

R esp (serie A)

617-92

normas para la determinación de las resistencias del cemento

A. Meyer, Beckum

1. observaciones generales

Todas las normas de cemento contienen disposiciones sobre el ensayo de resistencia, ya que la resistencia constituye, generalmente, la base de la que se parte para determinar la calidad del cemento. Como las normas de los distintos países no suelen ser iguales, el ensayo de un mismo cemento, hecho según cada una de ellas, da unas cifras muy diferentes, lo cual dificulta considerablemente la comparación de la resistencia de un cemento entre los distintos métodos de ensayo.

Mientras que existan en los distintos países diferentes normas de cemento, no faltarán tampoco los intentos de uniformarlas 2), 3) y 4). Después de 1945 se hicieron considerables esfuerzos, en este aspecto, por el grupo de trabajo "Testing of Cement and Concrete" des Cembureaus—The Cement Statistical and Technical Association—y un grupo de trabajo del ISO—International Standard Organization—. Sin embargo, a pesar de todos los intentos, se ha avanzado muy poco en la unificación de los ensayos de resistencia del cemento en el nivel internacional.

Puesto que las normas alemanas de cemento se encuentran en revisión, creemos oportuno hablar del desarrollo histórico de los ensayos de resistencia del cemento en Alemania y comparar las normas más importantes, vigentes actualmente en el mundo. Hablaremos, principalmente, de los ensayos de resistencia a la compresión, ya que la resistencia a la compresión es, desde el punto de vista de la aplicación, la característica más importante del cemento. Además, las normas de la mayoría de los países contienen procedimientos para su determinación.

2. desarrollo histórico en Alemania

La fijación de las primeras normas, en 1877, para el suministro y ensayo del cemento portland condujo a la fundación de la "Asociación Alemana de Productos de Cemento", cuyo nombre fue cambiado en 1889 en "Asociación Alemana de Productores de Cemento Portland".

Las normas se introducen oficialmente, en 1878, por el Ministerio Prusiano Real de Comercio, Industria y Obras Públicas, y son las primeras para la fabricación de productos en gran escala reco-

19

nocidas de un modo general. Servirían más tarde de ejemplo a muchos países para crear sus propias normas. En las primeras normas se prescribe el ensayo de resistencia a la tracción de mortero:

Probetas: ocho; sección solicitada 5 cm².

187-730

Mortero de ensayo: proporción de mezcla 1:3 en peso.
arena de tamaño de grano uniforme.
adición de agua: 10 %; relación agua/cemento = 0,40.
consistencia: seca.

Compactación: a mano con espátula de hierro.

Conservación: 1 día en ambiente húmedo, 27 días bajo agua de 15 a 20° C.

A partir del año 1881, la arena necesaria para los ensayos de resistencia se suministra por una sola casa proveedora. La granulometría es tal, que todo pasa por un tamiz de 120 mallas por cm², pero que queda retenido por un tamiz de 160 mallas por cm².

En el año 1887 se incluye en las normas el ensayo de resistencia a la compresión, lo cual había sido propuesto ya antes al establecerse aquéllas. Pero su introducción falló entonces por falta de los aparatos apropiados. Mientras tanto se había observado que el ensayo de un cemento en varios laboratorios dio resultados muy diferentes, en cuanto a la resistencia a la tracción, a pesar de haber observado estrictamente las normas. Sin embargo, el procedimiento de ensayo de la resistencia a la compresión dio unos resultados menos dispares.

Probetas: probetas cúbicas de 7,07 cm de lado.
superficie de compresión: 50 cm².

Mortero: proporción de mezcla 1:3 partes en peso.
arena de tamaño de grano uniforme.
adición de agua: 10 %; relación agua/cemento = 0,40.
consistencia: seca.

Compactación: mediante martillos, según Emil Böhme.

Conservación: 1 día en ambiente húmedo, 27 días bajo agua de 15 a 20° C.

El hecho de que las normas para los ensayos de resistencia a la tracción y compresión, fijadas en los años 1878 y 1887, se hayan empleado durante 50 años sin que hayan sufrido prácticamente cambio alguno, habla en favor del esmero y la previsión con que fueron concebidas por el gremio en cuestión.

En 1897 se empieza a suministrar a los centros de ensayo una arena normalizada y controlada oficialmente, de las proximidades de Freienwalde, sobre el Oder.

En 1902 se cambia la cantidad de agua añadida, que desde entonces ha de adaptarse al comportamiento del mortero. Ascende a 8 ó 9 % en peso y según la relación agua/cemento de 0,32 a 0,36. Al mismo tiempo se prescribe la mezcla mecánica del mortero en una mezcladora del tipo Steinbrück-Schmelzer, el cual sirve todavía hoy para la preparación de morteros de ensayo según DIN 1164.

En 1910 se añade a las "Normas alemanas para el suministro y ensayo del cemento portland" y para el ensayo de resistencia a la compresión, paralelamente a la conservación bajo agua, una conservación combinada, es decir, 1 día en aire húmedo, 6 días bajo agua y 21 días al aire de 15 a 20° C. La mala experiencia adquirida en la reproducibilidad del ensayo de resistencia a la tracción llevaron a la conclusión de suprimir las exigencias mínimas para dicha resistencia. En 1910, las normas exigen que la arena de los alrededores de Freienwalde sobre el Oder tenga un tamaño de grano tal que pase por un tamiz de 1,350 mm de apertura de malla, pero que quede retenida por uno de 0,775 mm de luz. El espesor de la malla de los tamices es de 0,25 milímetros.

En 1925 incluyen por primera vez en las disposiciones del "Comité alemán para hormigón armado" resistencias mínimas para cementos de alta calidad.

En 1932 aparecen las "Normas alemanas para cemento portland, portland siderúrgico y portland de alto horno", que fijan la cantidad de agua para el mortero en un 8 %, la cual antes era muy variable, es decir, establecen la relación agua/cemento del mortero de ensayo en 0,32. En casos de duda es decisivo el ensayo de resistencia a la compresión con una conservación combinada. También se distingue, por primera vez, entre cemento normal y cemento de alta calidad. El párrafo 19 de las normas DIN 1164 "Normas para el control permanente de fábricas de cemento" exige, dos veces al año, aparte de los ensayos del mortero, un control de la resistencia a la compresión, después de un endurecimiento de 28 días, del cemento en forma de hormigón con 200 y 300 kg de cemento/m³, prescribiendo además para la mezcla pobre un escurrimiento de 45 cm, y 60 cm para la mezcla rica. El tamaño de grano exigido al árido (de 0 a 30 mm) corresponde, más o menos, con la curva granulométrica E DIN 1045.

En 1939 se sustituye el ensayo de resistencia a la tracción del año 1878 por el de la resistencia a la flexo-tracción. Sin embargo, sigue aplicándose el ensayo de resistencia a la compresión en probetas cúbicas de 7,07 cm. Se introducen las normas DIN 1165 "Instalaciones para la fabricación y el ensayo de prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero preparado en consistencia plástica" y DIN 1166 "Fabricación y ensayo de prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero preparado en consistencia plástica", las cuales se están aplicando ya desde 1934 para cementos en la construcción de carreteras.

Probeta: Prismas de 4 × 4 × 16 cm.

Mortero: proporción de mezcla 1:3 partes en peso.

adición de agua 15 %; relación agua/cemento = 0,60.

consistencia: plástica.

arena normalizada:

2 partes en peso de granos comprendidos entre 0,6—1,25 mm.

1 parte en peso de granos más finos (de 0—0,2 mm).

Compactación: a mano mediante pisón.

Conservación: 1 día en ambiente húmedo, 27 días bajo agua de 18 a 21° C.

21

En el año 1942 se introducen oficialmente las normas hoy día en vigor, DIN 1164 "Cemento portland, cemento portland siderúrgico y cemento portland de alto horno". La resistencia a la compresión se determina en la mitad de los prismas de $4 \times 4 \times 16$ cm y se suprime el control permanente de hormigón en fábricas de cemento. Se introducen tres calidades que se distinguen principalmente por sus resistencias iniciales: Cemento 225 (Z 225), Cemento 325 (Z 325) y Cemento 425 (Z 425).

Con el año 1942 empieza una nueva etapa en el desarrollo de las normas para los ensayos de resistencia del cemento en Alemania. El mortero de ensayo seco, empleado hasta ahora y preparado con arena de cuarzo uniforme, se sustituye por un mortero plástico fabricado con dos tipos de arena. En lugar de los ensayos de compresión en probetas cúbicas de 7,07 cm y los ensayos de tracción en ochos, se realizan ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tracción en prismas de $4 \times 4 \times 16$ cm. Este cambio decisivo tuvo lugar por las siguientes razones:

a) Los datos de resistencia obtenidos en los procedimientos de ensayo antiguos no eran una medida muy segura para determinar la capacidad de endurecimiento del cemento, porque el mortero no podía compactarse completamente. Por esta razón la adición de polvo fino de piedra al cemento portland casi no tenía influencia sobre su resistencia, aunque un hormigón fabricado con el mismo conglomerante se perjudicaba considerablemente en el aspecto resistente.

b) El cemento se emplea, principalmente, en la obra como hormigón plástico con una relación agua/cemento mayor de 0,32. Como la relación agua/cemento es de gran importancia para la resistencia del mortero y del hormigón, era más conveniente elegir una relación agua/cemento media y más corriente—de 0,60—para el mortero de ensayo, adaptando su consistencia a la del hormigón corriente. Esta medida facilitó la mejor comparación entre las resistencias del hormigón y del cemento. La finalidad de este ensayo de resistencia fue, en primer lugar, comparar distintos cementos del mis-

mo tipo y comprobar la producción uniforme de una sola fábrica. La modificación del mortero de ensayo facilitó el cálculo previo de la resistencia del hormigón, empleando las resistencias obtenidas según la norma del cemento.

c) Al principio se pensó también utilizar el prisma $4 \times 4 \times 16$ cm como probeta para el ensayo de tracción. Más tarde, sin embargo, resultó que la tracción obtenida en este prisma de mortero no permitió determinar con exactitud la resistencia a tracción de un hormigón fabricado con el mismo cemento. Por esta razón se suprimió este ensayo en las normas DIN 1164 del año 1952.

