

La cuestión de si las expansiones resultantes de la reacción álcali-agregado dependen o no del estado en que se encuentran los álcalis en el clinker ha sido muy controvertida. En las tres series de pruebas que hemos presentado hasta ahora, la magnitud de las expansiones medidas, se encontró que presenta clara relación no sólo con el contenido total de álcalis, sino también con la cantidad de álcalis solubles. Así las magnitudes de las expansiones del cemento Portland CD son mayores que las del cemento CB. Los clínkeres con que fueron producidos los cementos CD, CB y CA, han sido quemados utilizando combustóleo, con un contenido de azufre del orden del 4%. Gran parte de los álcalis se encuentran pues como sulfatos y son fácilmente solubles. A esta razón atribuyo el hecho de que el cemento CB sobrepasa el máximo permisible de expansión a los seis meses.

Igualmente, al añadir NaOH ó KOH, si bien el total de álcalis en los cementos CA y CB se subió a 1.20%, la adición de NaOH ó KOH fue forzosamente mayor en el cemento CA, de menor contenido de álcalis, y fue en este cemento que la magnitud de las expansiones es mayor que en el cemento CB. Se observa además que la actividad de la adición de  $\text{Na}^+$  es mayor que la del  $\text{K}^+$ ; las expansiones son de mayor magnitud en todos los casos y el efecto de la puzolana es menor.

Debido a estas razones se consideró irreal continuar las pruebas de diferentes puzolanas utilizando cementos de bajo contenido de álcalis únicamente y a los cuales se les adicionara NaOH ó KOH, y se decidió trabajar con cementos comerciales de diferente contenido de álcalis y obtener resultados más apegados a lo esperado en la realidad.

En la gráfica No. 4 se presentan los valores obtenidos en un cemento comercial de 1.14% de álcalis totales y la sustitución de diferentes porcentajes de puzolana. La sustitución de 15% del cemento por Puzolana prácticamente no presenta efecto en cuanto al control de la reacción álcali-agregado; el efecto empieza a notarse con la sustitución del 20% sin llegar todavía a valores aceptables y con 30% se obtiene un comportamiento similar al del cemento CA de mínimo contenido de álcalis. Es decir, la puzolana PA debe utilizarse en proporción mayor del 20% en el cemento CD para producir el control adecuado de la expansión debida a la reacción álcali-agregado, conforme a los criterios de la ASTM arriba mencionados.

En la Gráfica No. 5 se presentan los valores obtenidos al sustituir 30% de PA en los cinco cementos, y como era de esperarse, no presentándose expansión en el cemento de mayor contenido de álcalis, tampoco en los otros se presentó.

En la Gráfica No. 6 se muestran los resultados obtenidos de sustituir 30% de las puzolanas PB, PC y PD en el cemento CD, que fue el que sólo presentó las mayores expansiones. En este caso y en esta proporción, las tres puzolanas se comportan satisfactoriamente.

## CONCLUSIONES

El conocimiento de que la utilización de Puzolanas en el control de las expansiones producidas como resultado de la reacción álcali-agregado es casi tan antiguo como el conocimiento de que esta reacción existe.

En México existen abundantes puzolanas naturales.

Los imperativos económicos de nuestra época hacen difícil y costosa la producción de cementos de bajo contenido de álcalis.

Aun contando con cementos Portland de bajo contenido de álcalis, la utilización de Puzolanas que hayan demostrado ser efectivas y utilizadas en la proporción adecuada, es una solución totalmente válida del aprovechamiento racional de los recursos naturales y una adecuada sustitución de los cementos Portland, sobre todo cuando se trata específicamente de cementos Portland de bajo contenido de álcalis. Debe hacerse hincapié en que la efectividad del empleo de las Puzolanas en lo referente a propiedades de durabilidad del concreto hasta ahora, sólo es determinable en general, en pruebas de larga duración.

