



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingeniería**

**LA MORFOLOGIA CRISTALOGRAFICA  
DE LA HEMATITA EN LOS ESTUDIOS  
DE LOS YACIMIENTOS FERRIFEROS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A  
A N T O N I O A Q U I N O**

**México, D. F.**

**1983**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	
I. 1. - Generalidades del Trabajo.....	1
I. 2. - Objetivo del Trabajo.....	2
I. 3. - Antecedentes.....	3
I. 4. - Propiedades Físicas y Químicas.....	4
I. 5. - Sinopsis Histórica de la Hematita....	5
II. SISTEMA, CLASES Y GRUPO ESPACIAL	
II. 1. - Sistemas Cristalinos.....	8
II. 2. - Red del Sistema Trigonal.....	9
II. 3. - El Sistema Trigonal considerado co mo hemiedría del Sistema Hexago- nal.....	9
II. 4. - Clases y Formas del Sistema Trigo- nal.....	14
II. 5. - Descripción de Clases y Formas...	16
II. 6. - Detalle de las 35 formas del Siste- ma Trigonal.....	20
II. 7. - Origen de las Formas.....	32
II. 8. - Detalle de los Grupos Espaciales.	34
III. LOCALIDADES MEXICANAS	
III. 1. - Provincias Metalogénicas.....	37
III. 2. - Principales Yacimientos Ferrife- ros de México.....	39

Pág.

IV. PARAGENESIS Y GENESIS	
IV.1. - Paragénesis.....	41
IV.2. - Principales Minerales de hierro que - ocurren en concentraciones de valor - económico.....	43
IV.3. - Génesis.....	43
V. GUIA MORFOLOGICA	
V.1. - Guía Morfológica.....	45
VI. CONCLUSIONES	
VI.1. - Conclusiones.....	50
VI.2. - Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFIA	
ILUSTRACIONES	

## ILUSTRACIONES

FIGURAS		PAGINA
1.1	HEMATITA, FORMULA QUIMICA	7
2.1	RED DEL SISTEMA TRIGONAL	10
2.2	CARACTERISTICAS SIMETRICAS DEL SISTEMA TRIGONAL	12
2.3	DOMINIO FUNDAMENTAL DEL SISTEMA TRIGONAL	13
2.4	ROMBOEDRO TRIGONAL	18
2.5	SISTEMA TRIGONAL CARACTERISTICA SIMETRICA (CLASE ESCALENOEDRAL DITRIGONAL)	20
2.6	SISTEMA TRIGONAL CARACTERISTICA SIMETRICA (CLASE TRAPEZOEDRAL TRIGONAL)	22
2.7	SISTEMA TRIGONAL CARACTERISTICA SIMETRICA (CLASE PIRAMIDAL DITRIGONAL)	24
2.8	PROYECCION ORTOGONAL DE LOS ROMBOEDROS DE 1a., 2a. y 3a. ESPECIE	27
2.9	SISTEMA TRIGONAL CARACTERISTICA SIMETRICA (CLASE ROMBOEDRAL TRIGONAL)	28
2.10	SISTEMA TRIGONAL CARACTERISTICA SIMETRICA (CLASE PIRAMIDAL TRIGONAL)	30
2.11	FORMAS CRISTALOGRAFICAS QUE NO SE REPITEN EN EL SISTEMA TRIGONAL	31

FIGURAS		PAGINA
2.12	LAS NUEVE FORMAS QUE NO SE REPITEN EN EL SISTEMA TRIGONAL	33
3.1	PRINCIPALES YACIMIENTOS FERRIFEROS DE MEXICO	38
5.1	RELACION ENTRE FORMA Y -- OCURRENCIA DE LA HEMATITA	46

## FOTOGRAFIAS

- Foto No. 1 Hematita mostrando combinación de romboedros deformados.
- Foto No. 2 Hematita en la cual se presenta una combinación de romboedro positivo con un prisma trigonal.
- Foto No. 3 Hematita presentando romboedros deformados, terminados por planos paralelos al pinacoide - basal.
- Foto No. 4 Hematita pulverulenta variedad ocre Alotaxítica.
- Foto No. 5 Hematita, la cual muestra un escalenoedro deformado en combinación con romboedro positivo.
- Foto No. 6 Hematita filiforme, con desarrollo incipiente de formas escalenoedrales.
- Foto No. 7 Hematita en la que se observa una combinación de escalenoedro con romboedro positivo
- Foto No. 8 Hematita mostrando combinación de romboedro positivo con escalenoedro.
- Foto No. 9 Hematita con estructura botroidal
- Foto No. 10 Hematita que presenta una combinación de prisma trigonal con pinacoide basal.

CAPITULO I  
INTRODUCCION

Lector, si no llegas a creer lo que voy a contarte, no me sorprendería, porque yo mismo, que lo he visto, apenas si lo creo.

DANTE, Infierno, Canto XXV

## I. 1. - GENERALIDADES DEL TRABAJO

Dada la necesidad que existe en un país en vía de desarrollo como México, de contar con grandes reservas de minerales importantes para la industria, se hace vital enfocar los esfuerzos hacia la exploración de yacimientos minerales básicos para el crecimiento de esa industria. Es por esta razón que el fin del presente trabajo pretende contribuir en este caso, a la exploración de los yacimientos de hierro.

Aunque actualmente se están explotando minerales no metálicos en cantidades mayores respecto a los metálicos, el hierro sigue siendo elemento importante en todos los niveles de la ciencia y técnicas modernas.

Es imprescindible enfatizar la importancia de la exploración, ya que en general, ésta es incompleta, dando como resultado explotaciones sin aprovechamiento óptimo.

El intento de este trabajo pretende que la metodología propuesta sirva como ayuda para incrementar las posibilidades de éxito en la prospección minera, específicamente en la exploración de yacimientos minerales de hierro, por lo que se recomienda iniciar el estudio morfológico de la hematita, ya que puede ser una

herramienta de exploración de bajo costo y con posibilidades de éxito. En las zonas mineras visitadas por el suscrito, se comprobó la inexistencia de un orden sistemático de especímenes, relacionados con una explotación racional.

No está por demás insistir, en que para que una exploración tenga resultados óptimos, será necesario utilizar todas las herramientas disponibles, sin considerar el costo de éstas, ya que como cita Germán Arriaga en su trabajo Clasificación Actualizada de Yacimientos Minerales, (1980), una frase de H. Pelissonier: "Para encontrar minas es necesario mucho corazón y la disponibilidad ilimitada del dinero de otros".

## 1.2. - OBJETIVO DEL TRABAJO

Este trabajo tiene como propósito aportar un método más en el proceso de exploración de yacimientos minerales, especialmente en los yacimientos ferríferos, considerando que las diferentes formas cristalográficas de la hematita pueden servir de pauta como guía mineralógica, tomando en cuenta que a cada forma cristalográfica, le corresponde una temperatura diferente, siempre dentro de un rango determinado que no podrá exceder el límite establecido para esta especie mineralógica, obteniendo al unir puntos con la misma cristalografía un mapa que proporcione

información sobre la posibilidad de explotación del yacimiento, ya - que cada forma estará también en correspondencia con el contenido de mineral.

### I. 3. - ANTECEDENTES

Como no sean datos muy generalizados, se puede asegurar que se carece de elementos fidedignos que hayan servido como base para este trabajo. Consecuentemente, todo lo elaborado es - producto de observaciones hechas por el suscrito, así como de comparaciones morfológicas llevadas a cabo entre los modelos ideales y los cristales euedrales, localizados en algunas colecciones. Por tanto, se cree que se trata de un trabajo original no susceptible de localizarse no solamente en libros de texto conocidos hasta la fecha, sino inclusive en revistas especializadas de cualquier nacionalidad.

Sin embargo, es de hacerse notar que el antecedente - teórico en el que se sustenta este trabajo, lo constituye la primera ley de la cristalografía descubierta por Steno y la cual dice que en los cristales de la misma sustancia, los ángulos entrecaras o aristas correspondientes son iguales, a igualdad de temperatura y presión. La forma y magnitud de las caras tanto relativa como - absoluta, no tienen influencia. Cabe aclarar que este trabajo está sujeto a modificaciones y mejoras en la misma magnitud en que se

desarrollen las técnicas de estudio de los cristales, dado que la ciencia se encuentran en plena evolución.

#### I. 4. - PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Tomando como base la definición de mineral la cual dice que se trata de una sustancia que se forma por la conjunción de características físicas tales como presión, temperatura y ocasionalmente espacio, así como de características químicas determinadas por una fórmula bien definida. Se tienen para el caso particular de la hematita, las siguientes propiedades:

##### FISICAS:

Sistema: Trigonal

Clase: Escalenoedra

Fractura: Concoída

Raya: Rojo cereza a pardo rojizo

Color: Gris acero a negro de hierro

P.E: 5,2 a 5,3

Dureza: 6.5

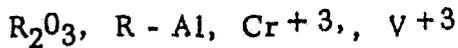
Variedades:

Cristalinas: especular, cristalizada

\* Alotaxíticas: Ocre, fibrosa, botroidal

QUIMICAS:

Aunque existe un grupo de óxidos del sistema trigonal con fórmula general:



y que conjunta a los minerales:

Corundo

Eskolafta

Hematita y

Karelianita

Este estudio se refiere exclusivamente al mineral conocido como hematita y cuya fórmula química se observa en la Fig. No. 1.1, compuesta por hierro en un 69.94% y oxígeno en un 30.06%.

#### I.5. - SINOPSIS HISTORICA DE LA HEMATITA

##### HEMATITA ( $Fe_2O_3$ )

(Blood-stone) pt. Theophrastus (325 B. C.); Dioscorides 5,143; A.D. 40). Haematites - pt. Pliny (36,28,38, A.D. 77). -- Galenae genus tertium omnis Metallī inanissimum, Eī senglanz, Hae

---

\* Nombre propuesto por Raúl Ortiz Asiain para sustituir el término amorfo.

matites pt., Germ. Blutstein, Glaskopf Agricola (465, 468, 1546). Speglande Jernmalm, Minera ferrispecularis. Haematites ruber, - Ochra rubra Wallerius (259-266, 1747). Rotheisenstein Järnmalm triturarubra Speglande Eisenglimmer, Haematites ruber, Ochra pt. Cronstedt (178-185-1758).

Specular Iron; Red Hamatite. Red Ocher. Specularite - Fer speculaire, Hematite rouge, Sanguine Fr. Eisenglanz, Roth -- Eisenstein, Rother Glaskopf, Rother Eisenrahm Werner (Bergm. J., 1789). Iron Glance, Red Iron Ore. Red Oxide of Iron, Micaceous - Iron Ore. Fer oligiste, Fer Oxydé rouge Hally (1801) Basonomelane Pt. Kobell (318, 1838). Hämatit Hausmann (in Haidinger) (552, --- 1845 A); Hausmann (232, 1847). Jernglanz, Röd Jernmalm, Blodsten, Rödmalm Swed. Ematite rossa, Oligisto, Ferro specolare Ital. He matita rojo, Hierro oligisto Span. Hematogelite Tucan (Cbl. Min., 65, 1913). Hematitogelite.

Martite Breithaupt (Schweigger's J., 54, 158, 1828; 233, 1832); Eisenoxyd Haidinger (Ann Phys., 11, 188, 1827). Turgite -- Hermann (J. Pr. Chem., 33, 96, 1844). Hydiohämatit Breithaupt (846, 1847).

Tomada de Dana's Sistem of Mineralogy. Vol. I, 7a. - Edition (1952).

CAPITULO II  
SISTEMA, CLASES Y GRUPO ESPACIAL

"Men love to wonder and that is the  
seed of our science."

