

## ENSAYOS DE CEMENTO POR EL METODO RILEM

Ernesto Gómez G.\*  
Conrado Moyano F.\*\*

### RESUMEN

*Se dan los resultados de dos series de experiencias hechas en IDIEM; una para estudiar el efecto de algunas arenas en el procedimiento RILEM y la otra para determinar las resistencias de cementos comparativamente entre mortero Rilem, mortero INDITECNOR, y dos tipos de hormigones.*

*Se presentan las correlaciones encontradas entre las resistencias RILEM y las de los hormigones. Basándose en ellas y en diversas consideraciones se deducen resistencias mínimas en mortero RILEM para las tres categorías de cementos que se propondrán en las normas chilenas definitivas de cementos.*

### INTRODUCCION

El Comité de Cementos del Instituto de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (INDITECNOR) discutió durante una parte de los años 1961 y 1962 las nuevas normas chilenas de cemento, las cuales fueron aprobadas con carácter provisional y posteriormente promulgadas como normas oficiales de emergencia por el Supremo Gobierno<sup>1, 2, 3,</sup>

En las reuniones celebradas con este objeto se acordó que en las normas definitivas se adoptaría el método de ensayo RILEM - CEMBUREAU<sup>4</sup> para determinar las resistencias a la compresión y flexión de los cementos, en reem-

\*Ingeniero Civil, Jefe Depto. Ensayos del IDIEM. Profesor de Materiales de Construcción de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile.

\*\*Ingeniero Civil, Compañía Chilena de Electricidad.

plazo de los métodos prescritos por normas INDITECNOR N° 2 30-34<sup>5</sup> y 2.30-35<sup>6</sup> que están basados en la norma DIN 1164 de 1932<sup>7</sup>.

Se reconoció en forma casi general, que el nuevo método constituye una mejor expresión de la calidad del cemento que el actual pero, no se adoptó inmediatamente porque se consideró necesario reunir informaciones que sirvieran para fijar cifras de resistencias aplicables al nuevo método y para elegir la arena que se utilizaría. Se han publicado algunos resultados de experiencias realizadas con propósitos parecidos en otros países. R. Dutron<sup>8</sup> ha presentado valores de resistencias obtenidas con mortero RILEM y hormigón, ambos preparados con el mismo cemento, en 10 laboratorios diferentes del Cembureau y afirma que se encontró una relación mutua significativa. F. Keil y M. Mathieu presentan resultados comparativos entre el procedimiento RILEM y el procedimiento DIN, que muestran buena correlación. El Research Institute of Building Materials<sup>10</sup> in Brno, Checoeslovaquia, ha dado a conocer los resultados obtenidos con tres tipos de cementos en ensayos RILEM y de hormigón.

La correlación entre los resultados RILEM y de hormigones parece quedar afectada por las características de los agregados y aun por condiciones propias de los laboratorios de ensayos.

Para dejar en claro la influencia de estos factores estudiar la correlación aplicable a nuestras condiciones y analizar el efecto de algunos tipos de arenas, se programó en IDIEM un conjunto de experiencias.

Las experiencias constaron de dos series: La primera tuvo por exclusivo objeto elegir, entre cuatro posibles tipos de agregados el más adecuado para ser utilizado con el método RILEM en Chile. en esta serie se usó para todos los ensayos una sola muestra de una determinada marca de cemento. La segunda serie consistió en ensayos comparativos entre mortero preparado según INDITECNOR 2 30-34 y 2 30-35, mortero según el método RILEM con el agregado anteriormente elegido, hormigón según el método de British Standard 12-1958<sup>11</sup>, y hormigón según un procedimiento usado corrientemente en IDIEM; en esta serie se usaron cuatro tipos de cemento y muestras diferentes para cada ensayo, que incluía los cuatro métodos.

## MATERIALES

En la primera serie se usó un cemento comercial que contenía 18% de pu



Fig. 1 Arena Cardonal fracción gruesa  
(ASTM nº 10 a nº 12)

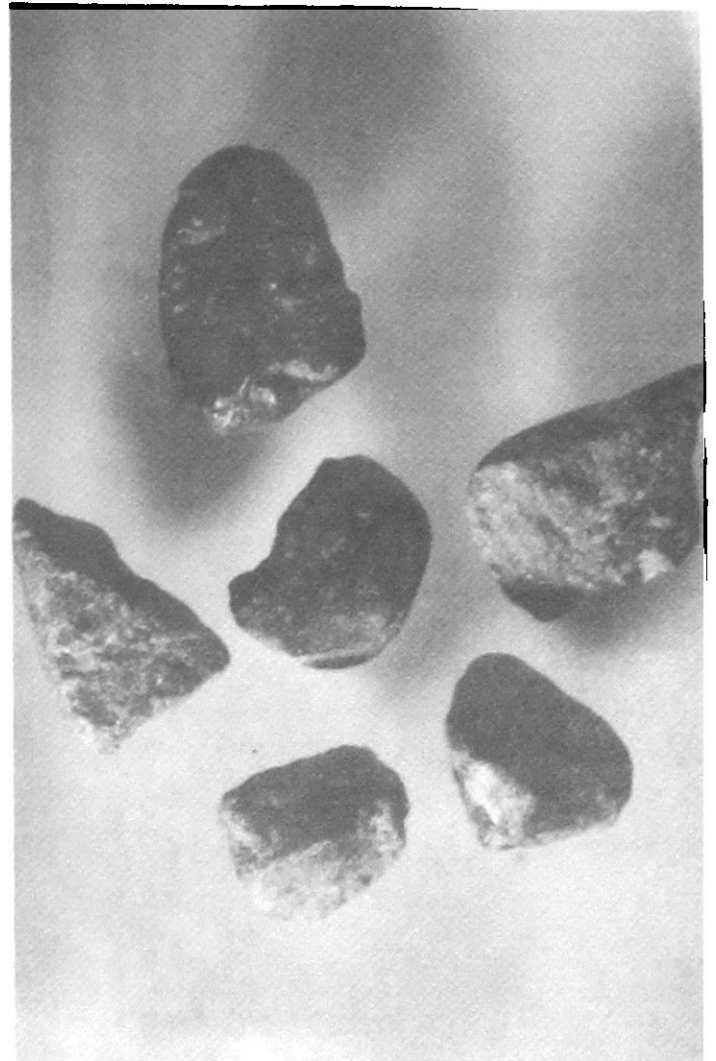


Fig. 2 Arena de Maipo fracción gruesa  
(ASTM nº 10 a nº 12)



Fig. 3 Arena de Cardonal fracción gruesa  
(ASTM nº 12 a nº 18)



Fig. 4. Arena de Maipo fracción gruesa  
(ASTM nº 12 a nº 18)

