

PUZOLANAS ARTIFICIALES OBTENIDAS POR  
TRATAMIENTO TERMICO DE ARCILLAS DE  
LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

(1a. parte)

Ing. Oscar R. Batic\*

Dr. Adrián M. Iñiguez Rodriguez\*\*

Ing. Marcelo Wainsztein\*\*\*

\* L.E.M.I.T.  
\*\* L.E.M.I.T. y C.N.I.C.T.  
\*\*\* L.E.M.I.T. y C.N.I.C.T.

---

## INTRODUCCION

---

La puzolana natural como material de construcción, ha sido empleada por el hombre desde hace varios siglos. En la época de los romanos, (siglos II y III A.C.) se utilizaba adicionada a las cales; el ligante así obtenido poseía cualidades excelentes como lo demuestran las construcciones de esa época, que aún hoy se mantienen en pie y algunas de ellas prestan servicios.

Con la aparición del cemento portland este material fue paulatinamente abandonado por desconocimiento adecuado de las cualidades que brinda a las mezclas en las que interviene, sumado al hecho de que los yacimientos de puzolanas naturales fueron agotándose, o que se encuentran alejados de los centros de consumo y también debido a que su calidad no siempre era aceptable.

El avance de la tecnología del hormigón impone que este material posea características especiales, de acuerdo al tipo de estructura, materiales a emplear y condiciones de exposición de las obras. Este hecho ha sido el factor preponderante para que se rehabiliten las investigaciones sobre las propiedades de las puzolanas naturales y artificiales, y por ende las mezclas en las que intervienen.

Varias son las ventajas que significan utilizar este material, en general, se usa como reemplazante de una parte del ligante en el hormigón, ya que al fijar la cal libre liberada en las reacciones del fraguado del cemento, aumenta notablemente la durabilidad del hormigón y disminuye proporcionalmente el calor liberado en la hidratación, se debe recordar además que la puzolana tiene afinidad con los álcalis, permitiendo reducir los valores de expansión y aún inhibir la reacción álcali-agregado.

Otras cualidades que conviene destacar además de las ya mencionadas son: aumento de la compacidad del hormigón, es decir, disminuye la permeabilidad; influye en forma benéfica sobre la retracción, resistencia, elasticidad, trabajabilidad,

etc. A todo esto se suma el hecho de que su obtención es más económica que la del clinker de cemento portland y por lo tanto abarata costos.

Varios países han elaborado normas para establecer la calidad de estos materiales. En la Argentina se encuentra en estudio las normas IRAM 1 651, 1 654 y 1 668. Las normas de la American Society for Testing Materials (ASTM), se tuvieron en cuenta muy especialmente para la ejecución del presente estudio.

Mielenz y sus colaboradores (1950-1951), han hecho una clasificación de las puzolanas, de acuerdo a su actividad, en 5 tipos:

- 1) Vidrio volcánico
- 2) Opalo
- 3) Minerales de las arcillas: Grupo de la caolinita  
Grupo de la Montmorillonita  
Grupo de la Illita  
Mezclas con vermiculita-  
clorita  
Grupo de la Paligorskita
- 4) Zeolitas
- 5) Oxidos de aluminio hidratados

En el presente trabajo nos referiremos a las propiedades puzolánicas de las arcillas activadas de la Prov. de Buenos Aires.

En condiciones naturales, los minerales de las arcillas, no poseen características puzolánicas o sólo las poseen muy débilmente. Sin embargo los tratamientos térmicos adecuados producen parcial deshidratación y cambios de estructura que otorgan propiedades significativas de reactividad con la cal libre y con los álcalis a muchos tipos de arcillas.

Datos obtenidos por distintos autores y los encontrados en el presente trabajo, indican que la caolinita, por ejemplo, en su forma natural, es comparativamente poco efectiva en el control de la reacción álcali-agregado, pero el material calcinado entre 500 y 800°C es altamente efectivo. El control de

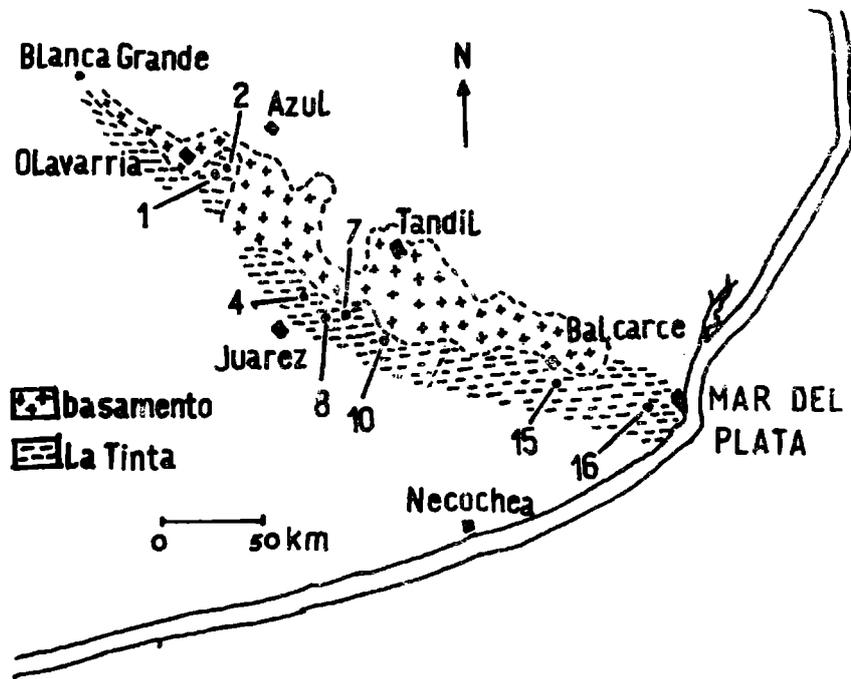


Fig. 1

Ubicación de muestras

- Muestras 1 y 2 - Zona de Olavarría
- Muestras 4 y 8 - Zona de Claraz
- Muestra 7 - Zona de Barker
- Muestra 10 - Zona de las Numancias
- Muestras 15 y 16 - Zona de Balcarce  
a Chapadmalal

