMA DE CRISTALES.- Generalmente en cristales euhedrales en forma de cuñas. Secciones transversales con cortes rómbicos agudos. También en granos irregulares.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos: coloreado con predominio amarillo; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia soh sobre el blanco del cuarto orden.

PLEOCROISMO.- Es usualmente débil en secciones delgadas. En secciones gruesas presenta los siguientes colores pleocroicos: amarillo verdoso, marrón pálido amarillento, amarillo verdoso, rosado salmón, amarillo más bien pálido, anaranjado rojizo.

RELIEVE.- Muy alto, en comparación con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje ligeramente prismático (110); el parting es perfecto.

MACLAS.- Presenta maclas simples sobre (100); puede presentar igualmente maclas lamelares polisintéticas.

CARACTER OPTICO.- Es ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Extrema, $N_g - N_p = 0.092 - 0.136$

EXTINCCION.- No muy clara, pero parece ser paralela. Las secciones rómbicas tienen extinción inclinada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial positiva. La bisectriz a-

guda es generalmente normal a (102).

ANGULO OPTICO.- Es variable, pero generalmente moderado: $2V = 23^\circ - 50^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (010).

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones en este mineral, principalmente de albita y lepidolita.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La titanita se caracteriza por sus secciones rómbicas en forma de cuñas, relieve alto, fuerte birrefringencia é índices altos. A veces se confunde con la monacita; sin embargo, la birrefringencia y la refringencia de la monacita son más bajos.

ALTERACION.- Altera a una masa amorfa amarilla clara, acompañada de calcita; también puede ser reemplazado por óxido de fierro, con más o menos ilmenita, rutilo, etc.

DISTRIBUCION.- Es común como mineral accesorio en todo tipo de rocas ígneas, como granitos horneblendíticos, sienitas y dioritas. Es más común en rocas ígneas básicas; también es común en rocas metamórficas, esquistos y gneisses.

51.- VESUVIANITA

FORMULA.- $Ca_2Al_2(OH, Fe)Si_2O_7$
 $2(Mg, Fe)(OH)_2 \cdot 2Al_2Si_2O_7 \cdot 5Ca_2SiO_4$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Tetragonal.

INDICES DE REFRACCION.-

Nw = 1.705 1.736

Ne = 1.701 1.732

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.35 - 3.45$

FORMAS EN SECCION.- En cristales euhedrales de hábito prismático, en masas como cristales anhedrales, de forma mas o menos poligonal.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos es coloreado a marrón pálido o verde; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son gris del primer orden.

DICROISMO.- Sólo en secciones gruesas, con los siguientes colores dicroicos: marrón amarillento, marrón gris, marrón verdoso, rosado, rojo; coloreado a gris claro; amarillo ó verde á amarillo verdoso, etc.

RELIEVE.- Alto, comparado con el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Imperfecto paralelo a (110).

MACLAS.- No presenta en secciones delgadas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Muy débil, $N_g - N_p = 0.001 - 0.006$

EXTINCIÓN.- Paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Generalmente es Uniaxial negativa algunas veces es biaxial, principalmente en secciones basales.

ANGULO OPTICO.- Cuando es biaxial el ángulo óptico es bien pequeño.

PLANO AXIAL OPTICO.- Si el cristal es biáxico, el plano de los ejes ópticos es normal a la sección basal.

INCLUSIONES.- Son raras.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se caracteriza por su refringencia alta, birrefringencia débil, además los cristales presentan arreglos zonales de colores. Es difícil diferenciarlo de Zoicita, pero difiere por la ausencia de clivaje y por el ángulo óptico grande; de la Andalucita y de la Melilita se diferencia por sus índices altos en comparación con la de éstas.

ALTERACION.- Muy elevada.

DISTRIBUCION.- Ocurre en esquistos, gneissos, anfibolitas y también en rocas ígneas, aunque raramente, como sucede con pegmatitas y uralitas.

52.- CIANITA ó DISTENA (Fot. # 38)

FORMULA.- Al_2SiO_5

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Triclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

N_p	=	1.713	1.717
N_m	=	1.720	1.722
N_g	=	1.728	1.729

PESO ESPECIFICO.- G 3.6

FORMAS EN SECCION.- Las secciones de Cianita son en forma de láminas tabulares anchas, alargadas, paralelas a (100) y angostas paralelas a (010). Sus cristales a menudo son flexionados.

COLORES EN SECCION.- Coloreado a azul pálido entre nicoles paralelos. Con nicoles cruzados, los colores de interferencia gradan sobre el rojo del primer orden.

PLEOCROISMO.- En secciones gruesas puede ser pleocroico, co-

loreado, azul violeta, azul obalto oscuro.

RELIEVE.- Alto, en comparación con el del Bálsamo de Canadá

CLIVAJE.- Perfecto, paralelo a (100); bueno paralelo a (010)

MACLAS.- A menudo lamelares, también se observan maclas múltiples sobre secciones (001), producidas por presión.

CARACTER OPTICO.- Sustancia anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.012 - 0.014$

EXTINCIÓN.- Inclínada, sobre secciones (100) el ángulo de extinción es entre $27^\circ - 32^\circ$; sobre secciones (010), entre 5° y 8° , y sobre secciones (001), prácticamente cero.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Las láminas de clivaje o las secciones cortadas paralelas a (100), dan una figura biaxial negativa, la bisectriz aguda ligeramente normal a la fase (100).

ANGULO OPTICO.- Muy grande, $2V = 82.5^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos hace un ángulo de 30° con las trazas del eje c.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es fácil de distinguir por las numerosas líneas de clivaje, alto relieve, moderada birrefringencia y su ángulo de extinción prácticamente de 30° . Igualmente, la posición de extinción de 60° en secciones perpendiculares a la bisectriz aguda es característica.

ALTERACION.- Altera a Muscovita, algunas veces con Clorita.

DISTRIBUCION.- En esquistos y pegmatitas que atraviesan esquistos; en gneisses asociado con cuarzo, Muscovita, Estaurolita, Granates, etc. - Es raro en rocas ígneas.

53.- TOPACIO

FORMULA.- $Al_2SiO_4(F, OH)_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.607 - 1.629$$

$$N_m = 1.610 - 1.631$$

$$N_g = 1.617 - 1.638$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.52 - 3.57$

FORMAS EN SECCION.- En pequeños cristales euhedrales de hábito prismático se encuentra a menudo; también en granos anhedrales y en agregados columnares.

COLORES EN SECCION.- Coloreado en secciones delgadas con predominio de amarillo gris, entre Nicoles paralelos; los

colores de interferencia con nicoles cruzados son gris o amarillo paja del primer orden.

PLEOCROISMO.- Es particular de secciones gruesas, con los siguientes colores de cambio: marrón amarillento ó rosado amarillento y á rosado violeta.

RELIEVE.- Moderadamente alto.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- No se presenta maclado.

CARACTER OPTICO.- Ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Más o menos débil, $n_g - n_p = 0.008 - 0.010$.- Las láminas de clivaje tienen débil birrefringencia.

EXTINCION.- Paralela en secciones longitudinales, simétrica en secciones transversales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial positiva, principalmente en secciones basales, la bisectriz aguda es normal a secciones (001).

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 48^\circ - 65^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano óptico es paralelo a secciones (010)

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones líquidas, como agua o bióxido de carbono, en algunos casos carburo de hidrógeno. Se han determinado otras inclusiones, como Ilmenita y Hematita.

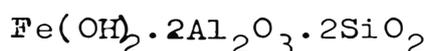
CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- De la Silimanita difiere por su débil birrefringencia y diferente dirección de clivaje; de la Andalucita, por su clivaje y pequeño ángulo óptico ($2V = 25^\circ - 30^\circ$). Del Cuarzo por su relieve alto y carácter óptico biaxial.- Cuando está en forma de masa puede confundirse con los Feldespatos, pero el alto relieve y la presencia de diversas maclas los diferencia.

ALTERACION.- El Topacio puede alterar a Caolín, Muscovita ó Sericita.

DISTRIBUCION.- Ocurre en granitos pegmatíticos, ocasionalmente en rocas volcánicas, como Riolitas; comunmente asociado con Casiterita, Fluorita, Turmalina, Berilo, etc.

54.- ESTAUROLITA (Fot. # 39)

FORMULA.- $Fe(OH)_2 \cdot (Al_2SiO_5)_2$



SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.736 \quad 1.747$

$N_m = 1.741 \quad 1.754$

$N_g = 1.746 \quad 1.762$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.65 - 3.77$

FORMAS EN SECCION.- Generalmente ocurre como cristales euhedrales de hábito prismático corto, con secciones transversales exagonales.

COLORES EN SECCION.- Color amarillo pálido entre nicoles paralelos; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son amarillentos del primer orden.

PLEOCROISMO.- Presenta pleocroismo variable, cambiando de amarillo coloreado a amarillo pálido, o a amarillo marrón.

RELIEVE.- Nítidamente alto, en comparación con el del Bálamo de Canadá.

CLIVAJE.- Imperfecto paralelo a (010).

MACLAS.- Son comunes las maclas de penetración cruciforme, dando una apariencia de secciones rectangulares, aunque raramente visibles en sección.- Son desconocidas las maclas polisintéticas, pero no las maclas simples.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Algo débil, $N_g - N_p = 0.010 - 0.015$.

EXTINCION.- Simétrica en secciones transversales, y paralela a lo largo de los cristales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial positiva, con la bisectriz aguda normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Es grande y variable, comprendido en 80° y 90° , siendo comunes entre 86° y 89° .- Este ángulo decrece con el aumento de temperatura.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano axial a paralelo a secciones (100).

INCLUSIONES.- Son abundantes las inclusiones de Cuarzo dispuestas irregularmente, también tiene inclusiones de Rutilo, Turmalina y Granate, y no son raras las inclusiones de materias carbonosas dispuestas regularmente.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Las secciones delgadas se caracterizan por el color, el pleocroismo, alto relieve, moderada birrefringencia y por la presencia de muchas inclusiones, principalmente de Cuarzo; igualmente, la forma de los cristales y las maclas, también son distintivas.

ALTERACION.- Puede alterar a mica verde o a Clorita.

DISTRIBUCION.- Es algo raro en rocas ígneas, más común en rocas metamórficas, esquistos, Fillitas, etc., con Granate,

Cianita, Andalucita, Sillimanita. Es también común como mineral detrítico.

55.-- ANDALUCITA

FORMULA.- Al_2SiO_5 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómico.

INDICES DE REFRACCION.-

Np 1.629 1.640

Nm = 1.632 1.644

Ng 1.639 1.647

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.1$ 3.2

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales de hábito prismático con secciones transversales cuadradas. También en agregados columnares.

COLORES EN SECCION.- Coloreado en secciones gruesas, tenuemente rojizo amarillento entre nicoles paralelos; con los nicoles cruzados, los colores de interferencia gradan sobre el amarillo del primer orden.

PLEOCROISMO.- Posee pleocroismo variable, de rosa a verde pálido.

INCLUSIONES.- Son comunes las inclusiones principalmente de materia carbonosa en la variedad Chiasmolita, estas inclusiones se concentran conformando la simetría del cristal.- Son comunes igualmente las estructuras zonales.

RELIEVE.- Moderadamente alto.

CLIVAJE.- Bueno, paralelo a (100); en secciones transversales las trazas de clivaje son perpendiculares entre sí.

MACLAS.- Generalmente sin maclas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.007 - 0.011$.

EXTINCCION.- Paralela a las trazas de clivaje, en secciones transversales la extinción es simétrica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa en secciones transversales, la bisectriz aguda es normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Practicamente grande, $2V = 84^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano óptico es paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característica de este mineral sus secciones transversales ligeramente rectangulares lo mismo que sus inclusiones carbonosas.- Algunas variedades coloreadas de este mineral semejan a la Hiperstena, pero un

análisis microquímico puede diferenciarlos; de la Sillimanita se distingue por su débil birrefringencia y su ángulo axial óptico grande.

ALTERACION.- La Andalucita altera a menudo a Sillimanita; la variedad Chiestolita más o menos se altera a Sericita a lo largo de las inclusiones de materia carbonosa.

DISTRIBUCION.- Ocurre principalmente en las zonas de contacto de rocas ígneas y pizarras, en granitos pegmatíticos y en vetas a elevadas temperaturas; en la forma de Chiestolita es un mineral característico de contacto en esquistos, fillitas y pizarras.- Es un mineral muy distribuido.

GRUPO: FOSFATOS.

Son constituyentes accesorios de rocas ígneas, aunque su presencia no determina el carácter de ésta.

56.- APATITA (Fot.#40)

FORMULA.- $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Exagonal.

INDICES DE REFRACCION:

Nw = 1.632 - 1.667

Ne = 1.630 - 1.664

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.16 - 3.22$

FORMAS EN SECCION.- Pequeños cristales subedrales o anhedrales de hábito tabular alargado incompleto de secciones hexagonales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicols paralelos es coloreado; con los nicols cruzados los máximos colores de interferencia son blanco ó gris del primer orden; además entre nicols paralelos puede ser gris, azul o marrón no muy uniforme.

RELIEVE.- Moderado, refringencia menor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Imperfecto, no claro.

MACLAS.- Ausente.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $Nw-Ne=0.002 - 0.005$

EXTINCION.- Paralela en secciones alargadas.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Uniaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Cero, $2v=0^\circ$

INCLUSIONES.- Algunas Apatitas pueden tener inclusiones lí

quidas o gaseosas, arregladas verticalmente o en forma zonal.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Por su apariencia en secciones delgadas es fácil diferenciarlo de otros minerales, lo mismo que por su relieve moderado y falta de clivaje. La Melilita tiene mejor clivaje y colores de interferencia anormales; Vesuvianita tiene relieve alto, lo mismo que sus índices de refracción; el Zirfón tiene relieve aún más alto y refringencia mayor.

DISTRIBUCION.- Accesorio común de todo tipo de rocas ígneas especialmente básicas, como Granitos, Pegmatitas, etc.

57.- MONACITA (Fot. # 41)

FORMULA.- $CePO_4$.- Reemplazados más o menos por: La, Di, Er, Th, Nd, etc.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION:-

$$N_p = 1.787 - 1.800$$

$$N_m = 1.788 - 1.801$$

$$N_g = 1.837 - 1.849$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 5.1$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales pequeños, alargados o tabulares.

COLORES EN SECCION.- Entre nicols paralelos es coloreado, amarillento, rojizo o marrón.- Con nicols cruzados, los máximos colores de interferencia son del primer y segundo orden.

PLEOCROISMO.- Es ligeramente pleocroico.

RELIEVE.- Alto, refringencia mayor que la del Bálamo de Canadá.

CLIVAJE.- No muy perfecto sobre secciones (001).- Parting bueno.

MACLAS.- No comunes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.045 - 0.055$

EXTINCCION.- Inclinada, entre 2 y 6° .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Pequeño, $2V = 6^\circ - 19^\circ$; la bisectriz aguda es ligeramente inclinada.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo de (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Son parecidos a la Monacita, la Titanita, pero ésta tiene mayor refringencia y presenta maclas; el Zircón es Uniaxial con índices de refracción elevado y pleocroismo particular; la Epidota, Biaxial negativa con refringencia ligeramente menor y débil pleocroismo.

DISTRIBUCION.- Se encuentra en granitos, pegmatitas, Aplitas, etc., también en gneisses y arenas derivadas de éstas.

58.- FLUORITA (Fot.# 42)

FORMULA.- CaF_2

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Cúbico.

INDICE DE REFRACCION.-

$$N = 1.434$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.18$

FORMAS EN SECCION.- En cristales xenomórficos, como relleno sólo algunas veces aparece cristales subedrales de secciones mas o menos cuadradas.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con los nicoles cruzados es isotrópico.

RELIEVE.- Moderado, refringencia menor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje octoedral perfecto en dos direcciones.

MACLAS.- No comunes en secciones delgadas

CARACTER OPTICO.- Ópticamente isotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- No posee.

EXTINCCION.- Completa.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su clivaje octoédrico, índices de refracción menores que los del Bálsamo de Canadá, para diferenciarlo de minerales similares.

CARACTER OPTICO.- Entre nicoles cruzados es totalmente isotrópica.

DISTRIBUCION.- Es raro como mineral primario en rocas ígneas, por lo general es secundario en granitos, pegmatitas, etc.

59.- AXINITA

FORMULA.- $\text{H}(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe})_3 \text{Al}_2 \text{B}(\text{SiO}_4)_4$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Triclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.672 - 1.685$

$N_m = 1.678 - 1.692$

$N_g = 1.681 - 1.696$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.25 - 3.30$

FORMAS EN SECCION.- Cristales subedrales á anhedrales, con secciones angulosas.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos es coloreado, amarillo, verde pálido con ligero tono violeta. Con nicoles cruzados los máximos colores de interferencia gradan sobre el amarillo del primer orden (diagrama de Michell-Levy).

PLEOCROISMO.- Ausente en secciones delgadas; en secciones gruesas presenta los siguientes colores pleocroicos: coloreado, amarillo pálido; violeta pálido á amarillo claro y a azul cielo; coloreado a verde pálido.

RELIEVE.- Moderadamente alta.

CLIVAJE.- Pobre en muchas direcciones, de las cuales son mejores solo en tres.

MACLAS.- No presenta maclas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Algo débil, $N_g - N_p = 0.009 - 0.011$, semejante al del Cuarzo.

EXTINCION.- Inclínada, paralela a las trazas de clivaje.- Sobre secciones (111) el ángulo de extinción es de 40° , y sobre secciones (1 $\bar{1}$ 1) 25° . En secciones transversales tiene extinción simétrica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa, con la bisectriz aguda normal mas o menos a la fase (011).

ANGULO OPTICO.- Variable en cada cristal, sus valores están comprendidos entre 70 y 75° .

PLANO AXIAL OPTICO.- Inclínada.

INCLUSIONES.- No son raras las inclusiones de gases en forma de burbujas.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La birrefringencia es parecida a la del Cuarzo, pero la refringencia es alta. Existe gran dificultad para reconocerlo en secciones delgadas.-Del cuarzo se diferencia por la figura uniaxial positiva de éste; el relieve es más alto que el de la Ortoza, teniendo ésta maclas características; sus colores pleocroicos son nobles en secciones gruesas.

ALTERACION.- Raras.

DISTRIBUCION.- Ocurre en granitos, en pegmatitas; en rocas

metamórficas de contacto. Es un mineral raro.

CONSTITUYENTES SECUNDARIOS

60.- CLORITA (Fot. # 43)

FORMULA. $(Mg, Fe)_5Al(OH)_8(Al, Si_3)O_{10}$.- Comprende un grupo complejo de alumosilicatos de magnesio, fierro, etc. hidratados.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.562 - 1.605$$

$$N_m = 1.575 \quad 1.605$$

$$N_g = 1.577 \quad 1.610$$

PESO ESPECIFICO.- G - 2.6 - 3.0

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales o subedrales prismáticos con terminaciones angulares largas, agregados lamelares y fibrosos.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos es colorado, verde pálido o amarillo. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son de primer orden.

PLEOCROISMO.- Puede ser pleocroico con los siguientes colores: verde a verde amarillo, verde a verde amarillento.

RELIEVE.- Bajo a moderado.

CLIVAJE.-Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- No son importantes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil y variable, $N_g - N_p = 0.002 - 0.015$.

EXTINCION.- Inclineda entre 2 y 3°.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es Biaxial negativa y positiva. La bisectriz es ligeramente normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Variable, $2V = 0^\circ - 30^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a la fase (010)

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por su bajo relieve, baja birrefringencia y débil pleocroismo.

DISTRIBUCION.- En rocas ígneas como producto de alteración, principalmente de micas, piroxenos, anfíboles, granates, olivinos, etc.

61.- CLINOCOLORO

FORMULA.- $Mg_5(Al, Fe)(OH)_8(Al, Si_3)O_8$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.571 - 1.587$$

$$N_m = 1.571 - 1.587$$

$$N_g = 1.575 - 1.597$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.65 - 2.78$

FORMAS EN SECCION.- Puede ser cristales tabulares gruesos o delgados, con ligera lineamiento exagonal incompleto.

COLORES EN SECCION.- Las secciones son coloreadas a verde pálido entre nicoles paralelos.- Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan sobre el gris del primer orden.

PLEOCROISMO.- Pleocroico con los siguientes colores: verde pálido, verde olivo, verde amarillento pálido, coloreado.

RELIEVE.- Claro.

CLIVAJE.- Clivaje basal perfecto.

MACLAS.- Es común las maclas polisintéticas, igualmente las finas bandas macladas que se presentan.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.004 - 0.010$.

EXTINCION.- Inclined $2^\circ - 9^\circ$ con respecto al eje cristalo-gráfico c .

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva, con la bisectriz aguda ligeramente normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Variable en una sola lamela, $2V = 0^\circ - 50^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por su figura positiva, su pleocroismo y su color verde pálido, a diferencia de otras cloritas, su ángulo de extinción es ligeramente mayor.

DISTRIBUCION.- En rocas sígneas sólo como producto de alteración; mayor distribución en esquistos y en otras rocas metamórficas.

62.- ANTIGORITA

FORMULA.- $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION: -

$$N_p = 1.555 - 1.562$$

$$N_m = 1.562 - 1.573$$

$$N_g = 1.562 - 1.573$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.55 - 2.58$

FORMAS EN SECCION.- Estructura fibrosa; cristales anhedrales, agregados microlamelares.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es verde pálido o coloreado; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia, gradan sobre el amarillos del primer orden.

PLEOCROISMO.- Débil, de amarillo verdoso a amarillo pálido.

RELIEVE.- Bajo, comparado con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Basal perfecto.

MACLAS.- Ausentes.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.007 - 0.011$.

EXTINCION.- Paralela.- Los agregados lamelares pueden mostrar extinción ondulada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa, y la bisectriz aguda normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Muy variable, $2V = 20^\circ - 90^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano óptico es paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Puede ser característico su estructura lamelar o fibrosa, de extinción ondulada que lo diferencia del Olivino. Otra diferencia podría ser el signo de su figura de interferencia.

DISTRIBUCION.- Es un mineral secundario, alteración de minerales magnesianos, como Olivinos y Piroxenos.- Es común en Peridotitas, Serpentinas y otras rocas ígneas y metamórficas.

63.- CRISOTILO (Fot.# 44)

FORMULA.- $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION:-

$N_p = 1.493 \quad 1.546$

$N_m = 1.504 - 1.550$

$N_g = 1.517 \quad 1.557$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.46 - 2.5$

FORMAS EN SECCION.- Agregados de estructura fibrosa y paralela, asbestiforme.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: verdoso, amarillo o coloreado. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan sobre el amarillo del primer orden.

PLEOCROISMO.- No importante.

RELIEVE.- Bajo, más o menos igual al del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Perfecto, paralelo a (010).

MACLAS.- Ausente.-

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Moderada, $N_g - N_p = 0.011 - 0.024$.

EXTINCION.- Paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura de interferencia es difícil de obtener, es Biaxial positiva con la bisectriz aguda paralela al eje c .

ANGULO OPTICO.- Muy variable, entre 0° y 50° .

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es distintivo su aspecto asbestiforme, puede confundirse con la Antigorita, pero ésta es biaxial negativa, tiene débil birrefringencia; la Tremolita tiene índices de refracción mayores y extinción inclinada al igual que los otros anfíboles.

DISTRIBUCION.- Generalmente es un mineral secundario en rocas ígneas ultramafíticas, se presenta en venillas en rocas serpentínicas, asociadas con Antigorita.

64.- TALCO

FORMULA.- $Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.539 - 1.545$$

$$N_m = 1.589 - 1.590$$

$$N_g = 1.589 - 1.590$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.7 - 2.8$

FORMAS EN SECCION.- En agregados fibrosos y agregados lamelares arreglados paralelamente.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son del tercer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, ligeramente mayor que el del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Basal perfecto.

MACLAS.- Raras, aún en formas microscópicas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.035 - 0.050$.

EXTINCCION.- Paralela en muchas secciones, en otras es ligeramente inclinada, 3 á 3°.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa, la bisectriz aguda es normal a (001).

ANGULO OPTICO.- Variable y pequeño, $2V = 0^\circ - 30^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralela a la fase (100).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su clivaje basal; se diferencia de Muscovita y Firofilita por su pequeño ángulo axial, pero es necesario un análisis microquímico. La Brucita tiene una figura de interferencia uniaxial positiva.

DISTRIBUCION.- En rocas ígneas mafíticas alteradas; es un mineral secundario en basaltos olivínicos, peridotitas, etc. también en serpentinas asociado con Antigorita y Cristobilo; es además un constituyente primordial en esquistos talcosos.

65.- CAOLIN (Fot.45)

FORMULA.- $Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.553 - 1.563$

$N_m = 1.559 - 1.569$

$N_g = 1.560 - 1.570$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.6 \quad 2.63$

FORMAS EN SECCION.- En cristales de hábito tabular, en agregados y masas de cristales finos y regularmente ordenados, en venillas, reemplazando a feldespatos y otros minerales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado blanco o amarillo pálido; con nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son blanco o gris de primer orden.

PLEOCROISMO.- Es débil y coloreado, crema, o crema con ligeros tonos oliva.

RELIEVE. Bajo.

INDICES DE REFRACCION.- Mayores que los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Paralelo a (001).

MACLAS.- Muy pequnísima.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.006 - 0.007$.

EXTINCCION.- Inclinado con pequeño ángulo de extinción: 3°.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa con la bisectriz aguda normal a (010).

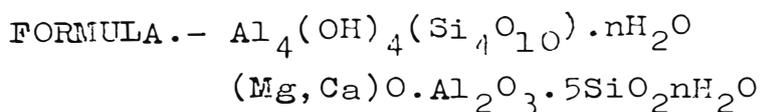
ANGULO OPTICO.- Muy variable, $2V = 20^\circ - 55^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (001).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico su bajo relieve y débil birrefringencia.

DISTRIBUCION.- Es producto de alteración de feldespatos, nefelina, Escapolita y otros silicatos. Raro en rocas ígneas.

66.- MONTMORILLONITA



SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.493 - 1.503$$

$$N_m = 1.516 - 1.526$$

$$N_g = 1.516 - 1.527$$

FORMAS EN SECCION.- En formas masivas y agregados microcristalinos, masas lamelares pseudo exagonales.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado, rosa pálido o verdosa. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan entre el primer y segundo orden.

RELIEVE.- Bajo.

CLIVAJE.- Muy deficiente.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Moderado, $N_g - N_p = 0.023 - 0.024$.

EXTINCION.- Inclinada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa, figura difusa difícil de obtener.

ANGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 15^\circ$ más o menos.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es particular su asociación con partículas de vidrio angulares; en cenizas volcánicas y su aspecto microcristalino.

DISTRIBUCION.- Es raro en rocas ígneas. Es importante constituyente de Bentonita; a veces se presenta en dikes pegmatíticos, como material de alteración (Kerr: Optical Mineralogic).

67.- PIROFILITA

FORMULA.- $Al_2(OH)_2Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.552$$

$$N_m = 1.588$$

$$N_g = 1.600$$

FORMAS EN SECCION.- En agregados lamelares finos, también como cristales tabulares con estructura radial.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son del tercer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo.

CLIVAJE.- Paralelo a (001).

CARACTER OPTICO.- Anisotrópico.

BIRREFRINGENCIA.- Fuerte, $N_g - N_p = 0.048$.

EXTINCION.- Paralela, no siempre apreciable.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Biaxial negativa.

ANGULO OPTICO.- Moderado.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Para diferenciarlo de otros minerales, especialmente del Talco, es necesario recurrir a reacciones microquímicas; el Caolín tiene birrefringencia débil.

DISTRIBUCION.- Raro en rocas ígneas, mayor ocurrencia en rocas metamórficas.

67.- HALOYCITA

FORMULA.- $Al_4(OH_4)Si_4O_{10}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Aparentemente amorfo.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N = 1.47 \text{ (con 25\% de agua)}$$

$$N = 1.54 \text{ (con 23\% de agua)}$$

$$N = 1.57 \text{ (con 17.8\% de agua)}$$

Valores tomados de A. N. Winchell: Optical Mineralogy

FORMAS EN SECCION.- Agregados microcristalinos.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos coloreado; con nicoles cruzados, isotrópico (negro).

RELIEVE.- Bajo.

CARACTER OPTICO.- Opticamente isotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- No posee.

