

RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON. RELACION ENTRE RESISTENCIA CILINDRICA Y RESISTENCIA CUBICA

Moisés PIÑEIRO*
José JARA**
Sergio VALENZUELA***
José GENTA****



RESUMEN

Se da cuenta de investigaciones tendientes a definir la relación que liga la resistencia a compresión cilíndrica con la cúbica. Para definir dicha relación en los casos prácticos más frecuentes se examinó la influencia de diversos parámetros: tipo de grava, edad de ensayo, tamaño máximo y tipo de cemento. El análisis estadístico mostró que dichos parámetros no influían significativamente. Como relación entre ambas resistencias se propone una línea compuesta de dos tramos rectos: para el primero la ecuación $R_{cil} = 0,86 R_{cub}$ hasta una resistencia cúbica de 400 kg/cm^2 ; sobre esta resistencia, $R_{cil} = 0,48 R_{cub} + 152$. Se citan y se discuten datos de otros investigadores.

INTRODUCCION

Para definir la calidad de un hormigón la característica que más a menudo se utiliza es su resistencia a la compresión. Lo corriente para determinarla es someter a compresión uniaxial probetas de forma sencilla: cubos, prismas o cilindros. Sin embargo la cifra de resistencia a la compresión que se obtenga depende de la forma y dimensiones de la probeta en que se haya determinado. En

*Ingeniero del IDIEM. Sección Investigación de Hormigones.

**Ingeniero Civil. Parsons Company (Chile).

***Ingeniero Civil. Ferrocarriles del Estado.

****Ingeniero Civil. Ministerio de Obras Públicas.

algunos casos de la práctica es corriente que no exista mucha libertad para elegir la forma de la probeta que se utilizará para controlar la resistencia a la compresión. Esto es especialmente válido en el caso de testigos extraídos de obras donde la probeta puede ser cilíndrica —que es lo más frecuente— o prismática. En el caso particular del control de calzadas la probeta que se utiliza es el testigo cilíndrico extraído mediante sonda. Es indudable, por lo tanto, que si las relaciones entre resistencias fueran conocidas serían de gran utilidad en el control del hormigón.

Para relacionar la resistencia a compresión cúbica con la resistencia a compresión cilíndrica se han propuesto hasta la fecha diversas relaciones; sin embargo, en la mayor parte de los casos, ha quedado la duda de que las relaciones determinadas sean sólo válidas para condiciones particulares. Consecuencia directa de la situación anotada es que distintos laboratorios usen distintas cifras —0,80 ó 0,88 u otras— para pasar de la resistencia cilíndrica a la cúbica¹. Es natural entonces que esta disparidad de cifras provoque en más de algún caso conflictos entre constructores y propietarios de obras en construcción.

Nuestras observaciones personales y las de otros investigadores nos han permitido seleccionar un cierto número de variables que, según creemos, nos dan una garantía razonable de representar la mayor parte de los casos prácticos. Los parámetros considerados en este estudio fueron: tipo de árido, tipo de cemento, tamaño máximo del árido y edad de ensayo del hormigón.

MATERIALES, EQUIPO, METODO

Las resistencias de los hormigones preparados se determinaron en cubos de

TABLA I
CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS ARIDOS EMPLEADOS

	Módulo de finura	Densidad ^a aparente mat. asent. kg/dm ³	Peso específico	Absorción %
Arena	2,4 - 2,8	1,68 - 1,94	2,65 - 2,72 ^b	1,0 - 2,2 ^b
Grava silícea rodada		1,70	2,67 ^c	0,3 ^c
Grava silícea chancada		1,51 - 1,65	2,66 - 2,70 ^c	0,6 - 0,7 ^c
Grava caliza chancada		1,52	2,64 ^c	1,4 ^c

a) ASTM C 29-60

b) ASTM C 128-59

c) ASTM C 127-59

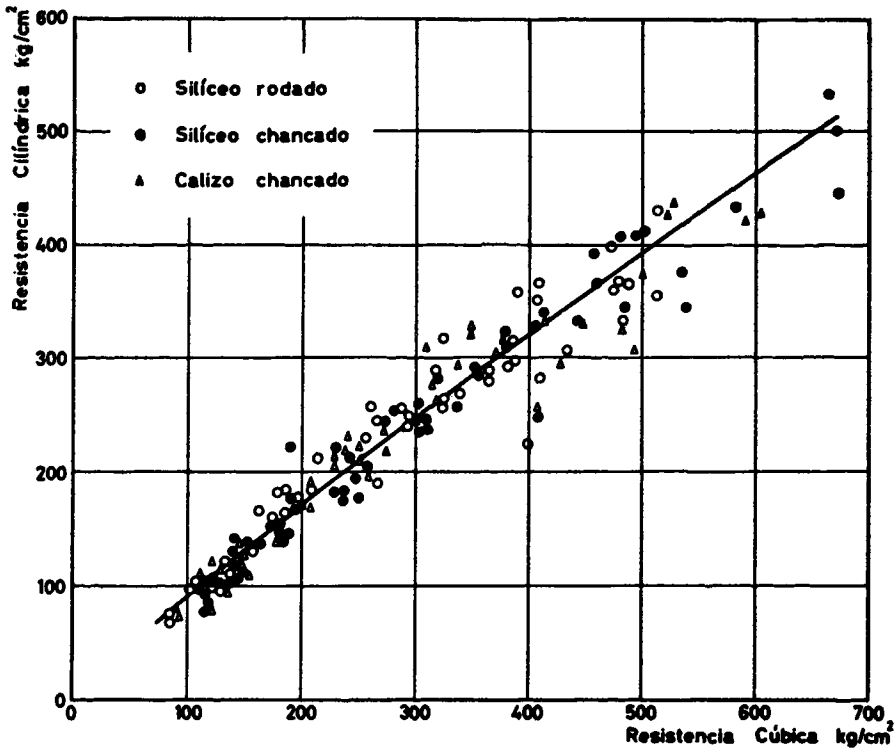


Fig. 1. Línea de regresión cilindro-cubo, hormigones confeccionados con gravas de diferentes forma y naturaleza.