Emerson

VALENCIA DEL HIERRO  
ES TRES, EL SIGNO MAS  
SIGNIFICA QUE DONA  
ELECTRONES

VALENCIA DEL OXIGENO ES DOS  
EL SIGNO MENOS SIGNIFICA  
QUE RECIBE ELECTRONES

ELEMENTO  
POSITIVO (Catión)

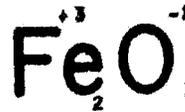
ELEMENTO  
NEGATIVO (Anión)

Fe DE FERRUM  
PARA HIERRO

TRES ATOMOS DE OXIGENO

DOS ATOMOS  
DE HIERRO

SIMBOLO PARA EL  
OXIGENO



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

UNAM

HEMATITA FORMULA QUIMICA

ANTONIO AQUINO

1991

1.1

## II. 1. - SISTEMAS CRISTALINOS

Atendiendo a su forma externa, resultante de la ordenación geométrica de los átomos lo cual constituye una característica de cada mineral, éstos se han dividido para su estudio en siete grupos, llamados desde los primeros tiempos de esta ciencia, SISTEMAS CRISTALINOS, designación que modernamente se ha sustituido por la de SINGONIAS, que da mayor precisión al verdadero concepto cristalográfico de estas agrupaciones de categoría superior que a su vez asocian clases de simetría, y éstas a grupos espaciales.

### SISTEMAS CRISTALINOS

1. - Sistema Cúbico
2. - Sistema Exagonal
3. - Sistema Trigonal
4. - Sistema Tetragonal
5. - Sistema Ortoclínico
6. - Sistema Monoclínico
7. - Sistema Triclínico

A continuación se describe todo lo relacionado con el sistema trigonal, ya que en el mismo se ubica el mineral Hematita, objeto de este estudio.

## II. 2. - RED DEL SISTEMA TRIGONAL

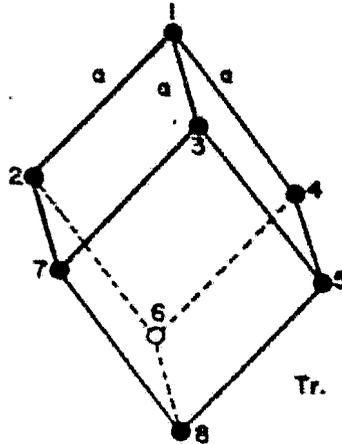
Frankenheim dedujo la posibilidad de 14 redes elementales, o redes de traslaciones con la misma simetría de las clases holoédricas de las singonías cristalinas. Por entrecruzamiento de cierto número de redes iguales, resultan redes complejas, o conjuntos reticulares, cuya simetría es la de los 230 grupos de operaciones.

El cuerpo elemental o paralelepípedo simple, es la menor pieza con la cual puede engendrarse la red; sus aristas son los ejes del sistema coordinado.

Para el Sistema Trigonal en particular, su red está constituida por un paralelepípedo propiamente elemental (Fig. No. 2.1), - esto es, que solamente tiene puntos de la red en los vértices, es decir, se trata de un romboedro.

## II. 3. - EL SISTEMA TRIGONAL CONSIDERADO COMO HEMIEDRIA DEL SISTEMA EXAGONAL

Desde el momento que este sistema admite los ejes cristalográficos de Bravais, se concibe la posibilidad de considerar sus formas como derivadas de las del Sistema Exagonal, por supresión de dominios fundamentales, de forma que el eje senario se trans--



Existe una sola clase de red en este sistema, de malla simple romboédrica, Tr.

<b>U N A M</b>		FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL	
	RED DEL SISTEMA TRIGONAL	
ANTONIO AQUINO		<small>PRIMA</small> 1988

forme en ternario. (Fig. No. 2. 2).

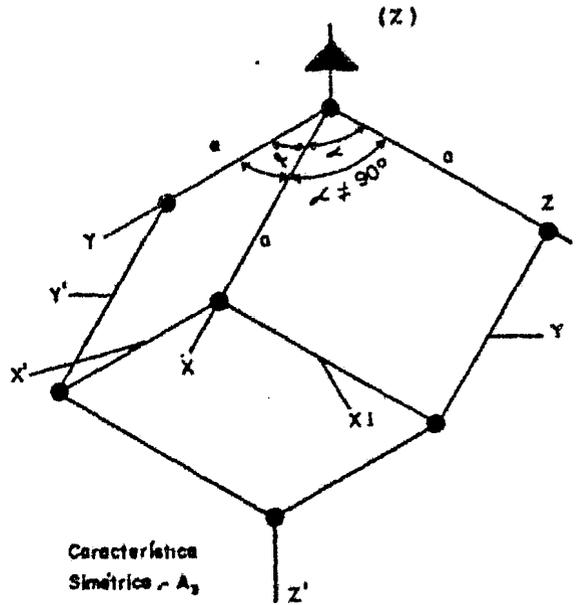
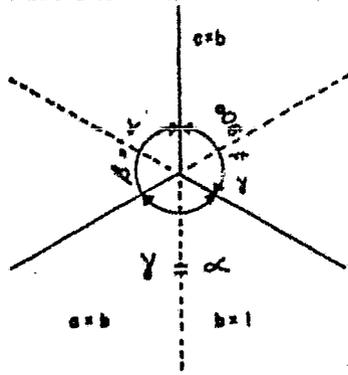
Dos son las posibilidades que se presentan para ello:-

a) Suprimir dominios fundamentales agrupados de dos en dos alternativamente arriba y abajo del plano H (Fig. No. --- 2. 3. A), con lo cual resulta un eje ternario (giral), se conserva el centro y quedan tres ejes binarios. Así resulta la clase escalenoédrica díttrigonal que corresponde a la  $3m$ , y se suele tomar como holoédrica del sistema trigonal.

b) Suprimir dominios fundamentales de dos en dos simultáneamente arriba y abajo, de forma que el eje ternario resulte ternario (Fig. No. 2. 3. B). De esta forma se conserva el plano H, pero se pierde el centro; el eje ternario es ahora giroidal y quedan además, tres ejes binarios. Así resulta la clase bi-piramidal díttrigonal, que corresponde a la  $3s$ , y que también se podría tomar como holoédrica.

Es de notar que estas dos clases correspondientes a los ritmos giral y giroidal, son independientes, sin que sea posible la derivación de una a partir de la otra.

PROYECCION ESTEREOGRAFICA. Esta proyección se -



Constantes Cristalográficas  
y Cruz Axial.

$$a=b=c$$

$$\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$$

$$a_1=a_2=a_3 \neq c$$

$$\alpha=\beta=90^\circ$$

$$\gamma=120^\circ$$

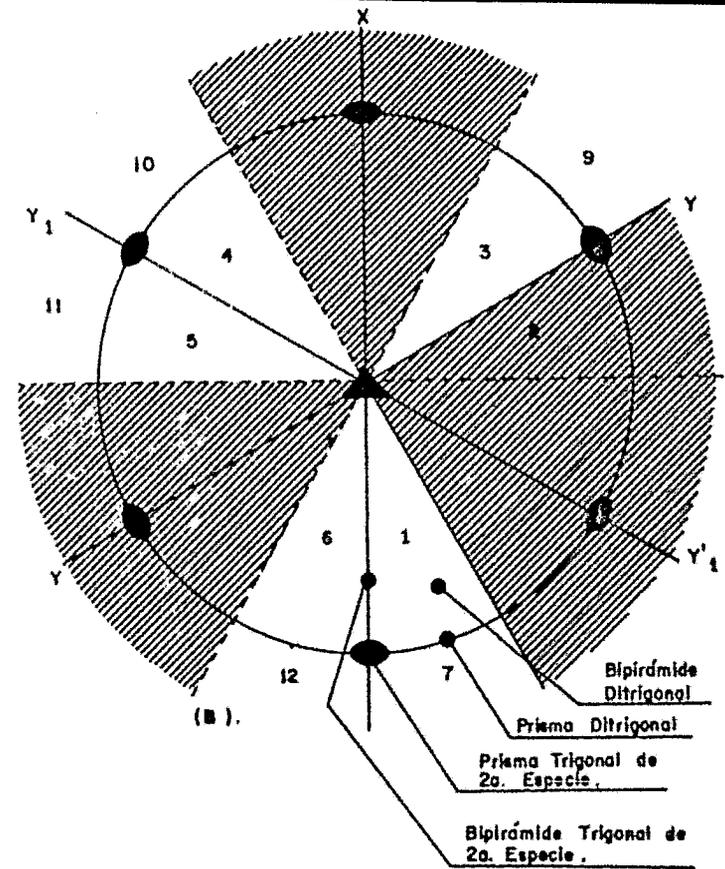
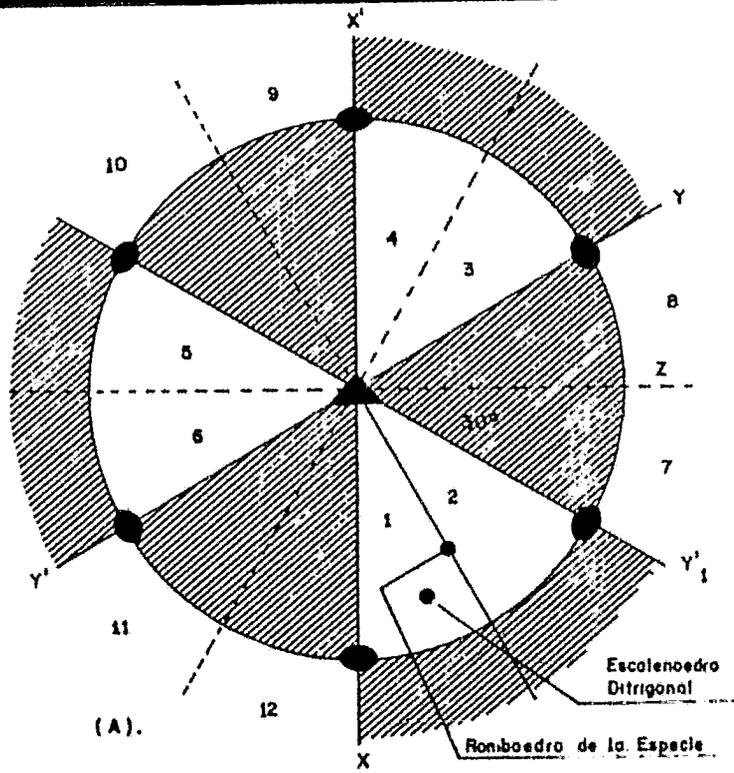
Sistema Trigonal o Dimétrico

Dom. Fund.

Elementos de Simetría de cada clase.

1- Escalenoédral Ditrigonal	12	$A_3, 3E_2, 3P, C$
2- Trapezoédral Trigonal	6	$A_3, 3P$
3- Piramidal Ditrigonal	6	$A_3, 3H_2$
4- Rombocédral Trigonal	6	$A_3, C$
5- Piramidal Trigonal	3	$A_3$

	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
UNAM	.CARACTERISTICAS SIMETRICAS DEL .SISTEMA TRIGONAL Y CONSTAN- TES CRISTALOGRAFICAS .	
	ANTONIO AGUIÑO	FECHA 1981 FORMAL T.T.



El sistema Trigonal, considerado como hemiedria del Exagonal. A, Hemiedria correspondiente a la clase Escalenoedro ditrigonal B, Hemiedria correspondiente a la clase bi-piramidal ditrigonal. En el dibujo se aprecia la posición de los polos en el dominio fundamental.

<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	<b>DOMINIO FUNDAMENTAL DEL SISTEMA TRIGONAL</b>	
	ANTONIO AQUINO	FECHA 1981

hace sobre un plano perpendicular el eje ternario. Los planos de simetría estarán representados por tres diámetros equidistantes. Los tres ejes binarios se proyectarán en los extremos de los diámetros. El eje ternario estará representado en el centro del círculo fundamental (Fig. No. 2.3). Todo como en el Sistema Exagonal.

