

ANEXO I

Clasificaciones Químicas

Norma CIPW

Las raíces de los nombres de las rocas plutónicas y volcánicas se basan en el contenido o composición mineral, expresado en volumen porcentual. Las clasificaciones puramente químicas también han sido ideadas para poder clasificar las rocas volcánicas de grano fino y vítreas, en las que las clasificaciones modales no son prácticas. Uno de tales métodos de clasificación normativa (norma), involucra el re-cálculo de los análisis químicos de las rocas ígneas a un juego de fórmulas de minerales ideales. En los cálculos, los óxidos de los análisis químicos son combinados en una secuencia de pasos prescritos para formar los “minerales componentes normativos”. Los minerales normativos fijados, corresponden a minerales anhidros que cristalizan desde magmas a bajas presiones. El sistema más usado en Estados Unidos es el sistema de la Norma CIPW.

A continuación se desarrolla en forma simplificada el procedimiento de cálculo de la Norma.

1) Los análisis químicos de las rocas ígneas están expresados en porcentajes en peso de los óxidos de los elementos más abundantes. Dividir el peso porcentual de cada óxido por el peso molecular del óxido, para obtener los moles de cada óxido.

2) (Ap) Usar todo el P_2O_5 , con 3 veces el CaO, para formar apatito ($Ca_3P_2O_8$). Sustraer el CaO usado del contenido total de CaO de la roca.

3) (I) Combinar todo el TiO_2 con igual cantidad de FeO para formar ilmenita ($FeTiO_3$). Para la mayoría de las rocas, todo el P_2O_5 y TiO_2 se incorporan a la norma como Il y Ap.

4) (Or) Combinar todo el K_2O con igual cantidad de Al_2O_3 y 6 veces la SiO_2 , para formar ortosa ($KAlSi_3O_8$).

5) (Ab) Repetir el paso 4 con el Na_2O para formar albita. Estar seguro de sustraer el Al_2O_3 y SiO_2 usado, del contenido total de la roca.

6) (An) Combinar cualquier remanente de Al_2O_3 con igual cantidad de CaO y 2 veces la SiO_2 , para formar anortita ($CaAl_2Si_2O_8$).

7) (Co) Si hay Al_2O_3 remanente después del paso 6, entonces $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$ (en moles) y la roca es peraluminosa. El exceso de Al_2O_3 , es calculada como corindón (Al_2O_3). Una roca con “corindón normativo” es peraluminosa.

8) (Di) Si no hay Al_2O_3 remanente después del paso 6, entonces $Na_2O + K_2O < Al_2O_3 < Na_2O + K_2O + CaO$; las rocas son metaluminosas. Combinando el exceso de CaO con igual cantidad de $MgO + FeO$ (con el $Mg / (MgO + FeO)$ igual al remanente después del paso 7) y dos veces la SiO_2 se forma dióxido ($Ca(Fe, Mg)Si_2O_6$).

9) Si no hay Al_2O_3 remanente después del paso 5, entonces $Na_2O + K_2O > Al_2O_3$ y el paso 6 (An) es imposible y la roca es peralcalina. Combinando el exceso de Na_2O con Fe_2O_3 y 4 veces la SiO_2 se forma acmita ($NaFeSi_2O_6$). Si aún hay exceso de Na_2O , combinar con una cantidad igual de SiO_2 para construir metasilicato de sodio (Na_2SiO_3). Las rocas peralcalinas tienen acmita normativa.

10) Combinar el Fe_2O_3 con FeO para formar magnetita (Fe_3O_4). Entonces combinar CaO con el $MgO + FeO$ remanente y dos veces la SiO_2 para formar dióxido (paso 8). Una roca con dióxido normativo es peralcalina o metaluminosa, pero nunca peraluminosa.

11) (Hy) Combinar el MgO+FeO remanente con una cantidad igual de SiO₂ para formar hipersteno (MgO,FeO)SiO₂. En este punto, cuando todos los óxidos componentes han sido combinados en minerales normativos y la SiO₂ remanente es calculada como cuarzo normativo. Las rocas sobresaturadas en SiO₂ contienen cuarzo normativo.

