

MINERALES SINTETIZADOS EN CONDICIONES EXPERIMENTALES QUE SIMULAN EL FRAGUADO DEL HORMIGÓN DEL CEMENTO PORTLAND.

Silvina A. Marfil¹, Pedro J. Maiza² y Graciela R. Mas²

1. Comisión de Investigaciones Científicas.
2. Dpto. de Geología U.N.S. Carrera de Investigador CONICET.

RESUMEN

Es conocida la dificultad en la identificación de las distintas formas de los productos de la reacción álcalis, del cemento - sílice de los áridos. Uno de los factores que se considera determinante, es la heterogeneidad de los áridos utilizados, además, entre otros, de las interacciones de los cationes liberados en el proceso de fraguado del hormigón de cemento portland.

Para lograr interpretar los resultados, se desarrolló artificialmente el proceso utilizando como árido a tridimita y soluciones de NaOH y KOH alternativamente a 40°C.

Por otro lado, basándose en la metaestabilidad del vidrio volcánico, se usó un material vítreo de composición riolítica en similares condiciones a las experiencias anteriores.

Los productos resultantes fueron estudiados por técnicas convencionales, concluyéndose que pertenecen al grupo de las ceolitas y que en cada caso puede asignarse a ceolitas Na-P cuando el medio es rico en Na⁺ y a chabacita, cuando es rico en K⁺.

ABSTRACT

Experiments have been carried out to determine the effect of alkali solutions on the reaction with aggregates used in concretes.

It is a well known fact the difficulty that arise in the identification of the products of that reaction because of the heterogeneity of materials used as aggregates, the interaction between cations, etc.

With the aims of understanding these processes, the conditions under which the reactions take place were artificially reproduced, using tridimite and volcanic glass as aggregates and OHNa and OHK as reactants.

X ray Diffraction and Electronic Diffraction were used to assess the effect of alkalis on the aggregates. Diffractograms and photographs were recorded for increasing periods of time.

The resultant products were identified as a NaP zeolite and a K-chabazite when OHNa and OHK respectively were used.

INTRODUCCION

Si bien la existencia de fenómenos de reacción entre los álcalis del cemento portland (Na₂O y K₂O) y algunos materiales que componen los agregados utilizados en el hormigón y que provocan su degradación, es conocida desde 1940 (Stanton), no han sido identificados aún los productos resultantes.

Las principales sustancias deletéreas de dichos agregados son, las variedades pobremente cristalizadas de la sílice y los vidrios volcánicos.

La dificultad en la identificación de los productos de la reacción alcali-agregado se debe fundamentalmente a la pobre cristalinidad de los mismos y a la escasa proporción en que se encuentran.

Con el objeto de lograr esta identificación se realizaron en laboratorio ensayos de síntesis utilizando como productos iniciales a los principales materiales deletéreos, vidrio volcánico y tridimita, con soluciones de NaOH y KOH

en diferentes concentraciones, tratando de imitar las condiciones de fraguado del hormigón.

Los productos resultantes fueron analizados periódicamente en el transcurso del tratamiento por DRX. Los materiales finales de cada ensayo fueron estudiados también por DRX y por difracción electrónica.

OBJETIVOS

Los objetivos propuestos fueron:

- Sintetizar posibles productos en las condiciones fisicoquímicas que se desarrolla la reacción alcali-árido.
- Identificar los productos obtenidos y su grado de cristalización.
- Evaluar el grado de reactividad de los materiales iniciales y la agresividad de las soluciones.
- Analizar la efectividad de la difracción electrónica, como método analítico, en la identificación de los productos de reacción.

MATERIALES Y METODOS

Materiales:

Los materiales iniciales (utilizados en estas experiencias) fueron: tridimita proveniente de un tronco fósil de la localidad de Cerro Mesa (Ingeniero Jacobacci, Prov. de Río Negro), de edad terciario medio a superior, identificada por DRX, y vidrio volcánico de composición riolítica de la localidad de Paileman, de la Fm. Marfil, de edad Triásico medio a Jurásico inferior. En las figuras 1a y 2a pueden observarse los difractogramas de ambos materiales

Los productos fueron molidos y tamizados a malla 200, utilizándose el material retenido en tamiz 230.

Como reactantes se utilizaron soluciones de NaOH e KOH en concentraciones 1, 0.5 y 0.1 N; y 1 N respectivamente.

Tratamiento :

Las experiencias se llevaron a cabo en envases de plástico, debido a la agresividad de las soluciones.

Se realizaron los siguientes ensayos:

- Vidrio volcánico + NaOH 1N; 0,5N y 0.1N
- Vidrio volcánico + KOH 1N
- Tridimita + NaOH 1N; 0,5N y 0.1N
- Tridimita + KOH 1N

mantenidos a temperatura constante de 40 °C en estufa.

En cada experiencia se utilizó 1 gramo de material y solución en exceso con respecto al sólido, con el fin de asumir que su composición se mantendría virtualmente constante.

La duración de las experiencias fue de 9 meses. Los productos se comenzaron

a estudiar a partir de la primer semana de reacción.

Procedimiento analítico:

En este trabajo se recurrió a la difracción electrónica como técnica analítica para evaluar el grado de cristalinidad del material sintetizado y como un complemento de difracción de rayos X en la identificación de los productos. Además se compararon los resultados obtenidos con ambos métodos con el propósito de decidir si son equivalentes, lo que permitiría el uso de uno u otro de acuerdo a la cantidad de material a analizar disponible.

