

Algunas observaciones sobre la durabilidad
frente a los sulfatos del mortero de cemento
portland, carbonatado y sin carbonatar.
Estudio por espectroscopía infrarroja

TOMAS VAZQUEZ MORENO

Licenciado en Ciencias Químicas

OLGA FERNANDEZ-PEÑA SECADES

Perito Industrial Químico

Al objeto de poder comprobar y comparar los resultados obtenidos sobre una serie de ensayos de prismas pequeños (KOCH y STEINEGGER) de $1 \times 1 \times 6$ cm, hechos en colaboración con el "Subcomité de Resistencia Química" del CEMBUREAU, en el I.E.T.c.c. se realizaron tres nuevas series de ensayo con ocho cementos distintos, una de las cuales nos sirvió para estudiar el efecto inhibitor de la carbonatación.

También sobre dos de estas series se ha efectuado un estudio de espectroscopía infrarroja, para un mejor esclarecimiento de la durabilidad del cemento portland frente a los sulfatos.

En este artículo se resumen los resultados obtenidos, cuyo estudio completo saldrá en una próxima publicación del I.E.T.c.c.

I. CEMENTO EMPLEADO: CEMENTO TIPO PORTLAND; CATEGORIA P-450

Análisis de la muestra:

R.I.	0,32 %
SiO ₂	19,89 %
Al ₂ O ₃	5,81 %
Fe ₂ O ₃	2,69 %
CaO	62,67 %
MgO	2,89 %
SO ₃	2,76 %
K ₂ O	0,98 %
Na ₂ O	0,40 %
	<hr/>
	98,41 %

CaO libre = 0,92 %.

II. DISOLUCIONES AGRESIVAS EMPLEADAS

- Agua filtrada, para la conservación de los prismas testigo.
- Disolución de sulfato cálcico a saturación.
- Disolución mezcla de sulfatos cálcico y magnésico al 50 %, y de igual concentración.
- Agua de mar artificial.
- Disolución de sulfato sódico al 5 %.
- Disolución de sulfato magnésico al 10 %.
- Disolución de sulfato amónico al 5 %.
- Disolución de cloruro amónico al 5 %.

III. ENSAYOS REALIZADOS

Una vez confeccionados los prismas se curaron en cámara de humedad (h.r. = 100 %) durante 28 días. Inmediatamente después del curado previo se colocaron los prismas en las disoluciones agresivas (10 prismas por disolución y por edad estudiadas), hasta el momento de la determinación de la resistencia a flexotracción.

Las edades estudiadas fueron 1, 3, 6, 9 y 12 meses. Como valores individuales de rotura se tomaron las medias aritméticas de los diez prismas ensayados. Estos valores de rotura se han comparado con los valores de rotura obtenidos sobre los prismas testigo a la misma edad, dividiendo la media aritmética de las resistencias alcanzadas por los prismas ensayados, entre la media aritmética de las resistencias alcanzadas por los prismas testigo a la misma edad. El coeficiente obtenido es el denominado "índice de durabilidad" o "coeficiente de corrosión por sulfatos".

Los resultados obtenidos se dan en los cuadros: 1, 1a; 2, 2a; 3, 3a y 4, que figuran a continuación.

CUADRO 1

Cemento: P-450.— Resistencias a flexotracción; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - \bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Agua filtrada			Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	81,77	6,16	7,53	86,46	5,58	6,46	87,95	7,08	8,05	82,79	7,62	9,21
3	84,36	3,80	4,00	93,22	7,38	7,91	94,18	6,06	6,44	69,79	5,64	8,89
6	86,00	4,66	5,42	97,89	7,50	7,67	109,35	7,68	7,02	79,71	4,44	5,58
9	86,28	5,87	6,80	105,90	8,21	7,76	97,24	12,66	13,02	82,61	6,45	7,81
12	90,97	4,69	5,15	102,00	7,53	7,39	96,00	13,12	13,67	81,01	8,15	10,06

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %			Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	100,65	3,56	3,56	100,90	8,38	8,30	14,61	4,79	32,83	47,55	4,70	9,89
3	96,67	12,13	12,55	101,76	8,34	8,20	8,50	1,45	17,05	42,52	5,27	12,39
6	94,26	16,04	17,02	88,90	8,93	10,04	12,19	2,83	23,62	39,67	5,54	13,97
9	64,49	14,02	22,08	67,73	16,44	24,27	10,34	2,05	19,82	34,06	5,42	15,93
12	36,28	16,59	45,74	35,28	4,43	12,57	10,10	2,01	20,00	31,69	8,67	27,38

