

La Norma CIPW

Por Luis López V.

La norma CIPW está nombrada por 4 petrólogos, Cross, Iddings, Pirsson and Washington, que la desarrollaron en 1931.

¿Qué es una Norma y por qué es necesaria?

Una norma es convertir la composición química de una roca ígnea en una roca con composición química ideal. Esto frecuentemente revela similitudes en rocas que tienen distintas modalidades (asociación mineral observada). Algunos de los factores que causan las variaciones son:

- Desequilibrio (por ejemplo, minerales zonados o “reinos” de reacción aislados en el interior de granos).
- Temperatura.
- Presión.
- Alteración
- Contenido de agua.
- Otros constituyentes menores. Por ejemplo, exceso de azufre o cloro debería formar escapolita en vez de feldespato. Boro típicamente causa la formación de turmalina.

La norma CIPW calcula la composición mineral como si el magma fuera anhídrido (agua es tratada como una fase aparte) y a baja presión. Otras normas más complicadas han sido desarrolladas para altas presiones o para situaciones con mucho agua. En un mundo ideal, la norma debería mostrar las fases minerales perfectamente. Para crear tal norma (es decir, una norma ideal), deberíamos entender la cristalización magmática perfectamente (y no lo hacemos) y la norma sería extremadamente difícil de calcular.

Lógica de cálculo

La lógica de cálculo de la norma es muy simple, aunque sus pasos son muy tediosos. Trata primero con los minerales más predecibles y simples y luego aplica correcciones si la roca es deficiente en sílice.

- Localiza los Minerales Más Predecibles.
 - Asigna sustitución común de elementos
Nickel y Manganeso son combinados con Hierro ferroso, Estroncio y Bario con Calcio.
 - Asigna Elementos Menores en Minerales Accesorios. Éstos incluyen P (Apatito), S, (Pirita), Cr (Cromita), F, (Fluorita), CO₂ (Calcita) y Zr (Zircon)
 - Asigna al Titanio para formar Ilmenita o Esfeno. Más tarde, Ti puede ser necesitado para hacer Perovskita o Rutilo.

- Asigna Calcio y Aluminio para formar Anortita.
- Provisionalmente forma Silicatos saturados en Sílice.
 - Provisionalmente asigna Alcalis y Aluminio.
 - Empieza asignando Hierro y Magnesio.
 - Crea Piroxenos provisionales.
 - Exceso de Sílice forma Cuarzo.
 - Si no hay deficit de Sílice, el cálculo está completo.
- Convierte Minerales Provisionales para remover el Déficit de Sílice.
 - Convierte Hiperstena a Olivino.
 - Convierte Esfeno a Perovskita.
 - Convierte Albita a Nefelina.
 - Convierte Ortoclasa a Leucita
 - Convierte Wollastonita y Diopsido a Ortosilicato de Calcio (Raro)
 - Convert Ortoclasa to Kaliophilite (Raro)

Calculando la Norma

Comentarios Preliminares.

- **Convertir todos los porcentajes en peso en porcentajes moleculares.**
- Todas las cantidades son cantidades corrientes, es decir, se usa la cantidad restante después de cada cálculo previo.
- Fórmulas siguen sintaxis de un programa de computación común. Por ejemplo, $\text{FeO} = \text{FeO} + \text{MnO} + \text{NiO}$ significa sumar FeO, MnO and NiO, entonces reemplaza el valor de FeO con el valor calculado.
- Cálculos provisionales son denotados por P*; por ejemplo, P*Albita significa una cantidad provisional para albita, la que puede convertirse más tarde en nefelina. Cualquier cantidad provisional que permanece así hasta el final, pasa a ser una cantidad final.

Asignación de Substituciones comunes de Elementos para Elementos Mayores.

- $\text{FeO} = \text{FeO} + \text{MnO} + \text{NiO}$
- $\text{CaO} = \text{CaO} + \text{BaO} + \text{SrO}$

Asignación de Elementos Menores a Minerales Accesorios.

