

Presiones del hormigón sobre el encofrado. Confrontación objetiva de los distintos procedimientos de cálculo (*)

Por JACINTO MARTIN PALANCA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Es un hecho que las presiones del hormigón fresco sobre los encofrados son cada vez mayores: por las grandes velocidades de hormigonado que permiten las bombas de pistones, por la mayor docilidad obligada para el empleo de dichas máquinas, por procedimientos de compactación cada vez más perfectos, por el hormigonado de una sola vez de macizos progresivamente de mayor tamaño, etcétera. Lo que significa que las estructuras resistentes de los encofrados deben ser cada vez más pesadas, y por consiguiente más costosas. Es sorprendente en estas circunstancias que ningún organismo, oficial o profesional, español o extranjero, haya tomado la decisión de revisar las normas o criterios anteriores (antiguos, de varias décadas) empleados para la previsión de presiones, con el fin de que ese aumento de costes se reduzca a lo estrictamente indispensable.

El autor compara, con la realidad física del fenómeno, obtenida por los ensayos de Mr. Gardner en el laboratorio de la Universidad de Ottawa, los distintos métodos de cálculo de presiones utilizados en la actualidad, considerando también, al efecto, su propio procedimiento. Realiza después el estudio comparativo de los resultados así obtenidos, llegando a la conclusión de que en la mayor parte de los casos la falta de aproximación es excesivamente grande y que el método que obtiene mejores resultados es el suyo.

1.1. PREAMBULO

El presente estudio trata de establecer criterios objetivos de comparación entre los distintos procedimientos existentes para cálculo de presiones previsibles del hormigón fresco, sobre las paredes de su molde. Basándose para ello en cotejar, individualmente, los resultados experimentales de una determinada serie de ensayos de laboratorio, con los correspondientes valores analíticos obtenidos (en igualdad de condiciones, del cálculo respecto al ensayo), utilizando separadamente, al efecto, cada uno de los procedimientos a confrontar.

El conjunto de los resultados individuales relativos a un determinado sistema, se totalizará de forma adecuada para que las cifras que se

obtengan sean significativas. De esta forma, la comparación de los valores conjuntos de cada uno de los sistemas de cálculo, nos proporcionará una idea objetiva respecto a su grado de aproximación, a la realidad física (experimental) del fenómeno considerado.

1.2. TERMINO COMPARATIVO EXPERIMENTAL

Adoptaremos, como término experimental de comparación, las dos series de ensayos realizados en el Laboratorio de la Universidad de Ottawa, por el profesor N. J. Gardner, de los que informó detalladamente en su artículo titulado «Pressure of Concrete against Formwork», publicado inicialmente en el «Canadian Journal of Civil Engineering», vol. 6, n.º 4 de 1979, y más tarde en el «ACI Journal», de julio-agosto de 1980.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de mayo de 1984.

Se efectuaron las indicadas experiencias utilizando un molde paralelepédico de paredes verticales, con 4,60 m. de altura única y 0,91 m. de anchura igualmente fija; mientras el espesor era variable, en la mayoría de los casos 0,279 m. (ó 0,292 m.), pero a veces también 0,533 m. La presión se midió en cinco manómetros especiales, colocados a diferentes alturas, de los cuales el más bajo (al que corresponderían siempre, en un determinado momento, las presiones más fuertes), estaba a 0,31 m. del suelo, o sea a 4,29 m. de profundidad bajo la superficie libre del hormigón.

La velocidad ascensional de llenado fue también variable: 6,1 m/hora con mayor frecuencia, pero se utilizaron valores más altos (12,2 y 36,6 m/hora) y otras veces menores (5,50, 3,05 y 1,52 m/hora). La temperatura de curado, medida en el hormigón, fue distinta según los ensayos, variando entre 4,5° y 29,0° C. También fue variable la docilidad del hormigón, con valores extremos de 50 y 115 mm. de asiento en el cono Abrams. La vibración se practicó siempre con aguja, cuya potencia tenía dos únicos valores, de 1,0 y 2,5 CV, sumergida 0,60 ó 1,00 m. según los casos, durando la vibración, casi siempre, 0,5 ó 2,5 min., aunque a veces, excepcionalmente, también 3,5 ó 5,0 minutos.

La primera serie de ensayos, de características más uniformes, se numeraba del A. 1 al A. 17, mientras que la segunda, mucho más variada, comprendía del B. 1 a B. 28. Hemos creído conveniente prescindir en nuestro estudio de algunos ensayos realizados en circunstancias especiales, concretamente los B. 14-15-16, que utilizaron superplastificante, y los B. 17-18, cuyo hormigón tuvo excesiva docilidad (190-220 mm. asiento).

1.3. PROCEDIMIENTOS DE CALCULO A COMPARAR

Como sistemas de cálculo de presiones pre- visibles, del hormigón fresco sobre las paredes de su molde (a comparar con los valores experimentales canadienses, citados en el epígrafe anterior), nos referimos en primer lugar al que se detalla en la monografía número 371, del Instituto «Eduardo Torroja» de la Construcción y

del Cemento, que se publicó con fecha de octubre de 1982, bajo el título «Presiones del hormigón fresco», cuyo autor es el mismo del presente artículo.

