

# Estudio sobre encofrados de madera modernos

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Ingeniero Industrial

836-12

## sinopsis

En este artículo se compendia casi toda la literatura existente, así como importantes aportaciones del autor, sobre encofrados, capítulo importante en la construcción, ya que su costo resulta no pocas veces tan elevado o más que el propio hormigón vertido.

Así pues en beneficio de arquitectos, ingenieros, encargados y carpinteros se dan datos, cuadros y ábacos para el empleo racional de los citados encofrados, sean de madera, metálicos, etc.

## PARTE II

### PROPIEDADES DEL HORMIGON

Puesto que los encofrados sirven de moldes donde verter el hormigón recién hecho, hasta que se endurece y adquiere la resistencia prevista, no solamente para soportar su peso propio, sino fundamentalmente el de las sobrecargas que habrá de resistir en su momento oportuno, parece lógico que antes de describir; profundizar; calcular; es decir, pasar a estudiar desde todos los puntos de vista los materiales que componen los «Encofrados de Madera Modernos», dediquemos un capítulo entero a estudiar este material para el que se construyen los encofrados, es decir, el hormigón, pues sin conocer bien las propiedades y comportamiento en obra de este material de construcción, no es posible diseñar unos encofrados bien adaptados a las necesidades de aquél.

Así pues vamos a estudiar el hormigón y sus cualidades en esta segunda parte.

#### 1. — Fraguado del hormigón

Como se sabe el hormigón es una mezcla de proporciones determinadas entre ciertos límites, de árido grueso, arena, agua y cemento, y cuando esa mezcla se amasa, las propiedades que la caracterizan están entre las de las sustancias líquidas y las de las sólidas, por lo que es usual definir en ese estado al hormigón como un material plástico; pero conforme pasa el tiempo el hormigón pierde plasticidad y gana resistencia, siendo precisamente esta propiedad denominada «fraguado», que hace al hormigón un valioso elemento para la construcción.

El paso del estado plástico al sólido no se conoce aún hoy día con precisión, pero parece que se compone de dos fases:

- La primera el fraguado, que comienza alrededor de la media hora del inicio del amasado, y que depende sobre manera de la temperatura, pudiendo prolongarse varias horas con bajas temperaturas.
- La otra fase consiste en la aparición de rozamientos internos entre los materiales amasados de que se compone el hormigón, impidiendo a las partículas que forman aquéllos a moverse libremente. La importancia de ese razonamiento interno depende fundamentalmente de la cantidad de agua que contenga el hormigón, siendo, como es natural, mayor el rozamiento en los hormigones secos que en los húmedos, aumentando el rozamiento con la pérdida del agua.

De lo anterior se puede intuir que la rapidez con que pase el hormigón del estado pastoso al sólido, tiene un efecto importante sobre la presión lateral que transmite a los encofrados que lo contienen.

## 2.—Desencofrado

El desencofrado consiste en retirar los moldes, una vez que el hormigón ha llegado a tener una consistencia suficiente para autoportarse. De esto se infiere que es completamente distinto el tiempo en que el hormigón debe estar encofrado, si se trata de pilares o muros que si se trata de forjados.

En general es norma usual que el hormigón en pilares y muros se puede desencofrar a los 3 días, y aun menos de su vertido, mientras que para forjados es norma general que el encofrado con su apuntalamiento permanezca 21 días.

Para facilitar el desencofrado y lograr que la superficie encofrante se despegue fácilmente del hormigón y no dañe a éste, es normal untar a la superficie encofrante, antes del vertido del hormigón, con productos desencofrantes.

## 3.—Peso de los Hormigones

He aquí una primera propiedad importantísima para el cálculo de los encofrados. El peso del hormigón depende principalmente de la densidad de los áridos empleados. Así, por ejemplo, un hormigón hecho con áridos ligeros, que puede ser la piedra volcánica, el peso no llega ni a los 1.200 kp/m<sup>3</sup>. Pero normalmente el peso del hormigón oscila poco, alrededor de 2.400 kp/m<sup>3</sup>, que es cifra universalmente aceptada.

## 4.—Presión del hormigón sobre el encofrado

Aun cuando se han realizado gran cantidad de ensayos en muchos países, al objeto de determinar la presión lateral del hormigón sobre las paredes verticales del encofrado, como son tantos los factores que influyen en ella, los resultados de los ensayos son bastante dispares.

He aquí los factores que influyen en la presión lateral del hormigón recién vertido:

- 1.—Influencia de la velocidad de hormigonado.
- 2.—Influencia de la temperatura.
- 3.—Influencia de la dosificación de áridos.
- 4.—Influencia de la relación agua-cemento.
- 5.—Influencia del vibrado y los impactos.
- 6.—Influencia de la forma y dimensiones del encofrado.
- 7.—Influencia de la armadura.
- 8.—Influencia del peso del hormigón.
- 9.—Influencia de la altura de vertido.

### 4.1.—Influencia de la velocidad de hormigonado

Empezamos por la velocidad de hormigonado, medida en m/hora, por ser éste un factor predominante en la presión lateral que buscamos. Son clásicos los ensayos hechos por Roby hacia 1934-35, plasmados en la fig. n.º 1, según las dosificaciones contenidas en el cuadro n.º 1, resumiendo en el cuadro n.º 2, los resultados máximos alcanzados, desgraciadamente bastante dispares con los obtenidos por otros analistas.

Los ensayos de Roby, a los que nos estamos refiriendo, fueron realizados en pilares de sección cuadrada de 75 × 75 cm y 4,6 m de altura, anotando que la temperatura era de 15 a 20 °C.

Como era lógico esperar de la fig. n.º 1 y del cuadro n.º 2, se deduce que la presión sobre el encofrado es tanto mayor cuanto más elevada es la velocidad de hormigonado.

Si el hormigón fuera un líquido, la presión lateral sería el producto de su densidad por la altura alcanzada. Así suele plantearse el problema en el caso de pilares, que dada su pequeña sección, se llenan normalmente en muy poco tiempo; pero este proceder no es aplicable en el caso de encofrados de muros u otros elementos estructurales de gran volumen, que se tardan varias horas en llenar.

CUADRO N.º 1

AUTORES	PRESION MAXIMA kp/m <sup>2</sup>		INCREMENTO DE PRESION	
	A MANO	VIBRADO	kp/m <sup>2</sup>	%
Macklin	2075	3540	1465	70
Rodin	3090	4170	1080	35
Universal Form Clamp Co.	2680	4025	1345	50

CUADRO N.º 2

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE HORMIGONADO DE LOS ENCOFRADOS SOBRE LA PRESION MAXIMA (Según ROBY)			
TIPO DE DOSIFICACION	VELOCIDAD DE LLENADO EN m/h	PRESION MAXIMA kp/m <sup>2</sup>	TIEMPO PRECISO PARA ALCANZAR LA PRESION MAXIMA EN horas.
Normal	0,3	2050	3
"	0,6	2783	2 ½
"	1,2	3271	1 ½
"	3,0	3808	¾
Rica	0,3	2636	4
"	0,6	3369	3
"	1,2	4882	2

