

Ejercicio orientado a explicar el procedimiento completo del método de datación Ar-Ar.

Primeramente necesitamos los datos de $\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}$ para cada etapa y el valor J para calcular

las edades para cada etapa. De las notas sabemos que: $J = \frac{e^{\lambda t} - 1}{\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}}$.

En este caso, el mineral monitor irradiado tiene una edad de $t=2.87 \times 10^9$ años y un cociente medido después de la irradiación de $\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}} = 134.4$ y la constante de decaimiento $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}$. Sustituimos estos datos en la ecuación de J y obtenemos:

$$J = \frac{e^{\lambda t} - 1}{\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}} = \frac{(e^{(5.543 \times 10^{-10})(2.87 \times 10^9)} - 1)}{134.4} = 0.0291 \qquad J = 0.0291$$

Este valor de J es el que será utilizado en la datación Ar-Ar del mineral desconocido.

Ahora calculemos la edad para cada etapa de calentamiento del mineral desconocido para la liberación del gas Ar, empezando a los 500 °C. A esta temperatura tenemos las siguientes lecturas de isotopos de Ar.

$$^{40}\text{Ar} = 5.9 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ gas / etapa}_1$$

$$^{39}\text{Ar} = 0.274391 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ gas / etapa}_1$$

Ahora calculamos las moles de gas para cada isótopo de Ar, haciendo la corrección con respecto al Ar atmosférico que es **22400 c³/m**

Temperatura	⁴⁰ Ar	³⁹ Ar
500	5.90E-08	2.74E-09
610	9.36E-07	1.15E-08
720	2.69E-06	1.59E-08
810	4.01E-06	1.99E-08
900	5.65E-06	2.69E-08
990	4.94E-06	2.35E-08
1060	2.29E-06	1.15E-08
1140	8.88E-07	4.52E-09
1220	7.29E-07	3.77E-09
1290	1.27E-07	6.80E-10
1400	3.70E-08	1.92E-10
Total	9.98E-10	5.41E-12
J	0.0291	
λ	5.54E-10	

$$m^{40}\text{Ar} = \frac{5.9 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 2.6339 \times 10^{-12} \text{ m / gas}$$

$$m^{39}\text{Ar} = \frac{0.274391 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 1.22496 \times 10^{-13} \text{ m / gas}$$

Ahora calculemos la edad para cada etapa, empezando a los 500 °C. A esta temperatura tenemos los siguientes datos de Ar.

Temperatura	⁴⁰ Ar	³⁹ Ar
500	5.90E-08	2.74E-09
610	9.36E-07	1.15E-08
720	2.69E-06	1.59E-08
810	4.01E-06	1.99E-08
900	5.65E-06	2.69E-08
990	4.94E-06	2.35E-08
1060	2.29E-06	1.15E-08
1140	8.88E-07	4.52E-09
1220	7.29E-07	3.77E-09
1290	1.27E-07	6.80E-10
1400	3.70E-08	1.92E-10
Total	9.98E-10	5.41E-12
J	0.0291	
λ	5.54E-10	

Seguidamente calculamos las moles de gas para cada isótopo de Ar, haciendo la corrección con respecto al Ar atmosférico (Ar_{atm}) que es 22400 c³/m.

$$m^{40}\text{Ar} = \frac{5.9 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 2.6339 \times 10^{-12} \text{ m / gas}$$

$$m^{39}\text{Ar} = \frac{0.274391 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}}{22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 1.22496 \times 10^{-13} \text{ m / gas}$$

Para graficar esta edad en un diagrama de $\left(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)$ contra % o fracción de ³⁹Ar

acumulado, requerimos del total de ³⁹Ar liberado (suma de todas las etapas) el cual es (³⁹Ar)_{tot} = 5.41x10⁻¹² mol. Entonces, para la primera etapa de calentamiento a 500 °C tenemos una cantidad de ³⁹Ar acumulado de

$$^{40}\text{Ar} = 5.9 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ gas / etapa}$$

$$^{39}\text{Ar} = 0.274391 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ gas / etapa}$$

$$^{39}\text{Ar} = \frac{1^{\text{ra}} \text{ fraccion}}{\text{total } ^{39}\text{Ar}} = \frac{1.22496 \times 10^{-13} \text{ mol}}{5.41 \times 10^{-12} \text{ mol}} * 100 = 2.26\%$$

Con los valores calculados determinamos el cociente $\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}\right)^* \rightarrow \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}\right)^* = \frac{2.6339 \times 10^{-12}}{1.22496 \times 10^{-13}} = 21.502$

Así calculamos la edad para la primera etapa

$$m {}^{40}\text{Ar} = 2.6339 \times 10^{-12} \text{ m / gas}$$

$$m {}^{39}\text{Ar} = 1.22496 \times 10^{-13} \text{ m / gas}$$

Temperatura	${}^{40}\text{Ar}$	${}^{39}\text{Ar}$
500	5.90E-08	2.74E-09
610	9.36E-07	1.15E-08
720	2.69E-06	1.59E-08
810	4.01E-06	1.99E-08
900	5.65E-06	2.69E-08
990	4.94E-06	2.35E-08
1060	2.29E-06	1.15E-08
1140	8.88E-07	4.52E-09
1220	7.29E-07	3.77E-09
1290	1.27E-07	6.80E-10
1400	3.70E-08	1.92E-10
Total	9.98E-10	5.41E-12
J	0.0291	
λ	5.54E-10	