EXTINCIÓN.- Completamente oscura durante toda la rotación de la platina del microscopio.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- No posee.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Birrefringencia extremadamente débil, que significa isotropismo.

DISTRIBUCION.- Raro en rocas ígneas; mayor distribución en calizas, arcillas, etc.

69.- CORDIERITA (Fot. # 46)

FORMULA.- $Mg, Fe, Mn)_2(Al, Fe)_4Si_5O_{18} \cdot H_2O$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.532 \quad 1.588$

$N_m = 1.536 - 1.597$

$N_g = 1.539 \quad 1.599$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.57-2.66$. Decece mientras los índices aumentan.

FORMAS EN SECCION.- Subedral á anhedral. Cristales prismáticos cortos de sección pseudo-exagonal, tipo Aragonita, probablemente como resultado de maclas de penetración.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son sobre el amarillo pálido del primer orden.

PLEOCROISMO.- Ausente en secciones delgadas. En secciones gruesas muestra los siguientes colores pleocroicos: amarillo claro á verde; marrón ó rojizo; de violeta oscuro á azul oscuro; verde ó marrón oscuro, y de azul claro á amarillo, ó á marrón.

RELIEVE.- Bajo; sus índices son paralelos a los del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- No presentes en secciones delgadas.

MACLAS.- En secciones basales presenta maclas de penetración, que constituyen la forma exagonal de las secciones transversales (Ver Fot. # 23)

CARACTER OPTICO.- Es opticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, parecida a la del Cuarzo; $N_g - N_p = 0.007 - 0.011$.

EXTINCION.- Paralela en muchas secciones.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Es Biaxial negativa, con la bisectriz aguda normal a (001). También se ha encontrado Cordierita Biaxial positiva, posiblemente debido al incremento de fierro, llegando el ángulo óptico a alcanzar un valor de 90° y cambiando de signo.

ANGULO OPTICO.- Muy variable, $2V = 39^{\circ}-84^{\circ}$, hasta 90°, por incremento de fierro.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (001).

INCLUSIONES.- Son comunes inclusiones de Espinel, Sillimanita, Apatita, Zircón, Estauroлита. A menudo la Apatita y Zircón rodeado de halos pleocroicos que dan el aspecto coloreado a la Cordierita. También pueden estar presentes inclusiones de origen secundario, como Magnetita; inclusiones vitreas, inclusiones carbonosas, etc.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por sus numerosas inclusiones y su aspecto maclal en secciones basales. Es fácil de confundirse con el Cuarzo, del cual se diferencia, lo mismo que de la Ortoza, por sus numerosas inclusiones y por sus halos pleocroicos. Además, el Cuarzo es Uniaxial positivo y la Ortoza tiene índices de refracción por debajo de los de la Cordierita.

ALTERACION.- Altera rápidamente dando varios productos, como Biotita, Muscovita, Clorita, Talco y otras sustancias isotrópicas (Antigorita, Halloycita), etc.

DISTRIBUCION.- Mineral metamórfico poco común en rocas ígneas; es encontrado en gneisses, esquistos y pizarra, modificado por rocas eruptivas, particularmente granitos, y como inclusiones en rocas volcánicas; también, distribuido en rocas ígneas ricas en alúmina y magnesia. Está comunmente asociado con Cuarzo, Ortoza, Albita, Sillimanita, Andalucita, Turmalina, Estauroлита, Granate, Zircón, Espinel, etc.

70.- SILLIMANITA (Fot. # 47)

FORMULA.- Al_2SiO_5 ó $Al_2O_3 \cdot SiO_2$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION:-

$N_p = 1.657 - 1.661$
 $N_m = 1.658 - 1.670$
 $N_g = 1.677 - 1.684$

PESO ESPECIFICO.- $G = 3.25$

FORMA DE CRISTALES.- Pequeñísimos cristales prismáticos en forma fibrosa. Los cristales en forma de agujas alargadas son paralelas al eje c . Los cristales gradan de subedrales á euhedrales.

COLORES EN SECCION.- Con nicoles paralelos: coloreado con ligero predominio verdoso. Con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia gradan sobre el verde azulado del segundo orden. En secciones transversales muestra colores bajos del primer orden.

PLEOCROISMO.- En secciones delgadas muchas veces ausente; secciones gruesas son ligeramente pleocroicas en amarillo, verde marrón ó azul.

RELIEVE.- Moderadamente alto en comparación con el Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Bueno, paralelo a la cara (010), aunque no siempre presente en secciones delgadas. Son comunes las fracturas irregulares.

MACLAS.- Ausentes.

CARACTER OPTICO.- Sustancia ópticamente anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderadamente fuerte, $N_g - N_p = 0.020 - 0.023$.

EXTINCION.- Paralela en secciones longitudinales y simétrica en secciones transversales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Es difícil de obtenerla. Es Biaxial positiva.

ANGULO OPTICO.- Es pequeño y variable, $2V = 25^\circ - 30^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO.- Es paralelo a la fase (010), ó al plano de clivaje.

INCLUSIONES.- A menudo tiene inclusiones de Espind, Biotita y materia vítrea.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de este mineral sus cristales aciculares y su clivaje pinacoidal al igual que su extinción paralela. A menudo se confunde con Zoicita y Andalucita, pero los diferencia sus índices de refracción y su signo óptico (la Andalucita es negativa, la Zoicita puede ser algunas veces negativa). Además, la birrefringencia de la sillimanita es más fuerte que la de éstas. También se confunde con la Apatita; sin embargo su forma en sección, la birrefringencia débil y el signo óptico negativo, lo diferencia de aquél.

ALTERACION.- Altera a minerales arcillosos o a Sericita.

DISTRIBUCION.- En granitos y en rocas ígneas en general e

xiste Sillimanita, probablemente como resultado de absorciones; mas abundante es en esquistos cristalinos, gneisses pizarras, etc. Son asociados comunes Andalucita, Cianita, Cordierita.

70.- GRUPO ZEOLITOS

Forman una familia de aluminosilicatos hidratados de sodio, calcio, generalmente secundarios, producto de destrucción y alteración de feldespatoides y feldespatos.

Los principales Zeolitos son: Chabazita, Natrolita, Estilvita, Thomsonita y Laumontita.

71.- CHABAZITA

FORMULA.- $Al_2Ca(SiO_3)_4 \cdot 6H_2O$. Con pequeñas cantidades de sodio potasio y calcio.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Romboédrico, escalenoédrico.

INDICES DE REFRACCION.-

Np = 1.478	1.485
Nm = 1 ?	1.485
Np = 1.480	1.490

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.8 - 2.16$

FORMAS EN SECCION.- Generalmente en cristales euhedrales, cuyas secciones transversales pueden ser ligeramente exagonales, rómbicos, etc.

COLORES EN SECCION.- Con nicols paralelos es coloreado, y con nicols cruzados los máximos colores de interferencia don gris oscuro a blanco del primer orden.

RELIEVE.- Bajo, refringencia menor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Clivaje romboedral imperfecto.

MACLAS.- Pueden observarse maclas de penetración entre sección transversal dan el aspecto exagonal.

CARACTER OPTICO. Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $Ng-Np=0.002-0.010$.

EXTINCCION.- Simétrica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Según afirma Pirsson las Chabazitas con mayor tenor de sodio son Biaxiales positivas, y las de mayor contenido de Calcio son negativas.

ANGULO OPTICO.- Pequeño ángulo axial, $2V = 0^\circ - 30^\circ$

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Se diferencia de la mayoría de Feldespatoides por su carácter óptico anisotrópico, y por consiguiente por su figura de interferencia, especialmente de Analcina que es isotrópica. La Natrolita se presenta principalmente en cristales alargados.

DISTRIBUCION.- Es un producto de composición, principalmente de feldespatoides encontrados en algunas rocas ígneas como Basaltos, también en esquistos y pizarra, asociados con Estilbita.

72.- NATROLITA

FORMULA.- $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.473 \quad 1.480$

$N_m = 1.476 \quad 1.482$

$N_g = 1.483 \quad 1.485$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.25$

FORMAS EN SECCION.- Cristales euhedrales prismáticos largos que en sección son tabulares, también como agregados fibrosos arreglados en forma radial,

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos coloreado, con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son amarillo, o anaranjado de primer orden.

RELIEVE.- Moderado. Refringencia menor que la del Bálsamo.

CLIVAJE.- Perfecto, paralelo a la longitud del cristal.

MACLAS.- Pueden observarse algunas maclas sobre (110).

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.012 - 0.013$.

EXTINCION.- Paralela a la longitud de los cristales.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva, difícil de obtenerla, la bisectriz aguda es normal a (001)

ANGULO OPTICO.- Moderado, $2V = 60^\circ - 63^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es normal a (100).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Este mineral se caracteriza por sus bajos índices de refracción, extinción paralela, etc La Estilbita, con la cual se confunde, tiene refringencia ligeramente mayor, además es biaxial negativa.

DISTRIBUCION.- Existe en rocas ígneas como mineral secundario, caso de Basaltos. Es un producto de alteración de nefelina, Sodalita y plagioclasas, en Sienitas, Diabasas, etc.

73.- ESTILBITA ó DESFINA (Fot. # 48)

FORMULA.- $(Na_2Ca)Al_2Si_3O_{10} \cdot 6H_2O$

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICES DE REFRACCION.-

$$N_p = 1.494 - 1.500$$

$$N_m = 1.498 - 1.504$$

$$N_g = 1.500 - 1.508$$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.9 - 2.20$

FORMAS EN SECCION.- Cristales achatados alargados paralelamente al eje c ., también puede presentarse en agregados radiales con fibras curvas.

COLORES EN SECCION.- Las secciones entre nicoles paralelos son coloreadas, con los nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son blanco gris del primer orden.

RELIEVE.- Bajo, refringencia menor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Perfecto, en la dirección (010).

MACLAS.- Comumente maclado sobre secciones (100), formando figuras pseudo-rómbicas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.006 - 0.008$

EXTINCCION.- Inclinada en muchas secciones entre 3 y 12°; en otras pocas secciones, es paralela ú ondulada.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial negativa, con la bisectriz aguda ligeramente inclinada.

ANGULO OPTICO.- Pequeño, $2V = 33^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característica de este mineral su tendencia a formar manojos fibrosos, su refringencia ligeramente mayor que la de la Natrolita, siendo ésta Biaxial positiva.

DISTRIBUCION.- Al igual que otros Zeolitos son minerales secundarios en rocas ígneas, principalmente en aquellas pobres en Cuarzo, tal como sucede con Basaltos, Sienitas, etc.

74.- THOMSONITA

FORMULA.- $\text{NaCa}_2\text{Al}_5(\text{SiO}_4)_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

INDICES DE REFRACCION.-

$N_p = 1.512 - 1.535$

$N_m = 1.513 - 1.537$

$N_g = 1.518 - 1.545$

PESO ESPECIFICO.- $G = 2.25 - 2.40$

FORMAS EN SECCION.- Este mineral en sección presenta masas fibrosas y aciculares.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos es coloreado; con nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia varían del blanco del primer orden al azul del segundo orden

RELIEVE.- Bajo, refringencia menor que la del Bálsamo de Canadá.

CLIVAJE.- Es perfecto, paralelamente a la longitud de sus cristales.

MACLAS.- Ausente.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil a moderado, $N_g - N_p = 0.006 - 0.020$.

EXTINCCION.- Paralela.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es Biaxial positiva, con la bisectriz aguda normal a (D10).

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = 47^\circ - 65^\circ$.

PLANO AXIAL OPTICO.- El plano de los ejes ópticos es paralelo a (O10).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- La Natrolita tiene índices menores que la Thomsonita, en general de los Zeolitos es el que tiene las mayores refringencias.

DISTRIBUCION.- Es un mineral raro, poco distribuido en rocas ígneas.

CARBONATOS

En la identificación de los minerales de este grupo sólo se utilizan algunas propiedades ópticas, como son la medida de los índices de refracción, su aspecto en sección delgada y principalmente el análisis microquímico del mineral en polvo, usando para ello aceites y reactivos ad-hoc, observando las formas particulares que se forman a tra

vés del microscopio. Como obras de consulta se pueden usar el texto "Microscopic Determination of Minerals" de M.N. Short, o también "Microscopic Determination of the Monopaque Minerals", de E. S. Larsen.

Esta es la razón por la cual el resto de propiedades ópticas como figuras de interferencia principalmente, se estudian en conjunto para todos los carbonatos y sólo hay variaciones con respecto a la birrefringencia é índices de refracción.

75.- GRUPO: CALCITA: (Fot.# 49)
(Fot.# 50)
(Fot.# 51)

Este grupo comprende los siguientes carbonatos, cuyas propiedades ópticas pueden compararse en el diagrama # 55.

	<u>Ne</u>	<u>Nw</u>	Nw-He	<u>G</u>
Calcita	1.4847-1.4907	1.6544-1.6679	0.1697	2.715
Dolomita	1.5020-1.5650	1.6790-.17760	0.177-0.211	2.878
Magnesita	1.5090-1.5700	1.7000-1.7880	0.191-0.218	2.960
Rodocrosita	1.5950-	1.8180	0.223	3,700
Siderita	1.6057-1.6330	1.8279-1.8750	0.220-0.222	3.890
Smithsonita	1.6210	1.8490	0.228	4.3-4.4

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Romboédrico.

FORMAS EN SECCION.- Cristales anhedrales á subedrales en forma irregularmente granuladas. La Siderita puede mostrar agregados de cristales subedrales.

COLORES EN SECCION.- Con los nicoles paralelos es coloreado, grisáceo o amarillento marrón en Siderita. Con los nicoles cruzados los máximos colores de interferencia son blanco grisáceos de órdenes altos

RELIEVE.- Varía de bajo a alto, según la posición de la sección.

CLIVAJE.- Todos los carbonatos de este grupo tiene clivaje romboedral perfecto.

MACLAS.- Son comunes las maclas polisintéticas o lamelares, en Calcita, menos común en Dolomita, hasta desaparecer en la Siderita.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópicas.

EXTINCION.- Simétrica a las trazas de clivaje.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- Uniaxial negativa con numerosos anillos (Fotl# 3).

ANGULO OPTICO.- Cero, $2V = 0^\circ$.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico de los carbonatos su relieve variado según la dirección en que se coloque la sección delgada sobre la platina. Asimismo, su clivaje romboédrico, su figura de interferencia, para diferenciarlo del grupo Aragonita. Entre los componentes del grupo se puede establecer mejores diferencias mediante microreacciones.

DISTRIBUCION.- De estos carbonatos, la Calcita se encuentra en rocas ígneas rellenando cavidades, siendo los otros raros; sin embargo, en rocas ígneas alteradas, pueden ocurrir dentro de ciertos límites.

76.- GRUPO: ARAGONITA

Comprende los siguientes minerales

		Np	Nm	Ng-Np	Ng	G	2V
Aragonita	CaCO_3	1.530	1.681	0.155	1.685	2.94	18°
Serucita	PbCO_3	1.803	2.074	0.273	2.076	6.57	8°
Estroncionita	SrCO_3	1.516	1.664	1.150	1.666	3.71	10°
Witherita	BaCO_3	1.527	1.676	0.148	1.677	4.30	16°

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ortorrómbico.

FORMAS EN SECCION.- Cristales subedrales de estructura fibrosa y acicular, así como también cristales achatados.

COLORES EN SECCION.- Puesta la sección entre nicoles paralelo es coloreada; con los nicoles cruzados, los máximos colores de interferencia son blanco gris perla de órdenes altos.

RELIEVE.- Varía como en el grupo Calcita, según la posición de la sección sobre la platina del microscopio.

CLIVAJE.- No muy perfecto, paralelo a la longitud de los cristales.- En la Cerusita, puede aparecer otras trazas de clivaje normales a las anteriores.

MACLAS.- Son usuales las maclas de penetración, dando la impresión de formas pseudo-exagonales cuando son cortadas transversalmente. Igualmente son comunes las maclas lamelares o polisintéticas.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Moderada á fuerte.

EXTINCION.- Por lo general paralela; muy pocas veces simétrica.

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura generalmente es Biaxial negativa, con la bisectriz aguda normal a (001)

PLANO AXIAL OPTICO.- Paralelo a (010).

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico entre los carbonatos su carácter Biaxial negativo y la ausencia de clivaje romboedral, que los diferencia del grupo Calcita.- La Cerusita difiere por su elevado relieve y fuerte birrefringencia.- Es importante análisis microquímicos para establecer mejores diferencias.

DISTRIBUCION.- Como mineral secundario puede presentarse en Basaltos y Andesitas, especialmente la Aragonita.- Los otros son raros y se presentan en zonas oxidadas de depósitos.

77.- GRUPO: SULFATOS

Los minerales de este grupo son raros en rocas ígneas y sólo la Baritina y muy raras veces Yeso pueden existir en estructura amigdaloidal. A excepción del Yeso, el resto son ortorrómbicos; en general son biaxiales positivos y de propiedades ópticas similares.

Los principales sulfatos son:

Baritina	BaSO ₄	1.636	1.637	1.648	0.012	4.50	51°
Celestita	SrSO ₄	1.622	1.623	1.631	0.009	4.0●	42°
Anhidrita	CaSO ₄	1.570	1.756	1.614	0.044	2.93	58°
Yeso		1.521	1.523	1.530	0.009	2.32	60°
Anglesita	PbSO ₄	1.878	1.883	1.895	0.017	6.30	75°

A fin de establecer mejores diferencias es preferible realizar micro-reacciones en porciones de carbonatos en polvo.

N O T A

Otros óxidos y sulfuros se tratarán como minerales opacos en secciones pulidas (Cap. V).

CERRO DE PASCO CORPORATION . LA OROYA
(INCORPORATED IN DELAWARE)
CORRESPONDENCIA INTERDEPARTAMENTAL

Fecha March 9, 1958

A: U. Petersen, Chief Geologist, Cerrodel (LD)
De: R. Quirós S., Student - Mining Engineering, Cerrodel (SD)
Materia: ROCK SAMPLE FROM HILDA - DOMINIO

The rock showed (after cutting), a whitish green groundmass with disseminated fine quartz and some greenish laths.

The greenish laths are probably ANTIGORITE, a variety of Chlorite.

MICROSCOPIC EXAMINATION

Refraction Index: Lower index between 1.550- 1.560
High index between 1.56 - 1.570

Optical Character: Refringences vary from low to moderate.
Biaxial positive. Shows abnormal interference colors.

HCl Test: positive

The section showed calcite groundmass which contains sericite and chlorite patches. There is also some xenomorphic quartz.

Probably antigorite forms a mixture with mica (sericite).

R. Quirós S.

RQS:am/Cerrodel

cc Explorations - Lima
file

Fecha: 22 Feb. 1958.

A: U. Petersen B., Jefe de Geólogos, Cerro del (SD)
De: R. Quirós S, Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MINERAL DE HUENZALA-HUANUCO

Muestra 1.-

La muestra es de un color verde claro pulverulento depositado sobre un canto rodado.

EXAMEN MICROSCOPICO:

Indices de refracción:

Fue difícil determinarlo debido a su alta refringencia y al uso de indicadores sólidos.

Reconocimiento Químico:

Con ácido clorhídrico 1:1 y 1:7 y Thiosianato de mercurio: Positivo.

Con Tartrato de bario: Negativo.

Resultado: MINERAL DE COBRE.

Muestra 2.-

Mineral de color blanco nacarado, suave.

EXAMEN MICROSCOPICO:

Caracter óptico: Uniaxial Positivo.

Indices de refracción;- 1.55 y 1.56

Reconocimiento Químico:

Con thiosianato de mercurio: negativo (para fierro)

Con amoníaco y un fosfato alcalino: negativo (para magnesio)

Con bismuto de sodio: negativo. (para manganeso)

Con ácido sulfúrico: positivo (para calcio)

El mineral es probablemente:

ARAGONITA

Fecha: 24 Enero, 1958.

A; U. Petersen B., Jefe de Geologos, Cerro del (SD)
De: R. Quiroz S., Estudiante de Ingeniería de Minas

MATERIA:

MINERAL DE MOROCOCHA

La muestra no contiene Magnesita y en general no es un carbonato sino probablemente un sulfato: BARITINA

RECONOCIMIENTO MICROSCOPICO:-

Caracter óptico:

Anizotrópico, Biaxial positivo, alta refringencia. birrefringencia débil a moderado.

Indices de refracción:

Máximo:	1.64	1.65
Mínimo:	1.63	1.64

Peso específico: $G = 1.436$

Propiedades físicas:

Dureza baja, cristales incoloros.

Reconocimiento con ácidos: Negativa.

R. Quiroz S.

RQS:am/Cerro del
cc file.

Fecha: Enero 23, 1958.

A; U. Petersen B., Jefe de Geólogos. Cerro del (SD)
De: R. Quiroz S., Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MINERAL DE SAN CRISTOBAL

El mineral de color marrón oscuro es probablemente:
ESFALERITA.

RECONOCIMIENTO MICROSCOPICO:-

Indices de refracción:

No se determinó con exactitud los índices de refracción debido a la incomodidad que presentan los indicadores sólidos de alto índice al estudio del microscopio.

Caracter óptico:

Isotropico, refringencia alta

Reconocimiento Químico:

Prueba del zinc por el método del thiosianato mercuri-
co: Positivo.

B. Quiroz S.

RQS:am/Cerro del
cc file.

Fot.# 14.- Sección delgada de cuarzo, mostrando extinción ondulada.

Nicoles cruzados.

9 x

Fot.# 15.- Cristales de Calcedonia (C) en forma de plumas de ave, rodeando a cristales de Calcita (Ca).

Nicoles cruzados.

19 x

Fot.# 16.- Cristales de Ortoza mostrando máculas de acuerdo a la ley de Carlsbad.

Nicoles cruzados.

9 x



$$N_g = 1.526$$

PESO ESPECIFICO.- $C = 2.56$

FORMAS EN SECCION.- Cristales sub-edrales á anhedrales, tabulares, fenocristales y en formas esferulíticas.

COLORES EN SECCION.- Entre nicoles paralelos: coloreado ligeramente nuboso; con nicoles cruzados, el máximo color de interferencia es blanco ligeramente grisáceo (semejante al del cuarzo) del primer orden.

PLEOCROISMO.- No posee.

RELIEVE.- Bajo, índices menores que los del Bálamo de Canadá.

CLIVAJE.- Perfecto, paralelo a (001). Bueno paralelo a (010).

MACLAS.- Común la macla de Carlsbad, menos común Baveno y Manebach.

CARACTER OPTICO.- Anisotrópica.

BIRREFRINGENCIA.- Débil, $N_g - N_p = 0.008$, semejante al del cuarzo.

EXTINCCION.- Inclínada, tiene un ángulo de extinción pequeño que muchas veces dá la impresión de una extinción paralela; este ángulo incrementa con el contenido de sodio (variedad: Adularia) de 8° a 12° sobre el pinacoide (010).

FIGURA DE INTERFERENCIA.- La figura es biaxial negativa, generalmente difusa, mostrando anillos incoloros.

ANGULO OPTICO.- Grande, $2V = \pm 70^\circ$

PLANO AXIAL OPTICO. Normal a (010).

ALTERACION.- Altera a Caolín ó Sericita.- Más rara es la alteración a Zeolitos, Clorita o Turmalina.

CARACTERISTICAS DISTINTIVAS.- Es característico sus maclas, clivaje y bajo relieve.- No posee maclas múltiples.

DISTRIBUCION.- Es abundante en rocas ígneas ácidas, como granitos, sienitas, riolitas, dacitas, etc.- Frecuentemente es encontrado en zonas de contacto y otras rocas metamórficas.

7.- SANIDINA. (Fot. # 20)

FORMULA.- $(K, Na)AlSi_3O_8$.

SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Monoclínico.

INDICE DE REFRACCION:

$$N_p = 1.517 - 1.525$$

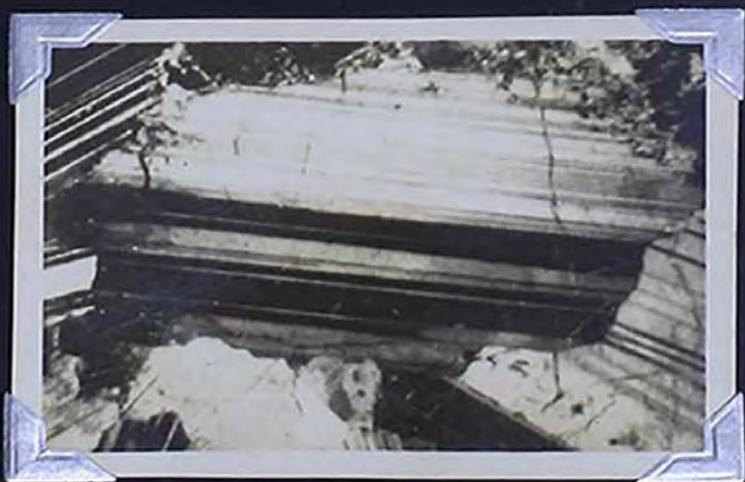
$$N_m = 1.523 - 1.530$$

$$N_g = 1.524 - 1.531$$

Fot.# 17.- Cristales de Microclino maclados
según la ley Albita - Periclina.
Nicoles cruzados.
9 n

Fot.# 18.- Cristales de Plagioclasa macla-
dos de acuerdo a la ley Albita-
Carlsbad y Periclina.
Nicoles cruzados.
12 x

Fot.# 19.- Otros cristales de Plagioclasa
maclados de acuerdo a la ley
Carlsbad - Albita.
Nicoles cruzados.
9 x



Fot.# 20.- Fenocristales de Sanidina (S) una de las cuales muestra extinción inclinada, en una muestra porfírica.

Nicoles cruzados.

9 x

Fot.# 21.- Cristales euhedrales de Feldespatoides (Nefelina) con lineamiento exagonal mostrando numerosas inclusiones.

Nicoles cruzados.

19 x

Fot.# 22.- Cristales de Hauyinita con ligero de lineamiento exagonal o redondeado mostrando algunas inclusiones.

Nicoles cruzados.

20 x



Fot.# 23.- Cristales de Muscovita con Biotita en desarrollo paralelo. Es característico en la Biotita la estructura en forma de ojos de pajarro.

Nicoles cruzados.

20 x

Fot.# 24.- Cristales de Biotita (B) mostrando clivaje basal.

Nicoles cruzados.

20 x

Fot.# 25.- Microfotografía de anfíbol mostrando ángulo de clivaje. (clivaje prismático anfíbólico)

Nicoles cruzados.

50 x

Fot.# 26.- Microfotografía de Tremolita en calizas dolomíticas metamórficas.

Nicoles paralelos.

50 x

Fot.# 27.- Cristales de Horneblenda: variedad Uralita (U) rodeando a cristales de Augita (A), mostrando clivaje anfibólico.

Nicoles cruzados.

20 x

Fot.# 28.- Microfotografía de piroxenos mostrando ángulo de clivaje. (clivaje prismático piroxénico)

Nicoles cruzados.

50 x



Fot.# 29.- Cristales de Diopsido mostrando clivaje paralelo a (110), las 2 direcciones estan más o menos a ángulo recto.

Nicoles cruzados

20 x

Fot.# 30.- Cristales de Augita normales al eje c mostrando las trazas de clivaje (110).

Nicoles cruzados.

20 x

Fot.# 31.- Cristales de Turmalina de estructura radiada.

Nicoles paralelos.

20 x



Fot.# 32.- Cristales de Berilo mostrando deli-
neamiento exagonal acentuado por las
inclusiones.

Nicoles paralelos.

20 x

Fot.# 34.- Cristales de Olivino maclado sobre
(O11) mostrando fracturas irregulaa
res en roca Dunita.

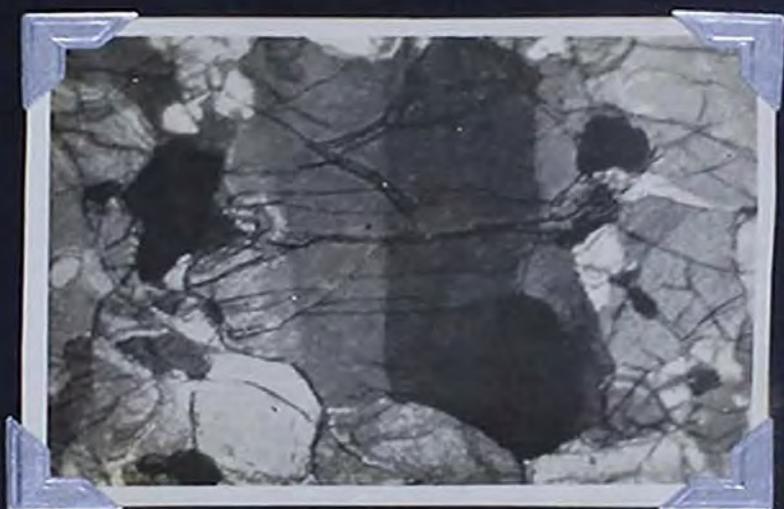
Nicoles cruzados.

