

ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Calle San Martín N.º 352 - Casilla 487 - Teléf. 88841 - Santiago - Chile

Año LIII (1) Marzo de 1940 N.º 3

(1) Año LIII desde la fecha de su primera publicación en 1888 como «Anales del Instituto de Ingenieros». Año XL desde la fecha de su primera publicación, Enero de 1901, como «Anales del Instituto de Ingenieros de Chile».

Ing. Delfín Guevara P.

Presupuestos y avalúos

(Continuación)

DETERMINACIÓN DE LOS HUECOS

Los huecos contenidos en un volumen determinado de arena, de grava o de piedra, se dan en las tablas siguientes:

PROPORCIONES DE LOS HUECOS CORRESPONDIENTES A DIFERENTES PESOS DE ARENA,
GRAVA O PIEDRAS

Peso de 1 m ³ .	Huecos absolutos de materiales cuya humedad en pesos es de:					Humedad en volumen co- rrespondiente a 1% en peso
	0 por 100	2 por 100	4 por 100	6 por 100	8 por 100	
1,122	57,6	53,4	59,3	60,1	61,0	1,1
1,203	54,5	55,4	56,4	57,3	58,2	1,2
1,283	51,5	52,5	53,4	55,4	55,4	1,3
1,390	50,9	51,9	52,9	53,9	54,8	1,3
1,315	50,3	51,3	52,3	53,3	54,3	1,3
1,331	49,7	50,7	51,7	52,7	53,7	1,3
1,347	49,1	50,1	51,1	52,2	53,2	1,4
1,363	48,5	49,5	50,6	51,6	52,6	1,4
1,379	47,9	48,9	50,0	50,0	52,0	1,4
1,395	47,5	48,3	49,4	50,4	51,5	1,4
1,411	46,7	47,7	48,8	49,9	50,9	1,4
1,427	46,1	47,1	48,2	49,5	50,4	1,4

Peso de 1 m ³ .	Huecos absolutos de materiales cuya humedad en peso es de:					Humedad en volumen co- rrespondiente a 1% en peso
	0 por 100	2 por 100	4 por 100	6 por 100	8 por 100	
1,443	45,5	46,5	47,6	48,7	49,8	1,4
1,459	44,8	45,9	47,0	48,2	49,2	1,5
1,475	44,2	45,4	46,5	47,6	48,7	1,5
1,491	43,6	44,8	45,9	47,0	48,1	1,5
1,507	43,0	44,2	45,3	46,5	47,6	1,5
1,523	42,4	43,6	44,7	45,9	47,0	1,5
1,539	41,8	43,0	44,1	45,3	46,4	1,5
1,555	41,2	42,4	43,6	44,7	45,9	1,6
1,571	40,6	41,8	43,0	44,2	45,3	1,6
1,587	40,0	41,2	42,4	43,6	44,8	1,6
1,603	39,4	40,6	41,8	43,0	44,2	1,6
1,619	38,8	40,0	41,2	42,5	43,7	1,6
1,635	38,2	39,4	40,7	41,9	43,5	1,6
1,651	37,6	38,8	40,1	41,5	42,5	1,6
1,667	37,0	38,2	39,5	40,8	42,0	1,7
1,685	36,4	37,6	38,9	40,2	41,4	1,7
1,700	35,8	37,0	38,5	40,2	41,4	1,7
1,716	35,2	36,4	37,7	39,0	40,5	1,7
1,732	34,6	35,9	37,2	38,5	39,7	1,7
1,748	35,9	35,5	36,6	37,9	39,2	1,7
1,764	35,5	34,7	36,0	37,5	38,7	1,8
1,844	30,3	31,7	35,1	34,5	35,9	1,8
1,924	27,5	28,7	30,2	31,6	35,1	1,9
2,004	24,2	25,8	27,5	28,8	30,5	2,0
2,084	21,2	22,8	24,4	25,9	27,5	2,1
2,165	18,2	19,8	21,4	25,1	24,7	2,2
2,245	15,2	16,8	18,5	20,2	21,9	2,2

HUECOS CORRESPONDIENTES A DIFERENTES PESOS POR METRO CÚBICO DE PIEDRAS DE DIFERENTES DENSIDADES

Peso del metro cúbico de piedra seca	Huecos absolutos correspondientes a densidades de piedra de:					
	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
1,122	53,2	55,0	56,8	58,4	59,0	61,3
1,203	49,8	51,8	53,7	55,4	50,0	58,5
1,283	46,5	48,6	50,6	52,4	54,1	55,7
1,363	43,2	45,4	47,5	49,5	51,3	53,0
1,443	39,8	42,2	44,5	46,5	48,4	50,2
1,523	36,5	39,0	41,4	43,5	46,5	47,4
1,603	33,3	35,8	38,3	40,6	42,7	44,7
1,684	29,8	32,6	35,2	37,6	39,8	41,9
1,764	26,4	29,4	32,1	34,6	36,9	39,1
1,844	23,1	26,2	29,0	31,6	34,1	36,4
1,924	19,8	23,0	25,9	28,7	31,2	33,6
2,004	16,4	19,8	24,8	25,7	28,3	30,8
2,084	13,1	16,6	19,8	22,7	25,5	28,1
2,165	9,7	13,3	16,7	19,7	22,6	25,3
2,245	6,4	10,1	13,6	16,8	19,7	22,5

Para calcular la proporción de huecos contenidos en la arena o en la piedra, no conviene introducirlos en agua porque es prácticamente imposible expulsar totalmente el aire que se introduce durante la inmersión y que puede entrar en la proporción de 10% del volumen del material, de lo que resultaría un error en la proporción o porcentaje de los huecos.

Sin embargo, cuando la grava o la piedra está formada por trozos no menores de 12 milímetros de grueso, se puede determinar los huecos introduciendo dicho material en un recipiente que contenga un volumen determinado de agua, pero si ya se conoce la densidad de la piedra, es preferible emplear el método que indicamos a continuación.

Ejemplo para usar el cuadro de la pág. 105.

Dada una arena humedecida cuyo peso es de 1475 kilogramos por metro cúbico y que contiene un 3% de su peso en humedad, ¿cuál será el tanto por ciento de huecos?

En la tabla de la pag. 106 en la línea horizontal correspondiente a 1,475 kilogramos por metro cúbico, y tomando el término medio entre 2 y 4% de humedad, se obtiene como porcentaje absoluto de huecos.

$$V = \frac{45,4 + 46,5}{2} = 46,0$$

En la última columna correspondiente a la referida línea, se anota que cada 1% de humedad en peso corresponde a 1,5 de humedad en volumen, lo que da en el caso considerado $3 \times 1,5 = 4,5$.

El volumen de los huecos, llenos de aire, es por consiguiente:

$$46,0 - 4,5 = 41,5\%$$

Según Guédy, para los morteros que deben ser expuestos al aire, respecto al empleo de arenas de distintos gruesos ya sea solas o mezcladas, conviene adoptar el orden siguiente:

I) *Para el cemento y las cales muy hidráulicas:*

- 1.º La arena fina de granos F;
- 2.º La de granos mezclados, ya sea de arena gruesa con fina (G + F), ya sea de arena fina con gravilla;
- 3.º La arena gruesa.

II) *Para las cales corrientes, grasas o muy grasas:*

- 1.º La arena gruesa;
- 2.º Las arenas mezcladas; y
- 3.º La arena fina.

Aplicación numérica.—Supongamos que la dosificación para un mortero de cemento sea de 1 : 3 correspondiente a 400 kilogramos por metro cúbico, y a una arena de grano medio M con un porcentaje de huecos igual a 45,5%.

Si sólo se dispone de una arena gruesa G con 50% de huecos, se podrá usar, pero con aumento de la cantidad de cemento por metro cúbico en la razón:

$$\frac{500}{455} = 1,0967 = 1,100$$

Según esto, se deberán usar en tal caso:

$400 \times 1,1 = 440$ kilogramos de cemento por metro cúbico de mortero en lugar de 400. Esto al precio de 30 centavos el kilogramo de cemento significará un recargo en el costo del metro cúbico de mezcla que se determina a continuación:

40 Kgr. de cemento a 30 centavos el kilogramo	\$	12,00
15% sobre \$ 12 por gastos generales y comisión al contratista		1,80
		13,80
Recargo en el precio de 1 m ³ . de mezcla	\$	13,80

Proporción de agua.—La cantidad de agua usada en el mortero u hormigón influye en el consumo de materiales correspondientes. Para obtener un mortero traba-

jable, precisa una cantidad de agua igual de 18-20% del volumen total de cemento y arena y si la mezcla es rica, de 1 por 1, se necesita de 20 a 25%.

Tratándose de un *hormigón* la cantidad de agua depende en primer lugar de la manera de colocarlo en obra. Para un *hormigón* apisonado, precisan 120 litros de agua por metro cúbico, y para un *hormigón* colado, se necesitan 200 litros de agua por metro cúbico. Además influye la composición granulométrica del árido y la densificación o sea, la calidad del *hormigón*. En general podemos decir que cuanto mayor es la proporción de finos, tanto más agua se necesita para alcanzar una determinada consistencia

Si no se han hecho ensayos previos con los materiales por emplear en la obra, pueden utilizarse los datos siguientes correspondientes a condiciones medias y en los que se incluye la humedad natural de los áridos:

Cantidad de agua

Hormigón seco 6 a 7% del peso total, o sea, 9% del volumen total de cemento, arena y piedra o grava.

Hormigón plástico 8 a 9% del peso total, o sea, 12% del volumen total de cemento, arena y piedra o grava.

Hormigón colado 10 a 11% del peso total, o sea, 15% del volumen total de cemento, arena y piedra o grava.

Cantidad de materiales que deben entrar en los morteros y *hormigones* reglamentarios prescritos en el Cuaderno de Condiciones generales para el cálculo y construcción de puentes de ferrocarril, aprobadas por decreto supremo de 5 de marzo de 1907, a propuesta de la Dirección de Obras Públicas.

Dicho cuaderno prescribe cuatro números de morteros de cemento de diferentes dosis, a saber:

Número 1, de 1 : 4 para mamposterías corrientes y concertadas;

Número 2, de 1 : 3 para albañilerías aplantilladas y ladrillos;

Número 3, de 1 : 2,5 en obras impermeables y cemento armado.

Número 4, de 1 : 2 para emboquillados, enlucidos y chapas.