la temperatura de calcinación es muy importante, porque con la formación de nuevas fases cristalinas a alta temperatura, disminuye la eficiencia en el control de expansión del mortero y la reacción álcali-agregado.

En el caso de la caolinita y de los minerales de estructura similar a ésta, es más o menos claro que las propiedades puzolánicas se desarrollan cuando el mineral es calentado ligeramente por arriba de la temperatura de deshidroxilación, ya que con la pérdida de los hidroxilos, la estructura de la caolinita se destruye y desordena. En este caso a altas temperaturas, superiores a los 800°C, con la nucleación de una fase definida, mullita, la actividad nuevamente decrece. Además se debe tener muy en cuenta el proceso de enfriamiento; parecería ser que lo más aconsejable es un enfriamiento rápido, que permita conservar el estado óptimo de actividad, evitando la reordenación de los componentes.

---

#### PROCEDENCIA DEL MATERIAL Y ENSAYOS REALIZADOS

---

En la Provincia de Buenos Aires no existen yacimientos de puzolanas naturales conocidos hasta la fecha, lo cual ha inducido al LEMIT a encarar un plan de estudio de yacimientos de arcillas que puedan ser destinadas a la fabricación de puzolanas artificiales. Para ello se realizó la extracción de muestras representativas de los yacimientos, con el objeto de orientar las investigaciones.

Las muestras obtenidas para el estudio, corresponden a arcillas que se encuentran comprendidas en la serie de "La Tinta" y que se extienden desde Olavarría en el centro de la Prov. hasta Mar del Plata en el borde del Océano Atlántico. (Fig. 1).

Las arcillas en la zona de Olavarría se encuentran depositadas sobre las cuarcitas y a su vez se encuentran cubiertas por calizas, (González Bonorino, 1950), es en esta zona donde el espesor alcanza su máximo desarrollo, mientras que

en el resto de la serie hacia el S.E., las arcillas se encuentran intercaladas entre los bancos de cuarcitas, ya sea en forma de lentes o bancos de espesores y longitudes variables. Estos materiales se encuentran presentes a lo largo de todas las sierras que comprenden el sistema de Tandilia; (Iníñez Rodríguez, 1970).

Desde el punto de vista megascópico existe toda una suerte de variedades en color, compactación, granulometría, etc., que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- 1) Zona de Olavarría (Muestra nº Lab. 18 425). Se presentan untuosas al tacto, con una buena estratificación y de colores que van del rojo oscuro hasta el blanco grisáceo.
- 2) Zona de Claraz (Muestras nº Lab. 18 420 y 18 421). Existen en esta zona yacimientos de arcillas muy compactas y duras, sin estratificación visible y con clastos de cuarzo anguloso; su coloración es gris blanquecina, se presentan además bancos de arcillas con abundante mica, de color gris hasta violáceo.
- 3) Zona de Barker (Muestra nº Lab. 18 422). Se encuentra la mayor variedad posible de coloración y forma de presentarse, en general son untuosas al tacto, sedosas, de colores, blanco, gris, violáceas hasta rojo intenso, con una buena estratificación.
- 4) Zona de las Numancias (Muestra nº Lab. 18 423). Se presentan en esta zona dos bancos bien definidos, uno superior de aspecto laminado con abundante mica blanca y uno inferior compacto de color gris con clastos angulosos de cuarzo sin estratificación visible.
- 5) Zona de Balcarce a Chapadmalal (Muestras nº Lab. 18 417, 18 418 y 18 419). Aquí las arcillas son más homogéneas, de color gris verdoso, en parter muy micáceas, lo que les da una marcada laminación.

Sobre estas muestras, en una primera etapa, se realizaron tratamientos entre 600 y 800°C, molienda hasta superficie específica adecuada y ensayos físicos, químicos y mineralógicos, con el objeto de verificar las propiedades de puzolanidad de las mismas.

En la tabla I se presentan los valores obtenidos para las muestras sin tratamiento térmico de activación, el cual muestra que en ningún caso cumplen con el valor mínimo de índice de puzolanidad con cal, fijado por las especificaciones en  $42 \text{ kg. cm}^2$ . En la misma tabla se dan los valores obtenidos para las muestras activadas a  $600$ ,  $700$  y  $800^\circ\text{C}$ . Se puede observar que de las muestras activadas a  $600^\circ\text{C}$ , sólo dos no cumplen con el índice mínimo y de las muestras activadas a  $700$  y  $800^\circ\text{C}$ , sólo hay una muestra que no cumple con dicho índice, lo que obedece a su composición mineralógica, como veremos a continuación.