19 x

Fot.# 35.- Cristales de Granate mostrando re-
lieve alto y fracturas irregulares.

Nicoles paralelos.

20 x



Fot.# 36.- Cristales de Epidota en agregados granulares. Relieve alto.

Nicoles paralelos.

12 x

Fot.# 37.- Cristales de Esfena o Titanita en forma de cuña, acompañado de Horneblenda y Magnetita, (negro).

Nicoles paralelos.

19 x

Fot.# 38.- Cristales de Cianita ó Distena en una matriz de cuarzo y Muscovita mostrando buen clivaje.

Nicoles cruzados.

12 x



Fot. # 39.- Cristal prismático corto de Estaurolita mostrando inclusiones de cuarzo.

Nicoles paralelos

20 x

Fot. # 40.- Cristales de Apatita (claro), con Biotita (gris) y Magnetita (negro)

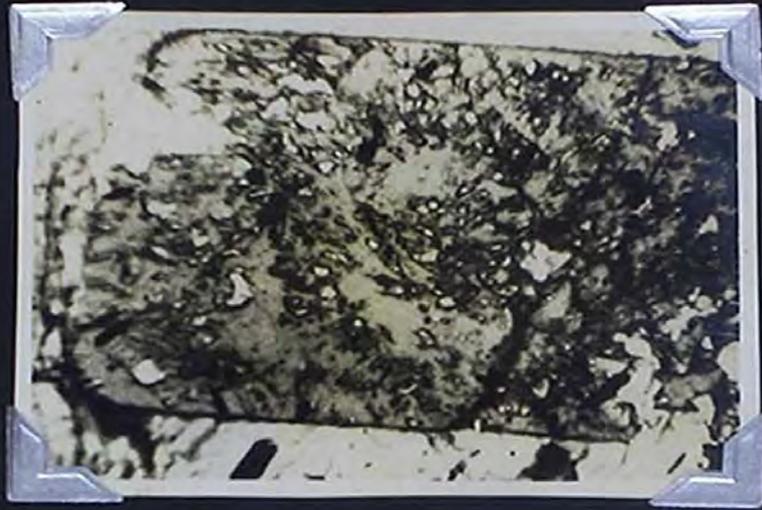
Nicoles paralelos.

19 x

Fot. # 41.- Cristales de Monacita (prismático) en una matriz de cuarzo. Clivaje imperfecto.

Nicoles paralelos.

19 x



Fot.# 42.- Cristales de Fluorita mostrando estructura zonal.

Nicoles cruzados.

9 x

Fot.# 43.- Agregados de cristales de Clo
rita asociado con Magnetita.

Nicoles cruzados.

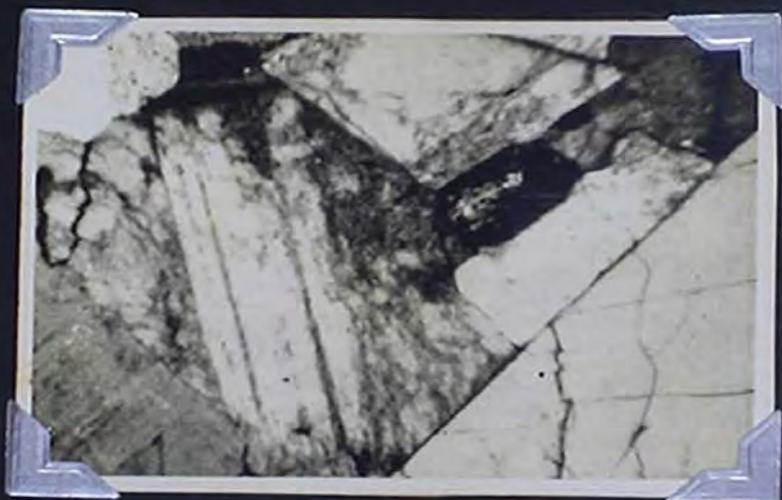
30 x

Fot.# 44.- Bandas de fibras de asbesto en
Serpentina.

Nicoles cruzados.

12 x





Fot.# 48.- Estilbita con delineamiento euhe -
dral en una masa granular del mis-
mo zeolito.

Nicoles cruzados.

12 x

Fot.# 49.- Finos cristales de Calcita con cuar
zo xenomórfico.

Nicoles cruzados.

60 x

Fot.# 50.- Magnesita bandeada en forma rombo-
dral. Venillas de cuarzo atravie -
zan la magnesita.

Nicoles cruzados.

20 x



CAPITULO III

ROCAS IGNEAS.

1.- CLASIFICACION DE ROCAS IGNEAS.

Una clasificación megascópica de rocas ígneas en primer término, es necesario como una clasificación temporal o para uso comercial, pues las principales razones es obtener nombre de rocas antes de ser estudiadas microscópicamente.

Originalmente todas las determinaciones fueron macroscópicas en todas sus aplicaciones, después se añadieron análisis químicos y muchas veces se dieron nombre a las rocas aunque equivocadamente, otra cosa semejante sucedió cuando se trataba de determinar la verdadera composición mineralógica o los elementos petrológicos de determinada muestra.- Posteriormente las investigaciones y las descripciones fueron adelantando y muchas de ellas consiguieron ser probadas; y ya con la introducción del microscopio en este estudio petrológico se incrementaron enormemente los conocimientos acerca de la composición mineralógica y como consecuencia las determinaciones resultaron más correctas,

La base toda clasificación por lo general es:

- a.- Clase de minerales presentes.
- b.- Su textura o forma como ellos están agregados.
- c.- Composición química del conjunto de la muestra.

La existencia de determinados minerales o composición mineral es la expresión de la composición química del magma parcial del cual cristalizó la roca- Ella indica además algunas de las condiciones bajo la cual se formaron determinados clanes. Weinschenk, cita el caso de grandes cantidades de mica y hornblenda presentes en el polvo de explosiones volcánicas, mientras en la lava del mismo, el mineral ferromagnesiano era Augita.

También hablan en parte de la genesis de la roca, las asociaciones de cuarzo y olivino, la presencia de Analcima primaria y de los feldespatoides en general, minerales secundarios, productos de reemplazamiento, etc.

como importante la ausencia o presencia de cuarzo o de feldespatoide y la textura como característica esencial.

En este grupo tenemos:

La Clasificación Mineralógica de Werner.

La Clasificación Mineralógica de Von Leonhar

Sistema de Clasificación Mineralógica de Rosembuch.

Clasificación Mineralógica-Cualitativa de Fizckel.

Mineralógica Cuantitativa.- Cuyo estudio es el objeto de esta tesis, que tratará de mostrar las ventajas del "Sistema Mineralógico de Johannsen", sobre otros sistemas como el de Iddings, Lincoln, etc.

Todas las clasificaciones de este tipo se basan en relaciones cuantitativas de "leucocratos" o minerales claros y "melanocráticos" o minerales oscuros, estableciendo así mismo análisis numéricos comparativos entre cuarzo, feldespatos (potásicos y feldespáticos) y feldespatoides graficados por lo general en diagramas triangulares.

2.- ALGUNAS CLASIFICACIONES MINERALOGICAS CUANTITATIVAS.

Sistema de Iddings.

Este sistema de clasificación es además de cuantitativo, cualitativo.- Las rocas con cuarzo las divide en tres grupos, siendo los puntos de división $62\frac{1}{2}\%$ y $12\frac{1}{2}\%$.- Los minerales claros y oscuros también forman tres grupos con el mismo porcentaje anterior en sus puntos de división.

Respecto al feldespato considera la Ortoza y feldespato cálcico-sódico juntos y el porcentaje de éstos los relaciona con respecto a la plagioclasa, es decir suma los valores de ortoza con la albita y la refiere a las otras plagioclasas en porcentaje, teniendo como puntos de división los siguientes:

0% - 12% - $37\frac{1}{2}\%$ - $62\frac{1}{2}\%$ - $87\frac{1}{2}\%$ - 100%

Sistema de Lincoln.

Este sistema de clasificación considera tres grupos en función de los componentes "leucocráticos" y "melanocráticos", cuyos puntos de división son:

0% 33% melanocráticos.
33% 67% mesocráticos.

67% - 100% leucocráticos.

Cada uno de éstos intervalos constituyen una parte de las tablas de clasificación adoptados en este sistema.

Otra división que considera y en otra dirección de las tablas es la relación de Ortoza a Plagioclasa con los siguientes intervalos:

100% - 96% - 67% - 33% - 0%

En este sistema de clasificación los diferentes tipos de rocas no siempre están divididas sobre la base de plagioclasas, un gabro por ejemplo está separado de la diorita simplemente por la comparación del color.

SISTEMA DE HOLMES.

En este sistema de clasificación, Holmes elaboró sus tablas de clasificación, aplicando la idea de saturación en cada uno de sus intervalos.

En este estudio las divisiones primarias son cinco es decir tiene cinco clases:

- 1.- Rocas saturadas del cuarzo.
- 2.- Rocas no saturadas, caracterizado por la presencia de olivino.
- 3.- Rocas saturadas sin cuarzo o feldespatoides.
- 4.- Rocas no saturadas, caracterizado por la presencia de feldespatoides.
- 5.- Rocas no saturadas, caracterizado por la presencia por la presencia de olivino y feldespatoides.

Otra división secundaria consta de tres grupos, cuyos intervalos indican la relación de minerales potásicos (ortoza, leucita, etc) con respecto a los sódicos (albita, nefelina etc), con puntos de división en 30-70 y 70-30.- Cada uno de estos grupos a su vez queda dividido teniendo en cuenta el feldespato presente, más propiamente la presencia o ausencia de plagioclasa (albita, andesina, oligoclasa, bitownita - labradorita, anortita.)

3.- CLASIFICACION MINERALOGICA-CUANTITATIVA "JOHANNSEN"

a.- Fundamento e importancia.-

Este sistema de clasificación que es estrictamente Mineralógica-Cuantitativa, fué ideado por Johannsen, uno de los más destacados estudiosos aún entre los petrográfos modernos.- Su obra en cuatro volúmenes denominado "Descriptive Petrographic of the Igneous Rocks" sirve hasta la fecha como fuente de consulta y de estudio, comparable solo al "Sistem of Mineralogy" de Dana.

Esta forma de clasificación se basa en estimaciones cuantitativas en vólumen del mineral en muestras preparadas, dichas estimaciones se hacen mediante aditamentos especiales como micrómetros en el microscopio y siguiendo métodos de observación y medida mostrado al final de este capítulo.

Sobre la base de cantidades relativas de cuarzo, feldespatos, feldespatoides y minerales oscuros (mafíticos) divide las rocas ígneas en cuatro clases cada una de las cuales tiene cuatro ordenes, estableciendo ciertos límites de división marcadas por cifras numericas o porcentajes cuyos intervalos ponen de manifiesto diferencias esenciales entre los diversos tipos de rocas presentes en la naturaleza.

Así veremos que dentro de la primera clase están comprendidos la mayor parte de rocas claras o leucocráticas, dentro de la segunda las que contienen de 50% a 95% de componentes claros, dentro de la tercera las rocas en las cuales van predominando los constituyentes oscuros y dentro del cuarto grupo los formados totalmente de mafitos con un contenido despreciable de leucocratos.- Los minerales claros llamados por Johannsen como "quarfeloides" son el cuarzo y sus variedades, los feldespatos y los feldespatoides; si son abundantes ciertos minerales auxiliares claros como: apatita, muscovita, corundum, fluorita y topacio pueden ser incluidos como leucocratos excepto, en la clase cuatro donde son despreciados sino existieran otros leucocratos más importantes.

Tiene gran importancia este sistema de clasificación porque presenta en forma lógica y ordenada los principios que rigen una moderna denominación de rocas dando gran impulso a los estudios bajo el microscopio que son la base de una verdadera Petrología y Petrografía Aplicada.

b.- Estudio del Sistema de Clasificación usado en este método.

El Sistema de Clasificación de Johannsen, tiene como base de representación dos tetraedros invertidos, unidos por una base común como muestra la figura # 53A, en las cuales cada vertice representa un determinado componente mineral y solo, como veremos más tarde una de las clases de este sistema usa un tetraedro simple.- Lo ideal hubiera sido encontrar una figura geométrica con diez o doce vertices equidistantes, en los cuales se podrían colocar minerales simples, desde que ésto no ha sido posible, por no existir tal figura y como una roca debe estar referido siempre a todos sus constituyentes esenciales, es que ha sido necesario dividir las rocas en tantos grupos como vertices tiene el tetraedro.

Como por lo general el cuarzo y feldespatoides, nunca se presentan juntos, es que ha sido posible representarlo por los dos tetraedros unidos como dijimos anteriormente por su base en cuyos vertices opuestos se colocan el cuarzo y feldespatoides respectivamente, haciendose la clasificación en cinco dimensiones.- Esta distribución se ha hecho teniendo en mente que pueden existir rocas que contengan silice libre como rocas sobresaturadas, o con pequeño contenido de cuarzo como señala Shand en su Clasificación Mineralógica, y rocas que contengan minerales del grupo feldespatoides y feldespatos y tambien con el fin de evitar confusiones cuando se traten de analizar rocas cuyos números de familia 9, 13, 10 y 14, fig.# 58, estan cercanos a la arista Qu-F.K-Fd de la misma figura.

El plano común del doble tetraedro es conocido como : "Plano de Saturación", y las rocas cuya representación estan cerca a él, o sobre él son saturadas y no contienen ni cuarzo ni feldespatoides; en cambio las que quedan por encima de él, son sobresaturadas y contienen cuarzo y las que se encuentran por debajo libres de cuarzo poseen feldespatoides.

Los minerales o grupos de minerales que se colocan en cada uno de los cinco vertices del di-tetraedro son los siguientes:

- 1.- Cuarzo (Qu).
- 2.- Feldespato potásico, (F.K) como ortoza, microclino, y anortoclasa incluyendo micropertita.
- 3.- Feldespato sódico, (F.Na) llamado por Johannsen Sodaclasa para la albita pura.
- 4.- Feldespato cálcico, (F.Ca) ó Calciclasa para la anor-

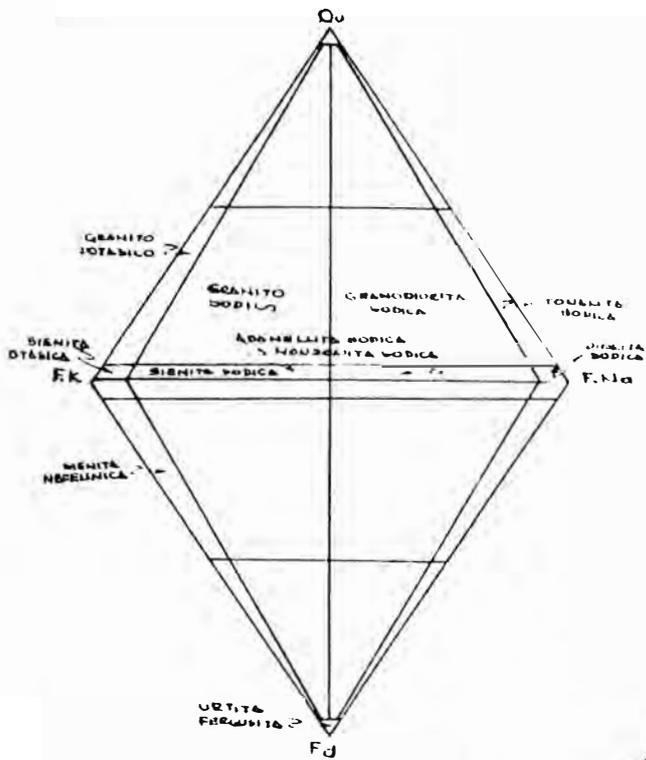


Fig 54B.-CLASE 2-ORDEN 1

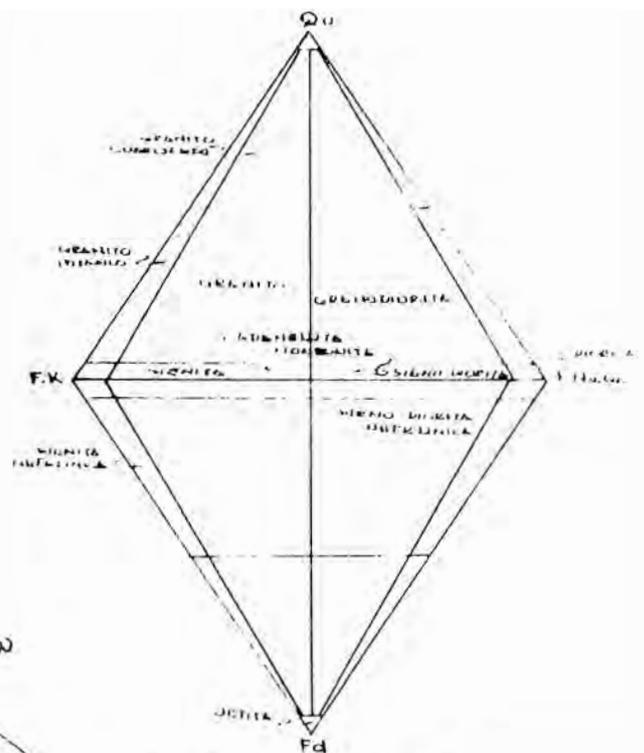


Fig 55.-CLASE 2-ORDEN 2

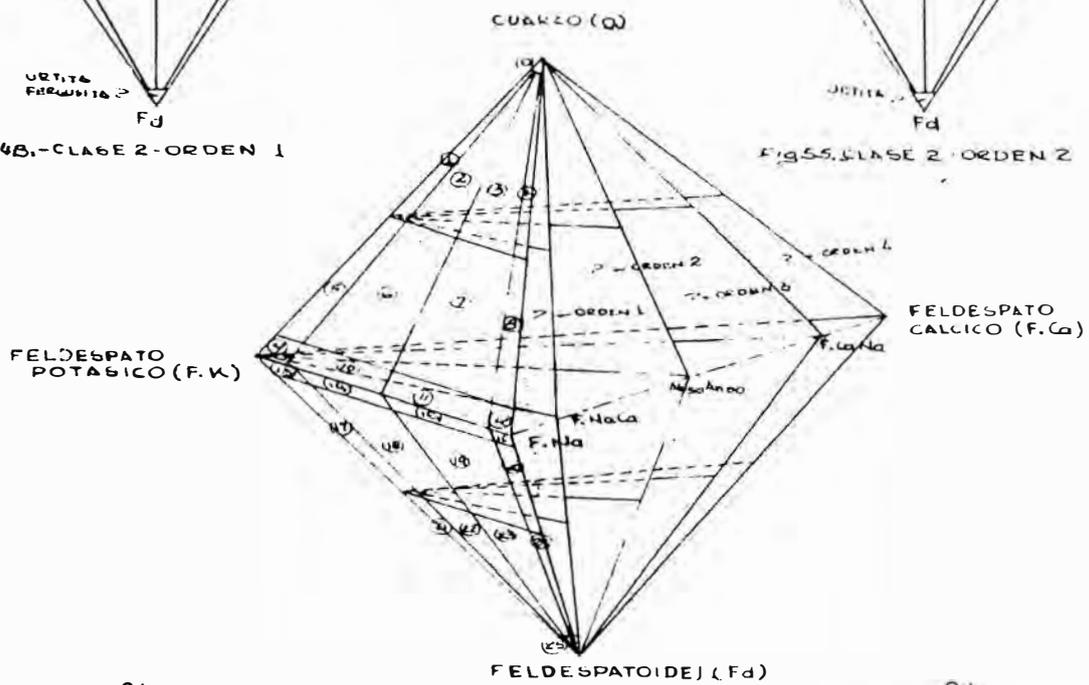


Fig 53A.- BASE FUNDAMENTAL DE LA CLASIFICACION DE JOHANNSEN MOSTRANDO CLASES 1 a 3 Y ORDENES N° 1 a 4.

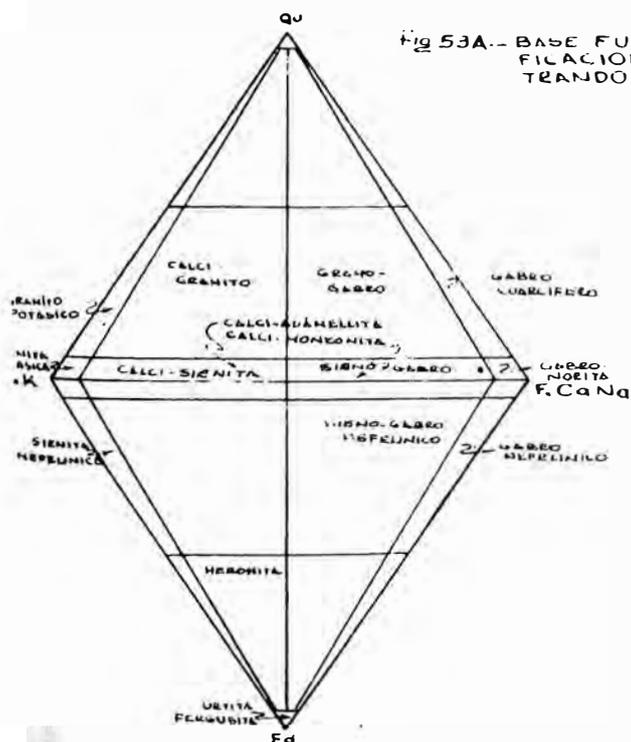


Fig 56.-CLASE 2-ORDEN 3

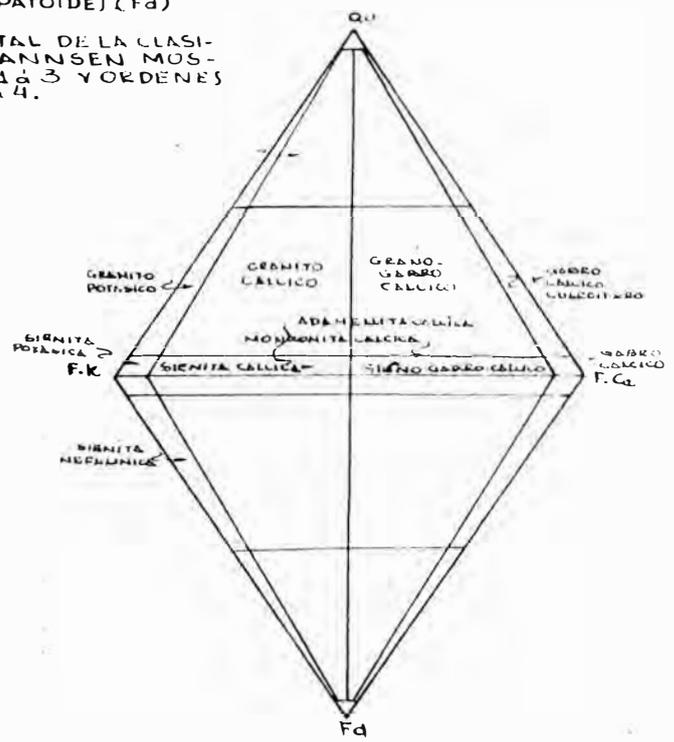


Fig 57.-CLASE 2-ORDEN 4

tita pura.

5.- Feldespatoides.

Los feldespatos estan en los vertices del triángulo común y el cuarzo y los feldespatoides en los vertices opuestos del doble tetraedro.

Las divisiones a lo largo de la línea de unión de los vertices: F.Na y K.Ca, como muestra la figura # 53A, fuerón hechas considerando el tipo de plagioclasa de la figura # 35, entre Albita y Anortita, mostrando asi una variación dentro de esta serie.- Así por éstos puntos de división y por los vertices comunes: Qu, F.K y Fd, que pasan secciones verticales formando triángulos asimétricos.- Sin embargo, Johannsen corrige esta distorsión y presenta los triángulos como equiláteros sin afectar la clasificación como se observan en las figuras #s 54A 55, 56 y 57.

En los planos Qu-F.-Fd, o sea en los correspondientes a cuarzo, feldespato (potásico y plagioclásico) y feldespatoides se han trazado líneas paralelas a la arista común, Fig.# 58, tanto hacia arriba como hacia abajo con el fin de indicar la variación del cuarzo por un lado y del feldespatoide por otro, asi por ejemplo cuando hablamos de sienitas cuarcíferas, monzonitas cuarcifera ó dioritas cuarcifera, etc queremos indicar que éllas contienen alguna cantidad de cuarzo dentro de su posición dentro del diagrama de la figura # 58.- Esto mismo sucede en el lado de los fedespatoides cuando se trata de sienitas nefelínicas o sieno-gabros nefelínicos.

Con respecto a los feldespatos tanto potásico como calcico-sódico, la variación se pone de manifiesto mediante líneas paralelas a las aristas Qu-PL y Qu-F.K, respectivamente.- Supongamos por ejemplo que tenemos muestras que tienen la misma cantidad de cuarzo, variando sí los otros componentes: feldespato, feldespatoide y minereales oscuros; estas rocas al ser graficadas van a estar colocadas a lo largo de una línea paralela (sabelos que su paralelismo es con respecto a la arista del plano de saturacion), Fig.# 58, puesto que su contenido de SiO₂, permanece constante; este limite que marca lo constante del cuarzo, sin embargo no es rígido y tiene ciertos intervalos de variación que depende del grado de apreciación y analisis que abarca a todas las rocas que por tener alguna cantidad de cuarzo se denominan cuarcíferas.

Dentro de la variación de la plagioclasa cuyos límites son: F.Na y F.Ca, se considera puntos de división (sus magni-

tudes se indicaran al tratar los ordenes), que corresponden a las siguientes composiciones:

F.NaCa, para los residuos de ácidos plagioclásicos como Oligoclasa y Andesina.

F.CaNa, para las plagioclasa básicas como: Labradorita y Bitownita.

Para el mejor estudio de este sistema de clasificación vamos a considerar: Clases, Ordenes, Familias y Sub-familias que expresan la nomenclatura en este sistema.

Estudio de las Clases.

La división en clases se hace de acuerdo al porcentaje en volumen de los componentes claros y oscuros de la roca en sección delgada.

Johannsen, hace la siguiente concepción para explicar la idea de clases; imagina un doble tetraedro como el de la figura # 53A moviéndose en el espacio desde un punto con 100% de componentes claros a otro con 100% de componentes oscuros a lo largo de cuyo recorrido pasaría por puntos o más propiamente por intervalos que constituirían las clases; esto significaría entonces la existencia de un doble tetraedro por cada clase o por cada intervalo considerado. Por supuesto que pueden haber un número ilimitado de espacios, no obstante en esta clasificación aceptan cuatro: (Shands admite 3 clases, Holmes cinco divisiones primarias, Iddings seis, etc.)

- 1.- Rocas con menos de 5% de constituyentes oscuros.
- 2.- Rocas con constituyentes oscuros entre 5% - 50%.
- 3.- Rocas con componentes oscuros entre 50% - 95%.
- 4.- Rocas con componentes oscuros entre 95% - 100%.

El objeto de esta división es tener en los tres primeros intervalos rocas leucocráticas representados por tres dobles tetraedros y una cuarta completamente melanocrática representado por un tetraedro simple.- Así tendremos, que el primer intervalo estará constituido por tipos de rocas enteramente claras, el segundo por rocas meso-leucocráticas y la tercera por muestras meso-melanocráticas ya que la cuarta como se sabe será enteramente melanocrática. (aquí el término "meso" indica variación entre leuco y melanocrático).

Es importante mencionar también, que si las tres primeras familias están en función de cuarzo, feldespato y feldespatoïdes, la cuarta lo está en función de olivino, biotita y

amfibol y piroxenos como se observará en la figura # 59.

Estudio de las Ordenes.