En la tabla 1 se han resumido, en orden cronológico, los datos más importantes sobre el desarrollo de las normas para el ensayo de resistencia del cemento en Alemania. La última columna contiene las exigencias mínimas a la resistencia a la compresión del mortero normal a 28 días de edad y sumergido bajo agua.

Más detalles sobre la historia de los ensayos normalizados para cemento en Alemania se encontrarán en la literatura correspondiente.

TABLA 1
Normas para el ensayo de la resistencia del cemento en Alemania

Año	Resistencia normalizada			Ensayo a la compresión			Número del tipo de calidad	Resistencia mínima a la compresión 28 días (*)
	Tracción	Compresión	Flexo-tracción	Probeta (cm)	Consistencia del mortero	Relación agua/cemento		
1878	×	—	—	—	seca	0,40	1	—
1887	×	×	—	} Probetas cúbicas 7,07×7,07×7,07	seca	0,40	1	160
1910	—	×	—		seca	0,32-0,36	1	200
1932	(×)	×	—		seca	0,32	2	275
1939	—	×	×		seca	0,32	2	300
1942	—	×	×		} Prismas 4/4/16	plástica	0,60	3
1958	—	×	×	plástica		0,60	3	275

(*) Cemento normal conservado en agua.

3. procedimientos normalizados de ensayos de resistencia

3. 1. exigencias

La resistencia normalizada del cemento debe ser la misma que la resistencia de un hormigón fabricado con el mismo cemento y de composición normal. El cumplimiento de esta exigencia hace posible un cálculo aproximado de la resistencia a la compresión de un hormigón completamente compactado, que tiene relación agua/cemento y la resistencia normalizada del cemento, y es además condición previa para una comparación real del desarrollo de la resistencia de distintos cementos.

El procedimiento de ensayo suministrará valores reproducibles, es decir, el campo de dispersión en ensayos de repetición y comparación debe ser lo más reducido posible. Condición previa para una buena reproducibilidad es la eliminación de defectos accidentales en el ensayo, lo que puede realizarse dando al mortero una composición adecuada y mecanizando la fabricación de las probetas.

En vista de la jornada abreviada y de la falta de mano de obra técnica, es de gran importancia que la fabricación, conservación y ensayo sean simples y racionales. La fabricación de las probetas debe requerir muy poco tiempo y no ocasionar mucho ruido.

3. 2. observaciones generales

Los cementos se ensayan en su resistencia a la compresión, tracción y flexo-tracción.

En la tabla 2 se recogen todas las resistencias normativas para la determinación de la calidad en los distintos países. Abarca 35 países, a los que corresponde aproximadamente un 90 % de la fabricación mundial del cemento. De ellos, 34 países toman como base, para la determinación de la cali-

23

dad, la resistencia a la compresión, 20 incluyen además la resistencia a la tracción, y 14, la resistencia a la flexo-tracción. Solamente en un país se toma como base la resistencia a la tracción.

TABLA 2
Producción de cemento en el año 1961 y resistencia normativa para definir la calidad

N.º de orden	País	Producción de cemento		Resistencia decisiva		
		En millones de toneladas	Porcentaje en la producción mundial	A la compresión	A la tracción	A la flexo-tracción
1	Argentina	2,880	0,8	×	×	—
2	Australia	2,859	0,8	×	—	—
3	Bélgica	4,754	1,4	×	×	—
4	Bulgaria	1,749	0,5	×	×	×
5	Canadá	5,483	1,6	×	×	—
6	Chile	0,882	0,3	×	×	—
7	China	18,000	5,3	×	×	—
8	Checoslovaquia	5,343	1,6	×	×	—
9	Dinamarca	1,572	0,5	×	×	—
10	Alemania Occidental	26,853	7,9	×	—	×
11	Alemania Oriental	5,200	1,5	×	—	×
12	Finlandia	1,341	0,4	×	—	×
13	Francia	15,530	4,6	×	×	—
14	Grecia	1,837	0,5	×	×	—
15	Gran Bretaña	14,380	4,2	×	×	—
16	India	8,150	2,4	×	×	—
17	Irlanda	0,598	0,2	—	×	—
18	Italia	18,070	5,3	×	×	—
19	Japón	24,482	7,2	×	—	×
20	Yugoslavia	2,353	0,7	×	—	×
21	Méjico	3,100	0,9	×	×	—
22	Países Bajos	1,903	0,6	×	×	—
23	Noruega	1,227	0,4	×	—	×
24	Austria	3,079	0,9	×	—	×
25	Polonia	7,359	2,2	×	—	×
26	Portugal	1,244	0,4	×	—	×
27	Rumania	3,308	1,0	×	×	—
28	Suecia	3,012	0,9	×	—	×
29	Suiza	3,600	1,1	×	—	×
30	España	5,975	1,8	×	—	×
31	Africa del Sur	2,700	0,8	×	—	×
32	Turquía	2,100	0,6	×	×	—
33	USA	54,121	15,9	×	×	—
34	URSS	50,900	15,0	×	×	—
35	Venezuela	1,540	0,4	×	×	—
	Total	307,421	93,6	34	21	11

*) Según Cembureau Statistical Review N.º 18, mayo 1962, Malmö.

Los procedimientos de ensayo, empleados para la determinación de la resistencia a la compresión en las distintas normas del cemento, se diferencian a veces considerablemente (véase tabla 3). Se utilizan probetas cúbicas de 7 y 5 cm de lado y prismas de 4 × 4 × 16 cm. Para la fabricación del

mortero se han prescrito hasta tres clases distintas de arena. La proporción de mezcla del mortero es casi siempre 1:3 partes en peso; en casos aislados, 1:2,75 y 1:2 partes en peso. La relación agua/cemento asciende a valores que oscilan entre 0,31 y 0,65. Los morteros de consistencia seca se compactan con el aparato Böhme-Martens (martillos), el aparato Klebe-Tetmajer (martinete), sobre mesa vibratoria y sobre mesa de sacudidas; los morteros más blandos mediante apisonado, o a mano. La compactación de un mortero seco con martinete da, frente a la compactación con martillos, un aumento en la resistencia de más del 20 por 100.

TABLA 3
Ensayo de resistencia a la compresión normativa

N.º	País	Probeta		Número de arenas empleadas	Proporción de mezcla expresada en partes en peso	Mortero de ensayo		Medio de compactación
		Cúbica lado (cm)	Prismática (cm)			Relación agua/cemento (*)	Consistencia	
1	Argentina.	7,07	—	1	1:3	0,31-0,38	seca	Pisón.
2	Australia.	7,07	—	1	1:3		seca	Martillos.
3	Bélgica.	7,07	—	1	1:3		seca	Pisón.
4	Bulgaria.	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Martillos.
5	Canadá	5,08	—	1	1:2,75	(0,52)	plástica	Apisonado a mano.
6	Chile.	7,07	—	1	1:3		seca	Martillos.
7	China.	7,07	—	1	1:3		seca	Martillos.
8	Checoslovaquia.	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Martillos.
9	Dinamarca.	7,07	—	1	1:3	0,32-0,36	seca	Martillos.
10	Alemania Oc.	—	4×4×16	2	1:3	0,60	plástica	Apisonado a mano.
11	Alemania Or.	—	4×4×16	2	1:3	0,60	plástica	Apisonado a mano.
12	Finlandia.	—	4×4×16	2	1:3	0,56	plástica	Apisonado a mano.
13	Francia (**).	5,00	—	3	1:3	(0,44)	seca	Apisonado a mano.
14	Grecia.	7,07	—	1	1:3		seca	Pisón.
15	Gran Bretaña.	7,07	—	1	1:3	0,40	seca	Mesa vibratoria.
16	La India.	7,07	—	1	1:3		seca	Mesa vibratoria.
17	Irlanda (**).	—	—	—	—	—	—	—
18	Italia.	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Pisón.
19	Japón.	—	4×4×16	1	1:2	0,65	plástica	Apisonado a mano.
20	Yugoslavia.	—	4×4×16	1	1:3	0,44	seca	Apisonado a mano.
21	Méjico.	5,08	—	1	1:2,75	(0,52)	plástica	Apisonado a mano.
22	Países Bajos (**).	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Martillos.
23	Noruega.	—	4×4×16	3	1:3	0,50	seca	Mesa de sacudidas.
24	Austria.	—	4×4×16	2	1:3	0,60	plástica	Apisonado a mano.
25	Polonia.	—	4×4×16	2	1:3	0,60	plástica	Apisonado a mano.
26	Portugal.	—	4×4×16	3	1:3	0,50	seca	Mesa de sacudidas.
27	Rumania.	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Mesa vibratoria.
28	Suecia.	—	4×4×16	3	1:3	0,50	seca	Mesa de sacudidas.
29	Suiza.	—	4×4×16	3	1:3	0,44	seca	Apisonado a mano.
30	España.	—	4×4×16	3	1:3	0,50	seca	Mesa de sacudidas.
31	Africa del Sur.	7,07	—	1	1:3	0,40	seca	Mesa vibratoria.
32	Turquía.	7,07	—	1	1:3	(0,32)	seca	Martillos.
33	EE. UU.	5,08	—	1	1:2,75	(0,52)	plástica	Apisonado a mano.
34	URSS (**).	7,07	—	1	1:3	0,32	seca	Martillos.
35	Venezuela.	5,08	—	1	1:2,75	(0,52)	plástica	Apisonado a mano.