Realizaremos a continuación estudios comparativos análogos a base de los procedimientos de cálculo patrocinados por la CIRIA inglesa y por la ACI norteamericana, así como, también, con el sistema propuesto por el profesor Gardner, en el artículo de referencia; y, por último, con el método simplista consistente en suponer que las presiones sean puramente hidrostáticas en todos los casos.

1.4. CALCULO DE DIVERGENCIAS INDIVIDUALES

Se realizará, separadamente, la comparación entre resultados teóricos y prácticos, para todos y cada uno de los ensayos, determinando lo que llamaremos «divergencia relativa porcentual», definida así:

$$\Delta = \frac{p_c - p_m}{p_c} \cdot 100$$

En donde p_c representa la presión calculada (por el procedimiento que estemos confrontando), y p_m la presión medida (durante el proceso experimental). El resultado podrá ser positivo o negativo, produciéndose el primer caso cuando el valor de ensayo sea más pequeño que el previsto, por lo que podríamos calificar de prudencial el correspondiente método de cálculo, respecto a ese determinado experimento. Sin olvidar, lógicamente, que el valor estadístico aislado de un solo ensayo es muy poco significativo.

Las divergencias relativas porcentuales de un conjunto de ensayos se pueden representar en un gráfico de frecuencias: como abscisas, escalones de divergencias (digamos, de 10 en 10 %); en ordenadas, cantidad de ensayos incluidos en el correspondiente escalón. Dando lugar, si el conjunto de ensayos fuera suficientemente numeroso, a una curva de Gauss, con su clásica forma acampanada, cuyo eje de simetría vertical deberá coincidir con el de ordenadas cartesianas, si el método de cálculo de presiones utilizado diese resultados razonablemente parecidos a la realidad.

1.5. TOTALIZACION DE DIVERGENCIAS INDIVIDUALES

Distintas formas de totalizar las divergencias relativas porcentuales (Δ), de un conjunto de ensayos, analizados por un cierto procedimiento de cálculo, nos permitirán adquirir las siguientes informaciones:

a) El hecho de que el promedio general algébrico de un conjunto de divergencias ($\sum_0 \Delta \pm$) sea pequeño, indica que el método de cálculo utilizado logra un buen grado de aproximación a la realidad. El valor de este promedio representa, geoméricamente, la abscisa del centro de gravedad de la superficie envuelta por la línea poligonal de frecuencias.

b) Si no existe ninguna causa de errores sistemáticos (que suele ser nuestro caso), las cantidades de ensayos que tengan diferencias positivas y negativas deberán ser parecidas. Dicho geoméricamente, las superficies envueltas por la línea poligonal de frecuencias a uno y otro lado del eje de ordenadas, habrán de ser semejantes.

c) También deberán ser parecidos los promedios de las divergencias unidireccionales positivas ($\sum_0 \Delta +$) y negativas ($\sum_0 \Delta -$), que representan, geoméricamente, las distancias desde el eje de ordenadas a los centros de gravedad de las superficies envueltas por la poligonal de frecuencias, a uno y otro lado de dicho eje.

d) Por último, tanto la cuantía de dichos promedios de divergencias unidireccionales positivas y negativas, como sobre todo la cuantía del promedio general de los valores absolutos ($\sum_0 \Delta \pm$) de todas ellas (este último representando geoméricamente la media ponderada entre los dos anteriores), permitirán adquirir una idea del grado de dispersión del fenómeno estudiado. Que siendo uno de tantos de los físico-químicos característicos de los hormigones (resistencia, peso específico, etc.), habrá de valer del orden de un 15 a 20 %.

2.1. PRESIONES GRANULOSTATICAS (G)

En dicha hipótesis, que denominaremos *G*, se toma de la referida monografía del I.e.t.C.C., la

equivalencia entre valores del asiento en cono Abrams (α) y el ángulo de rozamiento interno del hormigón (φ), establecida en el párrafo B. 26.

$$\text{tg } \varphi = \frac{260 - \alpha}{1400}$$

En la cual es lícito sustituir tangentes por ángulos, o incluso por senos, dada su relativa pequeñez.

