

INFLUENCIA DE LA EDAD Y DEL TIPO DE ALMACENAMIENTO EN LOS CEMENTOS CHILENOS

Mauricio OSSA M.*

RESUMEN

Con el objeto de establecer los efectos que se producen en los cementos envasados en bolsas de papel durante el período de almacenamiento en obra, se realizó un programa de ensayos con cementos chilenos mantenidos en esos envases durante 30, 60, 90 y 120 días en tres ambientes diferentes, comparando los resultados con los de muestras frescas de los respectivos cementos.

Los efectos principales causados por el almacenamiento fueron: disminución de velocidad de hidratación y de resistencia potencial de los cementos; resultados que coinciden con los que se conocen de otras experiencias.

Se examinan además los resultados para establecer ciertas hipótesis explicativas del fenómeno.

Finalmente se incluyen recomendaciones para un mejor resguardo y protección del cemento envasado.

INTRODUCCION

Las fábricas de cemento en Chile distribuyen comercialmente su producto tanto a granel como envasado en sacos de papel. En el primer caso, el cemento es trasladado de los grandes silos de las fábricas a los silos menores instalados en las obras mediante transporte en recipientes de hormigón armado o metálicos de 5 t de capacidad, como también en camiones estanques de 25 a 40 t de capacidad. En el segundo caso, el cemento es envasado mecánicamente en fábrica en bolsas de 28.32 l de capacidad (1 pie cúbico), confeccionadas con tres hojas de papel

*Investigador del IDIEM.

kraft, impermeables, conforme a norma INN (INDITECNOR) NCh 262. Of 54. El peso neto del producto así envasado es de 42.5 kg y es distribuido posteriormente a los centros de consumo.

El saco de cemento constituye una unidad adecuada para manipular en obras pequeñas, para dosificar, para controlar y para identificar. Su capacidad, se basó originalmente en el volumen de un pie cúbico, pero en la práctica corriente se considera en peso, y por ello se tiende actualmente a modificar esa capacidad a un peso neto de 50 kg.

Es muy importante la calidad protectora del material de envase: el papel. Preferido por su economía, el papel debe cumplir condiciones como: resistencia al desgarró y al reventón, impermeabilidad y homogeneidad*. Por su parte, la confección del saco debe ser correcta y uniforme, conforme a tolerancias previamente establecidas.

Pese a los requisitos de impermeabilidad que debe cumplir, el papel de envase es susceptible de absorber humedad ambiental. Cuando el almacenamiento de cemento en sacos se efectúa en forma inapropiada y en bodegas mal protegidas, la calidad protectora del material de envase puede ser insuficiente, en cuyo caso la humedad del aire afectará las propiedades del cemento aun en cortos períodos de almacenamiento. La Tabla I señala el contenido de agua del aire en g/m^3 para diferentes ambientes.

TABLA I
CONTENIDO EN AGUA DEL AIRE, g/m^3

Temp. °C	Humedad relativa, %									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	4.90	4.41	3.92	3.43	2.94	2.45	1.96	1.47	0.98	0.49
10	9.40	8.46	7.52	6.58	5.64	4.70	3.76	2.82	1.88	0.94
20	17.00	15.30	13.60	11.90	10.20	8.50	6.80	5.10	3.40	1.70
30	30.20	27.18	24.16	21.14	18.12	15.10	12.08	9.06	6.04	3.02
40	51.00	45.90	40.80	35.70	30.60	25.50	20.40	15.30	10.20	5.10

El almacenamiento de cemento en bodegas da lugar a un proceso de envejecimiento, que algunos autores han comparado con una hidratación lenta durante la cual se libera cal y en consecuencia el cemento se descompone poco a poco, con formaciones aisladas de grumos.

Numerosas experiencias se han efectuado para clarificar y cuantificar el fenómeno. Según Kleinlogel¹, la formación de grumos, en ciertos casos de frío, heladas, lluvias y mal almacenamiento, puede provocar daños severos en el cemento y llegar a dejarlo completamente inutilizable. En oportunidades constatadas

*El papel kraft empleado en la confección de los sacos debe cumplir las siguientes condiciones: a) Peso base = 60 g/m^2 ; b) Porosidad al aire = paso de 300 cm^3 de aire (máximo) en 90 segundos; c) Absorción = 0.5 g (máximo); d) Resistencia a la explosión = 2.1 kgf/cm^2 (mínimo).

por ese autor, el cemento en grumos perdió el 90% de la resistencia original y la porción de cemento sin grumos, el 70%. Por su parte, un informe de Walz, mencionado también por Kleinlogel, señala que en sus ensayos de resistencia de la parte pulverulenta de cemento envejecido que pasaba el tamiz de 1.2 mm obtuvo resultados de 58% de la resistencia original y de la parte restante, un 42%. Porrero y Narváez² encontraron en ensayos similares, que la pérdida de calidad no es proporcional a la cantidad de grumos formados.

De singular interés son las experiencias realizadas por Matouschek³ que determinó que el agua captada por el cemento almacenado en sacos aumentaba muy levemente hasta los 700 días (en ambientes de 55 a 70% de humedad relativa) y posteriormente sólo de manera insignificante. En cambio la absorción de CO₂, por el mismo cemento, continuó linealmente con el tiempo, Tabla II. Paralelamente con el contenido de anhídrido carbónico, aumentaba el agua necesaria para consistencia normal.

TABLA II
ALMACENAMIENTO DE CEMENTO EN SACOS DE PAPEL
(VALORES OBTENIDOS POR MATOUSCHEK)

Condiciones de almacenamiento		Captación del aire		Características físicas y mecánicas obtenidas, en % de muestra patrón							
Días	Humedad relativa	H ₂ O %	CO ₂ %	Agua amasado	Comienzo fraguado	Resistencia flexión			Resistencia compresión		
						3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
1 [Ⓞ]	55	0.5	1.81	100	100	100	100	100	100	100	100
10	60	0.6	1.98	114	100	91	94	103	99	96	96
20	70	1.0	2.60	117	100	93	88	117	95	92	92
40	68	1.1	2.60	120	107	92	84	110	99	93	90
60	67	1.1	2.86	122	116	93	97	127	90	93	95
90	70	1.2	3.14	127	140	86	93	116	78	87	92
180	66	1.6	4.13	129	137	68	89	114	63	78	85
360	68	2.7	5.86	147	177	33*	67	100	28	45	61
720	69	3.6	8.60	171	77	23*	38	71	17	31	47
1 155	69	3.7	11.32	191	135	14*	25	79	7	14	32
1 491	66	3.8	15.22	191	172	18*	24	62	9	13	31

ⓄMuestra patrón

*Aumento de agua de amasado en 1% para posibilitar compactación.

Pese a que aún no se definen específicamente los complejos cambios químicos que sufre el cemento envejecido, es un hecho comprobado que sus propiedades se alteran primeramente debido a la hidratación y luego a la carbonatación de silicatos, aluminatos y eventualmente de los álcalis libres. La acción recae en las partículas más pequeñas, lo que produce la impresión de encontrarse con un cemento de granulometría diferente a la original, con escasez de partículas muy finas. Mientras mayor sea la meteorización, el cemento requerirá más agua para una determinada consistencia, aumentará el tiempo de fraguado y serán menores las resistencias mecánicas, Tabla III, especialmente a las primeras edades. La menor cantidad de partículas finas influirá para que disminuya el calor de hidratación y

TABLA III
 PERDIDA DE RESISTENCIA DE CEMENTOS ENVEJECIDOS
 EN RELACION A CEMENTO FRESCO

Envejecimiento edad	Pérdida de resistencia, en porcentaje según:					
	Kleinlogel ¹	Fulton ⁴	Labahn y Kaminsky ⁵	V.D.Z. ⁶	Fritzpatrick y Serkin ⁷	Porrero y Narváez ²
1 día	0	0	0	0	0	0
1 mes	—	—	—	—	—	4 — 14
2 meses	—	—	—	—	—	14 — 32
3 meses	10 — 15	20	10 — 20	10 — 20	20	11 — 33
4 meses	—	—	—	—	—	11 — 28
5 meses	—	—	—	—	—	11 — 28
6 meses	15 — 25	30	20 — 30	20 — 30	28	—
12 meses	25 — 40	—	—	—	—	—
1 año	—	40	—	—	40	—
2 años	40 — 50	50	—	—	54	—
3 años	—	—	—	—	—	—
4 años	50 — 60	—	—	—	—	—

también la retracción, pero producirá una mayor absorción capilar, lo que perjudicará la resistencia a las heladas.

La sensibilidad de los cementos al envejecimiento varía según su composición o proporción de las distintas fases, su grado de molienda, el tipo y cuantía de adiciones especiales, la presencia de constituyentes secundarios y trazas, etc.

En un ambiente húmedo, el agua se condensará en la superficie del papel de envase, atravesará las tres hojas de protección y atacará las partículas de cemento en combinación con anhídrido carbónico. Como la cantidad de agua es ínfima, por muy alto que sea el grado de humedad ambiente, las formaciones de geles serán igualmente pequeñas y no se difundirán. Esta es, tal vez, la causa de la formación de grumos y es, seguramente, el síntoma más claro de envejecimiento del cemento.

EXPERIENCIAS CON CEMENTOS CHILENOS

Con el objeto de prever situaciones de ocurrencia frecuente en nuestras obras de construcción, se estimó conveniente desarrollar un programa de ensayos con cementos chilenos envejecidos sistemáticamente.

Cementos

Se seleccionaron 7 tipos de cemento provenientes de las distintas fábricas del país, que se identificaron como sigue:

Cemento 01. Cemento Polpaico Especial, clase portland puzolánico, grado corriente.

- Cemento 02. Cemento Polpaico 400, clase portland puzolánico, grado alta resistencia.
- Cemento 03. Cemento Melón Especial, clase portland con agregado tipo A, grado corriente.
- Cemento 04. Cemento Melón Extra, clase portland con agregado tipo A, grado alta resistencia.
- Cemento 06. Cemento Melón Super, clase portland, grado alta resistencia.
- Cemento 10. Cemento Bío-Bío Especial, clase siderúrgico, grado corriente.
- Cemento 09. Cemento Bío-Bío Alta Resistencia, clase siderúrgico, grado alta resistencia.