Como el cuaderno no indica la proporción de agua, adoptaremos las siguientes:

Para dosis de 1 : 4, 18% del volumen total, cemento y arena;

Para dosis de 1 : 3, 18% del volumen total, cemento y arena;

Para dosis de 1 : 2,5 20% del volumen total, cemento y arena;

Para dosis de 1 : 4, 20% del volumen total, cemento y arena.

En cuanto a los *hormigones* adoptaremos:

Para *hormigón* apisonado, 9% del volumen total de cemento, arena y piedra;

Para *hormigón* plástico, 12% del volumen total de cemento, arena y piedra;

Para *hormigón* colado, 15% del volumen total de cemento, arena y piedra.

En lo referente a la densidad aparente del cemento Portland, adoptaremos un peso aparente igual a 1,4 y un peso específico igual a 3, quedando así bien asegurada la resistencia e impermeabilidad de las construcciones y por tanto, para el cemento la proporción de parte sólida (masa compacta)

$$\frac{1,4}{3} \cdot 100 = 47\%$$

la proporción de huecos: $100 - 47 = 53\%$

y para la *cal corriente*:

$$\begin{aligned} \text{densidad aparente} &= 0,6 \\ \text{peso específico} &= 2 \end{aligned}$$

y por tanto

$$\text{proporción de parte sólida (masa compacta)} = \frac{0,6}{2} \cdot 100 = 30\%$$

$$\text{proporción de huecos: } 100 - 30 = 70\%$$

En cuanto a los áridos, supondremos para el cálculo una densidad aparente media igual a 1,43 para los mismos en *estado seco* o 0% de humedad. En este caso, el cuadro de la pág. 105 da los siguientes porcentajes:

		y por tanto parte sólida	
		huecos	(masa compacta)
Para arena de granos medios M. de 0,5 a			
2 m. m. con peso de	1,67	37%	63%
Para grava de 15 a 20 m. m. id.....	1,52	42%	58%
Para chancado de 0,025 m. de diámetro			
con peso de	1,41	47%	53%
Para arena de escorias id.....	1,12	60%	40%
	5,72		
Suma			

$$\text{Promedio del peso de árido seco} = \frac{5,72}{4} = 1,43$$

Consumo de materiales para el mortero.

N.º 1, dosis 1 : 4 fabricado con cemento Portland con 53% de huecos y 43% compacto y arena media con 37% de hueco y 63% de parte compacta. Proporción de agua, 18% del volumen total de $1 + 4 = 5 \text{ m}^3$, o sea, $0,18 \cdot 5 = 0,90 \text{ m}^3$.

Dispondremos el cálculo de materiales como sigue:

1 m ³ . de cemento Portland contiene.....	0,47 m ³ . de parte sólida
+ 0,90 m ³ . de agua contiene.....	+ 0,90 m ³ . de masa compacta
1,90 m ³ . de cemento y agua dan.....	1,37 m ³ . de pasta
+ 4,00 m ³ . de arena, son 4,0,63.....	+ 2,52 m ³ . de parte sólida
5,90 m ³ . de cemento, agua y arena dan.....	3,89 m ³ . de mortero, o sea

por m³. de mortero: $\frac{5,90}{3,89} = 1,512$ m³. de componentes, que dividido en partes proporcionales a los números 1 — 0,90 y 4, dan las partes:

$$\frac{1,512}{5,90} \cdot 1 = 0,256 \text{ m}^3 \text{ de cemento (o sea } 0,256 \text{ m}^3 \times 1400 \text{ Kgs.} = 360 \text{ Kgs/m}^3)$$

$$\frac{1,512}{5,90} \cdot 0,90 = 0,231 \text{ m}^3 \text{ de agua, o } 231 \text{ litros por m}^3.$$

$$\frac{1,512}{5,90} \cdot 4 = 1,025 \text{ m}^3 \text{ de arena por m}^3 \text{ de mortero}$$

Total = 1,512 metros cúbicos

El mortero N.º 1 de 1 : 4, resulta impermeable: en efecto, la operación del batido disminuye el volumen de la arena en un 5% próximamente, de modo que el volumen de huecos restante es al final de 4 (0,37 — 0,05) = 4 × 0,32 = 1,28 m³. Y como la pasta tiene según el cálculo anterior 1,37 m³, resultará, en definitiva, un exceso de pasta de 1,37 m³. — 1,28 m³. o sea, de 90 litros lo que corresponde a

$$\frac{90 \text{ lt.}}{4,09} = 22 \text{ litros por metro cúbico de mortero, que consideraremos en el presupuesto.}$$

Al consumo de material calculado anteriormente hay que aumentar por pérdidas en el transporte:

Para el cemento, 2,5% . 360 Kgs. = 9 kilogramos

Para la arena, 2% . 1,025 Kgs. = 0,021 m³.

Presupuesto del mortero 1 : 4 fabricado a mano:

369 kilogramos de cemento Melón corriente a 30 ctvos.Kg.	\$ 110.70
1,046 m ³ . de arena a \$ 16 m ³	16.62
5 horas de peón a \$ 1,25 hora	6.25
Suma	\$ 133.57
15% sobre \$ 133.57 por gastos generales y utilidad.	20.04
Precio de 1,022 m ³ . mortero N.º 1 de cemento M. C. de 1×4.	\$ 153.61

Precio de 1 m³. mortero N.º 1 de cemento M. C. de 1×4:

$$\frac{153.61}{1,022} = \$ 148.34$$

Consumo de materiales para el mortero N.º 2, dosis 1 : 3, de cemento con 57% de huecos y 43% de masa compacta, con arena de 37% de huecos y 63% de parte sólida y densidad aparente 1,67.

Proporción de agua igual a 18% del volumen:

$$\text{total } 1 + 3 = 4 \text{ m}^3, \text{ o sea } 0,72 \text{ m}^3.$$

Calcularemos como sigue:

1,00 m ³ . de cemento contiene.....	0,47 m ³ . de parte sólida
+0,72 m ³ . de agua contiene.....	+0,72 m ³ . de masa compacta
1,72 m ³ . de cemento y agua dan.....	1,19 m ³ . de pasta
+3,00 m ³ . de arena con 63% de sólido da.....	+1,89 m ³ . de masa compacta
4,72 m ³ . de cemento, agua y arena dan.....	3,08 m ³ . de mortero.

Según esto, cada metro cúbico de mortero de 1 por 3 requerirá:

$\frac{4,72}{3,08} = 1,53 \text{ m}^3$. de cemento, agua y arena, que repartido en partes proporcionales a los números 1,00 — 0,72 y 3 m³ cuya suma es 4,72, dan:

$$\frac{1,53}{4,72} \cdot 1,00 \text{ m}^3 = 0,32 \text{ m}^3 \text{ de cemento } (0,32 \times 1400 = 450 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\frac{1,53}{4,72} \cdot 0,72 \text{ m}^3 = 0,23 \text{ m}^3 = 230 \text{ litros de agua}$$

$$\frac{1,53}{4,72} \cdot 3,00 \text{ m}^3 = 0,980 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\text{Total } \dots = 1,53 \text{ m}^3.$$

Aumento de materiales por pérdidas en el transporte:

$$450 \text{ Kg.} + 2,5\% \text{ de } 450 = 450 + 12 = 462 \text{ Kg.}$$

$$0,98 + 2\% \text{ de } 0,98 = 0,98 + 0,02 = 1,00 \text{ m}^3.$$

Si comparamos con el volumen de huecos de los 3,00 m³. de arena, que son $3 \cdot 0,37 = 1,11 \text{ m}^3$., vemos que 1,19 m³. de pasta llenará todos los huecos y el mortero resultará impermeable. Sin embargo, el volumen de la arena disminuye con el batido en un 5% próximamente y el volumen final de huecos no es 1,11 m³. sino $3 \cdot 0,32 = 0,96 \text{ m}^3$. y, en definitiva, resultará un exceso de pasta de $1,11 - 0,96 = 0,15 \text{ m}^3$. o sea de

$$\frac{0,15}{3,08} = 0,049 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero}$$

y los 0,98 m³. de arena darán después del batido:

$$0,98 + 0,05 = 1,03 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

Presupuesto del mortero de 1 : 3, fabricado a mano:

462 kilogramos de cemento a 30 c. Kg.	\$	138.60
1 metro cúbico de arena a \$ 16 m ³		16.00
5 horas de peón a \$ 1.25 la hora.		6.25
		160.85
Suma	\$	160.85
15% de gastos generales y utilidad \$ 160.85.		24.13
		184.98
Precio de 1,03 m ³ . de mortero de cemento 1 : 3.		184.98
Precio de 1,00 m ³ . de mortero de cemento 1 : 3		

$$\frac{184.98}{1.03} = \$ 179.59.$$

Cálculo del *consumo de materiales* para el mortero N.º 3, dosis de 1 : 2,5 con cemento de 57% de huecos, y 43% de masa compacta y con arena de 37% de huecos, 63% de masa compacta y 1,67 de densidad aparente. Proporción de agua, 20% del volumen $1 + 2,5 = 3,5 \text{ m}^3$, o sea, 0,70 m³.

Calcularemos como sigue:

1 m ³ de cemento contiene	0,47 m ³ . de masa compacta
+0,70 m ³ . de agua con	+0,70 m ³ . de masa compacta
1,70 m ³ . de cemento y agua dan	1,17 m ³ . de pasta
+2,5 m ³ . de arena con 63% de parte sólida	+1,58 m ³ . de masa compacta
4,2 m ³ . de cemento, agua y arena dan:	2,75 m ³ . de mortero, y un metro
cúbico de mortero precisará:	

$\frac{4,2}{2,75} = 1,51 \text{ m}^3$. de cemento, agua y arena, y este número repartido en partes proporcionales a 1 — 0,70 y 2,5 m³., cuya suma es 4,2, da el consumo buscado de materiales, a saber:

$$\frac{1,51}{4,2} \cdot 1,00 = 0,36 \text{ m}^3 \text{ de cemento } (0,36 \times 1440 = 504 \text{ Kg./m}^3.)$$

$$\frac{1,51}{4,2} \cdot 0,70 = 0,25 \text{ m}^3 \text{ o 250 litros de agua/m}^3.$$

$$\frac{1,51}{4,2} \cdot 2,5 = 0,90 \text{ m}^3 \text{ de arena/m}^3 \text{ de mortero}$$

Total 1,51

Aumento por pérdidas en el transporte:

Cemento 2,5% de 504 Kg = 13 Kgs.

Arena 2% de 0,90 m³. = 0,018 m³.

Análisis del precio del mortero N.º 3, de 1 : 2,5.—Este mortero en el caso considerado, resulta impermeable como pasamos a demostrarlo.