Tomamos también de la misma publicación (párrafo A. 06), el valor del coeficiente de empuje activo sobre paramento vertical, que es

$$K_v = \frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi}$$

Eliminando ahora α entre las dos expresiones anteriores llegaremos a:

$$K_v = \frac{1140 + \alpha}{1660 - \alpha}$$

Pudiendo obtener finalmente de ahí (según A. 05), la presión granulostática (p_g) a la profundidad del manómetro más bajo ($T = 4,29$ m.), para peso específico $\gamma = 23$ kN/m³.

$$p_g = 98,7 \cdot \frac{1140 + \alpha}{1660 - \alpha}$$

En el cuadro siguiente se indican, para cada valor de la docilidad del hormigón (α), el coeficiente de empuje activo sobre paramento vertical (K_v), y la presión granulostática a molde lleno, a la profundidad del manómetro más bajo (p_g), ambas calculadas según las expresiones anteriores

α	K_v	p_g	α	K_v	p_g
50	0,739	73	90	0,783	77
55	0,745	74	95	0,789	78
60	0,750	74	100	0,795	78
65	0,755	75	105	0,801	79
70	0,761	75	110	0,806	80
75	0,767	76	115	0,812	80
80	0,772	76	120	0,818	81
85	0,778	77	125	0,824	81

En todo ensayo que no tenga limitación de presiones por efecto silo (E), ni por endureci-

PRESIONES DEL HORMIGON SOBRE EL ENCOFRADO

miento (A), se producirá la presión granulostática (G) correspondiente a su asiento y así se anotaré en el cuadro 1.

2.2. PRESIONES LIMITE POR EFECTO SILO (E)

De la citada monografía (párrafo C. 14), tomamos la siguiente expresión, que nos dará la altura límite por efecto silo, a saber:

$$T_e = 21 \cdot 10^3 \cdot \frac{43 - \theta}{(165 - \alpha)(303 + \alpha)} \cdot \frac{S}{1 + \eta}$$

Donde S es la dimensión transversal menor (espesor) del molde (que puede ser 0,285 m., promedio aproximado entre 0,279 y 0,292 m.; o bien, 0,533 m.) y η la relación entre la menor y la mayor (siempre 0,91 m.) de las dimensiones transversales (por tanto, 0,31 y 0,59, respectivamente). En consecuencia, los espesores corregidos por la relación de escuadría: $S: (1 + \eta)$, valdrán en uno y otro caso, 0,22 y 0,34 m. Por otra parte, θ es la temperatura del hormigón (en °C), y α , como antes, el asiento del hormigón en cono Abrams (en milímetros).

Para el espesor corregido, 0,22 m. (real 0,285 m.), se detallan en el cuadro adjunto los numerosos ensayos para los que resulta una altura límite por efecto silo, menor que la real de 4,29 m. Que habrá que multiplicar por el correspondiente K_v (tomado del cuadro del epígrafe anterior), para obtener la presión (p_e) resultante del cálculo por este concepto.

Ensayo	α	θ	T_e	K_v	p_e
A.1	65	21,7	2,67	0,755	46
A.2	65	23,3	2,47	0,755	43
A.3	65	21,7	2,67	0,755	46
A.4	65	25,6	2,18	0,755	38
A.5	65	21,7	2,67	0,755	46
A.6	65	23,9	2,40	0,755	42
A.7	75	22,2	2,82	0,767	50
A.8	70	20,0	3,00	0,761	52
A.9	65	22,8	2,54	0,755	44
A.10	75	18,3	3,35	0,767	59
A.11	65	16,7	3,30	0,755	57
A.12	75	12,8	4,10	0,767	72
A.13	65	8,9	4,28	0,755	74
A.14	75	12,2	4,18	0,767	74
A.16	60	18,9	2,92	0,750	50
A.17	65	13,9	3,65	0,755	63

B.3	70	14,0	3,78	0,761	66
B.11	80	22,0	2,98	0,772	53
B.12	80	27,0	2,27	0,772	40
B.13	80	28,0	2,13	0,772	38
B.19	80	22,0	2,98	0,772	53
B.20	100	19,5	4,14	0,795	76
B.28	65	24,4	2,34	0,755	41

Por su parte, para el espesor corregido, 0,34 m. (real, 0,533 m.), de los nueve ensayos que estaban en este caso, solamente dos tenían altura límite por debajo de 4,29 m., para los cuales se realiza en el cuadro siguiente, un cálculo análogo al que se indicaba antes:

Ensayo	α	θ	T_e	K_v	p_e
B.9	55	29,0	2,54	0,745	43
B.10	75	24,0	3,99	0,767	70

2.3. PRESIONES LIMITE POR ENDURECIMIENTO (A)

Según la descripción de los ensayos que hace el profesor Gardner, en el artículo citado, el llenado del molde se realizó de forma claramente discontinua, con siete primeras tongadas de $T_p = 0,61$ m., y una última de los 0,33 m. precisos para completar el total de 4,60 m. El plazo transcurrido entre tongadas, para velocidad media (V) de llenado, será por tanto $t_p = 0,61: V$ (en horas).

La tantas veces citada monografía, en su epígrafe B. 10, nos dice que en el caso de llenado discontinuo, la profundidad límite de presiones por este concepto vendrá dada por la siguiente curiosa fórmula:

$$T_a = T_p \left[Ed \left(\frac{T_v}{T_p} \right) + Ee \left(\frac{t_0}{t_p} \right) \right]$$

en la cual, las siglas Ed y Ee tratan de representar los cocientes enteros, respectivamente por defecto y por exceso, de las fracciones entre paréntesis.