---

#### ANÁLISIS MINERALÓGICO

---

A fin de caracterizar y conocer la composición mineralógica de las arcillas con las cuales se realizaron los ensayos físicos y químicos, se procedió a su estudio por medio de la difracción de Rayos X, utilizándose para tal fin, radiación de  $\text{Cu K} = 1,54 \text{ \AA}$ , con una velocidad de  $1^\circ 2 \theta$  por minuto. Se aplicó el método de difractometría, sobre muestra total no orientada; en base a los difractogramas así obtenidos se realizó la interpretación para determinar la composición mineralógica y la estimación cuantitativa de las mismas. En los casos de dudas para la identificación de los minerales de las arcillas, se procedió a la preparación de muestras orientadas para su verificación con tratamientos de glicolación y calcinación de las mismas.

En la Tabla I se presentan los resultados de composición y porcentajes obtenidos. Del mismo se puede extraer, que las arcillas de la zona de Chapadmalal, (muestras n° Lab. 18 417 y 18 418), están compuestas predominantemente por caolinita,  $44 - 46 \%$ , seguida por illita,  $54 - 40 \%$  y cuarzo,  $22 - 24 \%$ ; esta composición se repite prácticamente igual en la zona de Balcarce (Muestra n° Lab. 18 419), con  $50 \%$  de caolinita,  $50 \%$  de illita y un  $20 \%$  de cuarzo.

En la zona de Claraz, (Muestra n° Lab. 18 420 y 18 421),

la proporción relativa de caolinita aumenta con respecto a la anterior variando entre 64 - 61 %, mientras que illita varía entre 28 - 33 % y el cuarzo oscila entre 8 - 6 %.

En Barker (Muestra nº Lab. 18 422), la composición es muy variable, pero el promedio se puede estimar en 35 % de caolinita, 30 % de pirofilita, 25 % de illita y un 10 % de cuarzo; hay muestras hasta con 50 y 60 % de caolinita.

Al sur de Tandil, próximo a la localidad de Las Numancias existe un frente con dos variedades de arcillas, una superior en ubicación (Muestra nº Lab. 18 423), con 65 % de caolinita, 20 % de illita, 5 % de montmorillonita y 10 % de cuarzo. Mientras que un nivel inferior, separado del anterior por un banco de cuarcita (Muestra nº Lab. 18 424), presenta una composición con 90 % de caolinita y 10 % de cuarzo.

Finalmente, en la zona de Olavarría (Muestra nº Lab. 18 425), la composición es más constante y presenta 65 % de illita con el 35 % restante de cuarzo.

Se debe tener en cuenta que la proporción de cada uno de los minerales es muy variable principalmente en lo que se refiere al cuarzo, por lo tanto cada uno de los valores que se dan tienen vigencia en forma muy restringida para el yacimiento de donde fue extraída la muestra.

En las figuras nº 2, 3, 4 y 5, se muestran los diagramas característicos de las arcillas en las distintas zonas del estudio. Estos diagramas fueron obtenidos sobre muestras orientadas y en todos los casos cada una de las muestras fue tratada con glicol y posteriormente calcinada para verificar su composición.

La estimación cuantitativa de la proporción de los minerales de arcillas, fue realizado siguiendo el método propuesto por Johns, Grim y Bradley (1954) sobre los diagramas de difracción de Rayos X.

La figura 6, presenta algunas de las curvas de análisis térmico diferencial y termoponderal de muestras características de toda la zona, en la misma se puede observar que excepto las muestras nº 1 y 2 de la zona de Olavarría, que están compuestas únicamente por illita, el resto es esencialmente

# T A B

Nº lab.	Temperatura de calcinación (°C)	Peso específico	Pérdida por calcinación (%)	Retenido tamiz 200 (%)	Retenido tamiz 325 (%)
18 417	---	2,64	---	1,3	
	600	2,84	4,2	7,4	42,0
	700	2,59	6,2	0,2	17,4
	800	2,61	7,0	0,5	11,4
18 418	---		---	Rastros	
	600	2,58	3,3	1,9	25,8
	700	2,67	5,8	0,2	18,3
	800	2,59	6,7	2,2	30,7
18 419	---		---	2,0	
	600	2,58	5,8	1,9	16,5
	700	2,65	9,2	1,2	12,5
	800	2,54	9,2	6,2	18,4
18 420	---		---	8,9	
	600	2,45	9,2	2,4	19,4
	700	2,45	11,2	0,70	25,9
	800	2,50	12,5	6,2	30,5
18 421	---		---	6,5	
	600	2,50	7,1	3,4	20,7
	700	2,49	11,7	0,89	20,1
	800	2,56	11,6	2,1	18,3
18 422	---		---	2,7	
	600	2,87	6,2	13,1	34,7
	700	2,76	6,7	1,2	11,1
	800	2,77	5,6	2,1	21,5
18 423	---		---	0,3	
	600	2,56	6,2	1,8	21,9
	700	2,59	7,9	0,11	16,7
	800	2,60	6,9	0,1	9,2
18 424	---		---	0,3	
	600	2,48	11,7	8,4	42,0
	700	2,45	12,9	9,9	35,8
	800	2,51	12,0	3,7	27,1
18 425	---		---	Rastros	
	600	2,60	3,7	4,2	27,9
	700	2,73	4,2	0,6	8,6
	800	2,62	4,6	0,2	5,7