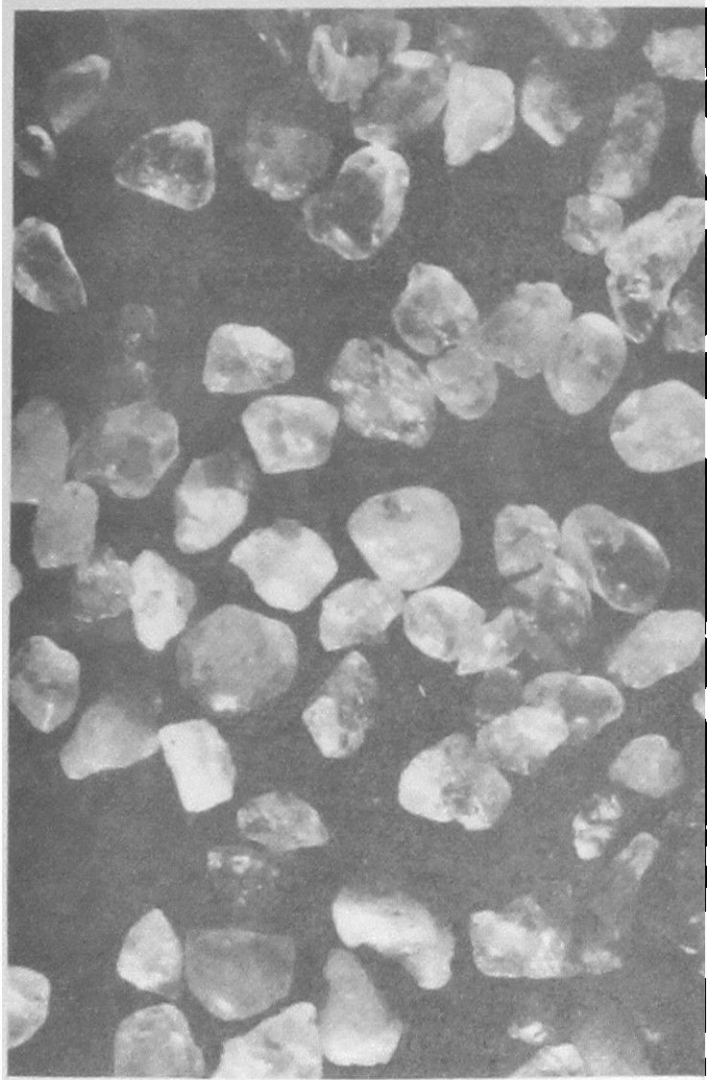


Fig. 5 Arena de Cardonal fracción media  
(ASTM nº 18 a nº 35)

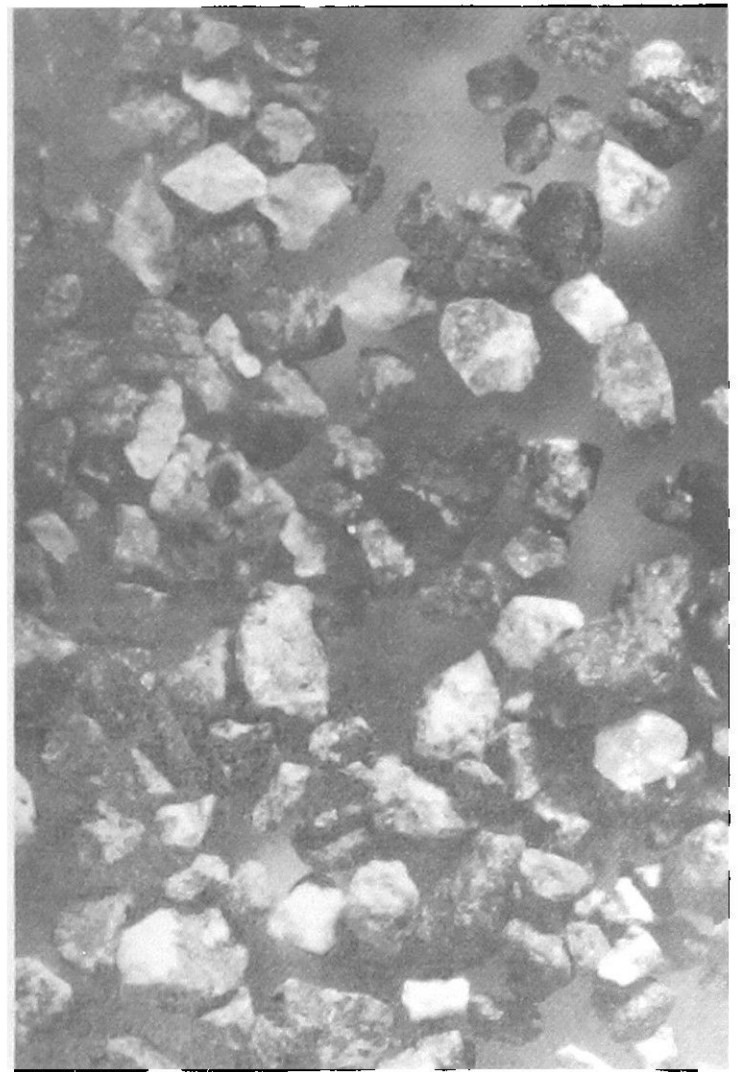


Fig. 6 Arena de Maipo; fracción media  
(ASTM nº 18 a nº 35)

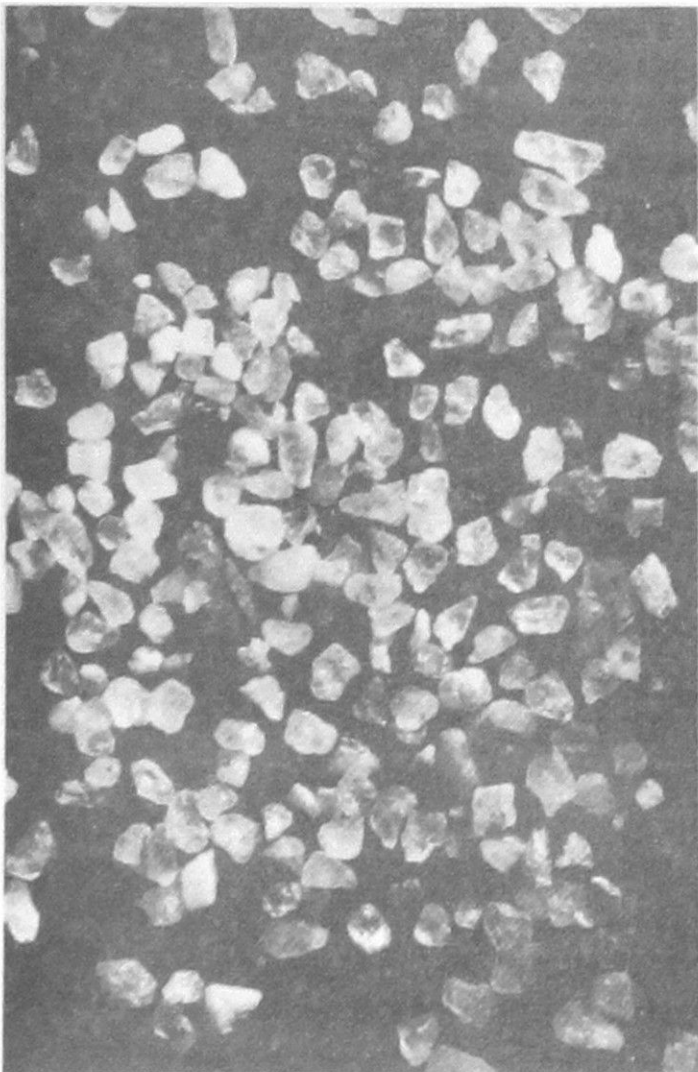


Fig. 7 Arena de Cardonal fracción fina  
(ASTM nº 35 a nº 100)



Fig. 8 Arena de Maipo, fracción fina  
(ASTM nº 35 a nº 100)

zolana, y cuatro tipos de arena: A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, cada uno de ellos con tres granulometrías: G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, según se indica a continuación:

A<sub>1</sub>, arena proveniente del río Maipo.