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[J \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}} \right)^* + 1 \right] = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln [(0.0291 \times 21.502) + 1] = 0.8757 \times 10^9 \text{ años}$$

$$t = 875.7 \text{ millones de años}$$

Para graficar esta edad en un diagrama de $\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{39}\text{Ar}}\right)$ contra % o fracción de ${}^{39}\text{Ar}$ acumulado, requerimos del

total de ${}^{39}\text{Ar}$ liberado (suma de todas las etapas) el cual es $({}^{39}\text{Ar})_{\text{tot}} = 5.41 \times 10^{-12} \text{ mol}$. Entonces, para la primera etapa de calentamiento a 500 °C tenemos una cantidad de ${}^{39}\text{Ar}$ acumulado de

$${}^{39}\text{Ar} = \frac{1^{\text{ra}} \text{ fraccion}}{\text{total } {}^{39}\text{Ar}} = \frac{1.22496 \times 10^{-13} \text{ mol}}{5.41 \times 10^{-12} \text{ mol}} * 100 = 2.26\%$$

Fracción o % de ^{39}Ar de la 1^{ra} etapa o primera temperatura es

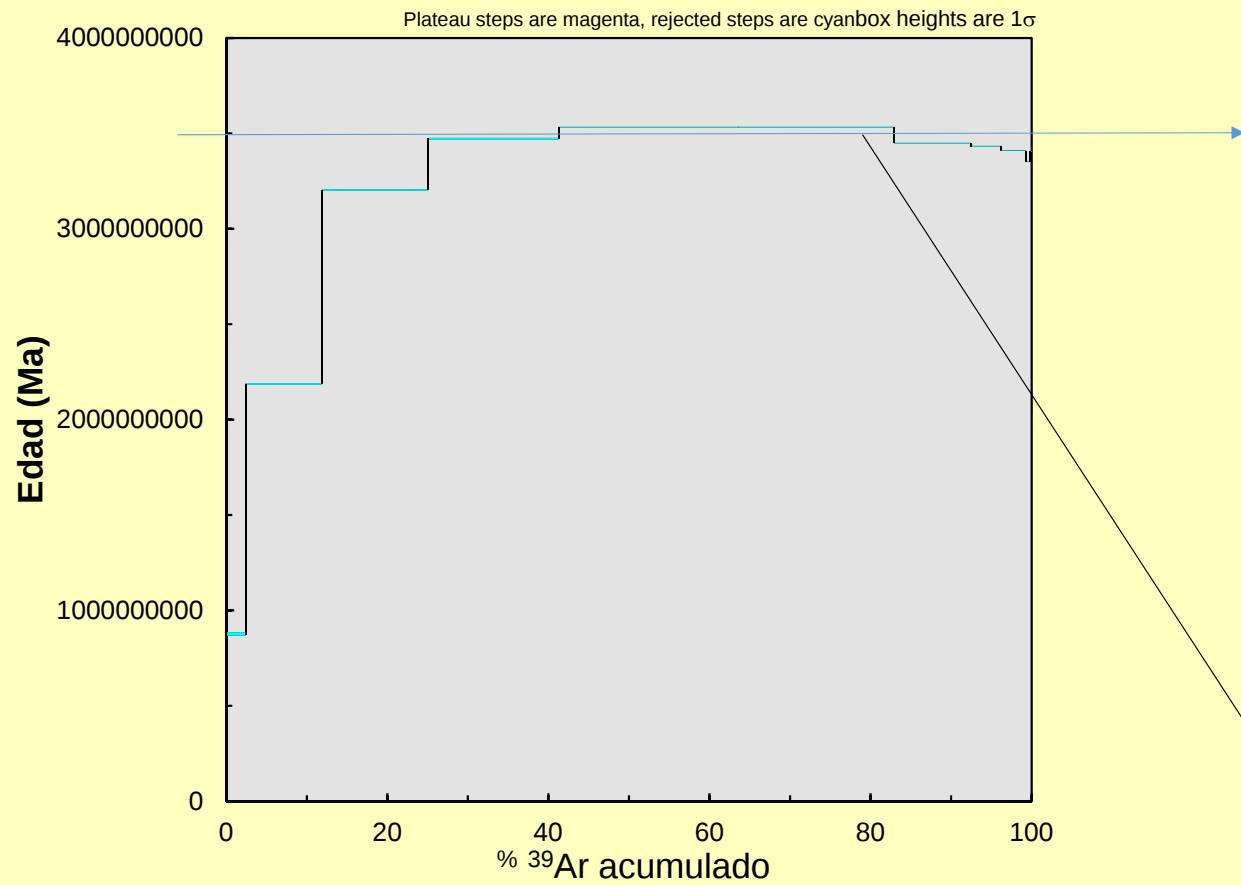
$$^{39}\text{Ar} = \frac{1^{\text{ra}} \text{ fraccion}}{\text{total } ^{39}\text{Ar}} = \frac{1.22496 \times 10^{-13} \text{ mol}}{5.41 \times 10^{-12} \text{ mol}} * 100 = 2.26\%$$

La fracción o % de la 2^{da} etapa o segundo incremento de temperatura es:

$$^{39}\text{Ar} = \frac{1^{\text{ra}} \text{ fraccion} + 2^{\text{da}} \text{ fraccion}}{\text{total } ^{39}\text{Ar}} = \frac{1.22496 \times 10^{-13} + 2^{\text{da}}}{5.41 \times 10^{-12} \text{ mol}} * 100 =$$

y así sucesivamente para cada incremento de temperatura hasta agotado todo el ^{39}Ar . ***Se considera una buena edad cuando se alcanza la meseta (Plateau) al 60% de ^{39}Ar acumulado*** y se mantiene hasta el final o con ligeras oscilaciones.