También la monografía nos brinda (en su párrafo B. 05) el valor del plazo de endurecimiento del hormigón (t_0), según la expresión empírica siguiente:

$$t_0 = \frac{70 + 0,3 \cdot \alpha - 2 \theta}{25 + \theta}$$

PRESIONES DEL HORMIGON SOBRE EL ENCOFRADO

siendo respectivamente α y θ , el asiento en cono Abrams del hormigón, y la temperatura de curado.

T_v es el alcance en profundidad de la vibración, que en los ensayos unas veces fue 0,60 m. (en cuyo caso, el cociente entero por defecto del primer término del corchete sería cero) y otras 1,00 m. (valiendo entonces la unidad). A efectos puramente algrítmicos, llamaremos abreviadamente Ed a dicho primer término dentro del corchete, con valores fijos 0 o 1.

Refundiendo todas las expresiones y consideraciones anteriores llegaremos a

$$T_a = 0,61 \left[Ed + Ee \left(\frac{V}{0,61} \cdot \frac{70 + 0,3 \cdot \alpha - 2 \theta}{25 + \theta} \right) \right]$$

En el cuadro que sigue se hacen figurar los pocos ensayos cuya altura límite por este concepto era inferior a 4,29 m., dejando constancia de todas las características que concurrían en la prueba:

Ensayo	V	α	θ	Ed	T_a
B.9	5,50	55	29,0	1	3,68
B.10	1,52	75	24,0	1	2,45
B.13	1,52	80	28,0	1	1,84

Puede verse (es pura coincidencia) que todos los ensayos que tienen altura límite por endurecimiento la tenían también por efecto silo. El criterio selectivo en este caso será, lógicamente, adoptar como válida la más pequeña:

B.9	$T_a = 2,54 < 3,68 = T_s$
B.10	$= 3,99 > 2,45 =$
B.13	$= 2,13 > 1,84 =$

Prevalecerán en consecuencia sólo dos ensayos, los B. 10 y B. 13, para los cuales calcularemos como siempre la presión límite:

Ensayo	T_a	K_v	P_a
B.10	2,45	0,767	43
B.13	1,84	0,772	33

3.1. DIVERGENCIAS INDIVIDUALES Y CONJUNTAS CON EL PROCEDIMIENTO DEL AUTOR

Hemos preparado el cuadro 1, relativo a la comparación individual de los resultados experimentales obtenidos en los ensayos del profesor Gardner, y los correspondientes analíticos calculados por el sistema del autor, expuesto en la citada monografía del I.e.t.C.C.

Las dos primeras columnas del mismo se dedican a la identificación del correspondiente ensayo, anotando en la tercera la presión medida (p_m). En una cuarta columna se anotan los

CUADRO I

Ensayo	Presiones				Δ	Ensayo	Presiones				Δ	Ensayo	Presiones									
	Medida	Cál.	Hipótesis	%			Medida	Cál.	Hipótesis	%			Medida	Cál.	Hipótesis	%						
																	Kn/m ²		Kn/m ²		Kn/m ²	
A	1	35,4	46	E	+ 23	A	15	88,1	76	G	- 16	B	11	58,7	53	E	- 11					
	2	38,3	43	E	+ 11		16	47,9	50	E	+ 4		12	60,4	40	E	- 51					
	3	47,4	46	E	- 3		17	45,2	63	E	+ 28		13	34,2	33	A	- 4					
	4	34,7	38	E	+ 9																	
	5	45,0	46	E	+ 2																	
	6	45,5	42	E	- 8		1	76,6	76	G	- 1		19	59,9	53	E	- 13					
	7	46,0	50	E	+ 8		2	83,8	76	G	- 10		20	92,1	76	E	- 21					
	8	46,7	52	E	+ 10		3	38,4	66	E	+ 42		21	86,2	80	G	- 8					
	9	53,3	44	E	- 21		4	38,8	75	G	+ 48		22	77,1	75	G	- 3					
	10	62,3	59	E	- 6	B	5	77,8	76	G	- 2		23	82,6	77	G	- 7					
	11	61,1	57	E	- 7		6	78,3	76	G	- 3		24	74,1	77	G	+ 4					
	12	82,1	72	E	- 14		7	58,7	75	G	+ 22		25	77,8	76	G	- 2					
	13	66,1	74	E	+ 11		8	62,3	73	G	+ 15		26	61,2	77	G	+ 21					
	14	98,2	74	E	- 33		9	47,2	43	E	- 10		27	77,8	76	G	- 2					
					10		45,5	43	A	- 6	28	29,4	41	E	+ 28							