*) ()-Valores de orientación: la consistencia del mortero de ensayo es decisiva para la determinación de la relación agua/cemento.

***) En Irlanda el ensayo de la resistencia a la compresión no está normalizado.

****) El método de ensayo sufrirá cambios dentro de poco tiempo.

TABLA 4
Resistencia normativa, probetas para el ensayo de resistencia a la compresión

		Número de países	Porcentaje de la producción mundial de cemento en 1961 %
Resistencia normativa para definir la calidad.	Compresión, tracción	19	62,9
	Compresión, flexo-tracción	13	26,2
	Compresión, tracción, flexo-tracción	1	0,5
	Compresión	1	0,8
	Tracción	1	0,2
Probetas para el ensayo a la compresión.	Probeta cúbica, 5 cm.	5	23,4
	Probeta cúbica, 7 cm.	19	41,6
	Prisma, 4×4×16 cm.	11	25,4

En la tabla 4 se han resumido datos sobre las resistencias normativas, para la determinación de la calidad, y sobre las probetas utilizadas en el ensayo de resistencia a la compresión. Para establecer unas sollicitaciones mínimas se consideran de importancia decisiva hoy día en 19 países, fabricantes de un 65 % de la producción mundial, los resultados de ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción. En 13 países, que reúnen aproximadamente un 30 % de la producción mundial de cemento, la mayor importancia se da a los ensayos de resistencia a la compresión y flexo-tracción. En dos países solamente se exigen resistencias aisladas a tracción y compresión y en un país se exigen valores mínimos para la resistencia a la compresión, flexo-tracción y tracción.

La resistencia a la tracción se ensaya siempre en ochos y la de flexo-tracción se efectúa en prismas de 4 × 4 × 16 cm, después de una conservación bajo agua. Para los ensayos de resistencia a la compresión se emplean probetas cúbicas de 7 cm de lado, probetas cúbicas de 5 cm y prismas de 4 × 4 × 16 cm, aunque estos últimos sólo en los ensayos de aproximadamente un 25 % de la producción mundial de cemento. Todos los países ensayan la resistencia a la compresión del cemento en probetas de mortero, con excepción de Inglaterra, donde en 1948 se introdujo, aparte del ensayo con mortero, un procedimiento de ensayo con hormigón, cuyo empleo no era obligatorio (BS 12:1958, Method 2). A continuación damos un resumen de los datos más importantes de esta excepción significativa:

Probetas: forma cúbica de 10,16 cm de lado.

Composición del hormigón: relación agua/cemento: 0,60.
asentamiento: 1,3 a 5,1 cm.
árido silíceo de dos tamaños de grano; la proporción de finos y gruesos depende de la consistencia.

Compactación: mediante apisonado.

Temperaturas: temperatura ambiente durante el amasado 17,7 a 23,3° C.
temperatura de conservación 18,9 ± 1,1° C.

Sobre las ventajas que ofrece el ensayo de la resistencia del cemento en forma de hormigón normalizado, ya se ha expuesto anteriormente.

3. 3. comparación de algunos métodos importantes de ensayo de la resistencia a la compresión

Las normas americanas (ASTM), inglesas (BS) y alemanas (DIN) para el ensayo de cemento han tenido la mayor difusión en el mundo y, actualmente, se utilizan para los ensayos de, aproximadamente, el 19, 16 y 13 % de la producción mundial de cemento (véase tabla 5).

El antiguo procedimiento alemán de ensayo de antes de 1942 (DIN-antiguo) sigue teniendo validez todavía hoy en día en varios países, cuya producción total asciende a un 25 % de la producción mundial de cemento. En cuatro países, cuya participación en la producción mundial asciende a un 4 % aproximadamente, se ha introducido el procedimiento RILEM-CEM (CEM), método que está a punto de introducirse en otros países. Una serie de países han adoptado estos cinco procedimientos, en parte sin cambiarlos y, en parte, con ligeras modificaciones. Todos los demás procedimientos de ensayo no han adquirido gran importancia.

TABLA 5
La frecuencia en el empleo de los métodos de ensayo de resistencia a la compresión

N.º	Procedimiento de ensayo		País (*)	Número de países	Participación en la fabricación mundial de cemento %
		Abreviat.			
1	ASTM C-109-58	ASTM	EE. UU., Canadá, México, Venezuela.	4	18,8
2	BS 12/1958	BS	Gran Bretaña, Australia, (Bélgica), (China), Grecia, India, Africa del Sur.	7	15,4
3	DIN 1164 1942	DIN	Alemania Occidental, Alemania Oriental, (Finlandia), Austria, Polonia.	5	12,9
4	RILEM-CEM	CEM	Noruega, Portugal, Suecia, España.	4	3,5
5	DIN 1164 1932	DIN (antiguo)	(Argentina), Bulgaria, Checoslovaquia, Dinamarca, (Chile), (Italia), (Países Bajos), Rumania, (Turquía), Unión Soviética.	10	26,2
6	Demás métodos	—	Francia, Japón, Yugoslavia, Suiza.	4	13,6
				34	90,4

*) El método de ensayo entre paréntesis se diferencia ligeramente del método indicado.

En la tabla 6 se han resumido datos sobre la fabricación y composición de los morteros de ensayo de los cinco procedimientos elegidos con fines de comparación. Tres de estos morteros—ASTM, BS y DIN (antiguo)—se fabrican con un solo tipo de arena. Para la fabricación del mortero DIN se

utilizan dos clases de arena y para el mortero CEM se emplean tres tipos. En la figura 1 se representan las curvas granulométricas de estas cinco arenas. Para el mortero BS, y DIN (antiguo) se utiliza una zona granulométrica muy limitada. La arena ASTM, que está construida también de una sola fracción, está un poco mejor distribuida. La arena CEM, compuesta de tres grupos distintos, tiene un campo granulométrico muy amplio y una distribución granulométrica continua. La arena DIN, sin embargo, compuesta de dos fracciones distintas, acusa una granulometría discontinua, y es la única que contiene el grupo granulométrico inferior a 60 μ . Las figuras 2a, b, c, d, e dan una idea de la estructura de los cinco morteros. En las secciones de los morteros DIN y CEM se ven relativamente pocos poros; sin embargo, en las de los morteros ASTM, BS, y DIN (antiguo), se observan en abundancia.

TABLA 6
Mortero para el ensayo de resistencia a la compresión
(composición y fabricación)

Método de ensayo	ASTM	BS	DIN	CEM	DIN (antiguo)
Arena:					
Número de tipos	1	1	2	3	1
Diámetro del grano más pequeño (mm)	0,15	0,60	0	0,08	0,74
Diámetro del grano más grande (mm)	0,59	0,85	1,25	1,70	1,39
Proporción de mezcla (partes en peso)	1:2,75		1:3		
Relación agua/cemento durante la preparación	(0,52) *	0,40	0,60	0,50	0,32
Contenido de cemento por m ³ de mortero compactado (kg)			490-520		
Consistencia	Plástica	Seca	Plástica	Plástica	Seca
Medida de escurrimiento según DIN 1164 ** (vol. %)	15	10	19	16	10
Contenido de poros de aire del mortero fresco ** (vol. %)	6	4	2	3,5	7,5
Fabricación del mortero:					
Mezcla de arena y cemento	Aparato de agitación	A mano	A mano mezcladora	Aparato de agitación	A mano mezcladora ***
Mezcla del mortero					

* Valor de orientación, decisivo para la relación agua/cemento, es la consistencia (véase tabla 9).

** Valores medios (véase también tabla 9).

*** Antes de emplear la mezcladora según Steinbrück-Schmelzer, se mezcla a mano.

La proporción de mezcla de los morteros de ensayo es, en los cuatro procedimientos, 1:3 partes en peso. Para los morteros BS, DIN, CEM, y DIN (antiguo) se ha prescrito una relación agua/cemento, que oscila entre 0,32 y 0,60. Solamente en el mortero ASTM, la cantidad de agua añadida depende de la consistencia. El contenido de cemento por m³ de mortero compactado es casi igual en todos los procedimientos de ensayo. La consistencia aumenta empezando por un estado plástico y acabando en un estado muy seco, en el orden DIN, CEM, ASTM, BS y DIN (antiguo). El mortero según DIN, tiene después de la compactación, el menor contenido de poros y el mortero DIN (antiguo) el más elevado. Solamente los morteros de ensayo ASTM y CEM se amasan mecánicamente.