Temp.	⁴⁰ Ar	³⁹ Ar	⁴⁰ Ar mol	³⁹ Ar mol	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	T=edad en años	³⁹ Ar acumulado	% ⁴⁰ Ar liberado	Longitud del segmento
500	5.90E-08	2.74E-09	2.6339E-12	1.22496E-13	21.50	8.78E+08	1.22E-13	2	2
610	9.36E-07	1.15E-08	4.1786E-11	5.13698E-13	81.34	2.19E+09	6.36E-13	12	9
720	2.69E-06	1.59E-08	1.1991E-10	7.10328E-13	168.81	3.21E+09	1.35E-12	25	13
810	4.01E-06	1.99E-08	1.7879E-10	8.86474E-13	201.69	3.48E+09	2.23E-12	41	16
900	5.65E-06	2.69E-08	2.5214E-10	1.20269E-12	209.65	3.54E+09	3.44E-12	63	22
990	4.94E-06	2.35E-08	2.204E-10	1.05068E-12	209.77	3.54E+09	4.49E-12	83	19
1060	2.29E-06	1.15E-08	1.0237E-10	5.15228E-13	198.68	3.46E+09	5.00E-12	92	10
1140	8.88E-07	4.52E-09	3.9656E-11	2.01905E-13	196.41	3.44E+09	5.20E-12	96	4
1220	7.29E-07	3.77E-09	3.2527E-11	1.68177E-13	193.41	3.42E+09	5.37E-12	99	3
1290	1.27E-07	6.80E-10	5.6518E-12	3.03362E-14	186.31	3.36E+09	5.40E-12	100	1
1400	3.70E-08	1.92E-10	1.6518E-12	8.54911E-15	193.21	3.42E+09	5.41E-12	100	0
			9.9752E-10	5.41055E-12					
J	0.0291								
λ	5.54E-10								



T=edad en años	^{39}Ar acumulado
8.78E+08	1.22E-13
2.19E+09	6.36E-13
3.21E+09	1.35E-12
3.48E+09	2.23E-12
3.54E+09	3.44E-12
3.54E+09	4.49E-12
3.46E+09	5.00E-12
3.44E+09	5.20E-12
3.42E+09	5.37E-12
3.36E+09	5.40E-12
3.42E+09	5.41E-12

	3.54E+09
	3.54E+09
	3.45E+09
	3.44E+09
	3.41E+09
	3.35E+09
	3.41E+09
Edad	3.45E+09

Método K-Ar

La conversión de % en peso de óxido a % en peso de elemento

Problema 1

Mineral biotita del intrusivo cuarzo-monzonítico Silver Point de Idaho, contiene 8.45% de K_2O y 6.016×10^{-10} mol/g de ^{40}Ar radiogénico ($^{40}Ar^*$). Calcular la edad K-Ar para este mineral. (*Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86:517-528).

Para resolver el problema utilizaremos las siguientes formulas:

$$^{40}Ar^* = \frac{\lambda_{Ar}}{\lambda_{tot}} ^{40}K (e^{\lambda t} - 1) \rightarrow t = \frac{1}{\lambda_{tot}} \ln \left[\frac{^{40}Ar^*}{^{40}K} \left(\frac{\lambda_{tot}}{\lambda_{Ar}} \right) + 1 \right]$$

Primero hay que transformar el % de K_2O a átomos de ^{40}K y mol/g a átomos de ($^{40}Ar^*$) de la siguiente forma:

$$^{40}K = \frac{8.45}{100} \cdot \frac{2 \cdot 0.0001167A}{94.195} = 2.0938 \times 10^{-7} \times \frac{A \cdot \text{atomos}}{gr} \quad y \quad ^{40}Ar^* = 6.016 \times 10^{-10} \times \frac{A \cdot \text{atomos}}{gr}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior calculamos la edad.

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{6.016 \times 10^{-10}}{2.0938 \times 10^{-7}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.004878 \times 10^{10} a = 48.4 Ma$$

Problema 2

Mineral anfíbol (hornblenda) del mismo intrusivo cuarzo-monzonítico Silver Point de Idaho contiene 0.6078% K₂O y 0.462 mol/gr de ⁴⁰Ar radiogénico (⁴⁰Ar*). Calcular la edad K-Ar para este mineral. (Geol. Soc. Amer. Bull., 86:517-528).

Se procede de la misma forma anterior, para transformar el % de K₂O a átomos de ⁴⁰K y mol/g a átomos de (⁴⁰Ar*).

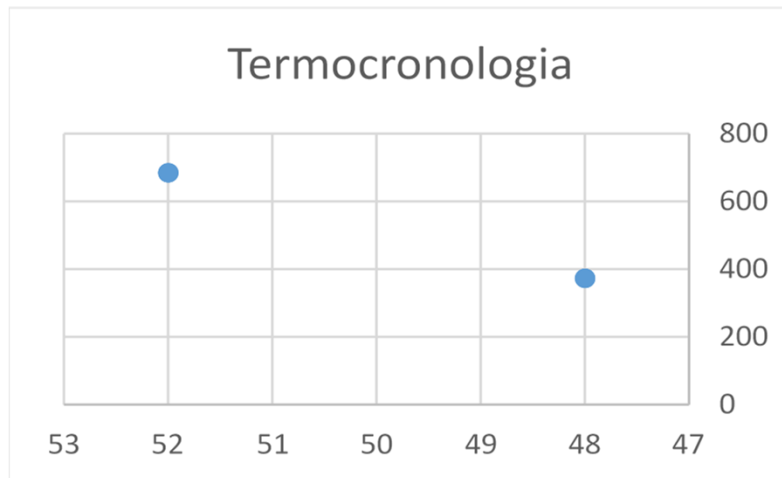
$$^{40}\text{K} = \frac{0.6078}{100} \cdot \frac{2 \cdot 0.0001167A}{94.195} = 1.506 \times 10^{-8} \times \frac{A \cdot \text{atomos}}{\text{gr}}$$

$$^{40}\text{Ar}^* = 0.462 \times 10^{-10} \times \frac{A \cdot \text{atomos}}{\text{gr}}$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{0.462 \times 10^{-10}}{1.506 \times 10^{-7}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.005204 \times 10^{10} \text{ a} = 52.04 \text{ Ma}$$

Observar que la edad reportada por el mineral hornblenda es mayor que la obtenida del mineral biotita, aunque ambos coexisten en el mismo intrusivo. Lo anterior se debe a que el mineral hornblenda tiene una mayor temperatura de cierre que el mineral biotita.