## II. 4. - CLASES Y FORMAS DEL SISTEMA TRIGONAL

### 1. - CLASE ESCALENOEDRAL DITRIGONAL (Holoedria)

#### FORMAS CRISTALOGRAFICAS

Escalenoedro Ditrígono

Romboedro Trigonal de 1a. Especie

Bipirámide Exagonal de 2a. Especie

Prisma Diexagonal

Prisma Exagonal de 1a. Especie

Prisma Exagonal de 2a. Especie

Pinacoide Basal

### 2. - CLASE TRAPEZOEDRAL TRIGONAL (Hemiedria Enantiomórfica)

#### FORMAS CRISTALOGRAFICAS

Trapezoedro Trigonal

Romboedro Trigonal de 1a. Especie

Bipirámide Trigonal de 2a. Especie

Prisma Ditrigonal

Prisma Exagonal de 1a. Especie

Prisma Trigonal de 2a. Especie

Finacoide Basal

3. - CLASE PIRAMIDAL DITRIGONAL (Hemiedría Hemimórfica)

FORMAS CRISTALOGRAFICAS

Hemipirámide Ditrigonal

Hemipirámide Exagonal de 1a. Especie

Hemipirámide Trigonal de 2a. Especie

Prisma Ditrigonal

Prisma Exagonal de 1a. Especie

Prisma Trigonal de 2a. Especie

Pedión Basal

4. - CLASE ROMBOEDRAL TRIGONAL (Hemiedría Paramórfica)

FORMAS CRISTALOGRAFICAS

Romboedro Trigonal de 3a. Especie

Romboedro Trigonal de 1a. Especie

Romboedro Trigonal de 2a. Especie

Prisma Exagonal de 3a. Especie

Prisma Exagonal de 1a. Especie

Prisma Exagonal de 2a. Especie

Pinacoide Basal

#### 5. - CLASE PIRAMIDAL TRIGONAL (Tetartoedria)

##### FORMAS CRISTALOGRAFICAS

Hemipirámide Trigonal de 3a. Especie

Hemipirámide Trigonal de 1a. Especie

Hemipirámide Trigonal de 2a. Especie

Prisma Trigonal de 3a. Especie

Prisma Trigonal de 1a. Especie

Prisma Trigonal de 2a. Especie

Pedión Basal

#### II. 5. - DESCRIPCION DE CLASES Y FORMAS

##### CLASE ESCALENOEDRAL DITRIGONAL (Holoedria)

Esta clase carece de plano principal H porque el eje ternario, por ser de orden impar, a pesar de coexistir con centro de simetría no fuerza su aparición, contrariamente a lo que ocurre en todos los demás sistemas en que existe un eje de orden par.

El dominio fundamental está limitado por un plano de simetría y dos cristalográficos y en dos de sus vértices están situados el eje ternario y uno binario. Su número es:

$$N = 2 (1 + (3 - 1)1 + (2 - 1) 3) = 12$$

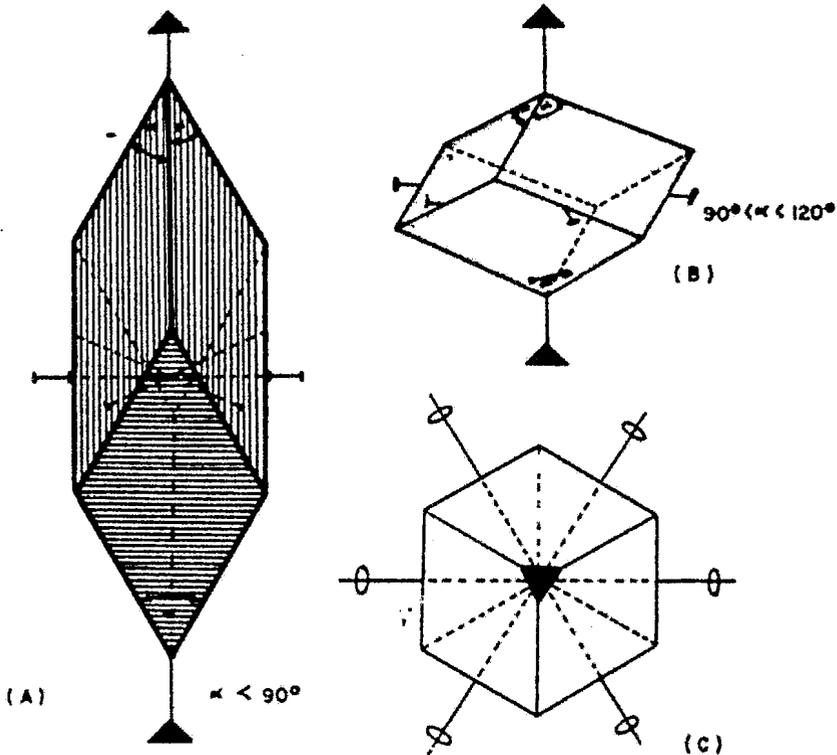
Si el polo se sitúa en el vértice que contiene al eje ternario, resulta el pinacoide básico; si cae sobre el plano de simetría, se tiene el romboedro y si ocupa la posición general, dentro del dominio, se obtiene el escalenoedro ditrigonal. Cualquier otra posición origina formas geométricas idénticas a las estudiadas en el Sistema Exagonal.

#### ROMBOEDRO TRIGONAL DE 1a. ESPECIE

Es un poliedro que consta de seis caras rómbicas (Fig. No. 2.4), limitadas por 12 aristas de las que seis son polares en dos grupos de tres, y las seis restantes son ecuatoriales en zigzag; todas iguales. De sus ocho vértices triédricos, dos están formados por las aristas polares y los seis restantes por dos aristas - ecuatoriales y una polar.

El eje ternario une los dos vértices triédricos de aristas polares. Los binarios unen puntos medios de aristas ecuatoriales opuestas. Los planos de simetría pasan por las aristas polares.

El romboedro de primera especie se orienta colocando vertical el eje ternario y uno binario cualquiera, que coincide con uno cristalográfico hacia adelante, para lo cual basta colocar en la -



- A) ROMBOEDRO AGUDO
- B) ROMBOEDRO OBTUSO
- C) UN ROMBOEDRO CUALQUIERA, EN PROYECCION ORTOGONAL SOBRE UN PLANO PERPENDICULAR AL EJE TERNARIO, QUE ORIGINA UN CONTORNO EXAGONAL REGULAR.

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>U N A M</b>	<b>ROMBOEDRO TRIGONAL</b>
ANTONIO AQUINO	FECHA 1987

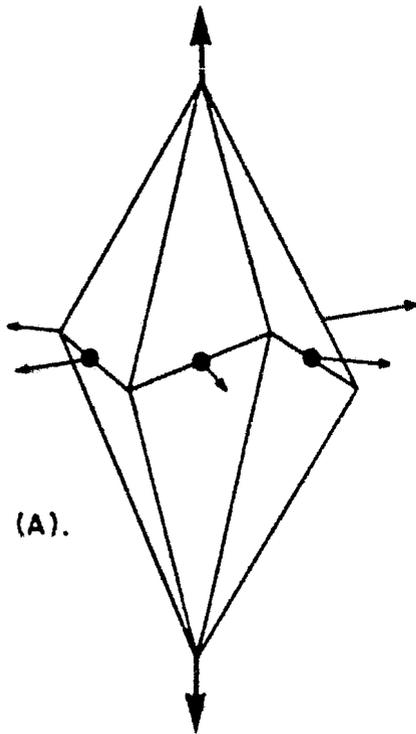
parte de enfrente, un arista ecuatorial.

El romboedro es un poliedro inconfundible por su aspecto de cubo deformado que conserva todas sus aristas iguales, pero cuyos ángulos no son rectos. En el romboedro agudo, los ángulos que forman las aristas polares son agudos, y en los vértices ecuatoriales hay dos ángulos obtusos y uno agudo. En el romboedro obtuso, los ángulos de las aristas polares son obtusos, pero menores de  $120^\circ$ , y los vértices ecuatoriales tienen dos ángulos agudos y uno obtuso. Cualquier romboedro en proyección ortogonal sobre un plano perpendicular al eje ternario, origina un contorno exagonal.

#### ESCALENOEDRO DITRIGONAL

Es un poliedro que consta de 12 caras (Ver Fig. No. 2.5.A) triángulos escalenos, limitadas por 12 aristas polares en dos grupos de seis alternativamente equivalentes y seis ecuatoriales en zigzag. De sus ocho vértices, dos son exaédricos formados por las aristas polares y los otros seis son tetraédricos con dos aristas polares y dos ecuatoriales.

El eje ternario une los dos vértices exaédricos. Los ejes binarios unen los centros de las aristas opuestas en zigzag. Los planos de simetría pasan por las aristas polares.



(A).

Las 7 Formas de la clase Escalenoedro Ditrigonal

Minerales que cristalizan en esta clase: **HEMATITA**

Calcita - Corundo - Bismuto .

(1) Escalenoedro Ditrigonal

$(h k \bar{1} l)$

(2) Romboedro Trigonal de primera especie  $(h \bar{h} 0 l)$ .

(3) Bipirámide Exagonal de segunda especie  $(h h \bar{2} h l)$ .

(4) Prisma Dhexagonal

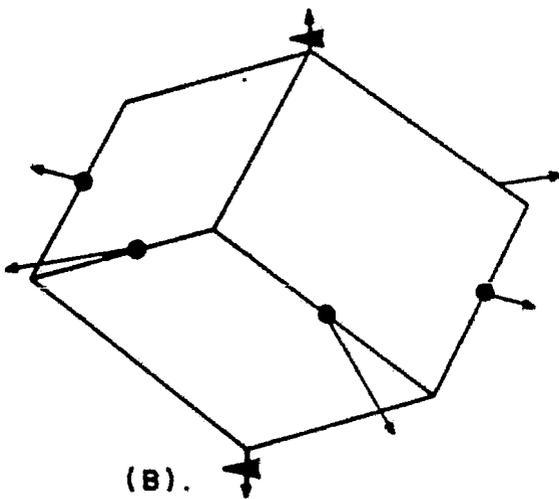
$(h k \bar{1} 0)$ .

(5) Prisma Exagonal de primera especie  $(l \bar{1} 0 0)$ .

(6) Prisma Exagonal de segunda especie  $(l l \bar{2} 0)$ .

(7) Pinacoide Basal

$(0 0 0 1)$ .



(B).



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

UNAM

SISTEMA TRIGONAL  
Característica Simétrica

ANTONIO AQUINO

FECHA  
1963

FIGURA  
2.9

Deriva de la bi-pirámide dihexagonal por supresión alterna-  
da de pares de caras adyacentes, dos en cada hemipirámide.

### PINACOIDE BASICO

Recuérdese lo dicho al estudiar esta forma en la clase  
bipiramidal dihexagonal, teniendo en cuenta que el eje senario del  
Sistema Hexagonal ha sido sustituido por el ternario en el trigonal.

### CLASE TRAPEZOEDRAL TRIGONAL (Hemiedria Enantiomór- fica)

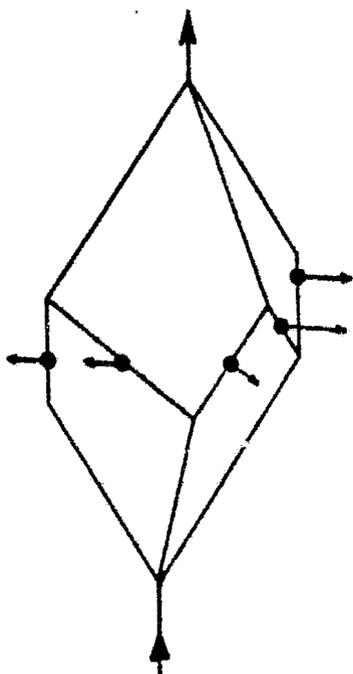
El dominio fundamental deriva del holoédrico por desapari-  
ción de los planos de simetría. Su número es:

$$N = 1 + (3 - 1) + (2 - 1) 3 = 6$$

La única forma nueva es el trapezoedro trigonal, que se ori-  
gina cuando el polo cae en el interior del dominio.

### TRAPEZOEDRO TRIGONAL

Sus seis caras son trapezoides (Fig. No. 2.6). De sus 12 -  
aristas, seis son polares (3 + 3) y seis ecuatoriales en zigzag pronun-  
ciando, alternativamente equivalentes. Su ocho vértices son triédri-  
cos, dos de ellos formados por aristas polares y los seis restantes  
formados por las tres clases de aristas.



Las 7 Formas de la Clase Trapezoedra  
Trigonal.

Minerales que cristalizan en esta clase:

Cuarzo - Cinabrio

(1) Trapezoedro Trigonal

( $h k \bar{1} 1$ )

(2) Romboedro Trigonal de primera

especie ( $h \bar{h} 0 1$ ).

(3) Bipirámide Trigonal de segunda

especie ( $h h \bar{2} \bar{1} 1$ ).

(4) Prisma Ditrigonal

( $h k \bar{1} 0$ )

(5) Prisma Exagonal de primera

especie ( $1 \bar{1} 0 0$ ).