La composición mineralógica de los productos sintetizados y el grado de cristalización alcanzado, fue determinado por difracción de rayos X y difracción electrónica.

Se utilizó para ello, un difractómetro Rigaku Denki, con radiación $\text{CuK}\alpha$ y filtro de Ni, operado con 35 KV y 12 mA y un microscopio electrónico de transmisión JEOL JSM-100 CX II respectivamente.

Difracción electrónica:

El diagrama de difracción electrónica, que se obtiene, se produce en el plano focal posterior del objetivo cada vez que una muestra es observada en un microscopio electrónico de transmisión.

Cuando un rayo de electrones pasa a través de una muestra alguno de los electrones son deflectados o dispersados en varias direcciones y a diferentes ángulos.

Si el material es amorfo, el modelo de difracción no contiene máximos distintivos y consiste en halos difusos alrededor de un punto central brillante. Este tipo de registro no aporta mucha información excepto la confirmación que el material es efectivamente amorfo. En los ejemplares cristalinos, en cambio, se obtiene un registro de la estructura periódica de los mismos, que se manifiesta como una serie de puntos de difracción, regularmente espaciados. Estos máximos de difracción se producen cuando al pasar por el ejemplar cristalino las "ondas" de electrones que son dispersadas por sucesivos planos reticulares paralelos, a través del cristal, están en "fase" y se combinan constructivamente.

El arreglo de los puntos depende de la orientación del material y en consecuencia se obtienen distintos diseños observando la misma estructura en diferentes orientaciones.

A partir de las distancias entre el punto central y cada uno de los puntos de difracción (R), es posible calcular los espaciados "d" en el ejemplar a través de una fórmula basada en la ley de Bragg (Beeston et. al. 1972): $R \cdot d = \lambda \cdot L$

R = distancia del punto central a cada punto (mm)

L = distancia de cámara (distancia entre el ejemplar y la película (mm))

λ = longitud de onda (Å) (es función del voltaje de aceleración utilizado).

$d = \text{espaciado reticular } (\text{\AA})$

RESULTADOS

La aplicación de difracción de rayos X y difracción electrónica permitió determinar la semejanza de los productos obtenidos con materiales naturales y/o sintéticos registrados en fichas JCPDS.

En aquellas síntesis realizadas tanto a partir de vidrio volcánico como de tridimita con soluciones de NaOH 1 N, se determinó mediante el uso de ambas técnicas la formación de un producto comparable con una ceolita especie (Na-P); cuya composición es: $\text{Na}_{5.7}\text{Al}_{5.7}\text{Si}_{10.3}\text{O}_{32} \times 12\text{H}_2\text{O}$; sistema tetragonal; ficha 16-354, JCPDS.

Las fotografías de difracción electrónica permitieron comprobar además, el ordenamiento alcanzado por el material después del tratamiento. En la fotografía N°1 se observa la difracción del vidrio natural utilizado en la síntesis y la fotografía N°2 corresponde al producto obtenido a partir de dicho vidrio. En esta última han desaparecido los anillos característicos de las sustancias amorfas o pobremente cristalizadas y se definen claramente los puntos de difracción que representan los distintos planos estructurales. Las fotografías N°3 y 4, corresponden a las difracciones de tridimita y al producto obtenido a partir de ella respectivamente.

En el cuadro N°1 se exponen los valores de distancias entre los planos de átomos "d" calculados a partir de los difractogramas y fotografías de difracción electrónica del producto sintético y se los compara con los de la ficha mencionada. Dada la estrecha similitud entre ambos, se utilizó este mineral para realizar un ajuste de las constantes cristalográficas de la síntesis a partir de los "d" leídos, por el método de mínimos cuadrados. Con los nuevos valores de constantes se calculó el indexado probable para las restantes difracciones que aún quedaban sin indexar. Puede observarse que prácticamente todas las reflexiones leídas tienen un índice probable utilizando dichas constantes de celda ya ajustadas. Estas son: $a = 10.131 \text{ \AA}$ y $c = 9.775 \text{ \AA}$.

En las experiencias con soluciones de NaOH 0.5 N se obtuvieron resultados finales equivalentes pero las reacciones fueron más lentas.

En cambio cuando se utilizaron soluciones de NaOH 0.1 N no se verificaron reacciones durante el tiempo de la experiencia.

En las síntesis a partir de vidrio volcánico y tridimita con soluciones de KOH, por otra parte, se obtuvo un producto que a pesar de su resolución difractométrica algo más pobre que en las experiencias con sodio, tiene valores de "d" leídos estrechamente semejantes a los de las siguientes fichas JCPDS:

12-194; chabacita de potasio: $\text{K}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2.3-4.15\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$; hexagonal y 16-692; ceolita K-H; $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \times n\text{H}_2\text{O}$; rómbica.

Si bien muchas de las reflexiones leídas no resultan satisfechas por las mismas. Esto podría deberse, entre otras causas, al carácter aún poco ordenado del producto sintético por una parte y por otra a que las fichas presentan un escaso número de reflexiones.

A partir de las constantes cristalográficas, por cada una de estas fichas se realizó el cálculo de los índices posibles para la síntesis. En el cuadro N° 2 se exponen los valores "d" leídos tanto por difracción electrónica, como por difracción electrónica; los de las fichas mencionadas y los índices hkl probables, calculados asumiendo un sistema hexagonal y rómbico respectivamente.

Puede observarse que si bien ambas posibilidades parecen satisfactorias, resulta mayor la aproximación cuando se realiza el cálculo a base del sistema rómbico, especialmente para los valores de "d" menores de 4,20 Å.