CUADRO 1a

Cemento: P-450.— Coeficientes de corrosión; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - \bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial			Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,06	0,07	6,48	1,10	0,07	6,55	1,01	0,07	7,32	1,23	0,04	3,54
3	1,10	0,07	6,06	1,11	0,07	6,52	0,82	0,07	8,11	1,16	0,38	33,10
6	1,13	0,09	7,66	1,27	0,09	7,00	0,96	0,05	5,50	1,09	0,18	17,01
9	1,22	0,09	7,73	1,12	0,46	41,12	0,95	0,06	6,11	0,75	0,16	22,06
12	1,12	0,06	5,71	1,06	0,14	13,77	0,89	0,09	10,04	0,39	0,15	37,94

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,23	0,10	8,34	0,17	0,06	35,29	0,58	0,06	10,80
3	1,20	0,12	10,14	0,11	0,02	17,20	0,50	0,06	13,10
6	1,03	0,10	10,14	0,14	0,03	21,12	0,46	0,06	14,00
9	0,73	0,16	20,65	0,12	0,02	18,63	0,39	0,06	16,10
12	0,39	0,04	12,56	0,11	0,02	20,13	0,35	0,09	25,55

CUADRO 2

Cemento: P-450.— Resistencias a flexotracción; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - \bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Agua filtrada			Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	99,44	3,53	3,55	107,69	31,30	29,06	104,33	4,13	3,69	92,64	3,11	3,35
3	104,89	2,41	2,30	109,64	4,68	4,27	106,75	4,19	3,92	95,64	4,54	4,75
6	102,62	4,16	4,06	112,34	3,65	3,25	114,22	4,83	4,23	99,22	4,73	4,77
9	100,81	5,10	5,06	110,00	3,93	3,57	102,76	4,68	4,55	100,64	3,67	3,65
12	94,67	3,69	3,90	109,54	3,13	2,85	111,59	4,81	4,31	95,00	4,53	4,77

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %			Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	109,63	4,80	4,38	99,74	3,94	3,95	18,44	6,75	36,64	71,38	4,43	6,20
3	106,00	4,48	4,22	106,60	4,05	3,79	7,20	2,35	32,74	58,73	4,01	6,83
6	112,46	2,70	2,40	107,36	2,07	1,93	13,25	5,09	38,42	44,19	3,55	8,03
9	57,62	30,91	53,65	55,00	22,04	40,13	6,36	3,84	60,43	40,75	3,63	8,92
12	53,92	38,75	71,88	40,97	6,31	15,42	10,38	4,22	40,65	32,26	2,87	8,89

CUADRO 2a

Cemento: P-450.— Coeficientes de corrosión; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - \bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial			Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,08	0,03	3,01	1,09	0,14	12,80	0,93	0,03	3,35	1,10	0,04	4,38
3	1,04	0,04	4,28	1,01	0,04	3,29	0,91	0,04	4,75	1,01	0,04	4,22
6	1,09	0,03	3,25	1,11	0,04	4,25	0,96	0,04	4,74	1,09	0,02	2,41
9	1,09	0,03	3,55	1,01	0,04	4,58	0,99	0,03	3,67	0,56	0,31	56,38
12	1,15	0,03	2,83	1,17	0,05	4,30	1,00	0,04	4,80	0,57	0,41	98,20

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,00	0,04	3,95	0,18	0,07	37,55	0,71	0,04	6,20
3	1,02	0,03	3,79	0,06	0,02	33,29	0,56	0,03	6,83
6	1,04	0,02	1,93	0,12	0,05	38,48	0,43	0,03	8,15
9	0,54	0,21	40,16	0,06	0,04	5,87	0,40	0,03	8,90
12	0,43	0,06	15,38	0,11	0,04	40,65	0,34	0,03	8,95