Asumiendo que la temperatura de bloqueo de la biotita es 373 °C y el de la hornblenda es 685 °C, diferencia en las edades K-Ar indican la velocidad o ritmo de enfriamiento del intrusivo cuarzo-monzonítico Silver Point, el cual podemos ver en el siguiente diagrama.

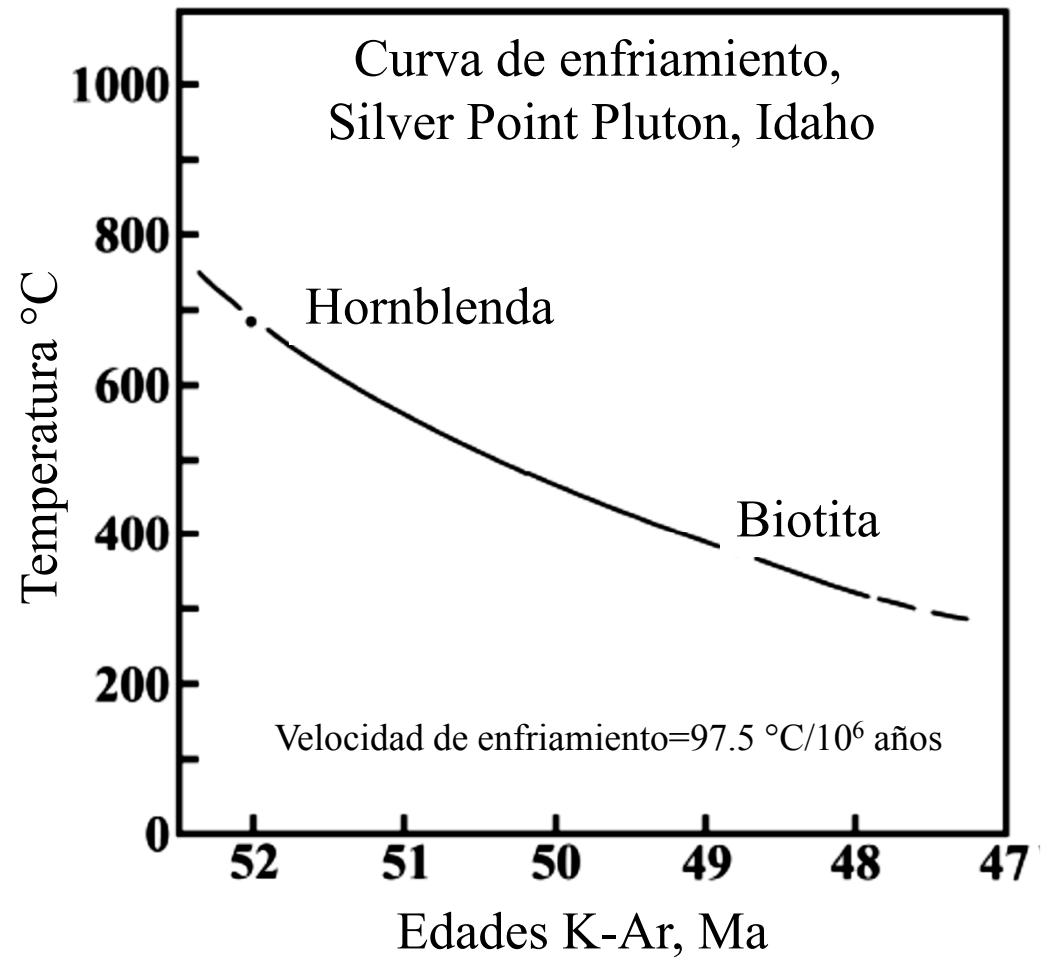


	Temp °C	Edad
Hornblenda	685	52
Botita	373	48

$$\Delta t = (52 - 48) \times 10^6 = 32 \times 10^6$$

$$\Delta T = (685 - 373) ^\circ C = 312 ^\circ C$$

$$Velocidad\ de\ enfriamiento = \frac{312}{32 \times 10^6} = 97.5 \frac{^\circ C}{10^6\ año}$$



Problema 3

Un pequeño plutón contiene biotita y hornblenda, los cuales fueron analizados, obteniéndose los siguientes resultados.

Mineral	K ₂ O	Ar* mol/g
Hornblenda	8.71	12.83x10 ⁻¹⁰
Botita	1.44	4.348x10 ⁻¹⁰

BIOTITA

$$^{40}K = \frac{8.71 \times 2 \times 0.0001176A}{94.196 \times 100} = 2.158 \times 10^{-7} A$$

$$^{40}Ar^* = 12.83 \times 10^{-10} A$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{12.83 \times 10^{-10}}{2.158 \times 10^{-7}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.009953 \times 10^{10}$$

$$t = 99.5 \times 10^6 = 99.5 \text{ Ma}$$

HORNBLENDA

$$^{40}\text{K} = \frac{1.44 \times 2 \times 0.0001176 \text{ A}}{94.196 \times 100} = 3.568 \times 10^{-8} \text{ A}$$

$$^{40}\text{Ar}^* = 4.348 \times 10^{-10} \text{ A}$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{4.348 \times 10^{-10}}{3.568 \times 10^{-8}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.009953 \times 10^{10} = 0.01983 \times 10^{10}$$

$$t = 198.3 \times 10^6 \text{ años} = 198.3 \text{ Ma}$$

La discrepancia entre las edades K-Ar de biotita y hornblenda puede ser el resultado de cualquiera de los siguientes tres procesos geológicos alternativos.