(6) Prisma Trigonal de segunda

especie ( $1 1 \bar{2} 0$ )

(7) Pinacoide Basal

( $0 0 0 1$ ).

 <b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>SISTEMA TRIGONAL</b> Característica Simétrica
ANTONIO AQUINO	FECHA 1992 P. Hoja 2.3

El eje ternario une los vértices de aristas polares. Los binarios unen los puntos medios de las aristas ecuatoriales opuestas. Deriva del escalenoedro ditrigonal, suprimiendo caras alternas y adyacentes, una en cada hemi-pirámide.

#### CLASE PIRAMIDAL DITRIGONAL. (Hemiedria Hemimórfica)

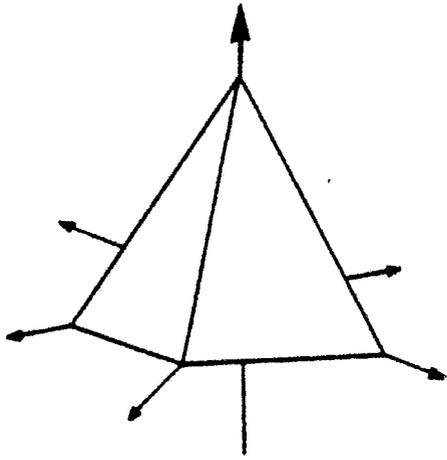
El dominio fundamental está limitado por el plano H (que no es de simetría), por el plano P y por un interplano. En uno de sus vértices tiene el eje ternario.

Si el polo está situado en el interior del dominio, resulta la hemi-pirámide ditrigonal; si se coloca sobre el plano P, se obtiene la hemi-pirámide trigonal de segunda especie; y si coincide con el eje ternario, se tendrá el pedión básico.

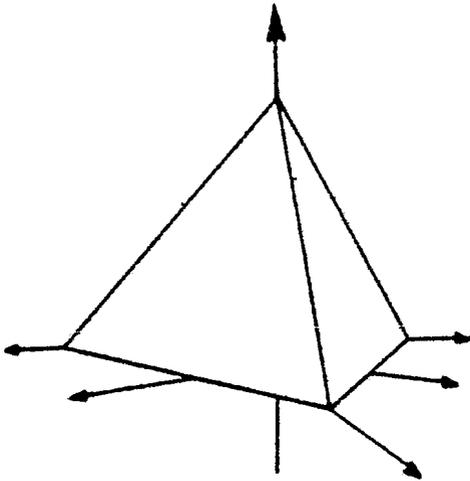
#### HEMIPIRAMIDE DITRIGONAL

Es una pirámide (Fig. No. 2.7.A) formada por seis caras, triángulos escalenos (cuando está cerrada por el pedión en su parte inferior), o más propiamente, un ángulo poliedro abierto de seis caras, cuyas aristas (diedros) son equivalentes tres a tres alternativamente.

El eje ternario es el del ángulo poliedro, y los planos P están determinados por cada dos aristas opuestas.



(A).



(B).

Las 7 Formas de la clase Piramidal y Ditrigonal .

Minerales que cristalizan en esta clase :

Turmalina - Pirargirita .

- (1) Hemipirámide Ditrigonal  
(  $h k T 1$  ).
- (2) Hemipirámide Exagonal de primera especie (  $h \bar{h} 0 1$  ).
- (3) Hemipirámide Trigonal de segunda especie (  $h h \bar{2}h 1$  ).
- (4) Prisma Ditrigonal  
(  $h k \bar{1} 0$  ).
- (5) Prisma Exagonal de primera especie (  $1 \bar{1} 0 0$  ).
- (6) Prisma Trigonal de segunda especie (  $1 1 \bar{2} 0$  ).
- (7) Pedión Básico  
(  $0 0 0 1$  ).

 <b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>SISTEMA TRIGONAL</b> Características Simétricas
	<b>ANTONIO AQUINO</b>
	<small>           PÉGINA 1983      FIGURA 2         </small>

### HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE 2a. ESPECIE

Es un ángulo triedro abierto (Fig. No. 2.7.B), (una pirámide si está limitado por el pedión), formado por tres caras iguales con diedros también iguales.

El eje ternario es el del ángulo triedro ; los planos P están determinados por cada arista y por la bisectriz de la cara opuesta del ángulo poliedro.

### PEDION TRIGONAL

Está formado por un solo plano, que siempre se encuentra combinado con otra forma también abierta, generalmente con los prismas o las hemi-pirámides.

### CLASE ROMBOEDRAL TRIGONAL (Hemiedria Paramórfica)

Se distingue su dominio fundamental porque está limitado por lados que no son planos de simetría, de los que carece esta clase.

Su número es:

$$N = (1 + (3 - 1) 1) 2 = 6$$

Si el polo cae en el interior del dominio, se tendrá el romboedro trigonal de tercera especie. Si cae sobre el plano XZ se ten

drá el romboedro trigonal de segunda especie.

### ROMBOEDRO TRIGONAL DE 2a. y 3a. ESPECIE

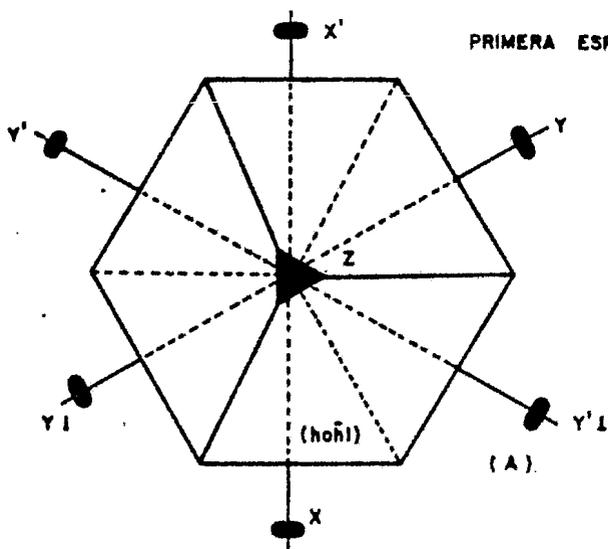
Ambos son idénticos geoméricamente al de primera especie, (Fig. No. 2. 8), del que sólo difieren por su orientación respecto a los ejes cristalográficos.

Cada romboedro deriva de una bi-pirámide exagonal de su misma especie, por supresión alterna de sus caras arriba y abajo. El de tercera especie puede derivar también del escalenoedro ditrigonal, por supresión alterna de sus caras, arriba y abajo. Como geoméricamente todos los romboedros son iguales, la presencia de uno u otro sólo se podrá demostrar cuando existan, además, caras de otro poliedro que determinen la posición de los ejes cristalográficos.

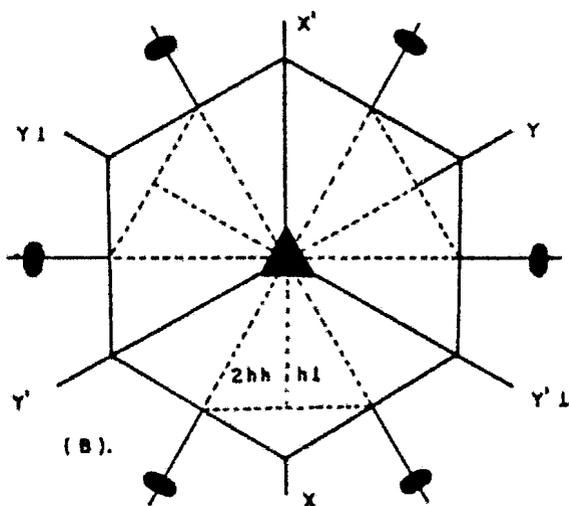
El romboedro de segunda especie (Fig. No. 2. 9. B), se orienta con el eje ternario vertical, y una cara hacia adelante en una posición girada  $30^\circ$  con relación al de primera especie. Los ejes cristalográficos salen de las caras por un punto situado sobre su diagonal vertical y a  $1/4$  de su longitud a partir del vértice inferior.

El romboedro de tercera especie (Fig. No. 2. 9. A) se orienta como el anterior, pero en una sola posición intermedia entre los

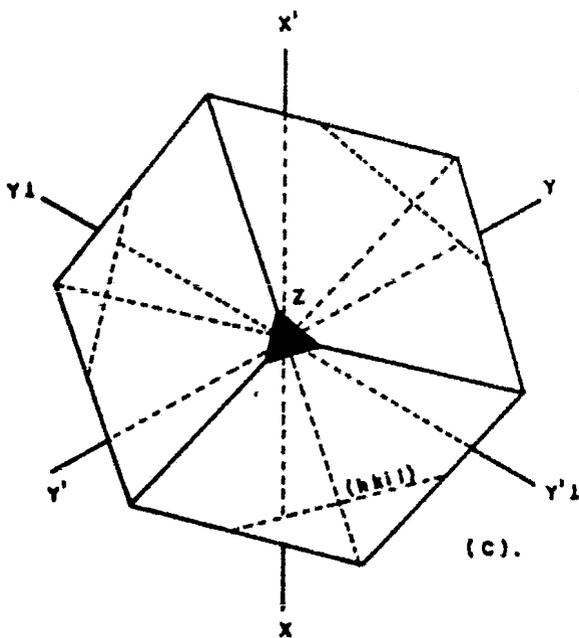
PRIMERA ESPECIE



SEGUNDA ESPECIE



TERCERA ESPECIE



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

UNAM

Proyección ortogonal, sobre un plano horizontal, de los romboedros de la 2a. y 3a. especie, con sus elementos de simetría y ejes cristalográficos, para que se pueda comparar su posición relativa.

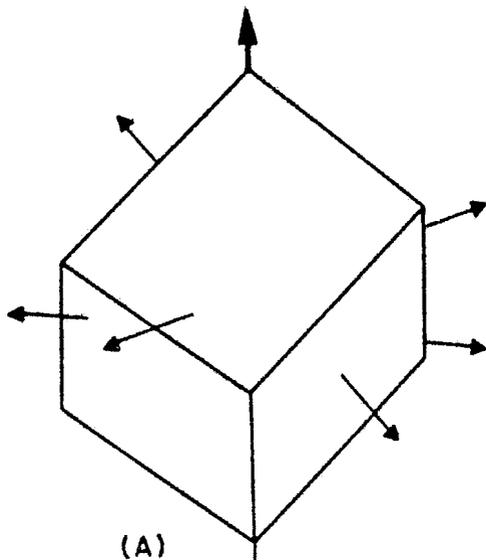
ANTONIO AQUINO

FECHA

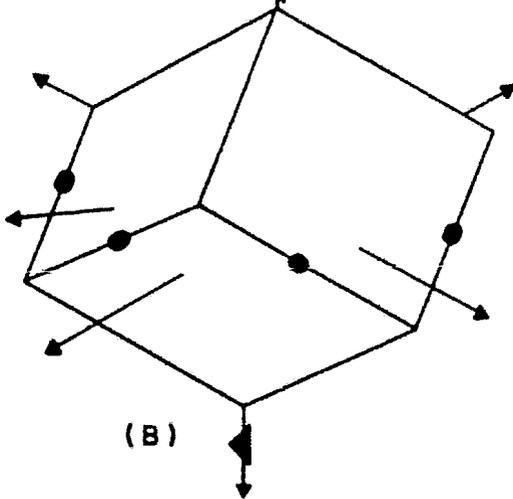
1983

FIGURA

2-9



(A)



(B)

Las 7 Formas de la Clase Romboedro Trigonal.

Minerales que cristalizan en esta clase:

Dolomita-Ilmenita-Dioptasa

- (1) Romboedro Trigonal de tercera especie  $(h k l l)$
- (2) Romboedro Trigonal de primera especie  $(h \bar{h} 0 l)$
- (3) Romboedro Trigonal de segunda especie  $(h h \bar{2}h l)$
- (4) Prisma Exagonal de tercera especie  $(h k \bar{l} 0)$
- (5) Prisma Exagonal de primera especie  $(l \bar{l} 0 0)$
- (6) Prisma Exagonal de segunda especie  $(l l \bar{2} 0)$
- (7) Pinacoide Basal  $(0 0 0 l)$



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

UNAM

SISTEMA TRIGONAL  
Característica Simétrica

ANTONIO AQUINO

FECHA  
1993

FIGURA  
2.9

de primera y segunda especie. El punto de emergencia de los ejes cristalográficos es intermedio entre el centro de las aristas ecuatoriales y el definido para el de segunda especie.