C U A D R O 3

Cemento: P-450.— Resistencias a flexotracción; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - N\bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Agua filtrada			Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	99,46	3,23	3,25	113,76	4,06	3,57	104,99	4,34	4,14	90,32	3,94	4,36
3	104,52	2,88	2,75	111,01	4,16	3,75	112,67	3,34	2,96	95,43	2,62	2,74
6	100,82	2,95	2,93	120,36	2,05	1,71	118,50	4,81	4,06	96,35	5,18	5,38
9	102,15	3,50	3,43	110,11	4,73	4,29	97,13	4,44	4,57	83,11	4,52	5,44
12	101,86	4,10	4,02	110,31	4,33	3,92	101,35	5,04	4,98	91,81	3,84	4,18

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %			Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	115,10	3,38	2,94	111,09	2,76	2,48	26,36	6,26	23,76	65,81	5,71	8,67
3	106,06	6,84	6,33	103,74	3,52	3,40	4,94	1,63	23,52	58,95	3,33	5,66
6	107,02	8,80	8,22	89,50	4,86	5,43	10,19	3,06	30,08	54,34	7,73	14,22
9	60,41	12,55	20,77	91,20	4,71	5,16	12,73	3,25	25,55	58,35	8,44	14,47
12	*	*	*	37,15	10,28	27,64	11,41	15,14	32,75	35,79	7,00	19,58

* No pudieron medirse por estar desintegradas.

C U A D R O 3a

Cemento: P-450.— Coeficientes de corrosión; datos estadísticos de los resultados obtenidos

$$\bar{X} = \text{media aritmética}; S = \frac{(\sum X_i - N\bar{X})^2}{N-1} = \text{desviación tipo}; V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variación}$$

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Ca a saturación			Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg			Agua de mar artificial			Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,14	0,04	3,57	1,05	0,04	4,14	0,91	0,04	42,95	1,16	0,03	2,93
3	1,06	0,04	3,75	1,07	0,03	2,96	0,91	0,02	2,74	1,03	0,06	6,33
6	1,19	0,02	1,71	1,17	0,04	4,06	0,95	0,51	5,38	1,06	0,08	8,22
9	1,07	0,04	4,29	0,95	0,04	4,57	0,81	0,04	5,44	0,59	0,12	20,77
12	1,08	0,04	3,92	0,99	0,05	4,98	0,90	0,03	4,22	*	*	*

Edad (meses)	Disolución de SO ₄ Mg al 10 %			Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %			Disolución de CINH ₄ al 5 %		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
1	1,11	0,03	2,48	0,26	0,06	23,76	0,66	0,05	8,67
3	0,99	0,03	3,40	0,06	0,01	23,50	0,56	0,03	5,66
6	0,88	0,05	5,43	0,10	0,03	3,09	0,54	0,07	14,23
9	0,89	0,04	5,16	0,12	0,03	25,55	0,57	0,08	14,77
12	0,36	0,10	27,67	0,11	0,14	132,80	0,35	0,07	19,59

* No pudieron medirse por estar desintegradas.

CUADRO 4

Comparación de las velocidades de disolución entre los prismas sin carbonatar y los prismas carbonatados

$$V = \frac{R_{(x-1)} - R_x}{n} = \text{velocidad de disolución}$$

n = días en contacto entre dos edades inmediatas (por ejemplo: a 3 meses = 90 días —30 días que han estado en la primera edad estudiada, —1 mes);

R = resistencia a la edad estudiada;

R_(x-1) = resistencia obtenida en la edad anterior.

Edad (meses)	Valor de n	Agua filtrada		Disolución de SO ₄ Ca a saturación		Mezcla al 50 % de disolución de SO ₄ Ca + SO ₄ Mg		Agua de mar artificial	
		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución	
		Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados
3	n = 60	9,1 × 10 ⁻²	— 8,4 × 10 ⁻²	— 3,2 × 10 ⁻²	— 4,6 × 10 ⁻²	— 4,0 × 10 ⁻²	— 1,3 × 10 ⁻¹	— 5,0 × 10 ⁻²	— 8,5 × 10 ⁻²
6	n = 90	2,5 × 10 ⁻²	4,1 × 10 ⁻²	— 3,0 × 10 ⁻²	— 1,0 × 10 ⁻¹	— 8,3 × 10 ⁻²	— 6,5 × 10 ⁻²	— 4,0 × 10 ⁻²	— 1,0 × 10 ⁻¹
9	n = 90	2,0 × 10 ⁻²	— 1,5 × 10 ⁻²	2,6 × 10 ⁻²	1,1 × 10 ⁻¹	1,3 × 10 ⁻¹	2,4 × 10 ⁻¹	— 1,6 × 10 ⁻²	1,5 × 10 ⁻¹
12	n = 90	6,8 × 10 ⁻²	3,2 × 10 ⁻³	5,1 × 10 ⁻³	— 2,3 × 10 ⁻³	— 9,8 × 10 ⁻¹	— 4,7 × 10 ⁻²	6,3 × 10 ⁻²	— 9,7 × 10 ⁻²