# L A I

Indice de Puzolénidad	Superficie específica	Caolinita	Illita	Pirofilita	Montmorillonita	Cuarzo
(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
3,0	4 597	44	34	--	--	22
50	5 439	--	34	--	--	22
65	6 643	--	34	--	--	22
73	8 318	--	34	--	--	22
2,6	6 991	46	40	--	--	14
49	6 487	--	40	--	--	14
75	6 533	--	40	--	--	14
51	5 448	--	40	--	--	14
2,8	6 029	50	30	--	--	20
59	8 193	15	30	--	--	20
69	8 509	--	30	--	--	20
80	7 616	--	30	--	--	20
12,0	8 324	64	28	--	--	8
70	6 755	20	28	--	--	8
87	4 693	--	28	--	--	8
79	4 966	--	28	--	--	8
9,8	5 354	61	33	--	--	6
55	7 216	20	33	--	--	6
75	6 408	--	33	--	--	6
74	8 038	--	33	--	--	6
3,7	5 625	35	30	25	--	10
18,5	6 467	--	30	25	--	10
44	14 826	--	30	25	--	10
36	12 928	--	30	25	10	10
1,8	6 326	65	20	--	5	10
72	5 433	10	20	--	--	10
74	6 227	--	20	--	--	10
66	5 976	--	20	--	--	10
38,0	6 293	90	--	--	--	10
49	3 707	20	--	--	--	10
83	8 952	--	--	--	--	10
86	7 365	--	--	--	--	10
3,6	18 200	--	65	--	--	35
4,8	6 751	--	65	--	--	35
6,5	12 733	--	65	--	--	35
14	10 647	--	65	--	--	35