En las fotografías N°5 y 6 se muestran las difracciones de los productos obtenidos a partir de vidrio volcánico y tridimita con soluciones de KOH, respectivamente.

Velocidad de la reacción en función del material inicial utilizado y de la solución reactante:

Como se mencionara previamente los materiales iniciales utilizados fueron tridimita y vidrio volcánico riolítico.

Por medio de análisis difractométricos pudo observarse que la reacción es mucho más rápida a partir del vidrio tanto cuando se utilizó NaOH como KOH en la misma concentración.

En la experiencia vidrio volcánico + NaOH 1 N se observó la presencia de reflexiones de ceolita a partir de la primer semana de tratamiento y ya a los 20 días presentaban muy buena definición.

En la Figura 1d y 1e, se muestran los diagramas a los 2 y 9 meses.

Utilizando KOH con el mismo material, la reacción fue más lenta, ya que recién a los dos meses comienza a definirse la presencia de ceolita en el difractograma (Fig. 1b).

La mayor efectividad del NaOH en la reacción con vidrio volcánico riolítico, queda evidenciada en los diagramas de la figura 1c y 1e, en los que se observa que al cabo de 9 meses de tratamiento, que la ceolita sódica tiene mejor definición que la potásica.

En las experiencias a partir de tridimita e NaOH, la formación de ceolita pobremente cristalizada, se observa después de 20 días de tratamiento, si bien a la semana se observó la destrucción parcial de la estructura de la tridimita.

La buena cristalinidad de la ceolita en estas condiciones, se obtuvo después de 40 días de tratamiento. La figura 1d muestra el difractograma del material a los dos meses de reacción.

Con KOH, la reacción es aún más lenta. Después de 15 días sólo se observó

una leve disminución de la intensidad de las reflexiones de tridimita y las primeras evidencias de ceolita se manifiestan después de 2 meses. (Figura 2b).

También en este caso, la reacción fue más rápida y efectiva cuando se utilizó 0HNa. Las figuras 2c y 2e muestran los difractogramas de los productos finales después de 9 meses de reacción.

Por último, comparando los difractogramas de las figuras 1 y 2, para las mismas soluciones y en los mismos períodos de tiempo, se observa que las ceolitas sintetizadas a partir de vidrio se forman antes y están siempre mejor cristalizadas, como consecuencia de la estructura desordenada a partir de la cual se produce la reacción.

Considerando la mayor efectividad del sodio en la reacción, se estudió la misma, para ambos materiales, disminuyendo la concentración de la solución a 0,5 y 0,1 N.

La experiencia a partir del vidrio más NaOH 0,5 N, mostró la formación de una ceolita relativamente bien cristalizada a partir de 20 días de reacción y a los 40 días los difractogramas son comparables a los obtenidos con soluciones 1 N.

Utilizando tridimita con NaOH 0,5 N, recién a los tres meses se observa una ceolita de baja cristalinidad.

Con soluciones de NaOH 0,1 N, no se observó reacción en el tiempo de la experiencia.

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

Considerando que:

- Tanto la tridimita como el vidrio volcánico mostraron ser reactivos frente a soluciones alcalinas.

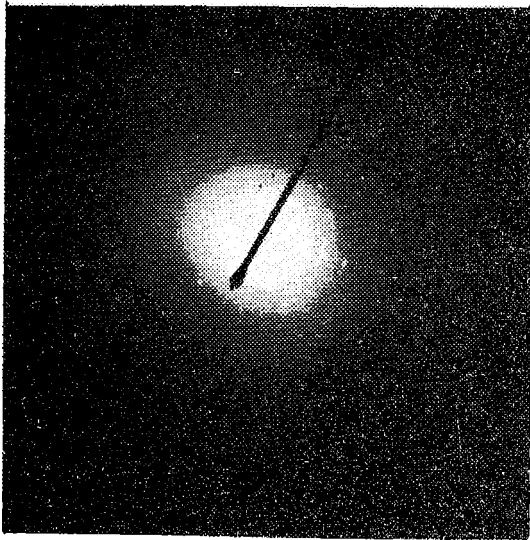
- Con ambos materiales se obtuvo la misma ceolita partiendo de la misma solución inicial.

- Las ceolitas formadas corresponden a grupos estables en condiciones de baja presión y temperatura. Tomita et al. (1969) sintetizaron chabacitas a partir de vidrio con soluciones de hidróxido de sodio y potasio en ebullición, y Harada (1969) propone para las chabacitas un posible campo de estabilidad en condiciones ambientales de presión y temperatura.

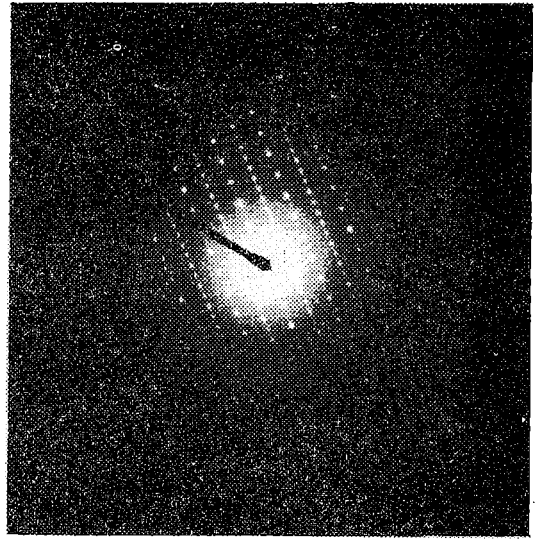
- Las experiencias sugieren que el hidróxido de sodio y el de potasio parecen actuar como catalizadores en la cristalización de las ceolitas. Posiblemente tienen un papel importante en la destrucción de los enlaces Si(Al)-O en el material inicial y facilitan el reordenamiento de átomos en los nuevos materiales cristalinos.

