

ALGUNOS ENSAYOS SOBRE HORMIGON

(MALECONES DEL ESCAUT)

Con motivo de la construccion de 2.000 m. de malecon en el Escaut, al sur de Anvers, Mr. Zanen, ingeniero de puentes i calzadas, ha practicado algunos ensayos de resistencia a la flexion en bloques de hormigon, así como tambien algunas observaciones relativas a los materiales empleados.

En los *Anales de Trabajos Públicos de Bélgica* (Junio de 1905) Mr. Zanen dá sobre tal punto informaciones detalladas que hemos estimado útil dar a conocer a nuestros lectores, resumiéndolas en lo posible.

Las fundaciones del muro presentan hácia el rio un saliente de 2,50 m. con respecto a la albañilería de la elevacion. Los cálculos de resistencia conducen a un trabajo máximo por traccion de 3 kgr. /cm.² en el punto *B* i a presiones sobre el suelo en los puntos *m* i *n* de 3,96 kgr. /cm.² i 2,06 kgr. /cm.² respectivamente.

El hormigon previsto para esas fundaciones tenia la siguiente composicion:

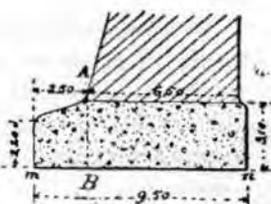


Fig. 1.

A. 3 volúmenes de trozos de ladrillos.

3 volúmenes de grava.

4 volúmenes de mortero compuesto de 400 kgr. de cemento Portland por metro cúbico de arena del Escaut.

Se sometieron a ensayos algunos bloques de aquella composicion, así como tambien otros constituidos en la proposicion siguiente:

B. 3 volúmenes de trozos de ladrillos.

3 volúmenes de grava.

4 volúmenes de mortero compuesto de 600 kgr. de cemento Portland por metro cúbico de arena.

C. 6 volúmenes de grava.

4 volúmenes de mortero compuesto de 400 kgr. de cemento Portland por metro cúbico de arena.

D. 6 volúmenes de grava.

4 volúmenes de mortero compuesto de 600 kgr. de cemento Portland por metro cúbico de arena.

El peso específico de los materiales i su proporcion de huecos es la siguiente:

MATERIALES	Peso específico	Huecos
Arena del Escaut, no comprimida.....	1174	42,5%
Trozos de ladrillos secos de 0,03 a 0,07 de lado provenientes de ladrillos de Boom bien cocidos.....	877	50 »
Grava lavada del Rhin de 0,01 a 0,04 de lado, sin comprimir.....	1522	39 »
Mezcla por cantidades iguales en volumen de trozos de ladrillo i grava.....	1282	40 »

El cemento Portland, proveniente de la fábrica Niel-on-Rupel fué sometido a los ensayos reglamentarios en el Laboratorio de Malines. Los resultados medios obtenidos para las probetas de 5 cm.² de seccion, compuestas de una parte de cemento i de tres partes de arena normal fueron:

Para la traccion.....	1 + 6 dias.....	14,30 kgr. cm. ²
» la traccion.....	1 + 27 ».....	18,15 »
» la compresion.....	1 + 6 ».....	130,00 »
» la compresion.....	1 + 27 ».....	179,00 »
Densidad.....		3,09 »

Los ensayos de mortero de cemento i arena del Escaut, proveniente del banco del Rug, fueron verificados tambien en el Laboratorio de Malines. Se confeccionaron dos categorías de probetas. La primera comprendió 65 probetas en dos series de 40 i de 25 respectivamente, confeccionadas con mortero en la proporcion de 400 kgr. de cemento por metro cúbico de arena; la segunda categoría comprendió dos nuevas series de 40 i de 25 probetas confeccionadas con mortero en la proporcion de 600 kgr. de cemento por metro cúbico de arena. Estas probetas sometidas al ensayo por traccion hasta la rotura, por grupos de cinco, dieron los resultados que se indican en el siguiente cuadro:

1.ª SERIE			2.ª SERIE		
Edad	1.ª categoría A	2.ª categoría B	Edad	1.ª categoría A	2.ª categoría B
Días	Kg./cm. ²	Kg./cm. ²	Días	Kg./cm. ²	Kg./cm. ²
14	9,84	17,60	...	...	...
21	10,60	17,60	24	8,12	18,64
35	11,48	20,30	38	9,56	17,52
49	11,26	20,40	45	11,86	19,82
63	14,02	17,30	66	11,64	19,60
70	17,12	22,05	73	11,48	21,06
91	14,42	21,30	...	...	...
99	15,80	19,90	...	...	...
Promedio.....	13,07	19,56	...	10,33	19,33

En estos ensayos hai que observar:

1.º Que las cifras de resistencia por traccion obtenidas con los morteros con arena del Escant son relativamente altas, pero que las tasas de resistencia por traccion, en el momento de la rotura, son bastante variables aun para las probetas de la misma edad i de la misma composicion;

2.º Que la resistencia aumenta con la edad.