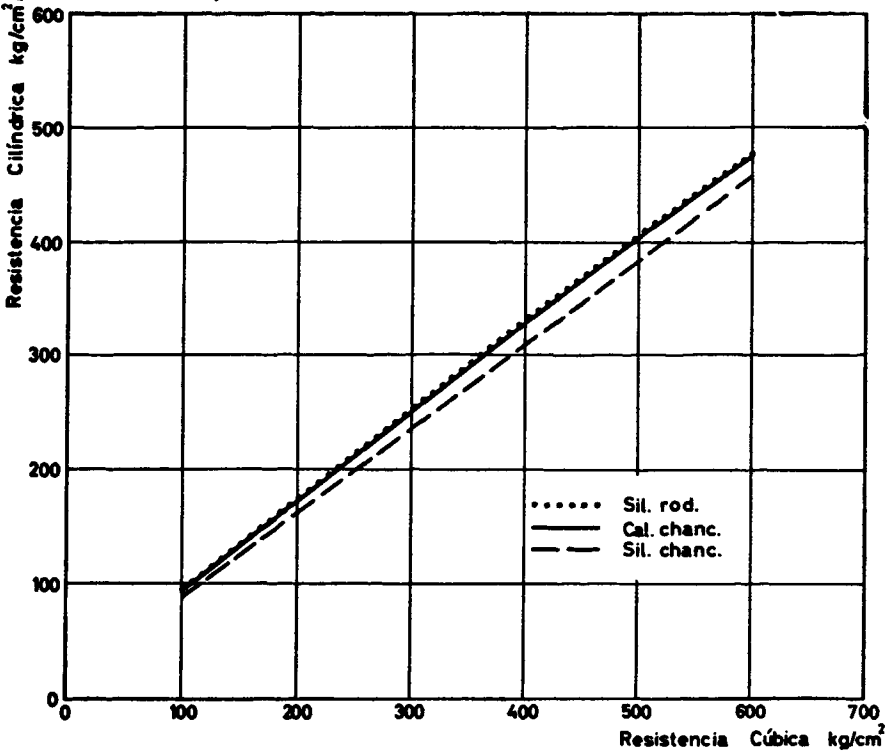


Fig. 2. Líneas de regresión particulares para hormigones fabricados con gravas diferentes. Las líneas no difieren significativamente y pueden refundirse en una sola que es la indicada en Fig. 1.

20 cm de arista y cilindros normales de 15 cm de diámetro y 30 de altura. Para la confección de los cubos se emplearon moldes de fierro fundido, de paredes gruesas de modo de asegurar la mayor indeformabilidad posible, tanto de caras como de ángulos durante el armado. La preparación del molde cilíndrico necesita en general de menos cuidados: en su caso el esmero debe transferirse a la operación del rectificado. Para el rectificado de las probetas cilíndricas se empleó una mezcla 3:1 de azufre y arcilla, fundida a 150 °C.

Todas las probetas se mantuvieron en cámara húmeda hasta los 28 días y se ensayaron húmedas. Los ensayos de las probetas cilíndricas se hicieron siguiendo la norma ASTM C 39 - 59² y los de las probetas cúbicas según la norma DIN 1048³, empleando una prensa Losenhausenwerk de 300 t.

Los áridos considerados en el estudio fueron uno calizo chancado, otro silíceo rodado y un tercero silíceo chancado. Los cementos empleados fueron dos: un portland puzolánico y un portland. Los tamaños máximos considerados fueron ½'', 1'', 1½'' y 2''; y las edades de ensayo, 7, 28 y 90 días.

Las granulometrías de las gravas empleadas siempre estuvieron entre los márgenes aconsejados por la norma ASTM C 33-64⁴. La arena que se utilizó a lo largo de toda la serie de experiencias fue de un solo tipo, silíceo, provenientes de una fábrica de material chancado. Debido a que los acopios debieron renovarse, su granulometría varió, aunque dentro de un ámbito reducido, tal que siempre se mantuvo dentro de los límites aconsejados por la norma ASTM mencionada. En la Tabla I indicamos un resumen de las propiedades de los áridos empleados.

De los cementos utilizados uno fue un portland puzolánico (portland con un 15% de puzolana), que llamaremos cemento 1, y el otro un portland, cemento 2. Cada uno de estos cementos permitió cubrir un amplio margen de resistencias. En toda la serie en que se empleó el cemento 1 se utilizó para rectificar las probetas cilíndricas un dispositivo rectificador horizontal; en cambio en la serie correspondiente al cemento 2 se empleó un dispositivo rectificador vertical. Con el cemento 1 se estudió el efecto del tipo de árido; con el cemento 2 el efecto de la edad y del tamaño máximo.

Los datos para esta investigación fueron obtenidos en los años 1965 y 1966, en ambos casos entre los meses de abril a noviembre.

Para evitar el efecto de cualquier causa asignable, la fabricación de hormigón de las diferentes series se programó según muestreo al azar⁵.

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se han indicado en las Tablas II. Cronológica-

TABLA II (a)

RESISTENCIAS CUBICAS Y CILINDRICAS PARA HORMIGONES
FABRICADOS CON TRES GRAVAS DIFERENTES

Cemento 1, tamaño máximo 1½", ensayos a 28 días.

Grava chancada			Grava rodada			Grava caliza		
A/C	R _{cub} ² kg/cm ²	R _{cil} ² kg/cm ²	A/C	R _{cub} ² kg/cm ²	R _{cil} ² kg/cm ²	A/C	R _{cub} ² kg/cm ²	R _{cil} ² kg/cm ²
0,30	672	446	0,30	512	355	0,37	604	429
0,30	582	443	0,35	484	333	0,37	482	336
0,31	672	500	0,36	514	430	0,39	592	422
0,34	539	346	0,37	486	364	0,39	500	376
0,36	484	345	0,38	434	308	0,40	428	296
0,37	664	532	0,40	410	282	0,41	404	259
0,38	502	412	0,40	399	326	0,42	527	438
0,40	536	377	0,42	474	360	0,44	496	307
0,41	460	367	0,42	472	399	0,44	522	426
0,42	481	408	0,43	484	366	0,46	366	294
0,44	443	332	0,45	388	298	0,50	412	336
0,44	412	340	0,48	406	352	0,54	444	330
0,46	457	393	0,48	390	358	0,54	348	322
0,47	494	408	0,51	364	282	0,55	380	312
0,48	406	328	0,52	339	268	0,56	348	326
0,48	408	348	0,53	408	366	0,56	369	304
0,49	352	292	0,54	382	294	0,62	314	278
0,52	380	310	0,55	318	285	0,62	308	310
0,52	304	234	0,56	364	289	0,65	240	232
0,56	310	236	0,58	384	316	0,66	273	243
0,57	309	245	0,59	324	262	0,67	318	263
0,57	258	205	0,61	294	248	0,70	250	222
0,57	379	322	0,63	260	258	0,72	251	210
0,59	302	260	0,63	286	254	0,72	274	218
0,61	354	286	0,63	324	258	0,73	227	216
0,62	300	246	0,66	294	248	0,74	207	170
0,64	337	258	0,67	266	244	0,75	257	200
0,65	320	282	0,68	324	319	0,79	239	214
0,67	249	178	0,68	266	190	0,79	204	190
0,69	184	140	0,73	212	211	0,79	226	208
0,70	237	181	0,75	255	230	0,85	200	172
0,71	248	196	0,78	207	185	0,91	180	146
0,73	273	244	0,79	194	177	0,92	129	118
0,75	238	180	0,81	158	131	0,99	152	129
0,75	281	254	0,81	185	184	1,00	146	141
0,77	230	182	0,83	180	182	1,00	122	80
0,77	180	153	0,83	176	152	1,01	146	118
0,77	242	212	0,90	185	164	1,02	122	121
0,79	190	222	0,91	161	166	1,04	114	104
0,81	230	222	0,95	128	102	1,04	145	122
0,82	194	168	0,97	140	104	1,06	124	100
0,84	146	108	1,02	114	101	1,06	94	78
0,84	190	177	1,04	135	120	1,06	138	113
0,86	185	148	1,04	124	99	1,10	90	78
0,88	186	148	1,09	84	77			
0,89	174	152	1,10	102	98			
0,90	164	138	1,11	84	76			
0,91	140	131						
0,92	138	103						
0,95	146	114						
0,95	141	142						
0,97	152	140						
0,97	142	118						
1,00	128	102						
1,00	112	96						
1,01	119	106						
1,03	119	86						
1,07	124	106						
1,07	114	78						
1,09	115	93						