### CLASE PIRAMIDAL TRIGONAL (Tetartoedría)

Esta tetartoedría hemimórfica del sistema trigonal puede considerarse, suponiendo que este sistema sea hemiedría del exagonal, como el único caso conocido de ogdoedría.

El dominio fundamental está limitado como en la clase anterior, pero sin el plano H de simetría.

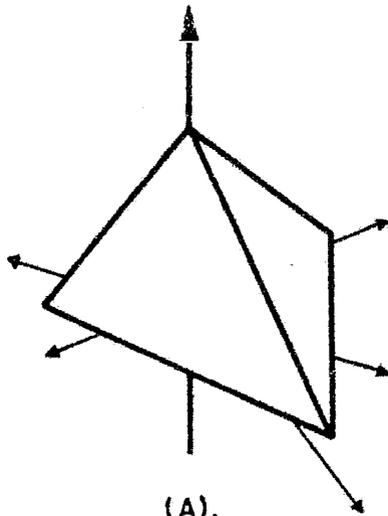
Si el polo está situado en el interior del dominio fundamental, se obtiene la hemi-pirámide trigonal de tercera especie; y si se sitúa sobre un plano cristalográfico o sobre un interplano, resultan las de segunda y primera especie respectivamente.

### HEMI-PIRAMIDES TRIGONALES DE 1a. y 3a. ESPECIE

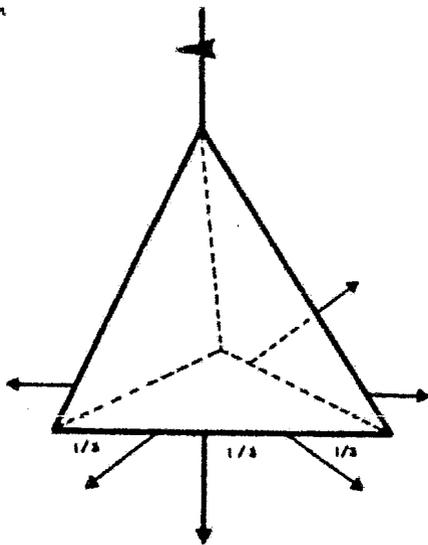
Geométricamente idénticas (Fig. No. 2.10) a la de la segunda especie, sólo se diferencian por su orientación, que es como las de las bi-pirámides de que proceden.

### II.6. - DETALLE DE LAS 35 FORMAS DEL SISTEMA TRIGONAL

En la Figura No. 2.11, se aprecian gráficamente las



(A).



(B).

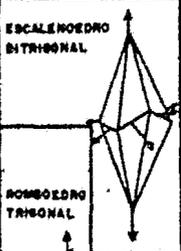
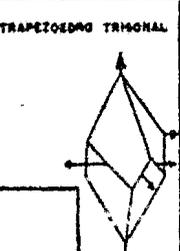
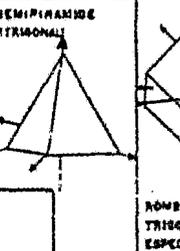
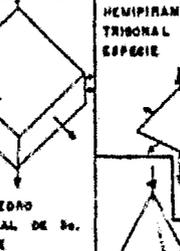
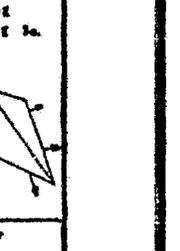
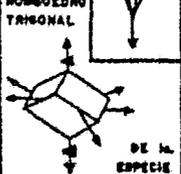
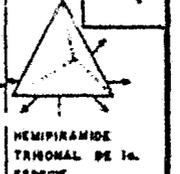
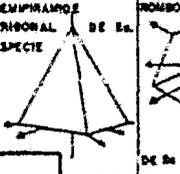
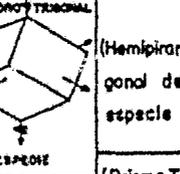
Las 7 Formas de la clase Piramidal Trigonal

Minerales que cristalizan en esta clase:

No se ha encontrado ningún mineral.

- (1) Hemipirámide Trigonal de tercera especie  $(h k \bar{1} l)$
- (2) Hemipirámide Trigonal de primera especie  $(h \bar{h} 0 l)$ .
- (3) Hemipirámide Trigonal de segunda especie  $(h h \bar{2} \bar{h} l)$ .
- (4) Prisma Trigonal de tercera especie  $(h k \bar{1} 0)$ .
- (5) Prisma Trigonal de primera especie  $(l \bar{1} 0 0)$ .
- (6) Prisma Trigonal de segunda especie  $(l \bar{1} \bar{2} 0)$ .
- (7) Pedión Básico  $(0 0 0 l)$ .

 <b>U N A M.</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
		SISTEMA TRIGONAL Característica Simétrica
		ANTONIO AQUINO
		FECHA 1983
		FIGURA 2-10

Notación de las formas (Bravais):	CLASE 3m Escalenoédrica Ditrigonal. $A^2 + 3E^2 + 3P + C$	CLASE 3a (H) Trapezoédrica Trigonal $A^2 + 3E^2$	CLASE 3d Piramidal Bitrigonal $A^2 + 3P^1$	CLASE 3p1 (H) Rombocédrica Trigonal $A^2 + C$	CLASE 3p ( $\frac{1}{2}H+T$ ) Piramidal Trigonal $A^2$
(h k l i)	ESCALENOEDRO BITRIGONAL 	TRAPEZOEDRO TRIGONAL 	HEMIPIRAMIDE BITRIGONAL 		HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE 3a. ESPECIE 
(h h̄ 0 i)	ROMBOEDRO TRIGONAL DE 1a. ESPECIE 	(Rombocedro trigonal de 1a. especie)	(Hemipiramide exagonal de 1a. especie)	(Rombocedro trigonal de 1a. especie)	HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE 1a. ESPECIE 
(h h 2h i)	(Bipirámide exagonal de 2a. especie)	(Bipirámide trigonal de 2a. especie)	HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE 2a. ESPECIE 	ROMBOEDRO TRIGONAL DE 2a. ESPECIE 	(Hemipiramide trigonal de 2a. especie)
(h k l 0)	(Prisma Dhexagonal)	(Prisma Ditrigonal)	(Prisma Ditrigonal)	(Prisma Exagonal de 3a. especie)	(Prisma Trigonal de 3a. especie)
(1 1 0 0)	(Prisma exagonal de 1a. especie)	(Prisma exagonal de 1a. especie)	(Prisma exagonal de 1a. especie)	(Prisma exagonal de 1a. especie)	(Prisma exagonal de 1a. especie)
(1 1 2 0)	(Prisma exagonal de 2a. especie)	(Prisma trigonal de 2a. especie)	(Prisma trigonal de 2a. especie)	(Prisma exagonal de 2a. especie)	(Prisma trigonal de 2a. especie)
(0 0 0 1)	(Piracoides básica)	(Piracoides básica)	(Piracoides básica)	(Piracoides básica)	(Piracoides básica)
Minerales más frecuentes que cristalizan en esta clase.	HEMATITA Calcita - Corindón Bismuto	Cuarzo - Cinabro	Turmalina Pirargirita (Sb, S, Ag)	Dolomita Imerita (TiO <sub>2</sub> , Fe) Dioptasa (SiO <sub>2</sub> , CuH <sub>2</sub> )	Peryodato sódico (ningún mineral)

<b>UNAM</b>	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	FORMAS CRISTALOGRAFICAS QUE NO SE REPITEN EN EL SISTEMA TRIGONAL.
A. TONHO AQUINO	PÁGINA 14

nueve formas diferentes que pertenecen a las cinco clases del sistema trigonal, las veintiséis restantes no se detallan gráficamente por ser repeticiones conocidas morfológicamente de las siete clases del Sistema Exagonal y en las cinco del Sistema Trigonal.

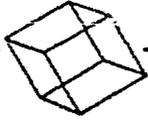
Estas nueve formas son:

1. - Escalenoedro Ditrigonal
2. - Romboedro Trigonal de 1a. especie
3. - Trapezoedro Trigonal
4. - Hemipirámide Ditrigonal
5. - Hemipirámide Trigonal de 2a. especie
6. - Romboedro Trigonal de 3a. especie
7. - Romboedro Trigonal de 2a. especie
8. - Hemipirámide Trigonal de 3a. especie
9. - Hemipirámide Trigonal de 1a. especie

Téngase en cuenta que las formas de diferente orden que para un geómetra no significan nada, para un mineralogista son básicas - en función de su ordenamiento en los yacimientos minerales.

## II. 7. - ORIGEN DE LAS FORMAS

Las nueve formas descritas en el párrafo anterior, se pueden apreciar en la Figura No. 2.12, a partir de su desarrollo y evolución de cada una de estas formas. Se observa que se parte de



ROMBOEDRO TRIGONAL DE PRIMERA ESPECIE

ROMBOEDRO TRIGONAL DE TERCERA ESPECIE

ESCALENOEDRO DITRIGONAL

ROMBOEDRO TRIGONAL DE SEGUNDA ESPECIE

TRAPEZOEDRO TRIGONAL

HEMIPIRAMIDE DITRIGONAL

HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE TERCERA ESPECIE

HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE SEGUNDA ESPECIE

HEMIPIRAMIDE TRIGONAL DE PRIMERA ESPECIE

Deriva del escalenoedro ditrigonal suprimiendo caras alternas y adyacentes, una arriba y otra abajo

Deriva de la bipirámide dihexagonal supresión alterna de pares de caras adyacentes, dos en cada hemipirámide.

Cada romboedro deriva de una bipirámide exagonal de su misma especie por su presión alterna de sus caras-arriba y abajo. El de tercera especie puede derivar también del escalenoedro ditrigonal por su presión alterna de sus caras, arriba y abajo.



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

UNAM

LAS NUEVE FORMAS QUE NO SE REPITEN EN EL SISTEMA TRIGONAL.

ANTONIO AQUINO

FECHA

1953

PAGINA

22

la forma llamada bi-pirámide dihexagonal que constituye la hemiedra corresponde al sistema.

## II. 8. - DETALLE DE LOS GRUPOS ESPACIALES

Es necesario recordar que los sistemas cristalinos, para su estudio se dividen en clases de simetría y por último en grupos espaciales, es decir, que los siete sistemas cristalinos o singulares se dividen a su vez en 32 clases, y éstas en 230 grupos espaciales. A continuación se detallan los grupos espaciales que pertenecen a las 5 clases del Sistema Trigonal, e independientemente de la nomenclatura que puede variar de acuerdo con el autor, se puede definir grupo espacial como la totalidad de combinaciones que presentan los elementos de simetría de una clase de cualquier sistema en general.