A<sub>2</sub>, mezcla de arena del río Maipo, retenida en el tamiz de 0,149 mm de abertura (ASTM # 100), con cuarzo molido cuyo 70% pasaba por ese tamiz.

A<sub>3</sub>, arena de Cardonal.

A<sub>4</sub>, mezcla de arena de Cardonal, retenida en el tamiz de 0,149 mm de abertura, con cuarzo molido cuyo 70% pasaba por ese tamiz.

G<sub>1</sub>, según la curva inferior del huso RILEM

G<sub>2</sub>, según la curva media del huso RILEM

G<sub>3</sub>, según la curva superior del huso RILEM

Algunas características del cemento y de las arenas aparecen en las Tablas I a III y la forma y el aspecto superficial de los granos de las arenas pueden apreciarse en las Figs. 1 a 8.

TABLA I

CARACTERISTICAS MINERALOGICAS Y PETROGRAFICAS DE LAS ARENAS DE MAIPO, A<sub>1</sub> Y CARDONAL, A<sub>3</sub>.

Componente	Río Maipo, A <sub>1</sub>			Cardonal, A <sub>3</sub>		
	Fracción gruesa	Fracción media	Fracción fina	Fracción gruesa	Fracción media	Fracción fina
Cuarzo %	7,0	21,7	64,0	94,7	94,5	86,8
Feldespatos %	2,0	12,1	8,6	5,6	4,6	3,4
Fragm. de roca %	87,3	55,0	6,9	--	--	--
Magnetita %	--	0,5	4,6	--	--	2,4
Micas %	1,7	--	1,0	--	0,9	7,4
Ferromagnes. %	2,0	10,7	14,8	--	--	--
Vidrio %	--	--	0,1	--	--	--
Reac. química	l <sup>x</sup>	l <sup>x</sup>	l <sup>x</sup>	l <sup>x</sup>	l <sup>x</sup>	l <sup>x</sup>
Comportam. físico	B <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>	B <sup>xx</sup>
Redondeamiento	0,9	0,8	0,6	0,9	0,9	0,9

l<sup>x</sup> : químicamente inocuos

xxB : físicamente buenos.

TABLA II  
GRANULOMETRIAS DE LAS ARENAS USADAS EN LA PRIMERA SERIE  
DE EXPERIENCIAS

Tamiz		G <sub>1</sub>		G <sub>2</sub>		G <sub>3</sub>	
ASTM Nº	abertura mm	Retenido parcial %	% total que pasa	Retenido parcial %	% total que pasa	Retenido parcial %	% total que pasa
10	2,000	0	100	0	100	0	100
12	1,700	10	90	5	95	0	100
18	1,000	28	62	28	67	28	72
35	0,500	34	28	34	33	34	38
100	0,149	21	7	21	12	21	17
200	0,074	7	0	10	2	13	4
	0,074	0	0	2	0	4	0

TABLA III  
CARACTERISTICAS DEL CEMENTO USADO EN LA PRIMERA SERIE  
DE EXPERIENCIAS

Residuo 0,210 mm %	tamiz 0,088 mm %	Superficie específica Blaine g/cm <sup>3</sup>	Peso específico	Agua consistencia normal %	Tiempo de fraguado horas	
					Principio	Final
0,01	0,35	4.900	2,990	31	4 h 10 m	7 h 0 m

En la segunda serie de experiencias se usaron cemento portland puzolánico cemento siderúrgico cemento portland de alta resistencia y cemento con agregado Tipo A. Los agregados fueron: arena normal según INDITECNOR 2.30-34 ch para el mortero preparado conforme a esa norma y a la 2.30-35 ch; arena del río Maipo para mortero RILEM; ripio y arena de Lo Errázuriz para hormigón IDIEM y para hormigón B.S 12 - 1958. Las granulometrías de estos dos últimos agregados aparecen en la Tabla IV.

Se aseguró la constancia de las composiciones granulométricas a través de todas las experiencias, haciendo una separación previa de los agregados por diversos tamices y tomando de cada fracción la cantidad correspondiente para reproducir fielmente la granulometría.

TABLA IV  
GRANULOMETRIAS DE LOS AGREGADOS USADOS EN HORMIGON  
EN LA SEGUNDA SERIE DE EXPERIENCIAS

Tamiz	Hormigón IDIEM		Hormigón B.S. 12 - 1958	
	% retenido parcial	% que pasa	% retenido parcial	% que pasa
2''	0,0	100,0	--	--
1½''	14,0	86,0	--	--
1''	17,0	69,0	--	--
¾''	10,5	58,5	0	100,0
½''	11,0	47,5	18,3	81,7
⅓''	4,5	43,0	14,2	67,5
ASTM 4	8,0	35,0	17,5	50,0
" 8	6,0	29,0	10,0	40,0
" 16	5,0	24,0	7,5	32,5
" 30	8,0	16,0	11,2	21,3
" 50	11,0	5,0	16,3	5,0
" 100	5,0	0,0	5,0	0,0

### METODOS DE ENSAYO

El mortero RILEM se preparó ateniéndose estrictamente a los detalles del método según la descripción dada por CEMBUREAU<sup>4</sup>.

El mortero INDITECNOR, según las normas ya mencionadas<sup>5,6</sup>.

El hormigón IDIEM se preparó con 320 kg de cemento por m<sup>3</sup>; razón agua cemento de 0,50; razón agregado cemento de 6,2; revoltura en mezcladora de eje vertical durante 1 minuto; probetas cilíndricas de 15,2 cm (6'') de diámetro y 30,5 cm (12'') de altura; compactación de tres capas, con 25 golpes por capa, con una varilla de ⅝'' de diámetro y 24'' de longitud; desmolde a las 24 horas; curado bajo arena húmeda en una cámara con temperatura de 20° C ± 2° C y aproximadamente 90% de humedad relativa; preparación de las caras según ASTM C 192<sup>12</sup>.

El hormigón B.S. 12 - 1958 se preparó conforme a lo indicado en esa norma, con algunas modificaciones. Se usó una razón agregado cemento de 5,82. en cada operación se revolvió manualmente durante tres minutos un poco más del material necesario para llenar tres moldes; no se modificó la granulometría de los agregados usados con los diversos cementos, resultando descensos de

cono medios de  $2\frac{3}{4}$ " ,  $2\frac{1}{2}$ " , 2" y  $1\frac{1}{2}$ " para cemento puzolánico, siderúrgico, portland y con agregado Tipo A, respectivamente.

En la primera serie se preparaban en un mismo día 3 probetas por cada una de las doce combinaciones posibles entre granulometrías y tipos de arena, eligiendo al azar el orden y el molde que le correspondía a cada combinación. Se hicieron en total 36 grupos de 3 probetas por cada combinación, ensayándose 12 a 3 días, 12 a 7 y 12 a 28 días.