Las subdivisiones en las tres primeras clases se hacen de acuerdo a la composición de la plagioclasa, en cambio en la cuarta clase, por la ausencia de leucocratos se hacen teniendo como base los minerales metálicos o menas presentes.-

En el primer caso, según Rosembuch y Zirckel, las subdivisiones dependen única y exclusivamente de las proporciones de Albita y Anortita como componentes extremos y sus variaciones pueden expresarse en porcentajes de éste o aquel.

Las ordenes en estas tres primeras clases son cuatro y sus puntos de división:

Ab ₁₀₀	An ₀	100% de albita.
Ab ₉₀	An ₁₀	50% a 90% de albita.
Ab ₅₀	An ₅₀	10% a 50% de albita.
Ab ₁₀	An ₉₀	0% a 10% de albita
Ab ₀	An ₁₀₀	0% de albita.

Es por éstos puntos de división que pasan los planos que tienen una arista común Qu-F-Fd, y que constituyen un triangulo de representación para cada orden, tal como las figuras #s 54A, 55, 56 y 57 que en este caso son ordenes de la clase 2.

En forma general los ordenes de cada clase pueden presentarse en forma gráfica como cuatro dobles triángulos, así:

El orden 1, estará formado por uno, en cuyos ángulos escribiremos el cuarzo, (Qu); feldespató potásico (F.K), feldspatoides (Fd) y albita o sodaclasa (F.Na).

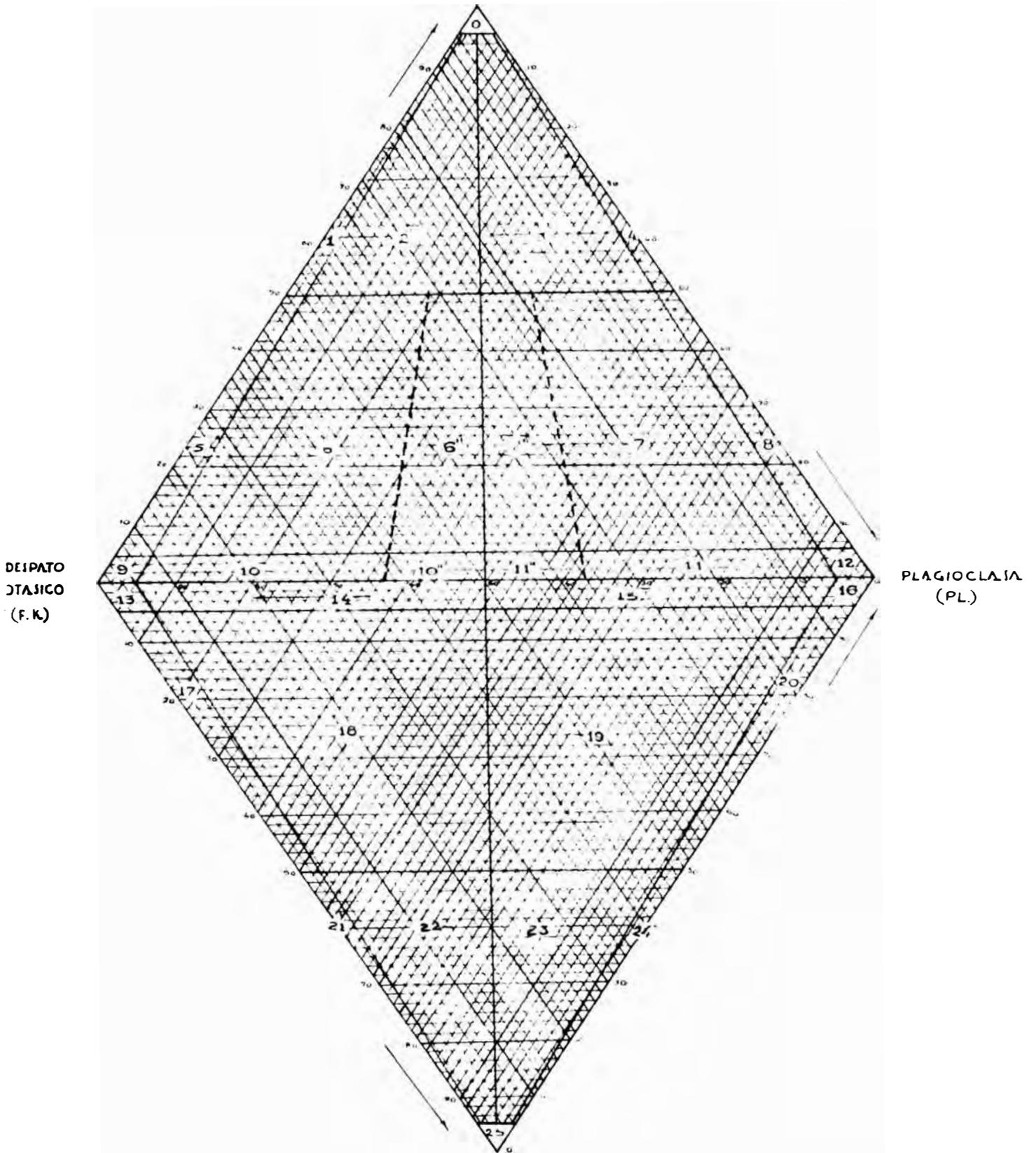
El orden 2, por otro doble triángulo y en sus ángulos los siguientes grupos minerales: Qu, F.K, Fd y F.NaCa (oligoclase - andesina)

El orden 3, por el siguiente doble triángulo con los siguientes componentes: Qu, F.K, Fd y F.CaNa, (labradorita, bitownita).

Por último en el orden 4, la representación será con un doble triángulo cuyos componentes minerales serán: Qu, F.K, Fd y F.Ca o calciclase.

En la clase 2 por ejemplo, el orden 1 está formado por rocas alcalinas (sódicas) como granitos sodaclásicos que son

CUARZO (Q₀)



FELDSPATOIDES (Fd)

los mismos granitos sódicos aunque con una asepción más amplia, granodioritas sodaclásicas, sienitas sodaclásicas, dioritas sodaclásicas, etc; el orden 2 por rocas en cuya plagioclasa hay predominio de sodio sobre el calcio, dicho en otras palabras de albita sobre la anortita como en granitos, dioritas, granodioritas, sienitas, sieno-dioritas, dioritas, etc y sus respectivos equivalentes extrusivos; el orden 3 por rocas en las cuales hay un ligero predominio de anortita sobre la albita (labradorita-bitownita) como en Calci-granitos, granogabros, calci-sienitas, gabros, noritas; y el orden 4 por rocas calcicas o anortositas como granitos calciclase, gabros calcicos, etc.

Concepciones idénticas a la de la clase 2, se hacen para las clases 1 y 2 en tretaedro separados.

Como se observará el análisis del tipo de plagioclasa juega un papel importante, su estudio está asesorado por la determinación del índice de refracción o del ángulo de extinción y de tablas como la de la figura # 35, que presenta en forma especulativa los porcentajes en volumen dentro de la serie.- Cuando se trata de plagioclasas en desarrollo zonal se considera la composición promedio.

A veces sucede que dentro de la clase 3, (50 a 95 por ciento de constituyentes oscuros) existen rocas melanocráticas que muy bien podrían pertenecer^a la clase 4 a lo que Johansen llama Perknitas, ya que el contenido de constituyentes claros es bajo y por supuesto lo mejor sería clasificarlos sobre la base de los oscuros.- Sin embargo el punto de partida para esta separación es casi inmaterial, puesto que muy pocas rocas de la clase 3 se han encontrado con más del 80% de componentes oscuros y son consideradas como rocas de transición con un rango de variación del 5 al 20 por ciento de leucocratos.- En la nomenclatura de este Sistema se indican estas rocas con una comilla además del número de clasificación y con un nombre que corresponda tanto a su contenido leucocrático como melanocrático.

Por ejemplo una roca compuesta de 85% de hornblenda y 15% de labradorita, no será pura hornblenda u hornblenda ni tampoco un gabro, porque su contenido de plagioclasa es todavía bajo, entonces esta roca bien podría llamarse un melano-gabro que es más específico que un gabro hornblendico; su número de clasificación sería 3'312P a diferencia del gabro que sería 2312 como se verá después en las tablas de clasificación.

Ya dijimos al comienzo de este título que las ordenes de la clase 4 se hacían teniendo en cuenta el contenido de menas, ahora agregaremos que los ordenes de esta clase son cuatro formados por planos triangulares paralelos a la cara frontal o base del tetraedro, como se observa en la figura # 59 y 60.- Los puntos de división son 0 - 5 - 50 - 95-100, similar a los puntos de división de las tres primeras clases.

Estudio de las Familias.

Las divisiones o compartimentos hechos en cada uno de los triángulos que representa un orden, se hacen sobre la base cantidades relativas de feldespató potásico, plagioclasa y cuarzo o feldespatoides para dar 25 familias agrupadas como se observa en la figura # 58.- Sin embargo las familias de la clase 4 se hacen en función de otros grupos minerales como veremos después.

Las familias en las tres primeras clases son numerados en el orden que indica la misma figura 58, con el objeto de que comenzando por cero sea fácil recordar la numeración en cada hilera con solo agregar cuatro a cada número de familia.

Los puntos de división, tanto en el intervalo de los feldespatos como en la dirección vertical del cuarzo o de los feldespatoides son: 0 - 5 - 50 - 95 - 100.- Estos puntos de división son hechos para las proporciones de plagioclasa al feldespató potásico y las proporciones del feldespató total al cuarzo.

Las familias 0, 1, 5, 9, 13, 17, 21 y 25, contienen menos del 5% de plagioclasa y forman un grupo especial que ocurre una sola vez en cada clase. Esto se debe principalmente a que la plagioclasa sea ésta soda-clasa (F.Na), plagioclasa ácida (F.NaCa), plagioclasa básica (F.CaNa) ó calciclasa (F.Ca) es relativamente pequeña, que no es lo suficiente para establecer diferencias en las rocas representadas a lo largo de la arista común Qu -F.K -Fd, Fig.# 53A.

Estas familias que son comunes a todos los planos que forman las ordenes en cualquier clase, por conveniencia se los agrupado dentro del orden 1.

En la clase 4, fig.# 59, cada triángulo simple que representa un orden tiene en sus vértices: olivino, biotita y/o anfíbol y piroxeno, exceptuándose solo el cuarto orden que tiene sobre 95% de menas que está formado prácticamente

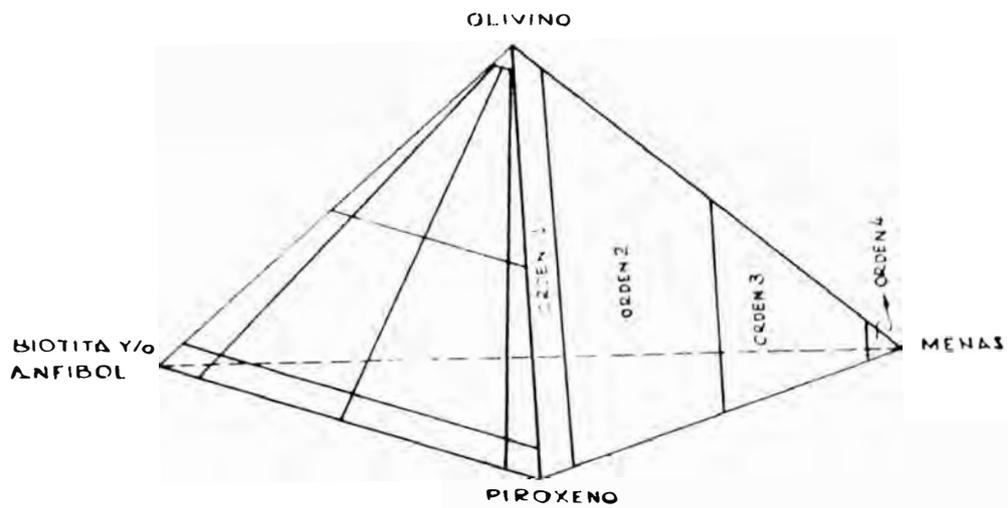


FIG. 59.- BASE FUNDAMENTAL DE LA CLASE 4

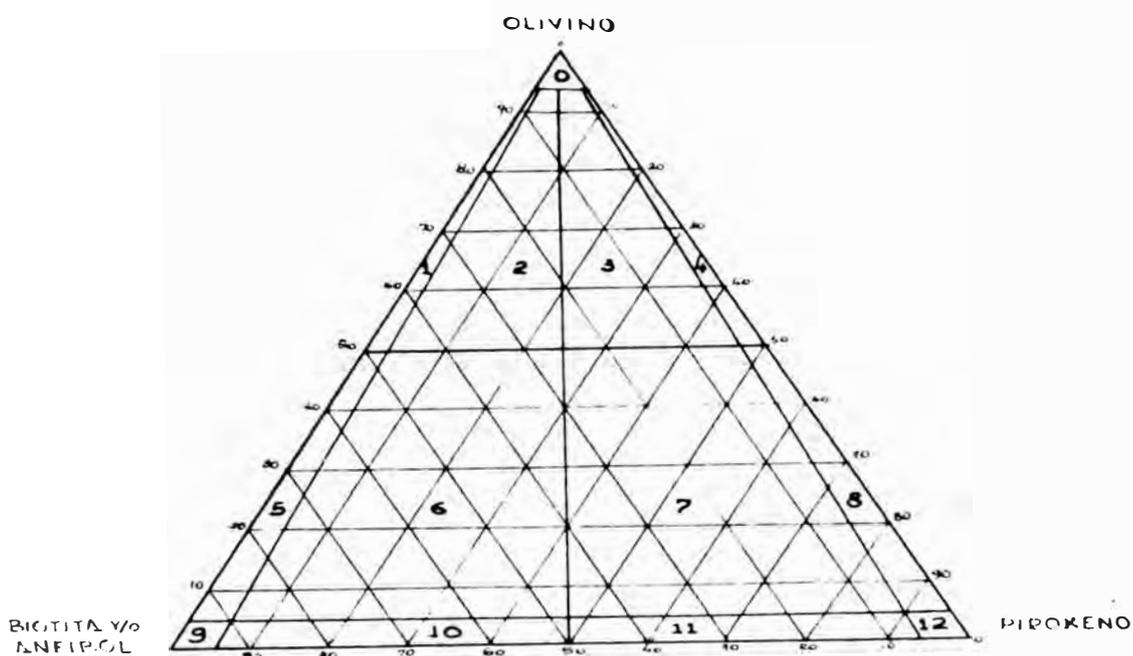


FIG. 60.- FAMILIAS DE LA CLASE 4

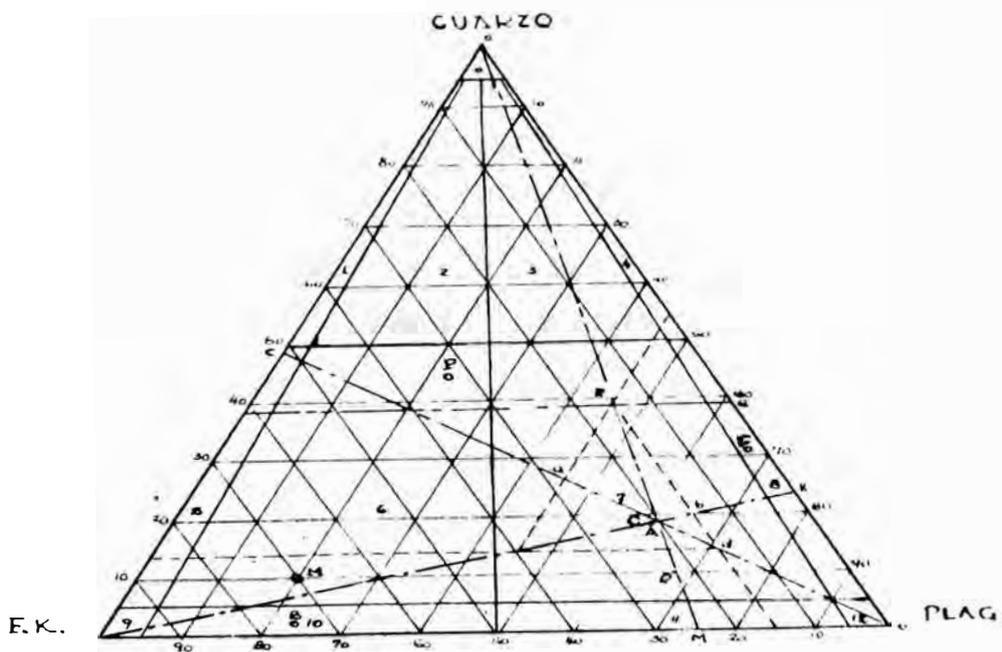


FIG. 61.- REPRESENTACION GRAFICA DE UNA ROCA

de minerales metálicos, cuyo estudio en sección delgada es inútil y dificultoso y solo puede analizarse en secciones pulidas como vemos en el Capítulo V.

Las divisiones en familias en esta clase 4, lo hacemos de idéntica manera que para las tres primeras clases, considerando aquí que si excluimos el tetraedro pequeño correspondiente a menas, las rocas en esta clase pueden estudiarse en seis dimensiones, representando cada división de familia no solamente las rocas plutónicas sino también las rocas hipobasales y extrusivas.

Estudio de familias auxiliares.

La creación de estas familias auxiliares se debe a que en la clasificación original hubieron treinta familias en lugar de veinticinco como actualmente se considera en cada orden.- Estas familias intermedias entre las que están las rocas Monzonitas y Adamellitas han sido colocadas dentro de las áreas especiales sobre los planos que forman cada orden.

Vamos a considerar un plano que pasa por el punto: $Ab_{50}An_{50}$ y en él la línea divisoria de familias 50-50; habrán de terminados tipos de rocas cuyo contenido de ortosa y plagioclasa se acerca y aleja simultáneamente al valor 50 variando muy poco, por esta razón como muestra la figura # 58, estas rocas se colocan a uno y a otro lado de esa línea vertical dentro de un área reducida.

Esto que sucede en el plano $Ab_{50}An_{50}$, sucede en cualquier otro orden, solo que esta Adamellita o Monzonita será tanto más ácida o básica según su variación a lo largo de la línea F.Na - F.Ca. Como vemos en este tipo de rocas el contenido de feldespato potásico, cualquiera que sea el orden permanece más o menos constante y cerca del 50% con respecto a los feldespatos totales.

Como veremos si se presta atención dentro de las familias 2y3, 14 y 15, 18 y 19, 22 y 23, no existen familias auxiliares por que crearían confusión con las familias ya que el área hacia el vértice se va estrechando cada vez más.

c.- NOMENCLATURA EN ESTE SISTEMA.

Como se ha querido dar a comprender en líneas anteriores la posición de una roca queda fijada mediante el análisis

rada como ya dijimos como un tipo de transición y se indica esta característica con una comilla en el número que indica la clase.

2.- Determinación del Orden.

A excepción de la Clase 4, en todas las demás el orden se determina por la relación de cantidades relativas de Plagioclasa: Ab-An.

Así, tenemos los siguientes ordenes:

- Orden 1, cuando: $Ab_{100}An_0$ á $Ab_{90}An_{10}$ (también se considera en este orden las rocas sin plagioclasa)
- Orden 2, cuando: $An_{90}An_{10}$ á $Ab_{50}An_{50}$.
- Orden 3, cuando: $An_{50}An_{50}$ á $Ab_{10}An_{90}$.
- Orden 4, cuando: $An_{10}An_{90}$ á Ab_0An_{100} .

En la clase 4, los ordenes se determinan mediante el porcentaje de minerales oscuros metálicos ó "menas".- En general los componentes que se toman en cuenta son Olivino, Piroxeno, Anfíbol y Menas que constituyen el 100%.

Los ordenes de esta clase 4 son:

- Orden 1, cuando existe 0 á 5 por ciento en volumen de menas.
- Orden 2, cuando la relación es 5 (inclusive) á 50 por ciento en volumen de menas.
- Orden 3, cuando la relación de menas es de 50 (inclusive) á 95 por ciento en volumen.
- Orden 4, cuando esta relación es de 95 (inclusive) á 100 por ciento en volumen.

c.- Determinación de la Familia.

En las Clase 1, 2 y 3 la Familia se determina en función de las cantidades relativas de cuarzo, feldespatoídes, feldespato potásico y plagioclasas como muestra la Fig. # 58. El procedimiento es el siguiente: Se considera el cuarzo (y/o feldespatoíde) con feldespato (tanto feldespato potásico como plagioclasa) como el cien por ciento y de él se toman los porcentajes relativos a cuarzo (y/o feldespatoíde), feldespato potásico y plagioclasa para así de esta manera poder graficar estos valores en la Fig. # 58 y obtener la posición de

un punto que indicará el número de la familia; siempre se deberá tener en cuenta la variación de los diferentes componentes del gráfico para poder hacer así la correcta ubicación del punto clave.

Supongamos una roca M, Fig.# 61 cuya composición es la siguiente:

Cuarzo	10 %
Feld. potásico	70 %
Plagioclasa	20 %

La posición de esta roca la determinamos mediante la intercepción de tres líneas: una horizontal a la altura de diez (10% de cuarzo), otra inclinada a la derecha a la altura de veinte (20% de plagioclasa) y la última inclinada a la izquierda por el punto setenta (70% de feldespato potásico).- Como se vé este punto M, cae dentro del area seis perteneciendo por consiguiente a la familia 6.

En la Clase 4, los ordenes uno, dos y tres tienen cada uno sus familias ó número de familia que se obtiene de la siguiente manera:

1.- Se determina el porcentaje de Olivino en función de Biotita, Piroxeno y Anfíbol.

2.- Se determina el porcentaje de Piroxeno en función de Biotita y Anfíbol.

Graficando estos valores obtenidos para Olivino, Piroxeno y Biotita y/o Anfíbol, por ejemplo en la Fig.# 60 obtenemos el número de familia para la clase 4 en cualquiera de sus tres ordenes.

Como sabemos el orden 4 de la clase 4 es casi enteramente compuesto de menas.

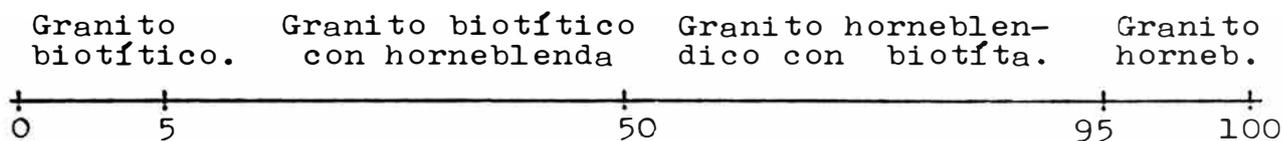
c.- Determinación de Familias Auxiliares.

Se determina graficando los porcentajes de la roca de idéntica manera que para el caso de familias, como sabemos las familias auxiliares son solamente 6", 7", 10" y 11". Estas Familias Auxiliares tienen areas especiales como se observa en la Fig.# 58.

d.- Determinación de Sub-Familias.

En cada una de las cuatro clases podemos tener

una clasificación de Sub-Familias, cuyos puntos de división son también 0 - 5 - 50 - 95 - 100 como observamos en el siguiente gráfico:



Así puede determinarse granitos biotíticos, granitos biotíticos con hornoblenda, granitos hornobléndicos con biotita y granitos hornobléndicos.

f.- Observaciones Importantes.

Debe tenerse siempre en cuenta las siguientes observaciones que dependen de un racional raciocinio y de una atenta inspección de la roca en sección delgada.

1.- Si al graficar los valores de los componentes de la roca con el fin de determinar el número de familia, este punto cae sobre la línea que indica el límite de la familia se procede a tomar el número por encima de esta línea hacia el ángulo opuesto del triángulo que forma en el caso del cuarzo, y hacia abajo de esta línea en el lado del feldespatoide así por ejemplo una Sienita con 5% de cuarzo bien podría llamarse un granito.

2.- En el caso de una línea 50-50 de cuarzo, se procede de idéntica manera que en el caso anterior; esto significa que serán colocadas en las familias 1-4 ó 21-24, Fig. 58.

3.- El valor de una roca colocada entre la línea vertical 50-50 entre F.K y PL, se incluye por lo general en el lado de la plagioclasa, esto significa que serán consideradas las familias 3-7"-11" ó 15-19-23, Fig.# 58.

4.- Si en cambio estos valores cayeran en el lado común del doble triángulo, se denomina sobre la base del feldespato considerándolo usualmente en el lado del cuarzo como lado normal, pero si la roca tiene cierta afinidad con rocas alcalinas mejor sería colocarlas en el lado de los feldespatoideos.

Una roca que tiene plagioclasa de la siguiente composición: Ab90An10, debe ser clasificada en el orden 2, si la composición es: Ab50An50 en el orden 3.

5.- TABLAS DE CLASIFICACION DE JOHANNSEN.

Una vez obtenidas la Clase, el Orden y el número de Familia ó Familia Auxiliar, entonces se recurre a las tablas que para el efecto existe en este sistema de clasificación y cuya copia textual lo mostramos en las siguientes paginas.

6.- OBSERVACIONES A LAS TABLAS DE CLASIFICACION.

En el caso de uso de prefijos son usados ciertos términos que a continuación damos:

LEUCO, se usa para indicar predominio de leucocratos en la clase 1.

MESO, se usa en la clase 2, por lo general indica una cierta equivalencia entre felsitos y mafitos.

MELA,- en la clase 3 para indicar mayor predominio de constituyentes oscuros.

En muchos casos el prefijo MESO, es innecesario porque las rocas normales pertenecen a la clase 2 en las cuales ya estan sobreentendidas, asi hay leucogranitos, granitos y melagranitos respectivamente en las clases 1, 2 y 3.

En el orden 1, los nombres acompañados de los términos: SODACLASE, como "Sienitas Sodaclase" quieren significar que tienen como plagioclasa: Albita; de identica manera una Diorita Sodaclase, significa una roca cuya plagioclasa es Albita como único feldespato; un granito Sodaclase significa la presencia de sodaclase (Albita) con Ortoza ya que un granito contiene; cuarzo, biotita, piroxeno, anfíbol, ortoza y poca plagioclasa.

La plagioclasa en el orden 2 es oligoclasa, andesina ó una mezcla de las dos; en el orden 3 la plagioclasa varía entre labradorita y bitownita.- En estos ordenes no se usan los prefijos "ácidos" ó "básicos" desde que sodaclase y calciclasa, los dos extremos de la plagioclasa ácida y básica se determinan en los ordenes 1 y 4.

Los prefijos: SODI y CALCI, se usan en los ordenes 2 y 3 que significan cierto predominio de plagioclasa ácida sobre la básica y la básica sobre la ácida respectivamente.

El prefijo ALCALI, se usa para significar que la pla

gioclasa esta en menos del 5% teniendo como feldespatos Ortoclasa, Microclino, Microperita o Anortoclasa.

En el orden 4 el término: CALCICLASA, significa la presencia de Anortoclasa como plagioclasa; así tenemos un Gabro - Calciclasa que contiene Ortoclasa y Calciclasa.

Los granitos con predominio de Ortoclasa sobre Plagioclasa forman la Monzonita (roca de transición).

7.- EJEMPLOS CON EL USO DE LAS TABLAS DE CLASIFICACION

Nº 1.- Consideremos una roca B, de la siguiente composición:

Cuarzo	1.0%	.....	1.3%
Feldep. potas...	60.0%	.....	76.0%
Ab ₆₃ An ₃₇	18.0%	.....	22.7%
			79.0%
			100.0%
 Biotita	18.0%		
Horneblenda ...	2.0%		
Accesorio	1.0%		
			21.0%

Porcentaje de minerales leucocráticos 79.0% por tanto pertenece a la Clase 2

Ab₆₃An₃₇ (andesina) significa Orden 2

Graficada la figura como muestra la Fig, # 61, obtenemos la familia 10; por tanto el número de la roca es 2210P que según las tablas esta roca se llama SIENITA.

Nº 2.- Consideremos otra roca C, cuya composición es la siguiente:

Cuarzo	14.0%	.....	18.7%
Ortoclasa	15.0%	.....	20.0%
Oligoclasa ...	46.0%	.....	61.3%
			75.0%
			75.0%
			100.0%
 Biotita	12.0%		
Horneblenda ..	12.0%		
Magnetita ...	0.6%		
Titanita ...	0.5%		
			25.0%

Porcentaje de minerales leucocráticos 75% = Clase 2.