Los 2,5 metros cúbicos de arena tienen después del batido, $2,5 \times 0,32 = 0,8$ m³. de huecos y como la pasta cubica 1,17 m³. resultará un exceso de pasta igual a

$$1,17 - 0,8 = 0,37 \text{ m}^3.$$

y por tanto habrá impermeabilidad completa.

Por cada metro cúbico de mortero, el exceso será de

$$\frac{0,37}{2,75} = 0,134 \text{ m}^3. \text{ y en definitiva tendremos:}$$

$$0,900 + 0,134 = 1,034 \text{ m}^3.$$

Presupuesto del mortero N.º 3, de 1 : 2,5:

517 kilogramos de cemento a 30 c. Kg.	\$	155.10
0,918 m ³ . de arena del Mapocho a \$ 16 m ³		14.69
5 horas de peón a \$ 1.25 hora		6.25
Suma	\$	176.04
15% s/. \$ 176.04 por gastos generales y utilidades.		26.41
Precio de 1,034 m ³ . de mortero	\$	202.45

Precio de 1 m³. de mortero de cemento 1 : 2,5:

$$\frac{202,45}{1,034} = \$ 195.79$$

Mortero N.º 4, dosis 1 : 2:

Proporción de agua, 20% del volumen total $1 + 2 = 3$ m³. lo que da 0,6 m³. de agua.

Calcularemos como sigue:

1,00 m ³ . de cemento contiene.	0,47 m ³ . de masa compacta
+0,60 m ³ . de agua contiene	+0,60 m ³ . de masa compacta
1,60 m ³ . de cemento y agua, dan	1,07 m ³ . de pasta
+2 m ³ . de arena, con 63% sólido da	+1,26 m ³ . de masa compacta
3,60 m ³ . de cemento, agua y arena dan	2,23 m ³ . de mortero, luego

1 m³. de mortero 1 : 2 requiere $\frac{3,60}{2,33} = 1,545$ m³. de componentes sueltos, número que dividido en partes proporcionales a 1 — 0,6 y 2, dan:

$$\frac{1,545}{3,60} \cdot 1,00 = 0,430 \text{ m}^3. \text{ de } \textit{cemento} \text{ (m}^3. 0,43 \cdot 1400 \text{ Kgs.} = 602 \text{ Kg./m}^3).$$

$$\frac{1,545}{3,60} \cdot 0,60 = 0,257 \text{ m}^3. \text{ de } \textit{agua}$$

$$\frac{1,545}{3,60} \cdot 2 = 0,858 \text{ m}^3. \text{ de } \textit{arena}$$

Total 1,545 m³.

El mortero resultará impermeable, puesto que los huecos de la arena cubican $2 \times 0,32 = 0,64$ m³., lo que da un exceso de pasta igual a

$$1,07 - 0,64 = 0,33 \text{ m}^3. \text{ o sea } \frac{0,33}{2,33} = 0,141 \text{ m}^3.$$

por metro cúbico, y $0,85 \text{ m}^3. + 0,141 = 0,999 \text{ m}^3.$

Aumento de materiales por pérdidas en el transporte:

Cemento: 2,5% de 602 Kgs. = 15 kilogramos y $602 + 15 = 617$

Arena: 2% de $0,858 \text{ m}^3. = 0,017 \text{ m}^3.$ y $0,858 + 0,017 = 0,875 \text{ m}^3.$

Presupuesto del mortero 1 : 2:

617 Kgs. de cemento Melón corriente a 30 c. Kg.	\$ 185.10
0,875 m ³ . de arena del Mapocho a \$ 16 m ³	14.00
5 horas de peón a \$ 1.25 hora	6,25
Suma	\$ 205.35
15% de \$ 205.35 por gastos generales y beneficio	30.81
Precio de 1,042 m ³ . mortero de cemento 1 : 2.....	\$ 236.16

Importe de 1 m³.:

$$\frac{\$ 236,15}{1,042} = \$ 226,63$$

CONCRETOS DE CEMENTO SIN ARMAR

Hormigones reglamentarios prescritos por el Cuaderno de Condiciones para el cálculo y construcción de Puentes de 5 de marzo de 1907:

- Hormigón N.º 0 dosis 1 : 2 : 4 para hormigón armado
- Hormigón N.º 1 dosis 1 : 2,5 : 3 para bóvedas
- Hormigón N.º 2 dosis 1 : 3 : 6 para macizos en elevación
- Hormigón N.º 3 dosis 1 : 4 : 8 para los de fundación
- Hormigón N.º 4 dosis 1 : 5 : 10 para rellenos.

Consumo de materiales para el hormigón N.º 0 : 1 : 2 : 4.

Adoptaremos para el porcentaje de huecos y la masa compacta de los materiales, los valores indicados en la página... y supondremos que se trata de un hormigón apisonado con una proporción de agua igual a 9% del volumen total de 7 m³, lo que da 0,63 m³. de agua.

Calculáremos como sigue:

1,00 m³. de cemento contiene	0,47 m³. de masa compacta
0,63 m³. de agua contiene.....	0,63 m³. de masa compacta
1,63 m³. de cemento y agua dan	1,10 m³. de pasta
2,00 m³. de arena, 0,63 contiene	1,26 m³. de masa compacta
3,63 m³. de cemento más agua y más arena dan	2,36 m³. de mortero impermeab.
4 m³. de grava, 0,58 contiene.....	2,32 m³. de mortero impermeab.
7,63 m³. de cemento, arena y grava dan	4,68 m³. de hormigón impermeable.

En efecto, los huecos de la arena son 2 (0,37 — 5) = 0,64 m³. y como la pasta cubica 1,10 m³. resulta exceso de pasta y, por lo tanto, el mortero resultará impermeable. Asimismo, los huecos de la grava son 4 (0,42 — 0,05) = 1,48 m³. y como el mortero cubica 2,36 m³. resultará un exceso de mortero igual a 0,88 m³. y el hormigón resultará también impermeable.

Ahora bien, cada metro cúbico de hormigón precisa:

$$\frac{7,63}{4,68} = 1,63 \text{ m}^3. \text{ de componentes sueltos, o sea}$$

$$\frac{1,63}{7,63} \cdot 1,00 = 0,214 \text{ m}^3. \text{ de cemento (0,214 m}^3. \cdot 1400 = 300 \text{ Kg./m}^3.)$$

$$\frac{1,63}{7,63} \cdot 0,63 = 0,135 \text{ m}^3. \text{ de agua}$$

$$\frac{1,63}{7,63} \cdot 2,00 = 0,427 \text{ m}^3. \text{ de arena}$$

$$\frac{1,63}{7,63} \cdot 4,00 = 0,854 \text{ m}^3. \text{ de grava.}$$

Total 1,63 m³.

Incrementos por pérdidas en el transporte:

Cemento, $2\frac{1}{2}\%$ de 300 Kgs. = 8 Kgs. : arena 2% de $0,427 \text{ m}^3$. = $0,009 \text{ m}^3$. y grava $2,2\%$ de $0,854 \text{ m}^3$. = $0,018 \text{ m}^3$.

Presupuesto de 1 m³. hormigón 1 : 2 : 4:

308 kilogramos de cemento a 30 c. Kg.	\$ 92.40
0,436 metros cúbicos de arena a \$ 16 m ³	6.98
0,872 metros cúbicos de grava a \$ 16 m ³	13.96
6,5 horas de peón a \$ 1.25 hora.	8.13
Vigilancia, 8% de \$ 8.13.	0.65
Suma	122.12
15% de \$ 122.12 por gastos generales y beneficio.	18.32
Precio de 1 m ³ . de hormigón 1 : 2 : 4 fabricado a mano	\$ 140.44

Si se fabrica el hormigón en Betonera Rex 7S, el costo de fabricación se determina como sigue:

8 horas de motorista a \$ 2 la hora	\$ 16.00
48 horas de peón (6 operarios acarreado materiales, repartiendo y apisonando el concreto) a \$ 1.25 hora	60.00
Suma	\$ 76.00
Gastos de vigilancia, 8% de \$ 76	6.08
Gastos de instalación: 15 horas por tonelada y como la betonera pesa 3,5 ton. son 52,5 horas a \$ 1.25 hora	65.75
Gastos de reparación, 1% mensual sobre \$ 33,500 en 1 día ...	11.16
Interés de \$ 33,500 al 6% en 1 día	6.43
Amortización anual \$ $\frac{33,500}{6 \text{ años}} = \$ 5,583.66$	
Amortización diaria $\frac{5,583.66}{256 \text{ días}}$	21.82
Consumo diario de bencina, 25 litros a \$ 2.43 lt.	60.75
Consumo diario de aceite, $\frac{1}{2}$ litro	8.43
Suma	\$ 256.42
10% de utilidad sobre \$ 256.42	25.64
Total	\$ 282.06

Rendimiento diario: 36 metros cúbicos (1) luego el precio de costo de 1 mt. cúbico fabricado mecánicamente es

$$\frac{282,06}{36} = \$ 7.84$$

Otro método: Para hormigón apisonado y mezcla mecánica, el costo de fabricación y puesta en obra de 1 m³. es:

5,5 horas a \$ 1.25 hora.....	\$	6.88
Por vigilancia, 6.5% de \$ 6.88		0,45
		<hr/>
Costo de 1 m ³ . de hormigón fabricado a máquina	\$	7.33
Adoptaremos el término medio de \$ 7.84 y \$ 7.33, o sea	\$	7.60

Presupuesto del hormigón 1 : 2 : 4 fabricado a máquina:

308 kilogramos de cemento a 30 c. Kg.	\$	92.40
0,440 m ³ . de arena a \$ 16 m ³		6.98
0,880 m ³ . de grava a \$ 16 m ³		13.96
Costo de fabricación mecánica de 1 m ³		7.60
		<hr/>
Suma.....	\$	120.94

15% sobre \$ 120.94 por gastos generales y beneficio..... 18.14

Precio de 1 m³. hormigón 1 : 2 : 4 mezcla mecánica

	\$	139.08
--	----	--------

La economía sobre mezcla manual es de 15%.

Hormigón N.º 1; dosis 1 : 2,5 : 5; hormigón apisonado con 9% de agua sobre el volumen total 8,5 m³., o sea 0,76 m³.