### GRUPOS ESPACIALES QUE PERTENECEN AL SISTEMA TRIGONAL

#### Clase Escalenoedra Ditrigonal

D 1/3d	- $P\bar{3}m$
D 2/3d	- $P\bar{3}c$
D 3/3d	- $P\bar{3}m$
D 4/3d	- $P\bar{3}c$
D 5/3d	- $R\bar{3}m$
D 6/3d	- $R\bar{3}c$

Clase Trapezoedral Trigonal

D 1/3	- P32
D 2/3	- P32
D 3/3	- P3 <sub>1</sub> 2
D 4/3	- P3 <sub>1</sub> 2
D 5/3	- P3 <sub>2</sub> 2
D 6/3	- P3 <sub>2</sub> 2
D 7/3	- R32

Clase Piramidal Ditrigonal

C 1/3v	- P3 <sub>m</sub>
C 2/3v	- P3 <sub>m</sub>
C 3/3v	- P3 <sub>c</sub>
C 4/3v	- P3 <sub>c</sub>
C 5/3v	- R3 <sub>m</sub>
C 6/3v	- R3 <sub>c</sub>

Clase Romboedral Trigonal

C 1/3i,	S 1/6	- P $\bar{3}$
C 2/3i,	S 2/6	- R $\bar{3}$

Clase Piramidal Trigonal

C 1/3	- P3
C 2/3	- P3 <sub>1</sub>

C 3/3                    - P3<sub>2</sub>  
C 4/3                    - R3

CAPITULO III  
LOCALIDADES MEXICANAS

"Iron is the principal metal employed  
in modern industrial civilizations"

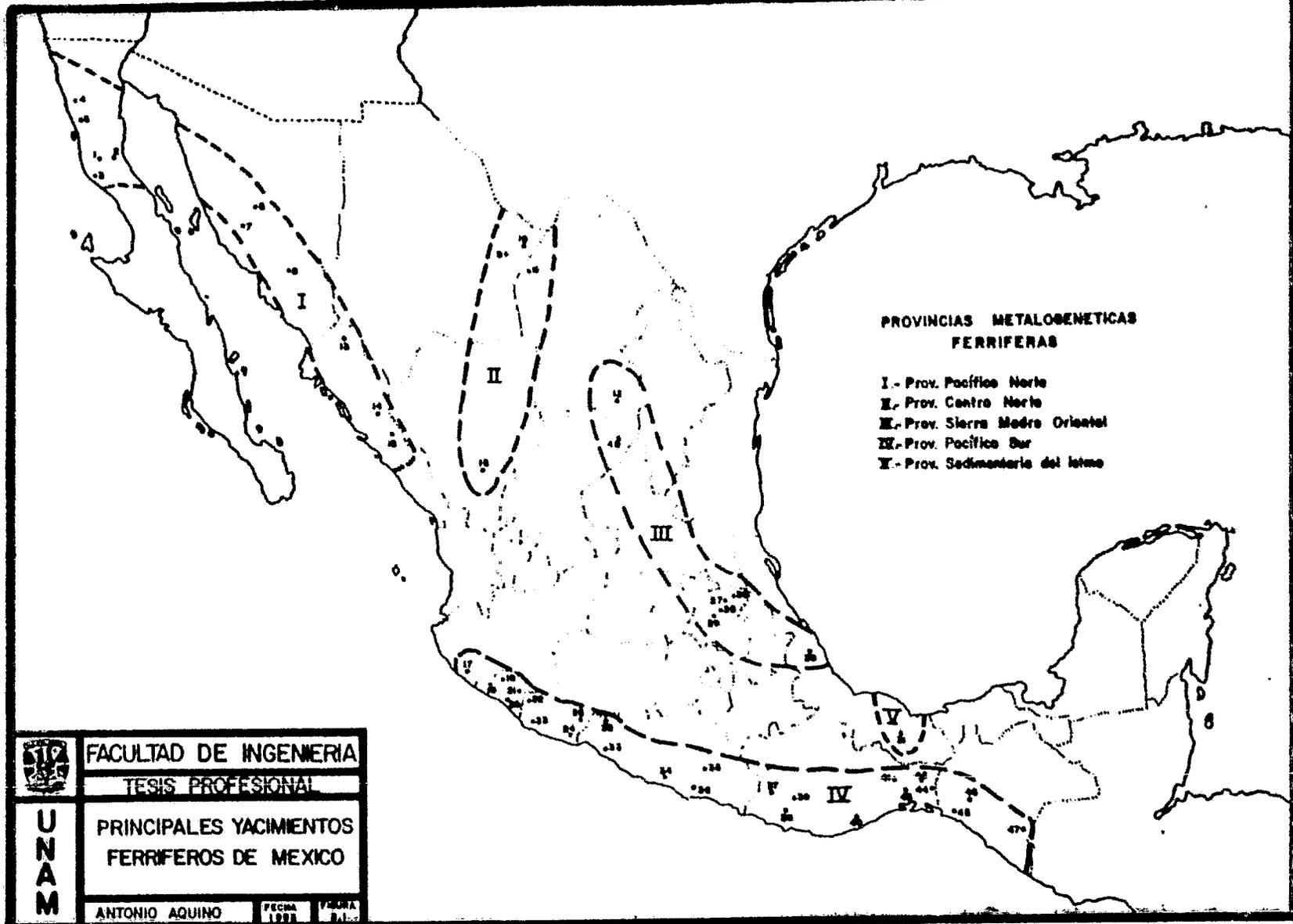
Klemic, James and Eberlein

### III.1. - PROVINCIAS METALOGENICAS

La distribución geográfica de los principales yacimientos ferríferos de la República Mexicana (Fig. No. 3.1), se puede agrupar en provincias metalogénicas que contengan yacimientos con características geológicas similares, con base en esto se obtiene la siguiente zonificación ferrífera propuesta por G. Arriaga y el autor.

I. - Provincia Pacífico Norte. Se encuentra localizada en la parte norte del Estado de Baja California Norte continuando hacia el sur por las costas de los Estados de Sonora y más de la mitad del Estado de Sinaloa; en esa provincia los yacimientos ferríferos se encuentran relacionados con una gran variedad de fenómenos geológicos dando como resultado, yacimientos de tipo pirometasomáticos, y vulcano-sedimentarios principalmente, cabe hacer mención que esta provincia está poco estudiada y en general se desconoce.

II. - Provincia Centro Norte. Esta provincia comprende los Estados de Chihuahua, Coahuila y Durango, los yacimientos ahí localizados están asociados con un vulcanismo de tipo alcalino, con teniendo una fuerte cantidad de fósforo, las rocas características que se encuentran son: ignimbritas y traquitas.



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

U  
N  
A  
M

PRINCIPALES YACIMIENTOS  
FERRIFEROS DE MEXICO

ANTONIO AQUINO

FECHA  
1988

PAGINA  
1-12

III. - Provincia Sierra Madre Oriental. Situada en la parte oriente del país, comprende la parte sur de los Estados de Coahuila y Nuevo León la parte central de San Luis Potosí. Parte de los Estados de Querétaro, Veracruz y Puebla, así como todo el Estado de Hidalgo. En esta provincia, los yacimientos están asociados a una sedimentación de tipo calcáreo en presencia de intrusivos calcoalcalinos de tipo granodiorítico, dando como resultado yacimientos de tipo pirometasomático.

IV. - Provincia Pacífico Sur. Se presenta a lo largo de la vertiente continental del pacífico desde los Estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Existe una intercalación de rocas volcánicas calcoalcalinas (andesitas y dacitas) y rocas sedimentarias de tipo calcáreo, resultando yacimientos pirometasomáticos, los cuales presentan como particularidad una riqueza en azufre y pobreza en fósforo.

V. - Provincia Sedimentaria del Istmo. Localizada en la parte occidental de la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec, esta provincia está asociada a eventos sedimentarios, teniendo como característica la presencia de hematita y limonita.

Por lo que respecta a su aspecto económico, las de mayor interés son la Provincia Pacífico del Sur y la Provincia Centro Norte.

### III. 2. - PRINCIPALES YACIMIENTOS FERRIFEROS DE MEXICO

1. - El Gato Cu (Fe)

2. - Sn. Fernando Cu (Fe)

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 3. - Sta. Ursula (Fe)      | 4. - San Antonio del Mar<br>Au, Cu, (Fe) |
| 5. - Hércules Coloso (Fe)  | 6. - El Chorro (Fe)                      |
| 7. - Piedras Negras (Fe)   | 8. - Piedra Imán-El Volcán (Fe)          |
| 9. - La Perla (Fe)         | 10. - San Miguel Cu Fe                   |
| 11. - Hércules (Fe)        | 12. - Gral. Cepeda Ti, Fe (Sr)           |
| 13. - Sto. Tomás Cu, Fe    | 14. - Lechuguilla Fe (Cu)                |
| 15. - Los Vasitos Fe (Cu)  | 16. - Cerro de Mercado Fe                |
| 17. - La Huerta Fe         | 18. - Peña Colorada Fe                   |
| 19. - Los Cordones Fe      | 20. - Coyutlan Fe, Ti                    |
| 21. - Pisila Fe            | 22. - Las Trojes Fe                      |
| 23. - La Guayabera Fe      | 24. - Las Truchas Fe                     |
| 25. - Los Pozos Fe (Cu)    | 26. - Sta. María Fe (Cu)                 |
| 27. - Jacala Cu (Fe)       | 28. - Minas Viejas Fe, Cu                |
| 29. - Encarnación Fe, Cu   | 30. - Tatatila Fe                        |
| 31. - Almagres Fe          | 32. - Colmilluda Cu (Mo, Fe)             |
| 33. - El Tibor-Chutla Fe   | 34. - La Calera Fe                       |
| 35. - El Violín Fe         | 36. - Las Papas Fe                       |
| 37. - Purificación Fe      | 38. - Ixtayutla Fe                       |
| 39. - Sta. María Zaniza Fe | 40. - La Esperanza Fe                    |
| 41. - Totolapilla Fe       | 42. - Niltepec Fe                        |
| 43. - La Ventosa Fe        | 44. - Tapanatepec                        |
| 45. - Arriaga Fe, Cu (Mg)  | 46. - C. Colorado Fe, Cu                 |
| 47. - Tolimán Fe, Ti       | 48. - Concepción del Oro Fe, Cu, Au.     |

CAPITULO IV  
PARAGENESIS Y GENESIS

Profundo error creer que no hay algo  
por descubrir, equivale a tomar el -  
horizonte por el límite del mundo.

Lemierre

#### IV.1. - PARAGENESIS

Antes de entrar a discutir el problema se definen algunos términos:

Paragénesis. Este término fue creado en 1849 por -- Breithaupt para definir la asociación de minerales resultantes de un proceso geológico determinado. Por tanto, un depósito puede com-- portar varias paragénesis no contemporáneas yuxtapuestas.

Sucesión. Define el orden según el cual se depositaron los minerales de una paragénesis durante el desarrollo de un proceso geológico.

Zoneamiento. Cualquier rasgo regular en la distribución de los minerales o elementos en el espacio y lo pueden presentar un cuerpo mineral, un distrito minero o una región más extensa.

Es importante tomar en cuenta estas definiciones, ya que actualmente hay errores en cuanto a la interpretación y utilización de éstas. De acuerdo a ciertas escuelas que siguen los distintos autores que se dedican al estudio de los yacimientos minerales. Por ejemplo el término paragénesis como se emplea en los Estados Unidos, es la distribución en el tiempo o la secuencia de minerales o elementos. Paragénesis como se usa ampliamente en Europa es una asociación de minerales que tienen un origen común.

Como se puede apreciar los autores americanos consideran al término paragénesis como sinónimo de sucesión.

Como lo menciona Germán Arriaga (obra citada), es necesario liquidar este error, ya que el concepto de paragénesis es un dato totalmente objetivo y susceptible de ser conocido, en tanto se estudia la mineralogía de un depósito; mientras que la sucesión es una concepción de alguna manera hipotética y factible de ser reformada en cuanto se intensifique el conocimiento del depósito.

El zoneamiento se puede manifestar por cambios mineralógicos tanto en sentido vertical como horizontal, de una determinada área mineralizada. La diversificación en zonas se manifiesta por diferencias en las especies minerales, en los elementos metálicos, en el porcentaje de un determinado elemento, e inclusive en las proporciones relativas entre ciertos elementos; pero cualquiera que sea la relación que se emplee para definir una zona, debe tenerse siempre en mente que paragénesis, sucesión y zoneamiento, son aspectos del mismo fenómeno o grupo de fenómenos.

En este trabajo por no tratarse del estudio de un yacimiento en particular, no se puede determinar alguna paragénesis característica de algún yacimiento ferrífero. Sin embargo, se muestra una lista con los minerales que tienen cierto valor económico y que de alguna manera forman parte de alguna paragénesis, dependiendo

del tipo de yacimiento del cual se trate.

#### IV. 2. - PRINCIPALES MINERALES DE HIERRO QUE OCURREN EN CONCENTRACIONES DE VALOR ECONOMICO

Hematita	a $Fe_2O_3$
Magnetita	$Fe^{+2}Fe_2^{+3}O_4$
Goethita	a $FeO(OH)$
Siderita	$FeCO_3$
Jarosita	$KFe_3^{+3}(SO_4)_2(OH)_6$
Marcasita	$FeS_2$
Pirita	$FeS_2$
Pirrotita	$Fe_{1-x}S$ Seudo Exagonal
Martita	$Fe_2O_3$
Jaspilita	
Taconita	Formaciones silíceas de hierro

#### IV. 3. - GENESIS

Tipos de depósitos y génesis de yacimientos de fierro:

1. - Magmático: magnetita, magnetita titanífera; ejemplo: Kiruna, Suecia, La Perla, México, Cerro de Mercado, México.
2. - Metasomatismo de contacto: Magnetita, especularita; ejemplo: Concepción del Oro, México.