3.º Que la media de las resistencias a la traccion por centímetro cuadrado es alrededor de 60% mayor para las probetas de la categoría B que para las de la categoría A.

Fabricacion de los bloques de hormigon. — 1.ª Categoría.—Se confeccionó en moldes de madera una primera categoría de bloques de 1 m. de longitud i de las dimensiones que indica la figura 2, que representa la magnitud real del perfil del muro (fundaciones i parte de la elevacion) en la proporcion de 1: 5.

El hormigon tenia la composicion A en los bloques a_1 , a_2 i a_3 i la composicion B en los bloques b_1 i b_2 . La colocacion del hormigon se hizo por capas de 0,10 m. de espesor convenientemente pisonadas.

2.ª Categoría.—Se confeccionó dos series de bloques paralelepípicos de las dimensiones i de la composicion que se indica mas adelante.

En la preparacion del hormigon se ha procedido por grandes cantidades como se hace en la práctica. Los diferentes elementos de la mezcla se cubicaban o pesaban en

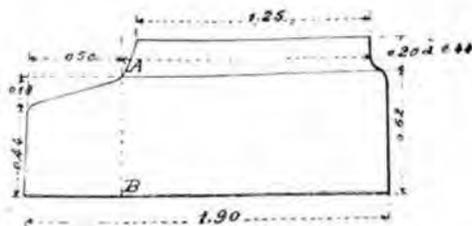


Fig. 2

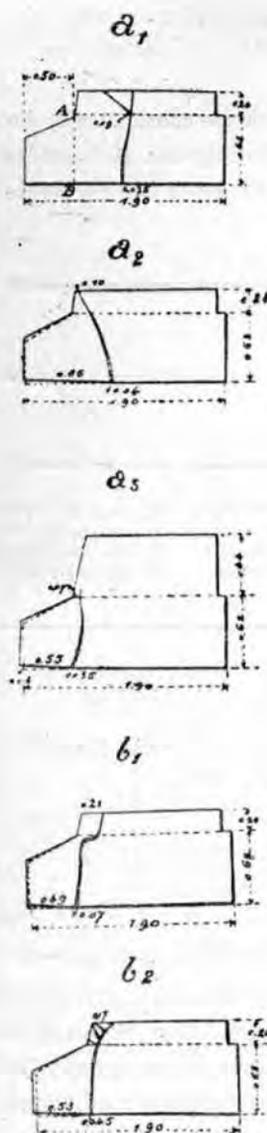
Fig. 2

cada caso i se tenia cuidado de anotar todas las observaciones que podian interesar. La compresion se hacia en las condiciones ordinarias, por capas de 0,10 m. i siempre por el mismo operario.

Se ha consignado un detalle bien completo o interesante de las cantidades de los diversos elementos que han entrado en la composicion de los hormigones. He aqui las cantidades medias de los diversos componentes, que han entrado en la fabricacion de un m³ cúbico de hormigon:

Materiales empleados en un m. ³ de hormigon	COMPOSICIONES			
	A	B	C	D
	3 v. de trozos de ladrillo; 3 v. de grava; 4 v. de mortero de 400 kg. de cemento por m ³ de arena.	3 v. de trozos de ladrillo; 3 v. de grava; 4 v. de mortero de 600 kg. de cemento por m ³ de arena.	6 v. de grava; 4 v. de mortero de 400 kg. de cemento por m ³ de arena.	6 v. de grava; 4 v. de mortero de 600 kg. de cemento por m ³ de arena.
Cemento.....	230 kg.	320 kg.	225 kg.	319 kg.
Arena.....	575 litros	511 litros	562 litros	531 litros
Agua.....	116 »	124 »	105 »	129 »
Grava.....	430 »	430 »	856 »	831 »
Trozos de ladrillos..	430 »	430 »	.....	.....