Haremos el cálculo de materiales como sigue:

1 m ³ . de cemento contiene	0,47 m ³ . de masa compacta
0,76 m ³ . de agua contiene	0,76 m ³ . de masa compacta
1,76 m ³ . de cemento y agua dan	1,23 m ³ . de pasta
2,5 m ³ de arena 0,63 dan.....	1,575 m ³ . de masa compacta
	<hr/>
4,36 m ³ . de cemento, agua y arena dan	2,805 m ³ . de mortero
5, m ³ de grava 0,58 dan.....	2,90 m ³ . de masa compacta
	<hr/>
9,26 m ³ . de componentes sueltos dan.....	5,705 m ³ . de hormigón, y por
tanto cada metro cúbico de hormigón requiere:	

(1) 40 m. de largo por 6 m. ancho + 0,15 espesor = 36 m³.

$$\frac{9,26}{5,705} = 1,62 \text{ m}^3 \text{ de componentes sueltos, o sea:}$$

$$\frac{1,62}{9,26} \cdot 1,00 = 0,175 \text{ m}^3 \text{ de cemento (245 kilogramos por m}^3\text{).}$$

$$\frac{1,62}{9,26} \cdot 0,76 = 0,131 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,62}{9,26} \cdot 2,5 = 0,438 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,62}{9,26} \cdot 5 = 0,876 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,62 m³ de componentes sueltos.

Nota.—En este hormigón los huecos de la arena son:

$2,5 (0,37 - 0,05) = 2,5 \cdot 0,32 = 0,80 \text{ m}^3$ y como la pasta cubica 1,23 m³, resulta que el mortero será compacto, sin huecos. Además la grava tiene $5 (0,42 - 0,05) = 1,83 \text{ m}^3$ sin huecos, y como el mortero según el cálculo anterior cubica 2,805 m³, habrá un exceso de mortero igual a $2,805 - 1,83 = 0,975 \text{ m}^3$, y por consiguiente el hormigón será impermeable.

Incrementos por pérdidas de materiales en el transporte:

Cemento $2\frac{1}{2}\%$ de 245 Kgs. = 6 Kgs.; arena, 2% de 0,438 = 0,009 m³, y grava $2,2\%$ de 0,876 m³ = 0,018 m³.

Presupuesto de 1 m³ de hormigón 1 : 2,5 : 5 mezcla mecánica:

251 kilogramos cemento Melón corriente a 30 c. Kg.	\$	75.30
0,447 m ³ de arena a \$ 16 m ³		7.15
0,894 m ³ de grava a \$ 16 m ³		14.30
Costo de la fabricación mecánica de 1 m ³		7.60
		<hr/>
Suma	\$	104.35
15% sobre \$ 104.35 por gastos generales y beneficios		15.65
		<hr/>

Precio de 1 m³ de hormigón mecánico 1 : 2,5 : 5 \$ 120.00

Este mismo hormigón manual importa 128.06 el metro cúbico.

Hormigón N.º 2; dosis 1 : 3 : 6.—Proporción de agua, 9% de 10 m³ = 0,90 m³.
Hormigón apisonado.

Cálculo del consumo de materiales:

1,00 m ³ de cemento contiene.....	0,47 m ³ de masa compacta
0,90 m ³ de agua contiene.....	0,90 m ³ de masa compacta
<hr/>	<hr/>

1, de cemento y agua dan	1,37 m ³ . de pasta
3,00 m ³ . de arena 0,63 dan	1,89 m ³ . de masa compacta
<hr/>	
4,90 m ³ . cemento, agua y arena dan	3,26 m ³ . de mortero
6,00 m ³ . de grava 0,58 dan.	3,48 m ³ . de masa compacta
<hr/>	
10,90 m ³ . de componentes dan	6,74 m ³ . de hormigón.

Análisis de permeabilidad.—Los huecos de la arena son 3 (0,37 — 0,05) = 0,96 m³. y como la pasta de cemento y agua cubica 1,37 m³., el hormigón resultará impermeable.

Asimismo los huecos de las gravas son 6 (0,42 — 0,05) = 2,22 m³. y como el mortero cubica 3,26 m³. resultará un exceso de mortero de 3,26 — 2,22 = 1,04 m³. y el hormigón así dosificado resultará impermeable.

Según el cálculo anterior, 10,90 m³. de componentes sueltos dan 6,74 m³. de hormigón, luego cada metro cúbico de hormigón requiere:

$$\frac{10,90}{6,74} = 1,49 \text{ m}^3 \text{ de componentes}$$

$$\text{o sea } \frac{1,49}{10,90} \cdot 1 = 0,137 \text{ m}^3 \text{ de cemento (192 kilogramos por metro cúbico)}$$

$$\frac{1,49}{10,90} \cdot 0,90 = 0,120 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,49}{10,90} \cdot 3 = 0,411 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,49}{10,90} \cdot 6 = 0,822 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,49 m³. de componentes por metro cúbico de hormigón.

Incrementos por pérdidas durante el transporte:

Cemento 2,5% de 192 Kgs. = 5 Kg., luego, total de aumento 197 Kgs. Arena, 2% de 0,411 m³. = 0,008 m³., luego, total de arena 0,419 m³. Grava, 2,2% de 0,822 = 0,016 m³.; luego, total de arena 0,838 m³.

Presupuesto de 1 m³. hormigón manual 1 : 3 : 6:

197 kilogramos de cemento Melón corriente a 30 c. Kg.	\$	59.10
0,419 m ³ . de arena del Mapocho a \$ 16 m ³		6.70
0,838 m ³ . de grava del Mapocho a \$ 16 m ³		13.40
Obra de mano.		13.80
		<hr/>
Suma.	\$	93.00
15% sobre \$ 93.00 por gastos generales y beneficio.		13.95
		<hr/>
Precio de 1 m ³ . hormigón manual 1 : 3 : 6	\$	106.95

Presupuesto de 1 m³. hormigón mecánico 1 : 3 : 6:

197 kilogramos de cemento Melón corriente a 30 c. Kg.	\$	59.10
0,419 m ³ . de arena del Mapocho a \$ 16 m ³		6.70
0,838 m ³ . de grava del Mapocho a \$ 16 m ³		13.40
Costo de la fabricación mecánica en Betonera Rex 7S, de 7 pies cúbicos de capacidad, o sea 198 litros		7.60
		<hr/>
Suma.....	\$	86.80
15% sobre \$ 86.80 por gastos generales y beneficio.....		13,02
		<hr/>
Precio de 1 m ³ . hormigón mecánico 1 : 3 : 6	\$	99.82

Economía relativa del hormigón mecánico sobre el manual:

$$\frac{106,95 - 99,82}{99,82} = 7,1\%$$

Hormigón N.º 3, dosis 1 : 4 : 8. Hormigón apisonado.

Proporción de agua 9% de 13 m³. = 1,17 m³.

Calcularemos como sigue la cantidad de materiales:

1,00 m ³ . de cemento contiene.....	0,47 m ³ . de masa compacta
1,17 m ³ . de agua contiene.....	1,17 m ³ . de masa compacta
<hr/>	<hr/>
2,17 m ³ . de cemento + agua da	1,64 m ³ . de pasta
4,00 m ³ . de arena. 0,63 contienen.....	2,52 m ³ . de masa compacta
<hr/>	<hr/>
6,17 m ³ . de cemento, de agua y arena dan	4,16 m ³ . de mortero
8,00 m ³ . de grava. 0,58 dan	4,64 m ³ . de parte sólida
<hr/>	<hr/>
14,17 m ³ . de componentes C+Ag+A1+G:	8,80 m ³ . de hormigón, luego un
metro cúbico de hormigón requiere:	

$$\frac{14,17}{8,80} = 1,61 \text{ m}^3 \text{ de componentes sueltos, o sea}$$

$$\frac{1,61}{14,17} \cdot 1,00 = 0,114 \text{ m}^3 \text{ de cemento (160 Kgs./m}^3\text{.)}$$

$$\frac{1,61}{14,17} \cdot 1,17 = 0,131 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,61}{14,17} \cdot 4,00 = 0,455 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,61}{14,17} \cdot 8,00 = 0,910 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,61 m³.

Incrementos por pérdidas en el transporte:

Cemento, 2,5% de 160 Kg. = 4 Kg. lo que da un total	164 Kgs.
Arena, 2% de 0,455 m ³ . = 0,009 m ³ . lo que da un total	0,464 m ³ .
Grava, 2,2% de 0,910 m ³ . = 0,018 m ³ . lo que da un total	0,928 m ³ .

Presupuesto de 1 metro cúbico de hormigón manual: 1 : 4 : 8:

164 kilogramos de cemento Melón corriente a 30 c. Kg.	\$	49.20
0,464 metros cúbicos de arena gruesa del Mapocho a \$ 16 m ³ .		7.42
0,929 metros cúbicos de grava del Mapocho a \$ 16 m ³ .		14.85
6,5 horas de peón a \$ 1.25 hora		18.13
Vigilancia, 8% de \$ 8.13		0.65
Suma	\$	80.25

15% sobre \$ 80.25 por gastos generales y beneficio..... 12.04

Precio de 1 metro cúbico hormigón manual 1 : 4 : 8 \$ 92.29

Presupuesto de 1 metro cúbico hormigón mecánico 1 : 4 : 8:

164 kilogramos de cemento M. C. a 30 c. Kg.	\$	49.20
0,464 m ³ . de arena gruesa Mapocho a \$ 16 m ³ .		7.42
0,928 m ³ . de grava del Mapocho a \$ 16 m ³ .		14.85
Costo de fabricación mecánica en Betonera Rex.....		7.60
Suma	\$	79.07

15% sobre \$ 79.07 por gastos generales y beneficio..... 11.86

Precio de un metro cúbico hormigón mecánico 1 : 4 : 8 \$ 90.93

Economía relativa sobre el hormigón manual, dosis 1 : 4 : 8:

$$\frac{92,29 - 90,93}{90,93} = \frac{1,36}{90,93} = 1,5\%$$

Hormigón N.º 4, 1 : 5 : 10, apisonado.—Proporción de agua: 9% de 16 m³. = 1,44 m³.

Cálculo de materiales necesarios por m³.

1,00 m ³ . de cemento contiene	0,47 m ³ . de parte sólida
1,44 m ³ . de agua contiene.....	1,44 m ³ . de masa compacta
2,44 m ³ . de cemento + agua dan.....	1,91 m ³ . de pasta
5,00 m ³ . de arena 0,63 dan	3,15 m ³ . de pasta sólida

7,44 m ³ . de cemento + agua + arena dan	5,06 m ³ . de mortero
10,00 m ³ . de grava 0,58 dan.	5,80 m ³ . de parte sólida
<hr/>	<hr/>
17,44 m ³ . de componentes dan.	10,86 m ³ . de hormigón, luego un metro cúbico de hormigón requiere

$$\frac{17,44}{10,86} = 1,61 \text{ m}^3 \text{ de componentes, o sea:}$$

$$\frac{1,61}{17,44} \cdot 1,00 = 0,092 \text{ m}^3 \text{ de cemento (= 129 kilogramos/m}^3\text{.)}$$

$$\frac{1,61}{17,44} \cdot 1,44 = 0,140 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,61}{17,44} \cdot 5,00 = 0,460 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,61}{17,44} \cdot 10,00 = 0,920 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,61 m³.

