

grandes turbinas descargarán en tuberías de hormigón, y la tercera directamente en el vertedero.

El arreglo de las cámaras de las turbinas será tal, que éstas podrán obturarse del lado de la llegada por una compuerta hidráulica, y del lado de la descarga por puertas móviles accionadas á mano de modo que las permitan vaciarse. Con este objeto unas bombas centrifugas se unirán á una tubería general que comunicará con las cámaras por válvulas de toma.

Dos enrejados de diferente modelo protegen la entrada de las tuberías de llegada á las turbinas. La limpieza de estos enrejados podrá hacerse, ya á mano, ya por el método siguiente: estando cerrada la compuerta anterior de la cámara y abierta la de separación con la cámara próxima, el agua fluirá en virtud de esto en sentido opuesto al sentido normal, expulsando en el depósito las materias acumuladas contra el enrejado.

El material eléctrico de la fábrica se compondrá de los aparatos y máquinas necesarios á semejante instalación, entre ellos 10 generadores trifásicos de 5.000 caballos.

Los trabajos se empezarán probablemente en el curso del año corriente. Extractamos lo que precede de la crónica del *Bulletin de l'Union des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Louvain*. Añadiremos que en vista del establecimiento futuro de la navegación en esta parte del Rhin, la esclusa que hemos mencionado anteriormente se hará de manera que pueda dejar libre el paso á las embarcaciones de 600 toneladas.—O.

ENSAYOS DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO

(CONTINUACIÓN)

- 37. Vigas con varias dosis. (Cuadro XI.)
- 38. Vigas con armadura de barras dobladas. (Cuadro XII.)

CUADRO XI

Carga distribuida como en las vigas del cuadro IX.

Número de la viga.	Dosis de acero dulce.	Fibra neutra. — Kilogramos.	Carga á la primera grieta. — Kilogramos.	Carga máxima — Kilogramos.	Carga considerada. — Kilogramos.	Trabajo del acero en kilogramos por mm. ² deducido.		CAUSA DE LA ROTURA
						Del momento resistente.	De las deformaciones	
27	0,74	0,330	2.270	3 630	3.630	26,30	31,00	Tensión del acero.
36	0,74	0,410	2.720	3.350	3.170	23,30	25,30	Idem id.
37	1,23	0,470	3.630	5.900	5.440	24,60	25,30	Idem id.
38	1,60	0 501	3 170	6.330	5.900	20,70	24,90	Tensión inclinada.
33	1,66	0,505	4.530	8.160	6.340	21,50	21,10	Idem id.
34	1,66	0,374	5.762	5.762	5.440	17,50	26,10	Idem id.
45	1 84	0,606	"	7.250	7.250	18,00	19,10	Idem id.
35	1,84	0,552	4.530	6.800	6.340	19,90	21,10	Tensión del acero.
46	2,76	0,680	4.530	6.800	6.800	15,05	18,50	Compresión del hormigón.

CUADRO XII

Vigas armadas al 1 por 100 con barras dobladas.
Cargas aplicadas continuamente.

Número de la viga.	PUNTOS DE APLICACIÓN DE LAS CARGAS	Fibra neutra. — Kgs.	Carga á la primera grieta. — Kgs.	Carga máxima. — Kgs.	Carga conside- rada. — Kgs.	Trabajo del acero en kilogramos por mm. ² deducido.		CAUSA DE LA ROTURA
						Del momento resistente.	De las deforma- ciones.	
48	En los que dividen la luz en tres partes iguales.....	0,440	2.720	4.220	4.080	22,80	26,50	Tensión del acero.
54	En el punto medio.....	0,445	2.720	3.000	2.720	22,90	21,50	Idem id.
58	En los que dividen la luz en tres partes iguales.....	0,374	1.810	4.040	3.630	19,80	"	Idem id.
59	Idem id.....	0,360	1.810	3.580	3.580	19,46	25,30	Idem id.
63	Idem id.....	0,410	1.810	3.350	3.170	17,60	21,10	Idem id.

39. *Vigas armadas con acero para herramientas.*—En el Cuadro XIII se consignan los resultados de los ensayos hechos con once vigas armadas con barras de acero para herramientas de 19 mm. de diámetro, cuyo límite elástico era 36,54 kilogramos por mm.², ensayos que tenían por objeto el estudio de la influencia de dicho límite. Como la superficie de las barras era muy lisa y su sección transversal completamente uniforme, las vigas no desarrollaron tanta resistencia como las armadas con acero dulce, correspondiendo al metal una tensión inferior a la que representa su límite elástico. La rotura de las vigas se produjo por el deslizamiento de las barras con la aparición simultánea de grietas verticales y longitudinales.