La composición y finura medias de estos cementos se da en Tabla IV.

TABLA IV
COMPOSICION Y FINURA MEDIAS DE LOS
TIPOS DE CEMENTOS ENSAYADOS

Cemento Nº	Composición del clínquer, %					Composición de cemento, %			Finura Blaine cm ² /g	Clasif. grado
	SC ₃	SC ₂	AC ₃	FAC ₄	CaO libre	Clínquer mínimo	Yeso	Agregado máximo		
01	68	13	2	13	0.3	66.5	3.5	30*	3 900	Cte.
02	68	13	2	13	0.3	76.5	3.5	20*	4 700	A.R.I.
03	56	16	13	10	1.5	66.5	3.5	30⊕	4 200	Cte.
04	56	16	13	10	1.5	76.5	3.5	20⊕	4 600	A.R.I.
06	56	16	13	10	1.5	96.5	3.5	—	3 300	A.R.I.
10	60	19	8	7	1.0	36.5	3.5	60□	—	Cte.
09	60	19	8	7	1.0	51.5	3.5	45□	—	A.R.I.

*Puzolana.

⊕Producto calcáreo-arcilloso.

□Escoria de alto horno.

Se solicitaron a las fábricas pequeños lotes de cemento, de diferentes días de producción y se estableció un período de tiempo para recepción del producto fresco. Al llegar cada uno de esos lotes al laboratorio, se procedía inmediatamente: a dividirlo en cinco muestras, a ejecutar los ensayos de una de ella que se constituía en muestra patrón y a envasar las cuatro restantes en bolsas de papel. Estas bolsas se fabricaron en 3 hojas con el mismo papel del envase comercial, pero de tamaño proporcionalmente reducido. Luego se cerraron herméticamente con papel adhesivo.

Durante el período de recepción, lamentablemente no llegó el número programado de lotes para cada tipo de cemento y en consecuencia se obtuvo una representación de un máximo de 12 lotes para dos tipos de cemento y de un mínimo de sólo 3 lotes para otros dos. Esta situación significó que la representación resultante no fuera estadísticamente ideal, pero sí suficiente para proporcionar la información requerida.

Almacenamiento del cemento

Con el objeto de seleccionar los ambientes de almacenamiento para la experimentación, se consideró previamente que en la práctica existen tres categorías de mantención en obras del cemento en sacos. La primera, afortunadamente la más empleada, consiste en apilar los sacos en locales cerrados, convenientemente ventilados y a veces con protecciones adicionales (control de temperaturas, recubrimiento con hojas de polietileno, etc.). La segunda, que utiliza sólo un cobertizo, en que el cemento se protege de lluvias pero queda expuesto a variaciones climáticas. Finalmente la tercera, deja los sacos de cemento totalmente al aire libre con el riesgo consecuente de rocíos matinales, precipitaciones breves, camanchacas y altas humedades relativas.

En base a las consideraciones señaladas, se escogió como ambiente protegido la Sala de Laboratorio de Aglomerantes que mantiene constantemente una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y un rango de humedad relativa del aire de 55 a 75%. Como segundo ambiente se utilizó un cobertizo al aire libre que según informaciones del Laboratorio de Calorimetría del IDIEM presentaría las variaciones de humedad y temperatura que aparecen en Tabla V.

TABLA V
CONDICIONES CLIMATICAS EN INTEMPERIE DURANTE PERIODO
DE ALMACENAMIENTO DE CEMENTOS
(PROMEDIO DE 18 AÑOS)

Factor de medición	Período de almacenamiento de cementos											
	30 días			60 días			90 días			120 días		
	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N
Temperaturas, °C	4.6	12.6	9.8	5.5	14.4	11.6	7.6	16.7	13.7	10.0	20.0	16.2
Humedades relativas, %	91.9	67.6	78.7	90.5	62.8	73.7	88.6	57.4	68.8	88.8	51.8	62.1

Nota: M = 9 horas, T = 14 horas, N = 19 horas. No se indican temperaturas ni humedades extremas.

Como tercer tipo de almacenamiento, se buscó un ambiente de condiciones extremas en lo que a humedad se refiere y como tal, nada mejor que la cámara de curado húmedo para morteros y hormigones, que mantiene constantemente una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y un rango de humedad relativa de 95-100%.

Por ser poco frecuente que el cemento en sacos se almacene en bodegas de obra durante más de 4 meses, los períodos de almacenamiento de las muestras, en los tres ambientes elegidos, se fijaron en 30, 60, 90 y 120 días.

Determinaciones y ensayos en morteros

Tanto la muestra patrón como las muestras con los tiempos de envejecimiento citados, se sometieron en su oportunidad a la determinación de las propiedades

físicas y mecánicas especificadas por norma NCh 148. Of 68, *Cemento. Terminología, clasificación y especificaciones generales*, según los procedimientos de las normas que se indican a continuación:

Tiempos de fraguado, NCh 151. Of 68 y NCh 152. Of 57

Resistencia mecánica, NCh 158. Of 67

Consistencia normal, NCh 151. Of 68

Peso específico, NCh 154. Of 51

Superficie específica, NCh 149. Of 57

En la determinación de resistencias mecánicas se incluyó, además de los ensayos de mortero a 7 y 28 días especificados, un ensayo a 3 días de edad. Los morteros se confeccionaron con arena normal seca (seis partes), cemento (2 partes) y agua (1 parte). Cada muestra tuvo una representación de 3 probetas para flexión y las correspondientes 6 probetas para compresión, por cada edad de ensayo. Las resistencias de cada muestra de mortero, se obtuvieron finalmente promediando los resultados de ensayo realizados en cada fecha.

Resultados de ensayos

Los valores obtenidos por cada muestra en las diferentes determinaciones, se relacionaron en porcentaje con los proporcionados por la muestra patrón correspondiente al lote. Como cada tipo de cemento se representó por un número variable de lotes, se procedió a calcular finalmente las medias aritméticas de esos porcentajes, por cemento ensayado.

Tabla de valores

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla VI, donde se incluyen cada uno de los cementos ensayados en un cuadro separado dentro de ella.

En cada cuadro aparecen los porcentajes correspondientes a las muestras envasadas, en relación con la muestra patrón del mismo cemento. Se anotan los resultados porcentuales obtenidos en el peso específico, superficie específica Blaine, agua de consistencia normal, tiempo de comienzo y de fin de fraguado y resistencias a la flexión y a la compresión a la edad de 3, 7 y 28 días.

El programa experimental consultaba un tamaño de muestra igual para todos los cementos; sin embargo, por las razones señaladas antes, no se pudo cumplir esta condición y el tamaño de la muestra, para cada cemento, fue el que se anota al pie de la Tabla VI. Aun más para un mismo cemento, en algunos ensayos, la muestra fue más pequeña y en tales casos se deja constancia en la Tabla del número de probetas que se usó.

Gráficos de valores

Los resultados de la Tabla VI se han llevado a los gráficos de las Figs. 1, 2, 3 y 4.

En la Fig. 1 se representan las resistencias a la compresión a 3, 7 y 28 días para todos los cementos; en la Fig. 2, las resistencias a flexión; en la Fig. 3, los tiempos de comienzo y fin de fraguado, y en la Fig. 4, el agua de consistencia normal, superficie específica Blaine y peso específico.

TABLA VI

EFFECTOS DE ENVEJECIMIENTO DE CEMENTOS ALMACENADOS EN SACOS DE PAPEL
BAJO DIFERENTES CONDICIONES, EN PORCENTAJE CON RELACION A MUESTRAS PATRONES