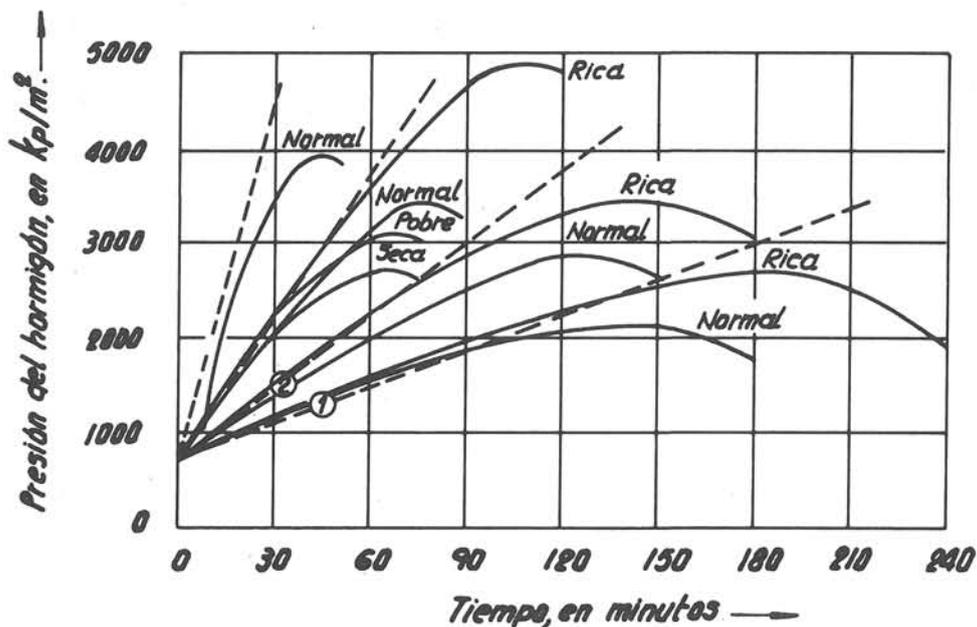


Fig. 1

El cuadro n.º 3 enseña los resultados obtenidos por Smith, con un hormigón húmedo de dosificación 1 : 2 : 4, Los valores relativamente bajos de la presión y del tiempo necesario para alcanzarla que se obtuvieron, ponen en tela de juicio la validez de estos resultados.

CUADRO N.º 3

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE LLENADO DE LOS ENCOFRADOS SOBRE LA PRESION MAXIMA (SMITH)				
TEMPERATURA AMBIENTE °C	VELOCIDAD DE LLENADO m/h	PRESION MAXIMA		
		kp/m <sup>2</sup>	ALTURA DE HORMIGON m	TIEMPO PARA ALCANZARLA EN MINUTOS.
23,2	2,75	1562	0,915	20
23,5	3,23	1025	0,700	13
14,0	3,66	1367	0,975	17
14,0	3,81	1709	0,975	17
23,5	3,81	1318	0,700	11
14	6,10	1709	1,400	23
14	6,10	2734	1,400	23

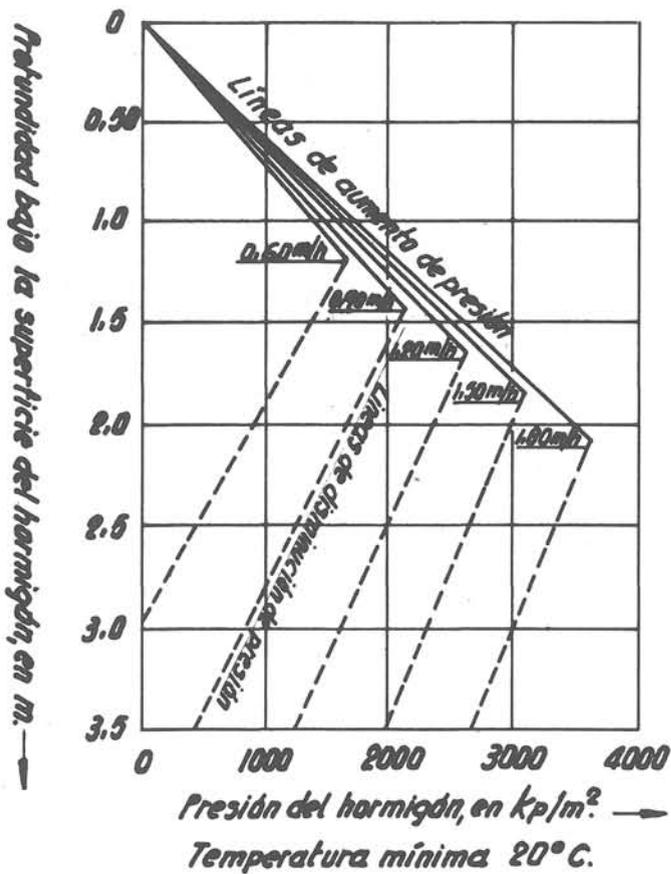


Fig. 2

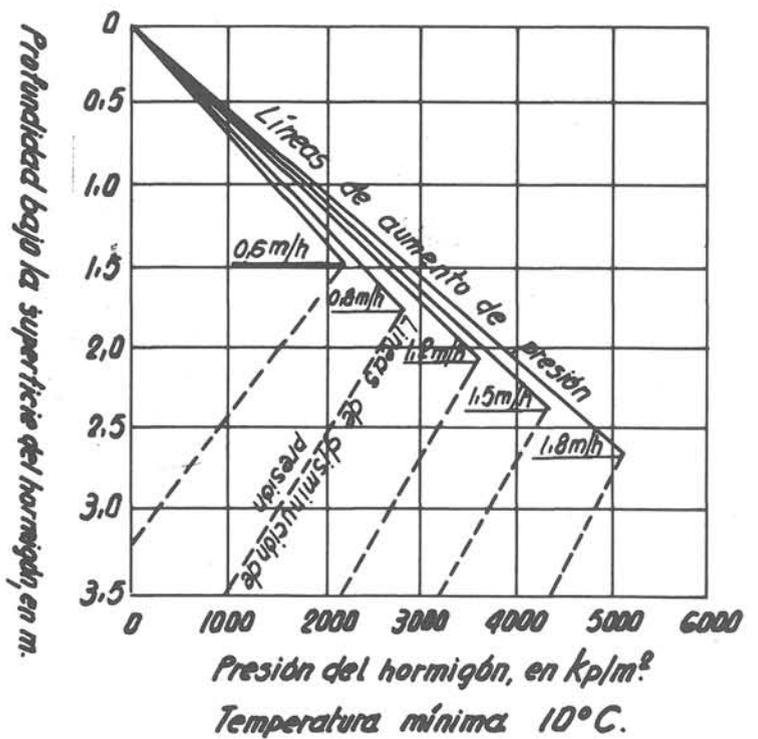


Fig. 3

Las figs. 2 y 3 representan las relaciones entre la presión sobre el encofrado, velocidad de llenado y temperatura de fraguado, según datos proporcionados por Universal Form Clamp Company, y cuya utilización se recomienda por Portland Cement Association. El autor, Macklin, propone una fórmula para determinar la presión máxima en  $\text{kp/m}^2$ , basada en los datos obtenidos por diversos investigadores y por él mismo, que es:

$$P_{max} = 732 (3,28 V)^{(1/2 + 1/2 \sqrt{V})}$$

en la que  $P_{max}$  es la presión máxima a obtener y  $V$  la velocidad de hormigonado en  $\text{m/h}$ .

Esta fórmula tiene un limitado campo de aplicación; concretamente es válida sólo para dosificaciones 1 : 2 : 4, utilizándose factores de corrección para dosificaciones diferentes, y en el caso de que el compactado se realice con vibrador, la presión dada por esa fórmula debe aumentarse en  $1.465 \text{ kp/m}^2$ .