- Apatito = P_2O_5 , $\text{CaO} = \text{CaO} - (10/3)\text{P}_2\text{O}_5$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 0$
- Pirita = S, $\text{FeO} = \text{FeO} - \text{S}/2$, $\text{S} = 0$
- Cromita = Cr_2O_3 , $\text{FeO} = \text{FeO} - \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 0$
- Fluorita = F, $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{F}$, $\text{F} = 0$
- Calcita = CO_2 , $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{CO}_2$, $\text{CO}_2 = 0$
- Zircon = ZrO_2 , $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$, $\text{ZrO}_2 = 0$

Asignación de Titanio.

- Si $\text{FeO} > \text{Titanio}$ → Ilmenita = TiO_2 , $\text{FeO} = \text{FeO} - \text{TiO}_2$, $\text{TiO}_2 = 0$
- Si $\text{TiO}_2 > \text{FeO}$ entonces:
P*Esfeno = TiO_2 , $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{TiO}_2$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$, $\text{TiO}_2 = 0$

Asignación Provisional de Alcalis y Aluminio.

- P*Ortoclasa = K_2O , $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 6 \text{K}_2\text{O}$
- Si $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O}$ entonces:
P*Albita = Na_2O , $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 6 \text{Na}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} = 0$
- Si $\text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$ entonces:
 - Albita = Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 6 \text{Na}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0$
 - Egerina = Na_2O , $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 4 \text{Na}_2\text{O}$
 - En el caso muy raro donde Na_2O sobra debido a insuficiencia de Fe_2O_3 , asignación a metasilicato de sodio. $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$.
- Si Al_2O_3 sobra después de asignación a ortoclasa y albita, entonces:
Anortita = Al_2O_3 , $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 2 \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0$
- Si $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO}$ en los cálculos precedentes, entonces:
 - Anortita = CaO , $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 2 \text{CaO}$
 - Corindón = Al_2O_3 , $\text{CaO} = 0$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0$

Comienzo de Asignación de Hierro y Magnesio.

- Si $\text{FeO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$ entonces:
Magnetita = Fe_2O_3 , $\text{FeO} = \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0$
- Si $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO}$ entonces:
Magnetita = FeO , $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO}$, $\text{FeO} = 0$, Hematita = Fe_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0$
- Desde aquí, todo el FeO y MgO van a los piroxenos más olivinos, pero sus proporciones relativas son mantenidas en todos los minerales. La suma de $\text{MgO} + \text{FeO}$ es designada como FM en lo que sigue.

Creación de Piroxenos Provisionales.

- Si $\text{FM} > \text{CaO}$ entonces:
 - P*Diopsido = CaO , $\text{FM} = \text{FM} - \text{CaO}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{CaO}$, $\text{CaO} = 0$
 - P*Hiperstena = FM , $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{FM}$
- Si $\text{CaO} > \text{FM}$ entonces:
 - P*Diopsida = FM , $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{FM}$, $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - 2 \text{CaO}$, $\text{FM} = 0$
 - P*Wollastonita = CaO , $\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2 - \text{CaO}$

Tratamiento con el Exceso o Déficit de Sílice

- Si SiO_2 todavía positivo entonces: Cuarzo = SiO_2 , $\text{SiO}_2 = 0$, **Cálculo Finalizado.**

- Si SiO_2 es negativo, entonces se convierte algunos de los minerales P*. Déficit de Sílice D ($D = -\text{SiO}_2$) y proceder como sigue. Cuando $D = 0$, el cálculo está listo.

Convertir Minerales Provisionales para remover Déficit de Sílice

Formación Olivino

- Si $D < 1/2$ de P*Hiperstena, entonces:
Olivino = D, Hiperstena = P*Hiperstena - 2D, D = 0, **Cálculo Finalizado.**
- Si $D > 1/2$ de P*Hiperstena, entonces:
Olivino = P*Hiperstena, D = D - 1/2(P*Hiperstena), Hiperstena = 0,

Formación Perovskita

- Si $D < \text{P*Esfeno}$, entonces:
Perovskita = D, Esfeno = P*Esfeno - D, D = 0, **Cálculo Finalizado.**
- Si $D > \text{P*Esfeno}$, entonces:
Perovskita = P*Esfeno, D = D - P*Esfeno, Esfeno = 0
- Cualquier exceso de TiO_2 es contado como Rutilo.