TABLA I

## CEMENTOS PORTLAND

	CA	CB	CC	CD	CE
SiO <sub>2</sub>	21.05	21.06	21.25	20.03	20.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.93	4.94	5.20	4.31	4.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.79	2.22	2.37	4.60	3.68
CaO	65.69	65.93	64.78	63.61	64.50
MgO	0.87	1.12	1.28	1.33	0.94
SO <sub>3</sub>	2.86	2.54	2.40	2.31	2.35
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.19	0.24	0.45	0.65
K <sub>2</sub> O	0.16	0.40	0.75	0.85	0.75
CaOL	1.32	1.32	1.34	0.84	1.08
C <sub>3</sub> S	51.45	59.30	51.53	61.12	57.00
C <sub>2</sub> S	21.62	15.73	22.14	11.40	17.03
C <sub>3</sub> A	12.69	9.34	9.77	3.65	5.71
C <sub>4</sub> AF	5.44	6.75	7.20	13.98	11.19
Alc. Tot. como Na <sub>2</sub> O	0.15	0.45	0.73	1.01	1.14
Alc. Sol.	0.05	0.17	0.22	0.51	0.36

TABLA II

## PUZOLANAS

	PA	PB	PC	PD
SiO <sub>2</sub>	68.72	67.88	59.79	62.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.82	8.80	10.85	13.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.26	2.46	1.69	3.21
CaO	-	6.60	8.07	2.16
MgO	0.54	2.34	1.92	2.91
Na <sub>2</sub> O	3.73	1.57	1.44	0.91
K <sub>2</sub> O	5.60	1.37	3.12	4.72
Ign	5.64	6.80	13.55	10.50
Insol	76.25	67.89	49.08	

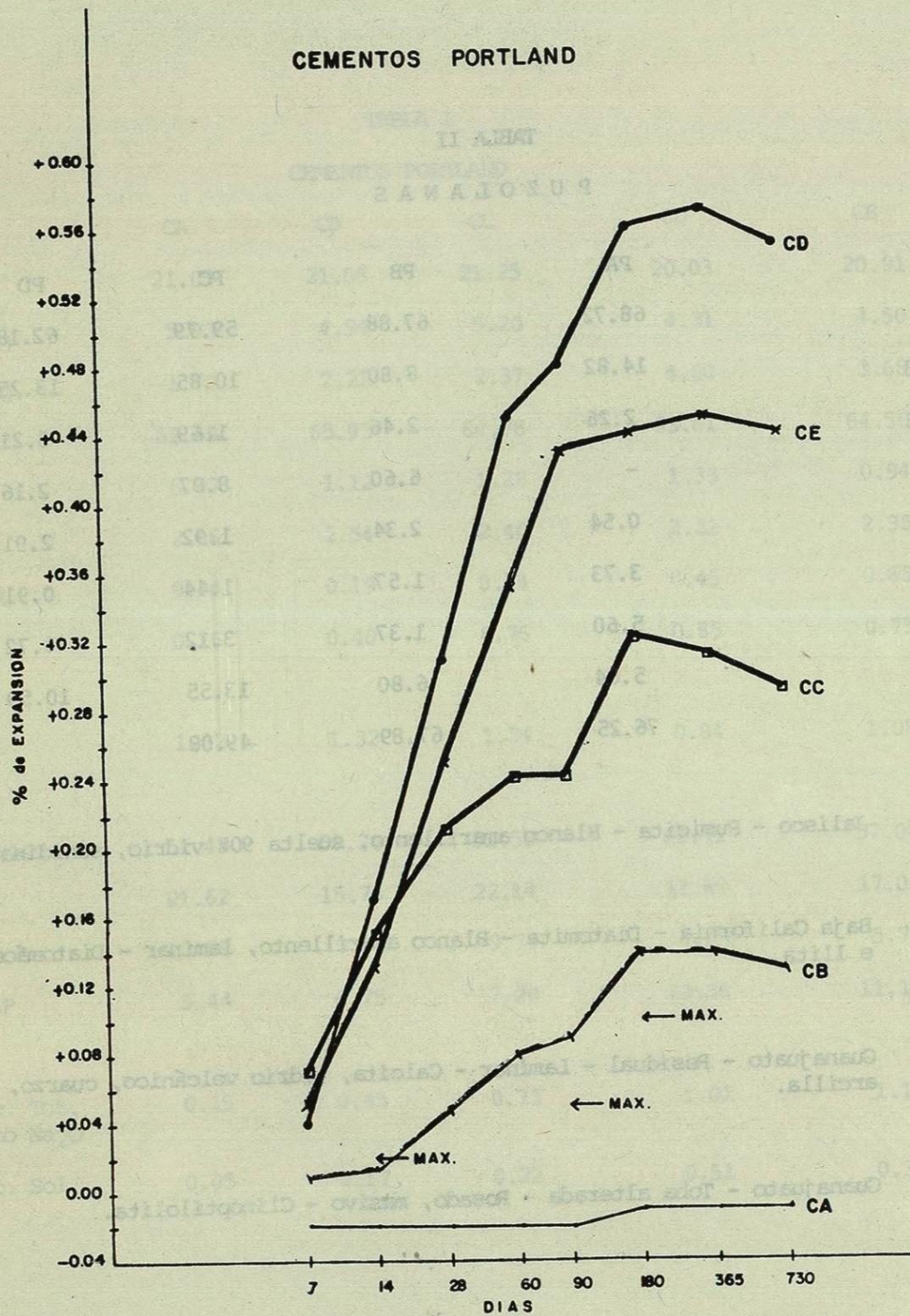
PA - Jalisco - Pumicita - Blanco amarillento, suelta 90% vidrio, sanidina.