- La reacción de alteración es más efectiva utilizando NaOH.

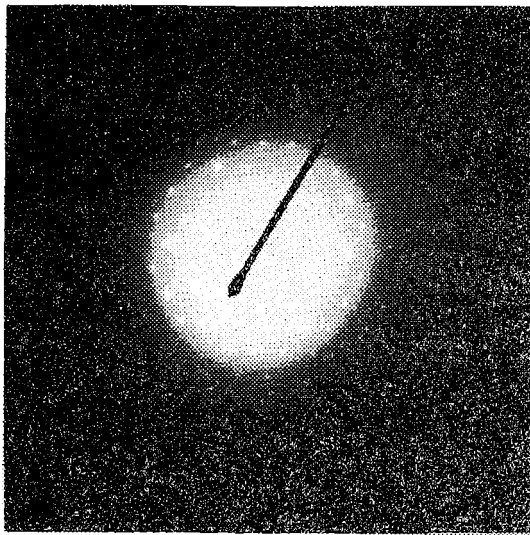
- El vidrio volcánico reacciona más rápidamente que la tridimita.



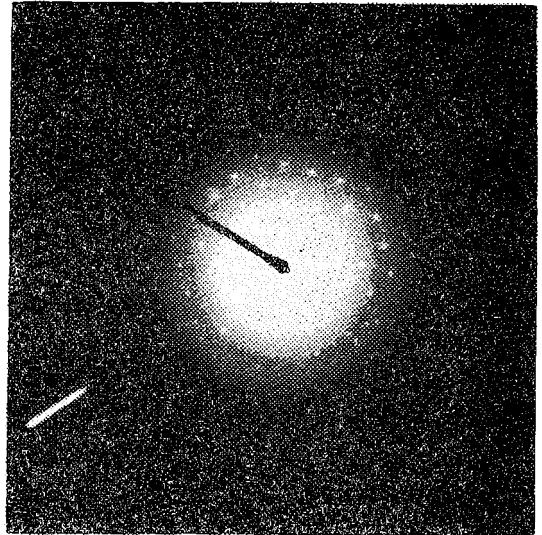
Fot. N°1 Vidrio Volcánico



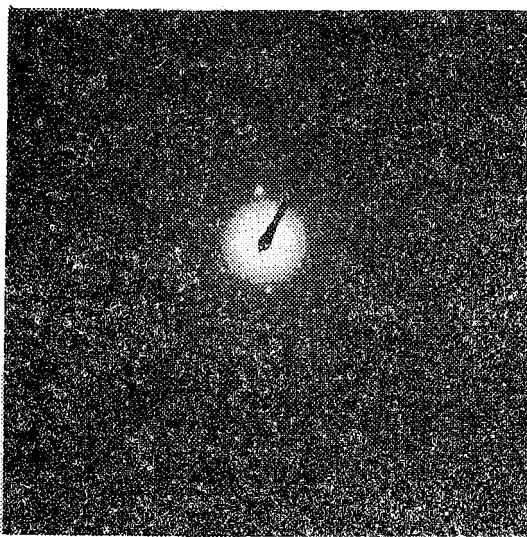
Fot. N°2 Ceolita Na-P (v. volc.)



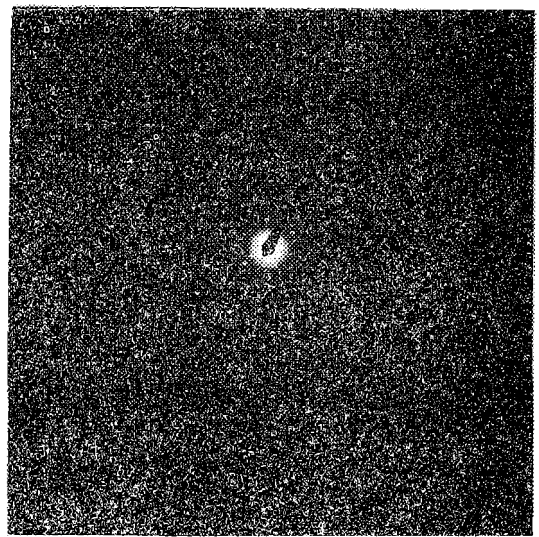
Fot. N°3 Tridimita



Fot. N°4 Ceolita Na-P (trid.)



Fot. N°5 Chabacita (v. volc.)



Fot. N°6 Chabacita (trid.)