PRESIONES DEL HORMIGON SOBRE EL ENCOFRADO

CUADRO 2

DIVERGENCIAS RELATIVAS PORCENTUALES. COMPARACION DE PROMEDIOS
SEGUN DISTINTOS SISTEMAS DE CALCULO

Sistemas		$\Sigma_o (\Delta +)$		$\Sigma_o (\Delta -)$		$\Sigma_o (\Delta \dagger)$		$\Sigma_o (\Delta \pm)$	
		Cantidad	Promedio	Cantidad	Promedio	Promedio	Cantidad	Promedio	
Autor	E.....	11	+ 16,0	12	- 16,5	16,3	23	- 1,0	
	G.....	5	+ 22,0	10	- 5,4	10,9	15	+ 3,7	
	A.....	0	0	2	- 5,0	5,0	2	- 5,0	
	Conjunto.....	16	+ 17,9	24	- 10,9	13,7	40	+ 0,6	
CIRIA	«Arching».....	21	+ 26,3	15	- 25,7	26,1	36	+ 4,6	
	«Stiffening».....	2	+ 18,0	1	- 3,0	13,0	3	+ 11,0	
	Conjunto.....	23	+ 25,6	16	- 24,3	25,1	39	+ 5,1	
N. J. Gardner.....		36	+ 21,4	4	- 7,5	20,0	40	+ 18,6	
Hidroestática.....		40	+ 39,8	0	- 0,0	39,8	40	+ 39,8	
ACI.....		37	+ 52,5	3	- 13,7	49,6	40	+ 47,5	

valores calculados (p_c), según los epígrafes precedentes, dejando constancia en la quinta de la sigla que corresponde a la hipótesis utilizada (G, E o A). Finalmente, la sexta y última columna contiene el valor y signo de la divergencia relativa porcentual (Δ) de cada ensayo, calculada según definiciones del epígrafe 1.4.

Las distintas totalizaciones propuestas en el epígrafe 1.5, se calculan separadamente para los ensayos correspondientes a cada una de las hipótesis consideradas y también para el conjunto de todas ellas; concretamente, para los 23 ensayos que están en el caso E, los 15 del supuesto G y los dos de la hipótesis A: en conjunto, por tanto, 40 ensayos. De todo ello se deja constancia en la parte superior del cuadro 2.

3.2. DIVERGENCIAS INDIVIDUALES Y CONJUNTAS PARA OTROS PROCEDIMIENTOS DE CALCULO

En el referido artículo del profesor Gardner, se indican (cuadros 3 y 4), para cada uno de los ensayos, junto a las presiones medidas durante la experimentación, las calculadas como previsibles, según el propio sistema de Gardner, los procedimientos preconizados por CIRIA y por ACI, y el método consistente en suponer que las presiones sean siempre *hidroestáticas*. Dando por buenos todos estos valores, hemos preparado cuatro tablas análogas al cuadro 1, que no

transcribimos por no alargar innecesariamente estas páginas. Puntualizaremos el efecto, que la disyuntiva entre «arching» (efecto silo) y «stiffening» (endurecimiento), en el sistema CIRIA, lo resolveremos como siempre, adoptando como presión límite la más baja en cada caso.

Las totalizaciones de esas cuatro series de divergencias relativas porcentuales las consignaremos en la parte baja del cuadro 2; en lo que respecta a la CIRIA, anotamos también los resultados parciales correspondientes a las dos hipótesis de calculo antes citadas.

3.3. REPRESENTACIONES GRAFICAS

Hemos creído conveniente dar forma gráfica a todas esas comparaciones de resultados, aunque no sea mas que por aquello de que una imagen vale más que mil palabras. Ponemos juntos los diagramas relativos a los cinco procedimientos de análisis considerados, para su más fácil cotejo.

Indicamos, en primer lugar, el método que podríamos denominar de «comparigramas» (Fig. 3): en abscisas se toman previsiones calculadas, y en ordenadas, resultados obtenidos. La perfección correspondería al hecho de que todos los puntos estuvieran sobre la diagonal representativa de la igualdad entre abscisas y ordenadas. La inclusión de todos los resultados