Con los numerosos datos dados por varios investigadores y los suyos propios, Rodin expone las siguientes fórmulas para la obtención de la presión máxima del hormigón colocado a mano; la altura donde se obtiene esa presión máxima, y el tiempo necesario para alcanzarla:

$$P_{max} = 2900 \cdot V^{1/3} = 1765 \cdot H_{max} \quad [1]$$

$$H_{max} = 1,64 \cdot V^{1/3}$$

$$T_{max} = \frac{1,64}{V^{2/3}}$$

pero si el hormigón se compacta con vibrador entonces tales fórmulas se transforman en:

$$P_{max} = 3920 \cdot V^{1/3} = 2400 \cdot H_{max}$$

$$H_{max} = 1,64 \cdot V^{1/3} \quad [2]$$

$$T_{max} = \frac{1,64}{V^{2/3}}$$

En las que:

$P_{max}$  = Presión máxima en  $\text{kp/m}^2$

$V$  = Velocidad de llenado en  $\text{m/h}$

$H_{max}$  = Altura de hormigón a la presión máxima, en  $\text{m}$

CUADRO N.º 4

VELOCIDAD DE HORMIGONADO $\text{m/h}$	PRESION MAXIMA EN $\text{kp/m}^2$		ALTURA DE PRESION MAXIMA . $\text{m}$	TIEMPO PARA ALCANZAR LA PRESION MAXIMA. $\text{h}$
	HORMIGONADO A MANO	HORMIGON VIBRADO		
0,3	1953	2640	1,10	3,60
0,6	2465	3320	1,40	2,30
0,9	2820	3805	1,59	1,73
1,2	3100	4175	1,74	1,42
1,5	3330	4500	1,86	1,22
1,8	3530	4770	1,98	1,08
2,1	3730	5025	2,10	0,99
2,4	3900	5260	2,20	0,90
2,7	4050	5460	2,29	0,83
3,0	4200	5660	2,35	0,77
4,5	4800	6475	2,72	0,60
6,0	5300	7140	2,95	0,49

El cuadro n.º 4, da los resultados de aplicación de las dos fórmulas anteriores. Se advierte que los datos del citado cuadro se refieren a hormigón de dosificación 1 : 2 : 4 a 20 °C de temperatura.

El American Concrete Institute ha dedicado mucha atención a la obtención de fórmulas válidas para su aplicación en normas prácticas de hormigonado y recomienda en muros, las siguientes:

$$P_{max} = 732 + \frac{720.000 \cdot V}{9 \cdot T + 160} \text{ para } V < 2 \text{ m/h} \quad [1]$$

$$P_{max} = 732 + \frac{1.060.000}{9 \cdot T + 160} + \frac{224.000 \cdot V}{9 \cdot T + 160} \text{ para } V > 2 \text{ m/h} \quad [2]$$

Y en pilares aconseja:

$$P_{max} = 732 + \frac{720.000 \cdot V}{9 \cdot T + 160}$$

en las que  $P_{max}$  es la presión máxima en  $\text{kp/m}^2$ ; V la velocidad de hormigonado en  $\text{m/h}$  y T la temperatura del hormigón en °C.

En los siguientes cuadros n.º 5, y n.º 6, se dan las presiones máximas en muros y pilares a base de hormigones compactados con vibrador.

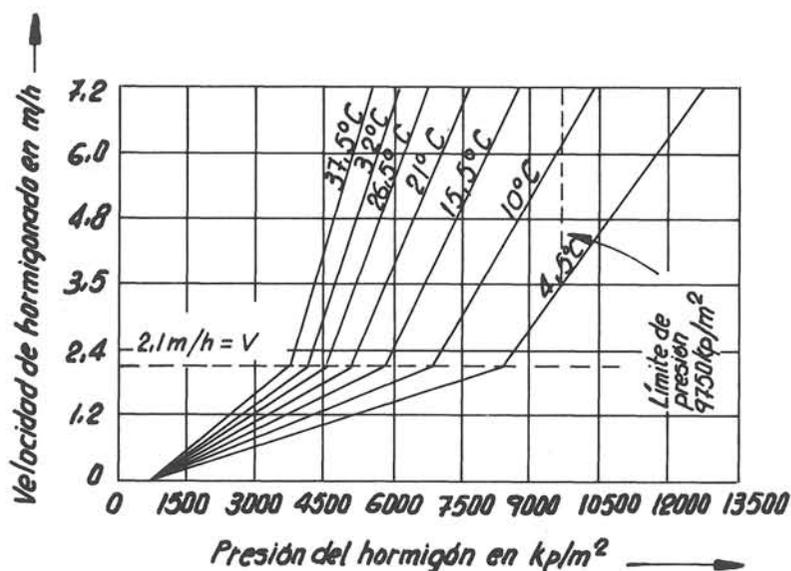
CUADRO N.º 5

PRESIONES MAXIMAS PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE LLENADO Y TEMPERATURAS DE HORMIGON VIBRADO (ACI) EN MUROS							
VELOCIDAD DE HORMIGONADO m/h	PRESION MAXIMA EN $\text{kp/m}^2$						
	TEMPERATURA EN °C						
	4,5	10	15,5	21	26,5	32	37,5
0,3	1830	1610	1465	1360	1280	1220	1170
0,6	2930	2490	2200	2000	1830	1710	1610
0,9	4025	3370	2930	2620	2380	2200	2050
1,2	5125	4250	3660	3240	2930	2680	2490
1,5	6225	5125	4400	3870	3480	3170	2930
1,8	7315	6000	5125	4500	4025	3660	3360
2,1	8400	6875	5850	5125	4550	4150	3800
2,4	8750	7150	6075	5315	4750	4280	3940
2,7	9100	7425	6300	5520	4920	4450	4075
3,0	9340	7680	6540	5705	5080	4600	4215
4,5	9750	9050	7665	6680	5940	5360	4900
6,0	9750	9750	8800	7650	6800	6120	5580

CUADRO N.º 6

PRESIONES MAXIMAS PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE LLENADO Y TEMPERATURA DE HORMIGON VIBRADO (ACI) EN PILARES.							
VELOCIDAD DE HORMIGONADO m/h	PRESION MAXIMA EN $kp/m^2$						
	TEMPERATURA EN $^{\circ}C$						
	4,5	10	15,5	21	26,5	32	37,5
0,3	1830	1610	1465	1360	1280	1220	1170
0,6	2930	2490	2200	2000	1830	1710	1610
0,9	5125	3370	2930	2620	2380	2200	2050
1,2	6225	4250	3660	3240	2930	2680	2490
1,5	7315	5125	4400	3870	3480	3170	2930
1,8	8400	6000	5125	4500	4025	3660	3360
2,1	9500	6875	5850	5125	4550	4150	3800
2,4	10600	7750	6585	5750	5125	4640	4250
2,7	11700	8630	7310	6370	5670	5125	4680
3,0	13900	9500	8050	7000	6125	5610	5125
3,6	14650	11275	9500	8260	7310	6580	6000
4,5	14650	13900	11700	10200	8950	8050	7310
6,0	14650	14650	14650	13275	11700	10500	9500

En la fig. 4 se representan gráficamente las relaciones entre la velocidad de hormigonado de encofrados de muros, la temperatura y la presión máxima, y en la fig. 5 se dibujan las mismas variables para el caso de pilares, ambas deducidas de las fórmulas recomendadas por el American Concrete Institute.



Relación entre la velocidad de hormigonado del encofrado de muros, presión máxima y temperatura. (ACI).