CUADRO N°1

DRX trid. (d Å)	DRX vidrio (d Å)	D. E. (d Å)	hkl calcul.	JCPDS (d Å)	16-354 hkl
7.13	7.13	-	-	7.13	110
-	5.786	-	-	5.78	111
5.035	5.035	-	-	5.05	200
4.111	4.111	-	-	4.11	211
-	-	3.575(T)	220	-	-
-	3.544	-	-	3.53	202
3.348	3.34	3.336(T)	-	3.33	212
-	3.287	3.267(T)	003	-	-
-	3.21	3.22 (T)	310	-	-
3.184	3.195	3.176(T)	-	3.19	310
-	-	3.132(T)	-	3.12	103
3.04	3.05	3.052(T)	-	3.04	311
2.957	2.985	-	-	2.979	113
2.900	2.910	2.904(T)	222	-	-
-	-	2.741(*)	-	2.750	203
2.688	2.696	2.707(T)	-	2.694	321
2.673	-	-	-	2.679	312
2.650	2.650	2.640(V)	-	2.653	213
2.527	2.527	2.535(T)	-	2.531	400
2.427	2.427	2.442(T)	-	2.435	322
2.372	2.378	2.371(T)	-	2.387	104
2.205	2.209	2.200(*)	-	2.206	421
2.159	2.149	2.156(T)	-	2.159	214
-	2.052	2.059(T)	-	2.055	422
-	-	2.000(T)	-	1.982	510
1.975	1.975	1.974(T)	-	1.966	413
1.951	1.943	1.944(T)	511	-	-
-	-	1.919(V)	-	1.929	105
-	-	1.895(T)	115	-	-
-	-	1.854(V)	-	1.844	521
-	-	1.805(T)	215	-	-
-	-	1.796(T)	-	1.787	440
-	-	1.765(T)	-	1.759	441
-	-	1.743(T)	-	1.734	530
-	-	1.723(T)	-	1.720	503/433
-	-	1.703(T)	531	-	-
-	-	1.687(T)	-	1.681	422
-	-	1.640(*)	-	1.638	006
-	-	1.634(T)	532	-	-
-	-	1.616(T)	-	1.616	106
-	-	1.595(T)	-	1.597	116
-	-	1.572(T)	-	1.576	612
-	-	1.566(T)	541/443	-	-
-	-	1.547(V)	405	-	-
-	-	1.516(T)	630	-	-
-	-	1.504(T)	542	-	-
-	-	1.486(T)	613/425/226	-	-
-	-	1.452(V)	316	-	-
-	-	1.446(T)	444/632	-	-
-	-	1.404(T)	435	-	-
-	-	1.395(T)	515/007	-	-
-	-	1.316(T)	643/553/445	-	-
-	-	1.298(T)	535/650	-	-
-	-	1.285(T)	651/634	-	-

CUADRO N°2

DRX trid.)	DRX (vidrio)	D.E. (dÅ)	hkl(hex.) calculado	hkl(Róm.) calculado	JCPDS hex. 12-194 (dÅ) hkl	JCPDS róm. 16-692 (dÅ) hkl
10.14	-	-	100	011	-	-
9.6	-	-	-	100	-	-
9.4	9.4	-	101	-	9.5 100	9.8 101
-	8.93	-	-	-	-	-
8.43	8.5	-	-	-	-	-
-	8.26	-	-	-	-	8.27 110
8.18	-	-	-	110	-	-
-	-	7.67(V)	002	-	-	-
-	7.07	-	-	-	-	7.14 111
-	6.85	-	110	-	6.99 110	-
6.70	6.70	-	-	021	-	-
6.41	6.46	-	102	-	-	-
-	6.19	-	111	-	-	-
-	6.02	-	-	-	-	-
-	5.79	-	-	102	-	-
5.69	5.64	-	-	-	-	-
-	5.53	-	201	-	5.55 020	-
5.40	5.37	-	-	121	-	5.37 121
5.34	5.34	-	-	-	-	-
5.27	-	-	-	-	5.24 003	-
-	5.18	5.15(T)	003	-	-	-
5.03	5.03	-	-	002	-	5.04 022
4.84	-	-	-	-	-	-
4.79	4.76	-	-	003	4.78 202	-
-	4.72	-	103	201	-	-
4.69	-	-	202	-	-	-
4.48	4.48	-	120	122	-	-
4.43	-	4.40(*)	-	-	-	-
4.31	4.32	-	211	130	4.32 211	4.29 130
-	4.19	4.23	-	-	-	-
-	4.13	4.12(V)	113	131	-	4.11 131
4.09	-	-	-	220	-	-
4.036	4.02	-	-	-	-	-
-	3.97	-	300	023/212	3.95 122	-
3.897	3.86	-	203/122	-	-	-
3.767	-	-	-	-	-	-
-	-	3.69(V)	104	123	3.68	-
3.64	3.64	-	-	-	-	3.66 222
3.59	3.59	-	-	040/222	-	-
3.45	3.45	-	-	203/041	3.45 220/104	3.44 041
-	3.40	-	220	140	-	-
3.36	-	-	114	-	-	-
3.31	-	-	-	141	-	-
3.25	3.25	-	204	310	-	3.25 -
3.17	3.17	3.16(V)	-	311	3.18 330/204	3.18 942
2.966	-	-	-	312	-	-
2.937	2.938	-	214	240	2.93 201	2.96 321

CUADRO N°2 (cont.)