Edad (meses)	Valor de n	Disolución de SO ₄ Na ₂ al 5 %		Disolución de SO ₄ Mg al 10 %		Disolución de SO ₄ (NH ₄) ₂ al 5 %		Disolución de CINH ₃ al 5 %	
		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución		Velocidad de disolución	
		Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados	Sin carbonatar	Carbonatados
3	n = 60	6,0 × 10 ⁻²	1,2 × 10 ⁻¹	— 1,0 × 10 ⁻¹	1,0 × 10 ⁻¹	— 1,9 × 10 ⁻¹	— 3,2 × 10 ⁻¹	— 2,1 × 10 ⁻¹	1,1 × 10 ⁻¹
6	n = 90	— 7,2 × 10 ⁻²	1,1 × 10 ⁻²	— 1,5 × 10 ⁻²	1,6 × 10 ⁻¹	6,7 × 10 ⁻²	3,6 × 10 ⁻²	1,6 × 10 ⁻¹	5,1 × 10 ⁻²
9	n = 90	6,1 × 10 ⁻¹	5,2 × 10 ⁻¹	5,8 × 10 ⁻¹	— 3,0 × 10 ⁻²	— 7,6 × 10 ⁻¹	— 2,8 × 10 ⁻²	3,7 × 10 ⁻²	— 4,4 × 10 ⁻²
12	n = 90	4,1 × 10 ⁻²	*	1,5 × 10 ⁻¹	6,0 × 10 ⁻¹	4,5 × 10 ⁻²	1,5 × 10 ⁻²	9,4 × 10 ⁻²	2,5 × 10 ⁻¹

* No hay valores por estar desintegrados los prismas.

Conclusiones provisionales

El conjunto de resultados se expresan en el cuadro 4. A partir de él se han establecido las siguientes conclusiones:

a) *En agua filtrada.*

Los prismas sin carbonatar están más atacados que los prismas carbonatados, en todas las edades estudiadas.

b) *En disolución saturada de sulfato cálcico.*

Salvo en la última edad estudiada, parecen estar más atacados los prismas carbonatados.

c) *En disolución mezcla de sulfatos.*

En conjunto están menos atacados los prismas carbonatados.

d) *En agua de mar artificial.*

Aunque hay bastantes dispersiones, también en conjunto están menos atacados.

e) *En disolución de sulfato sódico al 5 %.*

A partir del 6.º mes estudiado, las resistencias decrecen brusca y progresivamente. Aparecen menos atacados los prismas sin carbonatar.

f) *En disolución de sulfato magnésico al 10 %.*

Hasta la edad de 9 meses parecen más estables los prismas carbonatados. En todas las series estudiadas su resistencia a los sulfatos es prácticamente nula.

g) *En disolución de sulfato amónico al 5 %.*

En todos los casos el comportamiento de los prismas es el mismo.

h) *En disolución de cloruro amónico al 5 %.*

Siempre son algo más estables los prismas carbonatados.

IV. CONCLUSIONES FINALES

Tanto de las experiencias llevadas a cabo, así como de la bibliografía estudiada sobre el tema de carbonatación, para que ésta pueda considerarse eficaz y para ensayos posteriores, habría que fijar los siguientes puntos (5):

- Estudio de las condiciones y duración óptimas del curado previo a la carbonatación para mayor eficacia de ésta.
- Determinación del agua evaporable y del agua no evaporable, y estudio de su influencia en la carbonatación.

- Determinación de la porosidad, volumen, tamaño, forma y distribución de los poros.
- Fijar las condiciones óptimas de carbonatación propiamente dicha, para que ésta sea eficaz. Para ello conviene estudiar:
 - a) influencia de la humedad relativa de la atmósfera de CO_2 en la carbonatación, y
 - b) influencia de la presión y temperatura de carbonatación y determinación de los valores óptimos de ambas.