Cemento	Ambiente	Tiempo días	Peso específico	Superficie específica Blaine	Agua consistencia normal	Tiempo de fraguado		Resistencia a flexión			Resistencia a compresión			
						Comienzo	Final	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	
01		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sala de laboratorio	30	100	99	104 <u>10</u>	108 <u>10</u>	116 <u>10</u>	89	96	100	82	87	93	
		60	100	97	108 <u>10</u>	111 <u>10</u>	135 <u>10</u>	73	90	99	64	73	84	
		90	99 <u>10</u>	96 <u>10</u>	110 <u>2</u>	125 <u>2</u>	157 <u>2</u>	66 <u>10</u>	84 <u>10</u>	97 <u>10</u>	56 <u>10</u>	68 <u>10</u>	82 <u>10</u>	
		120	100 <u>2</u>	90 <u>2</u>	106 <u>5</u>	112 <u>5</u>	124 <u>5</u>	68 <u>2</u>	83 <u>2</u>	95 <u>2</u>	61 <u>2</u>	65 <u>2</u>	79 <u>2</u>	
	Intemperie	30	100	98	106 <u>10</u>	117 <u>10</u>	124 <u>10</u>	84	95	98	74	82	90	
		60	100	97	111 <u>10</u>	117 <u>10</u>	139 <u>10</u>	66	84	97	56	68	81	
		90	100 <u>1</u>	96 <u>10</u>	112 <u>2</u>	135 <u>2</u>	173 <u>2</u>	58 <u>10</u>	77 <u>10</u>	92 <u>10</u>	51 <u>10</u>	62 <u>10</u>	78 <u>10</u>	
		120	100 <u>2</u>	92 <u>2</u>	111 <u>5</u>	120 <u>5</u>	136 <u>5</u>	64 <u>2</u>	67 <u>2</u>	92 <u>2</u>	54 <u>2</u>	60 <u>2</u>	76 <u>2</u>	
	Cámara húmeda	30	100	98	108 <u>10</u>	116 <u>10</u>	123 <u>10</u>	79	92	97	69	79	87	
		60	100	98	117 <u>10</u>	114 <u>10</u>	136 <u>10</u>	66	81	92	56	67	79	
		90	99 <u>10</u>	98 <u>10</u>	124 <u>2</u>	111 <u>2</u>	122 <u>2</u>	51 <u>10</u>	68 <u>10</u>	83 <u>10</u>	44 <u>10</u>	57 <u>10</u>	70 <u>10</u>	
120		100 <u>2</u>	91 <u>2</u>	118 <u>5</u>	114 <u>5</u>	132 <u>5</u>	45 <u>2</u>	62 <u>2</u>	84 <u>2</u>	45 <u>2</u>	50 <u>2</u>	66 <u>2</u>		
02		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sala de laboratorio	30	100	99	103 <u>2</u>	126 <u>2</u>	135 <u>2</u>	106	105	104	100	101	103	
		60	100	97	108 <u>2</u>	174 <u>2</u>	156 <u>2</u>	98	102	106	85	92	100	
		90	100 <u>10</u>	95 <u>10</u>	111 <u>2</u>	176 <u>2</u>	223 <u>2</u>	86 <u>10</u>	100 <u>10</u>	102 <u>10</u>	67 <u>10</u>	82 <u>10</u>	95 <u>10</u>	
		120	100 <u>2</u>	98 <u>2</u>	106 <u>5</u>	123 <u>5</u>	123 <u>5</u>	89 <u>2</u>	94 <u>2</u>	101 <u>2</u>	83 <u>2</u>	86 <u>2</u>	96 <u>2</u>	
	Intemperie	30	100	98	106 <u>2</u>	149 <u>2</u>	157 <u>2</u>	104	105	105	95	98	103	
		60	100	97	113 <u>2</u>	151 <u>2</u>	170 <u>2</u>	90	100	102	75	85	98	
		90	99 <u>10</u>	95 <u>10</u>	116 <u>2</u>	183 <u>2</u>	219 <u>2</u>	74 <u>10</u>	93 <u>10</u>	101 <u>10</u>	58 <u>10</u>	74 <u>10</u>	91 <u>10</u>	
		120	100 <u>2</u>	94 <u>2</u>	111 <u>5</u>	131 <u>5</u>	148 <u>5</u>	79 <u>2</u>	88 <u>2</u>	101 <u>2</u>	71 <u>2</u>	92 <u>2</u>	93 <u>2</u>	
	Cámara húmeda	30	99	96	109 <u>2</u>	150 <u>2</u>	162 <u>2</u>	94	99	99	82	89	97	
		60	99	98	119 <u>2</u>	150 <u>2</u>	175 <u>2</u>	76	87	94	65	76	86	
		90	99 <u>10</u>	92 <u>2</u>	119 <u>2</u>	129 <u>2</u>	160 <u>2</u>	65 <u>10</u>	76 <u>10</u>	88 <u>10</u>	51 <u>10</u>	62 <u>10</u>	77 <u>10</u>	
120		100 <u>2</u>	99 <u>2</u>	120 <u>5</u>	124 <u>5</u>	130 <u>5</u>	74 <u>2</u>	79 <u>2</u>	93 <u>2</u>	63 <u>2</u>	69 <u>2</u>	82 <u>2</u>		
03		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sala de laboratorio	30	100	100	103	124	129	94	100	99	89	93	93	
		60	100	98	108	120	145	83	95	97	73	84	90	
		90	100 <u>7</u>	96 <u>7</u>	108 <u>2</u>	156 <u>2</u>	170 <u>2</u>	73 <u>7</u>	88 <u>7</u>	94 <u>7</u>	63 <u>7</u>	78 <u>7</u>	89 <u>7</u>	
		120	100 <u>2</u>	93 <u>2</u>	108 <u>4</u>	160 <u>4</u>	162 <u>4</u>	65 <u>2</u>	87 <u>2</u>	96 <u>2</u>	58 <u>2</u>	33 <u>2</u>	87 <u>2</u>	
	Intemperie	30	100	98	104	122	126	92	98	99	83	89	91	
		60	100	97	111	132	154	74	86	96	64	73	85	
		90	99 <u>7</u>	95 <u>7</u>	113 <u>2</u>	152 <u>2</u>	181 <u>2</u>	59 <u>7</u>	77 <u>7</u>	92 <u>7</u>	49 <u>7</u>	66 <u>7</u>	80 <u>7</u>	
		120	100 <u>2</u>	91 <u>2</u>	116 <u>4</u>	171 <u>4</u>	190 <u>2</u>	54 <u>2</u>	78 <u>2</u>	90 <u>2</u>	43 <u>2</u>	64 <u>2</u>	82 <u>2</u>	
	Cámara húmeda	30	100	99 <u>1</u>	107	147	144	75	86	92	62	73	79	
		60	100	102 <u>3</u>	115	156	171	63	75	85	52	61	72	
		90	99 <u>7</u>	97 <u>3</u> <u>4</u>	122 <u>2</u>	180 <u>2</u>	189 <u>2</u>	49 <u>7</u>	61 <u>7</u>	75 <u>7</u>	41 <u>7</u>	49 <u>7</u>	63 <u>7</u>	
120		100 <u>2</u>	-- <u>2</u>	126 <u>4</u>	164 <u>4</u>	167 <u>4</u>	37 <u>2</u>	53 <u>2</u>	63 <u>2</u>	31 <u>2</u>	38 <u>2</u>	51 <u>2</u>		
04		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sala de laboratorio	30	100	95	102	116	123	100	104	100	94	95	97	
		60	100	95	109	126	152	94	101	102	82	89	95	
		90	100 <u>7</u>	91 <u>7</u>	111 <u>7</u>	125 <u>7</u>	144 <u>7</u>	78 <u>7</u>	93 <u>7</u>	96 <u>7</u>	68 <u>7</u>	80 <u>7</u>	91 <u>7</u>	
		120	100 <u>2</u>	86 <u>2</u>	107 <u>2</u>	159 <u>2</u>	156 <u>2</u>	78 <u>2</u>	95 <u>2</u>	96 <u>2</u>	62 <u>2</u>	78 <u>2</u>	91 <u>2</u>	
	Intemperie	30	99	92	104	121	131	99	104	101	90	92	94	
		60	100	94	113	135	167	87	96	99	73	83	90	
		90	100 <u>7</u>	91 <u>7</u>	117 <u>7</u>	153 <u>7</u>	178 <u>7</u>	71 <u>7</u>	86 <u>7</u>	95 <u>7</u>	61 <u>7</u>	75 <u>7</u>	86 <u>7</u>	
		120	100 <u>2</u>	84 <u>2</u>	112 <u>2</u>	168 <u>2</u>	177 <u>2</u>	67 <u>2</u>	86 <u>2</u>	93 <u>2</u>	53 <u>2</u>	68 <u>2</u>	85 <u>2</u>	
	Cámara húmeda	30	99	94 <u>2</u>	106	130	138	85	95	96	73	78	83	
		60	100	92 <u>4</u>	117	154	171	68	79	87	56	64	75	
		90	99 <u>7</u>	99 <u>2</u>	121 <u>7</u>	175 <u>7</u>	172 <u>7</u>	52 <u>7</u>	64 <u>7</u>	75 <u>7</u>	43 <u>7</u>	51 <u>7</u>	63 <u>7</u>	
120		100 <u>2</u>	-- <u>2</u>	122 <u>2</u>	164 <u>2</u>	176 <u>2</u>	54 <u>2</u>	60 <u>2</u>	67 <u>2</u>	43 <u>2</u>	48 <u>2</u>	58 <u>2</u>		

TABLA VI (Continuación)

EFFECTOS DE ENVEJECIMIENTO DE CEMENTOS ALMACENADOS EN SACOS DE PAPEL
BAJO DIFERENTES CONDICIONES, EN PORCENTAJE CON RELACION A MUESTRAS PATRONES