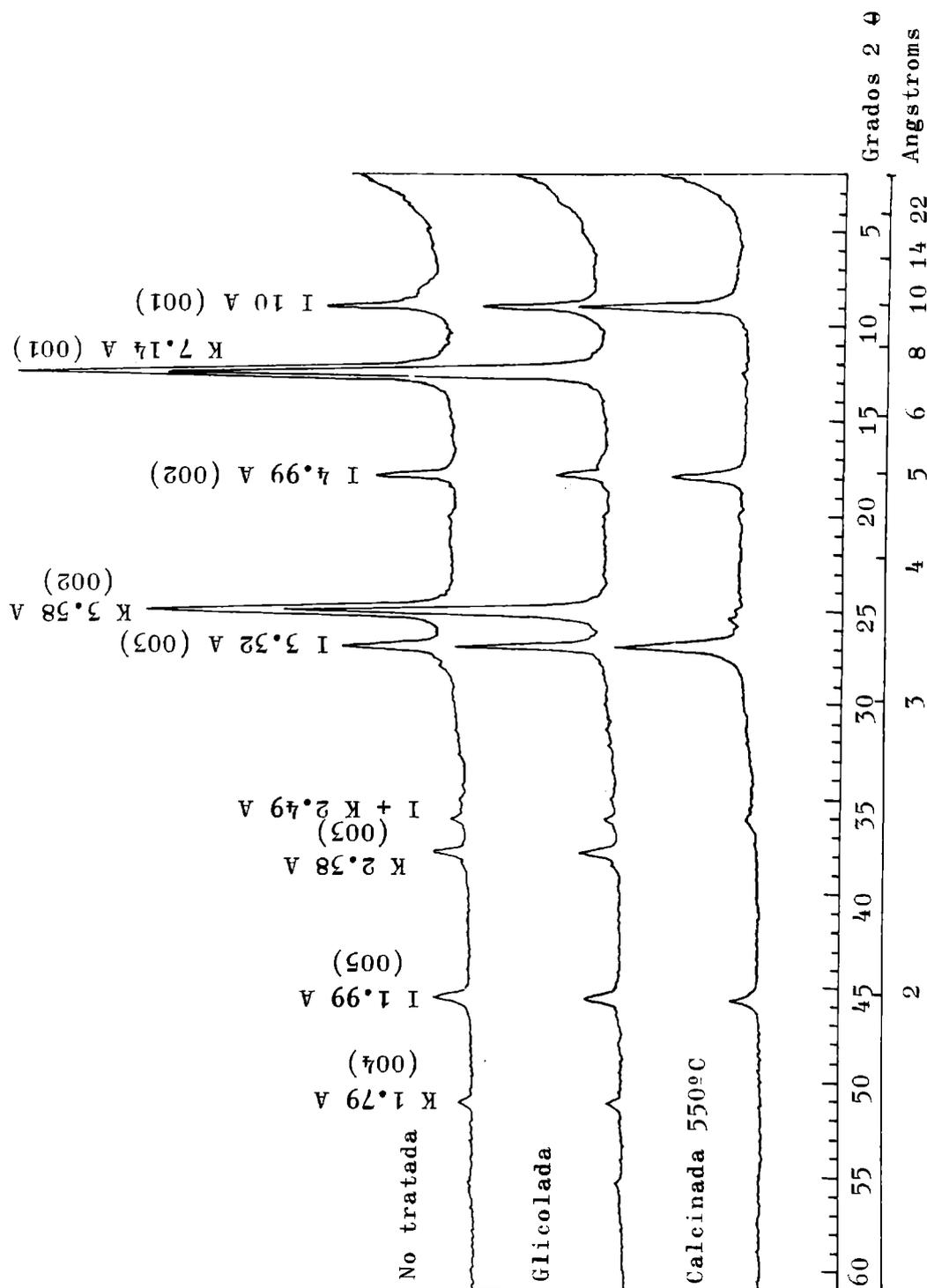


Fig. 2.- Muestras nº 15 y 16 - ZONA BALCARCE-CHAPADMALAL

Min. identif.: Caolinita e Illita

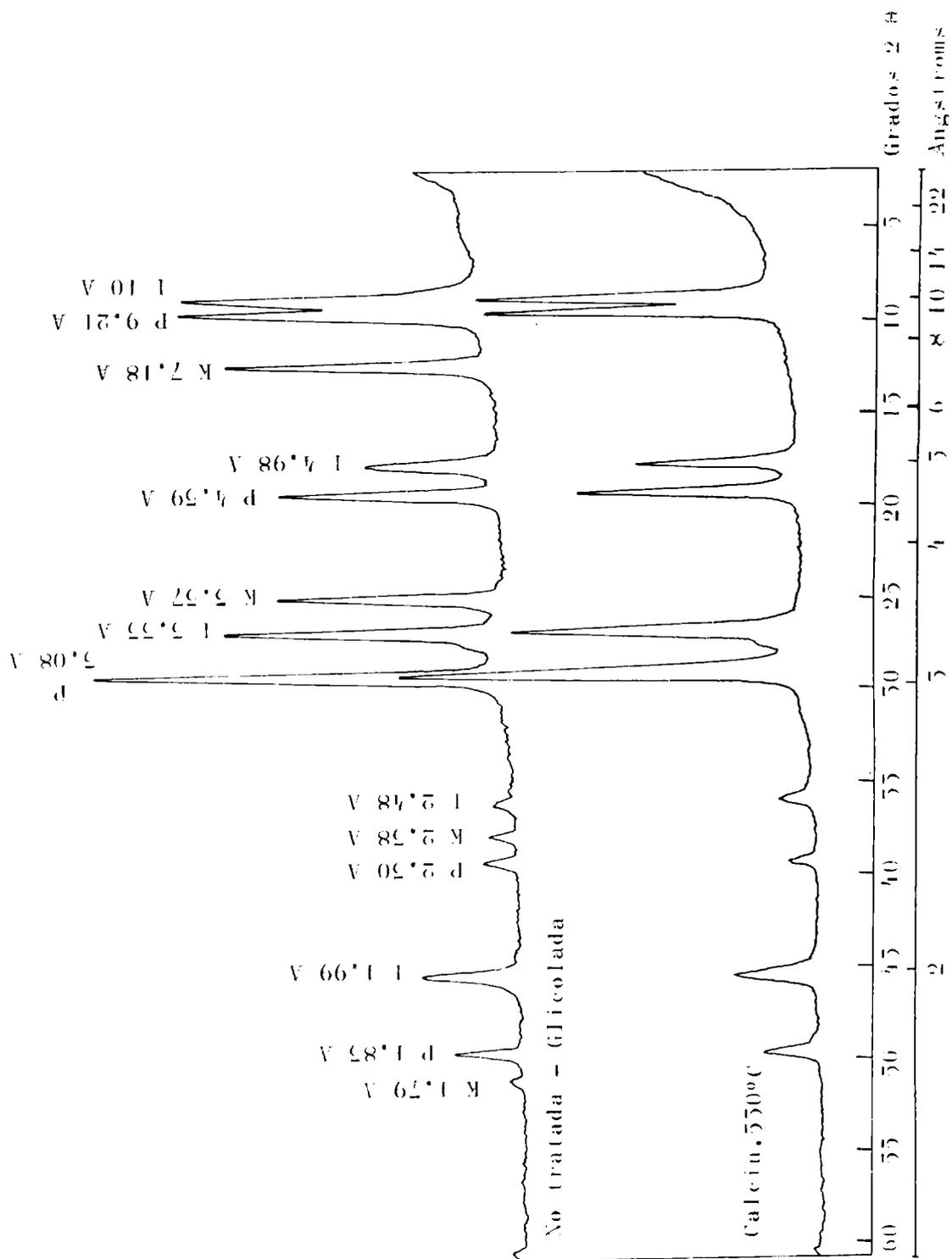


Fig. 5.- Muestra nº 7 - Zona de Barker

Min. identif.: Caolinita, Illita y Pirofilita

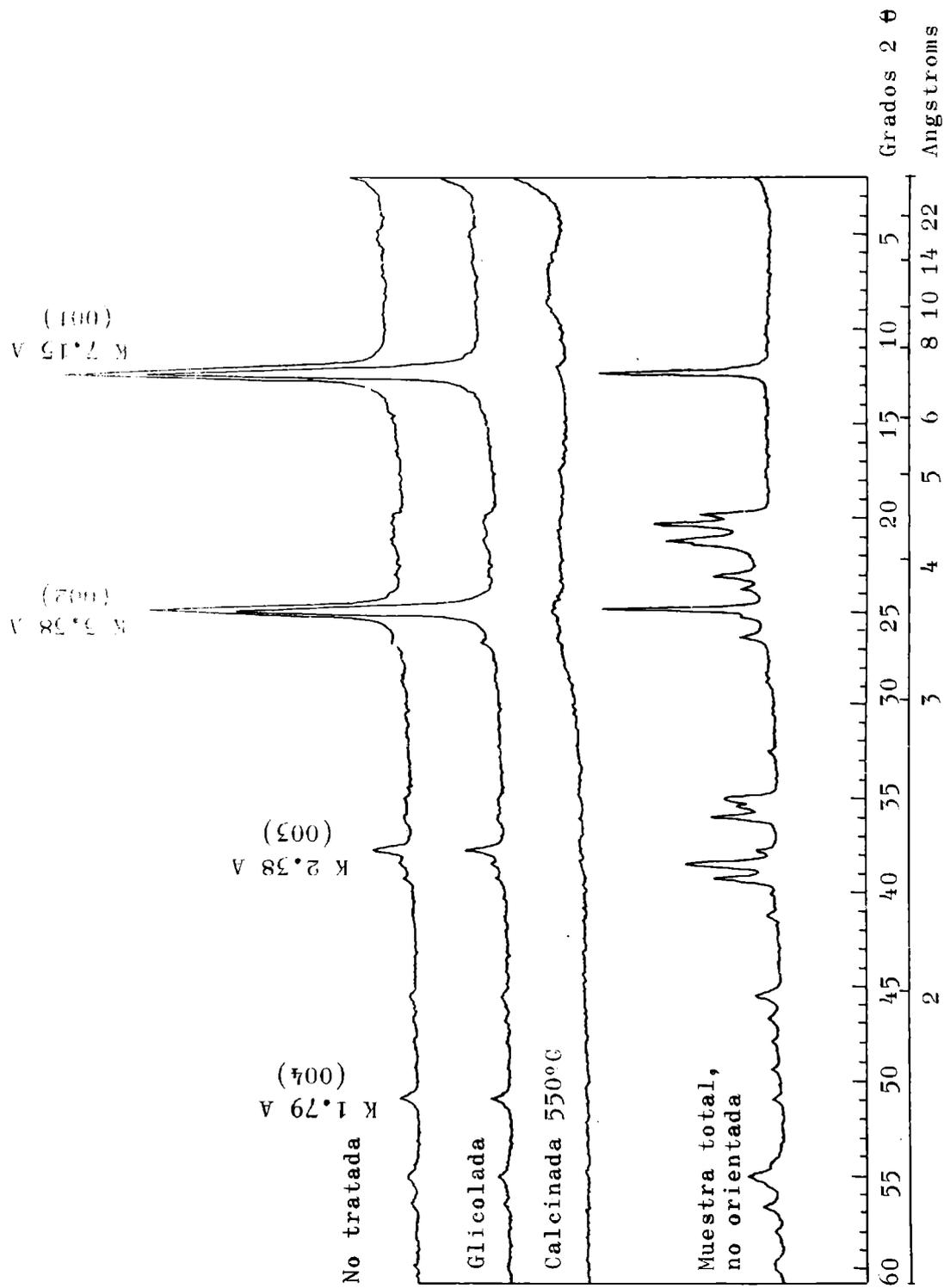


Fig. 4.- Muestra nº 10 - ZONA LAS NUMANCIAS

Min. identif.: Caolinita pura

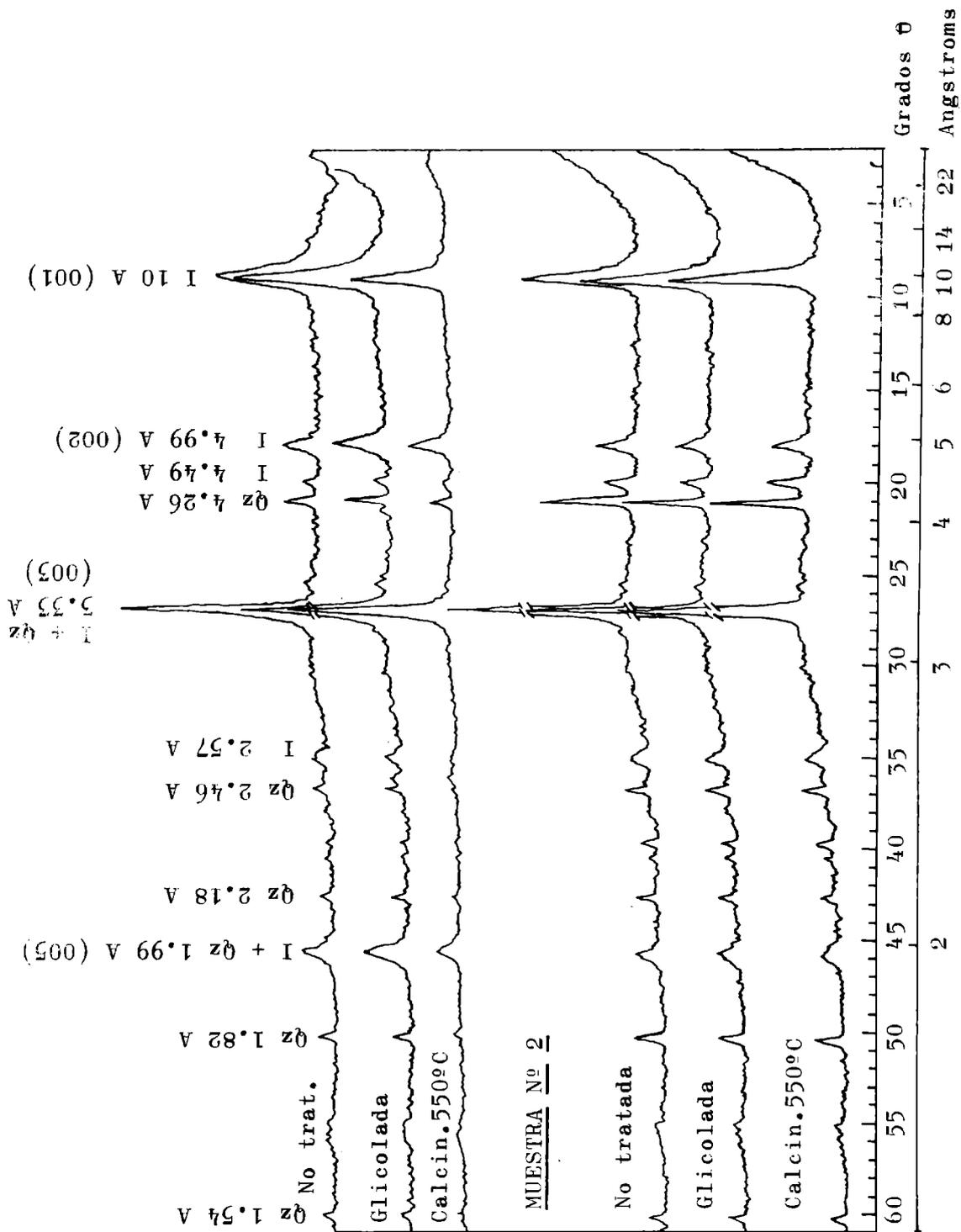


Fig. 5.- Muestras nº 1 y 2 ZONA DE OLAVARRIA

Min. identific.: Illita y cuarzo

caolinítico, el pico endotérmico muy pronunciado correspondiente a este mineral, se encuentra desarrollado entre los 500 y 700°C, lo cual nos indica que la deshidratación se produce en forma total dentro de ese rango de temperatura.