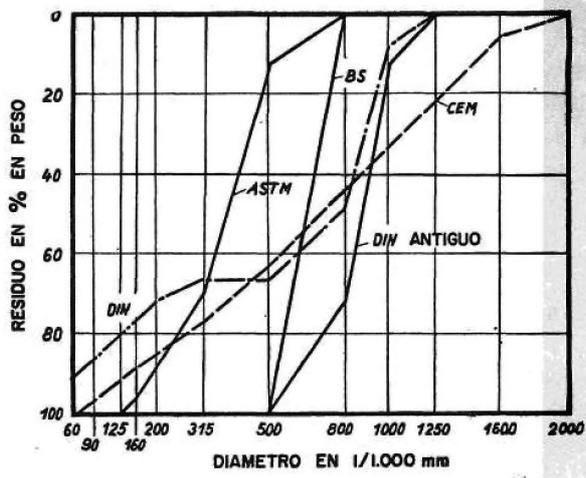


Fig. 1.—Granulometría de las arenas de ensayo

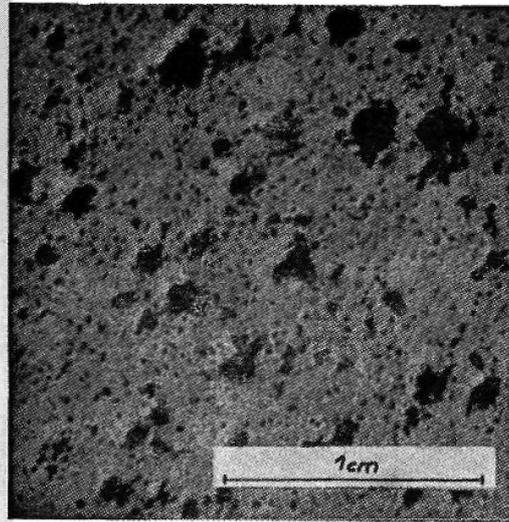


Fig. 2a.—Sección de un mortero ASTM

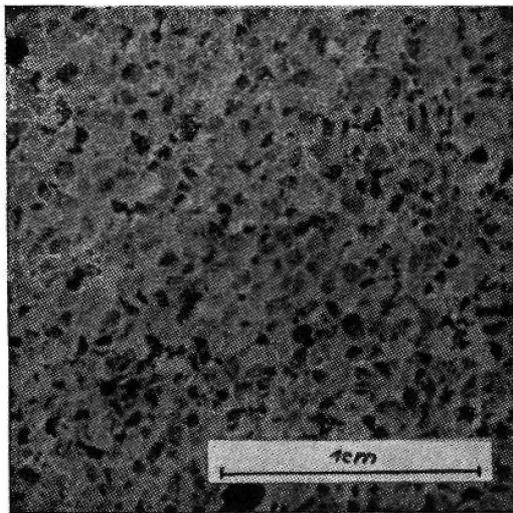


Fig. 2b.—Sección de un mortero BS

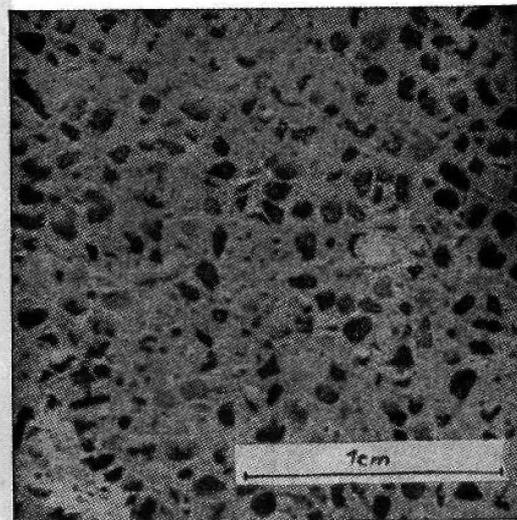


Fig. 2c.—Sección de un mortero DIN

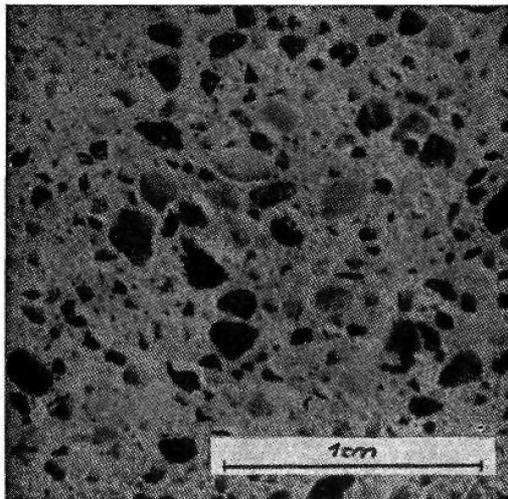


Fig. 2d.—Sección de un mortero CEM

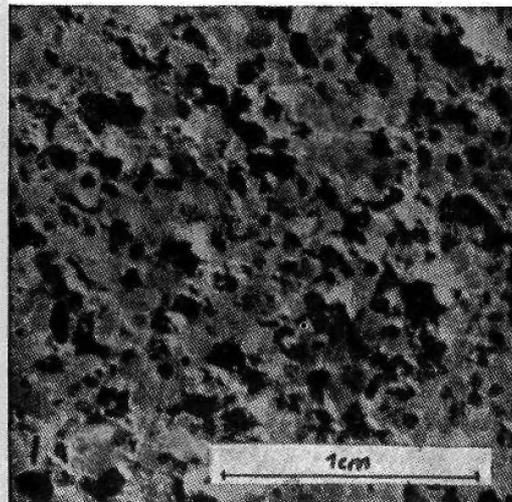


Fig. 2e.—Sección de un mortero DIN (antiguo)

La tabla 7 contiene datos sobre la forma, las dimensiones y el número de probetas, así como sobre su fabricación, conservación y ensayo. Las normas BS, y DIN (antiguo) prescriben tres o cinco probetas cúbicas de 7 cm de lado; las de DIN y CEM, tres prismas de 4 × 4 × 16 cm, y las de ASTM, tres probetas cúbicas de 5 cm de lado, en cada una de las edades de rotura.

La compactación del mortero ASTM y DIN se hace a mano; la del mortero BS, con una mesa vibratoria; la del mortero CEM, con una mesa de sacudidas, y la del mortero DIN (antiguo), con una máquina de martillos.

TABLA 7
Probetas para el ensayo de la resistencia a la compresión
(fabricación, conservación y ensayo)

Método de ensayo	ASTM	BS	DIN	CEM	DIN (antiguo)
Probeta:					
Forma	Cúbica	Cúbica	Prismática	Prismática	Cúbica
Dimensiones	5,08	7,07	4/4/16	4/4/16	7,07
Número por edad	3	3	3	3	5
Compactación	Apisonado a mano	Mesa vibratoria	Apisonado a mano	Mesa de sacudidas	Martillos
Conservación	24 horas en aire saturado de humedad y después en agua				
Temperatura del laboratorio de ensayo (°C).	20-27,5	17,7-23,3	18-21	20 ± 2	17-20
Temperatura de conservación (°C).	23 ± 1,7	18,9 ± 1,1	18-21	20 ± 1	17-20
Velocidad de carga durante el ensayo (kg/cm ² /s).	*)	6	15-20	10-20	20
Duración del ensayo:					
Fabricación de las probetas, incluyendo:					
La limpieza de los moldes (min).	22	32	22	21	41
Limpieza de las mezcladoras (min).	3	5	10	3	10

*) Tiempo prescrito hasta alcanzar la carga de rotura 20 - 80 s. En probetas cúbicas con una resistencia a la compresión mayor de 211 kg/cm² puede emplearse una carga inicial hasta la mitad del valor esperado con velocidad indeterminada.

El tipo de conservación es igual en todos los procedimientos de ensayo. Después de una conservación de 24 horas en aire muy húmedo se hace una conservación bajo agua hasta el momento de ensayo. Las temperaturas prescritas para el local donde se realizan los ensayos y las de las cámaras de conservación son parecidas; tampoco existen grandes diferencias en cuanto a la velocidad de carga en la rotura.

Para el amasado y fabricación de las probetas de la misma edad, se gasta más tiempo para el mortero de DIN (antiguo) y BS que para ASTM, DIN y CEM. La limpieza de los aparatos de amasado para DIN, y DIN (antiguo) requieren también más tiempo que en el resto de los métodos de ensayo.

4. ensayos con mortero y hormigón

Para determinar las diferencias de resistencia a la compresión de un mismo cemento, ensayado según los cinco procedimientos, se realizaron ensayos comparativos con tres cementos portland, A, B, y C, y dos cementos de alto horno, D y E. De los mismos cementos se fabricaron dos hormigones, I y II, que se ensayaron en su resistencia a la compresión para poder comparar el desarrollo de la resistencia del mortero y del hormigón. En la tabla 8 se ven los datos más importantes sobre los cementos empleados en los ensayos.

TABLA 8
Propiedades de los cementos A - E

		Cementos portland			Cementos de alto horno	
		A	B	C	D	E
Finura de molienda						
Residuo (%)	4900 M	0,2	3,6	5,0	3,2	1,2
	10000 M	0,6	12,4	16,1	8,4	3,0
Valor Blaine	cm ² /g	5360	4040	2820	3940	3750
Fraguado						
Principio	h	1 ⁵⁵	3 ²⁰	3 ⁰⁰	3 ¹⁰	3 ⁴⁰
Final	h	3 ²⁰	4 ¹⁰	5 ⁰⁰	5 ⁵⁵	7 ³⁰
Medida de escurrimiento						
DIN 1164	cm	17,7	18,1	19,1	18,9	19,8
Contenido de						
CaO	%	65,0	65,6	64,0	55,2	47,2
Escoria de alto horno	%	0	0	0	45	70

4. 1. mortero de ensayo

En la tabla 9 se han resumido las propiedades de los morteros de ensayo fabricados con los cinco cementos, excluyendo la resistencia a la compresión. Las diferencias en la consistencia, en el contenido de poros y en la relación agua/cemento de los materiales ensayados son a veces considerables. Los morteros, según ASTM, DIN y CEM, exudan en su superficie parte del agua de amasado después de la compactación. La cantidad de agua segregada se midió al cabo de dos horas, y con el agua que quedaba en el mortero se calculó la relación agua/cemento real después del fraguado. La tendencia a exudar agua aumentó en el orden CEM, ASTM y DIN y la cantidad era siempre distinta. El cemento C separó la mayor cantidad y el cemento A la menor. Una prueba evidente de la existencia de poros en el mortero endurecido es la absorción de agua, según DIN 52 103, a 150 atm y a una edad de 28 días. El mortero ASTM tiene el mayor volumen de poros y el mortero BS es el más pequeño.