ROCAS PLUTONICAS Y EXTRUSIVAS

CLASE N° 1

Qu-F-Fd
Mafitos

	ORDEN 1 Ab100An0-Ab90An10	ORDEN 2 Ab90An10-Ab50An50	ORDEN 3 Ab50An50-Ab10An90	ORDEN 4 Ab10An90-Ab0An100
0	Greisen Silexita	(=110)	(=110)	(=110)
1	Leuco-Alcali- granito (P) Arizonita (D)	(=111)	(=111)	(=111)
2	..... Tarantulita(D)	Greisen granit- co	.....	.....
3	.....	Greis.granodior.	.....	.....
4	.....	Greis.tonalítico.	.....	.....
5	Alcali-Alaskita Alcali-Tordri- llita(P) Runita(D)	(=115)	(=115)	(=115)
6	Alaskita(P). Tordrillita(E)	Leuco-granito Leuco-riolita	.....	.....
7	Leuco-granodio- rita sodaclasa.	Leuco-granodior.	Leuco-granogabro	.....
8	Leuco-Tonalita- sodaclasa(P).	Leuco-tonalita.	Leuco-riodacita Leuco-riobasalto.	Calci-clasa- cuarcifera.
9	Ortosita (P) Leuco-alcali - Traquita (E)	(=119)	(=119)	(=119)
10	Leuco-Sienita- sodaclasa(P) Leuco-Traquita- sodaclasa(E).	Leuco-sienita Leuco-traquita	.....	.....
11	Leuco-Sienodio- rita-sodacl.(P)	Leucosienodiorit.	Leucosienogabr.	Leucosieniga- bro.
12	Albitita (D).	Leucodiorita Leucoandesita.	ANortosita.	Calci-clasita.
13	Leuco-pulaski- ta(P)	(=113)	(=113)	(=113)
14	Bigwoodita	.....	.....	.....
15	.....	.....	.....	.....
16	.....	.....	.....	.....
17	Deldoradita(P)	(=117)	(=117)	(=117)
18	.....	.....	.....	.....
19	Leuco-Litch - fieldita (P)	.....	.....	.....
20	Leuco-Mariupo- lita (P).	.....	.....	.....
21	.....	(=1121)	(=1121)	(=1121)
22	.....	.....	.....	.....
23	.....	.....	.....	.....
24	.....	Craigmontita	.....	.....
25	Italita	(=1125)	(=1125)	(=1125)
647	Leuco-adamelli- ta sodaclasa.	Leucoadamellitita	.....	.....
0411	Leuco-monzoni- ta sodaclasa.	Leucomonzonita Leucolatita.	.....	.....

ROCAS PLUTONICAS Y EXTRUSIVAS

CLASE N° 2

$\frac{Qu-F-Fd}{mafitos}$ entre 95/5 y $\frac{50}{50}$

	ORDEN 1 Ab100An0-Ab90An10	ORDEN 2 Ab90An10-Ab50An50	ORDEN 3 Ab50An50-Ab10An90	ORDEN 4 Ab10An90-Ab0An100
0	Mesosilexita	(=210)	(210)	(=210)
1	Movita(P)	(=211)	(=211)	(=211)
2	.....	Granit.cuarcif.	.....	.....
3	.....	Granodior.cuarc.	.....	.....
4	.....	Tonalit.cuarcif.	.....	.....
	Rockalita(D)	.....	.....	.....
5	Alcaligranito(P) alcali-riolita(E)	(=215)	(=215)	(=215)
6.-	Granit.Sodaclasa Riolit.Sodaclasa	Granito (P) Riolita (E)	Calci-granito Calci-riolita	Granit.Calcicls. Riolit.Calcicla.
7	Granodiorita So- daclasa(P)	Granodiorita(P)	Granogabro(P)	Granogabro-Cal- ciclase.
	Riodacita Sidacla- sica(E)	Riodacita (E)	.....	.....
8	Tonalit.Sodacl. Dacita Sodaclasa	Tonalita (P) Dacita.(E)	Gabro-Cuarcif. Basalt.Cuarcif.	Gabro Cuarc.Calc. Basalt.Cuarc.Calc.
9	Alcali-Sienita(P) Alcali-Traquita	(=219)	(=219)	(=219)
10	Sienita Sodaclas. Traquit.Sodaclas.	Sienita (P) Traquita (E)	Calci-Sienita(P) Ciminita	Sienita Calcicl.
11	Sienodiorita So- daclasa(P)	Sienodiorita(P)	Sienogabro(P)	SienogabroCalcic.
	Traquiandesita Sodaclase(E)	Traquiandesita (E)	Traquibasalto (E)	.....
12	Diorit.Sodacls. Andesit.Sodacl.	Diorita(P) Andesita(E)	Gabro, Norita Basalto(E)	Gabro Calciclas. Basalt.Calcicl.
13	Pulaskita(P)	(=2113)	(=2113)	(=2113)
14	Fenita(P)	.....	Highwoodita(P)	.....
15	Rutterita (P)	Rongstockita(P)	Mondhaldeita(D)	.....
16	Goodderita(P)	DioritaNefelin.	Modumita(P)	.....
17	Sienit.Nefelin. Fonolita(E)	(=2117)	(=2117)	(=2117)
18	Lakarpita(P)	Miascita(P)	.....	.....
19	Litchfieldita(P)	Sienodiorit.Nefel.	Essexita(P)	.....
20	Mariupolita(P)	Diorita Nefelin.	Rouvillita(P)	.....
	.....	Andesit.Nefelin.	TephritaNefelin(D)	.....
21	Naujaita(P)	(=2121)	(2121)	(=2121)
22	.....	Beloelilita(P)	Heronita(D)	.....
23	Hilairita(P)	Parchetita(E)	Vicoita(E)	.....
24	Toryhillita(P)	.....	Lugartita(D)	Cecilita(E)
25	Urtita, Fergusi- ta, Uncompahgrita Nefelinita, Leuci- tita, Basalt.Melilit.	(=2125)	(=2125)	(=2125)
u7"	Adamellita So- daclase(P)	Adamellita(P) Dellenita (E)	Calciadamellita (P)	Adamellit.Calc. (P)
u11"	Monzonita Soda- clasa(P)	Monzonita (P) Latita (E)	CalciMonzonita (P)	Monzonit.Calc. (P)

ROCAS PLUTONICAS Y EXTRUSIVAS

CLASE N° 3

Qu-F-Fd entre $\frac{50}{50}$ y $\frac{5}{95}$
maficos

	ORDEN 1 Ab100An0-Ab90An10	ORDEN 2 Ab90An10-Ab50An50	ORDEN 3 Ab50An50-Ab10An90	ORDEN 4 Ab10An90-Ab0An100
0	.....	(=310)	(=310)	(=310)
1	Mela-alcali-granito cuarcifero	(=311)	(=311)	(=311)
2	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....
5	Mela-alcali-granito(P)	(=315)	(=315)	(=315)
6	Mela-soda-granito(P)	Melagrano	Mela-Calci-granito(P)	.....
7	Mela-soda-granodiorita(P)	Melagrano - diorita(P)	Mela-grano-gabro(P)	.....
8	Mela-soda-tonalita(P)	Mela-tonalita Meladacita	MelagabroCuarc. MelabasaltCuarc.	.....
9	Mela-alcali-sienita(P)	(=319)	(=319)	(=319)
10	Mela-soda-sienita(P)	Mela-sienita	.....	.....
11	Mela-soda-sienodiorita(P)	Mela-sienodiorita(P)	Mela-sieno-gabro(P)	Ricolettaita
12	Mela-soda-diorita(P)	Mela-diorita(P) Mela-andesita(E)	Mela-gabro(P) Mela-basalt(E)	Yamaskita(P)
13	Shonkinita(P)	(=3113)	(=3113)	(=3113)
14	Tveitasita(P)	.....	Marosita(P)	.....
15	.....	.....	Sörkedalita(P)	.....
16	.....	Camptonita(D)	.....	Sebastianita(P)
17	Malignita(P)	(=3117)	(=3117)	(3117)
18	.....	.....	.....	.....
19	.....	.....	Mela-sieno-gabro-nefelínico	Pugliantita(P)
20	Mela-mariupolita(P)	Orotvita	Theralita	.....
21	Fasinita(P)	(=3121)	(=3121)	(3121)
22	.....	.....	.....	.....
23	.....	.....	.....	.....
24	.....	.....	.....	.....
25	Bekinkinita(P) Missourita(P)	(=3125)	(=3125)	(=3125)
647"	Mela-soda-adamellita(P)	Mela-adamellita	Mela-calci-adamellita(P)	.....
0411"	Mela-soda-monzonita(P)	Mela-monzonita	Mela-Calci-monzonita(P)	.....
	Mela-soda-latita(E)	Mela-latita(E)	Mela-claci-latita(E)	.....

ROCAS PLUTONICAS Y EXTRUSIVAS

CLASE N° 4

$\frac{Qu-F-Fd}{mafitos}$ entre $\frac{5}{95}$ y $\frac{0}{100}$

	ORDEN 1 Menas menos de 5%	ORDEN 2 Menas entre 5%-50%	ORDEN 3 Menas entre 50%-95%	ORDEN 4 Menas más de 95%
0	Dunita	Dunita-Cromita Dunita-Magnet.	CromitaOlivinic. Magnet.Olivinic.	Cromita Magnetita, etc
1	Olivinita horne bléndica.			
2	Eulisita			
3	Olivinita piro- xénica con hor- neblenda.			
4	Wehrilita			
5	Peridotita mica cea Peridotita anfi bólica Scyelita Cortlandita			
6	Pikeita			
7	Bahiaita			
8	Saxonita	Harzburgita		
9	Glimmerita Anfibolita Horneblendita			
10	Grönlandita			
11	Piroxenita bio- titíca	Avezacita Cromaltita		
12	Dialagita Broncita Hiperstena Wetsterita	Jarupirangita	Broncita Diopsido Biotita, etc. Cromatitas Magnetitas Ilmenitas	

Ab₈₅An₁₅ (Oligoclasa) por tanto, Orden 2.

Variación Ab entre 90 y 50%

Variación An entre 10 y 50%

Gráfico de la roca en la Fig. # 61, punto (C.)

Nº de familia 7

Nº de roca 227 (según Johannsen)

Nombre obtenido en tablas: GRANODIORITA.

Nº 3.- Roca plutónica (P), cuya composición es la siguiente:

Cuarzo	40%	.....	44.5%
Ortoza	30%	.....	33.3%
Plagioclasa ...	<u>20%</u>	.....	<u>22.2%</u>
	90%		100.0%
Biotita	4%		
Horneblenda ...	4%		
Accesorios	<u>2%</u>		
	10%		

Porcentajes de minerales leucocráticos 90%: Clase Nº 2.

Ab₆₀An₄₀ (Andesina): Orden Nº 2.

Gráfico de la roca en la Fig. # 61, punto (P).

Nº de familia que le corresponde: 6

Nombre de la roca 226

Nombre ADAMELLITA (roca de transición á GRANITO)

Nº 4.- Roca (E), cuya composición es la siguiente:

Nefelina	27.5%		
Sodalita	<u>8.5%</u>		
Feldespatoides ..	36.0%	.....	39.5%
F. K.	21.5%	.....	23.7%
Ab ₉₂ Ang	<u>33.5%</u>	.....	<u>36.8%</u>
		91.0%	100.0%
Aegirita-Augita .	5.0%		
Biotita	2.5%		
Accesorios	<u>1.5%</u>		
		9.0%	

Porcentaje de minerales leucocráticos 91 % : Clase 2.

Gráfico en la Fig. # 61, punto (E)

Nº de familia que le corresponde 19

Nº de la roca 2119

Nombre de la roca: LITCHFIELDITA.

Nº 5.- Roca (F) Hipoabisal, de la siguiente composición:

Olivino 30.0% |

Augita 45.0% (Piroxeno) |

Hiperstena	.....	20.0%	(Piroxeno)
Horneblenda	....	3.0%	(Anfíbol)
Magnetita	.....	<u>2.0%</u>	(mena)
		100.0%	

Desde que no hay minerales lemocrátricos, se afirma que pertenece a la Clase 4.

Mena menos que 5% (2% en el ejemplo) pertenece al Orden 1
Para el gráfico de la figura consideramos (Punto F)

Olivino	.....	30.0%	.....	30.7%
Piroxeno	.....	65.0%	.....	66.3%
Anfíbol	.....	<u>3.0%</u>	.....	<u>3.0%</u>
		98.0%		100.0%

Nº de familia que le corresponde 8

Nº de la roca 418 H

Nombre: SAXONITA

B.- REPRESENTACION GRAFICA DE ROCAS

Toda roca puede representarse graficamente en función de sus contenidos de minerales lemocrátricos.- Esta representación es tanto más aproximada, cuanto mas aproximados sean los valores o porcentajes que se tengan a la mano. Toda roca puede representarse por un punto y una línea como indica la figura.

EJEMPLO: - Una Granodiorita que tiene la siguiente composición:

Cuarzo	.....	14.0%	
Ortoclasa	.....	15.0%	
Oligoclasa	....	<u>46.0%</u>	
Total Cu-F-Fd...		75	<u>75.0%</u>
Biotita	.....	12.0%	
Horneblenda	...	12.0%	
Magnetita	.....	0.6%	
Titanita	.....	<u>0.4%</u>	
		25.0%	<u>25.0%</u>
			<u>100.0%</u>

Dibujamos 3 líneas paralelas a los lados del triángulo por los puntos que representan los porcentajes en cada mineral. Así, tendremos una horizontal por el punto 14% de Cuarzo, una inclinada la derecha por el punto 46 % de Plg., y otra inclinada la izquierda por el punto 15% de F. K. - Unir dos vértices correspondientes de los dos triángulos y prolongarlo en pequeño

con una línea entre su vértica y su base, como como PR.- A su vez, unir los otros vértices dos a dos, correspondientes. La intersección de esta línea que une los vértices determina el punto A.- La línea PR y el punto A representan la roca dada. - El punto en realidad es el mismo, cuya posición daría el número de familia.

El gráfico muestra la proporción relativa de constituyentes claros: Cuarzo (MA), Ortoclasa (KA) y Plagioclasa (CA) en la roca por sus distancias a los lados del triángulo opuesto a los ángulos, donde los nombres de minerales están escritos.

Los porcentajes reales de los minerales en la roca son también representados: para Cuarzo RM, para Ortoclasa PQ ó bK, para plagioclasa OP ó Ca; para constituyentes oscuros (Mafitos) PR.

9.- MEDIDA DE VOLUMENES

Uno de los principales usos del micrometro es la medición microscópica de rocas, determinando así porcentajes en volumen de los constituyentes de una roca.- Uno de los primeros métodos propuestos fué el de Delesse, el cual afirmó que la suma de las áreas de cada uno de los constituyentes en una sección delgada de una roca homogénea es proporcional al volumen real de ese constituyente.

Sin embargo, fué Rosewal, que con su sistema de medida línear en dos direcciones; es decir, con una red graficada en una lente ocular, simplificó muchos métodos de medida.- Se basó en el principio de que la longitud total de todas las medidas líneales, como de a á k y de L á Zl (Fig.# 63), están en la misma relación a la posición interceptada en esas líneas, por cada constituyente, como el volumen de la roca es al volumen de cada constituyente; o sea, dicho en otras palabras, la suma de las áreas ocupadas por los cristales de un constituyente específico es al área total del micrometro, como el volumen de ese constituyente específico es al volumen total de la roca.- Por consiguiente, bastará determinar cada una de las áreas ocupadas por un componente especial, sumarlas y referirlas en porcentajes en porcentaje al área del micrometro, según lo demuestra el método de Rosewal.

La medida de volúmenes en porcentaje la utilizamos para determinar la familia, cuyo rango de variación es grande.

Fecha: Marzo 16, 1958.

A: U. Petersen B., Jefe de Geólogos, Cerro del (SD)
De: R. Quiróz S., Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MUESTRAS DE LA MINA HILDA DOMINIO

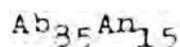
Muestra N° 1.-

La roca es clara maciza, con cuarzo entre 5% y 50% que según la clasificación de Johannsen pertenece a la clase 2.

Clase de plagioclasa: Albiclasa.

Refringencia de la plagioclasa: 1.53-1.54

Porcentaje:



Pertenece al orden 2.

La roca puede ser llamada:

GRANODIORITA

Muestra N° 2.-

La roca de color oscuro, maciza.

Contenido de cuarzo entre:

5% - 50%

Pertenece a la clase 2.

Clase de plagioclasa: Oligoclasa.

Refringencia de la plagioclasa: 1.54-1.55

Porcentaje:



Pertenece al orden 2

La roca según la nomenclatura de Johannsen puede llamarse:

MELADACITA.

R. Quiróz S.

CERRO DE PASCO CORPORATION . LA OROYA
(INCORPORATED IN DELAWARE)
CORRESPONDENCIA INTERDEPARTAMENTAL

Fecha **Marzo 11 de 1958**

A: U. Petersen, Jefe de Geólogos, Cerrodel (SD)

De: R. Quirós S., Estudiante de Ingeniería de Minas, Cerrodel (SD)

Materia: MUESTRA DE LA MINA HILDA - DOMINIO

La roca es de un color claro, tiene en su masa una gran cantidad de plagioclasa sódica y una pequeña proporción de cuarzo.

La sección delgada muestra fenocristales de plagioclasa de una masa clara formada probablemente de calcita y cuarzo xenomórfico, también hay pequeños cristales de cuarzo.

La mica en forma de biotita en el centro de sus lamelas exagonales Sericita, además hay sericita sola en forma subedral Estauroлита existe en algunos cristales alargados.

La muestra proviene de toda la formación que comprende el área de la mina.

La roca puede tener el nombre de:

DACITA (según Johansen).

R. Quirós S.

RQS:am/Cerrodel

cc Exploraciones - Lima
file

CERRO DE PASCO CORPORATION . LA OROYA
(INCORPORATED IN DELAWARE)
CORRESPONDENCIA INTERDEPARTAMENTAL

Fecha Marzo 11 de 1958

A: U. Petersen, Jefe de Geólogos, Cerrodel (SD)

De: R. Quirós S., Estudiante de Ingeniería de Minas, Cerrodel (SD)

Materia: MUESTRA DE HILDA - DOMINIO

La roca muestra un color oscuro, teniendo en su masa algunos cristales de plagioclasa sódica.

La sección delgada muestra fenocristales de plagioclasa maclados dentro de una masa oscura, que contiene además cuarzo xenomórfico, además existe calcita formando el cemento.

La mica probablemente biotita en forma de lamelas exagonales acompañado de pequeños cristales de Auguita diseminada; dentro de la calcita se observa prismas de Hornblenda y algunos de turmalina aunque en menor catidad.

La muestra proviene de un dique formado entre roca Dacita.

La roca puede tener dos nombres:

MELLA-ADAMELITA (227" según Johansen)

MELLA-DACITA (223 según Johansen)

R. Quirós S.

RQS:am/Cerrodel

cc Exploraciones - Lima
file

Fecha: 25 feb, 1958.

A: U.Petersen B., Jefe de Geologos, Cerro del (SD)
De: R.Quiróz S., Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MUESTRAS DE LA MINA HILDA-DOMINIO (Huanuco)

Muestra nº 1

Según el análisis microscopico esta muestra contiene cristales de Horneblenda (biaxial negativa). Se observan además Epidota en una matriz de Calcita y en su mayoría cuarzo. También existen fenocristales de plagioclasa macizados.

Resultado del analisis:

Cantidad de plagioclasa 50% - 95%
Clase de plagioclasa: Albiclasa.
Refringencia de la plagioclasa: 1.53-1.54
Porcentaje de la plagioclasa:

Ab₈₅An₁₅

La roca puede llamarse:

MELATONALITA (328 según Johannsen)

Muestra nº 2

La sección delgada de la roca muestra cristales prismáticos de Horneblenda, fenocristales de plagioclasa sódica Microclino y pequeños cristales de Titanita cementados en una matriz de cuarzo. La Titanita esta dentro de los cristales de Horneblenda. No es raro los cristales de Epidota.

Resultado del analisis:

Cantidad de plagioclasa 5% - 50%
Clase de plagioclasa: Albiclasa ú Oligoclasa.

La roca puede llamarse:

GRANITO (226) según Johannsen
ALCALI GRANITO (236 según Johannsen).

Z S.

RQS: am/ Cerro del
cc: file

Fecha: 19 enero, 1958.

A; U. Petersen B., Jefe de Geólogos, Cerro del (SD)
De: R. Quiróz S., Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MUESTRA-ROCA DE AMBO - HUANUCO - MICROSCOPIA

La muestra de roca fué traída por el Sr. Barnes
(Tarma - Soc. Nac. de Telefonos)

La roca despues de ser cortada muestra un aspecto denso (estructura) de color violeta oscuro con particulas de feldespato finamente dividido y algunas cavidades amigdaloiles de color verde.

La sección presenta fenocristales de plagioclasa ma-clada ~~dentro~~ dentro de una matriz densa oscura que contiene feldespato finamente dividido. Algunos granos de clorita forman el relleno cryptocristalino de las cavidades amigdaloidales.

La roca proviene de la región entre Ambo y Huanuco , probablemente deriva de la formación Mitu.

En el Laboratorio hay una muestra similar para comparación, encontrado en el Mantaro cerca de Huancayo. La roca es mucho más fresca e irregularmente cristalizada pero muestra exactamente las mismas características.

Tambien cerca de Malpaso en el Valle del Mantaro, la formación Mitu posee rocas de similar pero no igual contenido de minerales ni de texturas.

La roca puede llamarse ANDESITA (2212) según Johannsen.

R., Quiroz S.

RQS:nd/Cerro del
cc: files (3)

Fecha: Enero 17. 1958.

A: U. Petersen P., Jefe de Geologos, Cerro del (SD)
De: R. Quiróz S., Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

MUESTRA-ROCA DE SAN FRANCISCO - HUANUCO

La muestra de color claro presenta pequeños cristales de plagioclasa probablemente sódica rodeados de cuarzo xenomórfico.

En sección delgada se observa una gran cantidad de cuarzo que forma la matriz con fenocristales de plagioclasa y distribuida ordenadamente cristales de Biotita y Sericita en pleno proceso de alteración.

Adeams existen cristales de Diopsido y probable Augita.

El resultado de los analisis son:

Cantidad de plagioclasa: 5% - 50%

Clase de plagioclasa: Albiclasa.

Refringencia de la plagioclasa: 1.536

Porcentaje de la plagioclasa:

Ab₈₅An₁₅

La roca puede llamarse:

GRANODIORITA (123 según Johannsen)

GRANODIORITA CUARCIFERA (223 s. J.)

R. Quiróz S,

RQS:nd/Cerro del

cc: file

CAPITULO IV

ROCAS IGNEAS (continuación)

1.- GRADOS DE CRISTALIZACION

El enfriamiento del magma bajo diferentes condiciones da como resultado toda una gama de centros de cristalización desde el vidrio hasta la roca completamente cristalizada llamándose estos estados Holohialino y Holocristalino respectivamente con sus intermedios Hialina é Hipocristalina.

Cada cristal que va desarrollándose atrae para sí el material que le es útil lo que dá origen al empobrecimiento del magma en la zona que lo rodea y así mientras continúa este proceso ininterrumpidamente el cristal continúa creciendo pero cuando alcanza un punto donde la sobresaturación termina o la viscosidad del magma es tan grande para permitir el libre movimiento de las moléculas, entonces la cristalización se va haciendo lenta y nuevos centros de cristalización se forman que solo atraen el material que los rodea.- Como dijimos ésto trae como consecuencia el empobrecimiento del magma dentro de un área en el cual está el mineral particular formando una zona de cristalización pobre que detiene finalmente el crecimiento del cristal.

Si los centros de cristalización que se forman están lo suficientemente separados y el crecimiento fuera interrumpido ligeramente por otros individuos que se forman, se produce una cristalización fina o una matriz densa llamándose estos

cristales Idiomórficos.- Y si las condiciones de cristalización fueran favorables el proceso puede continuar hasta que cada cristal tenga la forma limitada por el contacto con otros minerales llamandose estos cristales Xenomórficos o Allotriomórficos.- Cuando la cristalización de diferentes minerales de un mismo magma es simultanea y progresiva se produce una textura intermedia entre las ya descritas, en las cuales los cristales tienen en parte su forma propia y en parte limitado por otros minerales; estos cristales se llaman Hidiomorfi cos ó Hipautomórficos.

Los términos Euhedral son sinónimos de los correspondientes Idiomórficos o Automórficos, Sub-edral de Hipidiomórficos ó Hipautomórficos y Anedral de los cristales Xenomórficos o Allotriomórficos.

Cuando el proceso de cristalización del magma se interrumpe por alguna razón se producen: Cristalitos, Microlitos, esqueleto de cristales dependiendo del estado de suspensión del magma.

2.- CRISTALITOS.

Fué definido por Vogelsang como cristales sin completo desarrollo, algo así como cristales embrionarios que tienen un arreglo o agrupamiento más o menos regular pero que no poseen las propiedades generales del cristal, tales como por ejemplo límites poliedrales; sin embargo no puede decirse de ellos que son cristales deformados o cristales rudimentarios pero representa un estado de transición entre el amorfo y el cristalino.

Estos cristales tienen una serie de variedades de acuerdo a su desarrollo y que son conocidos como: globulitos, cumulitos, margaritas, cristalitos alargados, triquitas, escopulitos etc.

GLOBULITOS.

Son pequeñísimos cristales practicamente amorfos optica isotrópicos, tambien los de forma esferoidal que representan las más rudimentarias formas de cristalización.- Este tipo de cristalitos ocurre en muchos vidrios volcánicos y son generalmente oscuros.- Como dijimos son extremadamente pequeños y ra

ra vez alcanzan el diametro de 0.005 mm y son tan abundantes que el vidrio o masa es completamente oscura.- Vogelsan que estaiían formados de vidrio ricos en fierro, mientras Rinne su pone que es fierro titanifero sin dar determinaciones exactas.

CUMULITOS.

Cuando en sección delgada se encuentra una serie de glo bulitos formando agregados irregulares aparentemente sin a - rreglo individual, entonces se denomina a este tipo Cumulitos, Se presentan por lo general en la matriz de las traquitas - cuarcíferas.

Si los agregados son más o menos esféricos y presentan algún arreglo radial, se llaman Globosferitas.

MARGARITAS.

Cuando las formas elementales se agrupan formando cade - nas lineales, se denominan Margaritas. En este tipo de agru - pamiento los globulitos conservan su forma globular y mien - tras permanecen aislados su caracter isotrópico, pero si ellos se agrupan en agregados entonces muestran doble refracción la cual es fuerte si los cristales individuales estan unidos.

CRISTALITOS ALARGADOS.

Cuando esta unión anterior entre globulitos se hace más estrechamente que no es posible diferenciarlos toman la forma de agujas.- Estos cristalitos delgados y con los terminales redondeados.

Por lo general son propias de obsidianas.

TRIQUITAS.

Son semejantes a las anteriores por su longitud, sin em - bargo son más delgadas y oscuras (negro o marrón) como cabe - llos.- Igualmente se presentan en ciertas obsidianas.

Puede existir individualmente rectas o curvadas o agru - pados generalmente radiales a partir de un centro; Lehman ex plica el desarrollo de las triquitas como debido a la pene - tración por un punto del cristalito en desarrollo de magma empobrecido (por un punto del cristalito en desarrollo) y su ex - pansi3n en una sola direcci3n, su curvatura pudo ser debida

a esfuerzos de los materiales que los rodean.

ESGOPULITOS.

Son agrupaciones especiales en forma de hojas que se presentan como combinación de triquitas y quizá globulitos y/o cumulitos.

3.- MICROLITOS.

Vogelsang usó el nombre para pequeños cristales en forma de agujas que pueden ser vistos solo microscópicamente y cuya especie puede o no ser definitivamente determinable.

Rosembuch refiriéndose a estos tipos dice que son cristales cuya especie no ha sido definitivamente determinado.

Zirckel incluye en la definición la forma de agujas pero habla de microlitos-feldespatos, microlitos-horneblenda, microlitos-augita, microlitos-sillimanita, etc, como quien conoce la naturaleza de estas pequeñas formas.

Los microlitos son transparentes y coloreados, con poco aumento microscópico aparecen como pelos individuales, pero cuando el aumento es alto se presentan como hilos paralelos unidos en un extremo; el color de los microlitos aumenta ó se vuelve más fuerte conforme crece en tamaño, igualmente los cristales largos muestran doble refracción ó sea que son anisotrópicos debido probablemente a su extrema pequeñez.