Rotura de los bloques. — 1.ª Categoría.—Los bloques de la primera categoría se colocaron sobre una superficie plana i horizontal i se cargaron hasta la rotura con rieles dispuestos de modo que la resultante pasara en lo posible por el medio de la base. Los croquis adjuntos muestran cómo se produjo la rotura en cada uno de ellos i el siguiente cuadro dá los resultados obtenidos:



Designacion de los bloques	Composicion	Edad	Carga total en el momento de la rotura.	Presion media sobre el suelo.
		dias	kg.	kg. cm ²
a ₁	A	56	51,170	2,69
a ₂	A	128	58,265	3,06
a ₃	A	128	80,410	4,23
b ₁	B	55	64,500	3,40
b ₂	B	128	96,105	5,06

Hai que observar que los bloques a_1 i a_2 se han roto hacia el medio de la base porque la parte que forma la elevacion no tenia altura suficiente para traer la seccion peligrosa de rotura a AB . Para los bloques b i b_2 la albañilería de elevacion se reforzó por medio de una capa de mortero de cemento rico i para el bloque a_3 se dió a ésta parte de la albañilería una altura de 0,20 m. a 0,44 m.

2.^a Categoría.— Los bloques de la segunda categoría se sometieron a la flexion hasta la rotura en el banco de ensayos de Malines. La edad de los bloques varió entre 42 i 232 dias. Para los bloques de 1,20 m. de longitud, 0,50 m. de alto i 0,28 m. de espesor los dos apoyos se colocaron a 1 m. de distancia, i para los bloques de 1,00 m. de longitud, 0,20 m. de alto i 0,20 m. de grueso, los apoyos se colocaron a 0,80 m. En ámbos casos la carga se hizo actuar en el medio del bloque.

El siguiente cuadro dá los resultados obtenidos:

Dimensiones i composicion de los bloques	Edad en dias	Carga en el momento de la rotura	Tension en la fibra mas alejada	Dimensiones i composicion de los bloques	Edad en dias	Carga en el momento de la rotura	Tension en la fibra mas alejada	
1,20 x 0,50 x 0,28—A	51	6.210	5,39	1,20 x 0,50 x 0,28—B	52	8.600	7,46	
	57	6.400	5,55		56	7.670	6,66	
	58	6.710	5,82		62	8.670	7,52	
	65	6.660	5,78		62	8.300	7,30	
	67	6.700	5,81		92	9.550	8,29	
	67	6.410	5,56		94	10.520	9,13	
	71	6.390	5,54		94	9.830	8,53	
	85	5.940	5,16		98	10.450	9,05	
	94	8.870	7,70		105	10.000	8,68	
	1,00 x 0,20 x 0,20—A	44	525		3,32	1,00 x 0,20 x 0,20—B	115	15.000	13,02
44		712	4,50	175	12.520		10,87	
44		850	5,37	42	1.365		8,63	
45		772	4,88	45	1.332		9,68	
77		1.175	7,43	56	1.385		8,76	
77		925	5,85	91	1.395		8,22	
92		860	5,43	114	1.872		11,84	
94		930	5,88	114	2.327		15,00	
94		1.070	6,76	167	2.110		13,34	
94		1.080	5,83	167	2.447		15,47	
94		1.112	7,03	175	1.850		11,70	
95		1.332	8,42	196	1.825		11,54	
95		1.302	8,23	211	1.470		9,29	
95		1.000	6,32	211	1.032		6,52	
114		2.005	12,66	232	2.365		14,95	
162		1.517	9,57	232	2.350		14,86	
162		1.520	9,61	1,20 x 0,50 x 0,28—C	49		5.510	4,82
171		1.005	8,88		63		6.280	5,45
171	1.637	10,35	1,00 x 0,20 x 0,20—C	87	1.012	6,40		
212	1.250	7,90		87	955	6,04		
212	1.005	6,35	1,20 x 0,50 x 0,28—D	62	10.420	9,04		
212	830	5,24		97	11.080	9,62		
1,20 x 0,50 x 0,28—B	212	1.090	6,89	1,00 x 0,20 x 0,20—D	48	1.277	8,07	
	49	10.370	9,00		83	1.467	9,27	
	52	8.800	7,64		83	1.592	10,06	

Para deducir de estas experiencias la tasa de resistencia a la estension del hormigon en el momento de la rotura, no se puede aplicar la fórmula ordinaria $R = \frac{M V}{I}$ puesto que ella no es aplicable mas que dentro del limite de elasticidad de la materia.