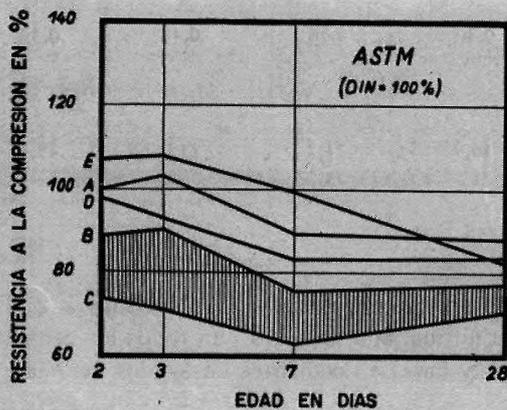


Fig. 3.—Resistencia a la compresión de los morteros de ensayo ASTM (%)

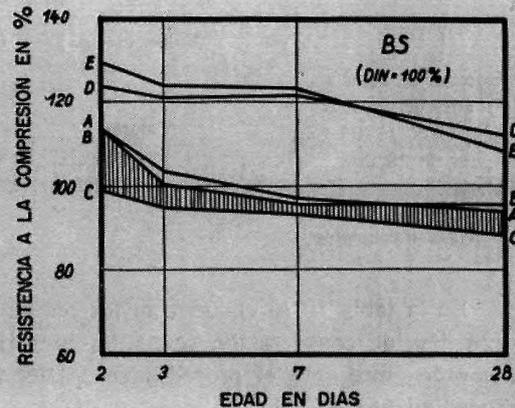


Fig. 4.—Resistencia a la compresión de los morteros de ensayo BS (%)

TABLA 9
Propiedades de los morteros de ensayo

Propiedad	Método de ensayo					
	Cemento	ASTM	BS	DIN	CEM	DIN (antiguo)
Medida de trabajo según DIN 1164 (cm).	A	16,1	10,3	17,7	15,4	10,0
	B	15,4	10,3	18,1	15,4	10,0
	C	14,5	10,9	19,1	15,0	(12,0)*
	D	15,0	10,3	18,9	16,1	10,5
	E	15,0	10,2	19,8	18,3	10,0
	Valor medio	15,2	10,4	18,7	16,0	10,5
Contenido por m ³ del mortero compactado (kg).	Valor medio	513	514	492	500	517
Contenido de poros del mortero fresco (vol.-%).	A	4,2	4,3	2,1	3,4	7,3
	B	5,2	3,8	1,7	3,8	7,0
	C	7,5	3,6	1,8	3,6	7,6
	D	7,9	3,8	1,6	4,0	7,4
	E	5,8	3,9	1,6	2,4	7,5
	Valor medio	6,1	3,9	1,8	3,4	7,6
Peso específico del mortero fresco (kg/m ³).	Valor medio	2195	2260	2265	2250	2235
Relación agua/cemento durante la preparación.	A	0,54				
	B	0,53				
	C	0,53	0,40	0,60	0,50	0,32
	D	0,51				
	E	0,49				
	Valor medio	0,52	0,40	0,60	0,50	0,32
Relación agua/cemento después del fraguado.	A	0,53		0,58	0,49	
	B	0,51		0,56	0,48	
	C	0,50	0,40	0,54	0,46	0,32
	D	0,50		0,55	0,48	
	E	0,48		0,56	0,47	
	Valor medio	0,50	0,40	0,56	0,48	0,32
Absorción de agua a 150 atm de presión según DIN 52103 después de 28 días (vol.-%).	Valores medios	23,5	16,9	21,7	21,0	18,1

*) Masa incoherente.

En la tabla 10 se encuentran las resistencias a la compresión en mortero determinadas a 2, 3, 7 y 28 días de conservación según las prescripciones de la norma. Son muy altas en todos los cementos ensayados mediante el procedimiento DIN (antiguo) y muy bajas en cementos ensayados mediante el procedimiento ASTM.

Las diferencias entre las resistencias a la compresión de los procedimientos BS, DIN y CEM son menos acusadas.

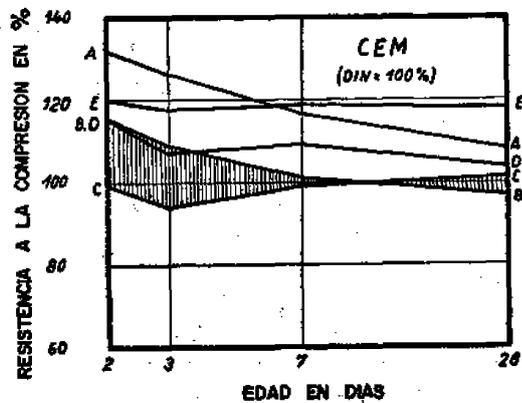


Fig. 5.—Resistencia a la compresión de los morteros de ensayo CEM (%)

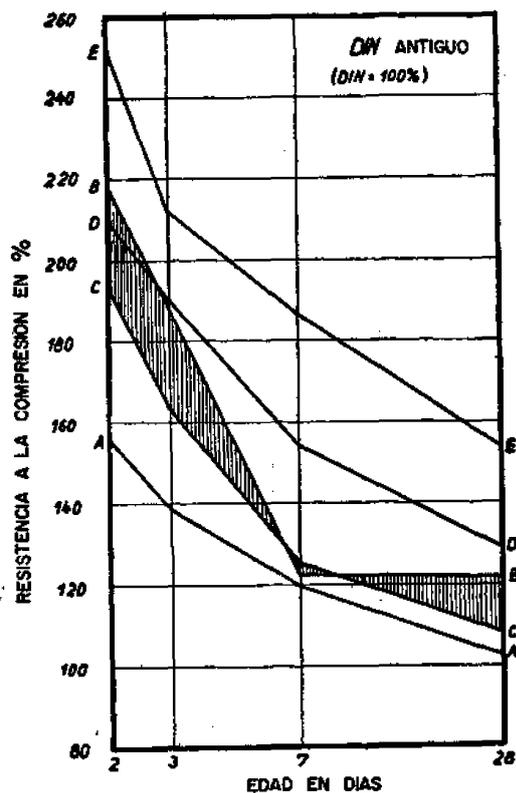


Fig. 6.—Resistencia a la compresión de los morteros de ensayo DIN-antiguo (%)

TABLA 10
Resistencia de los morteros de ensayo en kg/cm²

Cemento	Edad de ensayo en días	Procedimiento de ensayo				
		ASTM	BS	DIN	CEM	DIN (antiguo)
A	2	333	382	333	440	523
	3	409	413	396	500	551
	7	441	479	496	572	591
	28	518	548	584	628	602
B	2	170	220	191	219	419
	3	212	261	235	257	443
	7	288	363	379	382	463
	28	362	455	468	451	566
C	2	111	149	151	149	293
	3	144	194	203	191	333
	7	208	304	329	325	410
	28	336	411	469	486	509
D	2	136	173	139	161	293
	3	179	231	191	207	363
	7	235	345	282	306	434
	28	356	470	421	437	544
E	2	65	79	61	73	154
	3	110	127	104	121	216
	7	191	237	193	230	361
	28	276	365	337	396	519

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se han representado los valores porcentuales de la resistencia a la compresión, obtenidos en los cementos A, B, C, D y E después de 2, 3, 7 y 28 días. La resistencia a la compresión, según DIN, se fijó en un 100 %. En las figuras se han sombreado especialmente las zonas de los cementos portland con una finura de molienda normal B y C. Como complemento a esto, en la tabla 11 se han fijado los valores porcentuales máximos, medios y mínimos, a 2, 3, 7 y 28 días. En la línea inferior de esta misma tabla se expresa el valor medio total de cada método de ensayo.

TABLA 11
Resistencia a la compresión de los morteros de ensayo en %, DIN = 100 %

Edad (días)		Resistencia a la compresión en %			
		ASTM	BS	CEM	DIN (antiguo)
2 y 3	valor máx.	107	130	132	252
	valor mín.	71	95	94	139
	valor medio	93	114	114	194
7 y 28	valor máx.	99	123	119	187
	valor mín.	63	88	97	103
	valor medio	81	103	108	132
valor medio total		87	108	111	163

La resistencia a la compresión, según el procedimiento ASTM, en su valor medio total asciende a un 87 % de la resistencia a la compresión que se obtiene en el ensayo según DIN. El valor correspondiente al procedimiento BS asciende a un 108 %; el correspondiente al CEM, a un 111 %, y el correspondiente al DIN (antiguo), a un 163 %. Estos porcentajes medios varían considerablemente según la edad y según la clase del cemento. La influencia de la edad es muy grande en el procedimiento DIN (antiguo) (fig. 6). Un cemento joven tiene resistencias a la compresión porcentuales mucho mayores que un cemento viejo. La misma tendencia puede notarse también en los demás procedimientos de ensayo, aunque la influencia de la edad es mucho menos acusada y, por consiguiente, puede pasarse perfectamente por alto en un estudio más superficial. También son considerables las diferencias entre los cementos de una misma clase, ensayados según los distintos procedimientos. Por eso no es posible estipular una relación válida para todos los cementos entre resistencia a la compresión, según DIN, y cualquiera de los demás procedimientos de ensayo. El cambio, mediante cálculo, de la resistencia a la compresión obtenida por un procedimiento a otro es posible solamente cuando se determina el factor de cambio correspondiente mediante ensayos comparativos.