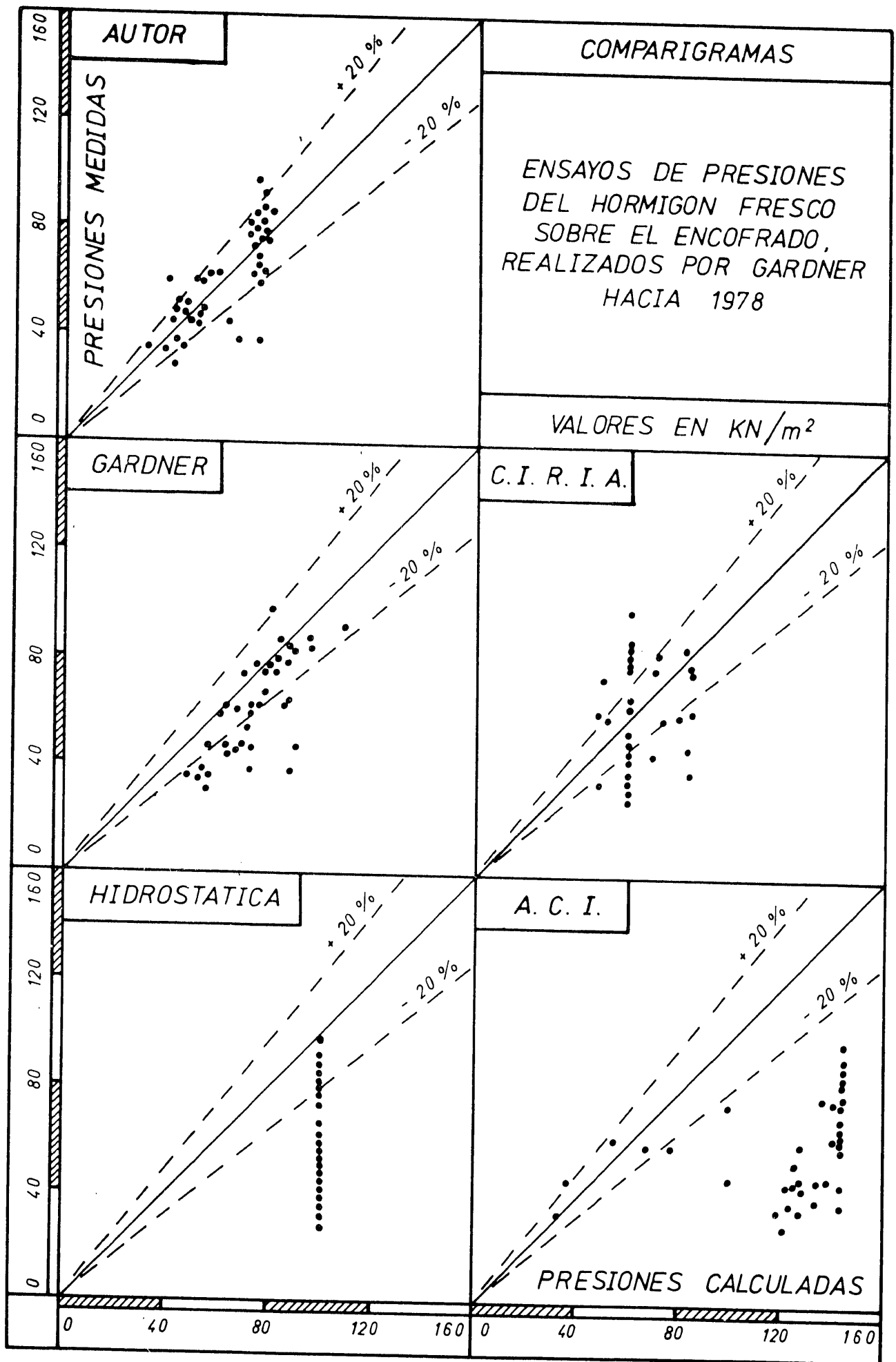
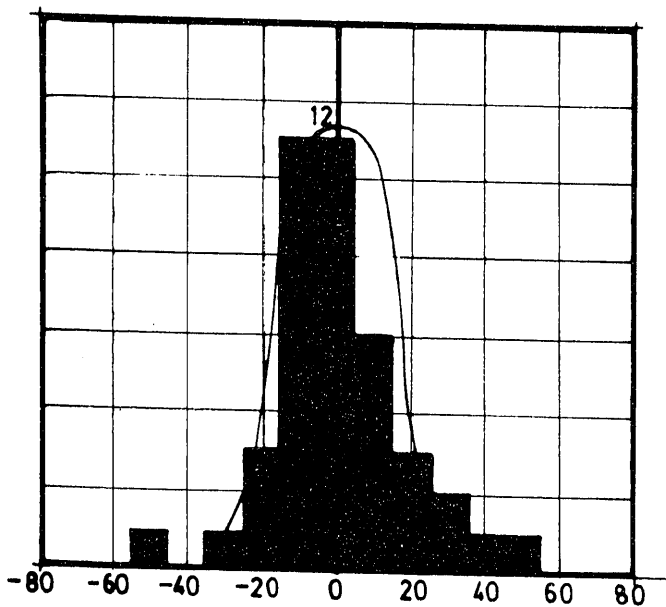