Como dato ilustrativo podemos adelantar que en las Sierras Australes de la Prov. de Buenos Aires, existen yacimientos de arcillas en la parte superior de la serie sedimentaria, cuya composición y comportamiento es muy distinto a las arcillas de la Serie de La Tinta. La composición mineralógica presenta aproximadamente 60 % de illita y el 40 % restante está integrado por montmorillonita, con interestratificaciones de clorita-montmorillonita y cuarzo.

---

#### INTERPRETACION

---

Tal como se puede observar en la Tabla I, los valores más altos de índice de puzolamidad ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), responden a una composición esencialmente caolinítica de las muestras estudiadas, que por otra parte son las más abundantes en la zona de procedencia. La temperatura óptima de activación por calcinación se encuentra alrededor de los 700°C, ya que hemos podido comprobar que en las muestras calcinadas a 600°C, la deshidroxilación y destrucción de la estructura de la caolinita, no ha sido total; en las muestras calcinadas a 700°C la transformación de caolinita es total, verificación que se realizó por medio de la difracción de Rayos X, no registrándose en ningún caso reflexiones correspondientes a este mineral. Es justamente aquí que se obtienen los índices de puzolanidad más altos, hecho que nos ha permitido corroborar que la máxima actividad se produce cuando se obtiene la total deshidroxilación y destrucción de la estructura de la caolinita y que la obtención de este estado es el que confiere las propiedades puzolánicas a las arcillas.

Es importante señalar que en los yacimientos de arcillas de la Prov. de Buenos Aires, actualmente en explotación, excluyendo los destinados a la industria del cemento portland y