PB - Baja California - Diatomita - Blanco amarillento, laminar - Diatomáceas e Ilita.

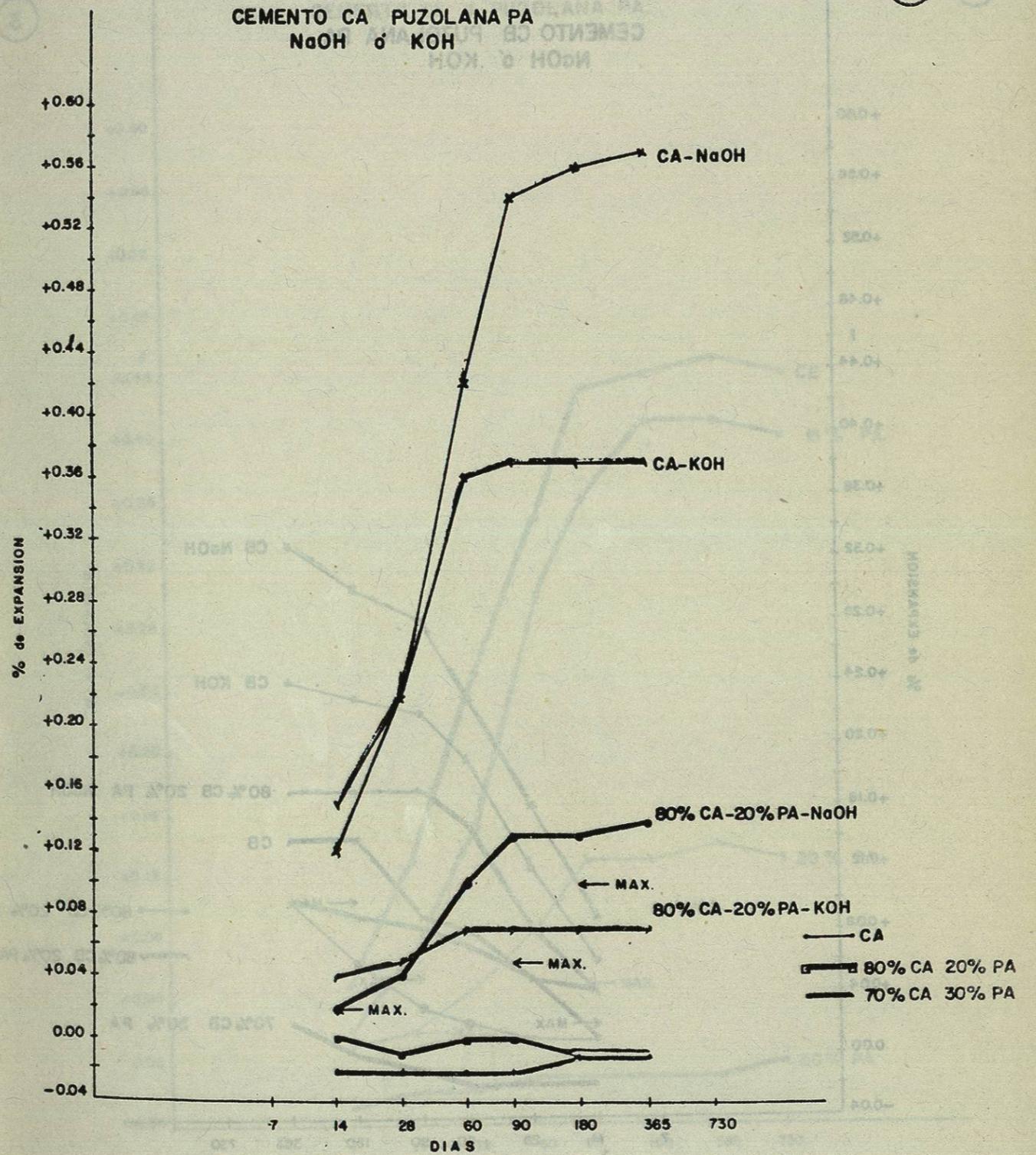
PC - Guanajuato - Residual - Laminar - Calcita, vidrio volcánico, cuarzo, arcilla.