Figura 3

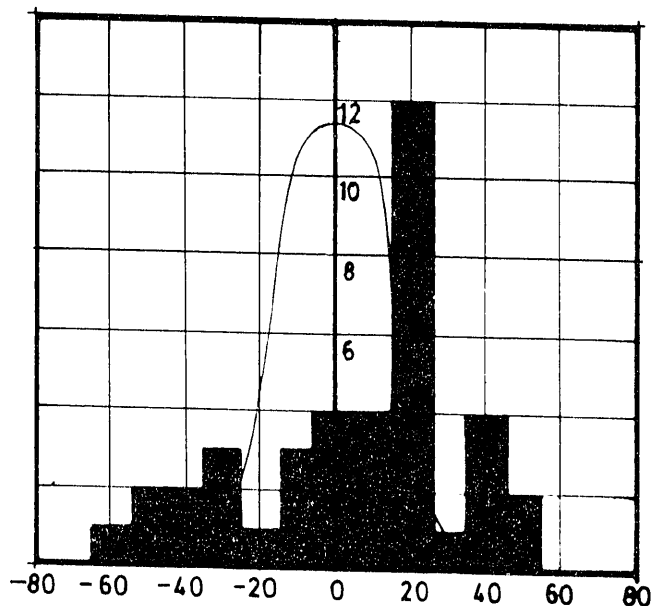
GRAFICOS DE FRECUENCIA

Figura 4

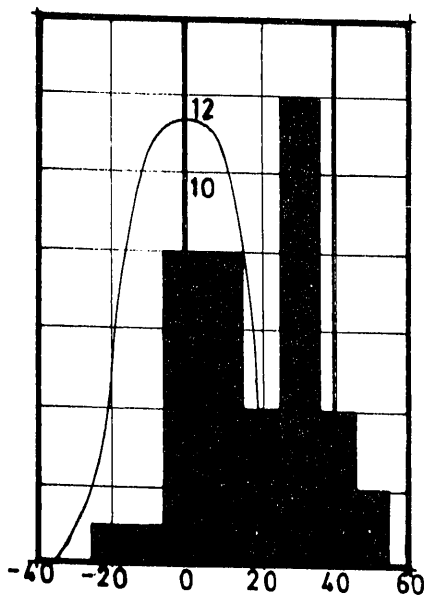
AUTOR



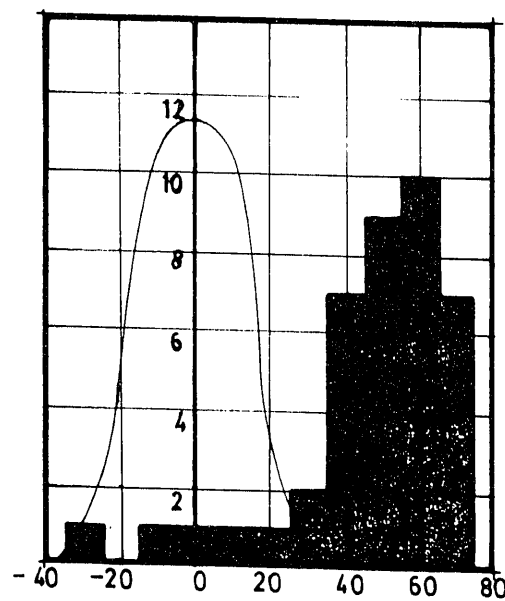
C. I. R. I. A.



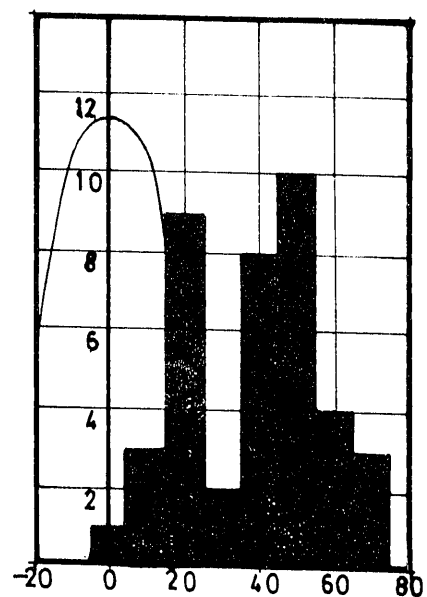
GARDNER



A. C. I.



HIDROSTATICO



dentro del espacio $\pm 20\%$, sería francamente buena (y aún hasta el $\pm 40\%$, aceptable). Como se ve, el autor deja siete resultados fuera de dicha zona; CIRIA, 9; Gardner, 16; en tanto que A.C.I. e Hidrostática, tienen muchos más resultados fuera que dentro.

La segunda forma de representación, se refiere al clásico «diagrama de frecuencias» (Fig. 4), donde las abscisas representan escalones de divergencias relativas, positivas y negativas (en nuestro caso, de 10 en 10%), y las ordenadas la cantidad de ensayos comprendidos dentro de

PRESIONES DEL HORMIGON SOBRE EL ENCOFRADO

cada escalón. Superponemos dichos gráficos a la curva campaniforme de Gauss, que nos definiría la perfección estadística al respecto. Puede verse que en el sistema del autor, el gráfico de frecuencias y la curva de Gauss están razonablemente bien superpuestas; en las soluciones de C.I.R.I.A. y de Gardner, hay un acusado desplazamiento horizontal, hacia la derecha, del primero respecto a la segunda, aunque no demasiado importante; mientras que en los sistemas de A.C.I. e Hidrostática, dicho desplazamiento es ya muy fuerte.

4.1. COMENTARIOS

Como decíamos en el preámbulo, el criterio que, a nuestro juicio, debe inspirar la solución del problema que nos ocupa, es el mayor o menor grado de aproximación de los resultados numéricos obtenidos por el procedimiento de cálculo utilizado, respecto a la realidad físico-experimental del fenómeno que se considera.