Incrementos por pérdidas: Cemento 3 Kg.; arena 0,009 m³; Grava 0,018 m³.

Presupuesto de 1 m³. Hormigón mecánico 1 : 5 : 10:

132 Kgs. de cemento M. C. a 30 c. Kg.	\$	39.60
0,469 m ³ . de arena del M. a \$ 16 m ³		7.50
0,938 m ³ . de grava del M. a \$ 16 m ³		15.00
Costo de la fabricación mecánica		7.60

Suma \$ 69.70

15% sobre \$ 69.70 por gastos generales y beneficio. 10.45

Precio de 1 m³. hormigón mecánico 1 : 5 : 10 \$ 80.15

Precio de 1 m³. hormigón manual 1 : 5 : 10 \$ 85.56.

Hormigón plástico 1 : 3 : 6.—Proporción de agua: 12% de 10 m³. = 1,20 m³.

1,00 m ³ . de cemento da.	0,47 m ³ . de masa compacta
1,20 m ³ . de agua da	1,20 m ³ . de masa compacta
3,00 m ³ . de arena 0 63 da	1,89 m ³ . de masa compacta
6,00 m ³ . de grava 0,58 da	3,48 m ³ . de masa compacta
<hr/>	<hr/>
11,20 m ³ . de componentes sueltos dan	7,04 m ³ . de hormigón.

Cada metro cúbico de hormigón requiere:

$$\frac{11,20}{7,04} = 1,60 \text{ m}^3 \text{ de componentes sueltos, o sea}$$

$$\frac{1,60}{11,20} \cdot 1,00 = 0,140 \text{ m}^3 \text{ de cemento (= 200 kg./m}^3\text{.)}$$

$$\frac{1,60}{11,20} \cdot 1,20 = 0,17 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,60}{11,20} \cdot 3,00 = 0,43 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,60}{11,20} \cdot 6,00 = 0,86 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,60 m³.

Pérdidas por transporte: cemento 5 Kg.; arena 13 lt.; grava 26 lt.

Presupuesto de 1 m³ hormigón plástico: 1 : 3 : 6, mezcla mecánica:

205 kilogramos cemento a 30 c. Kg.....	\$	61.50
0,443 metro cúbico de arena a \$ 16 m ³		7.09
0,886 metro cúbico de grava a \$ 16 m ³		14.18
Fabricación y puesta en obra de 1 m ³		7.60
Suma	\$	90.20
15% sobre \$ 90.20 por gastos generales y beneficio.....		13.53
Precio de 1 m ³ hormigón plástico 1 : 3 : 6.....	\$	103.73
		=====

Hormigón colado 1 : 3 : 6.—Proporción de agua 15% de 10 m³ = 1,50 m³.

1,00 m ³ de cemento da.....	0,47 m ³ de masa compacta
1,50 m ³ de agua da	1,50 m ³ de masa compacta
3,00 m ³ de arena 0,63 da	1,89 m ³ de masa compacta
6,00 m ³ de grava 0,58 da	3,48 m ³ de masa compacta
11,50 m ³ de componentes sueltos dan	7,34 m ³ de hormigón

Cada metro cúbico de hormigón requiere

$$\frac{11,50}{7,34} = 1,57 \text{ m}^3 \text{ de componentes sueltos o sea}$$

$$\frac{1,57}{11,50} \cdot 1,00 = 0,137 \text{ m}^3 \text{ de cemento } (= 192 \text{ Kg./m}^3)$$

$$\frac{1,57}{11,50} \cdot 1,50 = 0,203 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$\frac{1,57}{11,50} \cdot 3,00 = 0,410 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\frac{1,57}{11,50} \cdot 6,00 = 0,820 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

Total 1,570 m³.

Pérdidas por transporte: cemento, 5 Kg.; arena 12 lt.; grava 24 lt.;

Presupuesto 1 m³. Hormigón colado 1 : 3 : 6, mezcla mecánica:

197 kilogramos de cemento a 30 c. Kg.	\$	59.10
0,422 m ³ . de arena a \$ 16 m ³		6.75
0,844 m ³ . de grava a \$ 16 m ³		13.50
Fabricación mecánica y puesta en obra		7.60
		86.95
Suma	\$	86.95
15% sobre \$ 86.95 por gastos generales y beneficio.....		13.04
		99.99

Precio de 1 m³. hormigón colado 1 : 3 : 6..... \$ 99.99,
o sea \$ 100.00.

El volumen de arena, grava o piedra partida, disminuye algo con el batido; para la arena y grava esta reducción es de 5% del volumen y para la piedra chancada es de 10%. Puede estimarse como término medio:

Volumen real de arena y grava	95%
Volumen real de piedra chancada	90%

y el consumo de material, independiente de la dosificación es:

Por 1 m³. de mortero. 1,05 m³. de arena

Por 1 m³. de hormigón de grava o zahorra (arena + grava) 1,05 m³. de grava o zahorra:

Por 1 m³. de hormigón de piedra chancada..... 1,10 de chancado.

Las cantidades de cemento y arena se determinan, conocida la dosificación, por un sencillo cálculo; así, por ejemplo, supongamos una dosificación de 1 parte de cemento: 12 partes de zahorra y que el hormigón sea plástico (12% de agua) y resultará:

$$\text{Cemento } \frac{1,05}{12} = 0,087 \text{ m}^3 = 122 \text{ Kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua} & 12\% \text{ de } (0,09 \times 12 + 1,05) = 0,15 \text{ m}^3. \\ \text{Zahorra} & = 1,05 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Presupuesto:

125 Kg. de cemento a 30 c. Kg.	\$	37.50
1,18 m ³ . de zahorra o cascajo (arena + grava) a \$ 16 m ³		17.60
Costo de la fabricación mecánica de 1 m ³ . de hormigón ..		7.60
		<hr/>
Suma ..	\$	62.70
15% s/. \$ 62.70		7.91
		<hr/>
Costo de 1 m ³ de hormigón de zahorra	\$	70.61

Hormigón armado o reforzado, al metro cúbico.

El avalúo del costo del concreto armado se divide en dos a saber:

- 1) Cálculo de las cantidades de material necesario;
- 2) Fijación de los precios unitarios y del presupuesto.

CANTIDADES DE MATERIAL NECESARIO

Además de los materiales necesarios para el hormigón sin armar, se emplea hierro redondo. La manera más exacta de expresarlo es en kilogramos por metro cúbico y se determina a base de un cálculo estático, conforme a las normas oficiales para el cálculo de las obras de concreto armado decretadas el 11 de abril de 1907 en la edificación fiscal completadas por decreto supremo de 4 de mayo de 1912, y modificadas en 1926 por la Dirección General de Obras Públicas. Son muy prácticas las tablas de cálculo de C. Kersten, profesor de Berlín, y de Geyer, publicadas en el Manual del Ingeniero Hüte, Tomo III, págs. 276-277-280-281-290 a 293, año 1928.

La cantidad de fierro varía mucho con la naturaleza de la construcción.

La pérdida por cortes en la preparación del fierro, se considera aumentando su cantidad o su precio en 2 a 5%, según la forma y grueso de las armaduras y la destreza del personal.

Jornales.—Las armaduras dificultan la *colocación en obra del hormigón armado*, pero no influyen en las demás operaciones parciales. Por esto, según la cantidad de armaduras y la clase y la forma de la construcción, se ha de agregar a las cifras ya indicadas, las siguientes:

En construcciones sencillas y poco armadas 1—2 horas/m³.

En construcciones complicadas y muy armadas 2—3 horas/m³.

En consecuencia, el precio de la colocación en obra del hormigón armado, será:

En construcciones sencillas y poco armadas:

7 horas de peón, a \$ 1.25 hora	\$	8.75
Por vigilancia, 6,5% de \$ 8.85		0.57

Suma	\$	9.32 m ³ .

En construcciones complicadas y muy armadas, el precio será:

8 horas de peón, a \$ 1.25 la hora	\$	10.00
Por vigilancia, 6,5% de \$ 10		0.65

Suma	\$	10.65 m ³ .

El valor de la revoltura y colocación del concreto en obra varía mucho según las condiciones de la obra y según la naturaleza del trabajo. Es evidente que amoldar concreto para puentes pesados y para diques, costará mucho menos que amoldar concreto en losas de 3 a 4 pulgadas de grueso para suelos, o para vigas y columnas de concreto armado.

Como valores medios para un anteproyecto pueden adoptarse los siguientes:

Suponiendo una faena bien organizada y provista de una máquina mezcladora u hormigonera para cuatro sacos de cemento a la vez, el costo de la mezcla será de \$ 7 a 8 el metro cúbico.

El costo de la colocación del concreto en obra, incluso el acarreo, la descarga en los moldes y el apisonado en los mismos, importará alrededor de \$ 8 el m³.

Para las columnas y muros delgados cuyo apisonado es más dificultoso y donde hay que tratar de obtener una buena ejecución a todo costo, el valor de *colocación y apisonado*, será de \$ 16 por m³.

Tratándose de grandes cantidades de concreto como ha ocurrido en la construcción de diques y gruesos muros de contención, en faenas bien organizadas, el concreto ha sido mezclado en betoneras y vaciado en carritos al precio de \$ 5.40 el metro cúbico.

En un primer cálculo de costo del concreto armado, adoptaremos los valores:

Precio medio de colocación y apisonado concreto para emplantillados	\$	16.60 m ³ .
Precio medio de colocación y apisonado para suelos de 0,10 a 0,11 grueso		17.80 >
Precio medio de colocación y apisonado para suelos de 0,127 grueso		11.10 >
Precio medio de colocación y apisonado para columnas y muros aislados		16.60 >
Precio medio de colocación y apisonado para muros de 0,457 m. de grueso		11.10 >
Precio medio de colocación y apisonado para diques y muros de contención		7.80 >

En las obras en que es posible descargar la arena y grava directamente de los carros de un ferrocarril a la betonera, se puede obtener una economía de \$ 2 por metro cúbico.