CUADRO XIII

Vigas armadas con acero de herramientas.

Cargas aplicadas en los puntos que dividen en tres partes iguales la luz.

Número de la viga.	Dosis de acero.	Fibra neutra. Kgs.	Carga a la primera grieta. Kgs.	Carga máxima. Kgs.	Carga con siderada. Kgs.	Trabajo del acero en kilogramos por mm. ² deducido.		Causa de la rotura.
						Del momento resistente.	De las deformaciones.	
49	1,10	0,430	4080	5130	4990	24,90	26,50	Deslizamiento de las barras.
53	1,10	0,510	2720	3630	3630	18,70	20,80	Idem.
56 (1)	1,10			400				Idem.
57	1,10	0,472	900	3330	3170	16,10	20,00	Idem.
60 (2)	1,10	0,380	2720	6800	5890	16,50	19,00	Idem.
62	1,10	0,480	900	4080	3630	18,50	15,80	Idem.
67	1,10	0,381	2720	3900	3630	17,70	19,30	Idem.
51	1,66	0,500	2270	5350	4990	16,40	22,00	Idem.
52	1,66	0,520	2720	6800	6800	22,50	28,70	Idem.
55	1,66	0,590	3630	4510	4510	15,40	14,80	Idem.
61	1,66	0,481	2270	3000	3000	10,00	11,40	Idem.

40. *Rotura por tensión del acero.*—En todas las vigas que figuran en el Cuadro VII, excepto en la núm. 20, la rotura inicial se produjo cuando el acero se alargó más de lo que corresponde a su límite elástico, sin que fuera acompañada por ninguna otra señal, hasta que el alargamiento excesivo del acero alteraba las condiciones de la viga, determinando su rotura definitiva. De los resultados consignados en el Cuadro se deduce que las vigas al 1 por 100 con hormigón de $1 \times 3 \times 6$ deben romperse por tensión, á no ser que la relación entre la altura y la luz de aquéllas sea tal, que la rotura deba producirse por tensión inclinada. En las vigas que se rompen por tensión del acero, el momento resistente se calcula muy sencillamente, multiplicando la tensión máxima de la armadura por la distancia que hay entre el centro de ésta y el de gravedad de la superficie de hormigón comprimida.

De los datos y resultados que contienen los Cuadros X, XI y XII parece evidente que las vigas al 1,5 por 100 con acero cuyo límite elástico es 23,2 kilogramos por mm.² y confeccionadas con hormigón de buena calidad de $1 \times 3 \times 6$ se romperán por tensión del acero, siempre que sus dimensiones sean tales que la rotura no haya de producirse por tensión inclinada.

41. *Rotura por compresión del hormigón.*—En ninguna viga, excepto en la núm. 46, se produjo la rotura inicial por compresión del hormigón y aunque algunas se aplastaron en la parte superior por efecto de la elevación brusca de la fibra neutra al pasar el acero de su límite elástico, aquel resultado no debe considerarse como una rotura por compresión. Las vigas armadas con acero dulce en la cantidad necesaria para contrarrestar

la compresión del hormigón, se rompieron por tensión inclinada antes que este material desarrollara toda la compresión de que era capaz. El estudio de las curvas de la deformación en relación con la dosis de metal empleado demostró que el hormigón de $1 \times 3 \times 6$, armado al 1,5 por 100 con barras de acero dulce cuyo límite elástico era 23,19 kilogramos por mm.² no trabajaba por compresión con el valor máximo, conclusión que es independiente de que la resistencia de la viga á la tensión inclinada sea suficiente para evitar la rotura por esta causa. Aplicando la fórmula (15) al hormigón antes descrito, cuyo coeficiente de elasticidad es 1.400 kilogramos por mm.² y suponiendo $q = 0,6$, se obtiene $c = 112$ kilogramos por mm.²; ensayos hechos con cilindros de hormigón, comparando sus deformaciones con las correspondientes á la rotura, demostraron que el valor de c era el 80 por 100 del que produce ésta.

42. *Rotura por tensión inclinada del hormigón.*—Ya se ha indicado anteriormente que la resistencia del hormigón al esfuerzo cortante es suficiente para contrarrestar el que se desarrolla en las vigas de dimensiones corrientes, así como que las roturas que se atribuyen á aquél esfuerzo son producidas en realidad por tensiones inclinadas.