12) Asimismo, si hay más MgO+FeO que SiO₂, después que el diópsido ha sido formado, entonces no todo el MgO+FeO puede ser combinado con la SiO₂ para formar hipersteno. En este caso combinar la 1/2 de la SiO₂ y la suficiente cantidad de MgO + FeO para formar olivino normativo ((Mg,Fe)₂SiO₄). Una roca con olivino normativo es sub-saturada en sílice.

13) Otros pasos son requeridos para rocas que son más pobres en SiO₂, que las aquí descritas. Por ejemplo si, MgO+FeO > 1/2 SiO₂, entonces no hay suficiente SiO₂ ni para formar olivino. Es necesario recuperar SiO₂ para re-calcular una parte de albita normativa para formar nefelina normativa. La SiO₂ liberada en este paso es combinada con MgO+FeO para formar olivino normativo. Una roca con nefelina normativa es más sub-saturada en SiO₂ que una con sólo olivino normativo.

14) Multiplicar los componentes normativos por su peso molecular y normalizar el resultado a 100% en peso.

La Norma CIPW proporciona una terminología que resume distintas características importantes de las rocas ígneas, incluyendo la saturación en sílice y alúmina.

La clasificación modal de las rocas es en: sobresaturadas, saturadas y subsaturadas en sílice. El cálculo normativo genera una escala similar. La secuencia normativa de cuarzo, hipersteno, olivino y nefelina corresponden a mayor sub-saturación en SiO₂. Similarmente, las rocas ígneas con “corindón normativo”, “acmita” y “diópsido - anortita”, son peraluminosas, peralcalinas y metaluminosas, respectivamente.

Ejemplo

La Norma CIPW es usada para subdividir las rocas basálticas (Yoder y Tilley 1962). El tetraedro basáltico (Fig. I-A) es definido por los componentes normativos Ne-Fo-Qz-Di, que es dividido en tres volúmenes, por los planos An-En-Di y Ab-Fo-Di. Los basaltos toleíticos contienen cuarzo e hipersteno normativo y se proyectan sobre el lado derecho del plano Ab-En-Di. Las toleítas olivínicas contienen hipersteno y olivino normativos y se proyectan en el volumen central del tetraedro. El plano Ab-En-Di, es llamado plano de saturación en sílice, porque separa los basaltos saturados en sílice de los basaltos subsaturados en sílice. Los basaltos alcalinos y nefelínicos se proyectan a la izquierda del plano Ab-Fo-Di, que es llamado plano crítico de subsaturación en sílice.

Norma Molecular

El procedimiento de cálculo de la “Norma Molecular” o “Norma Barth-Niggli”, se expresan a continuación. Los valores obtenidos pueden ser convertidos a “Norma CIPW” multiplicando las proporciones de los minerales por su peso molecular y recalculado a 100%. Observar que las abreviaturas de los minerales de la norma molecular se expresan en mayúscula, mientras que los de la Norma CIPW, se escriben en minúscula.

*Dos valores de peso molecular, corresponden a soluciones sólidas de minerales ferromagnesianos, el primero para el Mg y el segundo para el Fe.