Coeficientes de variación medios:		
Grava chancada	Grava rodada	Grava caliza
R _{cub} 3,2%	R _{cub} 4,9%	R _{cub} 3,4%
R _{cil} 3,0%	R _{cil} 3,8%	R _{cil} 5,1%

mente la serie correspondiente al cemento I fue la primera en prepararse. Por creerlo de interés se incluyen junto a los resultados los valores medios de las dispersiones del ensayo.

INTERPRETACION

Para analizar los diferentes resultados obtenidos se utiliza una función potencial de la forma.

$$R_{cil} = A R_{cub}^k$$

El empleo de esta expresión se basa en la suposición que tanto la resistencia cúbica como la cilíndrica cumplen la fórmula de Abrams que relaciona la resistencia con la razón agua-cemento⁶. La función anotada tiene la ventaja de que ajusta aceptablemente a los resultados y hace muy simple el análisis

TABLA II (b)
RESISTENCIAS CUBICAS Y CILINDRICAS. HORMIGONES ENSAYADOS
A TRES EDADES DIFERENTES

Cemento 2; árido silíceo chancado: tamaño máximo 1½".

EDAD 7 DIAS			EDAD 28 DIAS			EDAD 90 DIAS		
A/C	R _c kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²	A/C	R _c kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²	A/C	R _c kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²
0,35	448	383	0,35	461	352	0,35	561	416
0,40	435	331	0,40	487	414	0,40	551	453
0,45	368	300	0,45	402	356	0,45	479	410
0,50	325	258	0,50	382	350	0,50	458	392
0,55	289	234	0,55	399	371	0,55	407	373
0,60	307	260	0,60	355	353	0,60	410	376
0,60	307	263	0,60	361	328	0,60	378	349
0,65	245	189	0,65	313	216	0,65	341	291
0,70	201	145	0,70	306	213	0,70	320	297
0,75	176	142	0,75	251	210	0,75	299	219
0,80	173	148	0,80	245	208	0,80	293	281
0,85	135	106	0,85	192	157	0,85	221	186
0,90	117	96	0,90	187	148	0,90	213	193
0,95	133	109	0,95	176	147	0,95	210	203
1,00	116	88	1,00	172	160	1,00	193	183
1,05	94	76	1,05	146	130	1,05	171	148
1,10	76	61	1,10	121	95	1,10	143	122
Promedio de coeficientes de variación: R _{cub} 3,4% R _{cil} 4,5%			Promedio de coeficientes de variación: R _{cub} 3,9% R _{cil} 5,6%			Promedio de coeficientes de variación: R _{cub} 2,8% R _{cil} 4,4%		

TABLA II (c)
RESISTENCIAS CUBICAS Y CILINDRICAS PARA HORMIGONES FABRICADOS
CON DIVERSOS TAMAÑOS MAXIMOS DE ARIDOS

Cemento 2, árido silíceo chancado, ensayos a 28 días.

T máx = 1/2"			T máx = 1"			T máx = 1 1/2"			T máx = 2"		
A/C	R _{cub} kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²	A/C	R _{cub} kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²	A/C	R _{cub} kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²	A/C	R _{cub} kg/cm ²	R _{cil} kg/cm ²
0,35	577	439	0,35	546	378	0,35	461	352	0,35	530	420
0,35	585	449	0,40	499	425	0,40	487	414	0,40	453	—
0,40	533	434	0,45	401	376	0,45	402	356	0,45	494	420
0,40	543	447	0,50	365	339	0,50	382	350	0,50	406	—
0,45	506	385	0,55	356	306	0,55	399	371	0,55	390	293
0,50	469	405	0,60	359	341	0,60	355	353	0,60	363	301
0,55	436	383	0,65	348	328	0,60	361	328	0,65	310	237
0,60	374	316	0,70	263	254	0,65	313	216	0,70	236	193
0,65	340	319	0,75	254	238	0,70	306	213	0,75	158	134
0,70	285	237	0,80	240	216	0,75	251	210	0,80	204	163
0,75	249	233	0,85	201	175	0,80	245	208	0,85	228	189
0,80	227	231	0,90	179	179	0,85	192	157	0,90	233	175
0,85	247	199	0,95	180	163	0,90	187	148	0,95	187	174
0,90	215	209	1,00	140	130	0,95	176	147	1,00	146	126
0,95	197	183	1,05	135	123	1,00	172	160	1,05	131	97
1,00	195	184	1,10	128	118	1,05	146	130	1,10	154	124
1,05	144	128				1,10	121	95			
1,10	125	110									
Promedio de coefi- cientes de variación:			Promedio de coefi- cientes de variación:			Promedio de coefi- cientes de variación:			Promedio de coefi- cientes de variación:		
R _{cub} 4,0%			R _{cub} 3,0%			R _{cub} 3,9%			R _{cub} 5,0%		
R _{cil} 7,6%			R _{cil} 4,0%			R _{cil} 5,6%			R _{cil} 5,4%		

estadístico; tiene sin embargo algunos inconvenientes que analizaremos más adelante.

Se comenzó la investigación estudiándose el efecto de la naturaleza y forma de la grava. En la Fig. 1 puede verse la disposición de los resultados para este caso. Las regresiones determinadas para cada tipo de grava no difieren significativamente entre sí y pueden por ello refundirse en una línea de regresión común. (Fig. 2).

