

ESTUDIO SOBRE LA RELACION ENTRE LAS RESISTENCIAS DEL HORMIGON A DIFERENTES EDADES*

José María Sancho Aznal,
Arquitecto

682-13

A. INTRODUCCION

Aun cuando existen sobre el tema que aquí se desarrolla diferentes trabajos de investigación, se ha considerado de interés tratar de estudiar la relación existente entre las distintas resistencias del hormigón en ensayos de compresión al variar el tiempo de fraguado, utilizando para ello muestras de hormigones de calidades y características de uso frecuente en estructuras de edificación cuyo Control se estaba llevando a cabo por el Centro INCE de Madrid.

Se enfoca pues este trabajo bajo un punto de vista práctico y útil, pretendiendo que sus conclusiones puedan utilizarse en la previsión de resistencias a 28 días partiendo de resistencias a edades más tempranas al menos en hormigones de características similares.

B. MUESTRA EMPLEADA

Dado el carácter preliminar de este trabajo, se han utilizado probetas no realizadas expresa-

mente para este estudio, y que fueron obtenidas y ensayadas durante los Controles del hormigón que el Centro INCE de Madrid llevó a cabo sobre dos obras de edificación.

La primera de ellas se realizó entre los meses de abril y agosto de 1979 y la segunda durante agosto y septiembre del mismo año.

En las dos obras se utilizó el hormigón preparado en central y a base de cemento de calidad PA-350.

Las probetas fueron fabricadas y conservadas hasta el momento de su rotura según la Norma UNE-7240, siendo de forma cilíndrica de dimensiones 15 x 30 cm y realizado el refrentado de sus bases antes de proceder a su rotura.

Los ensayos de rotura a compresión se llevaron a cabo de acuerdo con las instrucciones que prescribe la norma UNE-7242.

Se dispuso de aproximadamente 100 lotes de 7 probetas de cada amasada, de las cuales 2 de ellas fueron ensayadas a los 7 días, una más a la edad de 14 días, y las 3 restantes a 28 días.

Adicionalmente se hicieron tomas en algunas amasadas de seis probetas más, que se rompieron a 90 y 180 días, pero dado lo escaso de su número sólo se han tenido en cuenta a efectos orientativos.

En total se rompieron alrededor de 730 probetas.

Hubiera sido preferible por razones estadísticas disponer de un mayor equilibrio entre el número de las probetas a las distintas edades, especialmente aumentando el número de las probetas ensayadas a los 14 días.

En el apéndice se incluye un listado de los valores obtenidos de los ensayos, así como de algunos datos adicionales más.

* Este trabajo fue realizado por su autor gracias a una Beca de la Escuela de Arquitectura y figura como Monografía n.º 9 de la serie «Comunicaciones Técnicas» de INCE.

C. DETERMINACION DE LA LEY DE CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION

En primer lugar se ha intentado establecer las relaciones porcentuales entre las resistencias a 7 y 28 días (F7/F28) y 14 y 28 días (F14/F28) para cada lote de probetas, mostrándose los resultados obtenidos en los gráficos 1.1 y 1.2.