4.- ESQUELETO DE CRISTALES.

Consiste en la simetría cristalográfica o agrupación paralela de cristales generalmente de tamaño microscópico y también de cristales incompletos que se han desarrollado en ciertas direcciones solamente.

La causa de este crecimiento es debido principalmente al hecho de que los cristales desarrollan más rápidamente en las puntas y esquinas en cuyas zonas existe magma desde el cual extraen componentes para su crecimiento.

Se presenta a menudo en rocas con magnetita, mica, feldespato, augita, olivino, etc.

5.- ESFERULITOS Y LITOPIZA.

Se encuentra en algunas rocas vitreas ciertos cuerpos más o menos esféricos cuyos diámetros varían entre el microscopico y esferas de más o menos 10 pies de diámetro, en estas esferas los constituyentes están dispuestos radialmente a diferencia de los orbiculares cuya disposición es concentrica.

Muchos esferulitos se encuentran en rocas ácidas en forma de interdesarrollos radiales de ortoclasa y cuarzo en forma de agujas, teniendo como matriz triquititas de minerales oscuros como magnetita y augita.

El rápido enfriamiento del magma da lugar a la formación de esferulitos que tienen la misma composición de las rocas en las cuales ellas se han formado es decir tienen todos los minerales presentes en el magma que cristalizó.

Los esferulitos presentan una cruz axial semejante al de los cristales uniaxiales, esta cruz oscura se pone de manifiesto cuando ésta es paralela al plano de vibración de los nicoles.

Las Litopizas (Lithopisae), son algunos esferulitos consistientes de conchas concéntricas concavidades interfaciales. Las formas usuales son esféricas pero también existen hemiesféricas y de forma irregular. Muchas litopizas son penetradas por septas paralelas en continuación con la laminación de la roca que la rodea; estos planos (septas) así como las conchas concéntricas son delineados en muchos casos por cristales de cuarzo, tridimita, cristobalita, feldespatos y fayalita.

Von Richthofen explica el origen de las litopizas como burbujas de gas en lava eruptiva causada por presiones.

6.- DEFORMACION DE CRISTALES.

Muchas veces sucede que el completo desarrollo de la simetría geométrica de un cristal no se obtiene esto se debe principalmente al crecimiento simultáneo de otros cristales en yuxtaposición con él, lo cual interfiere en gran parte.

Sucede también, como resultado de esfuerzos de intrusión y extrusión muchos cristales son deformados: retorcidos,

doblados o rotos y por último puede ocurrir una alteración química.

La extinción ondulada que muestra el cuarzo cuando es observada en algunas secciones delgadas es una de las primeras evidencias de deformación por retorcimiento. Esto que sucede con el cuarzo, pasa con otros minerales que siendo uniaxiales muestran un carácter óptico biaxial negativo o positivo normal. Otros cristales o lamelas como de cuarzo, mica y feldespato que se presentan ligeramente curvados dan la idea de que en ambos casos de deformación el esfuerzo no ha sido tan grande que causara la rotura. Pero si el límite elástico de un mineral es inferior al esfuerzo sometido entonces lógicamente el cristal se rompe, pudiendo los segmentos ser cementados posteriormente o bien permanecer distanciados por una matriz.

Si esta acción de rompimiento continúa en cada fragmento produce una textura especial en la roca como si tuviera ribetes suturados a modo de cicatrices; este tipo de textura se conoce como "mortar texture", en la cual los fragmentos pequeños están en contacto con fragmentos grandes.

La deformación por efectos químicos sucede cuando el magma, por alguna razón (cambio en su composición química) destruye los fenocristales formados por desequilibrio de las fases sólida y líquida. Estas razones que, como dijimos, son cambio en composición, son además: cambios en profundidad, un nuevo recalentamiento, etc. - La primera de éstas es un proceso de resorsión o redondeamiento de los lados del cristal: como una continuación de este proceso, tenemos que los cristales son corrídos en sus faces, como sucede con el Cuarzo, Biotita, Augita, Olivino, Horneblenda, Haynita, etc.; y finalmente, los cristales pueden ser disueltos totalmente.

7.- DESARROLLO ZONAL.

Consiste en el arreglo de inclusiones en forma de bandas concéntricas que presentan diferentes ángulos de extinción. También esta disposición puede ser en forma longitudinal. Las bandas concéntricas son paralelas a los límites del cristal y puede indicar ligeros cambios en la composición química, como en Biotita, Augita, Feldespatos, Haynitos, etc.

En caso de Feldespatos, Höfner dice que la zona central de este desarrollo es la más cálcica, siendo las zonas concéntricas exteriores más sódicas. Se sabe pues, que en estas zonas hay variación de composición que fluctua entre Anortita y Albita respectivamente.

Hay una estructura semejante a los desarrollos zonales aunque debido a causas diferentes, que se conocen muy poco y que se llama "Hourglass"; esta estructura se afirma con el relleno de los espacios de un esqueleto cristalino.- Blumrich, que debido al diferente poder de cristalización se precipitan sustancias ligeramente diferentes químicamente.- Este tipo de estructura se presenta ocasionalmente en Augita.

8.- TEXTURAS Y ESTRUCTURAS MICROSCOPICAS.

La textura es una de las más importantes características de una roca ígnea, porque alguna de las condiciones bajo las cuales élla solidifica, como por ejemplo relación de enfriamiento, secuencia de cristalización, presiones, fluctuación en la composición química o condiciones físicas.

La composición química de un especimen demuestra el carácter del magma del cual proviene; los minerales explican muchas veces las condiciones bajo las cuales la roca cristalizó desde que el mismo magma a diferentes condiciones puede dar origen a diferentes minerales; los productos de descomposición dicen los cambios que sufrió la roca hasta su consolidación y la textura, en muchos casos dá a conocer la génesis de la roca hasta llegar a su consolidación.

La textura de una roca esta sujeta primeramente al modo de origen y se expresa por el tamaño, la forma y distribución y arreglo de los constituyentes.- La composición química del magma en cierta extensión tiene influencia sobre la textura y ésta por consiguiente depende de los minerales que posee y del orden de separación del magma.- Asi, magmas que cristalizan profundamente sin el enfriamiento lento de la tierra y sin los mineralizantes en ellos, estando bajo una cubierta pesada de un estrato superpuesto no pueden escapar, permitiendo la formación de ciertos minerales, los cuales no cristalizan debido a que bajo posteriores condiciones ellos alcanzaron su punto de solidificación antes que el de cristalización.

Las lavas son materiales que por haber salido a superficie han sufrido un enfriamiento rápido y el material en algunos casos, especialmente en magmas ácidos, solidificaron en forma de vidrio.- Gradante entre dos extremos hay una serie de texturas y así una roca puede ser parcialmente vitrea o puede ser parcialmente cristalina y parcialmente vitrea o puede ser también enteramente cristalina y mostrar cristales dentro de una matriz fina.

Consideremos tres principales divisiones de texturas: Holocrystalina, semi ó Hipocrystalina y Hialina o vitrea de las cuales el primer grupo no contiene vidrio.- Cuando una roca es parcialmente cristalina y parcialmente vitrea puede llamarse Hipocrystalina o Hipohialina; la masa vitrea es la última parte solidificada del magma.

Cuando existe cristales mas o menos desarrollados en una masa vitrea es Vitrofirica.- En rocas extrusivas es común la textura Hipohialina.

Cuando la masa de una roca es enteramente vitrea es Holohialina, las cuales son raras porque microscópicamente muestran pequeñísimos cristales.

En la textura Holocrystalina las más comunes son la granular y la porfirítica siendo la primera propia de rocas plutónicas y la otra de extrusivas y diques.- Las rocas Holocrystalinas pueden ser macro o microscópicamente cristalinas siendo igualmente fanocrystalina la primera y microcrystalina la segunda (microcriptocrystalina).

a.- TEXTURA GRANULAR.

En esta textura los constituyentes son más o menos equidimensionales lo cual no impide que hayan podido cristalizar en diferente forma de acuerdo a sus propias características.- No poseen vidrio salvo como inclusiones en minerales. Las más comunes de estas texturas (tiene un gran número de divisiones) son las siguientes:

Automorfica granular.- Es más o menos rara y se refiere a minerales que tienen una forma ya definida o son euhedrales como se observa en la fig. # 30.- La palabra Idiomorfica granular es un sinónimo.

Hipautomórfica granular.- Se encuentra en rocas en las cuales algunos de los constituyentes están definidos y otros no, es decir son rocas que contienen granos euhedrales, subedrales y anhedrales, Fig.# 24.- Esta textura es típica en granitos, sienitas y dioritas, particularmente de granitos y otras rocas similares; además muestran aunque rara vez un arreglo paralelo de sus constituyentes formando una textura bandeada o laminada la cual cuando es muy desarrollada se llama esquistosa. Hipidiomórfica granular es un sinónimo.

Xenomórfica granular.- Rocas que son más básicas que el granito muestran este tipo de textura en la cual ninguno de los constituyentes tienen una fase propia, Fig.# 49.- Esta textura por ejemplo es particular de Alitas desde que una textura aplítica implica una textura xenomórfica granular.

b.- TEXTURA PORFIRITICA.

Este tipo de textura está presente más comúnmente en rocas felsíticas que en las mafíticas. Es el resultado de de sarrollos de fenocristales dentro de una matriz que puede ser un cemento finamente desarrollado ó un vidrio propiamente, Fig. # 20. Von Leonhard usó el término "Porphyry Struktur", para aquella textura en la cual cristales o fragmento de cristales están dentro de una matriz maciza, las inclusiones, dice él, son por lo general diferentes de la matriz y no están unidos entre sí, cita como ejemplos la textura del granito con felá despato, Fig.# 16, ú obsidiana con feldespatos.

Rosembuch hace la definición en función de dos estados de cristalización, durante las cuales las condiciones de consolidación fueron cambiando por intrusión.- Durante el primer período dice, que se formaron ciertos constituyentes bajo condiciones intratélúricas y durante el segundo ó período de ex trusión, la matriz de grano fino o parcialmente vitrea bajo diferentes condiciones de presión y temperatura.

Los fenocristales sin embargo no son necesariamente intratéluricos, porque mientras el magma estuvo caliente los cristales pueden haber sido formados y debido a la caída de temperatura es que la lava se presenta viscosa y la cristali zación se torna más difícil y simultáneamente nuevos centros de cristalización se forman de manera que el material resi -

dual se desarrolla en grano fino. Si la viscosidad es muy grande, el material remanente alcanza su punto de solidificación antes que el de cristalización y por consiguiente aparece como vidrio.

En rocas porfiríticas los fenocristales pueden crecer en cualquier dirección y presentar su forma cuando ellos no han sido corroidos, es en este estado que debe tenerse especial cuidado durante la observación en secciones delgadas, para evitar confusiones entre cristales fuertemente coloreados en una masa oscura y cristales oscuros en una masa clara.

Otro hecho importante es que si la matriz, contiene la misma clase de minerales que los fenocristales, entonces éstos continúan creciendo durante el estado de extrusión u otros cristales pueden formarse, es por esta razón que no es muy correcto hablar de fenocristales como intratéluricos.

La concepción de Vogt es que el mineral en exceso en un magma cristaliza primero hasta alcanzar un punto eutéctico que trajo consigo después a los minerales remanentes; en tales casos, especialmente cuando un superenfriamiento produce un vacío en la cristalización se desarrolla una textura porfirítica.

Ciertas rocas finamente cristalizadas o formadas de vidrio aparecen a simple vista como no porfiríticas, pero cuando son examinadas en sección delgada, lo abundante de fenocristales hace posible denominarlos como microporfiríticas.

c.- TEXTURA MICROGRAFICA.

Esta textura es típica de granitos gráficos y micrográficos, tratándose principalmente de interdesarrollos de cuarzo y feldespato potásico.

Cuando el cuarzo cristaliza simultáneamente con algunos otros minerales, como sucede en una mezcla eutéctica, los dos minerales mutuamente interpenetrados dan como resultado una apariencia especial dentro del sólido compacto. Observado bajo el microscopio se nota particularmente la extinción ondulada del cuarzo por pequeñas áreas que muchas veces se extiende hasta el otro mineral que por lo general es Ortoza.

Esta textura se conoce también como micropegmatítica, micrográfica ó granofírica. La primera implica una combinación de cuarzo y feldespato, Fig. # 16; la segunda se usó pa-

ra una roca porfirítica de matriz holocristalina. Después Rosembuch la utilizo para indicar rocas formadas por interdesarrollos de cuarzo y feldespato en forma radial, fibrosa, micropegmatítica y otras formas.

También, puede existir además de los interdesarrollos de cuarzo y feldespato potásico, otros de nefelina y feldespato, cuarzo y plagioclasa, cuarzo y turmalina, feldespato y magnetita, etc. La combinación de cuarzo y plagioclasa (usualmente oligoclasa) es llamado "Myrmeckita", formado probablemente en el último estado de consolidación de la roca.

d.- TEXTURA OFÍTICA Y DIABÁSICA.

La textura ofítica es una variedad de la hipautomórfica granular, caracterizada por la presencia de cristales euhedrales ó sub-edrales de plagioclasa sin orientación embebidos en una matriz de piroxeno anhedral o sub-edral generalmente augita. Esta augita puede ocurrir en granos moldeados entre los cristales de feldespato o puede formar granos grandes cada una de las cuales incluye cristales de plagioclasa.

Michel-Levy, describe ciertas texturas ofíticas como características de plagioclasa entre diálaga intersticial que se extiende en grandes áreas.

Rosembuch describe la textura ofítica como aquella en que los individuos de plagioclasa generalmente no están en contacto unos con otros y que la estructura pierde su forma característica por el incremento de esta plagioclasa, la cual eventualmente junto con la diálaga intersticial forman pequeños granos angulares.

Esta textura es característica de gabros, diabásas y rocas similares, Fot. # 52a.

La textura diabásica virtualmente es la misma que la textura ofítica, pero en la cual el feldespato está en exceso y la augita llena los intersticios entre los cristales formados; por lo general se presenta en rocas intermedias en gabros y basaltos, Fot. # 53.

e.- OTRAS TEXTURAS SIMILARES.

Entre estas texturas tenemos la intergranular, la intersertal y la hialopilitica.

TEXTURA INTERGRANULAR.

Es un término que indica una variedad de la textura ofítica y que se refiere principalmente a que la augita intersticial ocurre como agregados de granos y no como cristales largos.

TEXTURA INTERSERTAL.

Es otra textura similar a la ofítica o ó más propiamente a la diabásica excepto en aquellas en que el mineral intersertal no es augita.- Es por lo general hipocristalina y esta presente en pequeñas cantidades entre granos de feldespatos; en esta textura los granos de plagioclasa están rodeadas por o embebidas en una escasa matriz parcialmente de vidrio en lugar de augita.

TEXTURA HIALOPILITICA.

Cuando la matriz se vuelve más abundante la textura intersertal grada en hialopilitica, en la cual dentro de la masa vitrosa se presentan microlitos de feldespatos en forma de agujas, Fot.# 54.

f.- TEXTURA PILOTAXITICA.

Se usa denominación para aquellas texturas en las cuales el cemento o matriz consiste esencialmente de cristales pequeñísimos o microlitos (no tiene masa vitrea) las que pueden o no estar maclados. En algunos casos estos microlitos se presentan arreglados paralelamente a la dirección del flujo; al decir en algunos casos quiero significar que, estos microlitos pueden estar también sin orientación. La textura Felsitica es un sinónimo de la Pilotaxitica, en la cual los microlitos son principalmente feldespatos maclados o nó.

g.- TEXTURA TRAQUITICA.

Consiste de una matriz de sanidina finamente cristalizada arreglada paralelamente; es una variedad de la Pilotaxitica y aunque incorpora la idea de sanidina puede usarse como un

término general, Fot. # 55.

h.- TEXTURA MICROLITICA.

Se usa para indicar la textura de la matriz de ricas porfiríticas la cual esta formada por microlitos paralelos en una masa que es a menudo vidrio (puede ser vidrio intersticial). Esta denominación incluye a las texturas hialopilitica, pilotaxitica y traquítica.

i.- TEXTURA BOSTONITICA

Es característico de la Bostonita, una roca consistente de cristales subedrales a anhedrales de feldespatos alcalinos caracterizado por el arreglo divergente del feldespato. Praticamente es la textura traquitica de arreglo más o menos radial en un sentido.

j.- TEXTURA FLUIDAL.

Esta textura es común de matrices vitreas en rocas extrusivas causadas por el enfriamiento de un flujo de lava formando zonas onduladas como las que ocurre en el rápido flujo de una corriente.

k.- TEXTURA POIKILITICA.

Tiene una apariencia especial, debido a la fusión de ciertos minerales por la inclusión de otros. Los minerales incluidos no tienen ningún arreglo con respecto a los otros, siendo esta propiedad que marca una diferencia con la textura micropegmatítica. Generalmente, la diferencia en tamaño entre el grano incluído y el incluyente es considerable; tal sucede con cristales de plagioclasa encerrados por Feldespato potásico, Fig. # 56.

Fot.# 51.- Cristales de Siderita en cuarzo, mostrando clivaje romboedral perfecto.

Nicoles paralelos

20 x

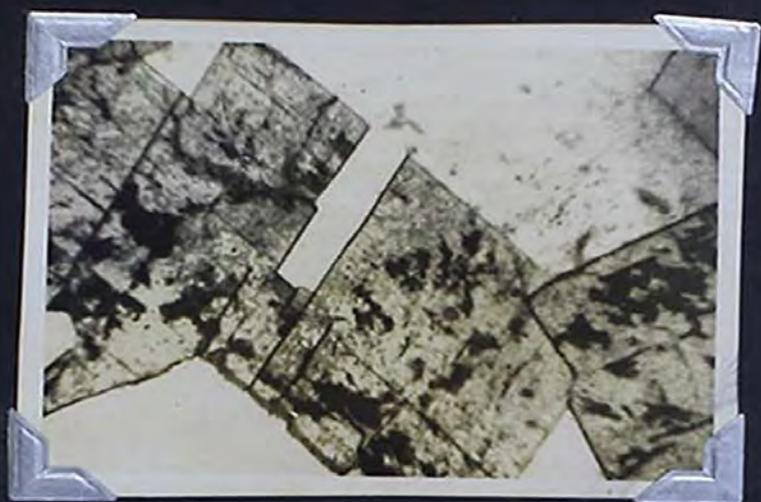
Fot.# 52.- Textura Micrografítica. Propia de granitos gráficos y micropegmatitas.

Nicoles cruzados.

20 x

Fot.#52a.- Textura Ofítica. Se observa granos de feldespatos embebidos en piroxenos Propia de gabros.

Nicoles paralelos.



Fot.# 53.- Textura Diabásica. Los cristales de augita están entre granos de labradorita. Propia de diabásas, etc.

Nicoles cruzados

20 x

Fot.# 54.- Textura Hialopilítica en una matriz de vidrio.

Nicoles cruzados

19 x

Fot.# 55.- Textura Traquítica. Propia de Traquitas.

Nicoles cruzados.

50 x

Fot.# 56.- Textura Poikilítica en riolita.

Nicoles cruzados.



CAPITULO V

MINERALES OPACOS

INTRODUCCION

El objeto del presente capítulo es presentar un resumen de los métodos de microscopía aplicados a la solución de muchos problemas de beneficio de minerales, de preferencia a aquellos que se han presentado en la Cerro de Pasco Corporation, en sus diferentes minas, durante los meses (enero, febrero y marzo, 1958) que estuve de prácticas en el laboratorio Petrologico y Petrográfico de La Oroya.

ESTUDIO DE MINERALES OPACOS: BRIQUETAS

Muchos de los métodos y técnicas utilizados en el estudio de minerales opacos se basan en propiedades ópticas y naturales de los mismos, tales propiedades son, por ejemplo, color del mineral, poder de reflectividad, dureza, observadas con luz natural; pleocroismo con nicoles paralelos y anisotropismo (colores de interferencia), reflexión interior (reflectividad interior), etc., con nicoles cruzados.

Es evidente que existe una estrecha relación entre las propiedades naturales del mineral (composición mineralógica,

tamaño del grano, tipo de enlace, grado de oxidación, etc.), y la técnica utilizada para su tratamiento. No obstante las viejas costumbres empíricas son aún muy empleadas y a pesar de que los estudios microscópicos, significan por lo general un valioso y rápido medio de lograr mejor análisis y progresos metalúrgicos, no son lo suficientemente aceptados.

Las secciones pulidas son necesarias para minerales opacos, porque la mayoría de ellos son fuertemente reflejantes y su observación se hace con luz incidente.

El método más corriente de preparación de muestras pulidas para estudios microscópicos de minerales metálicos, es el método "Briquetting". Este método consiste en aglutinar trozos de mineral con baquelita en polvo, los cuales se depositan en moldes de fierro de formas tubulares, colocándose después en prensas especiales. La presión ejercida sobre la mezcla depositada trae como consecuencia el aumento de temperatura (150°C más o menos) produciéndose la fusión de los granos de baquelita, conformando al final la briqueta que es un cilindro de 1" de diámetro y media de altura.

Una vez pulidas las briquetas se colocan en el microscopio, haciendo uso de aditamentos especiales, y se procede a hacer las observaciones sobre la superficie pulida.

Se usan varias técnicas diferentes para el pulido, muchas de las cuales tienen el mismo propósito. La mejor para un laboratorio microscópico es probablemente el método "Pin-ceton", que utiliza discos de plomo con abrasivos muy finos.- Cada una de las briquetas es sostenida por brazos o ganchos sostenidos a un movimiento de rotación además del que ejecuta el disco de plomo.

La gran ventaja de este método es el breve tiempo necesario para conseguir una superficie perfectamente pulida.

SUPERFICIES PULIDAS DE PIRITA

Mediante el estudio de numerosas y cuidadosas superficies de Pirita se ha llegado a la conclusión de que este mineral es ópticamente anisotrópica, no obstante que muchas Piritas europeas no lo confirman. La Pirita en el Perú es por lo general anisotrópica, como lo afirma un artículo de la revista "Geological Abstracts".

Los colores de interferencia de la Pirita son: azul-verde, anaranjado-rojo, y guarda una constante relación con la

morfología del cristal. Sobre las caras del cubo se nota mayor verde o rojo, especialmente cuando sus lados son colocados a 45° del plano de vibración de los nicoles. La cara pentagonal y dodecaedrales presentan similares colores de interferencia y solo la cara octaedrales es invariablemente isotrópica.

Experimentos con tratamientos calorimétricos demuestran que el anisotropismo no es irreversible ni afectado por la temperatura hasta 570°F .

A pesar de que no guarda relación con la temperatura de deposición, ni es afectado por variaciones composicionales, puede ser algunas veces alterado por el pulimento cuando éste es fuerte, y la Piritita puede aparecer como isotrópica o anisotrópica, debido simplemente a la variación del método de pulido.

TABLAS PARA LA DETERMINACION DE MINERALES OPACOS - DESCRIPCION

Las últimas tablas para la determinación microscópica de minerales son aquellas de SHORT (1940) que tuvo gran acogida para minerales opacos, RAMDOHR (1955), en el cual se da una idea del rápido incremento de datos basados en propiedades físico-ópticas de los minerales.

La gran dificultad que significa el estudio de algunas propiedades ópticas de los minerales opacos, en comparación con los minerales transparentes, explica el por qué de estas tablas.

Las medidas cuantitativas del índice de refracción, ángulo óptico, birrefringencia, etc., son prácticamente imposibles de realizar en los minerales opacos. Las únicas propiedades que pueden ser determinadas cuantitativamente son: poderes de refracción y dureza.

Algunas veces, sin embargo, la medida de estas dos propiedades, generalmente presente dificultad al realizarlas, dependiendo del instrumento empleado.

De acuerdo al poder de reflexión Rudolf Foster, divide los minerales en aquellos que muestran el color blanco predominante o reflexión gris, en 4 principales grupos con rangos de 0% a 20%, de 20% á 30%, de 30% á 40% y por encima de 40%.

Para los minerales completamente incoloros cada grupo lo divide en 2 subgrupos de 5% a 10%.

Una simple comparación de minerales standart comunes, como plata nativa, Galena, Argentita, Tetraedrita y Esfalerita,

dá cierta experiencia para fijarlo en su correspondiente grupo de poder de reflexión.

En las tablas, la primera división se hace en minerales fuertemente coloreados, blanco predominante y minerales de color gris; ésta última división se ha sub-dividido en 4 grupos de distinto poder de reflexión, cada uno de los cuales lleva dos columnas para diferentes clases de blanco neutro o gris, y nueve columnas para diferentes tonos: violeta, rosado, marrón, amarillo, crema, anaranjado, oliva, verde y azul.

En las tablas para minerales fuertemente coloreados, las columnas para blanco neutro y gris, se omiten: añadiéndose en cambio una columna para rojo a las nueve anteriores.

Cualquier color de mineral no incluido en estos colores, se obtiene por la combinación de los colores dados, en tales casos el mineral se menciona en las columnas donde se indica con una flecha continua. La tendencia a variar de color se indica por medio de una flecha punteada.

Los colores de interferencia causados por los anisotropismos, generalmente, no se consideran como típicos para una especie de mineral, excepto para unos pocos que muestran un elevado anisotropismo, que se caracteriza por una estructura particular. Por esta razón se han separado los minerales en 2 grupos: isotrópicos y anisotrópicos, que constituyen la principal división de la tabla; los debilmente anisotrópicos se consideran en ambos lados.

Una propiedad importante de los minerales opacos es su dureza. Bajo el microscopio las diferentes durezas aparecen como relieve o diferencias de nivel en el borde de la juntura de grano de diferente mineral. Por lo general se hace comparaciones con minerales standart conocidos.

Ambos grupos, isotrópicos y anisotrópicos, se dividen en 3 grupos secundarios horizontales con las designaciones de minerales "blandos" "medios" y "duros"; que, de acuerdo a las escalas de dureza de MOHOS, tiene los siguientes rangos: 1 - 3, 3 - 5, y por encima de 5.

En resumen, el análisis de mineral opaco con luz incidente se hace como sigue:

- 1º.- Se determina la impresión del color; es decir, si el mineral es fuertemente coloreado, blanco predominante o gris.
- 2º.- Si el mineral es blanco neutro predominante o gris, se estima su aproximado poder de reflectividad.
- 3º.- Si el mineral es blanco predominante se determina su poder

de reflectividad.

4°.- Se considera la conducta del mineral entre nicoles paralelos y nicoles cruzados.

La dureza del mineral se obtiene rayando su superficie con una herramienta conveniente y observando su relieve comparado con minerales vecinos en lo posible standart.

Entonces las tablas son aplicadas con las siguientes instrucciones:

1°.- Se selecciona en la correspondiente columna en las tablas designadas como "fuertemente coloreadas," o en las tablas "blanco" o "gris-blanco", "blanco-gris" y "gris".

2°.- En las tablas "gris-blanco" se elige el grado o poder de reflectividad.

3°.- En la seleccionada tabla "gris-blanco" se toma la columna que corresponda al color de reflectividad. En el caso de que este color sea blanco oscuro o un tono gris, se selecciona la correspondiente columna de poder de reflectividad.

4°.- De acuerdo con el examen con nicoles cruzados y el analizador, se toman las columnas correspondientes a isotropicos o anisotropicos.

5°.- Entre las 3 divisiones de cada división principal horizontal se elige el grado de dureza.

6°.- El mineral u el nombre del mineral se determina por las intercepciones de las columnas y divisiones secundarias.

Para más detalles a continuación presento las tablas de clasificación de minerales opacos por R. Foster.