El efecto analizado a continuación fue el de la edad de ensayo. La disposición de los resultados en este caso puede verse en la Fig. 3. Las edades consideradas fueron 7, 28 y 90 días. El análisis hecho muestra que la edad, hasta 90 días, no afecta significativamente las relaciones calculadas. (Fig. 4).

El efecto del tamaño máximo de la grava se estudió utilizando hormigones confeccionados con cemento 2. En este caso se puede considerar que las líneas no difieren significativamente entre sí, con excepción de la línea correspondiente al tamaño 1/2". Pero, ya que esta línea yace prácticamente en el límite la hemos conservado en el conjunto y no hemos eliminado los datos respectivos en el cálculo de la línea final. Anotemos además que aunque se con-

sideró finalmente que las diversas líneas no diferían entre sí, las cuatro ecuaciones respectivas muestran una innegable influencia del tamaño máximo; en este sentido el efecto más pronunciado es el provocado por el tamaño $\frac{1}{2}$ " (Figs. 5 y 6):

$$T_{m \acute{a}x} = \frac{1}{2}'' ; R_{cil} = 2,56 R_{cub}^{0,81}$$

$$T_{m \acute{a}x} = 1'' ; R_{cil} = 1,32 R_{cub}^{0,93}$$

$$T_{m \acute{a}x} = 1\frac{1}{2}'' ; R_{cil} = 0,79 R_{cub}^{1,01}$$

$$T_{m \acute{a}x} = 2'' ; R_{cil} = 0,71 R_{cub}^{1,02}$$

El empleo de dos tipos de cemento diferentes tampoco dio diferencias significativas; los datos y resultados respectivos aparecen en las Figs. 7 y 8.

Según ha podido observarse, ninguna variación de los parámetros analizados provocó efectos significativos; de modo, pues, que todos los datos pueden ser considerados en conjunto.

Entre las diferentes fórmulas y trabajos referentes a la relación cilindro-cubo hemos seleccionado los de Dreux⁷, Hernández⁸, Kesler⁹, L'Hermite¹⁰ y Vuorinen¹¹ (Figs. 9 a 11). Para la comparación con los datos de estos investigadores, cuando se dispuso de los resultados originales, se ajustó la función potencial a que nos hemos referido. Un resumen de la información citada puede verse en la Tabla III y en la Fig. 12.

TABLA III
RESULTADOS OBTENIDOS POR DIVERSOS INVESTIGADORES

Investigador	Dim. probetas			Tipo árido	Expresión deducida o recomendada	Ambito R _{cub} kg/cm ²
	cubos		cilindros			
	arista cm	diám. cm	alt. cm			
Dreux	14	16	32	————	$R_{cil} = 0,32 R_{cub}^{1,17}$	70 - 580
Hernández	15 o 20	15	30	silíc. rod.	$R_{cil} = 0,82 R_{cub}^{-21}$	60 - 250
Hernández	15 o 20	15	30	calizo chanc.	$R_{cil} = 0,87 R_{cub}^{-17}$	60 - 250
Kesler	15 ^a	15	30	————	$R_{cil} = 1,04 R_{cub}^{0,97}$	80 - 520
L'Hermite	15	15	30	————	$R_{cil} = R_{cub} (0,30 + 0,20 \log R_{cub})$	
Vuorinen	20	15	30	rodado	$R_{cil} = 0,26 R_{cub}^{1,19}$	130 - 490
Vuorinen	20	15	30	chancado	$R_{cil} = 0,37 R_{cub}^{1,13}$	140 - 590
Datos IDIEM	20	15	30	Div. tipos	$R_{cil} = 1,20 R_{cub}^{0,94}$	80 - 670

a) cubo modificado.

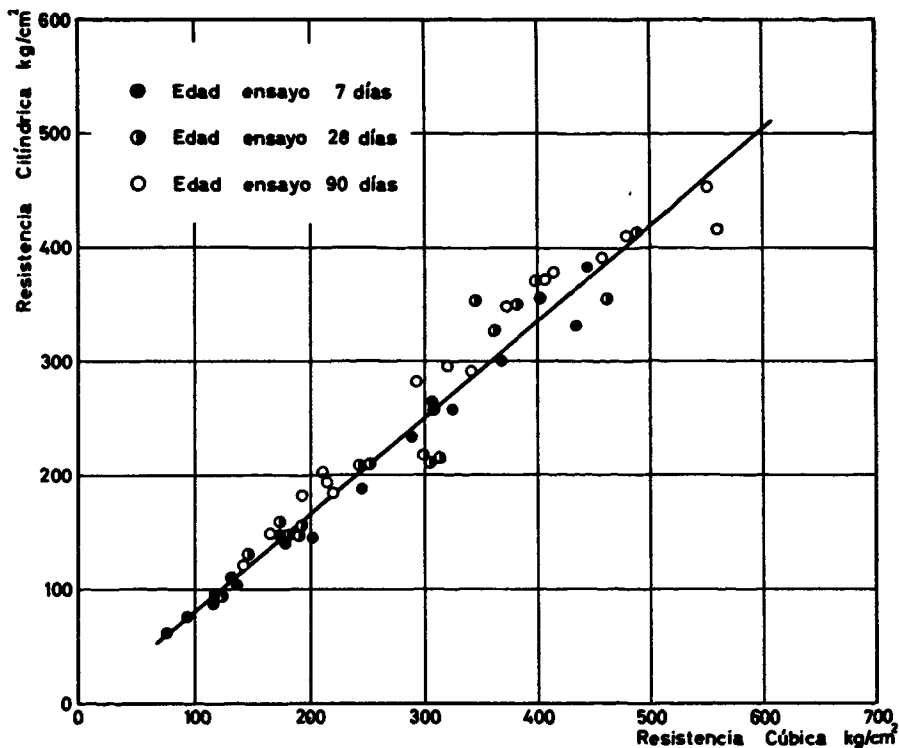


Fig. 3. Línea de regresión cilindro-cubo para hormigones ensayados a diferentes edades.