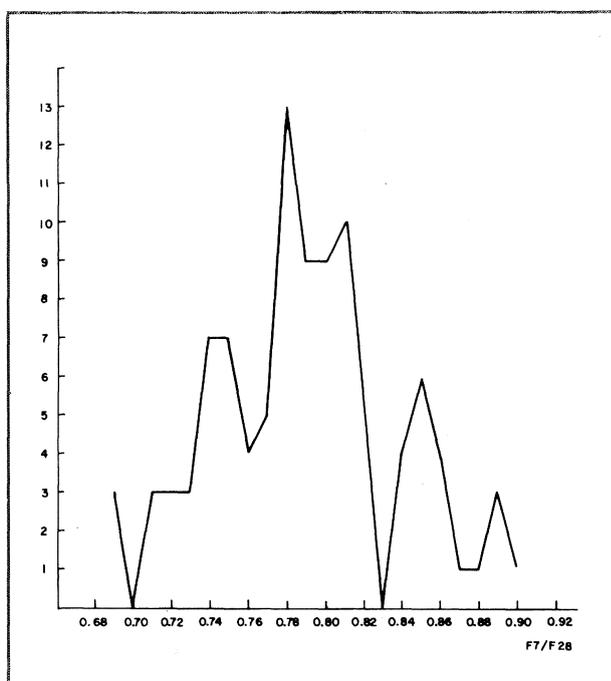


GRAFICO n.º 1.1

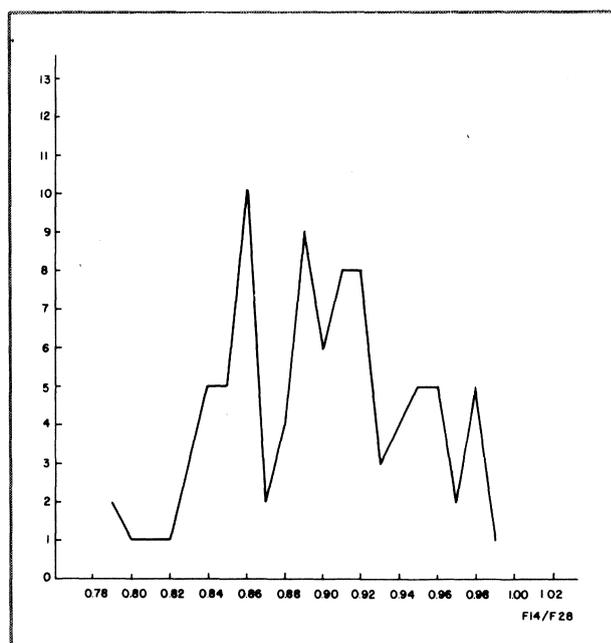


GRAFICO n.º 1.2

En ellos aparece claro el carácter gaussiano o normal de la distribución de los porcentajes F7/F28, observándose una fuerte agrupación en torno al valor medio de 0,78.

En el caso de los porcentajes F14/F28 no se observa una agrupación tan clara siendo el valor medio 0,89. Una posible explicación de ello podría ser el hecho de que en las relaciones F7/F28 se utilizó el valor medio entre dos probetas a siete días, mientras que en la relación F14/F28 sólo se dispuso de una sola probeta.

Se ha podido observar, por otra parte, una cierta elevación en los porcentajes F7/F28 y F14/F28 durante las épocas del año de mayor temperatura media.

Agrupando los aproximadamente cien lotes estudiados en cinco grupos de veinte, se obtuvo el siguiente cuadro:

N.º LOTE	MESES	F7/ F28 (medio)	F14/ F28 (medio)
1--20	Abril Mayo	0,77	0,88
21--40	Mayo	0,77	0,89
41--60	Junio	0,78	0,88
61--80	Junio Julio	0,78	0,91
81--100	Agosto Septiembre	0,82	0,91

A la vista de lo anterior se considera de interés un estudio, que utilizando un mayor número de probetas y agrupando éstas por fechas de hormigonado, pueda poder establecerse diversas leyes de variación de resistencias aplicables según la época del año.

En este estudio se han utilizado todos los valores conjuntamente y se ha intentado obtener una forma de curva que se ajustara a estos datos.

En primer lugar y a tal fin se pusieron a punto diversos programas de ajuste y correlación automáticos, basados en el método de los mínimos cuadrados, de tal manera que se lle-

gó a la conclusión de que los mejores resultados se obtienen con curvas de tipo asintótico, desechando pues otros modelos más complicados y además menos ajustados como demostraron ser los modelos parabólicos, logarítmico y exponenciales.

Se pasó entonces a ensayar curvas de la forma:

$$F_c(t) = F_{c28} \frac{t \times A}{t + B}$$

Siendo:

- $F_c(t)$ Resistencia a compresión a t días.
 F_{c28} Resistencia a compresión a 28 días.
 t Tiempo en días.
 A y B Parámetros a determinar.