Porque el propósito de lograr la necesaria protección, frente a inevitables circunstancias desfavorables, constituye en la técnica actual un problema distinto, que se resuelve siempre a base de establecer un coeficiente de mayoración de causas (parte integrante, junto con la minoración de efectos, del coeficiente de seguridad), aplicable por igual a todos los valores resultantes del cálculo.

Según se desprende de las cifras del cuadro 2, y resalta claramente a la vista de los gráficos de las figuras 3 y 4, parece como si sólo el autor y CIRIA se hubiesen planteado correctamente el problema. Habiendo obtenido, por cierto, resultados bastante satisfactorios, mejores

los del primero con + 0,6 % de divergencia conjunta y 13,7 % de desviación media, frente a + 5,1 % y 25,1 % para la segunda.

Por el contrario, los otros tres procedimientos de cálculo, más que acercarse a la realidad del fenómeno, parece que han pretendido (o tal vez, lo han logrado sin proponérselo) quedar a cubierto frente a posibles circunstancias adversas. En efecto, sus divergencias conjuntas ($\Sigma_0 \Delta \pm$) dejan bastante que desear, con valores de + 18,6 % para Gardner, + 39,8 % para *hidrostática* y + 47,5 % para ACI. Pero aún resalta más el hecho, observando que el primero obtiene 36 resultados favorables (con desviación media positiva de + 21,4 %), frente a cuatro adversos (media negativa, - 7,5 %), y la tercera, 37 favorables (con + 52,5 %), contra tres adversos (- 13,7 %).

La perfecta culminación del anterior criterio, se logra con el sistema *hidrostático*, en el cual todos los 40 resultados son favorables, con desviación media positiva de + 39,8 %. Porque naturalmente, por principio, no puede existir ninguna presión real superior a la hidrostática, con diferencias de cierta importancia si las presiones reales fueran granulostáticas, pero mucho mayores si existiera algún tipo de limitaciones de presión.

En definitiva, la cuestión de adoptar uno u otro sistema de cálculo de presiones previsibles, es de tipo económico. En la primera columna numérica del cuadro 5 adjunto, se indican los valores medios de las presiones: en primera línea, de las medidas experimentalmente; en las sucesivas, de las calculadas por los distintos procedimientos. Puede verse que según el método del autor, la presión media calculada es

CUADRO 5

Concepto		Presión media	$\Sigma_0 \Delta -$	Coefficiente mayoración	Presión trabajo	Relación	
Presión media	Medida	60,6	—	—	—	—	
	Calculada según:	Autor	60,7	- 10,9	1,22	74	100
		CIRIA	63,6	- 24,3	1,49	95	128
		Gardner	72,3	- 7,5	1,15	83	112
		Hidrostática	100,6	- 0,0	1,00	101	136
		ACI	124,1	- 13,7	1,27	158	214

muy poco mayor que la real, mientras que en el otro extremo de la escala, la media de ACI es más del doble que la real.

En la columna numérica segunda, se anotará la desviación media negativa ($\Sigma_0 \Delta -$) de cada sistema, que como habíamos dicho antes, representa en el gráfico de frecuencias la distancia al eje de ordenadas, del centro de gravedad de los valores desfavorables.

Con un coeficiente de mayoración de causas definido según la expresión siguiente:

$$U_c = 1 + 2 \cdot \frac{\Sigma_0 (\Delta -)}{100}$$

quedaríamos prácticamente a cubierto de todos los casos desfavorables. En la tercera columna numérica del cuadro calcularemos dichos valores. A continuación dejaremos constancia en la cuarta columna, del producto de la presión media por el coeficiente de mayoración propuesto, obteniendo así una presión media de trabajo, que puede ser razonable utilizar, más o menos en igualdad de condiciones de seguridad para todos y cada uno de los procedimientos.

Por último, en la columna final, estableceremos una relación entre las distintas presiones de trabajo posibles, cifrando como 100 la corres-

pondiente al método del autor, que da el valor más pequeño. Le sigue Gardner con 112, CIRIA con 128 e *hidrostático* con 136. El procedimiento de ACI se despega considerablemente, con relación 214.

Jacinto Martín Palanca



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, de la promoción de 1941. Unos primeros años de ejercicio profesional ocupados en la construcción (Agroman), el proyecto («Estudios y obras nuevas», de Vía y Obras, de la Renfe), la enseñanza (profesor de Resistencia de materiales, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación) y los prefabricados de hormigón (Palosca). Hacia 1965, se consagró a la calderería, concretamente al proyecto y construcción de encofrados metálicos (primero en Talleres Solimán, después con Entrecanales y Tavora, e Iberinsa). Sobre esta última especialidad, además de algún artículo en la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, es autor de varias monografías, publicadas por el Instituto «Eduardo Torroja» de la Construcción y del Cemento, que tienen por títulos, «La vibración de encofrados» (1977), «El momento de desencofrar» (1981) y «Esfuerzos solicitantes del encofrado» (1979), esta última más tarde ampliada y mejorada por «Presiones del hormigón fresco» (1982).