PD - Guanajuato - Toba alterada - Rosado, masivo - Clinoptilolita.

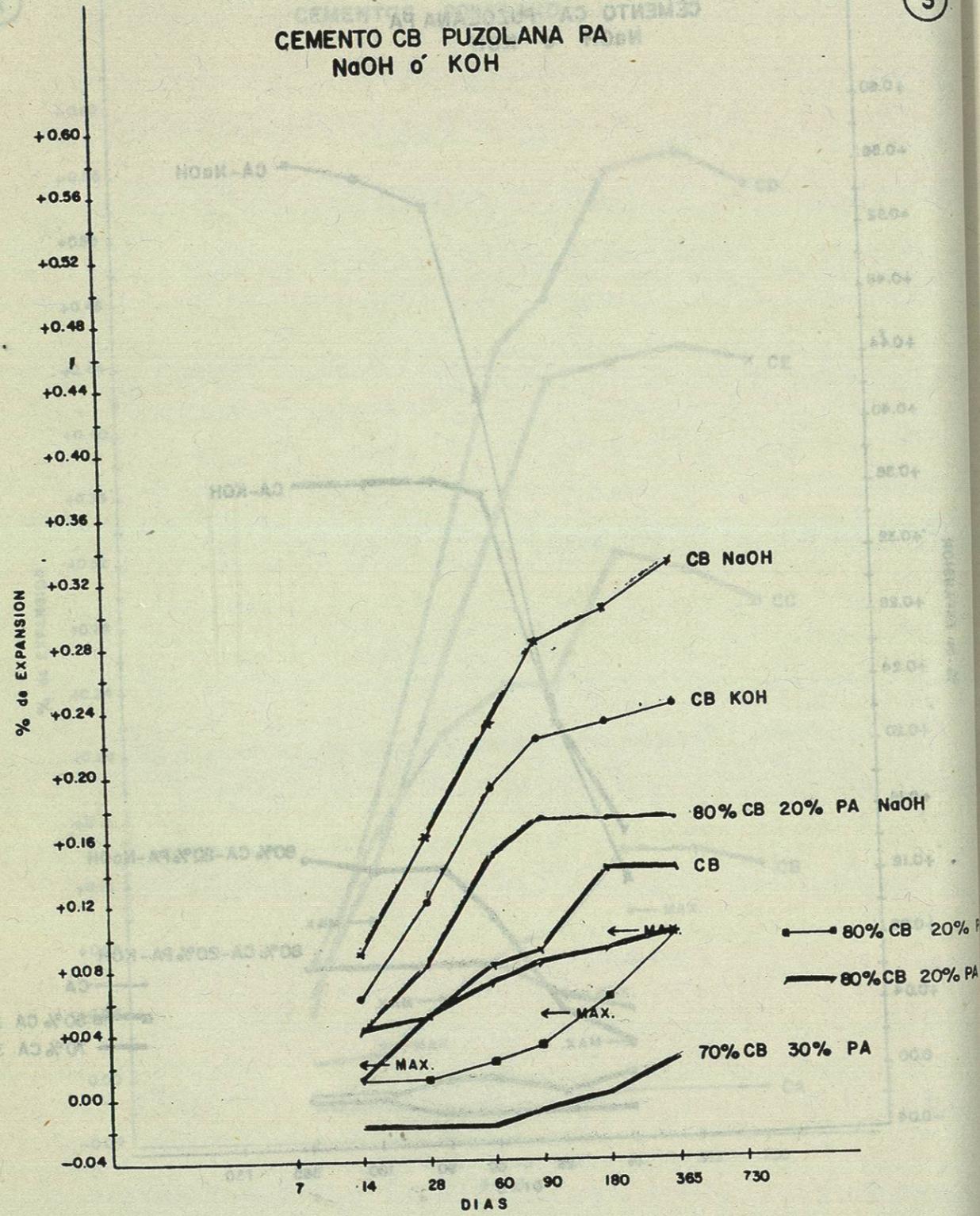
CEMENTOS PORTLAND