Entre estas curvas y ya que el valor de la fracción:

$$\frac{t \times A}{t + B}$$

debe valer la unidad para el valor de $t = 28$, es evidente que sólo serán válidas aquellas cuya relación entre los coeficientes A y B sea:

$$A = \frac{28 + B}{28}$$

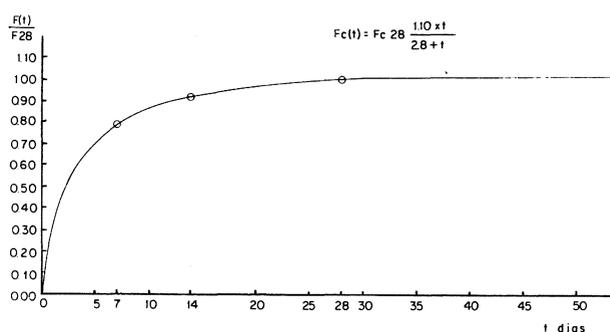
Por otra parte y ya que el valor de A determina la posición de la asíntota de la curva, pareció oportuno limitar los ensayos de ajuste a valores de A entre 1,05 y 1,20, de tal manera que la ley obtenida se ajustara bien para tiempos entre 0 y 90 días.

Mediante los programas antes citados, y cuyo listado se acompaña con este trabajo, se llegó a la conclusión de que la curva de mejor ajuste era aquella en la que $A = 1,10$ y $B = 2,81$; por tanto la ley de variación de resistencia a compresión en función del tiempo t sería:

$$F_c(t) = F_{c28} \frac{t \times 1,10}{t + 2,81} \text{ (Gráfico 2)}$$

Para esta curva se obtuvo un coeficiente de correlación asociado $R = 0,9721$, valor altamente significativo dado el número de datos utilizado.

GRAFICO n.º 2



Adicionalmente sería posible establecer una clasificación de las distintas velocidades de endurecimiento, simplemente mediante la comparación con distintos valores de A y B , ya que variando éstos es posible obtener una familia de curvas que se ajustaría a las distintas velocidades de endurecimiento de hormigones de distinto tipo.

La forma que adopta la curva de crecimiento de resistencia se muestra en el gráfico 2.

D. PREVISION DE RESISTENCIAS A 28 DIAS EN FUNCION DE LAS OBTENIDAS A 7 Y 14 DIAS

Como complemento de lo anterior se ha estudiado las relaciones existentes entre las resistencias de 7 con 28 días, 14 con 28 días, y 7 y 14 con 28 días, de manera que fuese posible establecer un modelo de predicción de la resistencia a 28 días.

Ensayando distintos modelos de regresión se puso de manifiesto que las correlaciones más fuertes se obtenían utilizando modelos lineales para las relaciones $F7-F28$ y $F14-F28$, y un modelo de regresión plana múltiple para la relación $F7$, $F14$ y $F28$.

Al estudiar la relación $F7-F28$ se han utilizado los valores de resistencia a 7 días de dos maneras diferentes. En primer lugar se utilizó el valor medio de las dos probetas disponibles y en segundo lugar utilizando uno solo de los valores elegido al azar de entre los dos de cada lote. De esta manera era posible hacer comparaciones con las relaciones $F14/F28$, ya que como se dijo anteriormente sólo se disponía de un valor de resistencia a 14 días en cada lote de siete probetas.