Formación Nefelina

- Si $D < 4(\text{P*Albita})$ entonces:
Nefelina = D/4, Albita = P*Albita - D/4, P*Albita = 0, D = 0, **Cálculo Finalizado.**
- Si $D > 4(\text{P*Albita})$ entonces:
Nefelina = P*Albita, D = D - 4(P*Albita), Albita = 0

Formación Leucita

- Si $D < 2(\text{P*Ortoclasa})$ entonces:
Leucita = D/2, Ortoclasa = P*Ortoclasa - D/2, P*Ortoclasa = 0, D = 0, **Cálculo Finalizado.**
- Si $D > 2(\text{P*Ortoclasa})$ entonces:
Leucita = P*Ortoclasa, D = D - 2(P*Ortoclasa), Ortoclasa = 0

Formación Ortosilicato de Calcio (Rare)

- Si $D < (1/2)(\text{P*Wollastonita})$ entonces: Ortosilicato de Calcio = D, Wollastonita = P*Wollastonita - 2D, D = 0, **Cálculo Finalizado.**
- Si $D > (1/2)(\text{P*Wollastonita})$ entonces: Ortosilicato de Calcio = P*Wollastonita, D = P*Wollastonita/2, Wollastonita = 0
- Si todavía hay déficit, convertir Diopsido a Olivino + Ortosilicato de Calcio como sigue:
 - Si $D < \text{P*Diopsido}$ entonces:
(Adicional) Ortosilicato de Calcio = D/2, (Adicional Olivino) = D/2. Sumar

estas cantidades a los minerales previamente formados. Diopsido = $P \cdot \text{Diopsido} - D$, $D = 0$, **Cálculo Finalizado.**

- Si $D > P \cdot \text{Diopsido}$ entonces:
Adicional Ortosilicato de Calcio = $P \cdot \text{Diopsido} / 2$, Adicional Olivino = $P \cdot \text{Diopsido} / 2$. Sumar estas cantidades a los minerales previamente formados. $D = D - P \cdot \text{Diopsido}$, Diopsido = 0

Formación Kaliophilita (Rara)

Si todavía hay un déficit, convertir Leucita a Kaliophilita: Kaliophilita = $D/2$, Leucita = $\text{Leucita} - D/2$, $D = 0$, **Cálculo Finalizado.**

Convertir todos los minerales provisionales, si quedan, en cantidades finales.

En las rocas reales, se tiene que los siguientes pares de minerales:

Cuarzo y Olivino rico en Mg
Cuarzo y Nefelina
Aluminosilicatos y Augita
Ortopiroxeno y Nefelina,

son mutuamente excluyentes.

Los pares minerales normativos mutuamente excluyentes son los siguientes:

Cuarzo y Olivino
Cuarzo y Nefelina
Corindón y Diopsido
Ortopiroxeno and Nefelina.

Estos pares minerales mutuamente excluyentes resultan en 4 asociaciones de minerales normativos:

Asociación Normativa	Significado
Cuarzo, Corindón, OPX:	Saturada en Sílice, peraluminoso, subalkalino
Cuarzo, Diopsido, OPX:	Saturada en Sílice, subaluminoso, subalkalino
Olivino, Diopsido, OPX:	Subsaturada en Sílice, subaluminoso, subalkalino
Olivino, Diopsido, Nefelina:	Subsaturada en Sílice, subaluminoso, peralkalino