Fig. 4

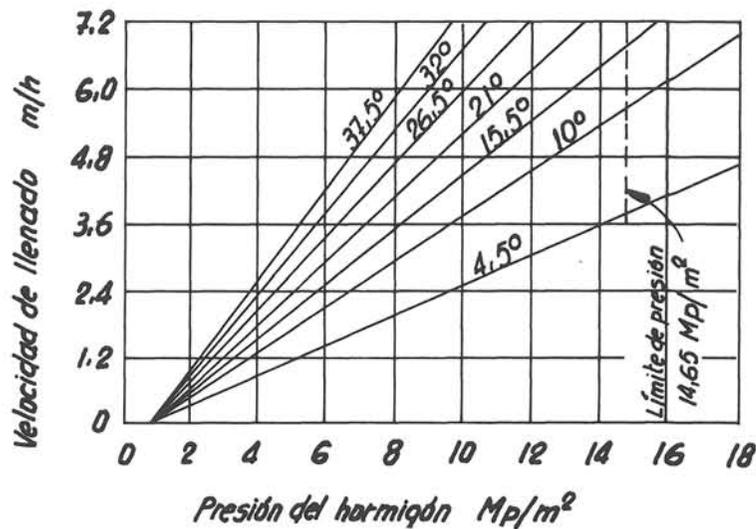


Fig. 5

Por último, en la fig. 6 se representan gráficamente las curvas de presión sobre el encofrado en función de la velocidad de hormigonado obtenidas por Macklin; Rodin; Roby; Portland Cement Association, y

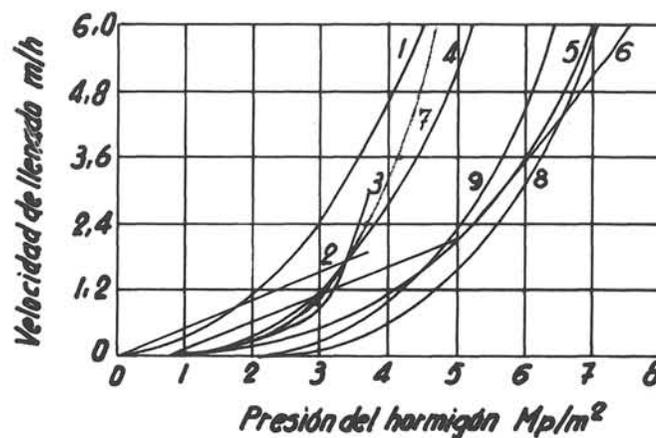


Fig. 6

**Relación entre la velocidad de hormigonado y la presión máxima.**  
 1.- Macklin; 2.- PCA; 3.- Roby; 4.- Rodin, a mano; 5.- Rodin vibrado  
 6.- ACI; Dosificación 1 : 2 = 4 ; Temperatura 21°C.

American Concrete Institute, para hormigones de dosificación 1 : 2 : 4 a 21 °C de temperatura.

En Alemania es usual emplear una sencilla fórmula para determinar la presión del hormigón sobre el encofrado según la velocidad de hormigonado que es

$$P_{max} = 3 \sqrt[4]{V} \quad [3]$$

siendo como en las fórmulas anteriores  $P_{max}$  en  $M_p$  la presión máxima ejercida por el hormigón vertido y  $V$  la velocidad de hormigonado del encofrado en m/h.

Es una fórmula de sencilla aplicación, que proporciona valores representados en la fig. 7 por la curva n.º 7, situados entre los dados por la curva n.º 1 de Macklin y la n.º 4 de Rodin para hormigón sin vibrar.

Como hoy día se vibran prácticamente todos los hormigones, recomendamos corregir esa fórmula sencilla aplicando una constante de 4, o si se quiere aún más seguridad de 4,5, quedando ambas así:

$$P_{max} = 4 \sqrt[4]{V} \quad ; \quad P_{max} = 4,5 \sqrt[4]{V}$$

representados sus valores por las curvas 8 y 9 de la fig. 6, respectivamente, pudiendo comprobarse que sus valores son muy cercanos a los que da Rodin para hormigón vibrado en la curva 5, a los preconizados por el A.C.I., curva n.º 6.

Como ya hemos dicho antes, en Alemania se emplea la sencilla fórmula [3], pero sólo es válida para velocidades de hormigonado hasta de 4 m/h. A partir de ese límite, para velocidades mayores, debe utilizarse la siguiente:

$$P_{max} = 3,6 \sqrt[4]{V}$$

Ambas fórmulas se dan en la fig. 7 acompañado de la fig. 8 que da a conocer la forma de la presión en muros. Según Ertingshausen la fig. n.º 8 se estudió para temperaturas entre 5 °C y 12 °C y es aplicable para una amplia gama de temperaturas normales.

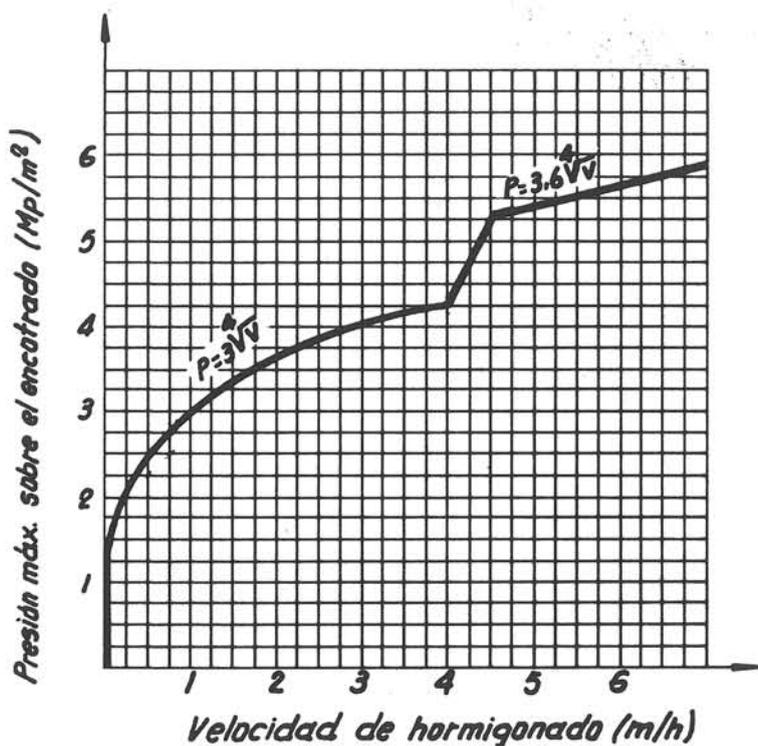


Fig. 7

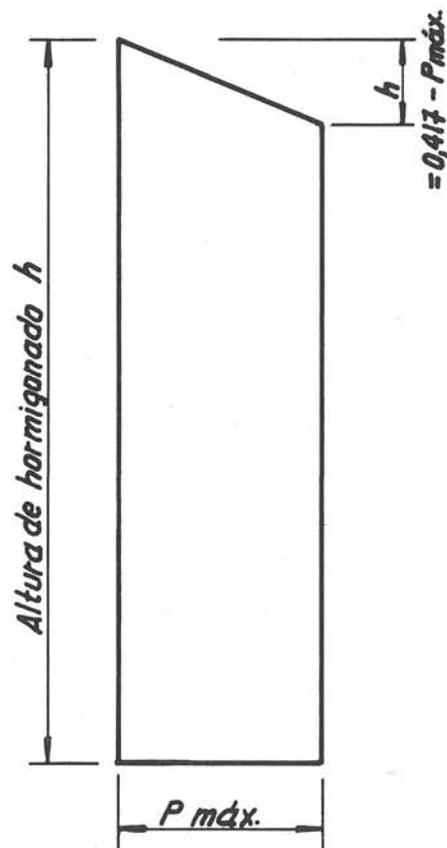


Fig. 8

#### 4.2.—Influencia de la temperatura

El hormigón recién hecho se vierte en los encofrados en estado semilíquido, y se sabe que conforme transcurre el tiempo aquél va endureciéndose, o sea, va fraguando, hasta que tal hormigón se solidifica totalmente, en cuyo momento el encofrado es supérfluo para mantener la forma que haya tomado el hormigón vertido antes.