El costo de las herramientas y planta de maquinarias varía mucho según la

naturaleza del trabajo. Suponiendo una obra con unos 3,820 metros cúbicos de concreto y con un personal experimentado, se puede estimar el valor de la planta incluso herramientas, útiles y construcciones provisorias para oficinas y bodega de cemento, en \$ 41,700.

En la práctica se avalúa el m³. de colocación y apisonado de concreto armado en \$ 11.70 para obras que comprenden de 3,000 a 7,600 metros cúbicos de concreto. En obras mayores, el valor de colocación y apisonado, fluctuará de \$ 7.60 a \$ 8.80 el metro cúbico, y en obras más pequeñas el mismo valor será de \$ 11.10 a \$ 15.50.

En los trabajos que comprendan un cubo menor de 450 metros cúbicos de concreto, no resulta económico el empleo de maquinarias, y en tal caso habrá que fabricar el concreto a mano.

Por lo que hace al corte doblado, transporte y colocación de armaduras en los moldes se necesitarán, en general, las siguientes horas:

Para armadura simple.....	40—60 horas/ton.
Para armadura mediana.....	70—90 horas/ton.
Para armadura complicada.....	100—200 » » y más.

Estas cifras se componen aproximadamente de 70% de horas de peón ordinario (\$ 1.25 hora) y 30% de obrero especializado, enfierrador, que gana \$ 2.50 por hora. El jornal medio aplicable resulta de \$ 1.63 la hora.

Costo medio por doblar y colocar el fierro en los moldes:

Para losas de piso con barras de 5/8" de \$ 42-\$ 82 la ton.

y si hay que formar ganchos de extremidad \$ 17 más por ton.

Por doblar y colocar fierros para columnas con anillos \$ 92-\$ 130 por ton.

Por doblar y colocar fierros de 1½" y 3/8" para muros \$ 112—\$ 245 ton.

El precio por doblar y colocar el fierro es de \$ 135 la tonelada.

ENCOFRADOS

Toda obra de hormigón requiere el empleo de encofrados, siempre que no sean sustituidos por obra de fábrica que sirva de revestimiento, por tablestacas, o por las paredes del herido, como ocurre en las fundaciones. Los costos de los encofrados comprenden los materiales necesarios y los jornales de preparación, montaje y desmontaje del encofrado.

a) *Materiales.*—Para la preparación de encofrados se necesitan tablas o tablonés, madera escuadrada y rollizos, y además clavos, pernos, alambre, chapas, etc. El costo de la clavazón menuda es relativamente pequeño, y lo mejor es estimarlo con un pequeño aumento (3—4%) del costo de la madera, estimación muy admisible, ya que el costo exacto de los encofrados es muy difícil de calcular porque no se puede precisar nunca el costo de la madera vieja. Por el contrario, las chapas y los pernos que se emplean como sujeción, y que con frecuencia quedan embebidos en el hormigón, pueden calcularse con exactitud.

El costo de material del encofrado depende de tres factores: cantidad de encofrado necesaria, o lo que es lo mismo, número de veces que se puede emplear un encofrado; cantidad de madera necesaria por metro cuadrado de encofrado, y valor de viejo, en caso en que haya de considerarse.

Debe distinguirse entre los encofrados que se componen de tableros o piezas de la misma forma que se repiten sin variación de importancia, y aquellos que se han de preparar cada vez de nuevo con tablas y pies derechos. Los primeros se emplean en obras de sección uniforme y muy largas, como canales, muros de sostenimiento, etc., y en ciertos casos pueden sustituirse con ventaja por encofrados metálicos (garage de aviones en «El Bosque»), y los otros se emplean en todas las obras de formas variadas y a veces muy irregulares.

En lo referente a la reiteración de empleo de un molde, lo primero que hay que saber es la superficie total por encofrar y la que ha de permanecer encofrada simultáneamente la cual en las obras de formas regulares puede calcularse con cierta exactitud, pero en las irregulares se tiene que estimar y depende principalmente del sistema constructivo empleado en la ejecución de la obra. Si se trata en el primer caso de una construcción en pequeña sección de la que debe terminarse diariamente una cierta longitud, la cantidad necesaria de encofrado se obtendrá multiplicando esa longitud por el tiempo que debe transcurrir hasta que se puedan quitar los moldes, incrementando en el tiempo necesario para montar y desmontar cada parte. Si la construcción tiene grandes dimensiones y ha de construirse en varios días un trozo que estará limitado, por regla general, por las juntas de dilatación, se necesitará por lo menos encofrado para dos de esos trozos, y el número total dependerá de la relación entre el tiempo necesario para el montaje, desmontaje y transporte y el tiempo necesario para la construcción de cada trozo de obra.

Para tomar en cuenta las irregularidades que siempre se producen en las obras, debe aumentarse la cantidad de encofrado así determinado en 30 a 50% según las circunstancias. Asimismo debe hacerse cuando la cantidad de encofrado se haya determinado por estima.

El tiempo de endurecimiento del concreto depende de la clase de obra, de las circunstancias atmosféricas y de la época del año; en general varía entre 3 y 6 días (1) Para desarmar, transportar, y rearmar el encofrado en el nuevo punto de empleo, es suficiente con 1 a 2 días.

La repetición de empleo de los encofrados de madera, sean completos o formados por elementos independientes, es limitada porque con los montajes y desmontajes se estropean y se producen pérdidas. Por lo tanto, el número posible de veces que puede emplearse un encofrado depende del tipo de encofrado y de las condiciones de lugar, etc. En circunstancias normales, los moldes de madera pueden usarse 8 veces (y aun algunas veces más en casos especiales cuando están compuestos de tableros planos); pero si los moldes se tienen que armar siempre de nuevo, solo se podrán usar de 3 a 4 veces; y si la construcción es de formas muy complicadas, en tal caso sólo se pueden usar 2 veces.

(1) Las normas por el cálculo de hormigón armado de 4 de marzo de 1912, dicen al respecto en su pág. 8: «Los moldes laterales de las vigas, los moldes de pilares y pisos no deben ser retirados sino después de 8 días: los apoyos de las vigas solo después de 3 semanas».

Cuando en una obra determinada no se pueden alcanzar estas cifras de repetición, la madera que en ella se emplee tendrá al final un cierto valor de viejo, que en todos los casos debe fijarse con la mayor circunspección porque la madera se deprecia mucho. Para los moldes armados, lo mejor es despreciar este valor, a menos que se cuente con una posibilidad de empleo, porque el trabajo de sacar la clavazón vale más que la madera en sí. Por el contrario, para los rollizos y tablones, que siempre tienen utilización, puede contarse con un cierto valor de viejo que se rebajará del precio de costo y que nunca, ni en el caso más favorable, excederá del 40%.

Si, por el contrario, la posibilidad de empleo es superior a la calculada, se necesitará encofrado para una parte mayor de la construcción, y en tal caso servirá de norma para el cálculo del costo que se pueda alcanzar y no habrá lugar a considerar un valor de viejo.

Cantidad de madera necesaria por m² de encofrado.—Pueden servir de base para el cálculo los siguientes valores:

Tableros sencillos, formados con tablas de $2\frac{1}{2}$ cm. = 1" de grueso y 9 = 0.20 m. de ancho y largueros de $\frac{5}{10}$ = $\frac{1}{4}$ " a 60-70 cm. de distancia, incluso tornapuntas	0,05 m ³ .
Encofrados complicados en los que se ha de contar con mucha pérdida de sierra, pero en lo demás como los anteriores m ³ ...	0,06 - 0,08 m ³
Tableros formados por tablones de 4 cm. = 1,5/8" y largueros de 12/16 cm. = 3/8" a distancias de 1 m. y con tornapuntas de maderas rollizos m ³	0,06 - 0,07 m ³ .

Para encofrados horizontales (por ejemp., para techos) se ha de contar además con un pie derecho (de róble de 4" X 4" o de 4" X 6") por cada $1\frac{1}{2}$ a 2 m² de superficie horizontal.

Jornales.—Mientras que el consumo de material para el molde sólo se refiere como es lógico, a la superficie ocupada por éste, el consumo de jornales de montaje y desmontaje (no de fabricación del molde) se refiere a la superficie total. Sin embargo, también en este caso, se ha de distinguir entre elementos que se repiten varias veces y aquellos que se han de montar de nuevo cada vez con maderas distintas.

En el primer caso, el trabajo se compone de la preparación de los tableros y moldes por una sola vez, y de la repetición de las operaciones de montaje, desmontaje, limpieza, repaso y transporte; en el segundo caso, del corte y ensamblado de las distintas piezas, su separación, limpieza y transporte al nuevo punto de empleo. El consumo de obra de mano para estos trabajos puede estimarse aproximadamente como sigue:

Trabajo necesario para	Horas de carpinteros	Horas de peón	Total de horas
1) Construcción de tableros y encofrados sencillos 1 m ²	1,0 - 1,5	0,5	1,5 - 2,0
2) Construcción de encofrados complicados 1 m ²	hasta 5,0	1,0	hasta 6,0
3) Montaje, desmontaje, limpieza y transporte de encofrados formados por tablas o tablones y rollizos.			
Encofrados muy sencillos por ej.: para cimientos	0,5	0,5	1,0
Encofrados para superestructuras sencillas	1,0	0,5	1,5
En elementos constructivos complicados tal como vigas de hormigón armado	1,5	1,0	2,5
En pies derechos y otros elementos semejantes de hormigón armado	2,0	1,0	3,0
En construcciones de hormigón armado muy complicadas	3,0	1,0	4,0

(En ciertos casos aun más).

Para referir el costo del encofrado al metro cúbico de hormigón, se procede como sigue:

Se determina primero la superficie total de la obra a encofrar y se divide por el cubo total de hormigón, con lo que se obtiene los metros cuadrados de encofrado por metro cúbico de hormigón. Para determinar el consumo de material se divide la cifra antes obtenida por la frecuencia del empleo, y se multiplica el resultado por la cantidad de madera necesaria por metro cuadrado de encofrado; el número de metros cúbicos así obtenido se multiplica por el precio medio de la madera en tablones y rollizos, reducido en su valor de viejo, y finalmente se añade un tanto por ciento para tomar en cuenta la clavazón. La obra de mano se obtiene multiplicando la superficie de encofrado por metro cúbico por las cifras antes indicadas y por el precio del jornal medio.

Costo medio de moldes de madera para el concreto armado.—Para un anteproyecto se pueden utilizar los siguientes valores medios:

Para losas de piso, el costo del m ² de encofrado	\$	8.90
Para vigas y viguetas el costo del m ² de encofrado		9.70
Para columnas, el costo del m ² de encofrado		11.50
Para empuntillados, el costo del m ² de encofrado		9.60
Para murallas, el costo del m ² de encofrado		10.70

El precio medio del m² de encofrado es \$ 10.00.