Cemento	Ambiente	Tiempo días	Peso específico	Superficie específica Blaine	Agua consistencia normal	Tiempo de fraguado		Resistencia a flexion			Resistencia a compresion		
						Comienzo	Final	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
06		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sala de laboratorio	30	100	98	100	112	117	99	101	105	98	97	102
		60	100	95	106	123	140	97	103	108	90	95	102
		90	100	94 <u>2</u>	111 <u>1</u>	139 <u>1</u>	152 <u>1</u>	89 <u>2</u>	98 <u>2</u>	110 <u>2</u>	79 <u>2</u>	89 <u>2</u>	103 <u>2</u>
		120	100	90 <u>2</u>	106 <u>4</u>	143 <u>4</u>	163 <u>4</u>	86 <u>2</u>	96 <u>2</u>	105 <u>7</u>	72 <u>2</u>	83 <u>2</u>	97 <u>2</u>
	Intemperie	30	99	98	102	118	122	93	101	107	89	94	99
		60	100	96 <u>2</u>	109	123	143	85	93	106	73	81	93
		90	100	94 <u>2</u>	115 <u>1</u>	136 <u>1</u>	164 <u>1</u>	74 <u>2</u>	87 <u>2</u>	103 <u>2</u>	62 <u>2</u>	75 <u>2</u>	92 <u>2</u>
		120	100	90 <u>2</u>	114 <u>4</u>	158 <u>4</u>	178 <u>4</u>	75 <u>2</u>	89 <u>2</u>	106 <u>2</u>	62 <u>2</u>	73 <u>2</u>	89 <u>2</u>
	Cámara húmeda	30	99	99	105	127	132	83	88	101	72	79	88
		60	99	97 <u>6</u> <u>2</u>	111	131	150	71	76	90	57	65	75
		90	100	113 <u>5</u> <u>2</u>	121 <u>1</u>	128 <u>1</u>	157 <u>1</u>	57 <u>2</u>	65 <u>2</u>	80 <u>2</u>	47 <u>7</u>	52 <u>2</u>	66 <u>2</u>
120		100	-- <u>2</u>	130 <u>4</u>	161 <u>4</u>	203 <u>4</u>	41 <u>2</u>	47 <u>2</u>	60 <u>2</u>	32 <u>2</u>	33 <u>2</u>	46 <u>2</u>	
10		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	Sala de laboratorio	30	100	99	104 <u>1</u>	107 <u>1</u>	110 <u>1</u>	86 <u>1</u>	114 <u>1</u>	104 <u>1</u>	108 <u>1</u>	100 <u>1</u>	100 <u>1</u>
		60	100	98	108 <u>1</u>	93 <u>1</u>	117 <u>1</u>	82 <u>1</u>	102 <u>1</u>	97 <u>1</u>	77 <u>1</u>	92 <u>1</u>	85 <u>1</u>
		90	99 <u>2</u>	99 <u>2</u>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		120	100 <u>1</u>	93 <u>1</u>	105 <u>1</u>	108 <u>1</u>	109 <u>1</u>	86 <u>1</u>	95 <u>1</u>	94 <u>1</u>	84 <u>1</u>	88 <u>1</u>	73 <u>1</u>
	Intemperie	30	99	98	106 <u>1</u>	113 <u>1</u>	109 <u>1</u>	79 <u>1</u>	109 <u>1</u>	104 <u>1</u>	97 <u>1</u>	101 <u>1</u>	96 <u>1</u>
		60	99	97	108 <u>1</u>	92 <u>1</u>	120 <u>1</u>	79 <u>1</u>	105 <u>1</u>	106 <u>1</u>	70 <u>1</u>	92 <u>1</u>	83 <u>1</u>
		90	98 <u>2</u>	97 <u>2</u>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		120	100 <u>1</u>	98 <u>1</u>	108 <u>1</u>	115 <u>1</u>	115 <u>1</u>	71 <u>1</u>	98 <u>1</u>	88 <u>1</u>	76 <u>1</u>	85 <u>1</u>	72 <u>1</u>
	Cámara húmeda	30	99	98	109 <u>1</u>	105 <u>1</u>	110 <u>1</u>	96 <u>1</u>	105 <u>1</u>	103 <u>1</u>	102 <u>1</u>	98 <u>1</u>	95 <u>1</u>
		60	99	98	115 <u>1</u>	92 <u>1</u>	111 <u>1</u>	71 <u>1</u>	84 <u>1</u>	83 <u>1</u>	66 <u>1</u>	75 <u>1</u>	73 <u>1</u>
		90	97 <u>2</u>	99 <u>2</u>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
120		100 <u>1</u>	100 <u>1</u>	118 <u>1</u>	92 <u>1</u>	90 <u>1</u>	64 <u>1</u>	72 <u>1</u>	72 <u>1</u>	67 <u>1</u>	68 <u>1</u>	54 <u>1</u>	
09		1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	Sala de laboratorio	30	100	100	106 <u>2</u>	98 <u>2</u>	124 <u>2</u>	95 <u>2</u>	95 <u>2</u>	106 <u>2</u>	90 <u>2</u>	95 <u>2</u>	88 <u>2</u>
		60	100	100	108 <u>2</u>	90 <u>2</u>	117 <u>2</u>	86 <u>2</u>	96 <u>2</u>	105 <u>2</u>	71 <u>2</u>	84 <u>2</u>	84 <u>2</u>
		90	100 <u>2</u>	98 <u>2</u>	--	--	--	80 <u>1</u>	87 <u>1</u>	96 <u>1</u>	62 <u>1</u>	81 <u>1</u>	84 <u>1</u>
		120	100 <u>1</u>	98 <u>1</u>	107 <u>2</u>	104 <u>2</u>	119 <u>2</u>	73 <u>1</u>	93 <u>1</u>	101 <u>1</u>	79 <u>1</u>	86 <u>1</u>	76 <u>1</u>
	Intemperie	30	100	100	108 <u>2</u>	106 <u>2</u>	131 <u>2</u>	95 <u>2</u>	100 <u>2</u>	102 <u>2</u>	90 <u>2</u>	93 <u>2</u>	87 <u>2</u>
		60	100	100	113 <u>2</u>	96 <u>2</u>	124 <u>2</u>	84 <u>2</u>	98 <u>2</u>	109 <u>2</u>	75 <u>2</u>	88 <u>2</u>	82 <u>2</u>
		90	100 <u>2</u>	99 <u>2</u>	--	--	--	73 <u>1</u>	84 <u>1</u>	100 <u>1</u>	60 <u>1</u>	79 <u>1</u>	83 <u>1</u>
		120	100 <u>1</u>	95 <u>1</u>	111 <u>2</u>	110 <u>2</u>	125 <u>2</u>	73 <u>1</u>	95 <u>1</u>	95 <u>1</u>	73 <u>1</u>	87 <u>1</u>	77 <u>1</u>
	Cámara húmeda	30	100	101	110 <u>2</u>	105 <u>2</u>	131 <u>2</u>	93 <u>2</u>	93 <u>2</u>	102 <u>2</u>	85 <u>2</u>	89 <u>2</u>	85 <u>2</u>
		60	100	100	117 <u>2</u>	81 <u>2</u>	104 <u>2</u>	80 <u>2</u>	88 <u>2</u>	103 <u>2</u>	69 <u>2</u>	79 <u>2</u>	79 <u>2</u>
		90	100 <u>2</u>	100 <u>2</u>	--	--	--	73 <u>1</u>	72 <u>1</u>	88 <u>1</u>	56 <u>1</u>	66 <u>1</u>	72 <u>1</u>
120		100 <u>1</u>	102 <u>1</u>	119 <u>2</u>	84 <u>2</u>	97 <u>2</u>	61 <u>1</u>	76 <u>1</u>	76 <u>1</u>	57 <u>1</u>	58 <u>1</u>	54 <u>1</u>	

*Muestra patrón

Número de muestras: 12 para los cementos 01 y 02; 9 para los cementos 03, 04 y 06. 3 para los cementos 10 y 09, excepto donde se indica con cifras cursivas subrayadas un número de muestras diferentes. Las cifras cursivas precedidas de un signo menos indican que ese número de muestras no se pudo ensayar por presentar exceso de grumos duros.

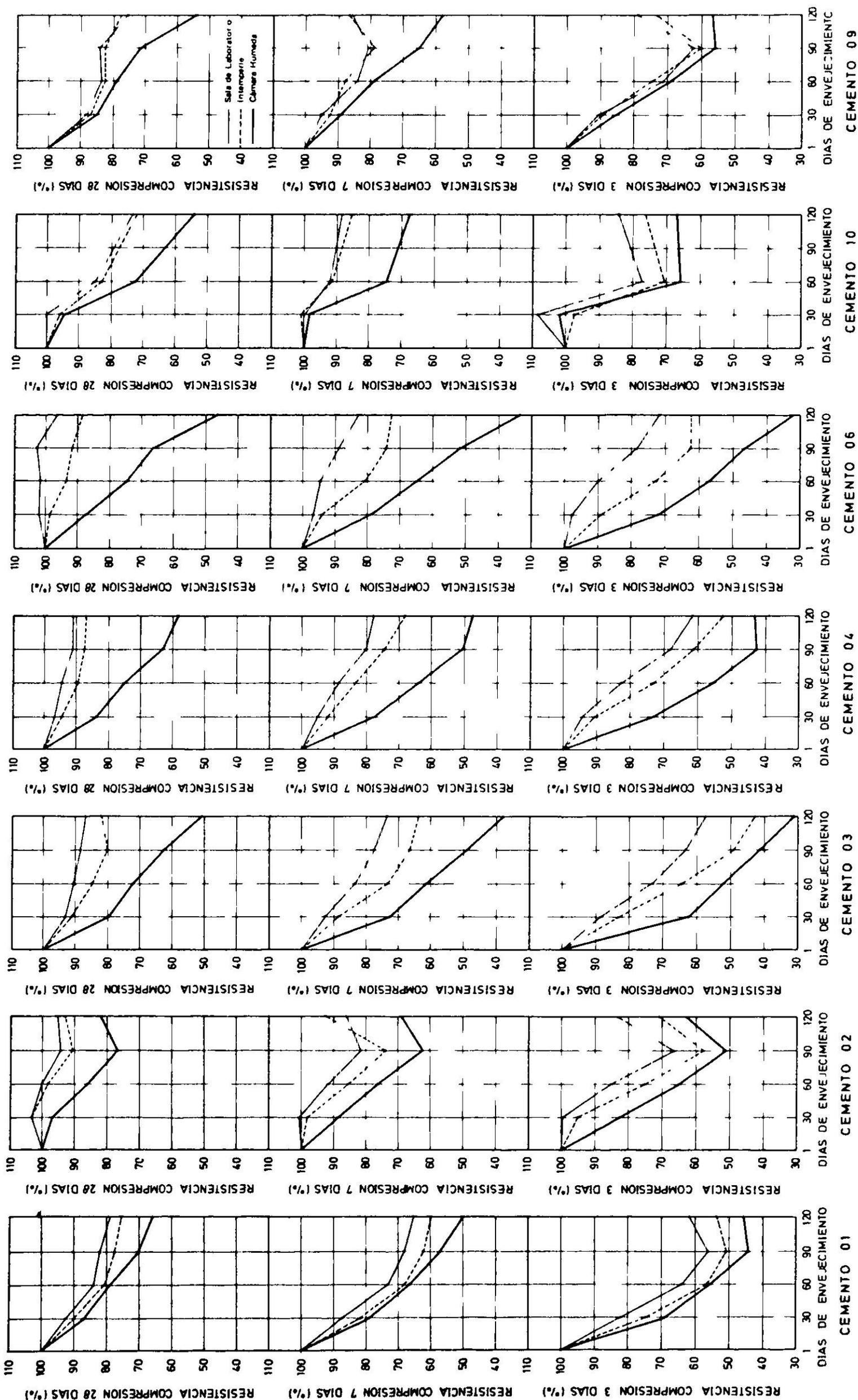


Fig. 1. Resistencia a la compresión a 3, 7 y 28 días, para cada uno de los cementos.