Con motivo de los trabajos ejecutados en Imuiden, Mr. Dueroix, ingeniero del Waterstaat, ha publicado en *De Ingenieur*, 1889, número 35, el resultado de interesantes ensayos a la flexion que ha practicado sobre bloques de 0,20 m. x 0,20 m. de seccion i

1 m. de largo. M. Ducoix hace notar que si, ya sea por traccion o ya sea por compresion, se sobrepasa el límite de elasticidad, el coeficiente de elasticidad disminuye a medida que la carga aumenta; este coeficiente llega a adquirir una magnitud variable con la magnitud de la carga.

Para el hormigon la resistencia a la traccion es de siete a diez veces menor que a la compresion; en otros términos el límite de elasticidad es alcanzado mas pronto a la traccion que a la compresion, de suerte que una viga solicitada a la flexion se rompe porque la fibra estrema tendida llega al límite de rotura, en tanto que la fibra estrema comprimida no alcanza aun el límite de elasticidad.

Las magnitudes de las tensiones de dos elementos que se encuentran en una misma seccion transversal, a igual distancia del eje horizontal que pasa por el centro de gravedad, no son iguales i de signos contrarios; por consiguiente la fórmula $R = \frac{M}{I} V$ deducida de la hipótesis de que el eje neutro pasa por el centro de gravedad no es exacta.

Segun consideraciones consignadas en Weisbach, «Mécanique théorique», M. Ducoix establece que la tension R de la fibra mas alejada es dada por la fórmula:

$$R = \frac{3\sqrt{E_1} \sqrt{E_2}}{\sqrt{E_2}} \frac{M}{bh^2}$$

siendo E_1 i E_2 los coeficientes de elasticidad por traccion i por compresion respectivamente, i b i h las dimensiones transversales del bloque.

El coeficiente n que depende de los módulos de elasticidad E_1 i E_2 puede determinarse por experiencias a la traccion i a la flexion.

Tomando bloques de composicion uniforme i rompiéndolos por traccion simple en el sentido de su longitud se obtiene directamente R ; bloques semejantes, colocados sobre dos apoyos, darán el momento máximo a la rotura, o introduciendo estas cantidades así como los valores de b i de h en la fórmula anterior, se determina n .

M. Ducoix ha deducido de ensayos sobre 672 bloques el valor medio: $n = 2,5368$.

Es esta la cifra que se ha adoptado para determinar los valores de la tension del hormigon en el momento de la rotura, inscritos en el cuadro anterior.

A pesar del esmero gastado en la confeccion de los bloques, se ha encontrado diferencias bien notables en cuanto a la composicion i a la resistencia. Dos bloques iguales, confeccionados con el mismo hormigon han dado en estos ensayos, lo mismo que en los practicados por M. Ducoix, resultados bien diferentes. La causa puede atribuirse a mil circunstancias diversas que se presentan durante la confeccion; la falta de homogeneidad en la arena, la cantidad de agua empleada, la mezcla mas o ménos íntima, la magnitud de los trozos del esqueleto i sobre todo el apisonado pueden ser causas mui importantes de variaciones.

Por otra parte, los resultados obtenidos en estos ensayos son ciertamente superiores a los que se obtendrán en la práctica, en donde las condiciones de ejecucion son, a menudo, mas difíciles i en donde a pesar de la mas minuciosa vijilancia, no se obtiene siem-

pre un apisonado conveniente, condicion *sine qua non* de la buena calidad del hormigon.

Es, pues, prudente considerar los resultados de estas esperiencias, u otras análogas, como un máximo i admitir un bien equilibrado coeficiente de seguridad.

Otra observacion bien importante es que miéntras los bloques de la composicion *B* contienen un 34% mas de cemento que los de la composicion *A*, la resistencia media es en los primeros un 50% mayor que en los segundos.