- 1) El mineral hornblenda contiene exceso de ^{40}Ar radiogénico, liberado por otros minerales de K (de menor temperatura de bloqueo) durante un evento (un episodio) de metamorfismo térmico el cual terminó hace 99.5 Ma (edad K-Ar de la muestra biotita)
- 2) El plutón cristalizó a los 198.3 Ma (edad K-Ar del mineral hornblenda) y después se enfrió lentamente a la temperatura de bloqueo del mineral biotita a 99.5 Ma. La velocidad de enfriamiento derivada de este proceso es: $312/99.5 = 3.15 \text{ }^\circ\text{C}/10^6 \text{ años}$
- 3) El plutón cristalizó a 198.5 Ma, o antes, y fue posteriormente recalentado hace 99.5 Ma. durante el evento de metamorfismo térmico; la temperatura excedió la temperatura de bloqueo de la muestra de biotita, pero no alcanzó la temperatura de bloqueo del mineral hornblenda. Como resultado, la edad K-Ar de la mineral biotita fue reseteada por la pérdida de todo el $^{40}\text{Ar}^*$ radiogénico acumulado, mientras que el mineral hornblenda no perdió (tampoco ganó) argón radiogénico $^{40}\text{Ar}^*$.

Problema 4

Otro plutón contiene biotita y moscovita, minerales que fueron analizados por óxidos mayores, obteniéndose los siguientes resultados.

Mineral	K ₂ O %	⁴⁰ Ar* mol/g
Biotita	7.9	6.996
Moscovita	10.72	13.6

Determinar las edades K-Ar para ambos minerales y derivar una conclusión en relación a los resultados.

BIOTITA

$$^{40}K = \frac{7.90 \times 2 \times 0.0001176A}{94.196 \times 100} = 1.957 \times 10^{-7} A$$

$$^{40}Ar^* = 6.996 \times 10^{-10} A$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{6.996 \times 10^{-10}}{1.957 \times 10^{-7}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.006050 \times 10^{10}$$

$$t = 60.5 \times 10^6 = 60.5 \text{ Ma}$$

MOSCOVITA

$$^{40}K = \frac{10.72 \times 2 \times 0.0001176A}{94.196 \times 100} = 2.656 \times 10^{-7} A$$

$$^{40}Ar^* = 13.66 \times 10^{-10} A$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\frac{13.66 \times 10^{-10}}{2.656 \times 10^{-7}} \left(\frac{5.543 \times 10^{-10}}{0.581 \times 10^{-10}} \right) + 1 \right] = 0.08641 \times 10^{10}$$

$$t = 86.4 \times 10^6 = 86.4 \text{ Ma (Cretacico Tardio, Conaciano)}$$

La edad K-Ar del mineral moscovita (86.4 Ma) es más antigua que la del mineral biotita (60.5 Ma). Por lo tanto, el mineral moscovita es más propenso (tiende a) a retener ⁴⁰Ar* radiogénico que el mineral biotita. Otra forma diferente de decirlo es que la moscovita tiene mayor temperatura de bloqueo que la biotita. Por lo tanto, en un sistema en enfriamiento, la moscovita empieza a retener ⁴⁰Ar* a una temperatura más alta que la biotita.

Problema 5

Análisis de una muestra de biotita indica un contenido de $K_2O=8.83\%$ y 8.481×10^{-10} mol/g de $^{40}Ar^*$, lo que resulta en una edad de **65.6 Ma**. Si la edad de cristalización del plutón que contiene a este mineral es de 200×10^6 años (**200 Ma**), *¿Cuál es la fracción de $^{40}Ar^*$ que se perdió de este mineral (biotita) relativo a la cantidad de $^{40}Ar^*$ que debería estar presente actualmente en la muestra basándose en la edad del intrusivo?*

Es decir, durante el tiempo transcurrido desde la cristalización del intrusivo (200 Ma) hasta la edad revelada por la biotita (65. Ma), que serían 134.4 Ma; la muestra biotita habría perdido el 68.45% de $^{40}Ar^*$, es esa la razón de la gran diferencia de edad.

El problema es determinar el $^{40}Ar^*$ “radiogénico acumulado después de 200×10^6 años (**200 Ma**) de decaimiento.

Primero transformamos el % de K_2O a mol/g

$$^{40}K = \frac{8.83 \times 2 \times 0.0001167}{94.196 \times 100} = 2.1879 \times 10^{-7} \text{ mol / g}$$

Retomamos la ecuación original del método de datación K-Ar y sustituimos valores correspondientes y se realizan los cálculos $^{40}Ar^*$ radiogénico.

$$^{40}Ar^* = \left(\frac{\lambda_{Ar}}{\lambda} \right) ^{40}K (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda t = 5.543 \times 10^{-10} \times 200 \times 10^6 = 0.11086$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.117238$$

$$^{40}Ar^* = \frac{0.581 \times 10^{-10}}{5.543 \times 10^{-10}} \times 2.1878 \times 10^{-7} \times 0.117238$$

$$^{40}Ar^* = 2.6884 \times 10^{-9} \text{ mol / g}$$

Seguidamente calculamos la Fracción (F_r) de $^{40}Ar^*$ remanente en la muestra. Para esto, contamos con la concentración actual de $^{40}Ar^*=8.481 \times 10^{-10}$ mol/g

$$F_r = \frac{8.481 \times 10^{-10}}{2.6884 \times 10^{-9}} \times 10^2 = 31.54 \%$$