3. - Reemplazamiento: Magnetita, hematita; Lyon Mountain New York, Iron Mountain Missouri.
4. - Sedimentario: Hematita, limonita, siderita, clinton, Lorena, Francia; Almagres, Ver.
5. - Residual: Hematita, magnetita y limonita, Lago Superior, Apalachiano; Oeste de Australia, India, Rusia, Bilbao, España.
6. - Oxidación: Limonita, hematita, Riotinto España
7. - Volcánico exhalativa: Lucifer, B. C.

CAPITULÓ V  
GUIA MORFOLOGICA

"In plano axis laterum et numerum  
et longitudinem varie mutari, non  
mutatis angulis."

Nicolas Stensen (Steno)

## V.1. - Guía Morfológica

A partir de la ley de la constancia de los ángulos, la cual dice que en todos los cristales de una misma sustancia a igualdad de presión y temperatura, varía entre límites amplísimos, la forma, número y magnitud de las caras, siendo en cambio constante el ángulo que éstas (caras) forman entre sí. Y que para consideraciones puramente geométricas, las formas naturales, dependientes de las contingencias del crecimiento, pueden ser sustituidas por poliedros idealizados, en los que las caras tienen la misma distancia central. De esta manera todas las caras equivalentes, las aristas y los vértices, adquieren el mismo tamaño con que se ven los modelos de cristales que se emplean para su estudio y descripción.

En base a lo anterior y tomando en consideración que los cristales no tienen una temperatura única de cristalización, sino que ésta presenta un rango que varía de acuerdo a las características propias del mineral, se puede suponer que a cada cambio de temperatura corresponderá una morfología diferente del mineral.

Para el caso particular de la Hematita, mineral en estudio, la temperatura de cristalización varía entre  $350^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$  y durante todo este rango termométrico ocurren diferentes formas de cristalización (Fig. No. 5.1), que van desde las formas de menor simetría las cuales corresponden a temperaturas menores, hasta las de

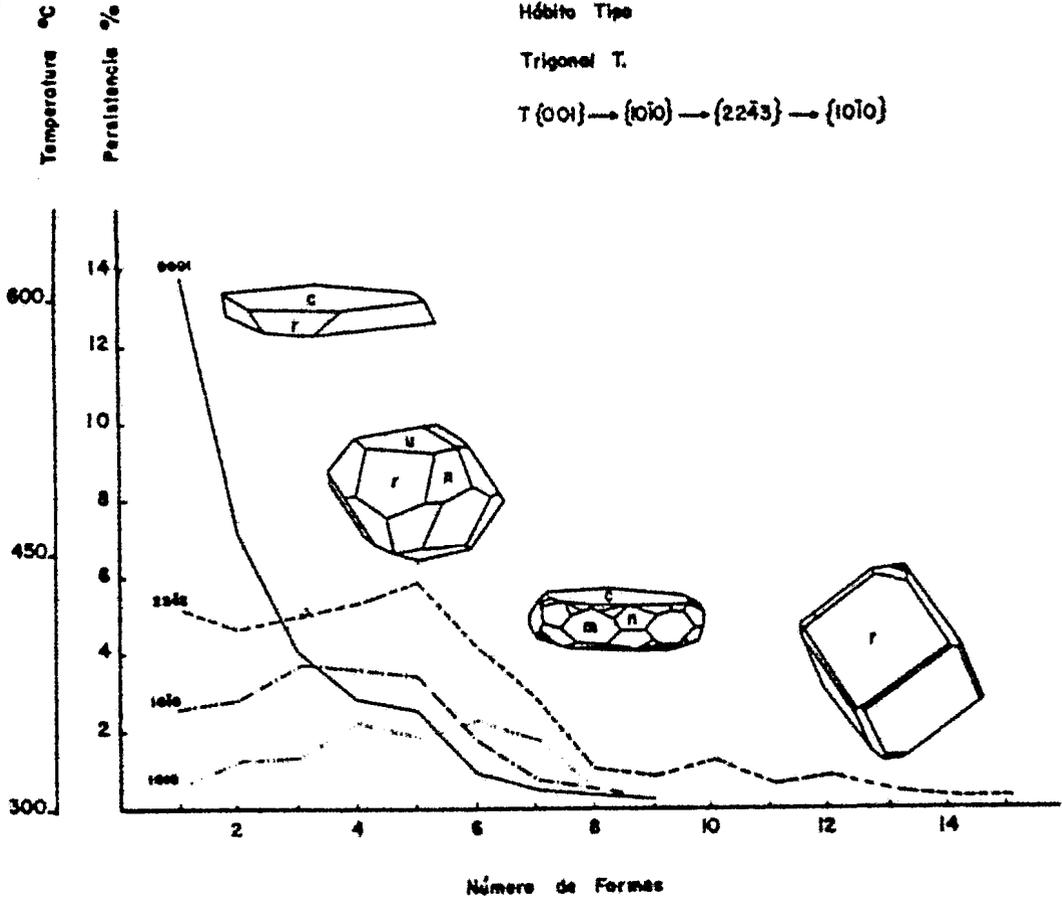
Hematita  $Fe_2O_3$

$R_{21}$

Hábito Tipo

Trigonal T.

$T\{001\} \rightarrow \{10\bar{1}0\} \rightarrow \{22\bar{4}3\} \rightarrow \{10\bar{1}0\}$



	FACULTAD DE INGENIERÍA
	TESIS PROFESIONAL
UNAM	RELACION ENTRE LA FORMA Y OCURRENCIA DE LOS MINERALES DE HEMATITA .
	ANTONIO AQUINO
	PRIMA 101
	FIGURA 2

más alta simetría, dentro del sistema que corresponde a temperaturas mayores.

Se tiene así, que a una temperatura promedio de  $600^{\circ}\text{C}$ , se obtienen cristales de Hematita en la forma de escalenoedros, y al ir disminuyendo ésta, se van encontrando formas intermedias hasta llegar a la forma de romboedro en la temperatura más baja para esta especie mineralógica, es decir  $350^{\circ}\text{C}$ , obteniendo una gráfica de la siguiente naturaleza:

Morfología de la Hematita	$600^{\circ}\text{C}$	Escalenoedro
		Formas intermedias
	$350^{\circ}\text{C}$	Romboedro

Utilizando estos datos como se menciona al principio de este trabajo, como ayuda mineralógica en la exploración de los yacimientos minerales, sí se lleva a cabo un muestreo detenido y con cuidado se podrá formar un plano en el cual se encuentren curvas que unan puntos en los cuales se hayan encontrado minerales con la misma morfología, y si además tomamos en cuenta la proposición anterior de que a cada forma, corresponde una temperatura diferente; la unión de estos puntos nos da una curva ISOTERMA . - Con estos planos se podrá obtener información en cuanto a presión y temperatura de un punto determinado, y lo más importante, se

tendrá un plano que presente la distribución del yacimiento en cuanto a su situación de explotabilidad, es decir, esto mostrará los lugares que pudieren ser explotados con rendimiento económico.

Dicho de otra forma, una curva ISOTERMA la cual contenga puntos con minerales que presenten combinaciones intermedias estará diciendo que se encuentra en la parte explotable del yacimiento, no así una curva ISOTERMA de escalenoedros o romboedros, las cuales dirán que la localización es en la periferia del mismo.

Por otro lado, tomando en cuenta el proceso de solidificación del magma, este muestra varias fases correspondientes a temperaturas progresivamente decrecientes:

- 1) Ortomagmática -
- 2) Pegmatítica - 750 - 450°C
- 3) Neumatolítica - 450 - 374°C
- 4) Hidrotermal - Temp. Inf.

Dentro de la fase hidrotermal se tienen 3 tipos:

Epitermales	50 - 200°C
Mesotermales	200 - 300°C
Hipotermales	300 - 500°C

En base a esto, la hematita cae principalmente dentro de las fases hidrotermal e inferior de la neumatolítica y si además se toma en cuenta que gran parte de los yacimientos de fierro se encuentran en la etapa hidrotermal, estos datos refuerzan la posición de considerar a la hematita como una guía en la exploración de yacimientos de esta naturaleza.

De acuerdo a Bateman, los rangos de temperatura de formación de los yacimientos pirometasomáticos estarían comprendidos entre 400 y 800°C., por lo que este mineral sirve de ayuda exploratoria en yacimientos minerales de este tipo.

Pero no sólo en los casos anteriores podrá ser de ayuda, sino que en todos los tipos de yacimientos minerales, los cuales impliquen para su formación, fluidos químicamente activos y sufran un proceso decreciente en su temperatura siempre y cuando la temperatura de formación del yacimiento incluya al rango de formación de la hematita. Ejemplo de estos yacimientos son los volcánicos exhalativos de los que también se tienen buenos modelos en México.

CAPITULO VI  
CONCLUSIONES

El que busca, halla

Palabras de Jesús. San Lucas

## CONCLUSIONES

Es posible suponer que en los yacimientos hidrotermales de hematita (una de las principales menas productoras de hierro), así como en otras etapas desde la ortomagmática hasta la vulcanogénica, puedan hacerse estudios morfológicos comparativos, en función de las formas de la hematita, dado que incuestionablemente a cada forma le corresponde una temperatura específica sin salirse por supuesto de la temperatura señalada para esta especie mineral; por tanto, teniendo el cuidado de seleccionar las mejores formas cristalinas y con éstas construir un diagrama, será posible inferir el tiempo de durabilidad del yacimiento y aproximarse a la terminación de los mismos. La combinación de formas simples y la variación en las mismas señalan una mayor durabilidad, esto es importante si se toma en cuenta que los yacimientos minerales se explotan desde el punto de vista social y no tratar de terminar lo más rápido posible con el mineral que se tiene a la vista.

## RECOMENDACIONES

Como consecuencia de lo anterior, se cree necesario proponer que en todo tipo de yacimiento mineral se lleve a cabo el procedimiento anteriormente descrito, ya que con él y basado en la morfología cristalina, se puede tener la historia completa de

estos yacimientos, y esto no se restringe a los yacimientos ferríferos, sino que también a otros de minerales distintos, especialmente en casos como los de plomo y zinc que cuentan con minerales que pertenecen a diferentes sistemas cristalinos, clases de simetría y grupos espaciales, lo que permitiría llevar registros geológicos exactos.

Las colecciones obtenidas con estos fines, podrían pasar posteriormente a museos en los que se pueda conocer la historia de los minerales mexicanos, mismos de los que en la actualidad no se tiene noticia alguna.

Continuar con la investigación contando con otro tipo de elementos y procedimientos y así comprobar o desmentir si la morfología de este mineral se pueda, ya con carácter científico, considerar como una guía mineralógica.

## BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE, 1976 Dictionary of Geological Terms.
- ARRIAGA, G. GERMAN, 1981 Clasificación Actualizada de Yacimientos Minerales; C.R.M., VIII Seminario Interno sobre Exploración Geológico Minera.
- CEPEDA, DAVILA LEOVIGILDO Apuntes de Yacimientos Minerales. Fac. de Ingenierfa.
- COLIN, J DIXON, 1980 Atlas of Economic Mineral Deposits Cornell University Press.
- FLEISCHER, MICHAEL, 1980 Glossary of Mineral Species
- FLINT, E., 1961 Principios de Cristalografía. Ed. Emir.
- GONZALEZ, REYNA GENARO, 1956 Riqueza Minera de México. Ed. Banco de México.
- HUANG, W.T., 1968 Petrologfa, Uteha
- JENSEN MEAD AND BATEMAN ALAN, 1981 Economic Mineral Deposits. III Edition, John Wiley and Sons.
- KLOCKMANN, F., y RAMDOHP 1971 Tratado de Mineralogfa. G.G. S.A.
- KOSTOV, IVAN, 1978 Mineralogy Oliver and Boyd
- MUEDRA, VICENTE, 1957 Manual de Cristalografía Elemental Ed. Paraninfo.
- PALANCHE, Ch., BERMAN, H., FRONDEL, C., 1952 The System of Mineralogy. Vol. I. John Wiley and Sons.
- SINKANKAS, JOHN, 1964 Mineralogy for Amateurs. Ed. - Van Nostrand.
- TORRES, E., y VILLEGAS, T. 1939. Yacimientos Ferríferos de México.