En la segunda serie se preparaban en un mismo día 9 probetas RILEM, 6 de hormigón IDIEM, 12 de mortero INDITECNOR y 9 de hormigón B.S. 12. En total se hicieron 16 de estos grupos diarios de probetas, que se ensayaron a 3, 7 y 28 días (igual número de probetas por fecha).

## RESULTADOS

Para la primera serie damos, Tabla V, los valores medios de las resistencias a la compresión obtenidas a 3, 7 y 28 días y los valores de los coeficientes de variación correspondientes, Tabla VI.

TABLA V

RESISTENCIAS MEDIAS A LA COMPRESION EN KG/CM<sup>2</sup> A 3, 7 Y 28 DIAS OBTENIDAS EN MORTERO RILEM CON DIVERSOS TIPOS DE ARENA A<sub>1</sub> A A<sub>4</sub> Y GRANULOMETRIAS G<sub>1</sub> A G<sub>3</sub>

			GRANULOMETRIAS		
			G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>
Tipos de arenas	A <sub>1</sub>	3 días	234,3	237,9	245,2
		7 días	355,2	357,0	360,8
		28 días	515,3	511,7	512,4
	A <sub>2</sub>	3 días	232,3	235,0	231,1
		7 días	340,1	346,1	349,0
		28 días	509,4	504,8	475,1
	A <sub>3</sub>	3 días	244,4	243,1	240,7
		7 días	344,5	344,1	322,2
		28 días	476,4	465,1	446,9
	A <sub>4</sub>	3 días	221,7	231,0	227,3
		7 días	323,4	332,0	338,3
		28 días	462,8	468,5	466,7



TABLA VI

COEFICIENTES DE VARIACION EN % DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION EN MORTERO RILEM A 3,7 Y 28 DIAS

			GRANULOMETRIAS		
			G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>
Tipos de arena	A <sub>1</sub>	3 días	3,4	5,4	6,3
		7 días	4,4	4,4	3,8
		28 días	2,3	3,9	3,3
	A <sub>2</sub>	3 días	4,9	4,8	3,2
		7 días	4,2	5,2	2,6
		28 días	3,2	3,4	5,7
	A <sub>3</sub>	3 días	5,5	6,1	4,4
		7 días	2,8	3,4	6,1
		28 días	2,7	4,7	3,9
	A <sub>4</sub>	3 días	5,6	4,4	3,8
		7 días	3,5	5,3	3,3
		28 días	3,5	4,1	3,7

Para la segunda serie damos en las Tablas VII a X los valores obtenidos en cada grupo de ensayos y en las Tablas XI y XII las resistencias medias y los coeficientes de variación medios, respectivamente.

### INTERPRETACION

Los ensayos de la primera serie de experiencias, Tabla V hicieron ver que el cambio de tipo de arena produce diferencias significativas en las resistencias obtenidas por el método RILEM. Este hecho es una confirmación de resultados obtenidos en experiencias de otros laboratorios<sup>9,10</sup>. Las variaciones en la granulometría analizadas en conjunto revelaron no dar diferencias significativas en los resultados; sin embargo hay que hacer notar que en algunos de los casos con predominio de finos (G<sub>3</sub>) se produjeron las mayores diferencias con respecto a los otros dos (G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>) y habría lugar a hacer más experiencias para dejar en claro si son significativas.

Los coeficientes de variación medios obtenidos con los diferentes tipos de arena, Tabla VI, son un poco superiores a 4% y muy semejantes para todos ellos; desde este punto de vista las arenas ensayadas son equivalentes y en consecuencia conviene decidirse por alguna de aquéllas no mezcladas (A<sub>1</sub> o

A<sub>1</sub>) se eligió la arena del Maipo (A<sub>1</sub>) por razones prácticas.

Las arenas utilizadas difieren bastante en lo que respecta a la forma y condición superficial de los granos, como se aprecia en las figuras 1 a 8, y son de composición mineralógica muy distinta. Tabla I. Son éstas las tres características que definen la intervención de la arena en la resistencia del mortero: la forma del grano a través de su influencia en el grado de compactación y la condición superficial y la composición mineralógica por su relación con la adherencia. El hecho que las diferencias obtenidas hayan sido del orden de 10% es una indicación de que el procedimiento RILEM no es muy sensible a las diferencias de tipos de arena.

Después del término de las experiencias, se recibió arena belga procedente de Laboratoire de'Essai et Contrôle des Groupements de Producteurs de Ciment de Belgique; con ella se han hecho algunos ensayos RILEM en grupos comparativos con arena del Maipo, y los resultados que se tienen ya, muestran que con esta última se obtienen valores aproximadamente 10% superiores. Este dato y los que se reúnan posteriormente, servirán para situar la arena del Maipo con respecto a la belga, que se ha utilizado frecuentemente en Europa como referencia para los ensayos RILEM.

Los resultados de la segunda serie, Tablas VII a X, se sometieron a un análisis estadístico para probar la validez de los valores extremos de cada grupo caracterizado por un cemento y una fecha de ensayo. A raíz de él se dejaron fuera de consideración, en los estudios posteriores, aquellas cifras que aparecen marcadas con asteriscos en esas tablas y las correspondientes del ensayo comparativo que se consideraba.

En una primera tentativa se hizo un examen gráfico de la relación entre los resultados de cada uno de los métodos con respecto al mortero RILEM. Se comprobó que hay una relación muy débil y con mucha dispersión de los puntos entre mortero INDITECNOR y RILEM y en cambio aparecen bien definidas las correlaciones entre mortero RILEM y cada uno de los hormigones, Figs. 9 y 10.

Para encontrar la expresión representativa de esa relación en el caso RILEM-IDIEM, se analizaron aisladamente cada uno de los grupos de valores correspondientes a un mismo cemento y fecha de ensayo, pero los resultados no

TABLA VII

RESISTENCIAS A LA COMPRESION EN KG CM<sup>2</sup> OBTENIDAS EN ENSAYOS DE MORTEROS RILEM E INDITECNOR Y HORMIGONES IDIEM Y B.S. 12 - 1958 - CEMENTO PUZOLANICO

RILEM			INDITECNOR			IDIEM			B.S. 12 - 1958		
3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
217	333	482	478	632	744	-	-	-	-	-	-
216	318	403	456	668	800	176	237	248 <sup>*</sup>	-	-	-
223	340	468	496	672	816	168	214	294	171	238	363
244	345	502	522	726	828	194	260	307	156	232	327
228	322	473	484	677	827	177	262	320	141	223	333
236	323	464	498	659	824	169	250	300	149	219	313
243	375	523	458	689	866	174	254	294	174	211	391
223	340	502	452	592	769	164	221	328	139	218	332
228	347	495	500	624	825	158	226	306	147	231	365
205	289	441	468	654	846	142	217	306	137	221	321
232	364	457	508	725	804	170	238	306	157	231	348
186 <sup>*</sup>	280 <sup>*</sup>	436 <sup>*</sup>	375 <sup>*</sup>	590	661 <sup>*</sup>	136	212	313	128	201	323
225	331	492	522	666	835	155	218	314	144	228	358
217	344	513	514	712	800	175	208	306	146	251	352
239	368	508	544	723	832	172	262	316	178	262 <sup>*</sup>	392
204	331	521	520	649	843	143	217	289	168	250	369
201	304	477	466	634	788	145	192	303	147	206	346