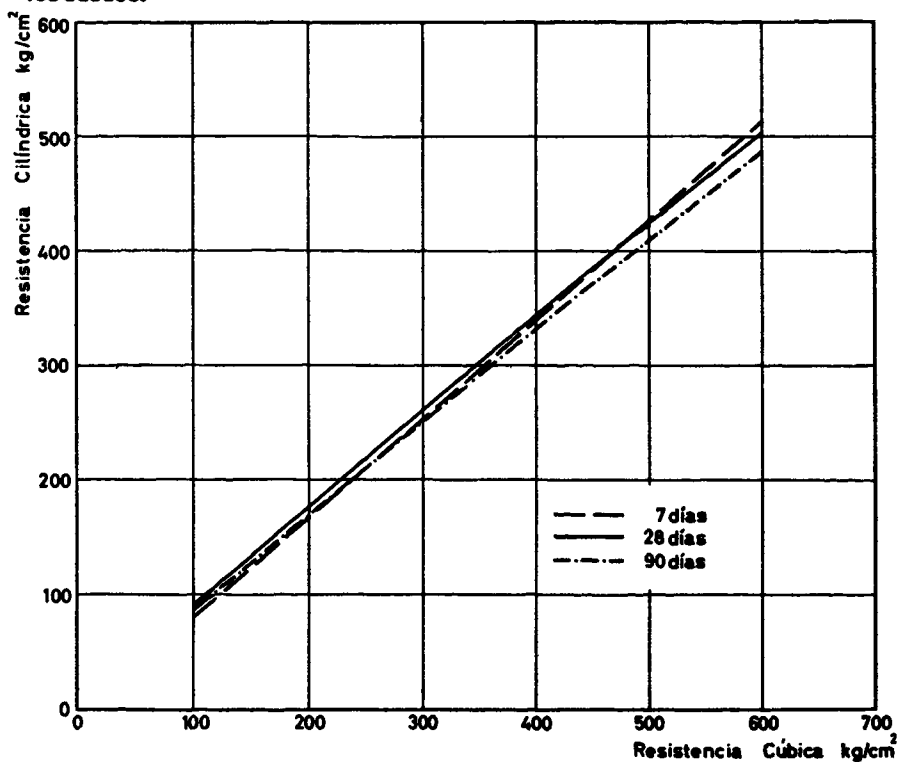


Fig. 4. Líneas de regresión particulares para hormigones ensayados a diferentes edades. Las líneas no difieren significativamente y pueden refundirse en una sola que es la indicada en Fig. 3.

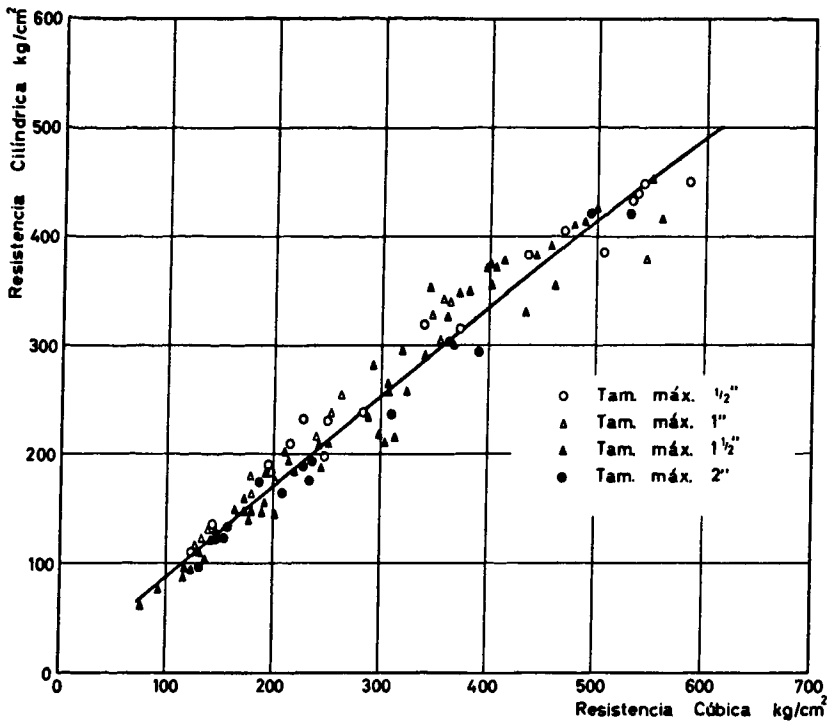


Fig. 5. Línea de regresión cilindro-cubo para hormigones confeccionados con gravas de tamaños máximos diferentes.

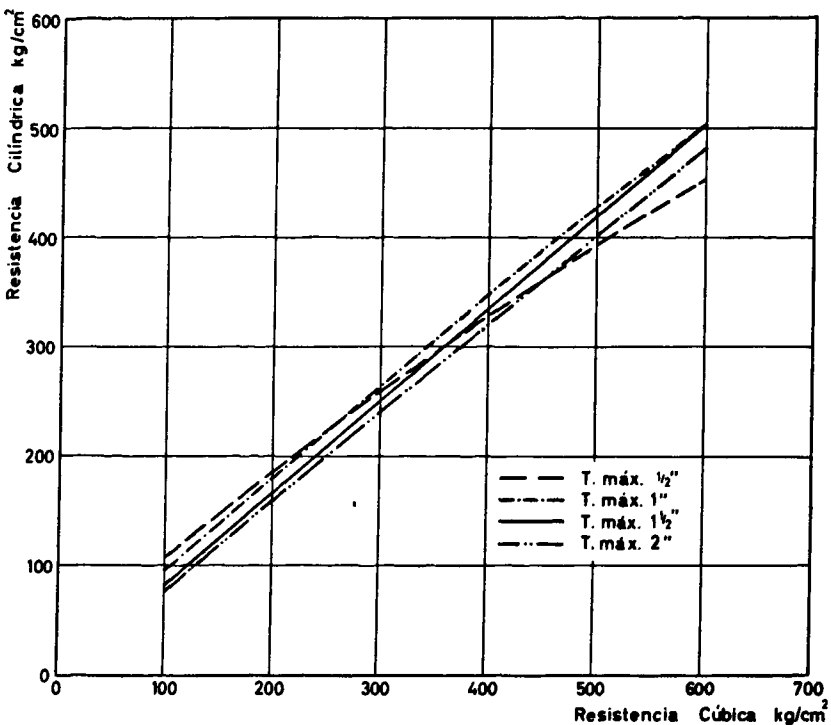


Fig. 6. Líneas de regresión particulares para hormigones confeccionados con gravas de tamaños máximos diferentes. La línea correspondiente al tamaño $\frac{1}{2}$ " difiere significativamente de las restantes, sin embargo, por estimarse que esta diferencia yacía en el límite de lo aceptable se refundió, junto con las otras líneas, obteniéndose la indicada en la Fig. 5.