DRX (trid.)	DRX (vidrio)	D.E. (dÅ)	hkl(hex.) calculado	hkl(Róm.) calculado	JCPDS hex. 12-194 (dÅ) hkl	JCPDS róm. 16-692 (dÅ) hkl
-	2.778	-	313	143/322	- -	- -
-	-	2.75(V)	205	=	- -	- -
-	2.728	-	302	303	- -	2.73 143
2.696	2.68	-	-	342/313	- -	2.67 -
2.605	2.605	-	-	-	2.58 410/006	- -
2.576	2.575	-	006	152	- -	- -
2.554	2.554	2.558(V)	322	323	- -	2.55 -
-	-	2.548(V)	215	-	- -	- -
-	2.520	2.520(T)	106	044	- -	- -
-	2.479	2.463(V)	-	205/410	- -	- -
2.413	-	2.426(V)	116	411/060	- -	- -
-	-	2.319(V)	-	006	- -	- -
-	2.359	2.34 (V)	404	402/016	- -	- -
-	2.319	-	-	106/412	- -	- -
-	2.299	-	412/225	161	2.29 502	- -
-	-	2.215(V)	-	403/162	- -	- -
-	-	2.185(T)	-	413	- -	- -
-	-	2.171(V)	-	334	2.17 422	2.17 -
-	2.159	-	306	351	- -	- -
2.144	-	2.143(V)	-	063/315	- -	- -
-	-	2.129(V)	-	216	- -	- -
-	2.092	-	420/333	136	2.10 333	- -
-	2.070	-	421	262	2.07 -	- -
1.988	1.990	-	215	064/155	- -	- -
1.924	-	-	-	127/317	- -	- -
1.894	1.872	-	326	451	1.89 -	- -
-	1.865	-	118	522	- -	- -
-	-	1.854(V)	-	-	2.64 -	- -
-	1.847	1.849(V)	-	530/264	1.84 -	- -

REFERENCIAS (Cuadros N°1 y 2):

(V): ceolita obtenida a partir de vidrio volcánico.

(T): ceolita obtenida a partir de tridimita

(*): común a ambos materiales iniciales.

CUADRO N°2

DRX trid.)	DRX (vidrio)	D.E. (dÅ)	hkl(hex.) calculado	hkl(Róm.) calculado	JCPDS hex. 12-194 (dÅ) hkl	JCPDS róm. 16-692 (dÅ) hkl
10.14	-	-	100	011	-	-
9.6	-	-	-	100	-	-
9.4	9.4	-	101	-	9.5 100	9.8 101
-	8.93	-	-	-	-	-
8.43	8.5	-	-	-	-	-
-	8.26	-	-	-	-	8.27 110
8.18	-	-	-	110	-	-
-	-	7.67(V)	002	-	-	-
-	7.07	-	-	-	-	7.14 111
-	6.85	-	110	-	6.99 110	-
6.70	6.70	-	-	021	-	-
6.41	6.46	-	102	-	-	-
-	6.19	-	111	-	-	-
-	6.02	-	-	-	-	-
-	5.79	-	-	102	-	-
5.69	5.64	-	-	-	-	-
-	5.53	-	201	-	5.55 020	-
5.40	5.37	-	-	121	-	5.37 121
5.34	5.34	-	-	-	-	-
5.27	-	-	-	-	5.24 003	-
-	5.18	5.15(T)	003	-	-	-
5.03	5.03	-	-	002	-	5.04 022
4.84	-	-	-	-	-	-
4.79	4.76	-	-	003	4.78 202	-
-	4.72	-	103	201	-	-
4.69	-	-	202	-	-	-
4.48	4.48	-	120	122	-	-
4.43	-	4.40(*)	-	-	-	-
4.31	4.32	-	211	130	4.32 211	4.29 130
-	4.19	4.23	-	-	-	-
-	4.13	4.12(V)	113	131	-	4.11 131
4.09	-	-	-	220	-	-
4.036	4.02	-	-	-	-	-
-	3.97	-	300	023/212	3.95 122	-
3.897	3.86	-	203/122	-	-	-
3.767	-	-	-	-	-	-
-	-	3.69(V)	104	123	3.68	-
3.64	3.64	-	-	-	-	3.66 222
3.59	3.59	-	-	040/222	-	-
3.45	3.45	-	-	203/041	3.45 220/104	3.44 041
-	3.40	-	220	140	-	-
3.36	-	-	114	-	-	-
3.31	-	-	-	141	-	-
3.25	3.25	-	204	310	-	3.25 -
3.17	3.17	3.16(V)	-	311	3.18 330/204	3.18 942
2.966	-	-	-	312	-	-
2.937	2.938	-	214	240	2.93 201	2.96 321

CUADRO N°2 (cont.)

DRX (trid.)	DRX (vidrio)	D.E. (dÅ)	hkl(hex.) calculado	hkl(Róm.) calculado	JCPDS hex. 12-194 (dÅ) hkl	JCPDS róm. 16-692 (dÅ) hkl
-	2.778	-	313	143/322	- -	- -
-	-	2.75(V)	205	-	- -	- -
-	2.728	-	302	303	- -	2.73 143
2.696	2.68	-	-	342/313	- -	2.67 -
2.605	2.605	-	-	*	2.58 410/006	- -
2.576	2.575	-	006	152	- -	- -
2.554	2.554	2.558(V)	322	323	- -	2.55 -
-	-	2.548(V)	215	-	- -	- -
-	2.520	2.520(T)	106	044	- -	- -
-	2.479	2.463(V)	-	205/410	- -	- -
2.413	-	2.426(V)	116	411/060	- -	- -
-	-	2.319(V)	-	006	- -	- -
-	2.359	2.34 (V)	404	402/016	- -	- -
-	2.319	-	-	106/412	- -	- -
-	2.299	-	412/225	161	2.29 502	- -
-	-	2.215(V)	-	403/162	- -	- -
-	-	2.185(T)	-	413	- -	- -
-	-	2.171(V)	-	334	2.17 422	2.17 -
-	2.159	-	306	351	- -	- -
2.144	-	2.143(V)	-	063/315	- -	- -
-	-	2.129(V)	-	216	- -	- -
-	2.092	-	420/333	136	2.10 333	- -
-	2.070	-	421	262	2.07 -	- -
1.988	1.990	-	215	064/155	- -	- -
1.924	-	-	-	127/317	- -	- -
1.894	1.872	-	326	451	1.89 -	- -
-	1.865	-	118	522	- -	- -
-	-	1.854(V)	-	-	2.64 -	- -
-	1.847	1.849(V)	-	530/264	1.84 -	- -

REFERENCIAS (Cuadros N°1 y 2):

(V): ceolita obtenida a partir de vidrio volcánico.