Por tanto, supuesto un encofrado relleno de hormigón fresco, o recién hecho, se comprende que éste transmitirá a aquél una presión superficial que irá aumentando gradualmente hasta alcanzar un máximo, cuyo valor dependerá de todas las circunstancias que estamos estudiando en este epígrafe 4 «Presión del hormigón sobre el encofrado», para ir disminuyendo después gradualmente conforme avanza el proceso de fraguado.

Ahora bien, el tiempo necesario para el fraguado del hormigón depende de su temperatura, y de ahí que la presión máxima de aquél dependa de ésta. Efectivamente, como las temperaturas bajas retrasan el proceso de fraguado y las altas lo aceleran, a igualdad de los demás factores que influyen en la presión del hormigón sobre la superficie del encofrado, es evidente que las temperaturas bajas produzcan mayores presiones que las altas.

Aunque sorprenda, se ha demostrado experimentalmente que las variaciones de temperatura producen diferencias de la presión máxima muy sensibles, y desde luego lo suficientemente amplias como para tener en cuenta la «influencia de la temperatura», a la hora de calcular la presión máxima del hormigón sobre el encofrado para poder proyectar éste.

De todo ello se deduce que hay que introducir unos factores de corrección para calcular  $P_{max}$ , que están en función de la temperatura del hormigón y no de la del ambiente, caso que ambas sean distintas.

CUADRO N.º 7

VELOCIDAD DE - HORMIGONADO m/h	TEMPERATURA °C	PRESION MAXIMA kp/m <sup>2</sup>	% DE PRESION A 20 °C
0,6	20	1750	100
	10	2200	129
0,9	20	2250	100
	10	2930	133
1,2	20	2760	100
	10	3660	136
1,5	20	3200	100
	10	4400	138
1,8	20	3700	100
	10	5120	140
MEDIA DE TODOS LOS %	20		100
	10		135

En la fig. 9 se representa gráficamente la influencia de la temperatura en la presión sobre los encofrados ejercida por el hormigón, según propuesta de P.C.A. (Portland Cement Association), como consecuencia de los ensayos hechos por U.F.C.C. (Universal Form Clamp Company), y que se exponen en el cuadro n.º 7.

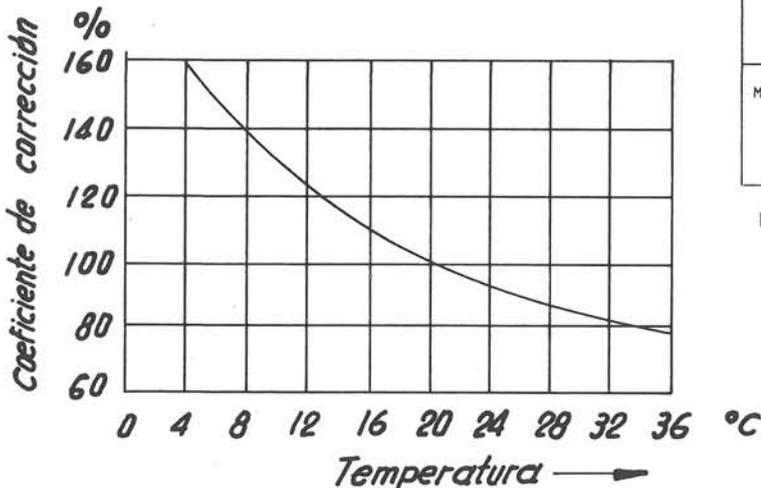
En el cuadro n.º 8 se exponen las experiencias de Maxton a este respecto de la variación de la presión máxima con relación a la temperatura, y en el cuadro n.º 10 se recogen las relaciones obtenidas de las fórmulas [1] y [2] para encofrado de muros dadas por la A.C.I. (American Concrete Institute).

Por último, en el cuadro n.º 9 se exponen las medias de los % de los tres cuadros anteriores, con las que poder calcular las medias de las medias en la última columna, y en base a ésta poder diseñar la curva de variación en la fig. n.º 9.

**CUADRO N.º 8**

VELOCIDAD DE HORMIGONADO m/h	TEMPERATURA °C	PRESION MAXIMA kp/m <sup>2</sup>	% DE PRESION A 20 °C
0,6	26	1600	92
	20	1800	100
	15	1900	108
	10	2200	122
	5	2500	143
0,9	26	2200	94
	20	2350	100
	15	2550	108
	10	3080	128
	5	3500	149
1,2	26	2600	93
	20	2850	100
	15	3150	112
	10	3510	124
	5	4350	155
1,5	26	3050	94
	20	3300	100
	15	3630	112
	10	4250	130
	5	5100	157
1,8	26	3300	93
	20	3600	100
	15	4050	115
	10	4780	134
	5	5700	162
MEDIA DE TODOS LOS PORCENTAJES	26 20 15 10 5		93 100 111 128 153

Relación entre la presión máxima y la temperatura según Maxton.



**CUADRO N.º 9**

VELOCIDAD DE HORMIGONADO m/h	TEMPERATURA °C	PRESION MAXIMA kp/m <sup>2</sup>	% DE LA PRESION A 20 °C
0,3	38	1610	78
	32	1710	86
	26	1830	92
	20	2000	100
	15	2200	110
	10	2490	125
1,2	5	2930	146
	38	2490	77
	32	2680	83
	26	2930	90
	20	3240	100
	15	3600	113
1,8	10	4250	131
	5	5125	158
	38	3370	75
	32	3660	81
	26	4025	90
	20	4500	100
2,4	15	5125	114
	10	6000	133
	5	7315	163
	38	3940	74
	32	4280	81
	26	4750	89
3,0	20	5325	100
	15	6075	114
	10	7150	134
	5	8750	164
	38	4220	73
	32	4600	81
4,5	26	5080	89
	20	5710	100
	15	6540	114
	10	7700	135
	5	9450	165
	38	4885	78
MEDIA DE TODOS LOS PORCENTAJES	32	5360	80
	26	5940	89
	20	6690	100
	15	7675	115
	10	9060	135
	5	10650	159
38	3940	74	
32	4280	81	
26	4750	89	
20	5325	100	
15	6075	114	
10	7150	134	
5	8750	164	

Relación entre la presión máxima y la temperatura según A.C.I.

Fig. 9

CUADRO N.º 10

TEMPERATURA °C	MEDIA DE TODOS LOS PORCENTAJES			MEDIA DE TODOS LOS CUADROS
	CUADRO N.º 7	CUADRO N.º 8	CUADRO N.º 9	
38	-	-	76	76
32	-	-	82	82
26	-	93	86	89
20	100	100	100	100
15	-	111	113	112
10	135	128	132	132
5	-	153	159	156

Resumen de las medias de todos los porcentajes de los cuadros núms. 7, 8 y 9.