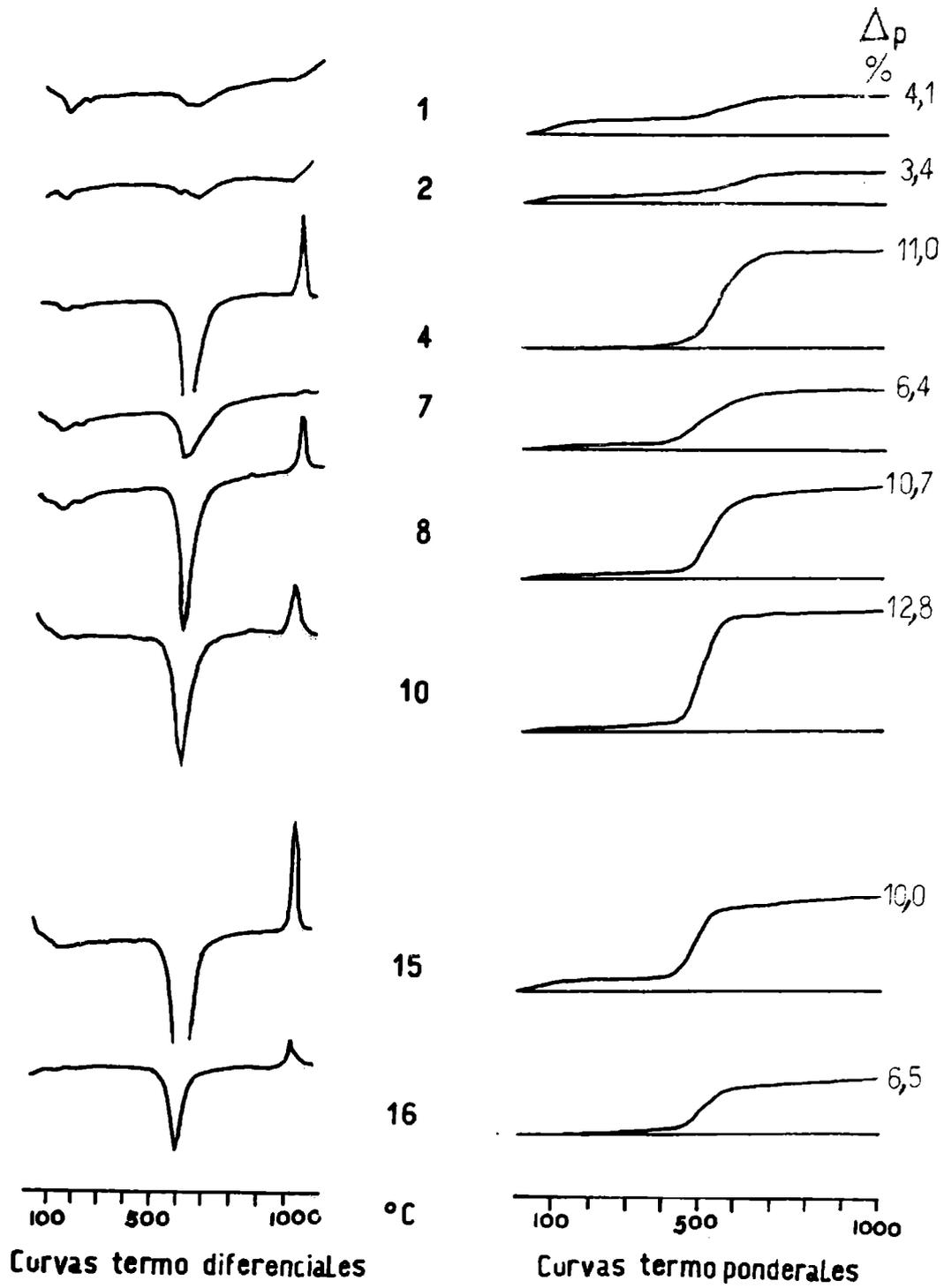


Fig. 6

cerámica roja, se hace una explotación selectiva por pureza, reflejada generalmente en su coloración, quedando como descarte el material impuro para ser utilizado en refractarios o en la industria de la cerámica blanca. La composición mineralógica en general es muy similar en ambos casos, lo cual hace que este material pueda ser perfectamente aprovechable en la obtención de puzolanas con un excelente rendimiento, como lo acaban de mostrar las experiencias realizadas.

Las muestras que se apartan de los valores límites del índice de puzolanidad, es decir que ofrecen valores de resistencia muy bajos, son las de la zona de Olavarría. Esto obedece exclusivamente a su composición mineralógica y a la ausencia de caolinita en su composición. En efecto, como ya señaláramos anteriormente, la zona de Olavarría se caracteriza por presentar como único mineral de las arcillas a illita, mineral éste de estructura muy estable y que ofrece poco cambio a los tratamientos de activación térmica.

Finalmente se destaca que, con una composición illítica asociada a montmorillonita, interestratificaciones y clorita, como son las muestras de Pillahuincó en las Sierras Australes de la Provincia, ofrecen resultados satisfactorios. Consideramos que se puede obtener un rendimiento mejor, con una activación térmica más adecuada.

---

## CONCLUSIONES

---

- 1) Del estudio de las muestras analizadas surge que las arcillas más aptas para la obtención de puzolanas, son aquellas que poseen una composición esencialmente caolinítica.
- 2) En la Provincia de Buenos Aires, tal como lo demuestran las investigaciones realizadas, existen yacimientos de arcillas aptas para la obtención de puzolanas artificiales.
- 3) Los resultados obtenidos son altamente satisfactorios,

ya que superan los valores mínimos especificados para el índice de puzolanidad por la norma.

4) El estudio y los resultados obtenidos hasta la fecha, abren perspectivas técnico-económicas muy promisorias en la tecnología de los ligantes en la Provincia de Buenos Aires.

---

#### TRABAJOS EN EJECUCION

---

Actualmente se encuentra en marcha la segunda parte del trabajo, que consiste en la preparación de cementos puzolánicos con los materiales más aptos, para determinar su comportamiento mecánico, resistencia a la acción de los sulfatos, inhibición de la reacción álcali-árido y la disminución del calor desarrollado durante la hidratación.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

1. Calleja, J. - Apología de los conglomerantes puzolánicos. Cemento Hormigón nº 386, (1966).
2. Ferrari, F. - Aceleración del endurecimiento de los aglomerantes puzolánicos por medio de álcalis. Cemento Hormigón nº 379, (1965).
3. Ferrari, F. - Cemento Ferrari y Cemento ferropuzolánico. Cemento Hormigón nº 439, (1970).
4. Forest, J. et Demonlian, H. - Appreciation de l'activité des cendres volantes et des pouzzolanes. CERILH. Pub. téch. nº 144, (1963).
5. González Bonorino, F. - Geología de las Sierras Bayas, Partido de Olavarría, Prov. de Buenos Aires, LEMIT, Serie II, nº 55, (1950).

6. Iñíguez Rodríguez, A. M. - Composición mineralógica de las arcillas de la serie de La Tinta, Prov. de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, nº 156, (1970).
7. Johns, W. D., Grim, R. E. and Bradley, W. - Quantitative estimation of Clay Minerals by Diffraction Method. Sed. Petrol., 24, 4, 242, (1954).
8. Mielenz, R. C., Witte, L. P. and Glantz, D. J. - Effect of calcination on natural pozzolans, A.S.T.M., Spec. Tech. Pub., 99, 43-91, (1950).
9. Mielenz, R. C., Greene, K. T. and Schieltz, N. C. - Natural pozzolans for concrete. Econ. Geol., 46, 311-328, (1951).
10. Rebollo, A. - Las propiedades puzolánicas de la piedra pómez volcánica del pre Pirineo gerundense y sus posibilidades industriales. Cemento Hormigón, nº 437, (1970).
11. Ruiz, A. L. - Puzolanas. Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción. Madrid. Publicación nº 77, (1951).
12. Souza Coutinho, A. - La puzolana y sus propiedades. Laboratorio de Ingeniería Civil. Lisboa. Memoria 211.

Nota.- Los autores desean agradecer muy especialmente a la Lic. Patricia Zalba, de la División Geología del LEMIT, a los señores Jorge Sota, R. Sota y O. Bonaviri de la Sec. Ligantes del LEMIT, por la valiosa cooperación prestada en la realización del presente trabajo y al Dr. P. J. Carriquiriborde por la lectura del manuscrito.