Ahora bien; como el valor actual de la tensión inclinada no se puede calcular sin conocer el de la tensión horizontal del hormigón en el mismo punto, es preferible, para hacer estudios comparativos, tomar por base los esfuerzos cortantes verticales y horizontales dados por la fórmula (18). El valor de la tensión inclinada por unidad de superficie puede llegar á ser, en circunstancias determinadas, el doble ó más del esfuerzo cortante vertical por unidad de superficie, según se deduce del estudio de la ecuación (19). Es muy posible que en las vigas ensayadas el valor máximo de la tensión inclinada sea unas dos veces y media el esfuerzo cortante vertical, en cuyo caso se aplicaría la

fórmula $v = \frac{V}{ba'}$ para comparar aquellas tensiones. En el Cuadro XIV se consignan los valores de los esfuerzos cortantes verticales por unidad de superficie calculados con la fórmula anterior y aplicables á las vigas que se rompieron por tensión inclinada.

CUADRO XIV

Vigas rotas por tensión inclinada.

Número de la viga.	Esfuerzo cortante vertical. $v = \frac{V}{ba'}$ Kgs. por cm. ²	Adherencia. $u = \frac{V}{ma'}$ Kgs. por cm. ²	OBSERVACIONES
14	9,35	11,95	Carga repartida entre dos puntos separados 2,30 metros.
15	10,05	12,75	Idem id.
18	10,61	13,50	Idem id.
20	6,05	7,66	
24	9,14	7,73	Armadura de acero dulce al 2,21 %.
28	8,71	7,45	Idem id. id.
29	9,63	8,22	Idem id. id.
33	8,43	9,49	Idem id. 1,66 %.
34	7,31	8,15	Idem id. id.
38	8,23	10,05	Idem id. 1,60 %.
45	7,66	7,87	Idem id. 1,84 %.
Media	8,64	9,56	
39	4,36	5,62	Hormigón especial.
40	5,48	7,03	Idem id.
41	5,27	6,68	Idem id.
42	4,00	5,13	Idem id.
44	5,62	7,10	Idem id.
Media	4,92	6,32	

(1) Esta viga se agrietó antes de romperla. Las barras se frotaron con papel esmeril y aceite.

(2) Esta viga se cargó en dos puntos separados 2,30 metros.

De los ensayos parece deducirse que tanto la composición del hormigón como su resistencia á la tracción tienen influencia

marcada en la resistencia de las vigas á la rotura por tensión inclinada en forma poco conocida hasta ahora, y que en aquellas cuya longitud es pequeña con relación á la altura, esta última resistencia es la que caracteriza la total de la viga cuando ésta no tiene armadura vertical.

43. *Rotura por falta de adherencia entre el hormigón y el metal.*—Es muy difícil afirmar si la rotura de una viga de hormigón armado se ha producido por el deslizamiento de la armadura sobre el hormigón, porque no es posible saber si aquél ha sido la causa ó el efecto de la rotura.

Según ya se ha indicado anteriormente, se construyeron once vigas con barras de acero para herramientas cuya sección era constante y cuya superficie se pulimentó, vigas que sirvieron para el estudio de la rotura por deslizamiento de la armadura sobre el hormigón.

En la figura 12 se han dibujado las grietas presentadas en seis

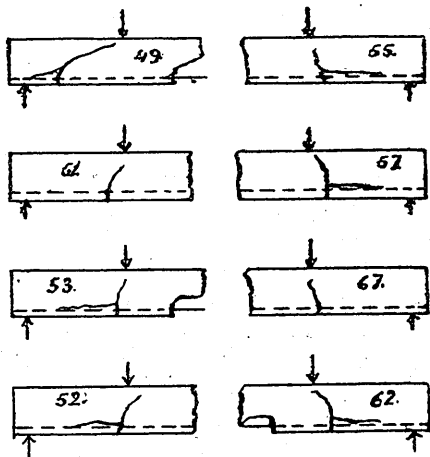


Fig. 12.

de las once vigas, y en el Cuadro XV se consignan las fuerzas de adherencia desarrolladas y los esfuerzos cortantes verticales con las mismas cargas, incluyendo en éstas el peso propio de las vigas y el de los aparatos. En la mayoría de las vigas se formaron dos grietas principales en cada extremo, una próximamente vertical seguida por otra horizontal á la altura del plano de la armadura y dirigida hacia los apoyos. Parece probable que el deslizamiento se inició en los extremos de las barras propagándose hacia la grieta vertical, así como que la horizontal se formó simultáneamente con aquél y á consecuencia de la tensión vertical procedente de la armadura.