(T): ceolita obtenida a partir de tridimita

(*): común a ambos materiales iniciales.

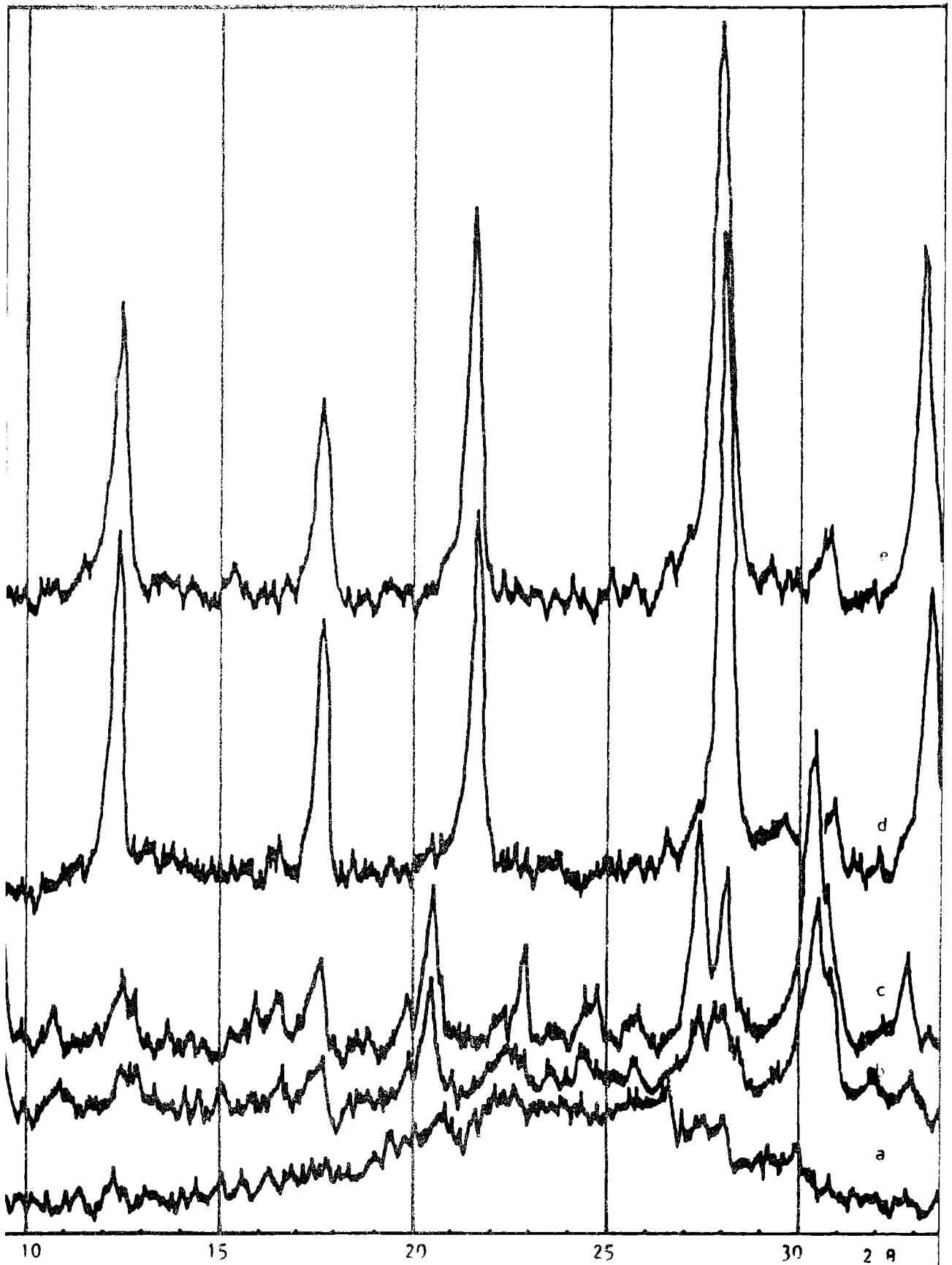


FIGURA N°1

- a.- VIDRIO VOLCÁNICO
- b.- vidrio volcánico + KOH (2 meses de tratamiento) CHABACITA
- c.- vidrio volcánico + KOH (9 meses de tratamiento) CHABACITA
- d.- vidrio volcánico + NaOH (2 meses de tratamiento) CEOLITA Na-P
- e.- Vidrio volcánico + NaOH (9 meses de tratamiento) CEOLITA Na-P