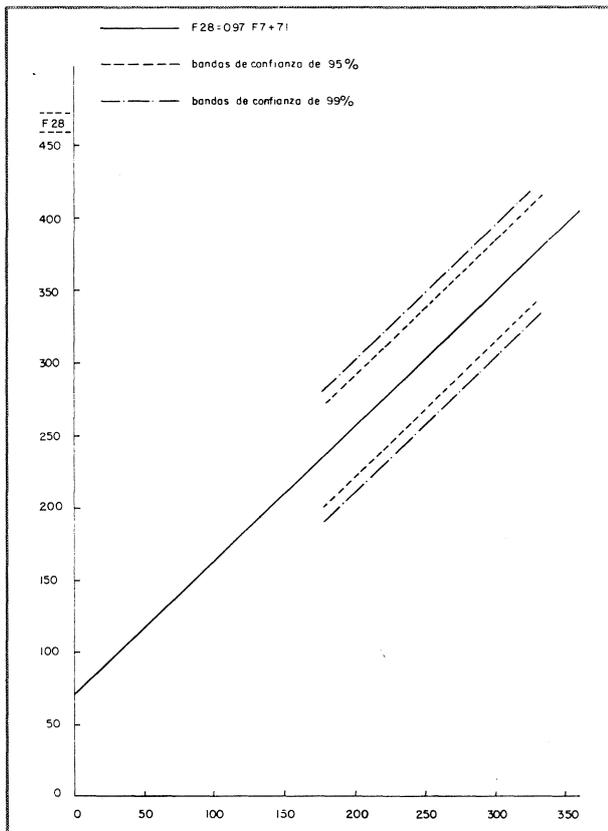


GRAFICO n.º 3

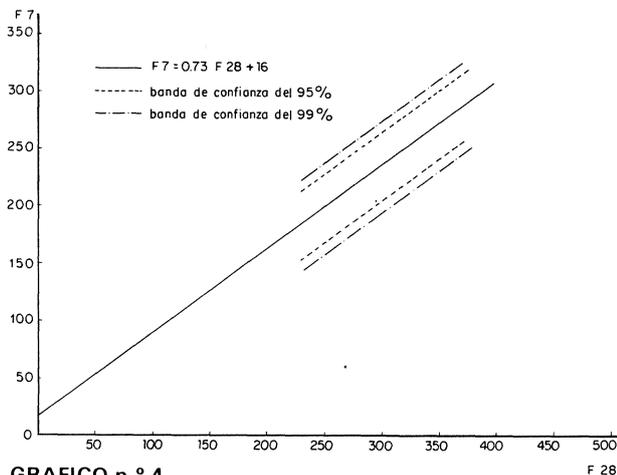


GRAFICO n.º 4

Mediante ordenador se obtuvieron las siguientes rectas de regresión lineal:

a - RELACION F7-F28 con un solo valor de F7:

$$F28 = 0,97 F7 + 71 \text{ (Gráfico 3)}$$

$$F7 = 0,73 F28 + 16 \text{ (Gráfico 4)}$$

Coefficiente de correlación asociado:
R = 0,8441

b - RELACION F7-F28 con valor medio de dos probetas

$$F28 = 0,98 F7 + 69$$

$$F7 = 0,72 F28 + 18$$

Coefficiente de correlación asociado:
R = 0,8423

Análogamente para valores de resistencia a 14 días se obtuvo:

c - RELACION F14-F28

$$F28 = 0,89 F14 + 60 \text{ (Gráfico 5)}$$

$$F14 = 0,67 F28 + 69 \text{ (Gráfico 6)}$$

Coefficiente de correlación asociado:
R = 0,7702

Al comparar los valores de la correlación de las tres relaciones anteriores, puede deducirse que el valor relativamente bajo del coeficiente de correlación asociado a la recta de regresión F14-F28 puede deberse a la mayor dispersión de los valores de resistencia a 14 días, lo que además está de acuerdo con lo que se expuso en el apartado C de este trabajo.