4. 2. hormigón

En la tabla 12 se resume la composición de los dos hormigones, fabricados con cada uno de los cementos. El hormigón I es un hormigón vibrado de alta calidad con una relación agua/cemento de 0,45, que, entre otras cosas, se utiliza para la fabricación de piezas prefabricadas. El hormigón II es un hormigón picado con una relación agua/cemento de 0,70 y el que más se fabrica a pie de la obra.

En la tabla 13 se han resumido las resistencias a la compresión de hormigón, determinada en probetas cúbicas de 20 cm de lado. Las probetas estaban envueltas un día en paños húmedos y fueron conservadas en agua de 18 a 21° C. Esta comparación demuestra la gran influencia de la relación agua/cemento sobre la resistencia a la compresión para todos los cementos. El hormigón con una relación agua/cemento = 0,45 alcanza, a corta edad, una resistencia a la compresión 2,5 veces mayor

que la de un hormigón con una relación agua/cemento de 0,70. Más tarde, sin embargo, la cifra de 2,5 se reduce a 1,5. En todos los cementos, la resistencia a la compresión porcentual de un hormigón con relación agua/cemento = 0,70 es menor que la de un hormigón con una relación agua/cemento = 0,45, en relación con el valor a 28 días = 100 % (18).

TABLA 12
Datos sobre los hormigones I y II

	Hormigón	
	I	II
Proporción de mezcla (partes en peso)	1:5,5	1:7,1
Relación agua/cemento	0,45	0,70
Contenido de cemento por m ³ de hormigón compactado (kg).	350	270
Escurrimiento (cm).	36-39	45-49
Compactación	Con mesa vibratoria durante 15 segundos.	Picado a mano
Contenido de poros (Vol.-%).	1,8	2,2

TABLA 13
Resistencia a la compresión de los hormigones

Cemento	Edad en días	Resistencia del hormigón (kg/cm ²)		$\frac{\sigma I}{\sigma II}$
		I	II	
A	2	473	200	2,4
	3	495	251	2,0
	7	582	361	1,6
	28	647	452	1,4
B	2	263	117	2,2
	3	326	150	2,2
	7	457	229	2,0
	28	560	328	1,7
C	2	198	74	2,7
	3	254	99	2,5
	7	399	165	2,5
	28	536	312	1,7
D	2	220	83	2,7
	3	263	110	2,4
	7	378	199	1,9
	28	547	297	1,8
E	2	96	31	3,1
	3	170	49	3,5
	7	278	112	2,5
	28	435	257	1,7

4. 3. comparación de la resistencia a la compresión entre mortero y hormigón

En la figura 7 se expresan la resistencia a la compresión de los hormigones I y II, fabricados con los cinco cementos, y la de los cinco morteros a la edad de 28 días. La resistencia a la compresión de los morteros ensayados después de 28 días se encuentra, en casi todos los cementos, comprendida entre las de los hormigones I y II. Solamente en el cemento E, la resistencia a la compresión, según DIN (antiguo), es considerablemente mayor que la del hormigón I. Normalmente, la resistencia a la

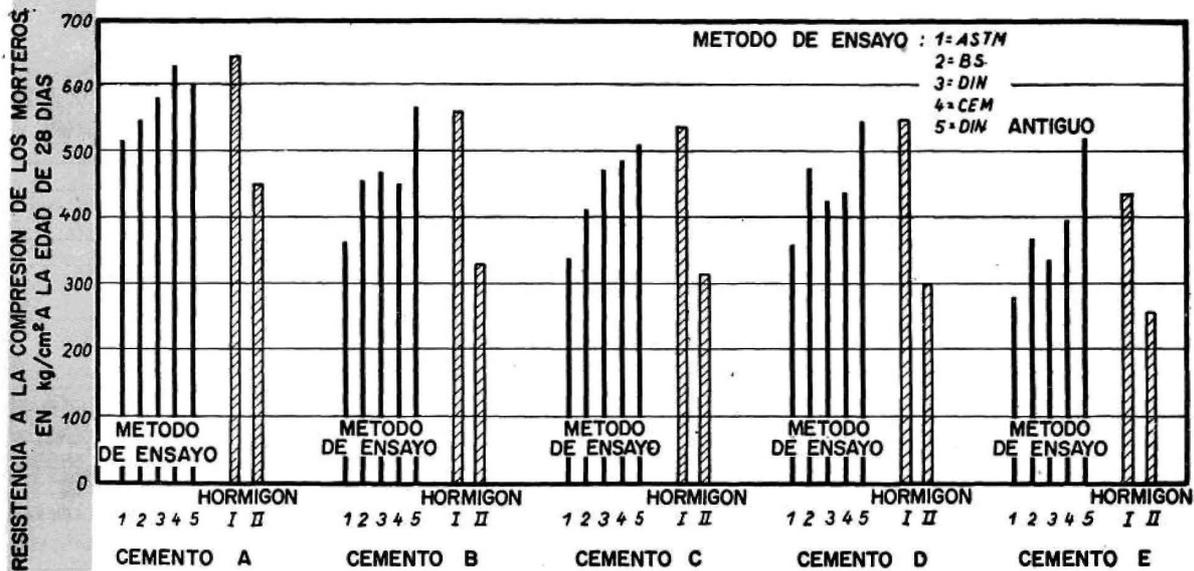


Fig. 7.—Resistencia a la compresión a la edad de 28 días

compresión, según DIN (antiguo) es muy parecida a la del hormigón I, y la resistencia, según ASTM, es más parecida a la del hormigón II. Los valores de resistencia a la compresión obtenidos con los demás procedimientos de ensayo BS, DIN y CEM se encuentran entre las de los dos hormigones.

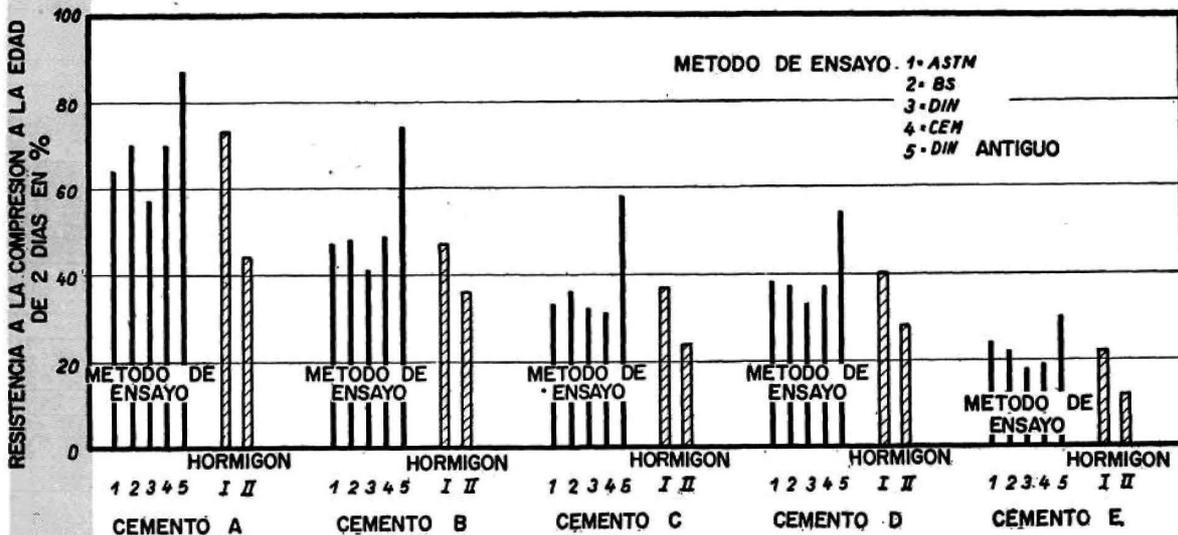


Fig. 8.—Resistencia a la compresión después de 2 días (%) *

* La resistencia a la compresión a la edad de 28 días = 100 %.

Como ejemplo, para observar la resistencia inicial, se han representado los resultados en porcentajes del valor después de 28 días a la compresión de los morteros y hormigones en cuestión, después de dos días, expresados en % del resultado a 28 días (fig. 8).

Las resistencias porcentuales a la compresión según ASTM, BS, DIN y CEM se encuentran, después de dos días, sin excepción, entre la de los dos hormigones y más cerca todavía a la del hormigón I.

Solamente las resistencias porcentuales a la compresión, según DIN (antiguo), hacen una excepción y son mucho mayores que las del hormigón I.

A base de los ensayos realizados se puede estimar la relación agua/cemento, que debía de tener un hormigón completamente compactado para alcanzar la resistencia a la compresión de cierto mortero de ensayo en las mismas condiciones de conservación. La influencia del tamaño de las probetas se pasa por alto y se toma como base, para la zona en cuestión, una relación lineal entre la resistencia a la compresión del hormigón y la relación agua/cemento. Con esta condición previa se obtienen las relaciones agua/cemento de la tabla 14 para el hormigón que tiene, aproximadamente, la misma resistencia a la compresión que el mortero correspondiente.