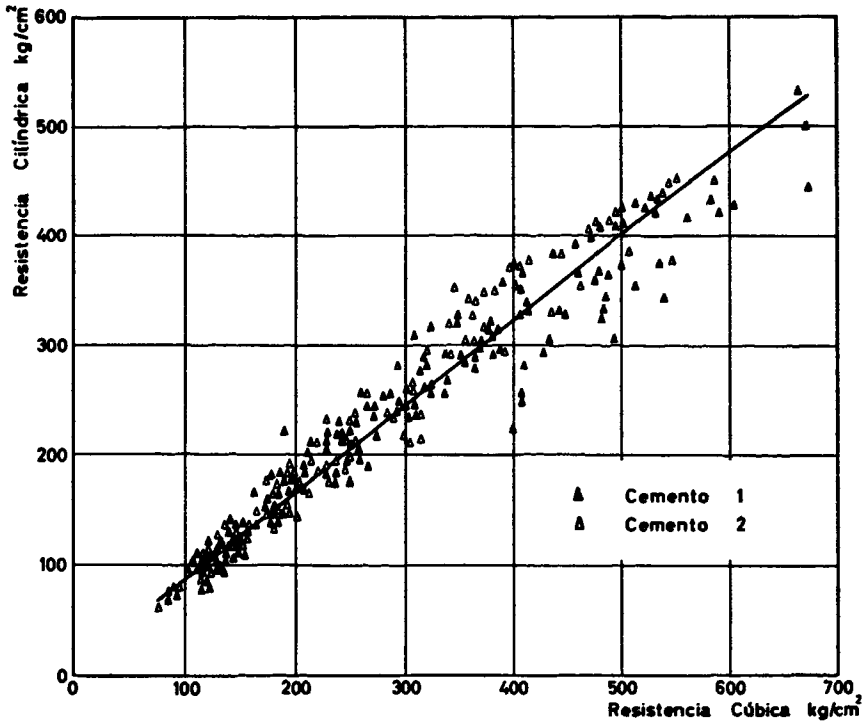


Fig. 7. Línea de regresión cilíndro-cubo para hormigones confeccionados con cementos diferentes.

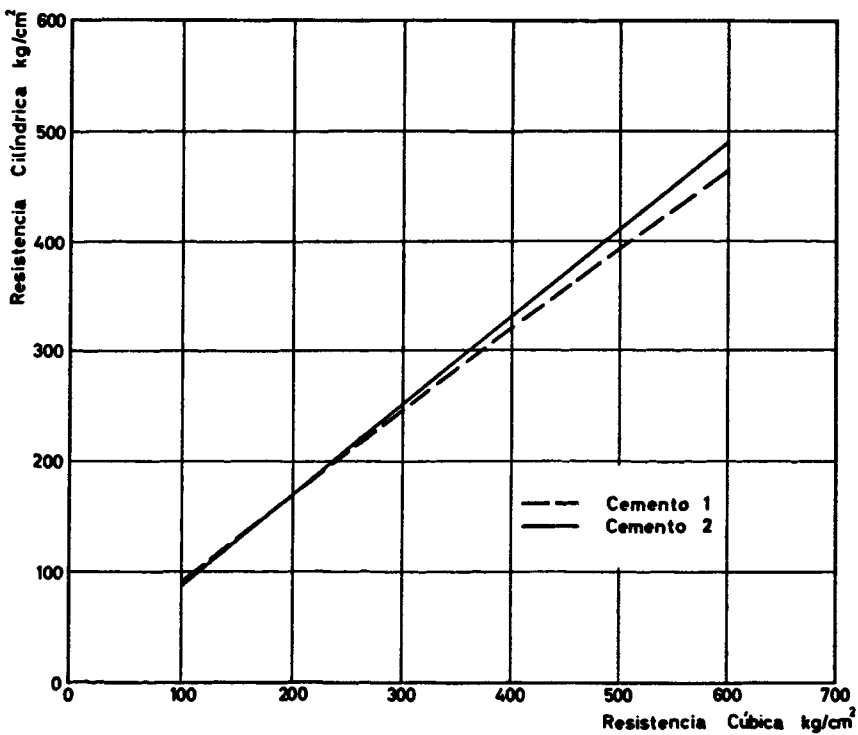


Fig. 8. Líneas de regresión particulares para hormigones fabricados con cemento 1 o con cemento 2. Las líneas no difieren significativamente entre sí y se refundieron para dar la línea indicada en Fig. 7.

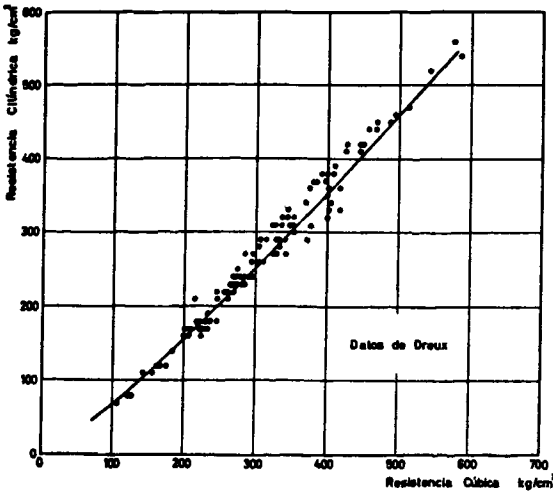


Fig. 9. Línea de regresión cilindro-cubo según datos de Dreux, a los que se ha ajustado una función potencial.

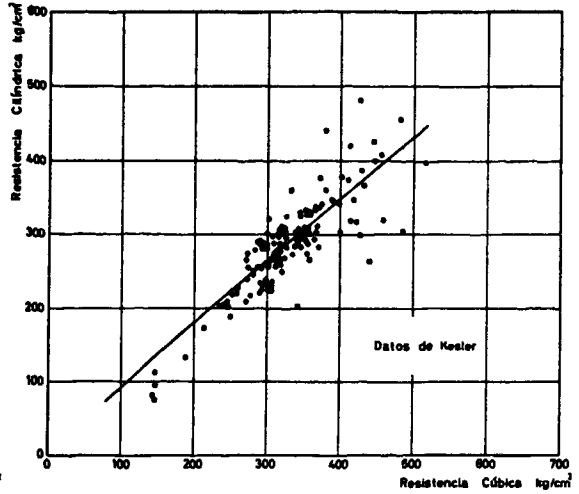


Fig. 10. Línea de regresión cilindro-cubo modificada, según datos de Kesler, a los que se ha ajustado una función potencial.

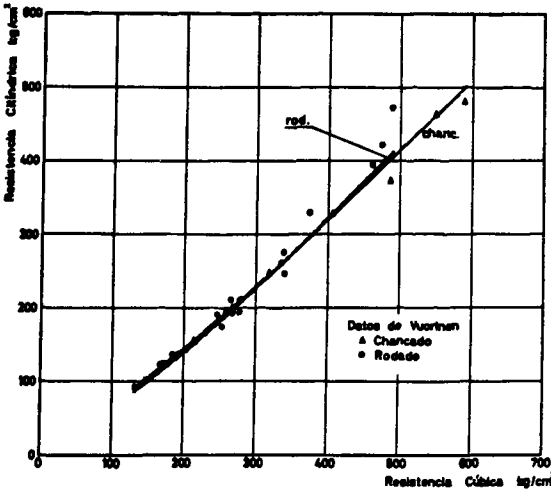


Fig. 11. Línea de regresión cilindro-cubo según datos de Vuorinen, a los que se ha ajustado una función potencial.