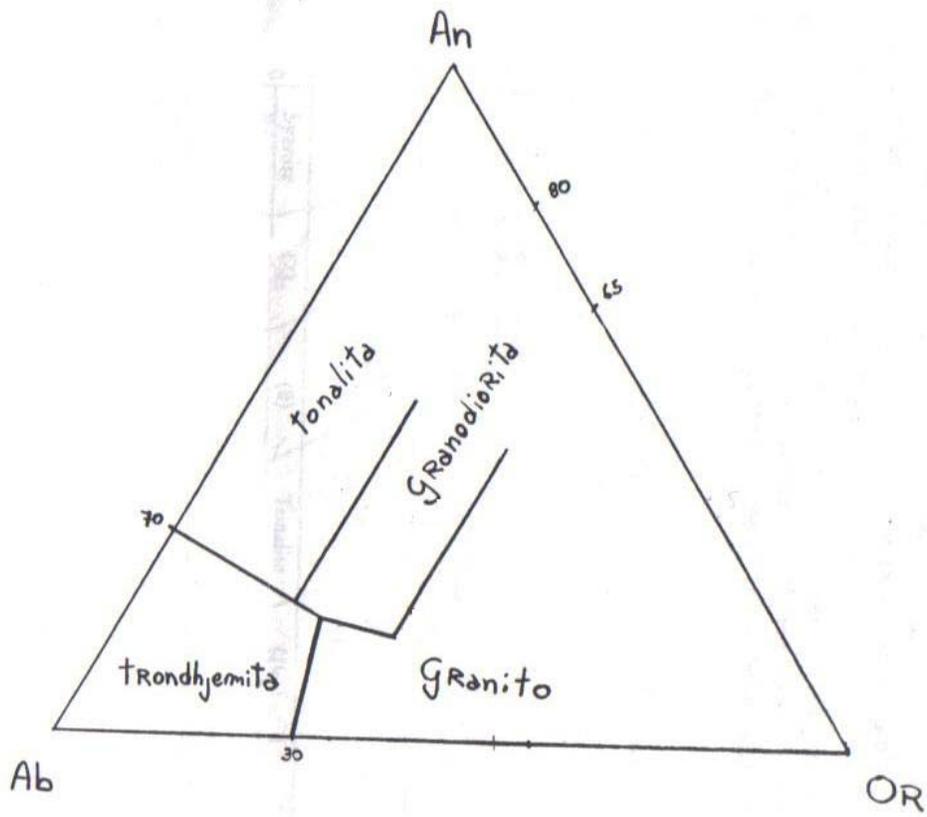
- “q” (cuarzo) en la norma aparece como cuarzo en la roca.
- “or” (ortoclasa) usualmente aparece como Fd-K en la roca, pero cantidades menores de “or” normativa puede sólo ser un componente de plagioclasas o micas.

- “lc” (leucita) en la norma indica exceso de K sobre el requerido para Fd-K, y la presencia de “ks” (metasilicato de potasio) indica un grado mayor de exceso de K en la roca.
- “ne” (nefelina) indica exceso de Na sobre el requerido para hacer albita, “ns” (metasilicato de sodio) indica un mayor exceso de Na.
- “c” (corindón) en la norma indica exceso de alumina sobre el requerido para hacer feldespatos y puede aparecer como componente de micas.
- “di” (diopsido) aparece como clinopiroxeno, y “wo” indica exceso de Ca.
- Algunos minerales normativos no tienen necesidad de aparecer separados en la roca. En particular, el Ti manifestado como “il” en la norma puede un componente de la solución sólida de la augita o biotita.
- Minerales complejos como las micas o anfíbolos no aparecen explícitamente en la mineralogía normativa, pero pueden aparecer como varios otros componentes minerales normativos tales como ab, an, or, di, hy, mt, and ol.
- “q” no puede aparecer en la norma con “ol”, “lc”, “ne”, o “pf”.
- “c” no puede aparecer en la norma con “wo”, “di”, “ne”, o “ac”.
- “hy” no puede aparecer en la norma con “ne”, “lc”, o “wo”.

Referencias

Myron G. Best; *Igneous and Metamorphic Petrology*, Freeman, 1982, Appendix E, pp. 616-619