TABLA 14
Relación agua/cemento del hormigón con resistencia a la compresión similar a la del mortero normalizado

Cemento	Edad de ensayo (días)	Relación agua/cemento del hormigón				
		ASTM	BS	DIN	CEM	DIN (antiguo)
A	2	0,57	0,52	0,57	0,48	<0,40
	3	0,54	0,53	0,55	0,47	<0,40
	7	0,60	0,55	0,55	0,46	0,45
	28	0,61	0,57	0,53	0,48	0,51
	Valor medio	0,58	0,54	0,55	0,47	
B	2	0,61	0,53	0,57	0,53	<0,40
	3	0,61	0,54	0,58	0,53	<0,40
	7	0,63	0,55	0,53	0,53	0,45
	28	0,67	0,56	0,55	0,57	0,45
	Valor medio	0,63	0,55	0,56	0,54	
C	2	0,63	0,54	0,54	0,54	<0,40
	3	0,63	0,54	0,52	0,54	<0,40
	7	0,65	0,54	0,53	0,53	0,43
	28	0,67	0,59	0,53	0,50	0,47
	Valor medio	0,65	0,55	0,53	0,53	
D	2	0,60	0,53	0,59	0,56	<0,40
	3	0,59	0,50	0,57	0,55	<0,40
	7	0,65	0,49	0,59	0,55	<0,40
	28	0,64	0,53	0,58	0,56	0,46
	Valor medio	0,62	0,51	0,58	0,56	
E	2	0,56	0,50	0,58	0,52	<0,40
	3	0,58	0,53	0,59	0,55	<0,40
	7	0,59	0,52	0,59	0,53	<0,40
	28	0,67	0,54	0,59	0,50	<0,40
	Valor medio	0,60	0,52	0,59	0,53	
	Valor medio total	0,62	0,53	0,56	0,53	<0,40

La resistencia a la compresión del mortero ASTM puede compararse con un hormigón de una relación agua/cemento de 0,62, deduciendo el valor medio de los ensayos realizados con todos los cementos. Las diferencias entre los cementos, no obstante, son considerables y oscilan entre 0,58 y 0,65. En todos los cementos, se ve claramente un aumento de la relación agua/cemento en el hormigón correspondiente según va aumentando la edad de la probeta, de manera que el mortero de ensayo tiene una resistencia inicial casi siempre mayor que el hormigón. La resistencia a la compresión, obtenida mediante este procedimiento de ensayo, permite, solamente dentro de ciertos límites, sacar conclusiones sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.

El mortero BS tiene una resistencia a la compresión casi igual a la de un hormigón con una relación agua/cemento de 0,53 (valor medio de los ensayos hechos con todos los cementos). La diferencia en la relación agua/cemento del hormigón y del mortero de ensayo es más pequeña entre los cementos ensayados que con ASTM. La relación agua/cemento acusa, por término medio, fuertes dispersiones entre 0,51 y 0,55, y aumenta casi siempre con la edad de la probeta ensayada en casi todos los cementos; este aumento es menor que con ASTM. La resistencia inicial del mortero de ensayo es un poco mayor que la del hormigón. La resistencia a la compresión del mortero, determinada según el procedimiento BS, refleja suficientemente el comportamiento de los cementos en forma de hormigón.

La resistencia a la compresión del mortero DIN corresponde, por término medio, a un hormigón con relación agua/cemento de 0,56. Las diferencias entre los cinco cementos son insignificantes. La relación agua/cemento del hormigón con la misma resistencia, determinado a base de todos los ensayos, acusa una fuerte dispersión (entre 0,32 y 0,59) en los cementos ensayados, pero no existe ninguna diferencia notable entre las distintas fechas de ensayo. En cuanto al desarrollo de la resistencia del mortero y del hormigón en función del tiempo pasa algo parecido. La resistencia a la compresión, según la norma DIN, refleja suficientemente el comportamiento del cemento en forma de hormigón.

La resistencia a la compresión del mortero CEM puede compararse, por término medio, con la de un hormigón, cuya relación agua/cemento asciende a 0,53. En el ensayo de los cinco cementos se han obtenido relaciones de agua/cemento que oscilan entre 0,47 y 0,56 (en término medio). La relación agua/cemento (0,47) para el cemento A en forma de hormigón y con una resistencia a la compresión casi igual a la del mortero normal, queda considerablemente por debajo de la relación agua/cemento del hormigón fabricado con los demás cementos, de tal forma que el mortero normal fabricado con este cemento tiene una resistencia a la compresión relativamente alta comparado con hormigón. Tampoco en el mortero fabricado con todos los cementos CEM se han observado grandes diferencias entre las relaciones agua/cemento y la edad de la probeta a la hora del ensayo. El desarrollo de la resistencia del mortero y del hormigón es similar. El resultado obtenido con el mortero permite sacar suficientes conclusiones sobre el hormigón, prescindiendo del comportamiento especial del cemento A.

Los ensayos realizados con mortero DIN (antiguo) han dado los resultados menos favorables si se comparan con los del hormigón. La resistencia a la compresión es especialmente mayor en un mortero de menor edad y mucho mayor que la del hormigón I con una relación agua/cemento de 0,45. La resistencia de los morteros de ensayo sube más rápidamente que la del hormigón. La resistencia a la compresión del mortero DIN (antiguo) permite sacar solamente unas conclusiones muy limitadas sobre el comportamiento del cemento en el hormigón.

4. 4. influencia de sustancias inertes

La adición de sustancias finamente molidas al cemento portland reduce su resistencia a la compresión, y el índice de disminución frente al hormigón fabricado con cemento portland depende de la cantidad añadida.

Una mezcla de cemento portland y harina de una piedra inerte es especialmente apropiada para comprobar los procedimientos de ensayo en la determinación de la resistencia del cemento. El ensayo normalizado de cemento debe reflejar también el comportamiento de estos conglomerantes en el hormigón ⁷⁾. Los ensayos descritos a continuación muestran hasta qué punto lo expuesto anteriormente vale también para los cinco procedimientos de ensayo.

Para el ensayo se utilizaron dos conglomerantes F y G, que se fabricaron en el laboratorio, mezclando cemento portland B y harina de cuarzo

Conglomerante F:

85 % en peso de cemento B y 15 % su peso de harina de cuarzo.

Conglomerante G:

70 % en peso de cemento B y 30 % en peso de harina de cuarzo.

En la tabla 8 se han señalado las características del cemento B. La harina de cuarzo tenía aproximadamente la misma finura que el cemento B. El residuo en el tamiz de 4.900 mallas/cm² ascendió a un 3 %, y el residuo en el tamiz de 10.000 mallas por cm², a un 6 %. La superficie específica según Blaine era 3.540 cm²/gramo.

TABLA 15

**Disminución de la resistencia a la compresión del mortero de ensayo en %
(resistencia a la compresión del mortero de ensayo con
cemento portland B = 100 %)**

Conglomerante	Edad de ensayo (días)	Métodos de ensayo				
		ASTM	B5	DIN	CEM	DIN (antiguo)
F 85 % cemento portland B	2	27	8	25	24	25
	3	22	13	18	22	18
	7	24	17	24	20	4
15 % harina de cuarzo	28	32	10	23	21	7
	Valor medio	26	12	23	22	13
G 70 % cemento portland B	2	50	35	48	42	37
	3	52	34	42	33	27
	7	48	34	50	41	21
30 % de harina de cuarzo	28	39	28	45	36	28
	Valor medio	47	33	46	38	28

Los ensayos de resistencia realizados con los conglomerantes F y G según los cinco procedimientos dieron como resultado las disminuciones porcentuales de resistencia (tabla 15), en contraposición a las resistencias a la compresión con el cemento B (tabla 10). Con los dos hormigones I y II, utilizados con fines de comparación y cuyas composiciones se detallan en la tabla 12, se obtuvieron las pérdidas de resistencia a la compresión indicadas en la tabla 16 y expresadas en %. Al sustituir un 15 % del cemento B por harina de cuarzo, la caída de la resistencia era, por término medio, del 16 % en el hormigón I y del 23 % en el hormigón II.

TABLA 16

**Disminución de la resistencia a la compresión de hormigón en %
(resistencia a la compresión del hormigón con cemento
portland B = 100 %)**

Conglomerante	Edad de ensayo (días)	Hormigón	
		I	II
F			
	2	12	23
85 % cemento portland B	3	16	22
15 % harina de cuarzo	7	11	22
	28	25	25
	Valor medio.	16	23
G			
	2	32	55
70 % cemento portland B	3	40	50
	7	37	46
30 % harina de cuarzo	28	54	50
	Valor medio.	41	50

El mortero ASTM, con un 26 % de adición, acusó una disminución, en la resistencia, menor que el hormigón II. En los morteros según BS, y DIN (antiguo), la disminución, con 12 ó 13 % de adición, es menor que en el hormigón I. Solamente los morteros, según DIN y CEM, se comportan igual que el hormigón II. La disminución en resistencia ascendió a 23 ó 22 %. Si se sustituye un 30 % del cemento portland por harina de cuarzo, la resistencia a la compresión en el hormigón I baja en un 41 %, y en el hormigón II, en un 50 %. También, en este caso, los morteros, según BS y DIN (antiguo), experimentaron una disminución menor (un 33 y un 23 %) que el hormigón I. La concordancia entre los hormigones y los morteros, según DIN y ASTM, es, en cambio, muy buena. La disminución de la resistencia a la compresión en el mortero CEM está en un 38 %, muy poco por debajo del hormigón I.