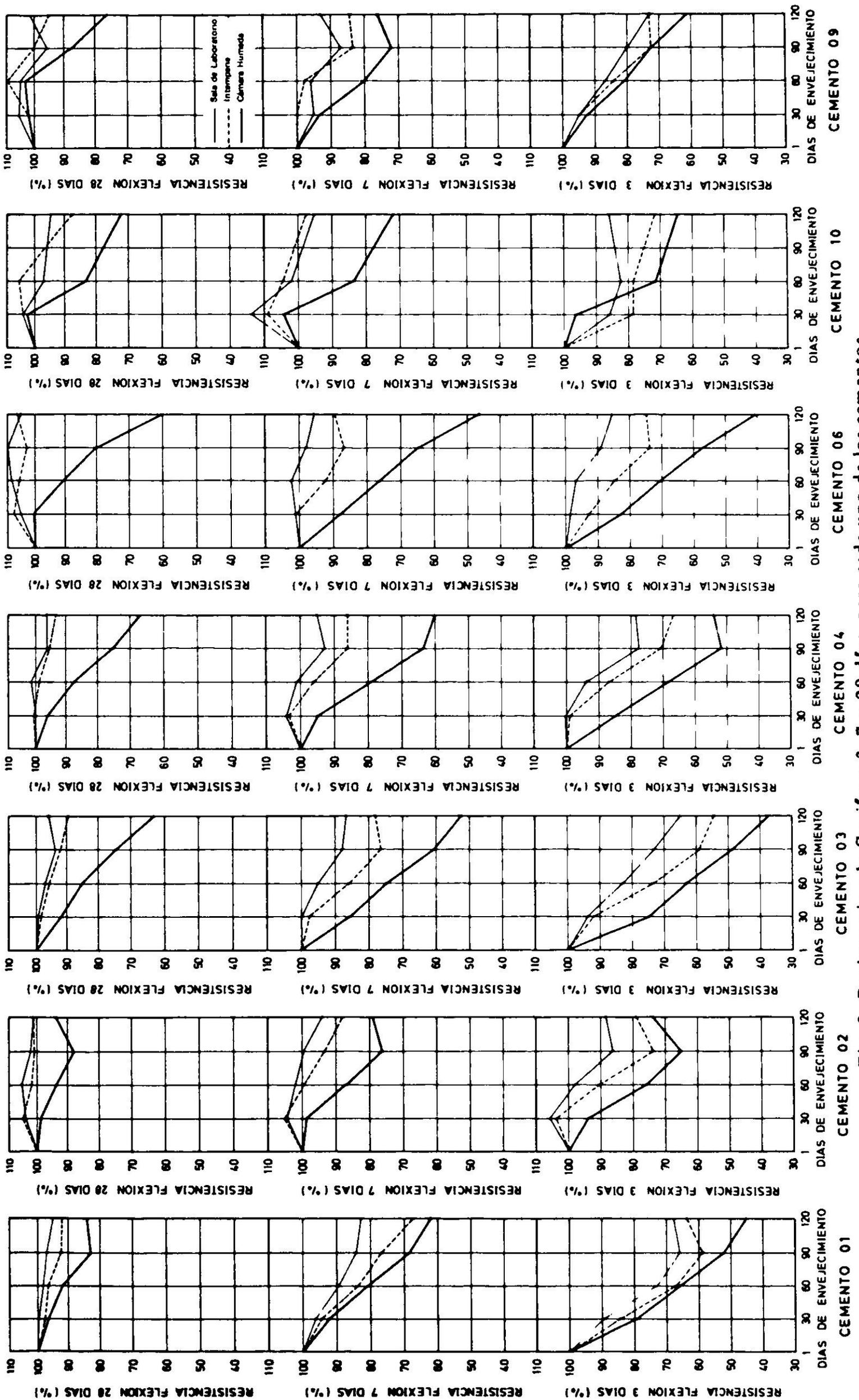


Fig. 2. Resistencia a la flexión a 3, 7 y 28 días, para cada uno de los cementos.

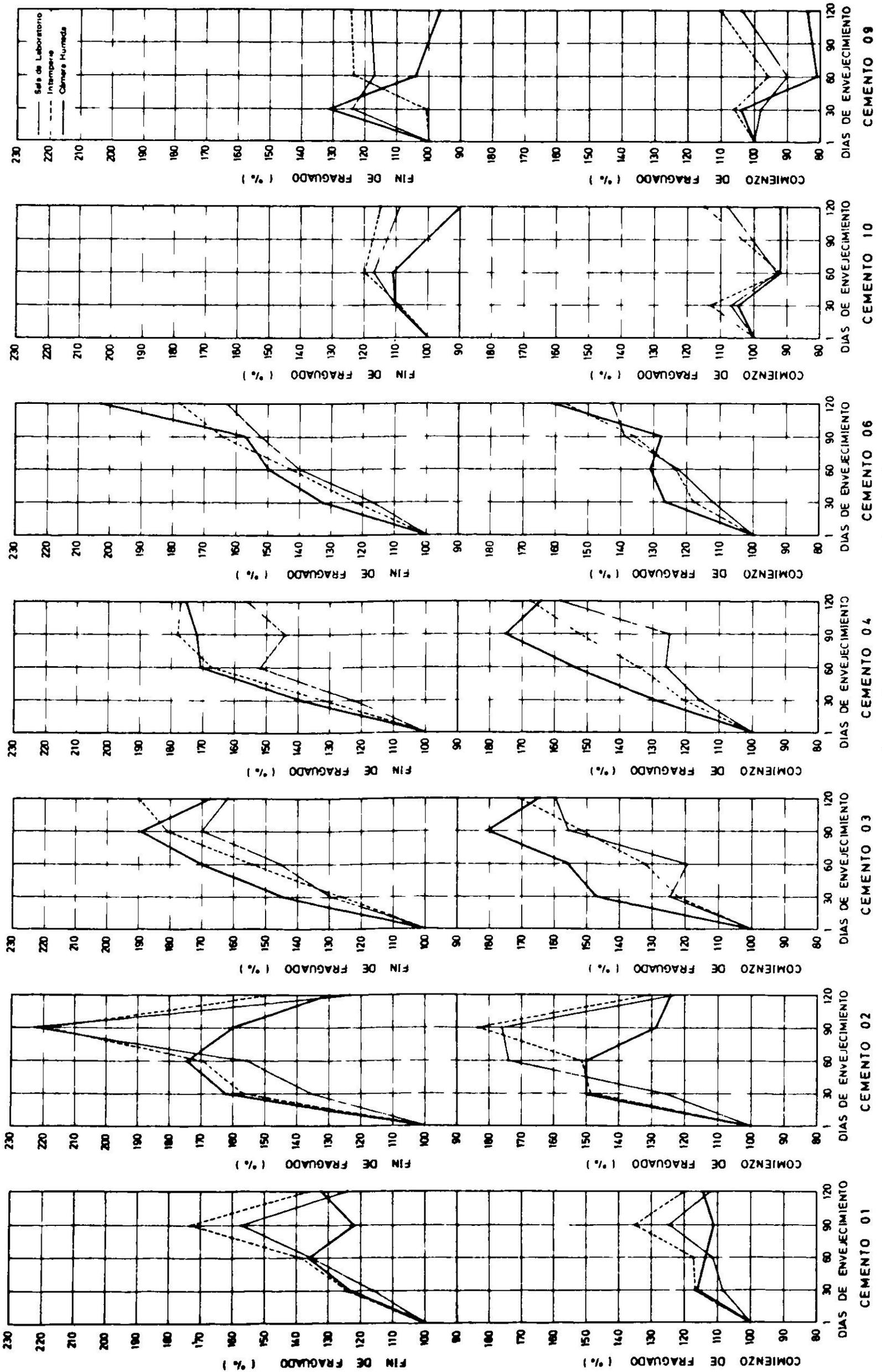


Fig. 3. Tiempos de comienzo y fin de fraguado para cada uno de los cementos.

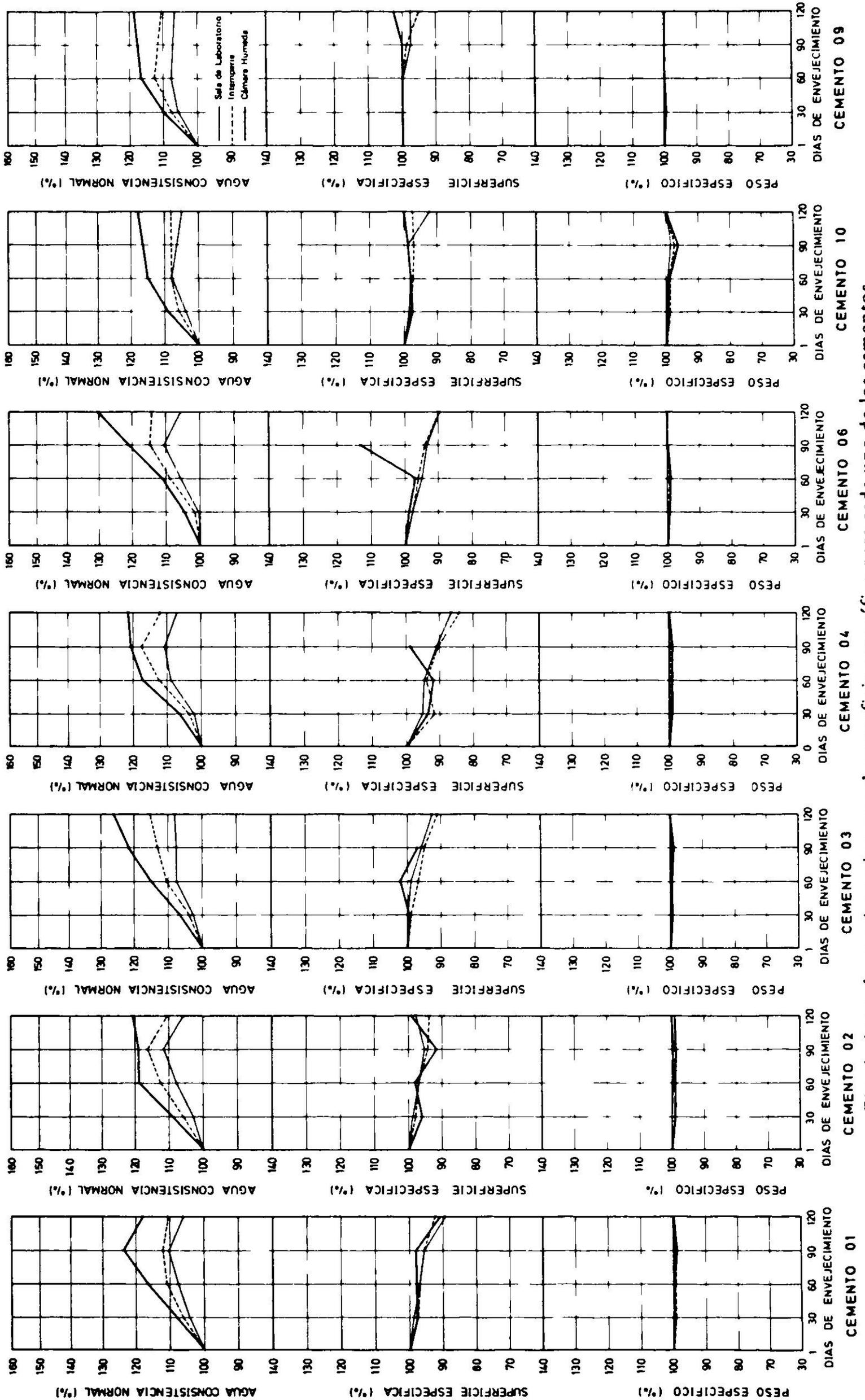


Fig. 4. Agua de consistencia normal, superficie específica para cada uno de los cementos