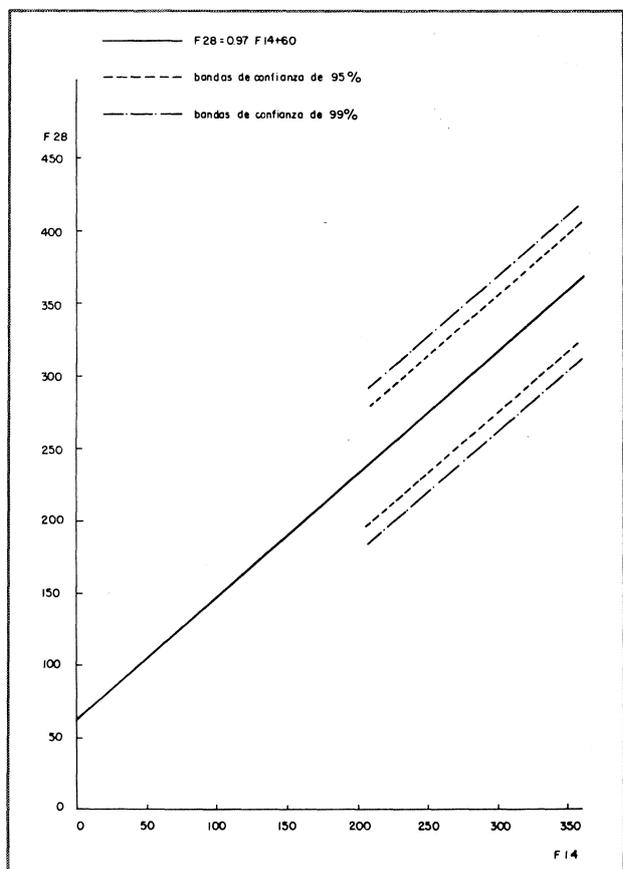


GRAFICO n.º 5

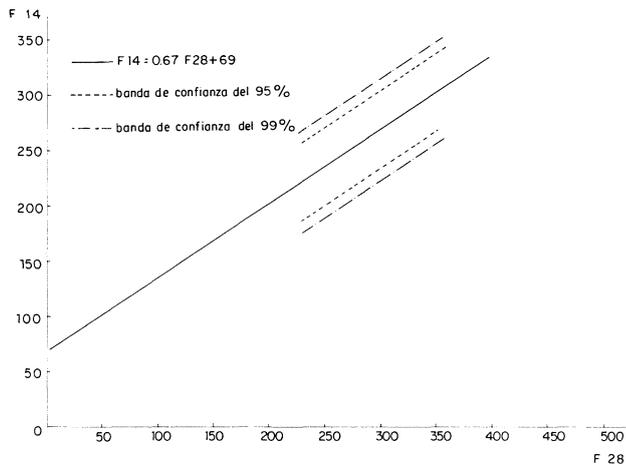


GRAFICO n.º 6

Como complemento a esto se han obtenido las bandas de confianza a asociadas a probabilidades del 95 % y del 99 %. Con estos valores se han confeccionado unos gráficos que junto con las tablas que se adjuntan hace posible hallar el valor previsto de resistencia a 28 días en función de las obtenidas tanto a 7 como a 14 días, de tal manera que los valores obtenidos entren dentro de las bandas de confianza de las probabilidades del 99 % y del 95 %.

Tales gráficos son los numerados del 3 al 6.

En ellos además es posible encontrar el valor

de la resistencia necesaria a 7 o a 14 días a fin de obtener una resistencia determinada a los 28 días.

En relación con esto último se podrá observar que en la tabla y gráfico que fijan la resistencia necesaria a 14 días con la que se desea obtener a 28, se aprecia que hasta valores de F28 inferiores a 308 kg/cm², la resistencia necesaria a 14 días dentro de la banda de confianza del 95 % es superior a la deseada a la edad de 28 días. Ello es explicable ya que se está intentando hacer una predicción mediante una muestra en la que sólo se parte de una sola probeta a los 14 días y en la que anteriormente se puso de manifiesto su gran dispersión.

Finalmente se ha obtenido el plano de regresión múltiple lineal que permite obtener resistencia a 28 días en función de las resistencias a 7 y 14 días simultáneamente y que para los valores de la muestra es de la forma:

$$F28 = 33 + 0,69 F7 + 0,39 F14$$

En este caso el valor del coeficiente de correlación asociado es sólo ligeramente mayor que el que se obtuvo en las rectas F7-F28 y eso se basa en la poca información estadística que aporta la introducción de los valores de F14. Su valor es: $R = 0,8714$.

**ESTUDIO SOBRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A DIFERENTES EDADES ** BECA I.N.C.E. 1979 **

NO.	F7A	F7B	F7M	F14	F28A	F28B	F28C	F28M	F7/F28	F14/F28
1	246.	251	249	254	314	291	319	308	0.81	0.82
2	237.	218	228	282	333	331	340	335	0.68	0.84
3	226.	223	225	265	314	316	319	316	0.71	0.84
4	246	254	250	288	358	336	331	342	0.73	0.84
5	237	225	231	291	336	320	322	326	0,71	0.89
6	254	254	254	294	331	346	353	343	0.74	0.86
7	237	239	238	268	280	297	297	291	0.82	0.92
8	218	209	214	234	282	288	268	279	0.76	0.84
9	225	220	223	268	277	285	277	280	0.80	0.96
10	260	242	251	280	308	314	322	315	0.80	0.89
11	251	248	250	291	326	314	311	317	0.79	0.92
12	203	193	198	280	257	277	268	267	0.74	1.05
13	248	260	254	280	322	311	311	315	0.81	0.89
14	288	294	291	0	336	345	340	340	0.86	0.
15	294	271	283	302	353	373	372	366	0.77	0.83
16	232	229	231	268	297	294	288	293	0.79	0.91
17	246	248	247	286	337	325	339	334	0.74	0.86
18	249	242	246	299	325	342	340	336	0.73	0.89
19	209	205	207	285	263	294	266	274	0.75	1.04
20	231	220	226	246	285	271	277	278	0.81	0.89