CUADRO XV

Barras de acero para herramientas.

Número de la viga.	Esfuerzo cortante vertical. $v = \frac{V}{ba'}$ Kgs. por cm. ²	Adherencia. $u = \frac{V}{mod'}$ Kgs. por cm. ²	OBSERVACIONES
49	6,68	11,50	Cantidad de acero: 1,10 %.
53	5,06	8,64	Idem id. id.
57	4,64	7,87	Idem id. id.
60	7,52	12,70	Idem id. id.
62	5,13	8,71	Idem id. id.
61	5,13	8,71	Idem id. id.
51	7,10	8,01	Idem id. 1,66 %.
52	8,86	9,95	Idem id. id.
55	7,52	8,43	Idem id. id.
Media	6,40	9,35	
61	4,29	4,85	Idem id. id.
56			Idem id. 1,10 %.

Cuando la carga tiene un valor comprendido entre el 75 por 100 y el 95 por 100 del máximo, se forma una grieta vertical entre el punto de aplicación de la carga y el apoyo, no muy lejos del primero, cuya longitud aumenta hasta que aquella llega á su máximo; si entonces se reduce, la grieta continúa aumentando hasta que la rotura se produce bruscamente con una carga inferior á la máxima en 400 ó 600 kilogramos. La dirección y posición de las grietas indican que la causa primera de la rotura de las vigas fué el deslizamiento de las barras sobre el hormigón entre los puntos de aplicación de las cargas y los apoyos, siendo nulo el esfuerzo cortante entre aquéllas, y, por lo tanto, también la adherencia. El valor de esta fuerza para la carga máxima, según se deduce de las fórmulas, era 10 kilogramos por cm.².

La posición de grietas características y la forma de la rotura del grupo de las vigas que se está considerando son completamente diferentes de las correspondientes á la rotura por tensión inclinada. Sin embargo, se tendrá muy presente que las grietas iniciales debilitan la resistencia de la viga ó la tensión inclinada y aumentan el trabajo en el alma, así como la tensión vertical transmitida por la barra inferior á la grieta, circunstancias que determinan la forma definitiva de la rotura.

En la viga núm. 61 se hicieron artificialmente 13 grietas verticales separadas 20 centímetros, con 10 de altura á partir del plano de la armadura, de las cuales 6 se colocaron entre los apoyos y las cargas, produciéndose la rotura por una de aquéllas, que distaba 40 centímetros del punto de aplicación de la fuerza exterior, en forma completamente análoga á la descrita en los párrafos anteriores. La grieta final se inició en la parte inferior de la viga con una carga de 2.300 kilogramos, llegando hasta 8 centímetros de su cara superior con 3.000 kilogramos, que fué la carga máxima, produciéndose la rotura con una menor que ésta; el valor de la adherencia fué de 4,8 kilogramos por cm.². El hormigón inferior á la armadura no se rompió.

De los resultados de los ensayos se deduce que existen dos formas características de rotura por deslizamiento: 1.ª Deslizamiento á partir del centro de la viga, con aparición lenta de una grieta ligeramente inclinada con relación á la vertical, que crece en sentido ascendente al aumentar la carga y aun después de llegar ésta á su máximo, y disminuir produciéndose la rotura final por esfoliación en la parte inferior y por grietas inclinadas en la superior. 2.ª Deslizamiento, á partir de los extremos de la viga, con rotura brusca al llegar la carga á su valor máximo, con formación de grietas algo inclinadas respecto de la vertical cerca de los apoyos, acompañadas por esfoliación y grietas inclinadas en la parte superior de la viga. Tanto una como otra forma de rotura pueden considerarse como variaciones de una sola, produciéndose la primera cuando se pasa del límite de resistencia del hormigón á la tensión inclinada. Cuando la rotura se produce por esta última fuerza, las grietas son más inclinadas que cuando la causa de aquélla es el deslizamiento de la armadura sobre el hormigón.

44. *Efecto de las grietas verticales artificiales y de las muestras.*—En las vigas números 51 y 52 se hicieron cinco grietas artificiales entre los puntos de aplicación de las cargas donde el esfuerzo cortante es nulo, á partir de la cara inferior de aquéllas. La comparación de las deformaciones de estas vigas con las de las normales demostró que las diferencias entre unas y otras eran muy pequeñas, resultado de esperar, si no se puede confiar en la resistencia del hormigón á la tensión horizontal.

Ω.

(Se continuará.)