Costo de las barras de refuerzo:

De fierro redondo nacional o relaminado de $1\frac{1}{4}$ " a 1", el Kg. \$	1,83
De fierro redondo nacional de $\frac{3}{4}$ " a 1"	No hay
De fierro redondo importado de $\frac{3}{4}$ " a 1" el Kg.	2,40
De fierro plano de $1\frac{1}{2} \times 3$ " — 8", relaminado el Kg.	2,00
De fierro plano de $1\frac{1}{2} \times 3$ " — 8", importado el Kg.	2,50

Costo de la terminación de superficies aparentes de concreto armado:

Por picar, revocar y enlucir, el metro cuadrado	\$ 6,70
Precio adicional por limpiar con ácido y arena, el m ²	2,20
Precio adicional por frotamiento al carbomundo, agua y cemento.	4,50
Precio adicional por terminación con hachita, cincel o con martillo dentado, el metro cuadrado	6,25

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

I. Construir un suelo de concreto armado para un local de 3,50 m. de luz. La carga útil debe ser de 300 Kg./m². y el peso del suelo (entaramado, viguetas y relleno de escorias) igual a 90 Kg./m².

Espesor del suelo $h = \frac{350 \text{ cm.}}{25} = 14 \text{ cm.} + 1 \text{ cm.} = 15 \text{ cm.}$, y por lo tanto la luz por considerar en los cálculos será

$$l = 3,50 + 0,15 = 3,65 \text{ m.}$$

y el peso del suelo será:

$$1,0 \text{ m.} \cdot 1,0 \text{ m.} \cdot 0,15 \text{ m.} \cdot 2,400 \text{ Kg./m}^2 = 360 \text{ Kg./m}^2.$$

La carga total para un metro de ancho es:

$$Q = (300 + 90 + 360) \cdot 3,65 \text{ m.} = 2,738 \text{ Kg.}$$

El momento flexionante en el medio de la luz será:

$$M_{\max} = \frac{Q l}{8} = \frac{2738 \cdot 365}{8} = 124922 \text{ cm/kg.}$$

El cuadrado más próximo por exceso es 125,316, cuya raíz es 354, según las tablas de Hütte, Tomo I, pág. 9.

Para realizar una economía de concreto, calcularemos el suelo introduciendo los valores de tensiones adoptadas.

$$= 40 \text{ Kg./cm}^2.$$

$$= 750 \text{ Kg./cm}^2.$$

La sección transversal de los fierros necesarios para un ancho de suelo $b=100$ cm. (Pág. 92 de la Construcción de Hormigón Armado, por C. Kersten, año 1907 (1), es dada por la fórmula:

$$=0,0434 M=0,0434 \cdot 354 = 15,364 \text{ cm}^2.$$

Se elige un fierro redondo $d=1$ cm. 7 en la tabla de fierros redondos de armadura, Hütte, Tomo III, pág. 298 que da 7 barras de 1,7 cm. con sección total de 15,89 cm^2 . 15,364 cm^2 .

Espesor del suelo según tabla de Kersten, 1907, pág. 92:

$$h - a = 0,0364 \quad M = 0,0364 \cdot 354 = 12,885 \text{ cm}$$

$$a = \frac{1,7}{2} + 1,15 = 2 \text{ cm.}$$

y el espesor total: $12,886 + 2 = 15$ cm. en números redondos.

La distancia de la fibra superior al eje neutro es $x = 5,84$ cm.

y entonces $= 39$ Kgs./ cm^2 . y $= 711$ Kg./ cm^2 .

La superficie de la obra es $3,5$ m. \times 1 m. = $3,50$ m^2 . y a ella corresponde un cubo de hormigón $0,15$ m. \times $3,67$ m. = $0,5505$ m^3 .

y el número de metros cuadrados de encofrado por metro cúbico de hormigón será:

$$\frac{3,50 \text{ m}^2}{0,5505} = 6,36 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Consumo de madera de álamo por m^2 . en tablas de $1'' \times 8'' \times 4\frac{1}{2}''$ será:

$\frac{6,36}{8 \text{ veces}}$	$\cdot 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 0,03975 \text{ m}^3$	
y $0,03975$ a $250/\text{m}^3$.	de álamo en bruto (2)	\$ 9.90
	3 pies (3) derechos roble $4'' \times 4'' \times 5$ a 5.60 c/u.	16.80
		<hr/>
	Consumo total de madera por metro cuadrado encofrado	26.70
	Agregando 4% por clavazón	1.07
		<hr/>
		\$ 27.77

(1) Las tablas más modernas de Hütte, Tomo III, Pág. 277, no permiten realizar dicha economía porque la fatiga mínima del fierro es de 1000 Kg./ cm^2 en estas tablas.

(2) El metro cúbico de álamo importa \$ $2,60$. Hemos adoptado \$ $2,50$ porque la madera de moldes usados se vende para leña a \$ $10/\text{m}^3$.

(3) Un pie derecho roble de $4'' \times 4'' \times 5$ v. importa \$ $9,20$ con 40% de valor de viga que dan \$ $3,20$.

Resultan \$ 27.77 correspondiente a 6,36 m². encofrados,

$$\text{o sea } \frac{27.77}{6.36} = \$ 4.37 \text{ por m}^2 \text{ en cuanto a materiales}$$

Obra de mano para la construcción de encofrados:

- 1) 1.25 h. \times 6.36 m². = 7,95 horas de carpintero
 0,5 h. \times 6.36 m². = 3,18 horas de peón.

Obra de mano por montaje, desmontaje, limpieza y transporte de encofrados, 2 veces:

- 2) 2 \times 0,35 h. de carpintero = 0,70 h. de carpintero
 2 \times 0,65 h. de peón = 1,30 h. de peón

En resumen se tendrá:

7,95 + 0,7 = 8,65 h. de carpintero a \$ 2 h.	\$	17.30
3,18 + 1,3 = 4,5 h. de peón a \$ 1.25 h.		5.63
		22.93
Suma	\$	22.93

Es decir que la obra de mano de 6,36 m². de encofrado importará \$ 22.93 y agregando \$ 27.67 por materiales, el costo total será \$ 50.60 o sea

$$\frac{50.60}{6.36} = \$ 8.80 \text{ m}^2.$$

Kilogramos de fierro por m³. de hormigón:

Por m². de suelo: 7 barras 1,782 + 3,5% = 13 Kgs. y por 6,36 m². encontramos 82,7 Kg. de fierro.

Hay que agregar los *fierros de repartición* de 5 mm. de diámetro, colocados a 1 m. de distancia, o sea:

0,154 K/m. . 2 = 0,308 Kg/m² y por 6,36 m². 0,308 Kg. . 6,36 m². = 2 Kg. ∞ incluso amarras de alambre, se necesitan en total 85 Kgs.

Con los datos anteriores se puede hacer el análisis del presupuesto de 1 m³. de concreto armado 1 : 2 : 4 para losas de suelo, como sigue:

Presupuesto de 1 m³. de hormigón armado 1 : 2 : 4— Para losas de suelo de almacén:

308 kilogramos de C. M. C. a 30 c. Kg.	\$	92.40
0,440 m ³ . de arena a \$ 16 m ³		7.04
0,880 m ³ . de grava a \$ 16 m ³		14.08
Por revoltura del concreto en hormigonera Rex.		7.60
82, 7 Kgs. de fierro de 11/16 a \$ 2.40 Kg.		198.48
2 Kgs. de fierro de repartición de 3/16'' a \$ 2.40		4.80
Alambres para amarras.		0.50
Corte y doblado de 85 Kg. de fierro a \$ 0.082 el Kg.		6.97
6.36 metros cuadrados colocación y apisonado del concreto en los moldes para losa de suelo de 0,15 a \$ 6.10 m ²		38.80
Consumo de material para 6,36 m ² . de encofrados.		27.77
Obra de mano para construcción, montaje, desmontaje, limpieza y transporte de encofrados		22.93
Suma	\$	421.37
15% sobre \$ 421,37 por gastos generales y beneficio.		63.21
Precio de 1 m ³ . concreto armado 1 : 2 : 4 con 83 Kgs. de fierro para losas de suelo	\$	484.58

o sea, \$ $\frac{484.58}{6.36} = \$ 76.30$ por m². de suelo

II. Calcular una viga prismática de concreto armado de 4 m. de luz, con doble armadura, de 36 cm. de alto por 20 cm. de ancho, sección rectangular, flexionada por un M=120,000 Kg. cm.

La fórmula 17 de las «Normas para la ejecución de construcciones de concreto armado» de 1912, pág. 15, substituyendo en ella las letras por los valores numéricos que se indican a continuación:

$$\begin{aligned} n &= 15, h = 36 \text{ cm.} \\ &= 1,51, \text{ cm}^2. \\ &= 4,52 \text{ cm}^2. \\ b &= 20 \text{ cm.} \\ &= 3 \text{ cm.} \\ &= 33 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\text{da : } x = 11,35 \text{ cm. y por tanto } \frac{x}{3} = 3,78 \text{ cm. y}$$

$$h - x - \frac{x}{3} = 29,22 \text{ cm ; } h - x = 21,65 \text{ cm. ; } x = 8,35 \text{ cm.}$$

Aplicando la fórmula 19 (pág. 16) se encuentra:

$$= 31,7 \text{ Kg./cm}^2 \text{ y de la relación}$$

$$\text{se deduce } = \frac{15 \times 8,35 \times 31,7}{11,35} = 350 \text{ Kg./cm}^2.$$

Y con este valor de reemplazado en la fórmula:

$$= \frac{h-x}{x}$$

$$\text{resulta como tensión del fierro } \frac{21,65}{8,35} = 908 \text{ Kg./cm}^2.$$

Otro cálculo con las tablas de Geyer (pág. 282, Hütte t. III).