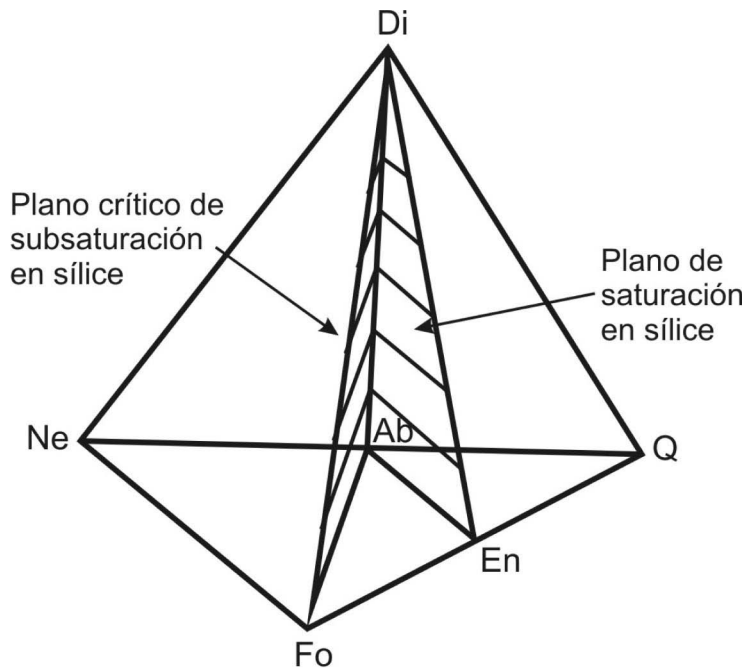


Figura 1-A. Tetraedro basáltico.

Mineral	Símbolo	Fórmula química	Peso fórmula
Acmita	Ac	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	462
Albita	Ab	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	524
Anortita	An	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	278
Apatito	Ap	$3 \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	310
Calcita	Cc	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$	100
Cromita	Cm	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	224
Corindón	C	Al_2O_3	102
Diópsido	Di	$\text{CaO} \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	217-248*
Fluorita	Fl	CaF_2	78,1
Halita	Hl	NaCl	58,4
Hematita	Hm	Fe_2O_3	160
Hipersteno	Hy	$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	200-264*
Ilmenita	Il	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	152
Kaliofilita	Kp	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	316
Metasilicato-K	Ks	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	154
Leucita	Lc	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	436
Magnetita	Mt	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	232
Nefelina	Ne	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	284
Metasilicato-Na	Ns	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	122
Olivino	Ol	$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	141-204*
Ortosa	Or	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	556
Pirita	Pr	FeS_2	120
Cuarzo	Q	SiO_2	60,1
Rutilo	Ru	TiO_2	79,9
Carbonato-Na	Nc	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$	106
Titanita	Tn	$\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	196
Wollastonita	Wo	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	116
Zircón	Z	$\text{ZrO}_3 \cdot \text{SiO}_2$	183

Tabla 1-A. Minerales Normativos.

El procedimiento que se explicita, incluye los principios básicos del cálculo.

A - Cálculo de los porcentajes de cationes

1. Dividir cada porcentaje en peso, excepto H_2O , por el peso equivalente del óxido base de un catión simple (p.ej. $AlO_{1,5}$, mejor que Al_2O_3).
2. Multiplicar cada número así obtenido, por 1000.
3. Encontrar el total de todos los productos del paso 2, dividido por su total y multiplicado por 100. Las proporciones así obtenidas, deben sumar 100.

B - Cálculo de la norma provisional

En los pasos a seguir, se debe mantener el balance de las cantidades de cada componente, después de asignar las proporciones a los diferentes minerales normativos.

1. Calcita: es formada por CO_2 e igual cantidad de Ca.
2. Apatito: es formado con el P y 1,67 veces la cantidad de Ca.
3. Pirita: se forma desde el S y 0,5 veces dicha cantidad de Fe^{+2} .
4. Ilmenita: se forma desde el Ti e igual cantidad de Fe^{+2} .
5. El feldespato alcalino se forma provisionalmente desde el K y Na, cada uno se combina con una cantidad igual de Al y 3 veces de Si, para formar Or y Ab.
6. A- Si hay exceso de Al sobre K y Na, se asigna a An, combinando el Al con igual cantidad de Si y la mitad de Ca.
B- Si no hay suficiente cantidad de Ca para combinar con Al para formar An, el exceso de Al se asigna a C.
7. A- Si en 5 hay un exceso de Na, sobre el Al, este se combina con igual cantidad de Fe^{+3} y 2 veces la Si, para formar Ac.
B- Si hay exceso de Fe^{+3} sobre el Na, se combina con la mitad del Fe^{+2} , para formar Mt.
C- Si no hay suficiente Fe^{+2} , para utilizar todo el Fe^{+3} , el Fe^{+3} remanente se asigna a Hm.
D- Cualquier remanente de Fe^{+2} es combinado con Mg y Mn y será después considerado como FM (ferromagnesiano).
8. El Di se forma con el Ca remanente de 1, 2 y 6A, por combinación con igual cantidad de FM y dos veces la cantidad de Si.
9. El Hy se forma combinando el FM remanente de 8, con igual cantidad de Si.