NAME	ABBREVIATION	CHEMICAL FORMULA	FORMULA WEIGHT
Quartz	<i>Q</i>	SiO ₂	60.08
Corundum	<i>C</i>	Al ₂ O ₃	102.0
Orthoclase	<i>Or</i>	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	556.6
Albite	<i>Ab</i>	Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	524.4
Anorthite	<i>An</i>	CaO · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	278.2
Leucite	<i>Lc</i>	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂	436.5
Nepheline	<i>Ne</i>	Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	284.1
Kaliophilite	<i>Kp</i>	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	316.3
Acmite	<i>Ac</i>	Na ₂ O · Fe ₂ O ₃ · 4SiO ₂	462.0
Sodium metasilicate	<i>Ns</i>	Na ₂ O · SiO ₂	122.1
Potassium metasilicate	<i>Ks</i>	K ₂ O · SiO ₂	154.3
Wollastonite	<i>Wo</i>	CaO · SiO ₂	116.2
Diopside	<i>Di</i>	CaO · FeO · 2SiO ₂	248.1
Hypersthene	<i>Hy</i>	CaO · MgO · 2SiO ₂	216.5
		FeO · SiO ₂	131.9
Olivine	<i>Ol</i>	MgO · SiO ₂	100.4
		2FeO · SiO ₂	203.8
Dicalcium silicate	<i>Cs</i>	2MgO · SiO ₂	140.7
		2CaO · SiO ₂	172.2
Magnetite	<i>Mt</i>	FeO · Fe ₂ O ₃	231.5
Ilmenite	<i>Il</i>	FeO · TiO ₂	151.7
Hematite	<i>Hm</i>	Fe ₂ O ₃	159.7
Titanite	<i>Tn</i>	CaO · TiO ₂ · SiO ₂	196.0
Perovskite	<i>Pf</i>	CaO · TiO ₂	135.9
Rutile	<i>Ru</i>	TiO ₂	79.87
Apatite	<i>Ap</i>	3.3 CaO · P ₂ O ₅	327.0



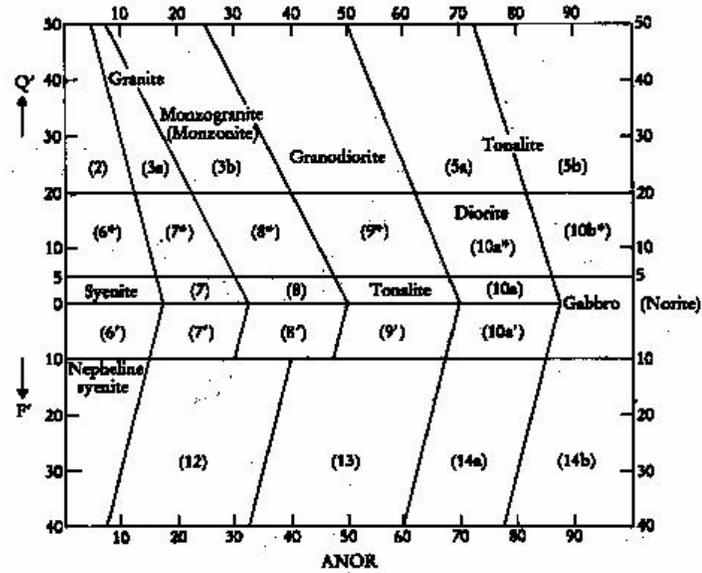
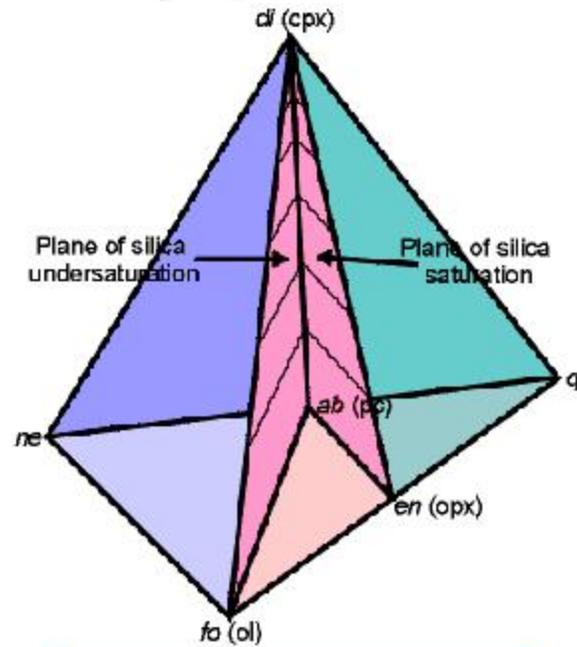


Figure 3.9 The classification of plutonic rocks using their molecular normative compositions (after Streckeisen and Le Maitre, 1979). The numbered fields correspond to those in the modal QAPF diagram of Streckeisen (1976). The named rock types are plotted at the position of their highest concentration in the data file used by Streckeisen and Le Maitre. $Q' = Q/(Q + Or + Ab + An)$; $F' = (Ne + Lc + Kp)/(Ne + Lc + Kp + Or + Ab + An)$; $ANOR = 100 \times An/(Or + An)$.



Tetraedro de basaltos