Ahora calculamos la fracción de $^{40}Ar^*$ perdido

$$F_p = 100 - 31.54 = 68.45 \%$$

Fracción de $^{40}Ar^*$ Perdido (F_p) a 65.6 Ma es $F_p = 68.45 \%$

Problema 5. Análisis de una muestra de biotita indica un contenido de $K_2O=8.83\%$ y 8.481×10^{-10} mol/g de $^{40}Ar^*$, lo que resulta en una edad de 65.6 Ma. Si la edad de cristalización del plutón que contiene a este mineral es de 200×10^6 años (200 Ma), ¿Cuál es la fracción de $^{40}Ar^*$ que se perdió de este mineral (biotita) relativo a la cantidad de $^{40}Ar^*$ que debería estar presente actualmente en la muestra basándose en la edad del intrusivo?

El problema es determinar el $^{40}Ar^*$ “radiogénico acumulado después de 200×10^6 años (200 Ma) de decaimiento.

Primero transformamos el % de K_2O a mol/g

$$^{40}K = \frac{8.83 \times 2 \times 0.0001167}{94.196 \times 100} = 2.1879 \times 10^{-7} \text{ mol / g}$$

Retomamos la ecuación original del método de datación K-Ar y sustituimos valores correspondientes y se realizan los cálculos $^{40}Ar^*$ radiogénico.

$$^{40}Ar^* = \left(\frac{\lambda_{Ar}}{\lambda} \right) ^{40}K (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda t = 5.543 \times 10^{-10} \times 200 \times 10^6 = 0.11086$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.117238$$

$$^{40}Ar^* = \frac{0.581 \times 10^{-10}}{5.543 \times 10^{-10}} \times 2.1878 \times 10^{-7} \times 0.117238$$

$$^{40}Ar^* = 2.6884 \times 10^{-9} \text{ mol / g}$$

Seguidamente calculamos la Fracción (F_r) de $^{40}\text{Ar}^*$ remanente en la muestra. Para esto, contamos con la concentración actual de $^{40}\text{Ar}^*=8.481 \times 10^{-10}$ mol/g

$$F_r = \frac{8.481 \times 10^{-10}}{2.6884 \times 10^{-9}} \times 10^2 = 31.54 \%$$

Ahora calculamos la fracción de $^{40}\text{Ar}^$ perdido*

$$F_p = 100 - 31.54 = 68.45 \%$$

Fracción de $^{40}\text{Ar}^$ Perdido (F_p) a 65.6 Ma es $F_p = 68.45 \%$*

Método Ar-Ar

Método Ar-Ar

Problema 1

El cociente $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ de una fracción de Ar liberada de una muestra de biotita es 12.31. El valor de J es 1.925×10^{-2} . Calcular la edad correspondiente $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ (Bryhni et al., 1971. Norsk Geologisk Tidsskrift, 51:391-406, muestra Fmx-25).

Para este problema se utiliza la ecuación

$$\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) = \frac{e^{\lambda t} - 1}{J} \text{ de donde se despeja } t$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right] \text{ solo resta sustituir valores}$$

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln (12.31 \times 1.925 \times 10^{-2} + 1) = \frac{\ln 1.236967}{5.543 \times 10^{-10}} = 383.6 \times 10^6 \text{ a}$$

$$t = 383.6 \text{ Ma (Devonico Medio, Eifeliano)}$$

Problema 2

Otra muestra de biotita, fue analizada por liberación de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ por calentamiento en etapas, obteniéndose los resultados, que se muestran en la tabla.

Etapa	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$
1	2.27
2	4.97
3	6.68
4	9.58
5	10.25
6	10.1
7	10.26

Ahora hay que calcular las edades para todas las fracciones de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$, utilizando un valor de $J=2.9 \times 10^{-2}$; después graficar las edades obtenidas contra el número de etapas. Estimar la edad de esta muestra de biotita y delinear su historia geológica basándose en el espectro de edades $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$.

Para este problema utilizamos la ecuación para la datación $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right]$$

Etapa	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	Edades
1	2.27	1.15E+08
2	4.97	2.43E+08
3	6.68	3.19E+08
4	9.58	4.42E+08
5	10.25	4.70E+08
6	10.1	4.63E+08
7	10.26	4.70E+08
Edad Meseta		
		4.61E+08

Edad meseta, promedio de las 4 edades de últimas 4 etapas de calentamiento

Interpretación (**consultar la gráfica**)

El espectro de las etapas de liberación parcial de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ tiene una meseta formada por Ar liberado en las etapas 5, 6, y 7. La fecha promedio $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ de la meseta es 467.6 Ma (Ordovícico medio).

La primera fracción liberada a la temperatura más baja da la edad más baja (115.0 Ma, Cretácico Temprano, de Aptiano).