Las esperiencias de Mr. Ducroix sobre la influencia de la cantidad de cemento en el hormigon pueden resumirse así:

NÚMEROS	COMPOSICION DEL HORMIGON EN VOLÚMENES			RESISTENCIA A LA TRACCION POR CM. ² (A LOS 120 DIAS) PARA ESQUELETOS DE:		
	Cemento	Arena	Piedras	Granito	Trozos de ladrillo	Grava
I.....	2	3	5	kg./cm. ² 12,30	kg./cm. ² 10,90	kg./cm. ² 9,44
II.....	1½	3½	5	7,66	8,20	8,22
III.....	1¼	3¾	5	7,04	6,75	7,30

Admitiendo con el citado ingeniero que para obtener 9 m.³ de hormigon, se necesitan 13m.³ de materiales secos, e imaginando 1.300 kgr. como densidad aparente del cemento, se puede espresar el cuatro anterior en la siguiente forma:

NÚMEROS	Cantidad de cemento por m. ³ de hormigon	RESISTENCIA A LA TRACCION POR CM. ² PARA ESQUELETOS DE:			
		Granito	Trozos de ladrillo	Grava	Promedio
I.....	kg. 376	kg/cm. ² 12,30	kg/cm. ² 10,90	kg/cm. ² 9,44	kg/cm. ² 10,88
II.....	283	7,66	8,20	8,22	8,02
III.....	235	7,04	6,75	7,30	7,03

Se vé, pues, que dentro de los límites de las composiciones indicadas, se puede estimar que la resistencia a la tracción del hormigon aumenta con la cantidad de cemento segun una lei sensiblemente proporcional.

Composicion adoptada para las fundaciones del malecon.—Para la construccion de los muros de malecon de Anvers, las fundaciones previstas de hormigon de la composicion *A* fueron avaluadas por los contratistas en 70,42 fr. el m.³ Aumentando la cantidad de cemento a 600 kgr. por m.³ de arena, el metro cúbico de hormigon fué estimado en 73,61 fr. En otros términos elevando el costo en un 5% se realizaba un aumento de resistencia a la tracción de cerca de 50% i la administracion no trepidó en modificar la composicion *A* admitida primitivamente, adoptando el tipo *B*, lo que ha significado un mayor gasto de cerca de 100 fr. por metro corrido de muro.

Adoptada esta determinacion i habiendo solicitado los contratistas el reemplazo de trozos de ladrillo por grava en la mezcla del hormigon, se procedió a nuevas esperiencias para determinar los diferentes elementos que entran en 1 m.³ de hormigon de las composiciones *C* i *D*. Al efecto, se confeccionaron dos bloques de unos 2 m.³ cada uno en cajones de 2 m. de largo, 1 m. de ancho i 1 m. de alto. He aquí los resultados obtenidos:

COMPOSICION	CANTIDADES DE MATERIALES POR M. ³ DE HORMIGÓN HECHO			OBSERVACIONES
	Cemento	Arena	Grava	
	kg.	litros	litros	
C.....	228	569	794	Estos resultados difieren ligeramente de los obtenidos en los ensayos anteriores.
D.....	311	518	791	

El apisonado fué hecho uniformemente por capas de 0,20 m. i por el mismo obrero, dando el mismo número de golpes de pizon i conservando en lo posible la altura de caída.

Resultados obtenidos en la ejecucion de los trabajos.—Durante la ejecucion de los trabajos se ha comprobado con regularidad las cantidades de los elementos que han entrado en la composicion del hormigon, en los sesenta i cuatro cajones que se emplearon para construir los 2.000 m. corridos de malecon. Los resultados medios obtenidos son los siguientes:

DESIGNACION	Cubo total de hormigon	CANTIDADES DE MATERIALES POR M. ³ DE HORMIGON		
		Cemento	Grava	Arena
	m. ³	kg.	litros	litros
Cámara de trabajo, composicion D.....	37.760	253	732	420
Sobre la cámara, composicion D.....	22.748	277	751	458
Chimenea, composicion C.....	7.296	184	110	453

Estos resultados difieren bastante de los obtenidos en las precitadas esperiencias a pesar de la activa i continúa vijilancia de los agentes de la administracion que tenian instrucciones para exigir un apisonado tan perfecto como fuese posible.

La colocacion del hormigon en la cámara de trabajo se ejecutó por capas en talud i en estas condiciones el apisonado se hacia dificilmente. Sobre la cámara de trabajo la fundacion está constituida por un sólido forjado de hormigon armado, constituido por vigas metálicas que sostienen el cielo de la cámara envueltas en el hormigon; el apisonado se hacia aquí en condiciones mas dificiles que en la caja de madera que sirvió para las esperiencias. Finalmente, el hormigon en las chimeneas fué colocado sin apisonar.

FRANCISCO MARDÓNES,
Ingeniero.