V. ESTUDIO REALIZADO CON ESPECTROSCOPIA IR. CONCLUSIONES

Una vez medida la resistencia a flexotracción se han tomado muestras de prismas, en las que se ha procurado eliminar al máximo la arena del mortero; posteriormente, se ha molido finamente la pasta para poderla estudiar por espectroscopía infrarroja.

Dado el gran número de espectros infrarrojos estudiados (realizados sobre 80 muestras), no se reproducen aquí. En una próxima publicación del I.E.T.c.c. se incorporarán los espectros mencionados, así como una más detallada marcha del trabajo.

Ateniéndonos a la extensión limitada que nos imponemos, vamos a resumir las conclusiones que, en forma provisional, hemos obtenido en este trabajo.

- 1) Una de las causas de la disminución de las resistencias mecánicas de las probetas, objeto de estudio es la *formación* de yeso que en forma progresiva se observa en los prismas conservados en las siguientes disoluciones: sulfato sódico, sulfato magnésico y sulfato amónico.
- 2) En las probetas que están introducidas en disoluciones en las que interviene el catión Mg^{2+} se forma progresivamente $\text{Mg}(\text{OH})_2$, que disminuye o desaparece a edades superiores.
- 3) La banda de absorción IR producida por el silicato tricálcico en los cementos anhidros, aparece a 930 cm^{-1} . Con la hidratación normal del cemento se desplaza hasta, generalmente, $970\text{-}980\text{ cm}^{-1}$ (4). Sin embargo, en bastantes de los prismas estudiados, la banda correspondiente a la tobermorita ha sufrido un desplazamiento anormal hacia mayores frecuencias. Esta circunstancia va paralelamente unida a la disminución e incluso desaparición de la banda correspondiente al $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Esto, en nuestra opinión, nos indica una progresiva evolución de la tobermorita, que se va enriqueciendo en Ca^{2+} . Este catión, por consiguiente, se combina con el SO_4^{2-} para formar yeso, con el CO_3^{2-} para formar CO_3Ca y también, en ocasiones, puede entrar a formar parte de la estructura tobermorítica.

- 4) Lógicamente, la aparente anormalidad de la tobermorita formada ha de causar una alteración de la resistencia mecánica y, probablemente, de la durabilidad de las probetas afectadas.

- 5) En los espectros IR de los prismas con mayor pérdida de resistencia mecánica hay una evolución muy clara de una banda de absorción situada hacia 540 cm^{-1} , en el sentido de una disminución progresiva de intensidad, hasta su aparente desaparición.

En esta banda están incluidas absorciones Si-O-Al. Por consiguiente, la disminución de la banda nos indica que, al menos en parte, la tobermorita evoluciona a costa de los silicoaluminatos.

- 6) Hay formación de carbonato cálcico amorfo, en las muestras introducidas, en las siguientes disoluciones:

- Mezcla de SO_4Ca y SO_4Mg .
- Agua de mar artificial.
- SO_4Na_2 al 5 %.
- SO_4Mg al 10 %. (Aquí se produce también aragonito).

Hay una correlación entre la existencia del carbonato cálcico, gel, y el proceso de hidratación del cemento.

Cuando fue necesario, los resultados obtenidos por IR se comprobaron por difracción de rayos X. Queremos hacer constar aquí nuestro agradecimiento al Doctor F. TRIVIÑO por la interpretación de los difractogramas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) KOCH y STEINEGGER.: Zement-Kalk-Gips, 13, p. 317; 1960.
- (2) GARCIA DE PAREDES, P.: Monografía n.º 232, del Instituto Eduardo Torroja de de Construcción y del Cemento.
- (3) FERNANDEZ-PEÑA, O.: Cuaderno de Investigación n.º 6, del I.E.T.c.c.
- (4) LEHMANN, H. y DUTZ, H.: Tonindustrie Zeitung; p. 219, n.º 10, 1959.
- (5) FERNANDEZ-PEÑA, O.: Comunicación presentada a la Primera reunión del Grupo de Carbonatación de la RILEM, celebrada en el CERILH, París, marzo de 1971.