#### 4.3.—Influencia de la dosificación

La dosificación de la mezcla ejerce una influencia directa sobre la presión del hormigón en los encofrados. Así un hormigón de mezcla rica, o sea, con alta proporción de cemento respecto del árido, está más próximo al estado líquido que otro pobre, y además su duración de fraguado es superior a la de este último, y por ello cuanto mayor sea la altura del hormigón, sobre cualquier punto de su masa, la presión que sobre éste actuará será mayor.

Roby ha hecho ensayos minuciosos sobre este aspecto y en la fig. 10 quedan plasmados sus resultados, empleando hormigones cuyas características se dan en el siguiente cuadro n.º 11.

CUADRO N.º 11

CARACTERISTICAS	RICA	NORMAL	POBRE	SECA
Dosificación	1:1¼ : 2 ¼	1 : 2 : 3 ½	1 : 2 ½ : 3 ½	1 : 2 : 3 ½
Asentamiento medio en cm.	17,8	17,8	17,8	7,6
Relación Agua - Cemento	0,66	0,91	1,10	0,86
Peso en kp/m <sup>3</sup>	2400	2420	2467	2420

En el cuadro n.º 12 se exponen las relaciones existentes entre la presión media y la dosificación, según ensayos del mismo autor citado anteriormente.

CUADRO N.º 12

VELOCIDAD DE HORMIGONADO m/h	DOSIFICACION	PRESION MEDIA kp/m <sup>2</sup>	% DE LA PRESION SOBRE LA DOSIFICACION NORMAL.
1,20	1 : 1 1/4 : 2 1/4	4770	143
	1 : 2 : 3 1/2	3370	100
	1 : 2 1/2 : 5	3175	90

4.4. — Influencia de la relación agua-cemento

Cuanto mayor sea el grado de asentamiento, a igualdad de los demás factores, la presión del hormigón vertido sobre los encofrados es mayor. Esto ha comprobado el antedicho autor Roby, cuyos resultados se representan en la fig. 10, en la que puede verse que hormigones secos, con idéntica dosificación que otros normales, excepto en la proporción agua-cemento, producen presiones máximas del orden del 80 % de los que originan los hormigones normales.

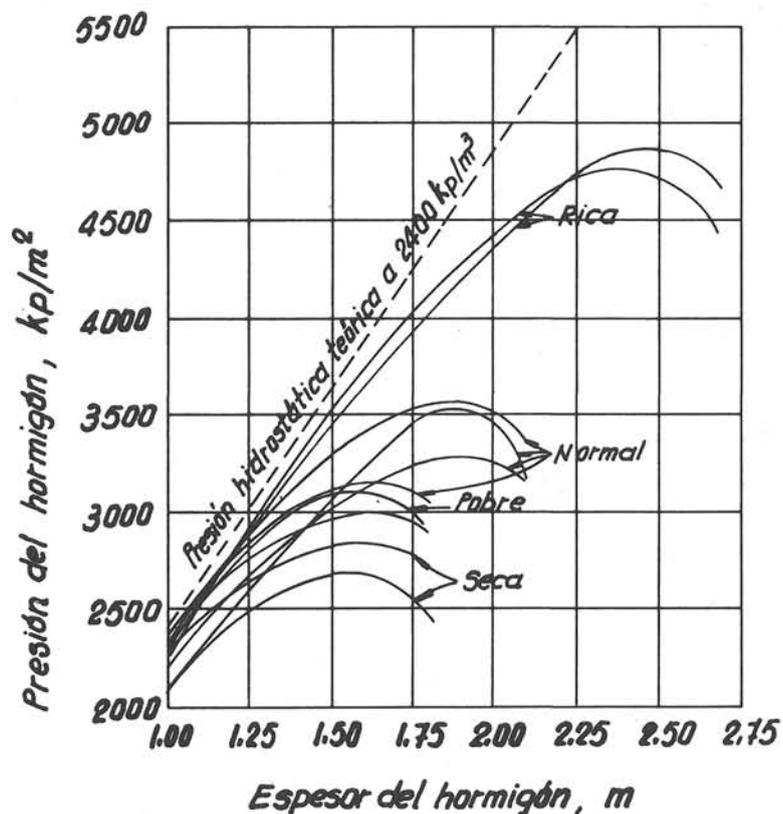


Fig. 10

4.5.—Influencia del vibrado e impactos

El autor Teller ha realizado ensayos de hormigonado de pilares rectangulares de 0,60 × 0,20 m y altura de 3,60 m. Empleó hormigón de dosificación 1 : 2 : 4, con árido de dimensión máxima de 3,2 cm, hormigonando a dos temperaturas: 10 °C y 17 °C con velocidad de llenado de 6 m/h.

El hormigón se apisonó a mano en dos pilares y mediante vibrador en otros tres iguales a los anteriores llegando a los siguientes asentamientos:

- Hormigón apisonado con pala..... 9 y 19 cm
- Hormigón vibrado..... 4, 9 y 13 cm

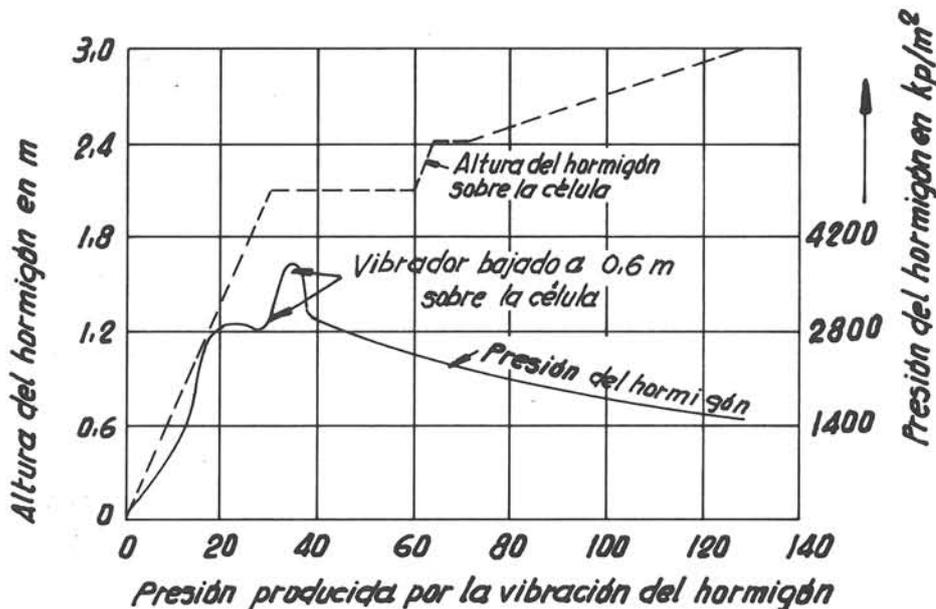
En el hormigón apisonado con pala, las presiones sobre las células de presión colocadas por el autor a diferentes alturas del encofrado de los pilares ensayados, aumentaron aproximadamente en la misma relación que en un fluido hidrostático de 2.400 kp/m<sup>3</sup> de peso específico a la altura de 1,8 m, obteniendo las siguientes presiones a las correspondientes alturas que se indican:

Asentamiento - cm	Altura - m	Presión máxima - kp/m <sup>2</sup>
9	1,7	4.394
19	2,6	5.224

Las presiones en el hormigón vibrado, con asentamientos de 4 y 13 cm, aumentaron en la misma relación que en un fluido hidrostático de 2.400 kp/m<sup>3</sup> de peso específico, en toda la altura del encofrado, mientras que en el hormigón con asentamiento de 9 cm aumentaron en menor proporción.