Interpretación

Para analizar estos resultados debe tenerse presente la existencia de factores normales de dispersión tales como: número de lotes representados por cada tipo de cemento, variación de calidad entre esos lotes y variación por errores de ensayo. Cada uno de estos factores aporta un coeficiente de variación relativamente bajo que pierde importancia a medida que aumenta el primero de los nombrados, es decir, la representación. Estadísticamente, un coeficiente de variación entre 5 y 10% es considerado excelente y es el que se obtiene frecuentemente en un laboratorio controlado como el que ejecutó los ensayos de este estudio. A pesar de que la representación de lotes por cada tipo de cemento no fue ideal, se encontraron en algunos casos coeficientes de variación mayores que los esperados, y atribuibles a la presencia de otros factores importantes de dispersión como: variación de calidad del papel de envase, variación de humedad dentro de los márgenes preestablecidos en los ambientes de almacenamiento, variación en el contenido de CO₂ de los mismos ambientes (no controlado) y variación en la acción de esos elementos sobre el cemento. Para una distribución normal, las desviaciones típicas teóricas, calculadas en base a la razón K de Tippett y Pearson⁸, fluctuaron entre 2.46 y 18.06 en los efectos sobre las propiedades de resistencias a flexión y a compresión. Correlacionadas con las medias correspondientes significan coeficientes de variación entre 4.0% y 19.9%.

Los últimos factores de dispersión mencionados son fenómenos difícilmente susceptibles de ser interpretados estadísticamente. Por ello se prefirió, para esta ocasión, una interpretación de resultados simplemente en base a los valores promedios de los diferentes parámetros estudiados. En esa forma y primeramente dentro de un marco de apreciación general, se puede advertir en los gráficos que los efectos alcanzados por los cementos nacionales envejecidos, corresponden a los mencionados en nuestra introducción y que en ambientes de almacenamiento con alto contenido de humedad sufren las variaciones que se sintetizan en Tabla VII.

Se puede apreciar en los gráficos que los cementos 09 y 10 presentan una dispersión de mayor magnitud que los demás, producto sin duda, del menor número de lotes representados.

Siempre dentro de un marco general, es posible promediar los resultados en porcentajes obtenidos por cada cemento, en consideración a que cada uno de ellos está referido a sus muestras patrones correspondientes. De esta manera, se reducen algunas causas de dispersión, pero también se eliminan posibles diferencias de sensibilidad al envejecimiento de los distintos cementos. La Tabla VIII muestra esos valores promedios en cuyo cálculo se utilizó como factor de ponderación el número de lotes representados por cada tipo de cemento. Se excluyeron los resultados promedios de cementos conservados a la intemperie porque sus valores no reflejaron la variabilidad de las condiciones climáticas de exposición, sino que sólo significaron los de un ambiente de almacenamiento uniformemente

TABLA VII

SINTESIS DE EFECTOS EXPERIMENTADOS POR LOS DISTINTOS CEMENTOS NACIONALES ENVEJECIDOS EN AMBIENTE HUMEDO

Propiedad	Efecto	Variación, en % de muestra patrón según tiempo de almacenamiento			
		30 días	60 días	90 días	120 días
Peso específico	No se altera	—	—	—	—
Sup. específica	Disminuye	1 – 6	0 – 8	0 – 9	0 – 9
A. consistencia normal	Aumenta	5 – 10	10 – 20	15 – 24	18 – 30
T. fraguado inicial	Aumenta	5 – 50	0 – 55	0 – 80	0 – 65
T. fraguado final	Aumenta	10 – 60	5 – 75	0 – 90	0 – 105
R. flexión, 3 días	Disminuye	5 – 25	20 – 37	27 – 51	25 – 63
7 días	Disminuye	0 – 14	12 – 25	22 – 40	21 – 53
28 días	Disminuye	0 – 8	0 – 17	12 – 25	7 – 40
R. compresión, 3 días	Disminuye	0 – 38	31 – 48	25 – 59	15 – 70
7 días	Disminuye	1 – 28	21 – 39	28 – 51	31 – 67
28 días	Disminuye	4 – 21	15 – 28	23 – 38	18 – 54

TABLA VIII

EFECTOS DE ENVEJECIMIENTO PROMEDIO PARA TODOS LOS TIPOS DE CEMENTOS NACIONALES EN BASE A VALORES PONDERADOS SEGUN NUMERO DE MUESTRAS REPRESENTADAS

Condiciones de envejecimiento		Características físicas y mecánicas obtenidas en Laboratorio, %											
Ambiente	Tiempo días	Peso específico	Superficie específica Blaine	Agua consistencia normal	Tiempo de fraguado		Resistencia a flexión			Resistencia a compresion			
					Comienzo	Final	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	
	1*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala de laboratorio	30	100	98	103	116	124	97	101	102	93	95	97	
	60	100	97	108	128	144	88	98	102	78	86	93	
	90	100	95	110	137	161	78	92	100	66	79	91	
	120	100	92	107	131	139	78	92	100	70	79	87	
Cámara húmeda	30	99	97	107	132	139	84	93	97	73	81	88	
	60	100	98	116	137	157	70	81	90	58	68	78	
	90	99	91	121	157	165	56	68	81	46	55	69	
	120	100	97	122	134	149	52	63	74	46	50	60	

*Muestra patrón.

intermedio entre los de primera y tercera categoría preestablecidos. La Figura 5 representa los valores promedios dados en Tabla VIII.

Los efectos más significativos del envejecimiento se exponen a continuación.

Resistencias

Las curvas de resistencias revelan una disminución mayor en compresión que en flexión. Esta última incluso alcanza en ensayos de morteros de 28 días de edad un comportamiento normal en cementos almacenados hasta durante 120 días en ambiente protegido.