<sup>\*</sup> Valores eliminados

TABLA VIII

CEMENTO SIDERURGICO

3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
149	266	497	373	577	826	-	-	-	-	-	-
209 <sup>*</sup>	270	483	406	599	779	112	184	187	-	-	-
199	288	497	425	593	776	141	158	293	125	207	372
180	295	520	419	554	782	135	215	304	114	191	347
177	275	457	401	600	790	130	226	328	102	190	358
188	308	484	440	594	728	136	192	310	110	186	309
172	300	460	426	488 <sup>*</sup>	818	128	202	318	109	162	342
176	286	521	421	590	758	133	218	318	106	187	343
141	251	458	378	534	755	106	172	301	89	165	328
134	248	408	400	583	708 <sup>*</sup>	90	154	272	78	157	315
153	273	439	380	558	800	98	182	307	80	142	360
139	234	433	312 <sup>*</sup>	504	724	94	170	276	89	161	330
139	248	403 <sup>*</sup>	342	542	778	100	156	294	74	141	284 <sup>*</sup>
140	269	473	408	605	732	114	164	306	86	181	337
162	260	466	418	623	780	112	183	286	115	193	350
138	270	496	394	614	792	112	176	318	118	207	361
175	286	499	438	587	813	140	191	318	113	178	347

<sup>\*</sup> Valores eliminados.

TABLA IX  
CEMENTO PORTLAND

RILEM			INDITECNOR			IDIEM			B.S. 12 - 1958		
3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
277	436	550	538	598	868 <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-
276	415	538	500	582	664	182	224	232 <sup>x</sup>	-	-	-
293	383	473	518	576	683	185	211	264	181	246	338 <sup>x</sup>
300	427	587 <sup>x</sup>	516	566	660	196	288 <sup>x</sup>	310	187	282	394
276	401	509	415 <sup>x</sup>	583	682	173	263	306	168	277	383
294	391	503	523	588	652	166	245	287	171	272	381
252	381	477	508	412 <sup>x</sup>	627	175	254	323	166	217 <sup>x</sup>	369
259	368	542	505	572	662	186	272	327	150	265	379
259	354	477	509	532	662	174	229	302	149	238	364
270	365	491	530	595	684	170	222	322	135 <sup>x</sup>	267	385
292	382	508	514	572	649	191	253	258	161	276	392
286	389	484	467	562	630	182	244	306	153	253	381
322 <sup>x</sup>	416	527	512	576	646	193	244	300	174	256	377
292	418	528	465	586	643	182	233	309	184	303	390
296	384	499	510	557	658	211 <sup>x</sup>	248	314	198	294	395
282	405	535	428	496	613	152	240	294	173	283	403
279	367	486	476	534	626	174	224	284	175	268	406

<sup>x</sup> Valores eliminados

TABLA X  
CEMENTO CON AGREGADO TIPO A

163	265	342	403	478	553	-	-	-	-	-	-
215 <sup>x</sup>	238	315	395	460	567	112	183	234	-	-	-
171	248	332	384	465	567	126	162	228	113	168	228
174	246	338	390	458	562	126	178	233	101	156	223
157	221	305	415	467	597	118	176	226	98	152	216
154	224	309	413	466	554	117	176	230	93	156	211
146	213	274	382	468	532	123	172	219	108	151	222
177	261	340	398	476	596	128	180	238	106	179	250 <sup>x</sup>
160	240	327	393	464	576	119	159	218	99	154	227
172	242	314	404	488	606	130	170	231	107	181 <sup>x</sup>	243
152	230	282	365	452	538	120	174	222	92	142	210
139	210	281	340 <sup>x</sup>	432	516	112	148	236	90	144	210
145	214	261	358	436	514	92 <sup>x</sup>	116 <sup>x</sup>	203 <sup>x</sup>	91	144	218
136	218	304	386	445	503	116	161	216	93	163	225
150	215	290	394	456	504	120	176	234	112	155	225
174	256	372 <sup>x</sup>	384	474	485	108	165	220	101	153	232
154	228	294	402	419 <sup>x</sup>	537	112	166	226	101	153	220

<sup>x</sup> Valores eliminados

TABLA XI

RESISTENCIAS MEDIAS, KG CM<sup>2</sup>, EN ENSAYOS DE MORTEROS RILEM E INDITECNOR Y HORMIGONES IDIEM Y B.S. 12 - 1958

CEMENTO	RILEM			INDITECNOR			IDIEM			B.S. 12 - 1958		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
Puzolánico	223,8	335,9	484,6	492,9	664,2	815,5	161,6	230,5	306,8	152,1	225,7	348,9
Siderúrgico	160,1	272,2	474,4	404,3	578,6	777,0	117,6	183,9	303,3	100,5	176,5	342,7
Portland	280,1	393,1	507,9	501,2	567,2	652,6	178,7	240,4	300,4	170,7	270,0	385,7
Tipo A	157,8	233,5	306,8	391,6	461,6	547,5	119,1	169,7	227,4	100,3	155,0	222,2

TABLA XII

COEFICIENTES DE VARIACION EN ENSAYO DE MORTERO RILEM E INDITECNOR Y HORMIGONES IDIEM Y B.S. 12 - 1958

CEMENTO	RILEM			INDITECNOR			IDIEM			B.S. 12 - 1958		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
Puzolánico	5,98	6,67	5,52	5,66	6,36	3,63	7,05	9,41	3,39	9,72	6,51	6,99
Siderúrgico	13,05	7,38	6,60	6,45	5,50	3,95	14,63	12,12	5,37	15,71	11,83	5,46
Portland	5,18	6,00	5,04	5,66	4,70	3,11	6,43	6,86	6,65	8,43	6,59	3,03
Tipo A	8,18	7,50	8,21	3,88	3,20	6,50	5,38	5,48	3,13	7,48	6,26	4,06

fueron muy satisfactorios La Tabla XII señala que los coeficientes de variación de los diversos grupos con algunas excepciones, son poco diferentes de los que se obtuvieron en la primera serie, lo cual significa que las variaciones de resistencias en cada grupo no eran suficientemente grandes como para ser tratados por separado.