La fig. n.º 11 refleja los ensayos hechos por Stanton para averiguar la influencia que podría tener el vibrador eléctrico. Para ellos empleó una célula de presión a 1,2 m encima de la solera de un muro de contención de 4,5 m de altura, y de espesor variable desde 66 cm en la base hasta 46 cm en su coronación. El llenado se hizo a una velocidad de 4,3 m/h con un hormigón de 5 cm de asentamiento. Las curvas de la fig. 11 muestran la relación entre la altura del hormigón situado encima de la célula y la presión registrada por ésta.

Con excepción de un intervalo de unos 30 a 40 minutos, el vibrador solamente se empleaba a 0,6 m, y la curva de presión de la fig. 11 nos dice que hasta una altura de 1,3 m había presión hidrostática total, y que a partir de esa cota disminuía.



Cuando el hormigón llegaba a una altura de unos 2 m, se descendía el vibrador hasta 0,6 m por encima de la célula durante 2 minutos, lo que se traducía en una elevación brusca, pero temporal, de la presión de unos 1.075 kp/m<sup>2</sup>, o sea un 38 % de aumento sobre la presión en la célula antes de descender el vibrador.

Otro autor, Mackling, recomienda que cuando se utilicen vibradores internos se emplee su fórmula

$$P_{max} = 732 (3,3 \cdot V)^{(1/2 + 0,5 \sqrt{V})}$$

en la que  $P_{max}$  es la presión máxima buscada y V la velocidad de hormigonado en m/h.

Rodin aumenta la presión para hormigones vibrados en la relación 3.920 : 2.900 = 1,35, respecto al hormigón apisonado con pala (véanse expresiones [1] y [2]).

En el cuadro n.º 13 se dan las relaciones entre las presiones máximas alcanzadas por hormigón vibrado respecto del paleado.

CUADRO N.º 13

	Normal	Seca	Rica	Pobre
Dosificación	1 : 2 : 3½	1 : 2 : 3½	1 : 1¼ : 2¼	1 : 2¼ : 5
Asentamiento en cm.	17,8	17,8	17,8	17,8
Peso en kp/m <sup>3</sup>	2419	2419	2403	2467

La Universal Form Clamp Company advierte que las separaciones entre las curvas de su fig. 11 deben reducirse en un 15 %, cuando el hormigón se compacta con vibrador.

Pasemos ahora al efecto del impacto producido en los encofrados por la caída del hormigón.

Evidentemente no es posible determinar con exactitud la magnitud del incremento de presión consecuencia del impacto, pero sobre bases de hipótesis razonables, podemos determinar un valor aproximado y cercano a la realidad.

Supongamos un vertido libre de 3,7 m y una velocidad de hormigonado de 1,7 m<sup>3</sup>/min, siendo 2.400 kp/m<sup>3</sup> el peso del hormigón empleado.

Es evidente que al final de la caída el hormigón chocará con una capa de 15 cm de espesor, colocada previamente, que le hará disminuir su velocidad hasta cero en esa distancia, y como la velocidad alcanzada por el hormigón vertido en caída libre vale:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,7} = 8,53 \text{ m/seg.}$$

Después del choque con la capa de hormigón, colocada previamente, la velocidad media será de 4,26 m/seg, y el tiempo necesario para que la velocidad se anule, valdrá:

$$t = \frac{h}{v} = \frac{0,15}{4,26} = 0,036 \text{ segundos}$$

Como el peso del hormigón que cae durante ese tiempo será:  $0,036 \text{ seg.} \cdot 2.400 \text{ kp/m}^3 \cdot 0,0283 = 2,44 \text{ kp}$ , la deceleración a través de la capa de 15 cm del fondo valdrá:

$$a = \frac{V_i - V_z}{t} = \frac{8,53 - 0}{0,036} = 237 \text{ m/seg}^2$$

y la fuerza media para detener la caída del hormigón en los 15 cm será:

$$F = M \cdot a = \frac{\text{Peso}}{9,81} \cdot \text{deceleración} = \frac{2,44}{9,81} \cdot 237 = 59 \text{ kp}$$

Esta fuerza adicional actuará sobre la capa de hormigón vertido previamente, que temporalmente en estado semilíquido la transmitirá a los encofrados como una presión adicional. Pero como la superficie de encofrado que ha de resistir este incremento sobre la presión normal es muy difícil de determinar, lo que nos dicen los cálculos anteriores es: que es preciso reforzar el encofrado por esta influencia del impacto, y que cuanto más aumentemos la velocidad de hormigonado, el aumento de presión por impacto será mayor y de ahí que el refuerzo tenga que ser más importante.

#### 4.6.—Influencia de forma y dimensiones del cofre

Como ya hemos explicado, al verter hormigón en los encofrados, la presión aumenta a medida que lo haga la altura del hormigón hasta llegar a un máximo, iniciándose a continuación una disminución debida a dos causas: al comienzo del fraguado del hormigón vertido, y al desarrollo de rozamientos internos de su árido y de éste con las paredes del encofrado. Este rozamiento interno transmite la presión hidrostática total desde el hormigón situado encima al colocado bajo él, y esto ocurre antes de que el hormigón de la zona en cuestión comience a fraguar.

Pues bien, a igualdad de los demás factores que influyen la presión del hormigón sobre el encofrado, el rozamiento interno se manifiesta más rápidamente en las estructuras delgadas que en las gruesas, y en superficies de encofrado rugosas que lisas, y de aquí una ventaja de los «Encofrados de Madera Modernos» compuestos, como ya se ha explicado, por superficies encofrantes formadas por paneles fenólicos con caras plastificadas, o sea, extremadamente lisas. Sin embargo no existen aún datos que valoren este tipo de influencia sobre la presión del hormigón.

#### 4.7.—Influencia de las armaduras

El efecto de las armaduras es aumentar el rozamiento en la masa de hormigón y, por ello, reducir la presión sobre el encofrado, siendo el efecto tanto más importante cuanto mayor es la cuantía, y dentro de un mismo valor de ésta, cuanto menor es el diámetro de los redondos, pero desgraciadamente no se conocen valores fiables de esta influencia.

#### 4.8.—Influencia del peso del hormigón

Hasta ahora en todos los cuadros y figuras dados en esta Parte II se ha supuesto hormigón de  $2.400 \text{ kp/m}^3$  de peso específico, que en un caso concreto ejerza una presión sobre el encofrado de, por ejemplo,  $3.000 \text{ kp/m}^2$ , y queremos saber la que originaría un hormigón ligero de  $1.600 \text{ kp/m}^3$ .

Para ello no hay más que establecer la correspondiente porción:

$$\frac{1.600}{2.400} \times 3.000 = 2.000 \text{ kp/m}^2$$

en igualdad de las demás condiciones, claro está.

#### 4.9.—Influencia de la altura de vertido

Pensemos en un encofrado de la suficiente altura, para que pueda alcanzarse la presión máxima que es capaz de comunicar el tipo de hormigón que estamos empleando, con una velocidad de llenado uniforme. Como la altura de hormigón sobre la superficie de hormigonado que estamos estudiando crece uniformemente, lo mismo pasará con la presión hasta llegar a una altura de hormigón para la que esa presión sea máxima.

A partir de ese momento la presión disminuirá, aunque siga, como es lógico, el hormigonado del encofrado. A esa altura se le llama «crítica».