También es evidente en Figura 5 que las resistencias en las primeras edades

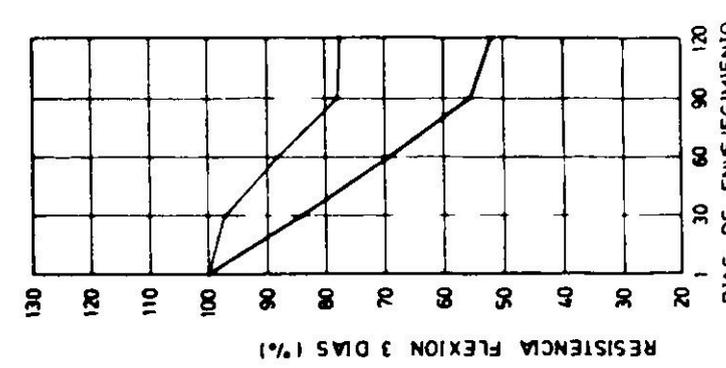
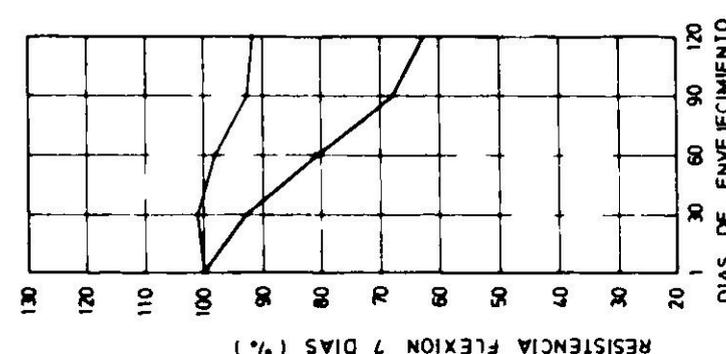
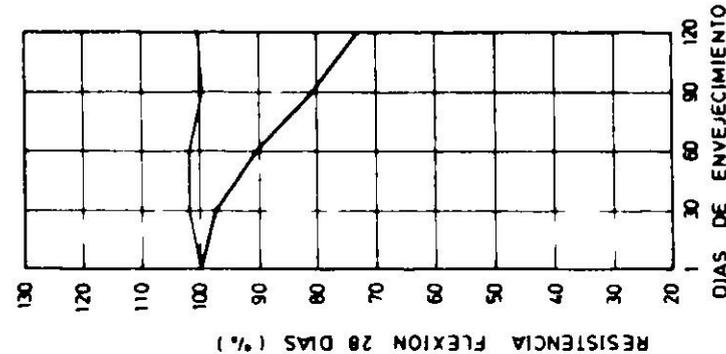
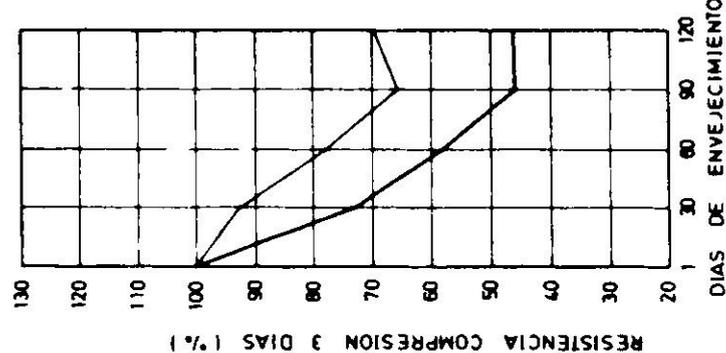
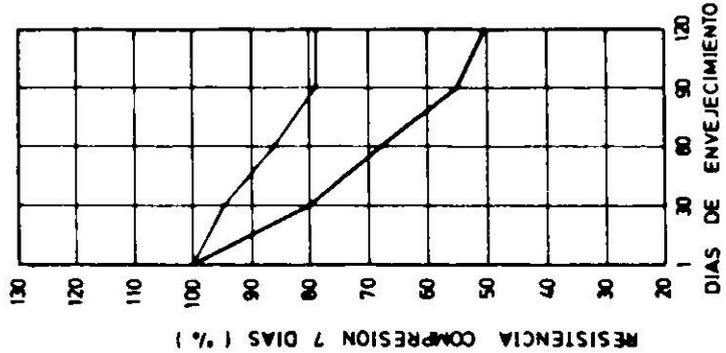
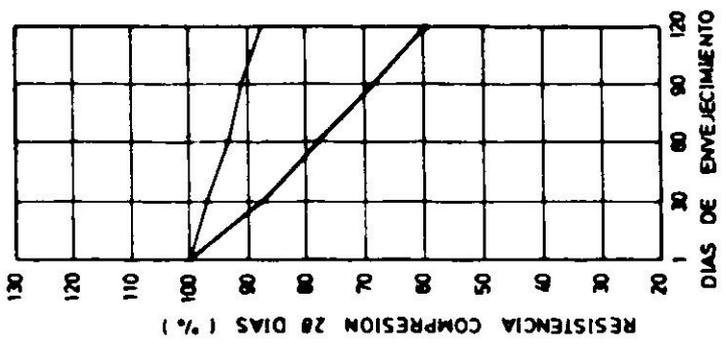
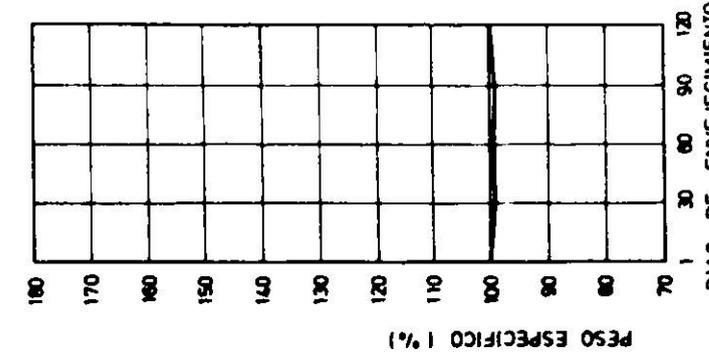
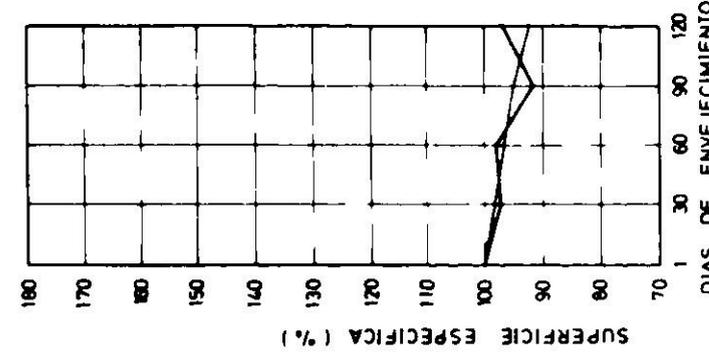
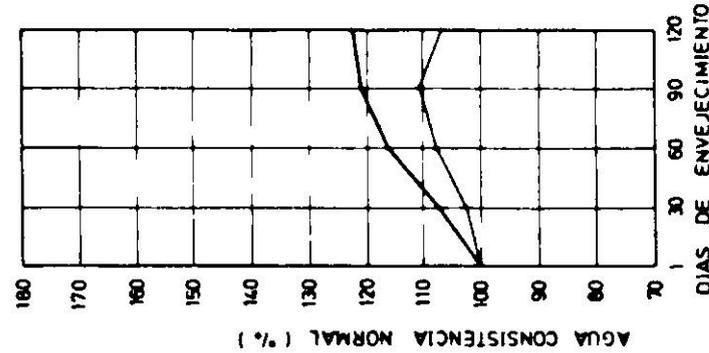
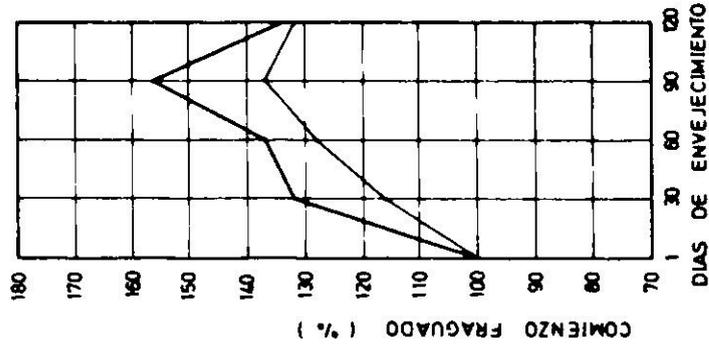
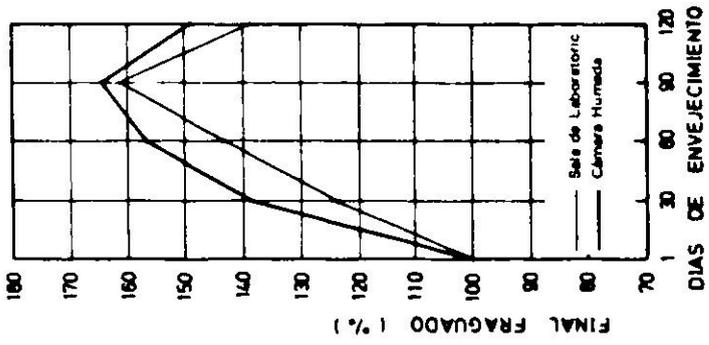


Fig. 5. Valores medios de resistencias y demás características para todos los cementos.

(3 días) disminuyen en mayor proporción que las resistencias posteriores (28 días). Las curvas muestran una velocidad uniforme de envejecimiento para ambos ambientes a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento. Es posible entonces estimar que la reducción de resistencias en función del tiempo de almacenamiento del cemento, tendrá la magnitud que se indica en Tabla IX.

TABLA IX
VELOCIDAD DE REDUCCION DE RESISTENCIAS
DE CEMENTOS ENVEJECIDOS
(VALIDEZ HASTA 120 DIAS DE ALMACENAMIENTO)

Ambiente	Edad de ensayo, días	Pérdida de resistencia por día de almacenamiento, %	
		Flexión	Compresión
Protegido 55-75% H.R.	3	0.21	0.33
	7	0.08	0.21
	28	0.00	0.10
Húmedo 95-100% H.R.	3	0.42	0.50
	7	0.33	0.42
	28	0.21	0.33

Velocidad de envejecimiento

La velocidad de envejecimiento parece notable aun en cementos mantenidos en ambiente protegido, que se supone semejante al que debe existir en una buena bodega de terreno. Pero ello sin embargo, no es de extrañar. Por la información de Matouschek, que aparece en Tabla II, la captación de anhídrido carbónico del aire por el cemento envasado, es relativamente más importante que la del agua, y en efecto, para producir carbonatación sobre partículas de cal el CO_2 requiere sólo de ínfimas cantidades de agua que cumplen sólo el papel de catalizadores. En condiciones de temperatura y presión normales en una ciudad, el contenido de anhídrido carbónico del aire es de sólo 0.5 g por m^3 y según Tabla I el ambiente de sala de laboratorio corresponde una cantidad de 10 a 12 g de agua por m^3 , suficientes para disolver CO_2 . El pequeño "diámetro molecular" de estos elementos, estimados en 5.8 Å para el CO_2 y 6.2 Å para el H_2O , les permite avanzar libremente entre las partículas sueltas del cemento una vez traspasadas las hojas del papel de envase y en forma de ácido carbónico (de débil acción pero suficiente) carbonatar levemente los granos de cemento, vinculándolos entre sí y dando origen a la formación de grumos.

En cámara húmeda el proceso sería hipotéticamente similar, sólo que la mayor cantidad de agua (16 a 17 g por m^3) produciría un ácido carbónico ligeramente más diluído y de fácil difusión con posibilidades de atacar un número mayor de granos de cemento.

Tiempos de fraguado

Los tiempos de fraguado constituyen un factor de importancia para la industria de prefabricados de hormigón y para otras actividades especiales de hormigonado. Se aprecia en Figura 5 que el cemento envejecido experimenta una importante prolongación de sus tiempos de fraguado. Para ambos ambientes de conservación el promedio resultante de todos los ensayos señala una mayor alteración en el fin de fraguado, con un tiempo superior al normal en más de un 60%.

Recuperación de propiedades

Gran parte de los resultados mostraron recuperación de propiedades en cementos almacenados durante 120 días. El efecto se atribuye al menor número de muestras (una o dos) representadas por ese tiempo de envejecimiento mientras ensayos posteriores permitan obtener una explicación definitiva.

En un análisis comparativo de los distintos cementos estudiados, tenemos que observar las Figuras 1, 2, 3 y 4. Anteriormente se hizo mención a que los cementos son productos compuestos que comprenden cantidades variables en silicatos, aluminatos, sulfatos, etc., más una serie de constituyentes secundarios, y por lo tanto pueden presentar diferentes sensibilidades al envejecimiento. En Tabla IV se evidencia que estos cementos no son estrictamente comparables entre sí, pero algunos factores permiten extraer consideraciones interesantes.

Se podría prever que la sensibilidad al envejecimiento estaría en proporción directa con la finura del aglomerante, pero ello sucederá sólo con cementos similares en composición. En nuestro caso, los cementos de mayor superficie específica no fueron los más alterados (cemento 02) ni tampoco los de menor superficie específica lo fueron menos (cemento 06).