La disminución que se produce en la resistencia del hormigón empleando como conglomerante cemento portland y harina de un material inerte, es casi la misma que se produce en el ensayo del mismo conglomerante, según DIN, y ensayando, según ASTM y CEM, la disminución sigue siendo aproximada. Los métodos de ensayo BS y DIN (antiguo), en cambio, dan para estos conglomerantes unas resistencias demasiado altas en comparación con el hormigón.

4. 5. influencia del tamaño de la probeta

Se estudió la influencia del tamaño de las probetas sobre la resistencia a la compresión con los morteros de ensayo ASTM y DIN. El moldeo y la compactación de los morteros fabricados con cemento portland Z 275 se realizaron basándose en el procedimiento de ensayo correspondiente. Además se procuró compactar todas las probetas por igual. Todas se conservaron 24 horas en aire saturado de humedad y, a continuación, bajo agua de 18 a 21° C hasta el comienzo del ensayo. La velocidad de carga fue, en todos los ensayos, a 3 kg/cm² por segundo. La tabla 17 indica los resultados de los ensayos.

TABLA 17
Influencia del tamaño de las probetas

Mortero de ensayo	Probeta	Resistencia media a la compresión a una edad de			
		3 días		28 días	
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
ASTM	Prisma 4/4/16	216	100	372	100
	Pr. cúbica 5 cm.	212	98	362	97
	Pr. cúbica 7 cm.	201	93	348	92
	Pr. cúbica 10 cm.	192	89	338	91
	Pr. cúbica 20 cm.	184	84	320	87
DIN	Prisma 4/4/16	235	100	468	100
	Pr. cúbica 5 cm.	230	98	468	100
	Pr. cúbica 7 cm.	221	94	425	91
	Pr. cúbica 10 cm.	210	90	430	92
	Pr. cúbica 20 cm.	202	86	401	85

La influencia del tamaño de las probetas es pequeña a juzgar por los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del cemento. A igualdad de condiciones, la probeta cúbica de 5 cm de lado dio, por término medio, un 2 % menos que el prisma de 4 × 4 × 16 cm y la cúbica de 7 cm dio una resistencia a la compresión menor en un 7 % que la citada prismática. Por consiguiente, las diferencias en la resistencia a la compresión obtenidas en el ensayo de un solo cemento, según los cinco procedimientos, no se deben a las diferencias en el tamaño de la probeta, sino más bien a la diferente composición del mortero de ensayo.

Las probetas cúbicas de 10 ó 20 cm de lado, fabricadas del mismo mortero, dieron, por término medio, unas resistencias a la compresión menores en un 10 ó 15 % que las prismáticas de 4 × 4 × 16 centímetros.

5. observaciones finales

Los resultados de los ensayos demuestran que los cinco métodos dan cifras diferentes en la resistencia a la compresión. Además, el desarrollo en el tiempo de la resistencia del mortero y del hormigón de composición corriente no coinciden en todos los procedimientos. La razón está, en primer lugar, en la diferente composición del mortero. La comparación de la resistencia obtenida por un

procedimiento a la resistencia obtenida por otro, se dificulta porque el factor de cambio depende del tipo de cemento y, en parte, de la edad. Todas estas dificultades pueden eliminarse, solamente, mediante la unificación de los procedimientos de ensayo en un nivel internacional. Por otra parte, el desarrollo durante los últimos años nos ha demostrado lo difícil que es seguir adelante en este camino. Las metas perseguidas en otros campos de la técnica no han podido alcanzarse más que al cabo de mucho tiempo, e igualmente pasará con la meta de introducir en las normas de todos los estados el mismo procedimiento de ensayo de resistencia del cemento.

Por esta razón se recomienda elaborar, a nivel internacional, una norma básica para la preparación de un mortero de ensayo uniforme. Tendría que contener unos límites para la granulometría de la arena, un factor agua/cemento, un contenido de poros en la probeta y la consistencia del mortero. Los valores límites habrán que escogerse de forma tal, que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión difieran muy poco de unos a otros. Tal norma básica, que se limitará a unas prescripciones para la composición del mortero, dentro de ciertos márgenes, debería tenerse en cuenta en la revisión de las normas nacionales, permitiendo además la conservación de los procedimientos propios de cada país.

resumen

En la introducción se habla del desarrollo de los ensayos de resistencia en Alemania, desde las primeras normas sobre el suministro y el control del cemento portland en el año 1877 hasta nuestros días. A continuación se citan las normas actualmente vigentes en el mundo sobre la determinación de la resistencia del cemento, poniendo de relieve la importancia de alcanzar un procedimiento uniforme de ensayo a un nivel internacional.

Para poder comparar las ventajas y los inconvenientes de los diferentes métodos, se confrontan los datos más importantes y se realizan ensayos comparativos con 5 cementos de distinta composición. Además se han comparado las resistencias a la compresión de los morteros con dos hormigones de diferente composición.

Los métodos de ensayo ASTM, DIN y CEM requieren, aproximadamente, el mismo tiempo de ejecución, un poco menos que las normas DIN (antiguo) y BS. Los métodos ASTM y DIN dan resultados reproducibles en comparación con los del hormigón. Este es también el caso para los métodos CEM y BS. Las resistencias determinadas, según las antiguas normas DIN, se diferencian, en cambio, considerablemente de las resistencias del hormigón. En el caso de conglomerantes compuestos de cemento portland y polvo inerte, existe una concordancia bastante buena entre la resistencia a la compresión de los morteros y de los hormigones utilizando el método DIN. En este caso, también se ha obtenido una concordancia satisfactoria con los métodos CEM y ASTM. Las antiguas normas DIN y las BS, en cambio, dan, en comparación con el hormigón, una resistencia a la compresión demasiado elevada. Teniendo en cuenta todos estos factores, ninguno de los tres métodos ASTM, DIN o CEM es superior a los demás.

Se propone, como primer paso, la estandarización de la determinación de las resistencias de los cementos en un nivel internacional, elaborando una norma básica (prescripción general) sobre la composición del mortero. Pero independientemente de esto, no se deberá perder de vista la meta final de introducir en las normas de todos los estados los mismos métodos de ensayo para la determinación de la resistencia del cemento.

- 1) Wittekindt, W.: Ausländische Normen und deutsche Zemente. Zement-Kalk-Gips 1 (1948), 81-85, 108-111, 126-128; 5 (1952), 184-189.
- 2) Platzmann, C. R.: Internationalisierung der Normen I bis IV. Zement 16 (1927), 1067-1073; 17 (1928), 1335-1336 und 19 (1930), 4-7, 49-52.
- 3) Platzmann, C. R.: Internationalisierung der Zementnormen. Tonindustrie-Zeitung 59 (1935), 359-360.
- 4) Plaßmann, E., u. Wittekindt, W.: Sind internationale Zementnormen möglich? Zement - Kalk - Gips 3 (1950), 121-125.
- 5) On the Testing of Cement. Report of Cembureau's Working Party on Cement Standards including Method of Testing Strength of Cement. Cembureau, The Cement Statistical and Technical Association, Malmö 1959.
- 6) Deutscher Zement 1852 . 1952. Verein Deutscher Portland- und Hüttenzementwerke E. V.
- 7) Dyckerhoff, W.: Nachteile unserer heutigen Zementnormen. 50. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten E. V. vom 31. 3. und 1. 4. 1936 in Berlin, Zementverlag GmbH., Berlin-Charlottenburg 2, 1936.
- 8) Haegermann, G.: Die Prüfung von Zement mit weich angemachtem Mörtel. Zement 24 (1935), 529-532, 607-609, 695-701.
- 9) Graf, O.: Die Eigenschaften des Betons. Zweite neubearbeitete Auflage von W. Albrecht und H. Schäffler.
- 10) Walz, K.: Längenänderungen und Spannungen durch Schrumpfen und Schwinden des Betons. Beton, Herstellung und Verwendung 7. (1957), 203-205.
- 11) Walz, K.: Bewertung des Schwindmaßes verschiedener Zemente. Beton, Herstellung u. Verwendung 11 (1961), 557-558.
- 12) Burchartz, H.: Die geschichtliche Entwicklung der Zementprüfung nach den Normen. Tonindustrie-Zeitung 51 (1927), 1845-1847, 1862-1864.
- 13) Goslich, K. A.: Die Entwicklung der deutschen Zementnormen. Tonindustrie-Zeitung 55 (1931), 4-7.
- 14) Review of the Portland Cement Standards of the World. Cembureau, The Cement Statistical and Technical Association, Malmö 1961.
- 15) Review of Standards for Cement other than Portland. Cembureau, The Cement Statistical and Technical Association, Malmö 1958.
- 16) Framm, F.: Spezial-Zemente. Zement 9 (1920), 541-543, 577-579.
- 17) Sevieri, V.: Normenbeton, Betrachtung zur Normenprüfung der Zemente. Tonindustrie-Zeitung 59 (1935), 244-246.
- 18) Meyer, A.: Über den Einfluß des Wasserzementwertes auf die Frühfestigkeit von Beton. Betonstein-Zeitung 29 (1963), 391-394.
- 19) Grün, R., u. Obenauer, K.: Über die Eigenschaften von Deckenzementen und Beziehung zwischen alten und neuen Normen. Zement 32 (1943), 101-108.
- 20) Hummel, A., u. Lenhard, H.: Von der Beziehung zwischen Zementfestigkeit und Betonfestigkeit. Zement 31 (1942) 339-345, 361-365.
- 21) Keil, F., u. Gille: Versuche über Beton- und Mörtelfestigkeit. Tonindustrie-Zeitung 63 (1939), 197-199, 215-217. 43