G R I S

P.R. 0-20%

		OSCURO <small>P de R. 10-20%</small>	MUY OSCURO <small>P de R. 0-10%</small>	VIOLETA	ROSADO	MARRON	AMARILLO	CREMA	ANARANJADO	OLIVA	VERDE	AZUL.
ISOTROPICO	DURO	CHRYSOLITE Pseudobrucita Franklinita Manganosite PLATNERITE	ESPINEL CUARZO PIROXENO ANFIBOL SHEELITA			BRAUNITE URANINITA (collotorm) CROMITA				Jacobeita- Vredenburgite		Moghemite
	MEDIO	Voltzite ESFALERITA WURTZITE	FLUORITA BARITINA			URANINITE (collotorm)						ESFALERITA WURTZITE GREENOCKITA
	BLANDO	CHALCOCITA CERARGIRITA	ANGLESITA MICA Fusite Vitrite Duaite YESO	ilvaite	ilvaite							
ANISOTROPICO	DURO	RUTILO Hetaerolite WOLFRAMITA HAUSSMANITE smithsonita				BRAUNITE COLUMBITA ILMENITA						"GOETHITA" (Nada laisenerz)
	MEDIO	CERUSITA	SIDERITA DOLOMITA MALAQUITA CALCITA		HETEROGENITE-STAINIERITE (Asbolan) ZINKITA MANGANITA							"GOETHITA" (Nada laisenerz)
	BLANDO	TUNGSTENITA PATRONITA AZUFRE MOLIBDENITA Idderita VALLERITE (E)	YESO		Argyrodite-Canfieldite	Patronita				Wocmanite		Umangite GRAFITO (E)

GRIS-BLANQUESINO

P.R. 20-30%

		BAJO P.R. MATE 25-30%	TENUE P.R. MENTE 30-35%	VIOLETA	ROSADO	MARRON	AMARILLO	CREMA	ANARANJADO	OLIVA	VERDE	AZUL
ISOTROPICO	DURO					BIXBYITE BOEHLERITE MAGNETITA						
	MEDIO	METACINNABAR	ALABANDITA	TETRAEDRIT (acompañando GERMANITA)		TETRAEDRIT GERMANITA HAUERITE ANHYDRITE	FREIBERGITA colusite	Schwazite SULFANITE		TETRAEDRIT	TENANTITA	CUPRITA
	BLANDO	META-CINABRIO	CHALCOCITA			TIEMANNITE, Blaukita ("Petroseite") ARGYRODITE-CANFIELDITE					CHALCOCITA POLIBASITA PEARCEITE	Jigenite BERZELIANITE
ANISOTROPICO	DURO		PSILOMELANO LEPIDOCROCITA BERTHONITE			delafossite	Hollandite					HEMATITE PSILOMELANO
	MEDIO	Coronadite BERTHONITE				Paramelaconite		HETEROGENITE STAINIERITE (Asbolan)		STANNITE		CUPRITA
	BLANDO	METACINNABAR	PSILOMELANO	LAUTITE	FAMANTINITA ENARGITA		TENORITA		Lucanite			PSILOMELANO
		META-CINABRIO Jalpaite Plagonite Ramdohrite-Fizelyite Dogracskite	Rittingerite Pyrostilpnite Dogracskite	CHALCOCITA STROMEYERITE		crookesite BERTHIERITE		WITTICHENITE			BOURNONITE STROMEYERITE	METASTIBNITE KLOEMANNITE PIRARGIRITA
		STIBNITE Hutchinsonite		ESTEFANITA		ARGYRODITE-CANFIELDITE	EUCAIRITE	SELENIUM				PROUSTITA CINABRIO lorandite Sarsoskite
		OROPIMENTE		REALGAR		KERMESITE				GRAFITO (O)		COVELITA (E)

BLANCO GRISACEO

P.R. 30-40%

		BRILIAN P.R. T.F. 35-40%	CLARO P.R. 30-35%	VIOLETA	ROSADO	MARRON	AMARILLO	CREMA	ANARANJAD	OLIVA	VERDE	AZUL
ISOTROPICO	DURO											
	MEDIO							HERSFORDITE				
	BLANDO	GALENA LENGENBACHITE									ARGENTITA	
ANISOTROPICO	DURO							PIROLUSITE				
	MEDIO	CORONADITE BENJAMINITE ZINCKENITE DUFRENOYSITE Rathite Gutzmerite SARGENTITE (SKLEROCLASA) DAUMHAUERITE LIVINGITE JORDANITE	ANDORITE		CHALCOSTIBITE		ARGENTOPIRITA CUBANITA	HERSFORDITE				
				Lautite	SELIGMANNITE	JORDANITE		PIROLUSITA Weissite				Weissite
		FRANCKEITE BERTHIERITE Jalpaite CHALCOPHANITE tungstenite JAMESONITA Pozbanyite MARGYRITE Plagionite Fulfordite BRANBYOITE FREIESLEBENITE ALASKAITE Lingstonite STIONITE MAGYAGITE LENGENBACHITE				kobellite	FRANCKEITE Kobellite	WITTICHENITE ALIKINITE - PATINITE	Weissite			Weissite Niggliite FRANCKEITE BOURNONITE BOULANGERITA
					PETZITE	ERKEDORHNITE	COBONITE KLAPROTHITE	PLAGIONITE				JAMESONITA GEOCRONITE Samsayite Owynite FREIESLEBENITE ARGENTITA	MARGYRITE MENECHNITE HERZBERGITE
				STEPHANITE	SELENIO	HERZBERGITE EUCDIRITE	Boegerite				Naumannite	
					TEALLITE			EMPLECTITE	SCHIRMERITE			

BLANCO

P.R. > 40%

		MYO CLARO P.R. > 50%	CLARO P.R. 40-50%	VIOLETA	ROSADO	MARRON	AMARILLO	CREMA	ANARANJA	OLIVA	VERDE	AZUL
ISOTROPICO	DURO	Laurite IRIDIUM SPERRYLITE			BRAVOITA COBALTITA LINAEITE-VIOLETA - POLYDYME		PIBITA SKUTTERUDITE-SMIL TITA-CHLOANTITA MAUCHERITE					IRIDIO
	MEJIO	PALADIO PLATINO FIERRO MOSCHELLANSBERGITE KONGSBERGITE ALTAITE			BRAVOITE LINAEITE-VIOLETA - POLYDYME AWOPHITE WHITNEYITE		PALADIO STIBOPALLADIMITE					PLATINO
	BLANDO	POTARITE PLATA PLOMO GALENA	CLAUSTHALITE GALENA		COBRE		PLATA					ZINC
ANISOTROPICO	DURO	cohenite RAMMELSBERGITE PARAMMELSBERGITE LOELUNGITE			MARCASITA RAMMELSBERGITE COBALTITA NICOLITA BRASSITA	RHODITE-SHARPE- BERGITE	MARCASITA Itidobutium Osmiridium POLYANITE GUDMUNDITE ARSENOPIBITA MAUCHERITE	PIROLUSITA				RAMMELSBERGITE GLUCODOT Braggite
	MEJIO	ARSENICO ARSENOLAMPRITE			Braggite FRONBERGITE GUANAJUATITE-PARAGUA- NAJUSTITE		SAFFLORITE ALLOPALLADIUM STIBOPALLADITE DYSCRASITE ANTIMONIO MATELDITE-SHARPE- BERGITE ALLEMONTITE	ARSENICO ARSENOLAMPRITE TALPITE HORSFORDITE ALGODONITE (α) ALGODONITE (β)				SAFFLORITE Braggite GUANAJUATITE-PARAGUA- NAJUSTITE
	BLANDO	TELURIO	HESSITE REZBANVITE GALENOBISNUTITA ALASKAITE NAGYAGITE	PETZITE	Weibullite GUANAJUATITE-PARAGUA- NAJUSTITE GALENOBISNUTITA MELONITE		CALDERITA BISMUTINITA TETRABYMITE-TELLURO- BISMUTHITE	Nigelite Cosalite Parkerite GUANAJUATITE-PARAGUA- NAJUSTITE LIWANITE BISMUTO TELURIO KRENNERITE SILVANITA VALLEIRITE (c)				Nigelite Stuetzite GUANAJUATITE-PARAGUA- NAJUSTITE WEIBULLITE-NEBLEVITE

RGS/ an/ Cerro del
cc; file

Nombre	Dureza		Nicoles// Plæcroismo	Nicoles X Anisotrpismo	Int.Reflec.	C o l o r .			Reflectividad	
	Bland.	Med. Duro				Blanco	Gris	Coloreado	Claro	Oscuro
HEMATITA (35-19.5)	x		—	x(fuert) verde claro a oscuro.	— (rojo)	x blanco		azulado		x
PIRITA (40-20.2)	x		—	x verde a azul.	—			x amarillo		x
ARSENOPIRITA (41.8-14.5) forma de rombo edros.	x		—	x verde a violeta.	—	x				x
PIRROTITA (37.8-18.8)		x	—	x(alto) verde, azul, ma- rrón rapidament.	—		x			x
CASITERITA (29.5-19.0)		x	x —	azul a marrón claro.	x —			x amarillo		x
CHALCOPIRITA (33.8-17.8)	x		—	x VERde-kaki-ro jo-verde marrón	—			x azul		x
PIRARGIRITA (37.2-22.1)		x	x —	azul opaco	—			x azul		x
ESFALERITA (37-22)	x	x	x —	oscuro-oscuro claro	— ?			x azul oscuro		x
rojo claro										
ARGENTITA (37.8-6.8)		x	—		—			x amarillo-verdoso		x
TETRAEDRITA (31.8-22.9)	x		—	x(ligeram.) VERDE oscuro-verde claro.	—			gris verdoso. blanco gris.		x
GALENA		x	—	x(ligeram.) verde claro-azulino	—		x gris blanco			x
NICOLITA	x		—	x(alto)	—		rosado-marrón	x verdoso		x
JAMESONITA		x	—	x(alto) azul verdoso-marrón claro	—			x azul-blanco		x

ANALISIS MICROSCOPICOS DE MINERALES EN SECCION PULIDA

Nombre	Dureza		Nicoles// Pleocroismo	Nicoles X Anisotropismo	Int.Reflec	C o l o r			Reflectividad	
	Bland.	Med.				Duro	Blanco	Gris	Coloreado	Claro	Oscuro
ENARGITA. (46.5 - 18.2)		x	—	Alto. verde-violeta marrón claro- verde.	—	x		blanco violeta.		x
CHALCOSITA (47-11.5)		x	—	Marrón verdo- so.	—			blanco azulado x		x
COVELITA		x	x color azul	x alto	—			x Azul		x
BORNITA		x	—	—	—			x marrón rosado.		x
CUPROTA (40.7- 24.3)	x		—	x violeta verde. puede ser iso- tropico.	x(alto) rojo		x		x	x
MALAQUITA	x	x	—	—	x verde		x			x muy oscuro.
AZURITA		x	—	—	x azul		x			x muy oscuro.
WOLFRAMITA (41-20.2)	x		—	x habitual de ma clas lamelares.	x rojo		x			x
ESTIBINA (28.-19.5)			x	x	x		x	blanco cal		x
MAGNETITA (36.7-5.9)	x		—	—	—		x	x oscuro blanquesino		x
MARCASITA		x	—	—	—			x violeta, gris ver- doso.		x

cc: file RGS/ an/ Cerro del

Fecha: Marzo 23, 1958.

A: U. Petersen B., Jefe de Geólogos, Cerro del (SD)
De: R, Quiróz S. Estudiante de Ingeniería de Minas.

MATERIA:

BRIQUETAS DE MOROCOCHA

Del Laboratorio de Concentración mandaron una briqueta para ser analizadas con el objeto de determinar los minerales que contiene y el tamaño de liberación.

La muestra analizada al microscopio presenta:

Partículas libres:

Chalcopyrita (cp)
Esfalerita (sl)
Galena (gn)
Pirita (py)

Partículas binarias:

Chalcopyrita con pirita (cp#py)
Esfalerita con galena (sl#gn)
Galena con chalcocita (gn#cc)
Ganga con esfalerita y pirita (G#sl#py)
Ganga con galena (G#gn)
Chalcocita con esfalerita (cc#sl)
Chalcocita con chalcopyrita (cc#cp)

Se observa que hay reemplazamiento de otros minerales por Chalcocita.

Tipo de enlace : lb, lc, 2a, 3a.

Tamaño de liberación: 20 micrones.

R, Quiróz S.

RQS/ an/ Cerro del
cc; file

MICROFOTOGRAFIAS DE BRIQUETAS

Fot.# 57.- Esfalerita con tetraedrita y pirita en ganga.

Nicoles cruzados.

270 x

Foto# 58.- Galena reemplazada por Chalcopirita.

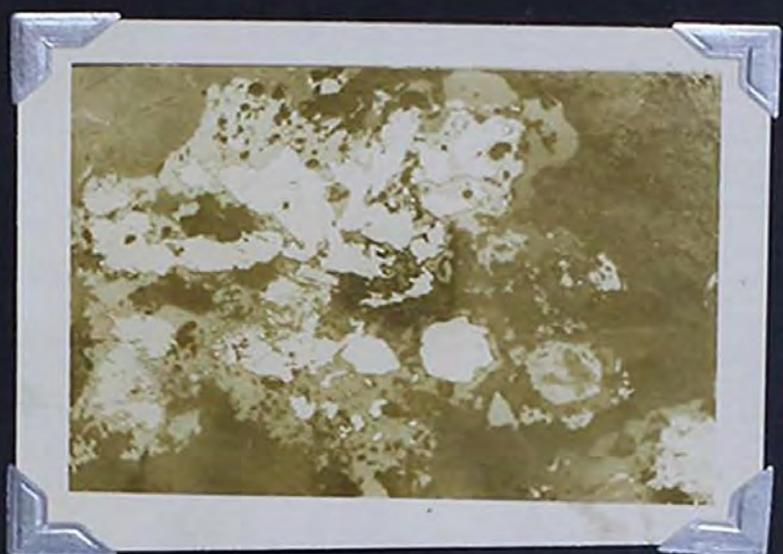
Nicoles paralelos.

540 x

Fot.# 59.- Hematita mostrando estructura especial.

Nicoles cruzados.

325 x



6.- BRIQUETAS DE CONCENTRADOS. SU ESTUDIO

Con la tendencia de disminución en los precios de los metales durante los últimos años y al mismo tiempo el bajo "mining cutoff" se hace necesario un perfeccionamiento de todos y cada uno de los métodos de beneficio. Las investigaciones microscópicas de los minerales y de los productos de concentración, constituye uno de los medios disponibles para alcanzar este perfeccionamiento, además de servir de controles de rutina así como de otros métodos empleados para llevar a cabo estudios especiales.

La mayor parte de los métodos y técnicas utilizados en el beneficio de los minerales, se fundan en las propiedades físicas, como: composición mineralógica, tamafía del grano, tamaño y tipo de enlace, grado de oxidación, características anormales, etc.

La naturaleza del informe mineralógico, necesaria en el beneficio, varía en amplia escala, pero puede ser dividido en tres grupos:

1.- Datos Cualitativos:

a) Constitución mineralógica:

Minerales económicos metálicos
Minerales económicos no metálicos
Minerales metálicos no económicos
Gangas.

Con las siguientes referencias:

Gravedad específica
Propiedades magnéticas
Clivaje (propiedad de formar laminas, capas y revestimientos, tales como la Pirita, Arcillas, Talco, Covelita, etc.)
Grado de oxidación
Minerales perjudiciales como fósforo, arsénico, azufre en minerales de hierro; bismuto en minerales de plomo.
Composición química de minerales (especialmente raros, contenidos en soluciones sólidas, como el hierro en forma de marmánita, la plata en la tetraedrita, etc.)

b) Relaciones Genéticas:

- Cambios de composición en la roca encajo-

nante, en zonas adyacentes (oxidación enriquecimiento, etc.) o en profundidad que influirá en la operación de molienda.

2.- Datos Geométricos: Textura y Estructura

De

- Minerales económicamente metálicos
- Minerales económicamente no metálicos
- Minerales metálicos no económicos
- Gangas

Con referencia a:

- Tipos de enlace (ver cuadro de enlace)
- Relaciones mutuas de enlace (ver hoja de cuentas)

3.- Datos cuantitativos:

De

- Minerales económicamente metálicos
- Minerales económicamente no metálicos
- “ Minerales metálicos no económicos
- Gangas

Con referencia e información de:

- Cantidades relativas de cada mineral (calculadas, contadas o medidas)
- Tamaño relativo de grano
- Tamaño relativo de enlace
- Cantidad relativa de enlace
- Proporción relativa de minerales individuales en las partículas entrelazadas
- Porcentaje de valores en los minerales económicos

El primer paso y el más importante en el informe completo de la composición mineralógica, porque es de interés determinar todos los componentes, incluyendo los de la misma cantidad. Estas pueden ser causa de dificultades inesperadas, tales como la presencia de capas de covelita en la esfalerita; lo que constituye un ejemplo típico que afecta la selectividad en el cociente de flotación del cobre.- plomo; o también ellos pueden contener metales raros valio

esos que pueden cambiar completamente la economía y hacer el tratamiento más provechoso.

Una buena comprensión de la físico-química de los depósitos, ayuda a una mejor concepción de la composición y de las relaciones geométrica genética.

No obstante el ingeniero de la planta concentradora no necesita prestar demasiada atención a tales campos de estudio puesto que ellas están comprendidas en el terreno del geólogo petrologo. Este debe tener un conocimiento general, pues de otra manera no podría comprender y aplicar en forma racional factores importantes como tipos de enlace cambios en los minerales, cambios laterales o de profundidad debidos a zonización primaria o secundaria etc.

Otro paso importante es presentar dentro del informe los diversos tipos de enlace y el tamaño de liberación.

La tabulación de los tipos de enlace que se muestran en el cuadro adjunto ha sido usada desde hace seis años en todos los informes de microscopia aplicada al beneficio de minerales de la Cerro de Pasco Corporation. En él se incluyen los diversos tipos de enlace o indirectamente se da una idea de su tamaño. La utilidad de estos tipos de enlace aumenta por supuesto con el número de fracciones disponibles para el estudio.

Los tipos de enlace básico presentado en el cuadro ad junto son:

- 1.- Tipo irregular o tipo ameba.
- 2.- Tipo anillo.
- 3.- Tiporectilíneo o venoso.

Las inclusiones (exsoluciones) de la chalcopirita en la esfalerita por ejemplo pueden pertenecer al tipo 1d, y los revestimientos de covelita a la esfalerita pertenecen solamente al tipo 2a, mientras el enlace de magnetita con ilmenita frecuentemente pertenecen al tipo 3c.

Las subdivisiones 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 3a, 3b y 3c no son solamente una función del tamaño de la partícula sino a menudo también una característica definitiva del tipo de mineral.

La obtención de datos cuantitativos puede realizarse mediante cálculos, integración o contando las diversas partículas. Adjunto una hoja comunmente usada en la Oroya para realizar el conteo de las partículas tanto libres como

TIPOS IMPORTANTES DE ENLACES DE MINERALES EN MENAS

Es obvio que entre estos tipos hay numerosos estados de transición. Durante la molienda algunos de los más complicados tipos son convertidos en enlaces simples (por ejm : 1b y 2a en el tipo 1a). Una liberación económica depende por supuesto del tamaño de la partícula dentro del enlace. Por tanto las observaciones sobre facilidad de liberación son aplicadas relativamente a partículas grandes.

Los tipos de enlace más comunes en fracciones de mineral son:

- | | |
|--|--|
| | Tipo 1a.- Enlace simple, limite de unión rectilíneo o ligeramente curvado. |
| | Tipo 1b.- Moteado, manchado, no obstante es un enlace simple. Es un tipo común de enlace. Liberación fácil. |
| | Tipo 1c.- Enlace gráfico ó mirmekítico. Ejm: esfalerita y galena, etc. Liberación completa generalmente imposible. |
| | Tipo 1d.- Enlace diseminado, finamente jaspeado. Ejm: chalcopirita con esfalerita. Imposible la completa liberación. |
| | Tipo 2a.- Enlace cubierto, ribeteado, cercado, etc. Ejm: chalcosita con covelita ribeteando la pirita ó esfalerita. Liberación completa más o menos difícil. |
| | Tipo 2b.- Enlace concéntrico ó esferulítico. Ejm: Uraninita con galena, bismutita, chalcopirita, bornita. Liberación muy difícil. |
| | Tipo 3a.- Enlace atravesado en forma de venas. Tipo más o menos común. Liberación fácil |
| | Tipo 3b.- Enlace lamelar o polisintético. No común. Liberación variable. |
| | Tipo 3c.- Enlace entrecruzado. Ejm: hematita-ilmenita-magnetita-chalcopirita-pirita; anglesita y covelita en galena. Liberación imposible. |

Fecha: Feb. 16, 1958.

A: U. Petersen B., Jefe de Geologos, Cerro del (SD)
De: R. Quirós S, Estudiante de Ingeniería de minas.

MATERIA:

MUESTRAS DE MAHR TUNNEL

Referencia: Job 1073 (Work order 899)

Tres muestra de mineral de Mahr Tunnel ha sido traídos al Laboratorio para analizarlas y obtener los siguiente resultados:

- 1.- Minerales presentes.
- 2.- % observado:
 - a) en términos del total
 - b) en términos del metal valuable (Cu, Pb, Zn)
- 3.- Modos de enlace.
- 4.- Tamaño de liberación.
- 5.- Características anormales.

Observación de las briquetas pulidas en el microscopio

Resultados Generales:

- 1.- Los minerales presentes son: en, sl, ms, py, cc, cp, td, gn, y ganga (G).
- 2.- El porcentaje observado en términos del total es entre 14.4 y 32.5 por ciento.
em términos del metal va
luable es entre:

para <u>Cu</u>	49.9%	-	93.3%
para <u>Pb</u>	0.0%		33.4%
para <u>Zn</u>	69.2%		88.5%

Job No 1078
 Mahr Tunnel.

3.- Los tipos de enlace son: 1d, 1b, 1a, 1c, 2a, 2c, 3a.

4.- Los tamaños de liberación son entre 20 y 25 micrones.

Una molienda a 100 mallas es efectiva para separar muchos minerales.

Más detalles en los cuadros que siguen:

Fracción + 48

Partic. libres		o/oo del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
en	4	5.8	40.0		
sl	1	1.5		12.5	
G	<u>54</u>	<u>78.3</u>	<u>40.0</u>	<u>12.5</u>	<u> </u>
	<u>59</u>	<u>85.6</u>	<u>40.0</u>	<u>12.5</u>	<u> </u>
Partic. enlazadas:					
en#py	1	1.5	10.0		
em# G	2	2.9	20.0		
en#sl	3	4.4	30.0	37.5	
sl#py	2	2.8		25.0	
sl# G	<u>2</u>	<u>2.8</u>	<u> </u>	<u>25.0</u>	<u> </u>
total:	<u>10</u>	<u>14.4</u>	<u>60.0</u>	<u>88.5</u>	<u> </u>
	69	100.0	100.0	100.0	

Los tipos de enlace son:

1d, 1b, 1a, 2a, 3a.

Tamaño de liberación:

25 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel.

Fracción + 65

Partic. libres:		% del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
cc	1	1.2	6.7		
sl	2	2.3			20.0
py# G	<u>72</u>	<u>81.4</u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>
	<u>75</u>	<u>84.9</u>	<u>6.7</u>	<u> </u>	<u>20.0</u>

Partic. enlazadas:					
cc#cp	3	3.4	20.0		
cc# G	1	1.2	6.7		
en# G	2	2.3	13.3		
en#sl	2	2.3	13.3		20.0
td#py	1	1.2	6.7		
td# G	1	1.2	6.7		
sl# G	2	2.3			20.0
sl#cc	1	1.2	6.7		10.0
sl#cc# G	2	2.3	13.2		20.0
en#sl# G	<u>1</u>	<u>1.2</u>	<u>6.7</u>	<u> </u>	<u>10.0</u>
total:	<u>16</u>	<u>15.1</u>	<u>93.3</u>	<u> </u>	<u>80.0</u>
Gran total:	91	100.0	100.0		100.0

Tipos de enlace: 1a, 1b, 1d, 2a, 2c, 3a.
 Tamaño de liberación: 25 micrones.

Fracción + 100

cc	1	2.0	7.3		
en	3	5.9	21.3		
cp	3	5.9	21.3		
gn	4	7.7		66.6	
sl	4	7.7			30.8
(incl.py#G)	<u>20</u>	<u>38.3</u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>
total	<u>35</u>	<u>67.5</u>	<u>49.9</u>	<u>66.6</u>	<u>30.8</u>

partic.
 enlazadas:

cc# G	2	3.9	14.3		
en#py	1	2.0	7.1		

Job No 1078

Mahr Tunnel

Fracción + 100
(continuac.)

partic. enlazadas:		% del total	<u>% de Cu</u>	<u>% de Pb</u>	<u>% de Zn</u>
en# G	2	3.9	14.3		
em#sl	1	2.0	7.1		7.7
sl#py	2	3.9			15.4
sl# G	5	9.8			38.4
gn#py	1	2.0		16.7	
gn# G	1	2.0		16.7	
cc#sl#G	1	2.0	7.1		7.7
total	<u>16</u>	<u>32.5</u>	<u>49.9</u>	<u>33.4</u>	<u>69.2</u>
gran total	51	100.0	100.0	100.0	100.0

Tipos de enlace:

1a, 1b, 1c, 1d, 2c, 3a.

Tamaño de liberación:

20 micrones.

Fecha: Feb. 28, 1958.

A: U. Petersen B., Jefe de Geólogos, Cerro del (33)
De: R. Quiroz S., Estudiante de Ingeniería de Minas Cerro del (33)

MATERIA:

MUESTRAS DE MAHR TUNNEL (Enero-Mayo)

Referencia: Joo No 1378 (Work Order 904)

Quatro fracciones de mineral de Mahr Tunnel han sido traídas para analizarlas y obtener los siguientes datos:

- 1.- Minerales presentes.
- 2.- % observado a) en términos del total.
b) en términos del metal valuable (Cu, Pb, Zn)
- 3.- Modos de enlace
- 4.- Tamaño de liberación
- 5.- Características anormales.

Observación de las briquetas pulidas bajo el microscopio.

Resultados Generales:

- 1.- Los minerales presentes son: cc, cv, en, cp, sl, en, y ganga colectiva.
- 2.- El porcentaje observado en términos del total es entre 7.0 a 50.5 por ciento.
en términos del metal valuable es entre: para Cu 0 - 100%
para Pb 0 - 100%
para Zn 5.7 - 53.7%
- 3.- Los tipos de enlace son: ld, lb, lc, la, 2a, 2c. (más o menos en orden decreciente de abundancia)
- 4.- Los tamaños de liberación son entre 25 y 3 micrones.
- 5.- Características anormales: Muchos de los enlaces íntimos son muy finos y solamente un poco son debidos probablemente a capas supergénicas de Cu, Pb y Zn por Chalcosita-Goovelita. La mayor abundancia es para enlaces binarios Sl#G.

Se ve, especialmente para esfalerita, que una molienda a 325 mallas es efectiva para separar muchos minerales.

Para más detalles ver cuadros adjuntos.

Job No 1078
 Mahr Tunnel

Tablas de analisis

Fracción + 48

Partic. Libres:		o/oo del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
cp	1	1.0	9.1		
sl	3	7.8			16.3
G					
(incl.py#G)	970	940.7			
Part.lib.totales	979	949.5	9.1		16.3
Part. entrelazadas:					
cp#G					
(incl.cp#py#G)	5	4.8	45.4		
sl#gn	1	1.0		11.1	2.0
sl#py					
(incl.sl#py#G)	5	4.8			10.2
sl#G	28	27.2			57.3
gn#py	1	1.0		11.1	
gn# G	3	2.9		33.4	
cc#cp# G	1	1.0	9.1		
Ed#cp#py	1	1.0	9.1		
cc#sl# G	1	1.0	9.1		2.0
cp#sl# G					
(incl.cp#sl#py#G)	2	1.9	18.2		4.1
sl#gn#py	3	2.9		33.4	6.1
sl#gn# G	1	1.0		11.1	2.0
total	52	50.5	90.9	100.0	83.7
gran total	1031	1000.0	100.0	100.0	100.0

Los tipos de enlace son:

lc, lb, ld, la

Tamaño de liberación:

25 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel

Tablas de analisis.

Fracción + 65

Partic. Libres:		o‰o del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
gn	1	1.0		8.3	
sl	12	12.2			24.5
G					
(incl.py#G)	920	939.0			
Total libres:	933	952.2		8.3	24.5
Particulas entrelazadas:					
cv#cp	1	1.0	12.5		
cp#gn	1	1.0	12.5	8.3	
cp# G	2	2.0	25.0		
sl# py					
(incl.sl#py#G)	4	4.1			8.2
sl# G	25	25.5			51.0
gn#py					
(incl.gn#py#G)	4	4.1		33.4	
gn# G	1	1.0		8.3	
cc#cp# G	1	1.0	12.5		
cc#sl# G	1	1.0	12.5		2.6
cp#sl# G	2	2.0	25.0		4.1
sl#gn#py					
(incl.sl#gn#py#G)	4	4.1		33.4	8.2
sl#gn#G	1	1.0		8.3	2.0
Total	47	47.8	100.0	91.7	75.5
Gran total:	980	1000.0	100.0	100.0	100.0

Los tipos de enlace son:

1d, 1c, 1b, 2a, 2c.