Entonces se llegó a la conclusión de que había que estudiar la correlación en conjunto entre métodos de ensayos sin hacer separación por fechas y cementos Además se estimó que la forma de relación era lineal, lo cual se puede ver por la distribución de los puntos en los gráficos, pero, también puede deducirse al considerar que los distintos métodos difieren entre sí en el tamaño de las probetas, en el procedimiento de mezclado y compactación y en la razón agua-cemento, y que cada una de estas características da origen a transforma-

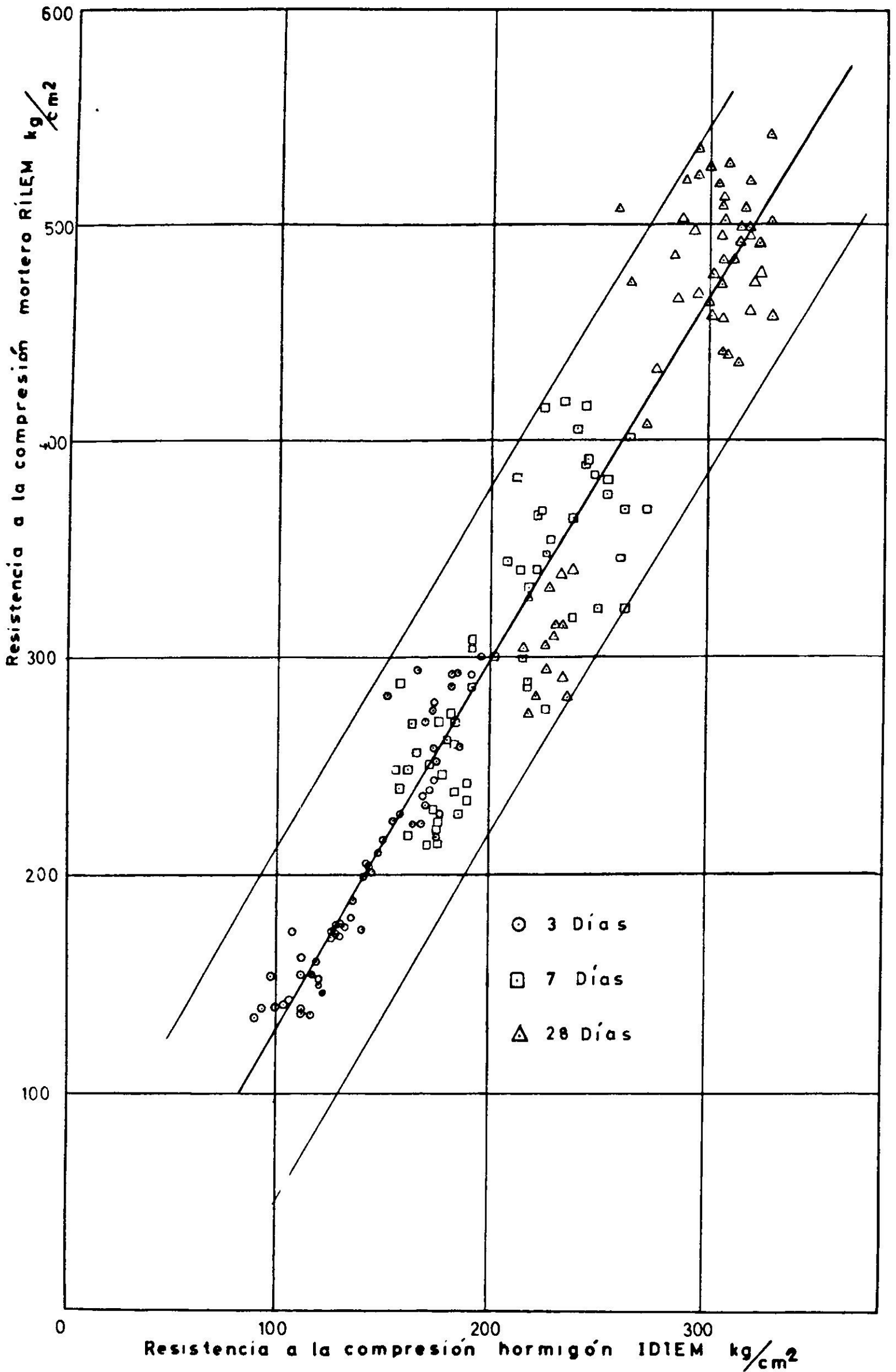


Fig. 9. Representación gráfica de las resistencias en mortero RILEM con respecto a las resistencias en hormigón IDIEM.

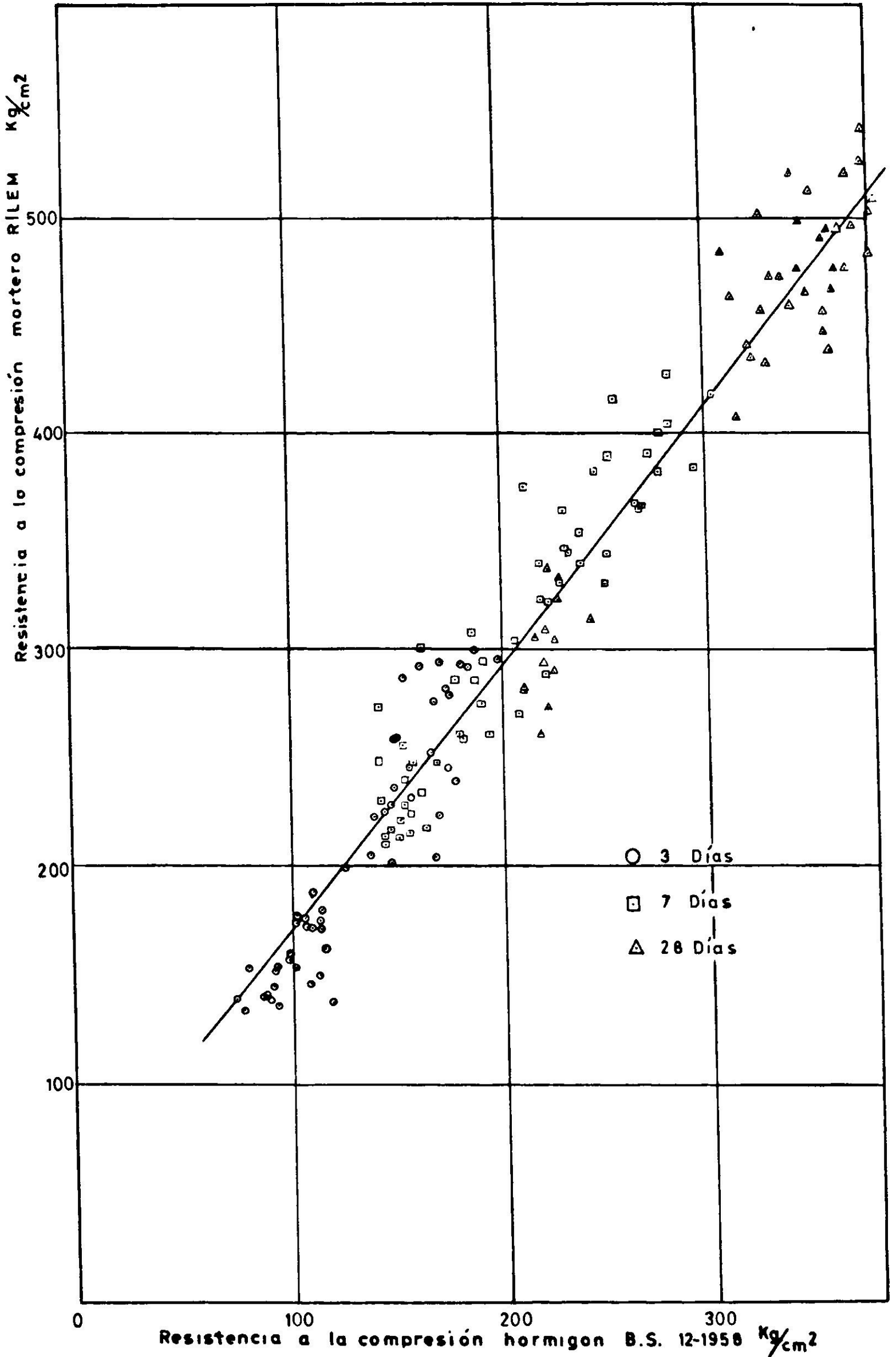


Fig. 10. Representación gráfica de las resistencias en mortero RILEM con respecto a hormigón B. S. - 12 - 1958.

ciones lineales de la resistencia y por consiguiente su efecto combinado debe dar lugar a una relación de carácter lineal.