Se puede observar que en muchos casos se utilizaron cubos de 14 o 15 cm de arista. Tanto en los datos de Dreux como en los nuestros la dispersión va creciendo con el aumento de resistencia, pero ese hecho no impide que el recorrido de la línea de regresión en esa parte sea bien definido; esto no ocurre en los datos de Kesler donde a la zona de valores más altos podrían ajustarse líneas de las más variadas formas. Es probable que en ese caso tales variaciones excesivas provengan de los resultados de ensayo de los cubos modificados.

La expresión potencial $R_{cil} = A R_{cub}^k$, que fuera de mucha utilidad para efectuar el cálculo estadístico y las comparaciones entre líneas, muestra inconvenientes para su empleo en la práctica. El principal de ellos puede observarse si se examina la Fig. 13. Puede verse allí que tratándose de resistencias menores que 400 kg/cm² la expresión $R_{cil} = 1,20 R_{cub}^{0,94}$ se ajusta con bastante fidelidad a las medias de las diferentes zonas; para resistencias mayores, en cambio, la línea teórica se separa, elevándose sobre los puntos medios. Se consigue un mejoramiento notable en la bondad del ajuste si en lugar de ajustar una sola línea se emplean dos tramos rectos continuos, pero de distinta pendiente. En tal caso el quiebre de la línea quedaría ubicado en la zona de 350 a 400 kg/cm² (R_{cub}). Las ideas esbozadas fueron llevadas a la

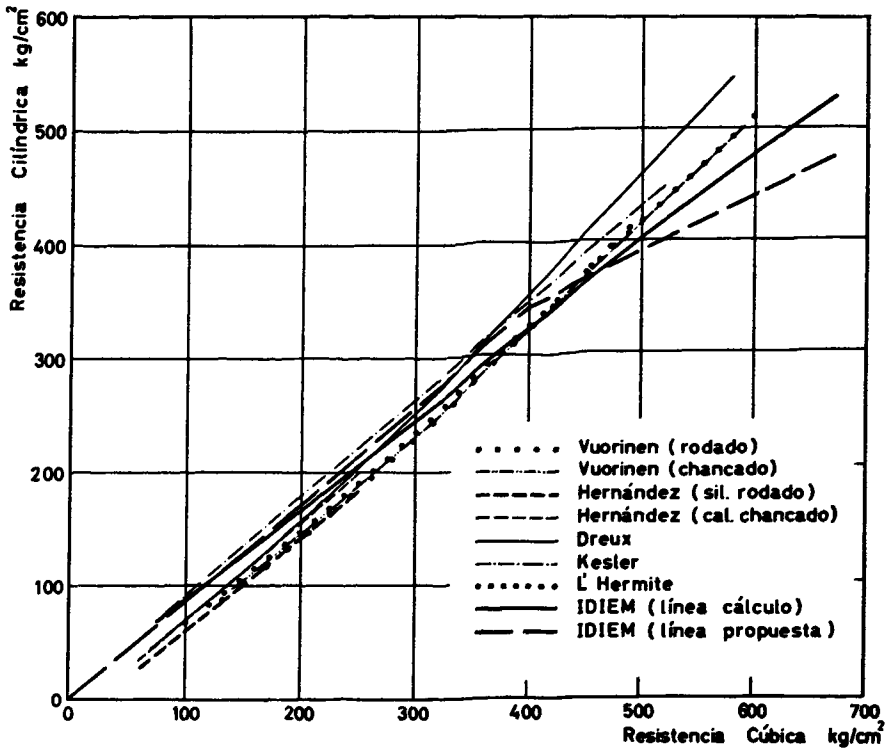


Fig. 12. Comparación entre líneas de regresión correspondientes a datos de diferentes investigadores.

práctica ajustando a la zona comprendida entre 0 y 400 kg/cm² una recta que pasa por el origen. Dicha línea se continuó con otro tramo recto a partir de 400 kg/cm², pero con la pendiente que dan allí los puntos respectivos. Esta solución y sus límites de confianza es la que aparece indicada en la Fig. 13. Conviene anotar que la diferencia máxima, que queda justamente en el punto de quiebre, entre las líneas rectas ajustadas y la línea continua y lisa de mejor ajuste de los puntos medios, es a lo más del orden de 10 kg/cm². Las ecuaciones respectivas de ambos tramos son:

$$\text{para } R_{cub} \leq 400 \text{ kg/cm}^2 \text{ o } R_{cil} < 344 \text{ kg/cm}^2,$$

$$R_{cil} = 0,86 R_{cub}$$

$$\text{para } R_{cub} \geq 400 \text{ kg/cm}^2 \text{ o } R_{cil} > 344 \text{ kg/cm}^2,$$

$$R_{cil} = 0,48 R_{cub} + 152$$

Según esto, la relación cilindro-cubo que hasta 400 kg/cm² mantiene un valor constante de 0,86, a partir de ese punto comienza a disminuir sensiblemente y, por ejemplo, para $R_{cub} = 500 \text{ kg/cm}^2$ vale 0,78 y para $R_{cub} = 600 \text{ kg/cm}^2$ vale 0,73.

Es de interés observar que en la zona de resistencias superiores a $R_{cub} = 400 \text{ kg/cm}^2$ los puntos correspondientes al cemento 1 tienden a quedar sistemáticamente bajo los correspondientes al cemento 2. El análisis estadístico