Tamaño de liberación:

25 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel.

Tablas de analisis

Fracción + 100

Partic. Libres:		o/oo del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
en	1	0.9	9.1		
cp	1	0.9	9.1		
sl	17	15.5			36.2
G					
(inclu.py#G)	<u>1040</u>	<u>947.3</u>	<u>18.2</u>	<u>---</u>	<u>---</u>
Total libre:	<u>1059</u>	<u>964.6</u>	<u>18.2</u>	<u>---</u>	<u>36.2</u>
Particulas entrelazadas:					
cc#sl	1	0.9	9.1		2.1
cv# G	1	0.9	9.1		
en# G	1	0.9	9.1		
cp#sl	1	0.9	9.1		2.1
cp#py	1	0.9	9.1		
cp# G	1	0.9	9.1		
sl#gn	3	2.7		33.4	6.4
sl#py	7	6.4			14.9
sl# G	14	12.7			29.8
gn# G	5	4.6		55.5	
cc#sl# G	2	1.8	18.1		4.3
cv#sl#py	1	0.9	9.1		2.1
sl#gn# G	<u>1</u>	<u>0.9</u>	<u>---</u>	<u>11.1</u>	<u>2.1</u>
total:	<u>39</u>	<u>35.4</u>	<u>81.8</u>	<u>100.0</u>	<u>63.8</u>
Gran total:	<u>1098</u>	<u>1000.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.-</u>

Los tipos de enlace son:

1b, 1c, 1a, 1d, 2c.

Tamaño de liberación:

20 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel

Tablas de analisis

Fracción + 150

Partic. libres:		o/oo del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
gn	4	3.5		57.1	
sl	9	7.9			22.0
G	<u>1090</u>	<u>957.8</u>			
Total libre:	<u>1103</u>	<u>969.2</u>		<u>57.1</u>	<u>22.0</u>

Partic.
entrelazadas:

Sl#py					14.6
(incl.sl#py#G)	6	5.3			
sl# G	26	22.8			63.8
gn#py	1	0.9		14.3	
gn# G	2	1.8		28.6	
total:	<u>35</u>	<u>30.8</u>		<u>42.9</u>	<u>73.0</u>
gran total:	<u>1138</u>	<u>1000.0</u>		<u>100.0</u>	<u>100.0</u>

Tipo de enlace:

ld, lb, la, lc.

Tamaño de liberación:

20 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel.

Tablas de analisis

Fracción + 200

Partic. libres:		o/oo del total	% de Cu	% de Pb	% de Zn
en	2	1.7	22.2		
cp	3	2.7	33.4		
gn	2	1.7		50.0	
sl	12	10.6			41.3
G	1090	964.6			
total libres:	1109	981.3	55.6	50.0	41.3

Particulas
entrelazadas:

cv#py	1	0.9	11.1		
cp#sl	1	0.9	11.1		3.5
cp#py	1	0.9	11.1		
sl#py	8	7.1			27.5
sl# G	7	6.2			24.2
gn# G	1	0.9		25.0	
cc#cp# G	1	0.9	11.1		
sl#gn#py	1	0.9		25.0	3.5
total	21	18.7	44.4	50.0	58.7
Gran total	1130	1000.0	100.0	100.0	100.0

Tipo de enlace:

1d, 1b, 2a, 1c, 1a.

Tamaño de liberación:

12 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel

Tablas de analisis

Fracción + 270

Partic. libres:		o/oo del total	<u>% de Cu</u>	<u>% de Pb</u>	<u>% de Zn</u>
cp	4	3.8	57.1		
gn	1	1.0		100.0	
sl	8	7.6			33.3
G	1020	969.5			
total libre	<u>1033</u>	<u>981.9</u>	<u>57.1</u>	<u>100.0</u>	<u>33.3</u>

Partic. entrelazadas:					
cp#py	2	1.9	28.6		
cp# G	1	1.0	14.3		
sl#py	4	3.8			16.7
sl# G	12	11.4			50.0
total	<u>19</u>	<u>18.1</u>	<u>42.9</u>		<u>66.7</u>
Gran total	1052	1000.0	100.0	100.0	100.0

Tipos de enlace:

1a, 1b, 1d.

Tamaño de liberación:

18 micrones.

Job No 1078
 Mahr Tunnel

Tablas de analisis

Fracción + 325

Partic. libres:		o/oo del total	<u>% de Cu</u>	<u>% de Pb</u>	<u>% de Zn</u>
cp	3	3.0	100.0		
gn	3	3.0		75.0	
sl	10	10.1			62.6
G	970	976.9			
total libre:	<u>986</u>	<u>993.0</u>	<u>100.0</u>	<u>75.0</u>	<u>62.6</u>

Partic.
 entrelazadas:

sl#py (incl.sl#py#G)	3	3.0			18.7
sl# G	3	3.0			18.7
gn#py	1	1.0		25.0	
total:	<u>7</u>	<u>7.0</u>		<u>25.0</u>	<u>37.4</u>
	<u>993</u>	<u>1000.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>

Tipo de enlace:

ld, lb, la.

Tamaño de liberación:

11 micrones.

Job No 1078

Mahr Tunnel

Tablas de analisis

Fracción - 325

Partic. libres:		o/oo del total	<u>% de Cu</u>	<u>% de Pb</u>	<u>% de Zn</u>
cv	3	3.0	42.8		
cp	1	1.0	14.3		
gn	1	1.0		100.0	
sl	100	100.1			94.3
G	880	887.9			
total libre:	<u>985</u>	<u>993.0</u>	<u>57.1</u>	<u>100.0</u>	<u>94.3</u>

Partic.
entrelazadas:

cv#cp	1	1.0	14.3		
cv#sl	2	2.0	28.6		1.9
sl#py	4	4.0			3.8
total:	<u>7</u>	<u>7.0</u>	<u>42.9</u>		<u>5.7</u>
Gran total:	992	1000.0	100.0	100.0	100.0

Tipo de enlace:

1a, 1b, 1d, 2c.

Tamaño de liberación:

3 micrones.

combinadas mediante enlace binarios, ternarios, etc.

Es de acuerdo a la exactitud requerida que se cuenta el mayor número de particulas libres y atrapadas indicando al mismo tiempo el tipo de enlace así como el tamaño.

Cada fracción de mineral es su respectiva briqueta al ser estudiados en el microscopio se registra cuidadosamente en una hoja de cuenta separado acompañadas de otras de resumen en las cuales se aclaran ciertos puntos como por ejemplo a partir de que tamaño el enlace comienza a convertirse en un serio problema y que tipo de enlace es el mas abundante y complejo además de dificultoso de separar.

7.- TAMAÑOS DE MOLIENDA DE MINERALES

La molienda del mineral de cabeza extraído de la mina mediante medios mecánicos tiene un doble fin:

1.- Reducción de trozos compactos del mineral extraído a otro más menudo, manejable con mayor comodidad en los tratamientos metalúrgicos y transportable con mayor facilidad y mayor economía.

2.- Reducción de trozos de mena de composición compleja al tamaño de sus componentes aprovechables y desechables cuya separación es el objeto del tratamiento metalúrgico.

Hecha la molienda de la mena en el circuito de trituración acompañada de la clasificación respectiva, éste queda por lo general como una masa granular en suspensión acuosa en una mezcla de componentes sencillos y complejos, en este último caso los minerales aprovechables no se hallan completamente liberados dando lugar a un concentrado impuro.

Pero si el tamaño promedio de los granos obtenidos mediante molienda, pasa de cierto límite hay liberación de algunos de los componentes que al comienzo se hallaban entrelazados (enlaces binarios, terciarios, etc.). Pero como el costo de molienda aumenta más o menos exponencialmente a la inversa del tamaño medio del producto, prácticamente resulta anti-económico moler el mineral hasta alcanzar su liberación completa.

De allí, a pesar de que existe un tamaño de liberación teórico como límite superior de los tamaños en que un

mineral ya no presenta en apreciable cantidad enlaces, se debe escoger un tamaño de liberación práctico, dado por la circunstancia que a partir de cierto momento en el proceso de molienda comienza a reducirse sensiblemente el incremento de liberación del mineral en consideración. Desde este punto de vista, una pérdida limitada en la recuperación puede verse recompensada por un costo menor en el circuito de molienda.

8.- GRANULOMETRIA MICROSCOPICA.

El análisis granulométrico también puede practicarse con ayuda del microscopio además del tamizado, proporcionando no solamente informes sobre tamaños de partículas en los productos de molienda sino también simultáneamente el número de partículas en cada fracción granulométrica, sus características morfológicas y asociativas (enlaces), su estado de liberación y su naturaleza en particular además de cantidades relativas de minerales económicos en función del todo y de los minerales valiosos.

El instrumento básico empleado es un micrometro especial para las medidas estadimétricas bajo el microscopio, ya sea con luz transmitida para secciones transparentes ó con luz reflejada para minerales en briquetas pulidas.

Una platina de integración, es un aditamento adaptable a la platina del microscopio de mayor precisión cuyo desplazamiento con respecto al punto de intersección de la cruz de hilos del lente ocular como punto fijo se registra y acumula automáticamente en discos coaxiales controlado con teclas numeradas.

El principio para calcular el tamaño de las partículas es la medida de trechos de intervalo formados por el corte de líneas paralelas de medida a través de granos minerales expuestos en la superficie de corte de una lámina delgada o de una briqueta pulida.

Esto significa que es necesario conocer la relación que existe entre tales trechos de intercepción de las líneas rectas que atraviezan arbitrariamente el grano y el diámetro de éste, porque generalmente los cortes de los granos hechos a diferente nivel no son cortes meridionales

que permiten medir de inmediato el diametro de los granos.

Despues de un proceso de molienda es lógico suponer que gran cantidad de particulas (la mayoría) tengan formas geométricas semejantes a las regulares como esfera, cubo, octaedro, tetraedro, dodecaedro, etc. para mencionar las más simples.

Y si suponemos ademas un grano standart como un promedio de varios otros, podemos establecer que los trechos de intercepción son proporcionales al volumen del grano promedio o sea tambien igual al producto del area del grano (plano diametral del grano modelo) por el promedio aritmético S_m de todos los trechos.

Si consideramos los diametros máximo, mínimo y medio de los cuerpos regulares antes mencionados, podemos llegar a las siguientes relaciones aproximadas entre ellas:

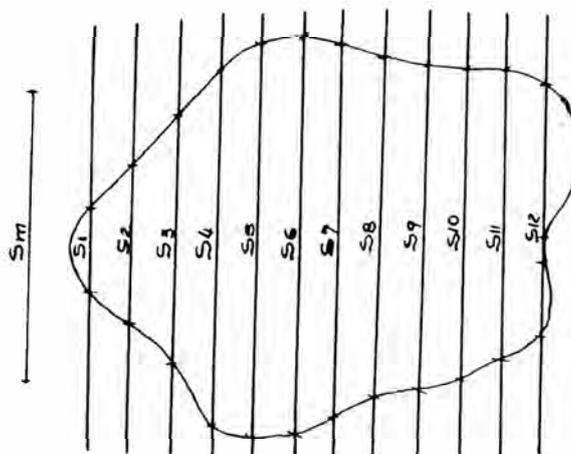
$$S_m = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}{n} \quad n = \# \text{ de partic.}$$

$$d_{\max} = 2S_m = \frac{4}{3} d_{\min}$$

$$d_{\min} = \frac{3}{2} S_m = \frac{3}{4} d_{\max}.$$

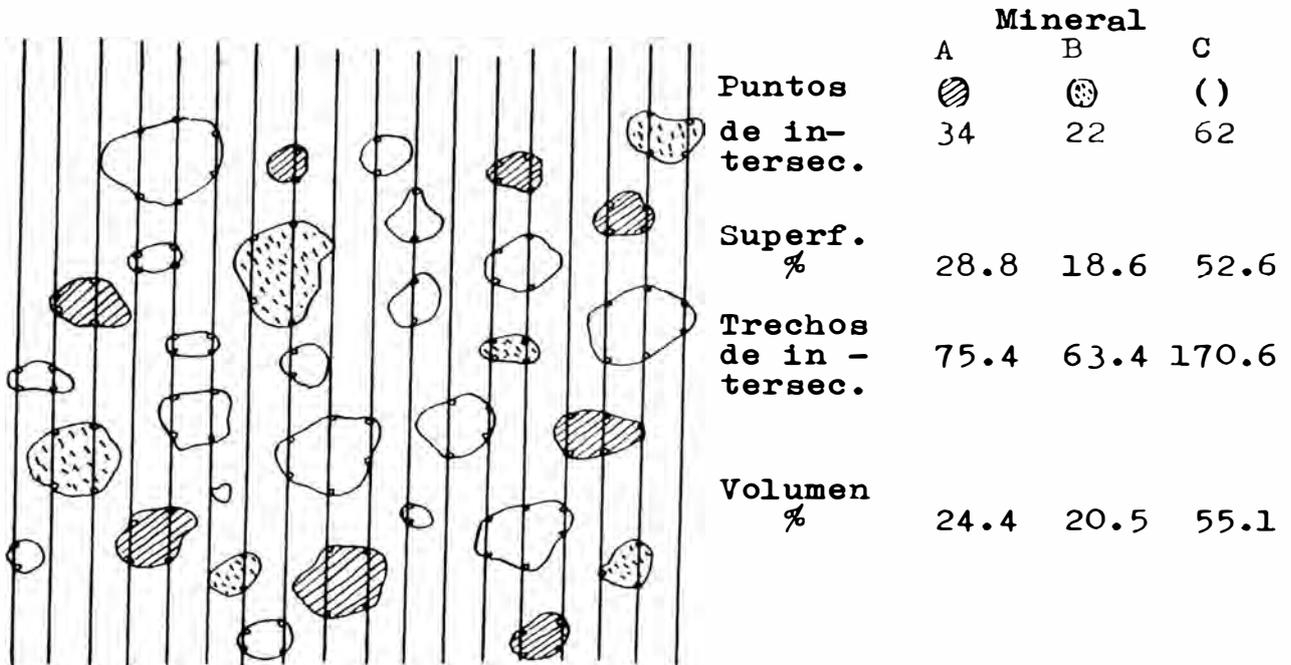
$$d_{\text{med}} = \frac{12}{7} S_m = \frac{6}{7} d_{\max} \\ = \frac{8}{7} d_{\min}$$

Estudios más detenidos mediante el uso de contadores automáticos ó células fotoeléctricas permiten preparar gráficos en función de la frecuencia de trechos de trechos de intercepción y longitud de éstos los que sin tener a la vista el grano completo permiten determinar su forma y solo de acuerdo a la característica de la curva patrón.



A continuación presento un gráfico extraído de un folleto de R. Foster: Concentración Metalúrgica, en la cual se observa como se hace el recuento de los puntos de intercepción al igual que los trechos que van a determinar la superficie libre de la particula y el volumen de ésta en cantidades relativas.

En el caso de granos morfológicamente complicados se puede pensar que estos se encuentran subdivididos en otras partículas de forma sencilla mediante líneas paralelas a las líneas de medición.



9.- TAMAÑO DE LIBERACION.

El análisis de la superficie de cada partícula en sección pulida o delgada es de importancia fundamental en su aplicación a ciertos procesos y problemas metalúrgicos. La flotabilidad de un mineral depende aparte de otros factores como densidad de pulpa, Ph, temperatura ambiental, cantidad de reactivos, etc, de la superficie activa libre de las partículas que intervienen en el proceso. En realidad no es necesario un conocimiento de la superficie absoluta de cada partícula mineral, lo que más bien interesa es la superficie relativa de partículas pertenecientes a distintas especies de minerales.

En fragmentos o granos compuestos por minerales valiosos por un lado y gangas por otro, es importante el área relativa con que el mineral contribuye a la superficie total de los granos. Por consiguiente, la superficie de cada mineral componente de una partícula compleja puede subdividirse en una superficie exterior o visible ó libre y una superficie interior invisible o enlazada (amarrada) que re

presenta el area de contacto entre dos o más minerales del grano complejo.

R. Foster, pone como ejemplo una partícula de cuatro minerales distintos, A, B, C y D (en la que A puede ser pirita, B esfalerita, C galena y D ganga) que ~~r~~representan las siguientes superficies:

Libre: S_A, S_B, S_C, S_D .

Enlazada: $S_{A-B}, S_{A-C}, S_{A-D}, S_{B-C}, S_{B-D}, S_{C-D}$.

Agrega: como en la flotación es muy importante que el mineral que debe flotar presente la máxima superficie libre accesible a los reactivos, interesa para este caso específico la relación:

$$L_B = 100 \frac{S_B}{S_B + S_{A-B} + S_{B-C} + S_{C-D}}$$

$$L_C = 100 \frac{S_C}{S_C + S_{A-C} + S_{B-C} + S_{C-D}}$$

donde L_B y L_A se denominan "grado de liberación del mineral B (esfalerita) y C (galena)

Al hablar de superficie libre, no queremos decir "superficie de partículas libres", pues con la observación microscópica que se limita a dos dimensiones, prácticamente no es posible determinar si una partícula realmente se compone de uno o varios constituyentes porque puede alguno de ellos estar oculto a la observación.

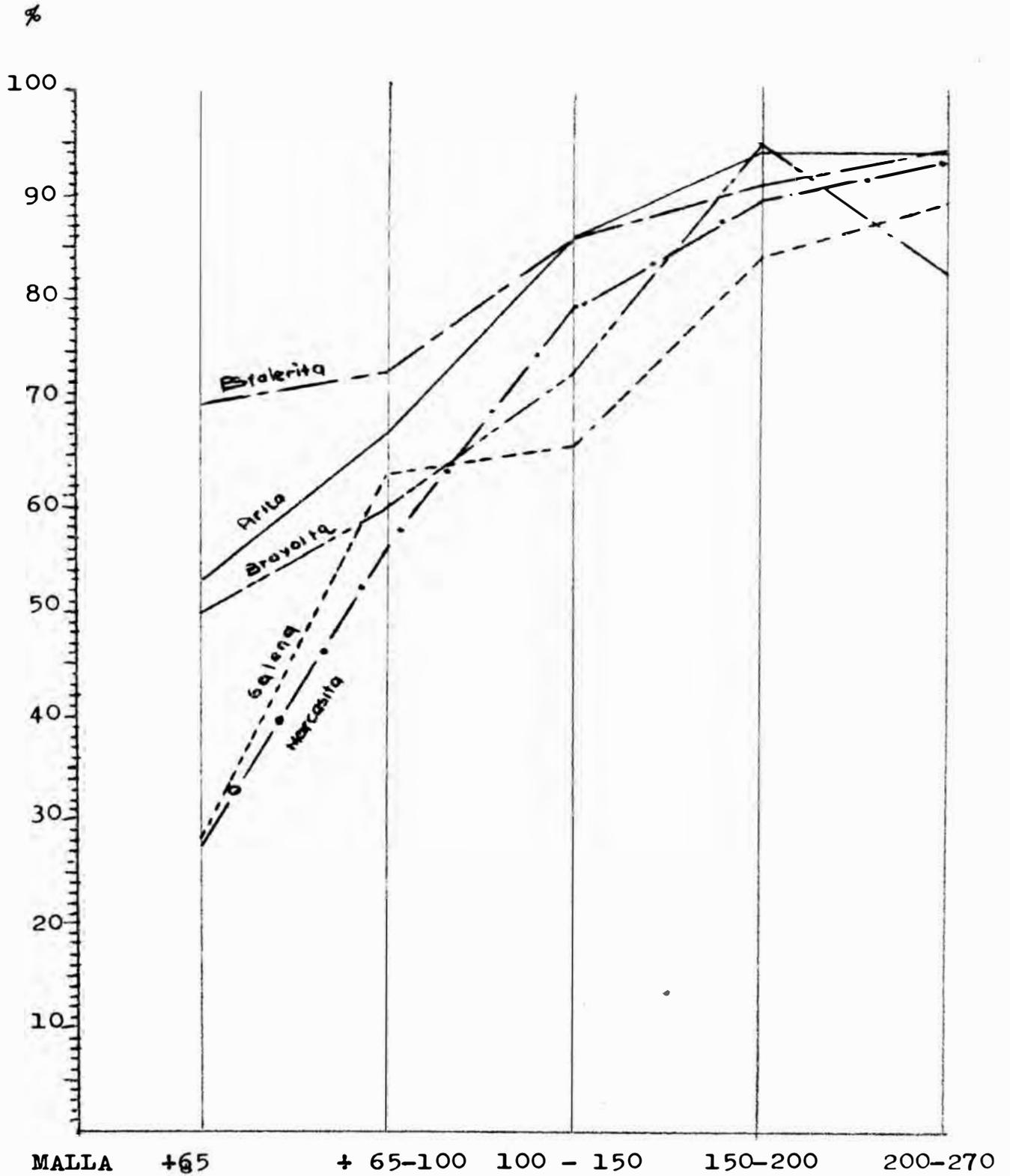
Tanto el porcentaje de superficies libres como el número de granos libres están en relación lineal con el número de cortes de reducción de los granos complejos. El aumento de liberación de las subpartículas se refleja sobre todo por el creciente porcentaje de su superficie libre.

La aplicación práctica de la determinación del tamaño de liberación de minerales aprovechables por acción del proceso de molienda es mostrada en la figura que sigue.

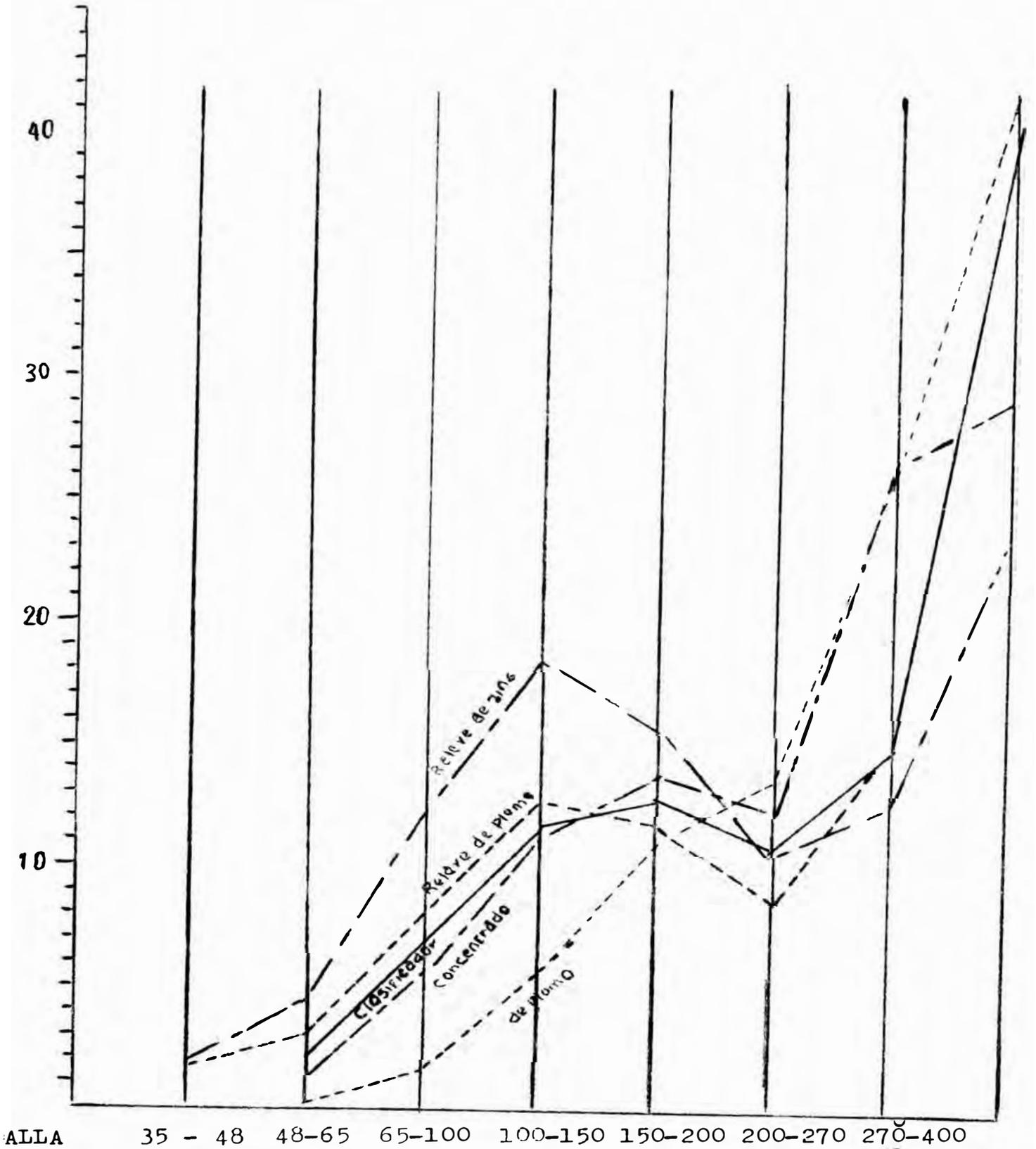
Si en ella, comparamos las curvas de superficies libres de galena y esfalerita en mineral de cabeza con las correspondientes curvas de concentrado y relave, se puede obtener un control y una medida de la eficiencia de la concentración, la que en este caso es excelente para el plo-

LIBERACION DE MINERALES METALICOS EN MATERIAL DE REBOSE DEL CLASIFICADOR

PORCENTAJE DE SUPERFICIE LIBRE



ANALISIS GRANULOMETRICO



ALLA

35 - 48 48-65 65-100 100-150 150-200 200-270 270-400

mo, pero deficiente para el zinc por perderse mucho en el lavado.

Además si se compara las curvas de liberación de galena y esfalerita con las correspondientes curvas del análisis granulométrico, se advierte que en la región donde la curva sufre una máxima inflexión volviéndose asintótica a la horizontal (que señala una disminución creciente de la liberación de los tamaños más finos) coincide con el máximo de la curva granulométrica el que indica el tamaño de los granos encontrados con mayor frecuencia en el producto.

Esto significa el grado óptimo de molienda o tamaño práctico de liberación.

Lima, 16 de febrero de 1960



F I N

Bibliografía

- Manual of Petrography Methods: A. Johannsen, 1939.
- Petrographic Methods and Calculations: A. Holmes.
- Analytical Microscopy: T. E. Wallis.
- How to prepare materials for examination with the microscope: Edwærd Arnold & Co. London.
- Petrographic Micro-technique: Wethershed A. V.
- Phptomicrography: Allen R. M.
- Petrographie: Alfred Harker.

- A description of minerals: A. Johannsen, Tomo II-III
- Mineraux de Roches: E. Lacroix.
- Igneous rocks and minerals: E. E. Wahlstrom, 1955.
- Thin sections mineralogy: Rogers and Kerr.
- Optical Cristalografic 2da Ed: E. E. Wahlstrom, 1951.
- Rock-forming minerals: F. Lewinson-Lesing, 1893
- Important minerals and rock: N. Tillman.
- Mineralogy: Kraus Hunt and Ramsdell.
- Petrographic Mineralogy: E. E. Wahlstrom.
- Manual de Geología: M. Sam Miguel de la Camara, 3er Edición, 1927
- The microscopic determination of Monopaeu minerals: E. S. Larsen and H. Berman.
- Petrology of igneous rocks: D. Grout.
- Macking thin sections of rocks: Keyes, Mary G.
- Hand Boock of chemical(mineralogy) microscopy: E. Chamot and C. W. Mason, 1930 - 31.
- Igneous rocks: J. P. Iddings.
- A descriptive petrography fo igneous rocks: A. Johannsen, 1939.
- Apuntes de clase de Mineralogia determinativa: H. Vasquez Rosas.

-
- Microscopic determination of the ore minerals: M.N.Short.
- The preparation of polished thin sections: G.C.Kenedy.
- Estudios microscopicos cuantitativos y su aplicación al beneficio de minerales: Rudolf Foster, 1939.
- Revista Minas" año V, nº 8 , 1956.
- Datos y apuntes tomados en el laboratorio de Oroya. Cerro de Pasco. Año 1958.