** ESTUDIO SOBRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON A DIFERENTES EDADES ** BECA I.N.C.E. 1979 **

NO.	F7A	F7B	F7M	F14	F28A	F28B	F28C	F28M	F7/F28	F14/F28
21	254	240	247	268	302	306	322	310	0.80	0.86
22	228	243	236	277	319	323	319	320	0.74	0.86
23	236	234	235	288	314	308	305	309	0.76	0.93
24	229	237	233	280	342	336	356	345	0.68	0.81
25	226	234	230	297	329	317	302	316	0.73	0.94
26	185	281	183	246	243	226	240	236	0.77	1.04
27	268	282	275	280	347	372	346	355	0.77	0.79
28	288	283	286	311	328	345	339	337	0.85	0.92
29	260	260	260	314	359	359	336	351	0.74	0.89
30	206	212	209	248	280	274	277	277	0.75	0.90
31	254	263	259	309	313	328	308	317	0.82	0.98
32	237	237	237	380	314	299	299	304	0.78	0.92
33	234	212	223	282	308	311	323	314	0.71	0.90
34	192	208	200	254	263	280	260	268	0.75	0.95
35	203	212	208	234	237	232	229	233	0.89	1.01
36	219	215	217	266	277	294	297	289	0.75	0.92
37	271	254	263	282	350	331	333	338	0.78	0.83
38	240	254	247	291	326	336	328	330	0.75	0.88
39	254	254	254	277	323	325	311	320	0.79	0.87
40	203	215	209	226	0	0	311	104	2.02	2.18
41	203	215	209	226	271	260	268	266	0.78	0.85
42	237	242	240	243	303	294	314	304	0.79	0.80
43	220	232	226	266	294	277	277	283	0.80	0.94
44	229	249	239	302	277	297	285	286	0.83	1.05
45	212	195	204	257	302	306	286	298	0.68	0.86
46	223	226	225	260	291	294	297	294	0.76	0.88
47	211	206	209	239	288	311	303	301	0.69	0.79
48	229	228	229	243	274	282	288	281	0.81	0.86
49	229	223	226	249	297	311	291	300	0.75	0.83
50	257	251	254	277	291	280	297	289	0.88	0.96
51	249	251	250	288	309	325	308	314	0.80	0.92
52	232	218	225	271	288	271	277	279	0.81	0.97
53	226	209	218	331	288	271	282	280	0.78	1.18
54	201	195	198	254	288	268	268	275	0.72	0.92
55	248	254	251	294	339	328	331	333	0.75	0.88
56	231	243	237	271	268	286	271	275	0.86	0.99
57	218	218	218	251	328	308	314	317	0.69	0.79
58	223	223	223	246	288	282	288	286	0.78	0.86
59	212	216	214	249	260	277	282	273	0.78	0.91
60	249	231	240	277	317	299	302	306	0.78	0.91
61	184	181	183	222	257	237	249	248	0.74	0.90
62	164	172	168	208	229	249	248	242	0.69	0.86
63	220	242	231	260	309	286	305	300	0.77	0.87
64	251	237	244	257	282	302	282	289	0.85	0.89
65	175	184	180	246	245	246	260	250	0.72	0.98
66	167	153	160	212	215	231	223	223	0.72	0.95
67	215	215	215	291	291	294	297	294	0.73	0.99
68	234	229	232	297	291	280	280	284	0.82	0.98
69	220	232	226	263	311	305	311	309	0.73	0.85
70	192	203	198	234	254	249	254	252	0.78	0.93
71	231	218	225	192	294	288	299	294	0.76	0.65
72	234	219	227	243	288	268	291	282	0.80	0.86
73	175	169	172	229	232	232	234	233	0.74	0.98
74	198	203	201	231	248	245	254	249	0.81	0.93
75	190	175	183	198	237	234	236	236	0.77	0.84
76	260	260	260	277	300	282	280	287	0.90	0.96
77	239	229	234	249	282	268	282	277	0.84	0.90
78	218	226	222	257	285	277	286	283	0.79	0.91