De manera semejante, se podría relacionar los mayores efectos por envejecimiento a las primeras edades con los contenidos en compuestos de AC_3 y SC_3 , que son los principales causantes de las primeras reacciones de hidratación de un cemento. Los cementos 01 y 02 presentan bajo contenido de AC_3 y el cemento 06, por no tener agregado, tiene un alto contenido de SC_3 . Sin embargo, los resultados no los señalan como menos y más afectados, respectivamente.

Tampoco se encontró relación directa entre sensibilidad al envejecimiento y la cantidad de componentes dados por los análisis químicos de los cementos.

Aparentemente, el mejor factor de relación es el número de partículas de compuestos mineralógicos que contienen cal, lo que no es lo mismo que la cantidad de CaO que da el análisis químico. Esto significa considerar la finura y el tipo de agregado que presenta el cemento. Los cementos 03,04 y 06 contienen el mismo tipo de clínquer, pero en porcentajes diferentes según la adición de agregado (30, 20 y 0% máximo, respectivamente) y presentan también distinta finura. El agregado es un producto calcáreo-arcilloso, vale decir que también proporciona partículas con cal. Los tres muestran una sensibilidad al envejecimiento más o menos parecida, sobresaliendo los de mayor finura (o mayor número de partículas). Los cementos 01 y 02 contienen un agregado puzolánico, esencial-

mente sílico, en distinto porcentaje y muestran una sensibilidad ligeramente inferior. Los cementos 09 y 10 contienen un agregado de escoria de alto horno en proporción más importante. La compleja composición vítrea de la escoria es semejante a la de un cemento, excepto en su contenido de CaO que es inferior y necesita además para hidratarse la acción del hidróxido cálcico liberado por el clínquer de cemento portland. Muchos de sus compuestos, entonces, no presentarían en sus partículas una superficie de fácil carbonatación.

CONSIDERACIONES FINALES

Es importante que cuando sea necesario almacenar grandes cantidades de cemento se tomen precauciones de protección adecuadas. Se ha comprobado⁴ que cuando el cemento se almacena en tambores cerrados herméticamente, su resistencia permanece constante al cabo de 3 años y que posteriormente aumenta en forma leve. También se mencionan⁶ cementos almacenados en sacos de papel bituminado de 3 hojas que no modificaron sus propiedades en 5 años. Incluso algunos autores⁵ recomiendan que el cemento repose cierto tiempo antes de su expedición de fábrica.

Sin embargo, estas aseveraciones no tienen unanimidad hasta el momento. Fritzpatrick y Serkin⁷ encontraron que cementos almacenados herméticamente en envolturas plásticas durante 6 meses, mostraron disminución de resistencia a tracción de 5.5% a los 7 días y de 12.5% a los 28 días.

Mientras no haya mayor información en este aspecto, es preferible limitar los almacenamientos prolongados y no considerar exageradas las medidas que más adelante se recomienda tomar, especialmente cuando las condiciones climáticas (lluvias, humedad, heladas, etc.) son desfavorables.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El envejecimiento del cemento, a causa de un almacenamiento prolongado, disminuye las resistencias y aumenta tanto los tiempos de fraguado como el agua necesaria para una consistencia determinada. Se manifiesta de manera importante, incluso en ambientes protegidos de la intemperie.
2. Los efectos sobre las resistencias son relativamente mayores a las primeras edades de ensayo. En la práctica significa una disminución en la velocidad de hidratación y en la resistencia potencial del cemento. Las pérdidas máximas de resistencias resultaron de 70% para compresión y 60% para flexión para cementos almacenados durante 120 días en cámara húmeda y ensayados en morteros a 3 días de edad. Las velocidades promedios de pérdida de resistencia obtenidas en los ensayos se dan en Tabla IX del texto. La resistencia a

- compresión fue más afectada que la resistencia a flexión, acusando una mayor velocidad de reducción de aproximadamente 0.10% por día, para todas las edades de ensayo.
3. El fin de fraguado sufrió una mayor prolongación que el comienzo de fraguado. Los máximos aumentos de tiempo alcanzados en los ensayos fueron de 80% para el comienzo y de 123% para el fin de fraguado.
 4. Los cementos más ricos en AC_3 o en SC_3 no resultaron ser los más afectados por el envejecimiento. Tampoco lo fueron los cementos más finos con prescindencia de sus composiciones. Aparentemente, el envejecimiento afecta más a los cementos que presentan una mayor cantidad de partículas compuestas de cal, en cualquiera de sus fases.
 5. El envase en bolsas de papel constituye un sistema de protección del cemento apto para su transporte, manipulación y almacenamiento en bodegas protegidas, sólo por cortos períodos de tiempo.

RECOMENDACIONES PARA ALMACENAMIENTO DE CEMENTOS

Se ha demostrado en este trabajo la gran sensibilidad al envejecimiento del cemento envasado en bolsas de papel. Desde su expedición de fábricas, donde se ha mantenido en silos estancos, hasta su utilización en obra, se requiere, en consecuencia, tomar rigurosas precauciones para aprovechar al máximo sus propiedades potenciales. Para ello, se indican a continuación algunas medidas precautorias tendientes a evitar la rotura de los envases y a cuidar que las condiciones de almacenamiento en bodegas sean óptimas.

Durante el transporte de los sacos de cemento, sea en barcos, en ferrocarriles o en camiones es necesario impedir el daño del envase de papel por elementos salientes como clavos, tuercas, tornillos, esquinas de planchas de piso, etc., que puede presentar la superficie sobre la cual ellos se depositan. Por la misma razón es aconsejable que, para el traslado del cemento, las bolsas se tomen y no se arrastren y que se depositen, sin dejarlas caer, sobre el piso o la bolsa precedente.

Cuando un saco ha sido dañado, el cemento debe traspasarse tan pronto como sea posible a dos bolsas vacías, también de cemento, para evitar contaminaciones con otros tipos de productos.

El almacenamiento de cemento se debe efectuar en bodegas sólidas y cerradas, preferiblemente de tabiques dobles de madera para impedir la condensación. La techumbre necesita una pendiente adecuada para la zona, con aleros sobresalientes por lo menos 40 cm de los paramentos exteriores de muros. Para piso de descanso del cemento se recomienda como primera solución una tarima de madera de 15 a 30 cm de altura con un relleno de áridos secos u otro material absorbente, o si no, un radier de hormigón impermeabilizado con asfalto, brea o alquitrán. El ambiente debe ser seco, en lo posible con una humedad relativa de 50% o menos. No es aconsejable el empleo de sistemas de calefacción que

produzcan humedad o anhídrido carbónico (braseros o estufas a gas licuado).

El apilamiento de sacos debe ser ordenado, de manera de posibilitar el empleo en la misma secuencia que el almacenamiento, con una altura máxima de 12 sacos, con una circulación mínima de aire y sin tener contacto con muros exteriores. Para evitar la exposición a grandes volúmenes de aire, es útil cubrir las pilas con pliegos de polietileno, papel o esteras.

Cuando se trate de construcciones de gran envergadura que necesiten almacenar cemento por tiempo prolongado (más de 2 meses), es conveniente el empleo de silos o de grandes recipientes herméticos, cuidando que las superficies en contacto con aire sean mínimas. En ocasiones muy especiales, como pueden ser obras en lugares apartados de nuestro territorio, podría ser provechoso almacenar clínquer en barriles y molerlo en obra junto a las adiciones necesarias.

En todo caso, siempre es posible el empleo del cemento envejecido, si se tiene la precaución de emplear mezclas de mortero u hormigón más ricas en cemento que las especificadas con cemento fresco, en función del grado de envejecimiento. Si el cemento contiene grumos fácilmente desmenuzables es preferible pasarlo por un proceso de molienda manual o mecánico antes de usarlo. Si en cambio, los grumos son duros y no se pueden desmenuzar con los dedos, el cemento no debe aplicarse en obras importantes sino solamente en obras menores después de tamizarlo por mallas de 1 a 2 mm de abertura. Ante cualquiera de estas eventualidades, es necesario que el cemento almacenado por períodos mayores de 60 días sea controlado en laboratorio antes de su empleo en obras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se efectuó con la colaboración y perseverancia del personal de laboratorio de la Sección Aglomerantes del IDIEM, que debió multiplicar sus esfuerzos para cumplir con el programa trazado. Merecen también reconocimiento las fábricas de cemento y todas aquellas personas que de una u otra forma prestaron su cooperación.

REFERENCIAS

1. KLEINLOGEL, A. *L'influence des divers éléments physicochimiques sur les betons*. Ed. Dunod, París, 1960.
2. PORRERO, J. y NARVAEZ, A. Envejecimiento de los cementos en los envases de papel. *Boletín Técnico IMME*, Universidad Central de Venezuela, n° 25, (enero-marzo 1969).
3. MATOUSCHEK, F. Lagerung von Zement unter verschiedenen Bedingungen. *Zement-Kalks-Gips*, vol. 16, n° 11, (noviembre 1963), pp. 483-485.
4. FULTON, F.S. *Concrete Technology*. The Portland Cement Institute, Kew Road, Richmond, Johannesburg, 1961.

5. LABAHN, O. y KAMINSKY, W.A. *Prontuario del cemento*. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona 12, España, 1970.
6. VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE. *Zement Taschenbuch 1970/71*. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlín.
7. FRITZPATRICK, F.L. y SERKIN, W. Storage of portland cement in 5-ply paper bags. *Journal of American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 21, n° 4 (diciembre 1949), pp. 298.
8. VENUAT, M. Elementos de Estadística. Ejemplos de utilización para el cemento. (Traducción de M. Piñeiro), IDIEM, *Informe Técnico N° 6*, (1963), Stgo-Chile.

INFLUENCE OF AGE AND CONDITIONS OF STORAGE ON CHILEAN CEMENTS

SUMMARY:

An experimental program was conducted to study the effects of time of storage in chilean cements kept in their paper bags in three different environments for periods of 30, 60, 90 and 120 days.

The main effects were slower hydration rates and decrease of strength. The results are analysed in order to propose an explanation of the observed phenomena. Some recommendations are given for the storage of cement in paper bags.