C - Balance de Si

Habiendo asignado todos los cationes a minerales normativos provisionales, se considerará ahora la distribución de la Si.

- a. Si hay un exceso de Si remanente, se asigna a Q.
- b. Si hay deficiencia de Si, los minerales con menor contenido de sílice deben ser sustituidos, totalmente o en parte. Primero, el Hy es convertido a Ol según la ecuación:

$$4 Hy = 3 Ol + 1 Q$$
 Donde Q es la cantidad de deficiencia de Si.
- c. Si todo el Hy ha sido cambiado a Ol y todavía falta Si, la Ab es convertida en Ne de acuerdo a la ecuación:

$$5 Ab = 3 Ne + 2 Q$$
 Donde Q es ahora la deficiencia de Si remanente después de 10b.
- d. Si todavía hay una deficiencia de Si, la Or es convertida a Lc, de acuerdo a la ecuación:

$$5 Or = 4 Lc + 1 Q$$
 Donde Q es el déficit remanente después de 10c.
- e. En algunos casos, todavía no hay suficiente Si para formar Lc. Entonces Kp se forma como sigue:

$$4 Lc = 3 Kp + 1 Q$$

Ejemplo: Cálculo del porcentaje de cationes

	1	2	3	4
Oxidos	Peso %	Peso mol.	C.P.*1000	Catión %
SiO ₂	49,10	60,09	817	46,0
TiO ₂	3,59	79,90	45	2,5
Al ₂ O ₃	16,21	50,99	318	17,9
Fe ₂ O ₃	2,87	79,85	36	2,0
FeO	6,84	71,85	95	5,3
MnO	0,05	70,94	1	0,1
MgO	5,04	40,31	125	7,0
CaO	8,90	56,08	159	9,0
Na ₂ O	3,53	30,99	114	6,4
K ₂ O	2,76	47,10	59	3,3
P ₂ O ₅	0,54	70,98	8	0,5
			1777	100,0

		Provisional	Final
1	Si el análisis no tiene CO ₂ , ir a 2.		
2	Ap = 0,5 * P + 1,67 * 0,5 Ca	= 1,3	1,3
3	Si el análisis no tiene S, ir a 4		
4	Il = 2,5 Ti + 2,5 Fe ⁺²	= 5,0	5,0
5	Or = 3,3 K + 3,3 Al + 3 * 3,3 Si Ab = 6,4 Na + 6,4 Al + 3 * 6,4 Si	= 16,5 = 32,0 - 4,8	16,5 27,2
6	a. An = 4,1 Ca + 8,2 Al + 8,2 Si	= 20,5	20,5
7	b. Mt = 2,0 Fe ⁺³ + 1,0 Fe ⁺² c. FM = 12,4 - 2,5 - 1,0 = 8,9	= 3,0	3,0
8	Di = 4,1 Ca + 4,1 FM + 8,2 Si	= 16,4	16,4
9	Hy = 8,9 FM + 8,9 Si	= 17,8 - 17,8	0,0
10	b. Ol = 17,8 - 2,4 c. 4,8 Ab = 2,9 Ne + 1,9 Si	= =	7,2 2,9

$$Al = 17,9 - 3,3 - 6,4 - 8,2 = 0$$

$$Fe^{+3} = 2,0 - 2,0 = 0$$

$$Fe^{+2} = 5,3 - 2,5 - 1,0 - 1,8 = 0$$

$$Mn = 0,1 - 0,1 = 0$$

$$Mg = 7,0 - 7,0 = 0$$

$$Ca = 9,0 - 0,8 - 4,1 - 4,1 = 0$$

$$Na = 6,4 - 6,4 = 0$$

$$K = 3,3 - 3,3 = 0$$

$$P = 0,5 - 0,5 = 0$$