Foto No. 1. - Hematita mostrando combinación de romboedros deformados.

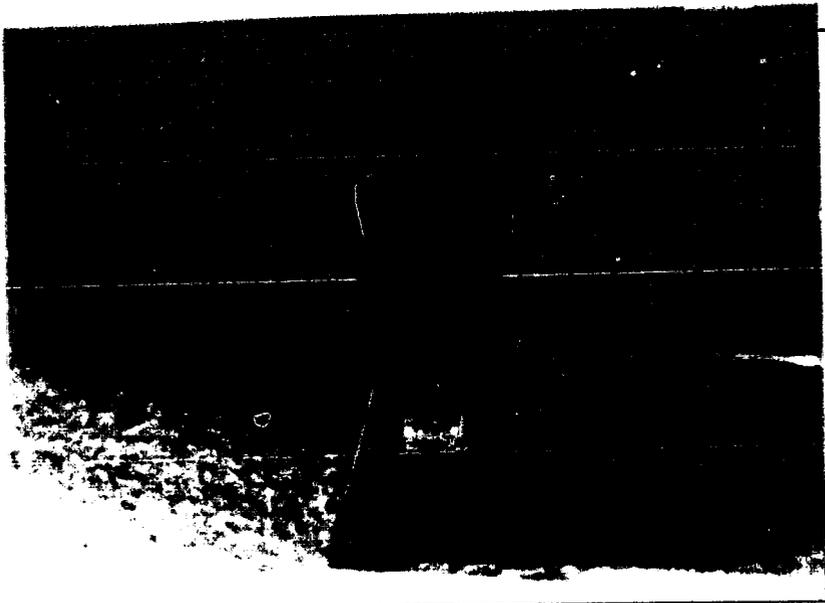


Foto No. 2. - Hematita en la cual se presenta una combinación de romboedro positivo con un prisma trigonal.

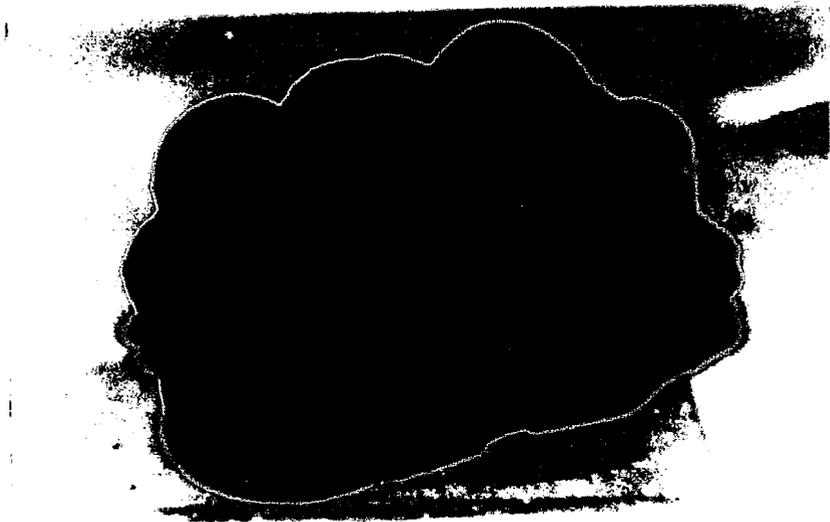


Foto No. 3. - Hematita presentando romboedros deformados terminados por planos paralelos al pinacoide-basal

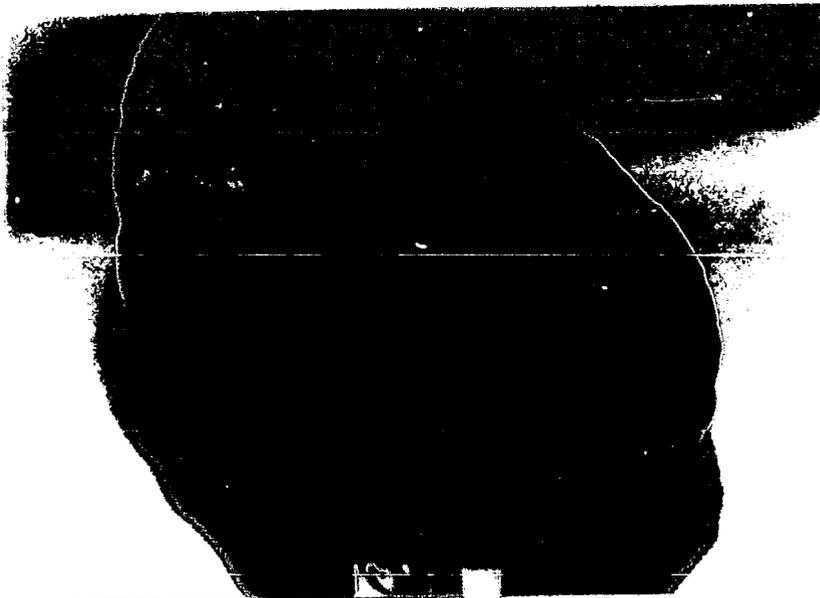


Foto No. 4. - Hematita pulverulenta, variedad ocre Alotaxítica.



Foto No. 5. - Hematita la cual muestra una escalenoedro -  
deformado en combinación con romboedro po-  
sitivo.



Foto No. 6. - Hematita filiforme, con desarrollo incipiente  
de formas escalenoedrales.

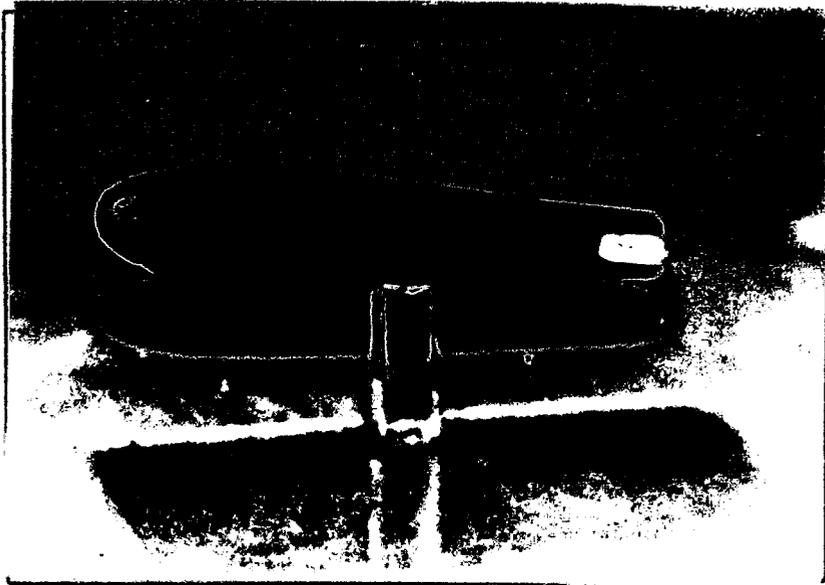


Foto No. 7. - Hematita en la que se observa una combinación de escalenoedro con romboedro positivo.

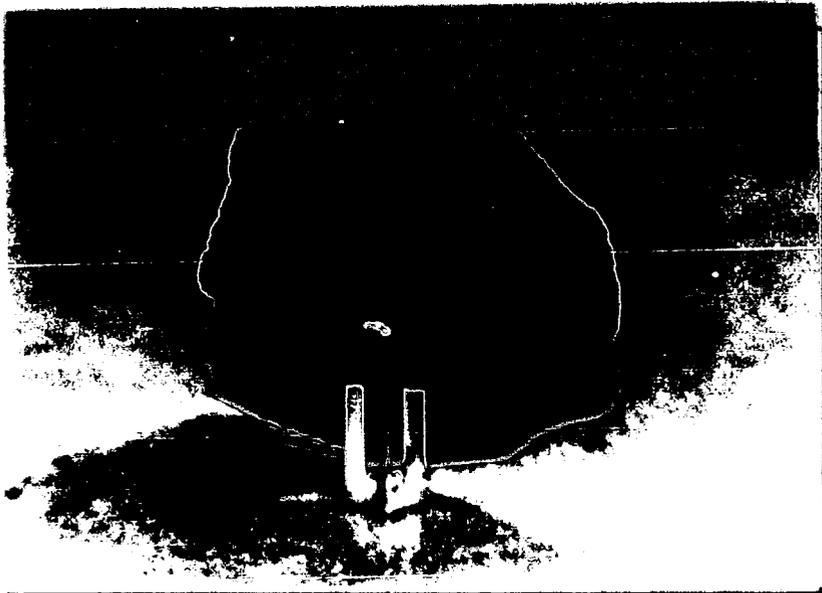


Foto No. 8. - Hematita mostrando combinación de romboedro positivo con escalenoedro.

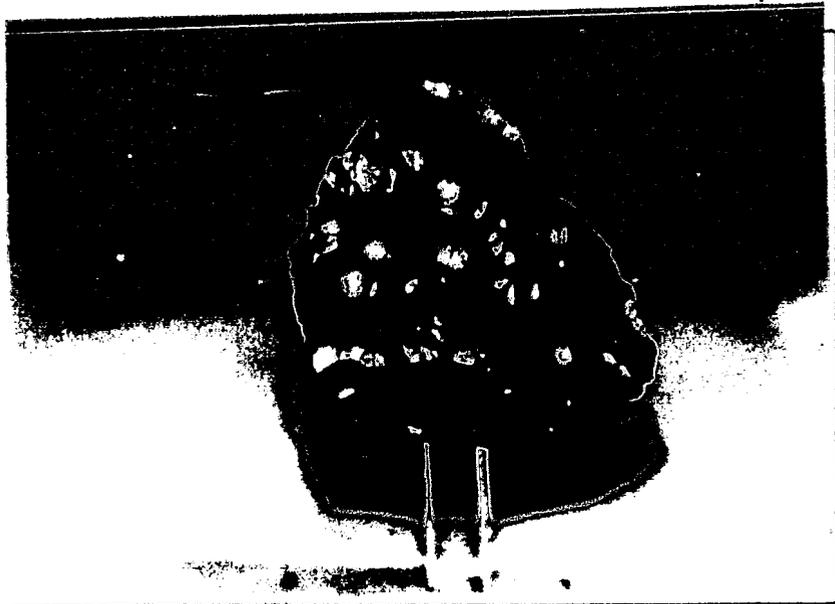


Foto No. 9 - Hematita con estructura botryoidal.

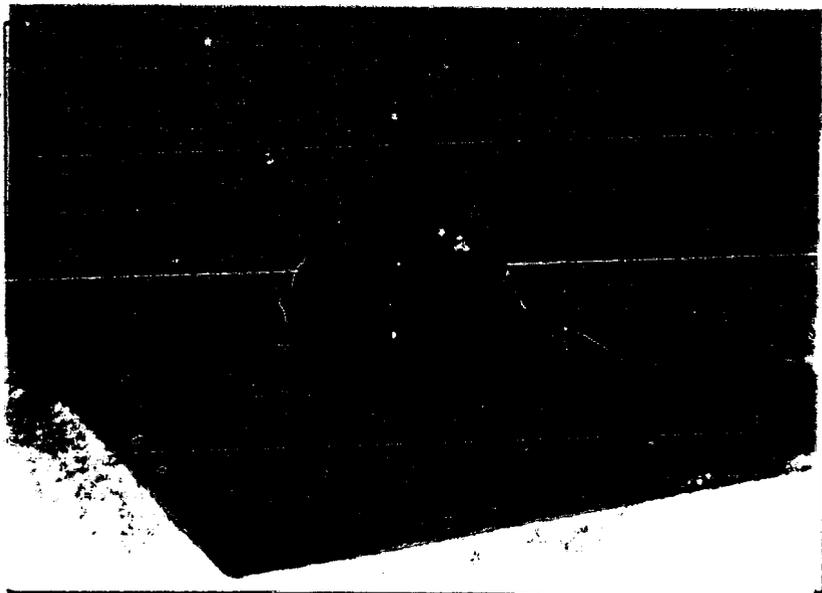


Foto No. 10 - Hematita que presenta una estructura de tipo prismático con una gran cantidad de inclusiones.