Haciendo este estudio se llegó a las siguientes relaciones:

$$R_R = 1,688 R_I - 39,22 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$R_R = 1,219 R_B + 48,35 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

en que

$R_R$  es la resistencia del mortero RILEM,

$R_I$  es la resistencia del hormigón IDIEM, y

$R_B$  es la resistencia del hormigón B.S. 12

Estos resultados confirman que las resistencias obtenidas con mortero RILEM guardan una relación bien definida con las que se obtienen en hormigones con compactación a mano cuidadosa. La relación existe en general entre morteros plásticos y hormigones<sup>13</sup>, y entre morteros plásticos entre sí<sup>6</sup>.

Además estas experiencias dejaron en evidencia que el mortero RILEM es sensible a las variaciones de calidad de los cementos en un grado comparable al de los hormigones ensayados, como lo muestran los coeficientes de variación, Tabla XII. Esta característica lo hace especialmente apto para ensayo de control.

## VALORES DE RESISTENCIAS RILEM PARA LAS NORMAS DE CEMENTO

La correlación encontrada entre resistencias con mortero RILEM y con hormigón IDIEM puede servir para fijar los valores mínimos que se deben exigir a los cementos en las nuevas normas chilenas. En ellas se tiene el propósito de dividir los cementos en tres categorías de resistencia.

Nos parece lógico suponer que las resistencias que se exijan a los cementos en las especificaciones de calidad, estén relacionadas con las resistencias que se puedan lograr en hormigón en determinadas condiciones, en tal forma que se puedan deducir éstas de aquéllas. Guiados por este criterio hemos asociado



cada categoría con una de las clases de hormigones establecidas en la norma INDITECNOR 2.30-62 ch<sup>14</sup> relacionándolos por la condición que en fabricación con control, dosificación y puesta en obra usuales se obtenga con cada categoría la resistencia de la clase de hormigón que le corresponda, a saber:

Categoría 1, cementos para hormigón clase B, de 160 kg/cm<sup>2</sup>.

Categoría 2 cementos para hormigón clase D, de 225 kg/cm<sup>2</sup>.

Categoría 3 cementos para hormigón clase E, de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Hay que hacer notar que con este planteamiento se acepta que el hormigón tipo B puede ser controlado en el sentido de la norma INDITECNOR 2.30-62 ch, pese a que en ella esa condición queda reservada sólo a los tipos D y E. Por otra parte no se han tenido en cuenta los hormigones A y C, el primero, por ser de uso restringido según las normas de hormigón armado, y el segundo, por considerar que no es un tipo fundamentalmente diferente del B.

En la norma INDITECNOR 2.30-62-ch se expresa que las resistencias asignadas a estos hormigones son mínimas, sin aclarar el significado de esa expresión

Según el concepto generalmente aceptado, la definición de resistencia mínima se funda en consideraciones de probabilidades, aceptándose aquel valor que interseca una fracción prefijada del área encerrada por la curva de la distribución de resistencias, que se supone normal; esto significa que se admite una cierta fracción defectuosa, es decir, que un cierto porcentaje de muestras dé valores inferiores al mínimo.

El tema ha sido objeto de muchas reflexiones y consideraciones y como resultado de ellas se han hecho varias proposiciones de porcentajes, diferentes entre sí, de los cuales mencionaremos las más conocidas

El American Concrete Institute<sup>15</sup> recomienda aceptar las siguientes fracciones defectuosas:

estructura de hormigón armado calculado a la rotura	5%
estructura de hormigón armado calculado porporcionalmente	10%
pavimentos	20%
represas y obras de regadío	20%
obras en que la resistencia no es determinante	30%

El Bureau of Reclamation de Estados Unidos tolera hasta 20% de resisten-

cias inferiores al mínimo para todo tipo de obras (hay que hacer notar que ese Bureau está a cargo, principalmente, del proyecto y desarrollo de represas y obras de regadío).

El Comité Européen du Béton<sup>16</sup> ha aceptado, también, el 5% para hormigón armado con cálculo a la rotura. Una instrucción española<sup>17</sup> hace intervenir la resistencia característica (promedio de la mitad más baja de los valores de las muestras) que supone aceptar un 21,2% de valores inferiores a ella; el mismo porcentaje aparece en la última norma francesa de hormigón armado.

En vista de que no hay un criterio único para la elección de la fracción defectuosa nos hemos situado en una posición intermedia adoptando un porcentaje de 16%; esta cifra ha sido recomendada por un comité de ASTM<sup>18</sup> y fue propuesta anteriormente por E. Torroja<sup>19</sup>.

Para calcular la resistencia media correspondiente a una mínima determinada, hace falta conocer el coeficiente de variación del hormigón en obra. El valor medio de este coeficiente varía según los procedimientos de medida de los materiales y según el cuidado, el grado de vigilancia y las precauciones que se empleen en obra. De acuerdo con los datos que se derivan de inspecciones y controles de obras realizados por IDIEM<sup>20</sup>, el coeficiente medio es de 26% para hormigón B y de 21% para hormigón D en obras en que los materiales se han medido en volumen; para hormigón E no hay suficientes datos y a falta de ellos supondremos que, por ejercerse en su preparación mejor control el coeficiente es de 18%.

La resistencia media del hormigón la hemos calculado, a partir de la mínima, empleando la fórmula:

$$R = \frac{R \text{ mín}}{1 - t.V'}$$

en que V es el coeficiente de variación y t es el número de desviaciones con respecto a la media; t = 1,282 para una fracción defectuosa de 10% t = 1,0 cuando se admite un 16% de valores por debajo del mínimo y t = 0,8 cuando la fracción defectuosa es 21,2%. La Tabla XIII da los resultados de estos cálculos.

TABLA XIII

CORRESPONDENCIA ENTRE RESISTENCIAS MEDIAS Y MINIMAS PARA  
FRACCIONES DEFECTUOSAS DE 10%, 16% y 21%.

R mín	R media kg cm <sup>2</sup>		
kg/cm <sup>2</sup>	t = 1,282	t = 1,0	t = 0,8
160	240	217	200
225	310	285	270
300	390	365	350

Estas cifras corresponden a las resistencias medias, que se deben obtener en obras, a 28 días, en probetas cúbicas de 20 cm de arista, con las razones agua cemento usuales en ellas, que podemos estimar en valor medio igual a 0,6.