En la fig. 12 se representa el encofrado de un muro, donde puede deducirse la relación entre la presión sobre una superficie determinada y la altura de hormigón fresco sobre ella. La línea AB representa la superficie del encofrado sobre la que actúa la presión. Cuando la altura de hormigón sobre el punto A es  $h_1$ , la presión tiene el valor  $p_1$ . Cuando la altura llega a  $h_{max}$  la presión llega a su valor máximo  $p_{max}$ . Continuando el hormigonado hasta completar el molde, la  $p_{max}$  no crece más, sino que sigue según la línea CD paralela a AB, y las zonas situadas bajo la proyección de D sobre AB, o sea, F quedan sometidas a  $p_{max}$ , mientras que por encima de F estarán soportando presiones inferiores  $p_2$ , según queda expuesta en la referida fig. 12.

El American Concrete Institute, A.C.I., limita  $P_{max}$  en encofrados de muros a  $9.765 \text{ kp/m}^2$ , con independencia de la altura del encofrado y de la velocidad de hormigonado.

En la fig. 13 se representa la relación entre la presión y la altura de hormigón en un encofrado de pilar. Como éstos se hormigonan a gran velocidad, se admite que la presión máxima es la correspondiente a la altura total de hormigón.

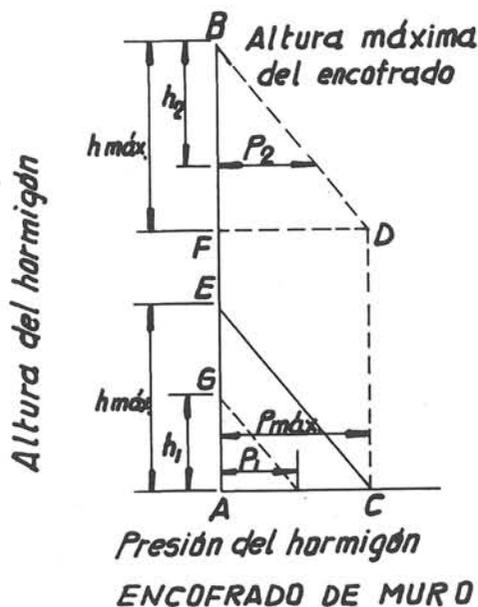


Fig. 13

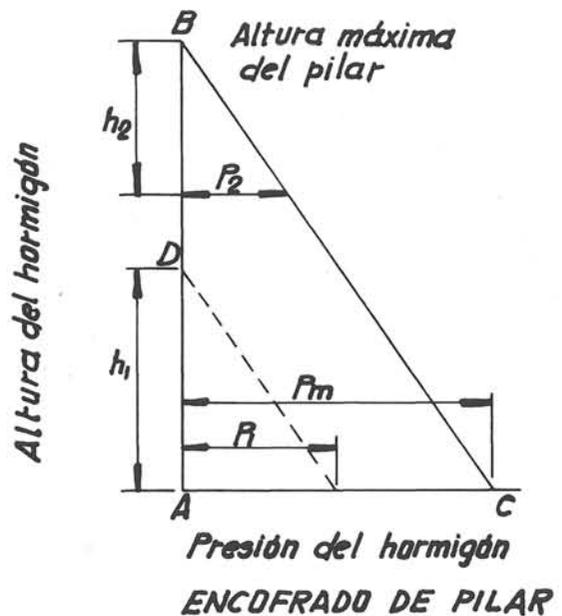


Fig. 12

Así, si la altura de hormigón es  $h$ , sobre el punto A, la presión será  $p_1$ , y cuando el encofrado esté lleno  $p_1$  pasará a  $p_{max}$  en ese mismo punto A. Para una profundidad intermedia  $h_2$ , la presión también será intermedia  $p_2$ .

El American Concrete Institute, A.C.I., limita  $p_{max}$  para pilares a un tope de 14.650 kp/m<sup>2</sup>, prescindiendo como anteriormente de la altura del encofrado y de la velocidad de llenado.

(Continuará)

## résumé

### ETUDE SUR LES COFFRAGES EN BOIS MODERNES

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Ingénieur Industriel

Dans cet article, l'auteur résume toute la littérature existante, ainsi que ses importantes contributions, au sujet des coffrages, chapitre important dans le bâtiment, car leur coût est souvent aussi élevé ou plus que le béton coulé lui-même.

C'est donc à l'intention des architectes, ingénieurs, charpentiers, etc., que l'auteur fournit des renseignements, accompagnés des tableaux et des abaques, concernant l'utilisation rationnelle des coffrages en bois, métalliques, etc.

## summary

### STUDY ON MODERN WOODEN FORMS

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Industrial Engineer

This article is a compendium of almost all of the existing literature, in addition to important contributions by the author, on forms —an important aspect of the building industry, as their cost is not infrequently as high or higher than that of the actual concrete poured.

Thus, to the benefit of architects, engineers, site supervisors and carpenters, data are provided, as well as charts and calculations for a rational use of these forms, whether wooden, metal or of other material.

## zusammenfassung

### STUDIE ÜBER MODERNE HOLZVERSCHALUNGEN

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Zivilingenieur

In diesem Artikel ist in gedrängter Form fast die gesamte vorliegende Literatur, sowie bedeutende Beiträge des Verfassers über Verschaltungen enthalten, welche ein bedeutendes Kapitel im Bauwesen darstellen, da deren Kosten nicht selten so hoch, wenn nicht noch höher als diejenigen des Giessbetons selbst sind.

Es werden daher zum Vorteile der Architekten, Ingenieure, Bauführer und Bauschreiner Unterlagen, Tafeln und Tabellen für den rationalen Einsatz der erwähnten Verschaltungen aus Holz, Metall, usw. geboten.

# publicaciones del I.E.T.c.c. hormigón pretensado

Fritz Leonhardt  
Dr. Ingeniero

El libro del profesor Leonhardt, sobre hormigón pretensado, puede considerarse ya como un tratado clásico de esta técnica.

En esta obra se presentan con detalle los materiales acero y hormigón, sobre todo en lo que se refiere a las propiedades más importantes a efectos de su utilización en hormigón pretensado.

Las cuestiones prácticas y de aplicación directa han sido abordadas con mayor detalle que los problemas teóricos, los cuales se exponen con la mayor sencillez posible, haciéndolos accesibles también al ingeniero medio, ya que el libro está destinado a la utilización práctica.

No se han expuesto las posibilidades de realizar el pretensado basándose en los sistemas actualmente en uso, sino que se han intentado describir las soluciones fundamentales y aclararlas presentando dichos sistemas.

Se ha estudiado con detalle el problema de la introducción de las fuerzas de pretensado. La disposición constructiva de la estructura pretensada se ha antepuesto, intencionadamente, al cálculo estático.

En principio no se efectúa descripción de aplicaciones prácticas, haciéndose una excepción con los depósitos, tubos, firmes y traviesas pretensadas.

En la página IX de este libro figuran 10 recomendaciones básicas para el ingeniero que se ocupe en esta disciplina, con las particularidades más importantes que deberá tener en cuenta el ingeniero especialista en hormigón armado, independientemente de las recomendaciones aplicadas hasta el momento.

Un volumen encuadernado en tela, brillantemente presentado, de 19 x 26,5 cm, compuesto de 780 páginas, numerosas figuras, abundantes tablas, ábacos y una extraordinaria bibliografía.

Precios: España, 2.000 ptas.; extranjero, \$40.