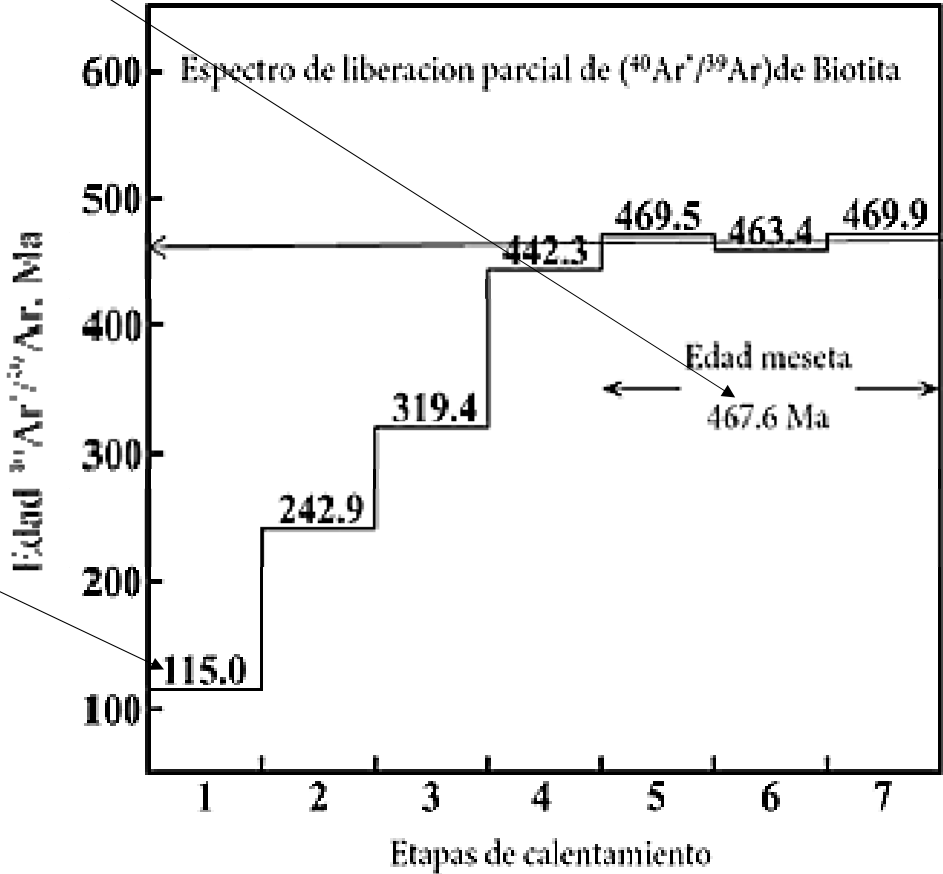
La edad de cristalización de esta muestra de biotita y de la roca en la cual ocurre, es 467.6 el ± 2.1 Ma (una desviación de estándar de la media de tres determinaciones).

El mineral perdió $^{40}\text{Ar}^*$ de zonas cercanas a la superficie del grano mineral hace de 115 Ma, asumiendo que en esta zona del mineral se perdió todo el $^{40}\text{Ar}^*$ a este tiempo.

En caso de que la pérdida de $^{40}\text{Ar}^*$ en estas zonas superficiales no fue completa, la pérdida más reciente ocurrió hace 115 Ma.

La evidencia para la pérdida de $^{40}\text{Ar}^*$ de esta muestra de biotita, indica que una edad convencional K-Ar de este mineral sería menor que su edad de cristalización.

Etapas	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	Edades
1	2.27	1.15E+08
2	4.97	2.43E+08
3	6.68	3.19E+08
4	9.58	4.42E+08
5	10.25	4.70E+08
6	10.1	4.63E+08
7	10.26	4.70E+08
Edad Meseta		
4.67E+08		



Problema 3

Se analizó un espécimen de anortosita de Hadley Rille en la Luna (Apolo 15) para datación por el método de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$, con los siguientes resultados

% Acumulado de ^{39}Ar	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$
3	58.14
10	61.34
27	72.77
61	80.15
79	83.32
100	79.8

Calcular las edades $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$, para cada fracción de Ar liberado considerando un valor de J ($J=9.83 \times 10^{-2}$) y graficarlas contra % de ^{39}Ar liberado. ¿Cuál es la edad de esta muestra?

Para calcular la edad para cada etapa de calentamiento, se utilizará la ecuación de datación Ar-Ar

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right]$$

En la primera etapa de calentamiento (0 a 3%) tendremos:

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln (58.14 \times 9.83 \times 10^{-2} + 1) = 3.435 \times 10^9 = 3.435 \text{ Ga}$$

Y así sucesivamente se calculan las edades para las siguientes etapas de calentamiento, teniendo los siguientes resultados:

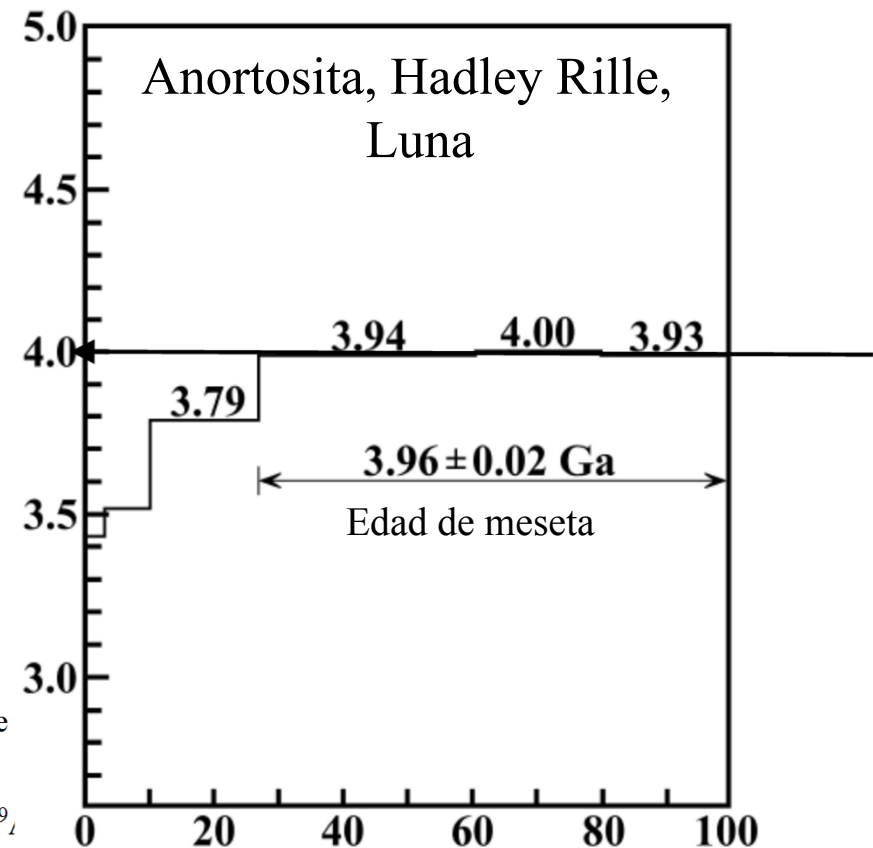
% de ^{39}Ar acumulado	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	Edades
3	58.14	3.44E+09
10	61.34	3.52E+09
27	72.77	3.79E+09
61	80.15	3.94E+09
79	83.32	4.00E+09
100	79.80	3.93E+09