CEMENTO CA PUZOLANA PA  
NaOH o KOH

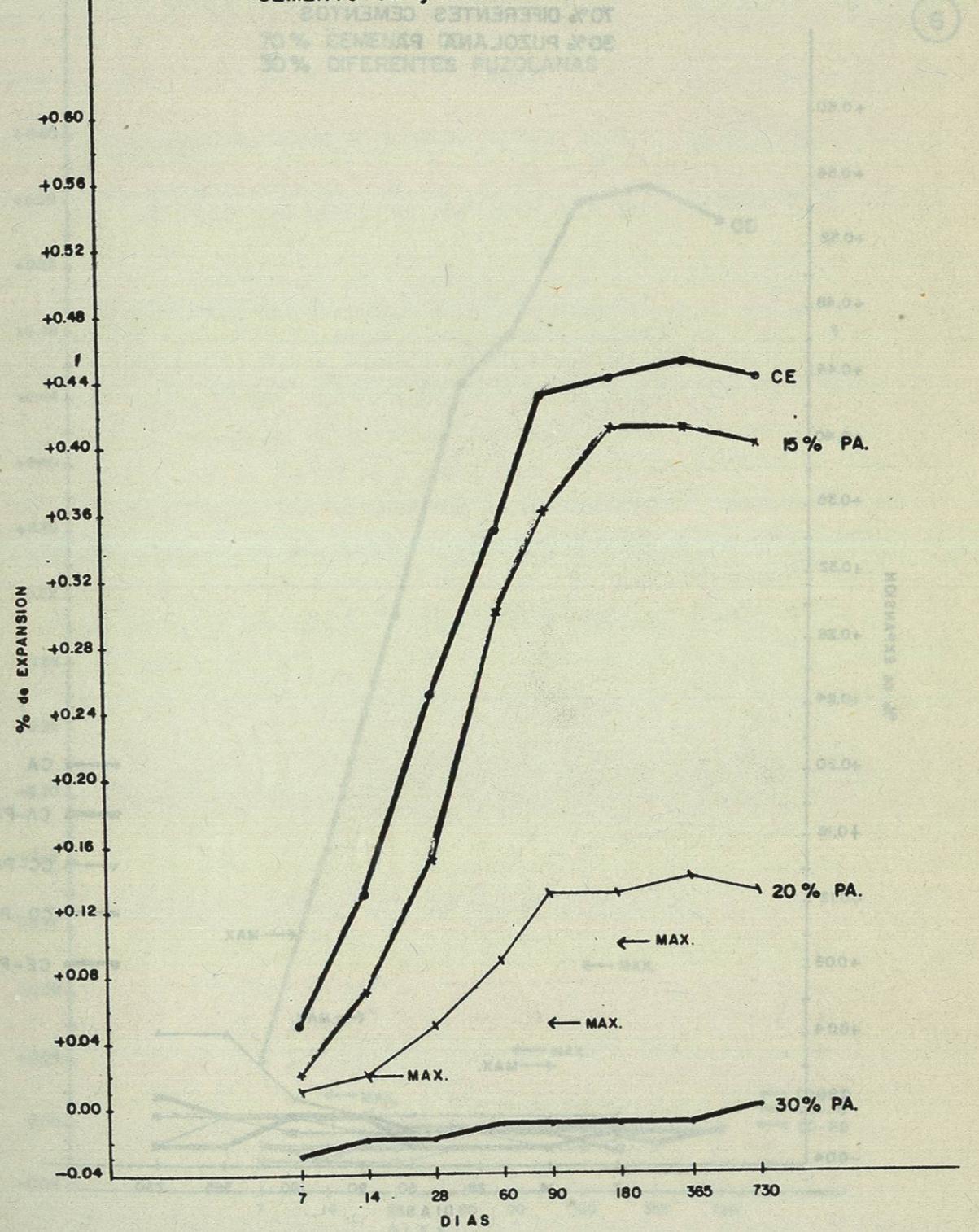


CEMENTO CB PUZOLANA PA  
NaOH o KOH



3

CEMENTO CE y PUZOLANA PA.



4