Hemos convertido los valores de la Tabla XIII a los equivalentes en resistencias cilíndricas, empleando la fórmula

$$R_{\text{cil}} = \frac{R_{\text{cúb}} - 20}{1,15}$$

(válida para cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y cubos de 20 cm de arista), y hemos supuesto que la relación entre resistencias del hormigón con razón agua cemento 0,5 y la del hormigón con razón agua cemento 0,6 es igual a la relación entre la resistencia del hormigón B.S. 12 - 1958, corregida por tamaño\*, y la del hormigón IDIEM. El valor medio de esta razón resulta ser aproximadamente de 1,25, Tabla XI (Es de interés anotar que se llega a un resultado parecido aplicando la fórmula de Bolomey  $R = K \left( \frac{c}{a} - 0,5 \right)$  en que R es la resistencia del hormigón, K una constante y c/a la razón cemento agua.) Por último pasamos a resistencias medias RILEM utilizando la fórmula de correlación

$$R_R = 1,7 R_I - 39$$

de éstas calculamos las mínimas aplicando un coeficiente de variación 6,4%, término medio de los correspondientes a 28 días, Tabla XII, y aceptando un porcentaje de 1% de valores inferiores al mínimo, al que corresponde  $t = 2,33$ ;

\* La relación usada para esta corrección fue:  $R_{\text{cil}} = \frac{0,915}{1,15} (R_{\text{cúb}} - 20)$

la Tabla XIV da los resultados de estos cálculos.

**TABLA XIV**  
RESISTENCIAS RILEM EQUIVALENTES A LAS DE LOS HORMIGONES  
CLASES B, D y E

Clase	HORMIGONES				MORTERO RILEM					
	Mínima cúbica a/c=0,6	Media cilíndrica a/c=0,5			Media			Mínima		
		t=1,282	t=1,0	t=0,8	t=1,282	t=1,0	t=0,8	t=1,282	t=1,0	t=0,8
B	160	225	213	195	345	320	290	290	270	250
D	225	330	288	270	520	450	420	440	380	360
E	300	420	375	355	670	600	560	570	510	480

Tomando los valores correspondientes a  $t=1,0$ , resultan tres categorías de cementos claramente diferenciadas y que podrían ser respectivamente representativas de las siguientes calidades:

Cementos corrientes con resistencias mínimas de  $270 \text{ kg/cm}^2$ , que se utilizarán principalmente en obras en que el material está sometido a un nivel de tensiones reducido.

Cementos de resistencia intermedia, con resistencia mínima de  $380 \text{ kg/cm}^2$ , que se utilizarán de preferencia en obras calculadas con tensiones de trabajo altas u obras calculadas a la rotura.

Cementos de alta resistencia, con resistencia mínima de  $510 \text{ kg/cm}^2$ , indicados para obras de hormigón pretensado, elementos prefabricados y casos en que se necesitan resistencias especialmente elevadas.

Puesto que las equivalencias se han deducido por un camino indirecto y valiéndose de muchas hipótesis, las cifras presentadas darán lugar a discusiones, pero nos parece que el orden de los valores es justo: es similar al de algunas normas extranjeras, por ej. DIN y AFNOR<sup>21</sup> y además las dos primeras categorías tienen resistencias parecidas a las de los cementos chilenos existentes.

Los datos de estas experiencias pueden utilizarse también para fijar las resistencias a 3 y 7 días, pero todavía no se ha hecho el análisis correspondiente.

## CONCLUSIONES

El ensayo del cemento por el procedimiento RILEM da muy buena correlación con las resistencias que se obtienen en hormigones compactados cuidadosamente a mano.

El mortero RILEM es poco sensible a las diferencias de características de las arenas dentro de un margen de variación de ellas bastante amplio.

El mortero RILEM es bastante sensible a las diferencias de calidad de los cementos.

Para las normas chilenas definitivas de cementos, en que se adoptará el procedimiento RILEM, proponemos que se fijen tres categorías de cementos asociadas con las clases B, D y E de hormigones, con las siguientes resistencias mínimas en mortero RILEM:

270 kg/cm<sup>2</sup>, asociado a hormigón clase B

380 kg/cm<sup>2</sup>, asociado a hormigón clase D

510 kg/cm<sup>2</sup>, asociado a hormigón clase E

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- INDITECNOR 30.91 E ch. *Cementos siderúrgicos*. 1962
- 2.- INDITECNOR 30.92 Fch *Cementos con agregados Tipo A*. 1962
- 3.- INDITECNOR 30.93 Ech. *Cementos puzolánicos*. 1962
- 4.- CEMBUREAU. *L'essai de ciments*. 1958. Malmo Suecia.
- 5.- INDITECNOR 2.30-34 cg. *Resistencia a la tracción de los morteros de cemento*. 1951.
- 6.- INDITECNOR 2.30-35 ch. *Resistencia a la compresión de los morteros de cemento*. 1951
- 7.- DIN 1164. *Portlandzement, Eisenportlandzement Hochofenzement*. 1932.
- 8.- DUTRON, R. *El procedimiento RILEM-CEMBUREAU para el ensayo de la resistencia del cemento*. Zement-Kalk-Gips, N° 2 Feb 1960
- 9.- KEIL, F. y MATHIEU, M. *El ensayo de cemento según el procedimiento RILEM-CEMBUREAU*. Zement-Kalk-Gips N° 2 Feb 1960.
- 10.- RESEARCH INSTITUTE OF BUILDING MATERIALS. *Report on the results of comparative tests on cement*. Brno Checoeslovaquia.
- 11.- BRITISH STANDARD 12: 1958. *Portland cement (ordinary and rapid hardening)* 1958.

- 12.- ASTM C. 192. *Making and curing concrete compression and flexure test specimens in the laboratory.* 1962.
- 13.- SWAYSE, M. A. *A comparison of cement strengths in mortars and concretes.* ASTM Bulletin nº 232. sep 1958.
- 14.- INDITECNOR 30.62 ch. *Hormigón de cemento.* 1952.
- 15.- ACI COMMITTEE 214. *Recommended practice for evaluation of compression test results of field concrete.* Journal of the American Concrete Institute, vol 29 nº 1, jul 1957.
- 16.- COMITTEE EUROPEEN DU BETON. *Recommandations pratiques a l'usage des constructeurs.* 1962.
- 17.- INSTITUTO EDUARDO TORROJA PARA LA CONSTRUCCION Y EL CEMENTO. *Instrucción Eduardo Torroja especial para estructuras de hormigón armado* 1961.
- 18.- ABDUN-NUR, E. A. *How good is good enough?* Journal of the American Concrete Institute. Proc. vol 59 nº 1, ene 1962.
- 19.- Report by THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH *Load factors.* Journal of the American Concrete Institute. vol 30 nº 5 nov. 1958.
- 20.- LAMANA, A. *Calidad del hormigón y del acero para hormigón armado de las construcciones sometidas a los terremotos de 1960 en el sur de Chile.* Revista del Idiem vol 1 nº 1, mar. 1962.
- 21.- GOMEZ, E. *Nuevas normas chilenas de cemento.* Revista del Idiem vol 1, nº 1, mar. 1962.

## COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT BY THE RILEM METHOD OF TEST

### SUMMARY:

Results are presented of two sets of experiences made at IDIEM, one of them to study how the RILEM method for testing cement is affected by the change of type of sand and the other one to study the comparative compressive strengths attained with cement tested according to four different procedures: RILEM mortar, INDITECNOR mortar, and two types of concrete.

Very good correlations were found between the RILEM mortar and each type of concrete. These results were used to derive the values for the requisite minimal strength for three categories of cement which will be proposed for adoption at the discussions of the Chilean standard specifications for cement.