Interpretación de resultados

La edad media de la meseta es **3.96 el ± 0.02 Ga**, que es la mejor estimación de edad de esta muestra de anortosita lunar.

Es importante mencionar que Husain et. al. (1972) reportaron cocientes de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ para dos etapas adicionales de gas liberado: **77.2** (800–1650 °C) y **79.0** (1000-1650 °C) las cuales resultan en edades de **3.88** y **3.92 Ga**, respectivamente. La inclusión de estas edades en la meseta da una media de **3.93 ± 0.02 Ga** por las cinco edades.

Además, Husain et. al. (1972) utilizaron un valor de $\lambda = 5.305 \times 10^{-10}$ (^{40}K), que aumenta la edad de la meseta que reportaron a **4.09 ± 0.19 Ga**.



Problema 4

Turner et. al. (1971, Earth Planet. Sci. Letters, 12:19-35) irradiaron una muestra de hornblenda de edad convencional K-Ar de 1.062×10^9 años. Su cociente $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ después de la irradiación fue 29.33. Calcular el valor de J.

Para resolver el problema, utilizamos la siguiente ecuación

$$\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{39}\text{Ar}} = \frac{e^{\lambda t} - 1}{J} \quad \text{de donde despejamos J y sustituimos los valores correspondientes.}$$

$$J = \frac{e^{\lambda t} - 1}{\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{39}\text{Ar}} \right)} = \frac{e^{(5.543 \times 10^{-10})(1.062 \times 10^9)} - 1}{29.33} = \frac{0.80158}{29.33} = 2.733 \times 10^{-2}$$

Problema 5

Podosek y Huneke (1973, Geochim. Cosmochim. Acta, 37:667-684) determinaron en el meteorito acondrito Pasamonte, los cocientes de $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ de fracciones de Ar liberado en etapas de calentamiento.

La edad del monitor del flujo era 1.062×10^9 años y el cociente $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ era 14.01. Calcular una edad para cada fracción de Ar liberado y graficarlas contra temperatura de extracción. Observar el espectro que resultante y estimar la edad de este meteorito. Utilizando el cociente y la edad, se calcula el valor J, de la forma siguiente:

$$J = \frac{e^{\lambda t} - 1}{\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right)} \text{ y recordamos del problema anterior que:}$$

Temp. °C	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$
545	106
630	128
745	141.2
850	141.5
935	146.9
1040	145.8
1195	168.6
1515	183.8

$$e^{\lambda t} - 1 = e^{(5.543 \times 10^{-10})(1.062 \times 10^9)} - 1 = 0.80158 \text{ así obtenemos el valor de J}$$

$$J = \frac{e^{\lambda t} - 1}{\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right)} = \frac{0.80158}{14.01} = 0.05721, \text{ se procede a calcular cada una de las edades |}$$

$$\text{utilizando la formula básica de datación Ar-Ar } t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right]$$

Para una temp. de 545 °C tenemos una edad de:

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\left(\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right] = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[(106 \times 0.05721) + 1 \right] = 3.527 \text{ Ga y}$$

así se calculan las siguientes edades, obteniéndose los siguientes resultados:

Para una temp. De 545 °C tenemos una edad de

$$t = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left[\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{39}\text{Ar}} \right) J + 1 \right] = \frac{1}{5.543 \times 10^{-10}} \ln \left((106 \times 0.05721) + 1 \right) = 3.527 \text{ Ga y}$$

así se calculan las siguientes edades, obteniéndose los siguientes resultados:

Temp. °C	${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}$	Edad
545	106.0	3.53E+09
630	128.0	3.82E+09
745	141.0	3.98E+09
850	141.2	3.98E+09
935	146.9	4.04E+09
1040	145.8	4.03E+09
1195	168.6	4.27E+09
1515	183.8	4.41E+09

Interpretación

Las edades ${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}$ del acondrito Pasamonte aumentan con el aumento de la temperatura de extracción, pero no forman una meseta.

El Ar liberado a la temperatura más alta de 1515°C registra la edad más antigua de 4.408 Ga. Observar que Podosek y Huneke (1973) reportaron una edad un tanto más antigua de 4.511 Ga para esta fracción.

El espectro de edades ${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}$ indica que el acondrito Pasamonte perdió ${}^{40}\text{Ar}$, y sugiere un evento de pérdida de Ar hace aproximadamente 4.0 Ga.

La edad de la cristalización de los minerales de Pasamonte es mayor a 4.41 Ga (o mayor que 4.51 Ga según Podosek y Huneke, 1973).

La edad estimada de la cristalización de Pasamonte es similar a las edades de la cristalización de otros meteoritos rocosos, lo cual podría justificar la edad.