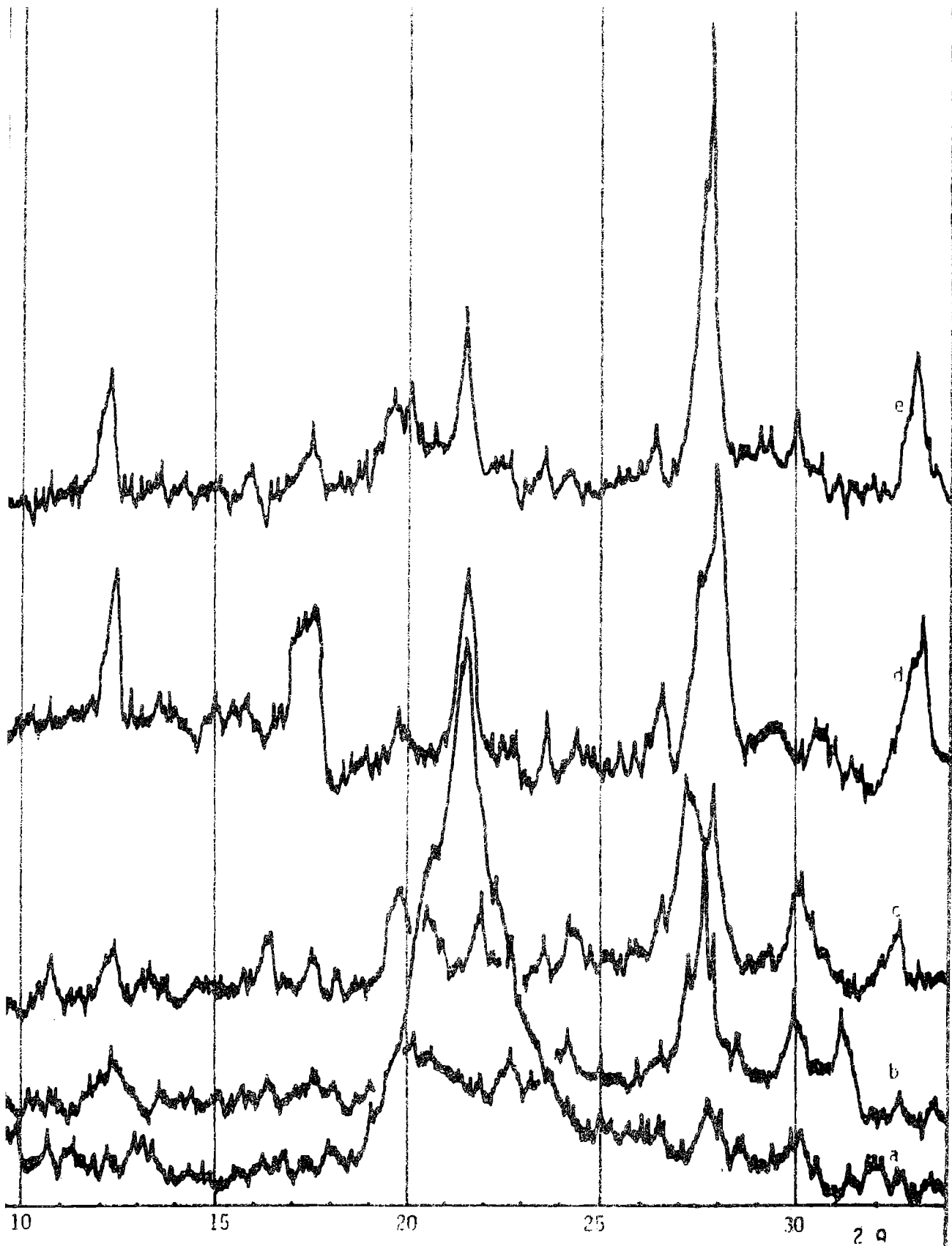


FIGURA 102

- a.- TRIDIMITA
- b.- tridimita + KOH (2 meses de tratamiento) CHABACITA
- c.- tridimita + KOH (9 meses de tratamiento) CHABACITA
- d.- tridimita + NaOH (2 meses de tratamiento) CEOLITA Na-P
- e.- tridimita + NaOH (9 meses de tratamiento) CEOLITA Na-P

- Con concentraciones más diluídas de NaOH se sintetizó el mismo producto pero más lentamente.
- Los resultados obtenidos mediante las dos técnicas analíticas utilizadas (difractometría de rayos X y difracción electrónica) son comparables.
- La difracción electrónica presenta la ventaja de requerir muy poca cantidad de muestra pero la interpretación de los resultados es más lenta y dificultosa, los valores de "d" que se obtienen son generalmente menores que los que figuran en las fichas JCPDS ($< 1.6 \text{ \AA}$) y se requiere un número grande de fotografías para obtener un resultado comparable al de un difractograma de rayos X. Se concluye que:
 - Ambos materiales iniciales resultan reactivos bajo las condiciones estudiadas.
 - El producto formado a partir de vidrio o tridimita e hidróxido de sodio es una ceolita tipo Na-P; y con KOH se forma una chabacita de potasio.
 - Las formas potásicas y sódicas de ceolita resultaron fácilmente cristalizadas a partir del vidrio volcánico o tridimita a temperatura y presión ambiente.
 - Las dos técnicas analíticas utilizadas resultan adecuadas para la identificación de los productos de reacción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, al CONICET y a la CIC por el apoyo brindado.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO:

- BEESTON, B. E. P.; R.W. HORNE and R.NARKHAM, 1972. Electron diffraction and optical diffraction techniques, A.M. Glauert Ed. North-Holland Publishing Company. 443 pp.
- HARADA, K, 1969, Further date on the natural association of Ca-Zeolites. The Journal of the Geological Society of Japan. Vol. 75, Nro. 12, 629-630.
- Powder diffraction data; Joint Committes on Powder diffraction Standards.
- STANTON, T.E., 1940. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. Am. Soc. Civil Eng. (A.S.C.E.) Vol. 66, 1781-1811.
- TOMITA, K., H. YAMASHITA and N. OHA, 1969. Artificial crystallization of volcanic glass to sodium and potassium form of chabazite at room pressure. The Journal of the Japanese Association of Min., Petr. and Ec. Geologist, Vol. 62, Nro. 2, 80-89.