$M = 120,000 \text{ Kg. cm.}$, $b = 100 \text{ cm.}$, $r = 0,1$, $\sigma = 32 \text{ Kg./cm.}^2 = 1200 \text{ Kg./cm}^2$,
la tabla pág. 281 da:

$$r = 0,485 \qquad = 0,392$$

luego aplicando las fórmulas, se obtiene:

$$h' = r \cdot M : b = 0,485 \cdot 1200 = 0,485 \cdot 33 = 14,9 \text{ cm.};$$

$$= h' \cdot b = 0,392 \cdot 14,9 \cdot 1 = 5,84 \text{ cm}^2.$$

Realizaremos con 4 barras $d = 1,4 \text{ cm. (9/16"}$) con peso $1,208 \text{ Kg./ml. c/u.}$

y con 3 barras $d = 0,5 \text{ cm. (3/16"}$) con peso $0,154 \text{ Kg./ml. c/u.}$

Las 4 barras de $9/16''$ pesan $1,208 \times 4 = 4,832 \text{ Kgs. p. m. l.}$

Las 3 barras de $3/16''$ pesan $0,154 \times 3 = 0,462 \text{ Kgs. p. m. l.}$

Suma	5,294 Kgs. p. m. l.
------	---------------------

o sea un peso total de $5,294 \text{ Kg.} \times 4 \text{ m.} = 21,176 \text{ Kgs.} + 3\% = 22 \text{ Kgs.}$

Superficie de la viga a encofrar : $m. 0,92 \times 4 \text{ m.} = 3,68 \text{ m}^2$. Cubo de hormigón de viga a encofrar $0,20 \times 0,36 \times 4 = 0,288 \text{ m}^3$, luego el fierro por m^3 de hormigón será:

$$\frac{22 \text{ Kgs.}}{0,288} = 76,3 \text{ Kgs.}$$

Número de metros cuadrados de encofrado por m³. de hormigón:

$$\frac{3,68 \text{ m}^2}{0,288} = 12,78 \text{ m}^2.$$

Consumo de material para encofrado:

$$\frac{12,78 \text{ m}^2}{4 \text{ veces}} \cdot 0,06 \text{ m}^3 = 3,195 \cdot 0,06 \text{ m}^3 = 0,19170 \text{ m}^3.$$

Costo 0,1917 m ³ . . \$ 250 =	\$ 47.93
+ 1 pie derecho roble 4"×4"	5.60

Consumo total de madera	\$ 53.53
Agregando 4% por clavazón =	2.14

Consumo total de material..... \$ 55.67 incluso clavazón, o sea

$$\frac{55,67}{12,78} = \$ 4.32 \text{ por m}^2. \text{ de encofrado en cuanto a materiales.}$$

1) Obra de mano para construcción de encofrados:

$$1,25 \text{ h.} \times 12,78 \text{ m.} = 16 \text{ h. de carpintero}$$

$$0,5 \text{ h.} \times 12,78 \text{ m.} = 6,4 \text{ h. de peón}$$

2) Obra de mano por armar y desarmar, etc. para vigas

$$1,5 \times 12,78 = 19,17 \text{ horas de carpintero}$$

$$1 \times 12,78 = 12,78 \text{ horas de peón}$$

Suma total: 35,17 horas de carpintero y
19,2 horas de peón.

Según esto, el costo de la obra de mano será:

35,2 horas de carpintero a \$ 2 la hora	\$ 70.40
19,2 horas de peón a \$ 1.25 hora.....	23.90
Suma.....	\$ 94.30

o sea $\frac{94,30}{12,78} = \$ 7.37/\text{m}^2. \text{ de encofrado}$

En resumen, el costo de los moldes de madera para la viga de concreto armado es:

\$ 4,32 + \$ 7,37 = \$ 11,69 por metro cuadrado de encofrado. Con los datos obtenidos podemos hacer con gran exactitud el análisis del presupuesto de un metro cúbico de hormigón armado 1 : 2 : 4 para vigas con doble armadura como sigue:

Presupuesto de 1 m³ de hormigón armado. 1 : 2 : 4 para una viga con doble armadura:

308 kilogramos de C. M. C. a 30 c. Kg.	\$	92.40
0,440 m ³ de arena \$ 16 m ³		7.04
0,880 m ³ de grava a \$ 16 m ³		14.08
Por revoltura del concreto en hormigonera		7.60
76,3 kilogramos de fierro de 11/16" y 3/16" a \$ 2.40 Kg. ...		183.12
12,78 m ² de encofrados con tablas de álamo de 1" X 8" X 4" 1/2 y pies derechos de roble de 4" X 4" X 5, a \$ 11.69 m ² ...		149.20
Alambre para amarras y horquillas		1.50
Corte, doblado y colocación en los moldes de 76,3 Kgs. de fierro a 0,099 el Kg.		7.55
Por colocación y apisonado del concreto		16.60
		<hr/>
Suma	\$	479.09
15% sobre \$ 479.09 por gastos generales y beneficio.	\$	71.86
		<hr/>
		550.95
Precio de un metro cúbico de hormigón armado 1 : 2 : 4 para vigas con doble armadura y 76,3 Kg. de fierro por m ³ ...	\$	550.95
		<hr/>

Asciende a quinientos cincuenta pesos 95/100.

III. Un pilar de concreto armado con sección cuadrada de 30 por 30 centímetros y 4 m. de altura, está armado con 4 barras circulares de 2,3 cm. de diámetro = 29,32" cada una y cargado según su eje con 30,000 Kg. las horquillas con diámetro de 0,5 cm. = 3,16" van a 0,20 m. de distancia vertical, o sea, 5 por metro.

Para calcular las tensiones del concreto y del fierro aplicaremos las fórmulas 43) a 45) de las Normas oficiales para concreto armado de 1912, pág. 21 y obtenemos con $f_c = 16,6 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_o = \frac{30000}{1149} = 26,5 \text{ Kg./cm.}^2 \text{ y } \sigma_e = 15 \times 26,5 = 397,5 \text{ Kg./cm.}^2.$$

Aplicaremos la fórmula de Euler con $E = \frac{2100000}{15} = 140000 \text{ Kgs./cm.}^2$ y $s = 6$.

El momento de inercia I de la sección transversal se avalúa como sigue:

$I = \frac{30^4}{12} + 15 \times 4 \times 4,15 \text{ cm.}^2 \times 12 \text{ cm.}^2 = 103356 \text{ cm.}^4$ por tanto el pilar puede soportar un esfuerzo de compresión:

$$P = \frac{\pi^2 E I}{s l^2} = \frac{10 \times 140\,000 \times 103,356}{5 \times 160,000} = 45,215 \text{ Kgs.}$$

Luego el pilar no presenta peligro de flexión lateral, porque la fuerza que obra axialmente es sólo de 30.000 Kgs

Calcularemos la separación de las horquillas o riostras, como sigue:

La ecuación de equilibrio entre las fuerzas solicitantes y resistentes será:

$P = \omega \cdot \sigma_c$ y reemplazando P por su valor según la fórmula de Euler, se tendrá:

$$\frac{\pi^2 E I}{s l^2} = \omega \cdot \sigma_c$$

Ahora bien $\frac{I}{\omega} = \frac{nd^4}{64} : \frac{nd^2}{4} = \frac{d^2}{16}$; $\sigma_c = 397,5 \text{ Kg/cm}^2$; $s = 5$; $\pi^2 = 10$; $E = 2100000$

y substituyendo resulta:

$$\frac{10 \times 2100000 \times d^2}{5 \times l^2 \times 16} = 397,5 \text{ y de aquí:}$$

$$l = d \sqrt{\frac{10 \times 2100000}{80 \times 397,5}} = 25,7 \text{ d}$$

Para $d = 2,3 \text{ cm}$. $l = 69,1 \text{ cm}$. y como $l = 20 \text{ cm}$., las armaduras no se flexionarán lateralmente, y el coeficiente de seguridad al sandoe, será

$$\frac{69,1}{20} = 3,455.$$

Resulta entonces: Superficie encofrada ($0,30 \text{ m.} \times 4$) $4 \text{ m.} = 4,8 \text{ m}^2$. Cubo de hormigón: $0,3 \text{ m.} \times 0,3 \text{ m.} \times 4 \text{ m.} = 0,36 \text{ m}^3$. y, por tanto, metros cuadrados de encofrado por m^3 . de hormigón:

$$\frac{4,8}{0,36} = 13,33 \text{ m}^2. \qquad \frac{13,33}{4,8} = 2,78$$

Fierro necesario por pilar.—Fierros o barras de resistencia:

Kg. $3,261 \times 4 \times 4 \text{ m.} = \text{Kg. } 52,176 + 3\%$		52,176 + 1,565		53,741 Kgs.
Horquillas: $1 \text{ m.} \times 5 \times 0,154 \text{ Kg} \times 4 \text{ m.} = 3,080 + 3\%$				3,17 Kgs.
				56,91 \cong 57
Suma				

Fierro por m^3 . de hormigón:

$$\frac{57 \text{ Kg.}}{0,36 \text{ m}^3} = 158 \text{ Kgs.}$$

Cantidad de madera necesaria para moldes:

$$\frac{13,33 \text{ m}^2}{4 \text{ veces}} = 3,33 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m}^3 \cdot \$ 250 \text{ m}^3 = \$ 41.63$$

Obra de mano para construcción de moldes:

$$\text{h. } 1,25 \times 13,33 = 16,7 \text{ horas de carpintero}$$

$$\text{h. } 0,5 \times 13,33 = 6,7 \text{ horas de peón}$$

Obra de mano por armar, desarmar, limpieza y transporte:

$$2 \text{ h.} \times 13,33 = 26,66 \text{ horas de carpintero}$$

$$1 \text{ h.} \times 13,33 = 13,33 \text{ horas de peón}$$

Costo de la obra de mano:

43,4 horas de carpintero a \$ 2 la hora.....	\$	86.80
20 horas de peón a \$ 1.25 hora.....		35.00
Suma	\$	121.80

$$\text{Costo de los moldes por m}^2 = \frac{163,43}{13,33 \text{ m}^2} = \$ 12,25 \text{ m}^2.$$

Presupuesto del costo de 1 m³ de hormigón armado 1 : 2 : 4:

Para pilares o columnas, con horquillas a 0,25 m. de distancia:

308 Kgs. de cemento M. C. a \$ 0.30 el Kg.	\$	92.40
0,44 m ³ . de arena a \$ 16 m ³		7.04
0,88 m ³ . de grava a \$ 16 m ³		14.08
Por revoltura del concreto en hormigonera Rex.		7.60
158 Kgs. de fierro a \$ 2,40 el Kg.		379.20
13,33 m ² costo de los moldes, incluso clavazón a \$ 12.25 m ² . ..		163.43
Por corte y doblado de 158 Kgs. de fierro a 0,111 Kg.		17.64
Por colocación y apisonado del concreto en los moldes.		16.60
Suma	\$	697.99
15% sobre \$ 697.99 por gastos generales y beneficio.	\$	104.70
Precio de 1 m ³ . hormigón 1 : 2 : 4 para pilares.	\$	802.69

Asciende a ochocientos dos pesos 69/100.

(Continuará).