** ESTUDIO SOBRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON A DIFERENTES EDADES ** BECA I.N.C.E. 1979 **

NO.	F7A	F7B	F7M	F14	F28A	F28B	F28C	F28M	F7/F28	F14/F28
79	220	237	229	260	266	268	268	267	0.85	0.97
80	198	215	207	254	266	260	266	264	0.78	0.96
81	226	228	227	257	282	282	282	282	0.80	0.91
82	245	239	242	263	282	302	280	288	0.84	0.91
83	222	226	224	243	285	266	266	272	0.82	0.89
84	254	263	259	308	322	333	325	327	0.79	0.94
85	226	237	232	271	294	280	280	285	0.81	0.95
86	232	231	232	260	280	277	291	283	0.82	0.92
87	232	226	229	254	268	274	263	268	0.85	0.95
88	243	260	252	274	311	311	299	307	0.82	0.89
89	237	240	239	277	311	308	299	306	0.78	0.91
90	246	260	253	277	294	280	277	284	0.89	0.98
91	237	240	239	280	291	291	297	293	0.81	0.96
92	246	243	245	218	297	277	297	290	0.84	0.75
93	266	268	267	280	302	319	302	308	0.87	0.91
94	251	254	253	271	319	328	308	318	0.79	0.85
95	302	299	301	345	356	356	347	353	0.85	0.98
96	311	305	308	339	384	373	372	376	0.82	0.90
97	271	277	274	294	345	328	347	340	0.81	0.86
98	280	285	283	294	333	349	322	335	0.84	0.88
99	246	249	248	280	308	314	311	311	0.80	0.90
100	232	237	235	260	271	266	294	277	0.85	0.94
101	223	226	225	266	299	280	288	289	0.78	0.92
102	268	274	271	297	350	339	359	349	0.78	0.85
103	229	209	219	260	274	268	282	275	0.80	0.95
104	282	274	278	316	356	362	352	357	0.78	0.89
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0.	0.

* * *

publicación del i.e.t.c.c.

alojamiento y tecnología:
¿industrialización abierta?

Julián Salas Serrano

Ingeniero Industrial

La experiencia nacional en construcción industrializada en la última década, aunque no abundante, puede resultar paralizante. Como reacción, este trabajo trata de elaborar y ordenar la información que, pegado al terreno, se ha acumulado durante los sesenta.

Auscultando tendencias avanzadas en otros países y apoyándose en nuestra realidad cotidiana, el autor de este trabajo apuesta por la industrialización, presintiendo un futuro con pocos puntos en común con lo que en general, hasta bien reciente, se ha conocido como construcción industrializada.

Se abre el trabajo con un prólogo del Profesor Ciribini en el cual, con rigor conceptual y desde su rica experiencia, analiza algunos de los conceptos más polémicos del fenómeno de industrialización del sector construcción. El autor recopila un conjunto de aportaciones de maestros de la arquitectura al lento proceso de evolución tecnológica y conceptual, continuando con un intento de respuesta realista a la interrogante que flota en el sector nacional: ¿réquiem por la industrialización?

Se dedican otros capítulos a revisar lo realizado y a encarar el futuro inmediato: el concepto de componente, su repercusión económica, la dificultad del proyecto a base de productos industriales, la nueva vigencia embrionaria de la construcción por medio de catálogos, los conceptos de flexibilidad e intercambiabilidad desde una óptica práctica... Especial atención dedica este trabajo a la exposición de lo que podíamos llamar nuevos derroteros de la coordinación dimensional, aportando una visión actualizada y pragmática de los enfoques más implantados en Europa.

Las siempre problemáticas interrelaciones entre normativa, calidad e industria se detallan de forma documentada y realista. Finaliza el trabajo con unas reflexiones dirigidas al ámbito empresarial y un esbozo de «reglas de juego» que faciliten al subsector la salida del «impasse» actual.

Un volumen encuadernado en rústica, de 24 x 16,5 cm, compuesto de 160 páginas, con 109 figuras, 19 tablas y 86 referencias bibliográficas. Madrid, junio, 1981.

Precios: España 1.200 PTAS. Extranjero 24 \$ USA.