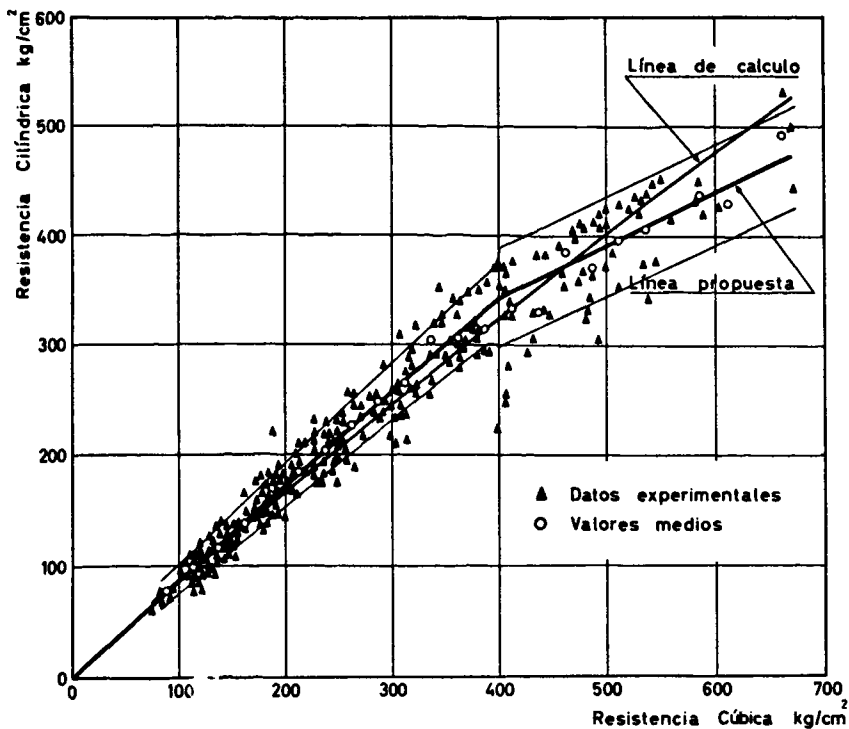


Fig. 13. Línea de regresión ajustada a los datos de IDIEM según una función potencial, y línea propuesta formada por dos tramos rectos. De esta última solución se han dibujado los límites de confianza 90%.

hecho con la expresión potencial no mostró lo que hemos señalado, dado que en tal caso no se trabajaba con los valores naturales sino con sus logaritmos y por ello los valores correspondientes a la zona superior aludida perdían importancia ante el resto. Creemos que el efecto mencionado no ha sido provocado por el tipo de cemento empleado sino por el diferente procedimiento de rectificación de las probetas cilíndricas utilizado para las probetas cilíndricas confeccionadas con cemento 1 o con cemento 2. El dispositivo rectificador vertical empleado en el caso del cemento 2 es mucho más eficiente. El rectificado tiene importancia, ya que al fallar prematuramente en una probeta, la compresión ejercida deja de ser uniforme y la probeta falla por una especie de hendimiento longitudinal. Lo dicho corresponde a una explicación más que probable de los hechos; sin embargo, dado que a nuestro parecer sería necesario contar con mayor información sobre esta zona, la expresión recomendada ha considerado todos los puntos allí ubicados.

La elección de dos relaciones lineales para representar la dependencia entre la resistencia cilíndrica y la cúbica, además de contar a su favor con la simplicidad de estas expresiones y con el hecho de que en conjunto ajustan con gran fidelidad a la tendencia analizada, cuenta con ciertos fundamentos

experimentales¹². Efectivamente, la probeta cúbica, en general, funciona de una manera similar cualquiera que sea su resistencia. La cilíndrica, en cambio, muestra un comportamiento diferente según sea la magnitud de su resistencia. En el caso de resistencias medianas o bajas la rotura se produce corrientemente por aplastamiento al alcanzarse deformaciones límites de compresión. Con resistencias elevadas, en cambio, el fenómeno es diferente observándose en muchos casos rotura por hendimiento vertical del cilindro.

CONCLUSIONES

1. La forma de la grava, chancada o rodada, no influye en la relación cilindro-cubo. Hormigones confeccionados con grava silícea o caliza tampoco muestran diferencias significativas considerados a través de esta relación.
2. La edad, hasta 90 días por lo menos, no influye significativamente en la relación cilindro-cubo.
3. Desde un punto de vista práctico puede considerarse que el tamaño máximo no influye significativamente. La excepción es el hormigón con tamaño máximo $\frac{1}{2}$ " que fue el menor ensayado.
4. Hasta una resistencia cúbica del orden de 400 kg/cm^2 (o cilíndrica de 344 kg/cm^2), la razón cilindro-cubo es constante e igual a 0,86.

Sobre la resistencia cúbica de 400 kg/cm^2 (o cilíndrica de 344 kg/cm^2), se recomienda utilizar la relación:

$$R_{cil} = 0,48 R_{cub} + 152$$

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo forma parte de una serie de investigaciones efectuadas en la Sección Investigación de Hormigones del IDIEM para las que se ha contado con el respaldo económico de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. En tal sentido los autores agradecen la comprensión y las facilidades dadas por don Manuel Rodríguez, Ingeniero Jefe del Laboratorio de Vialidad.

REFERENCIAS

1. COMMISSION RILEM-BETON Coefficients de correspondance entre les resistances de differents types d'eprouvetes. *Bulletin RILEM*, nº 39, (1957), pp. 84-85.
2. ASTM C 39-59 *Standard method of test for compressive strengtb of molded concrete cylinders.*

3. DIN 1048 *Bestimmungen für Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton.*
4. ASTM C 33-64 *Standard specification for concrete aggregates.*
5. INDITECNOR 5-3 ch. *Selección de muestras al azar.*
6. PIÑEIRO, M. Relación entre las resistencias a compresión de hormigones a 7 y a 28 días *Revista del IDIEM*, vol. 2, nº 1, (abril 1963), pp. 33-43.
7. DREUX, G. Contribution a l'étude du comportement des éprouvettes du béton. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, (febrero 1965), p. 394.
8. HERNANDEZ *Relación entre las resistencias en probetas cilíndricas y cúbicas.* Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción. Madrid, 1946 (citado en el informe de la Comisión RILEM¹).
9. KESLER, C.E. Statistical relation between cylinder, modified cube, and beam strength of plain concrete. *Proceedings ASTM*, vol. 54, (1954), p. 1178.
10. L'HERMITE, R. *Idées actuelles sur la technologie du béton.* La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, 1955.
11. VUORINEN, J. Conversion factors for compressive strengths of concrete cubes and cylinders. *Nordisk Betong*, vol. 4, nº 2, (1960), p. 143.
12. NEVILLE, A.M. *Properties of concrete.* Isaac Pitman, Londres 1965, pp. 227-229.

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

RELATIONSHIP BETWEEN CILYNDRICAL AND CUBICAL STRENGTH

SUMMARY:

In order to study the relationship between cilyndrical and cubical strength for conditions of more practical interest, the following factors were considered: nature of aggregate, maximun size, age and type of cement. Statistical analysis showed that those factors were not significantly important. A relationship is proposed between cilyndrical and cubical strength consisting of two intersecting straighth lines: the first one $R_{c11} = 0,86 R_{cub}$ up to 400 kg/cm² cubical strength, and above 400 kg/cm², $R_{c11} = 0,48 R_{cub} + 152$. The results of some other investigators are analysed.