

salto de S. Stéfano la central puede trabajar con su carga normal, aunque, naturalmente, por un tiempo limitado.

VENINA-ARMISA INFERIOR.

La última parte del grupo de saltos que describimos, la constituye el aprovechamiento de las aguas desde el desagüe de las centrales estudiadas hasta su llegada al río Adda, después de haber pasado por las turbinas de la central de Venina, que es la más importante de todas las que nos ocupan.

Inmediatamente, aguas abajo de la central de Vedello, se ha construido un pequeño embalse regulador y otro sedimentador, que vierte al primero mediante un aliviadero de 8 000 y 5 000 m.³ de capacidad respectiva, a los que afluyen el desagüe de aquella central y las aguas derivadas del Venina, después de su confluencia con el Caronno, por un pequeño azud, desde donde entran en el canal de derivación en túnel revestido de mampostería enlucida con mortero en toda su longitud, de 3,40 m.² de sección, pendiente de 1,67 por 1 000 y un caudal de 8 m.³/sg., que las conduce hasta los depósitos de Gaggio después de un recorrido de 4 580 m., durante cuyo trayecto recogen las provenientes del torrente Remolino, captadas en una pequeña derivación.

Análogamente, desde el desagüe de la central de Armisa parte otro canal de derivación, en túnel revestido, excepto en algunos trozos, que es un canal exterior cubierto, capaz para 5 m.³/sg. de 2,50 m.² de sección, de una pendiente de 0,0002 y una longitud de 8 835 m. que conduce las aguas de las cuencas de los torrentes Armisa, Païosa, Periolo y Serio, hasta los depósitos antes aludidos, habiéndose instalado a la llegada de ambos canales vertederos de aforo para poder conocer exactamente el caudal total de las diversas aportaciones que reciben.

Estos depósitos, de 24 000 y 14 000 m.³ de capacidad respectiva, de forma alargada y que han tenido que ser proyectados en terreno poco favorable, a media ladera, y contenidos por muros de sillería de 6,5 metros de altura, sirven de cámara de agua del salto de Venina y disponen de aliviaderos capaces para desaguar toda la aportación de los canales que vierten

al canal de descarga y limpia que va a parar al torrente Remolino.

De ellos parten las cuatro tuberías forzadas que tras la casa de válvulas tienen una longitud de 1 813 metros, de las cuales dos tienen un diámetro telescópico de 1,05 m. a 0,85 m., y las dos restantes de 0,90 a 0,60 m., estando formadas por tres partes: la superior, roblonada; la intermedia, soldada, y la inferior, reforzada con hilos de acero, a lo que obliga la importancia del salto, cuya altura útil media es de 719 m., pero falta instalar una quinta tubería que debe construirse al terminarse todas las obras de los saltos superiores.

Al lado de las tuberías está colocado el funicular que conduce hasta los depósitos de Gaggio, a partir de los cuales, mediante un pequeño ferrocarril, accionado por locomóviles Diesel, cuyo trazado contournea la montaña, se llega a las centrales de Armisa y Vedello y desde los que, merced a otros funiculares, puede subirse a las instalaciones superiores.

Finalmente, la central de Venina consta de cinco grupos provistos de turbinas Pelton, interconectados a las tuberías alimentadoras, tres de las cuales son de 10 500 kwA., otro de 17 000 y el último de 24 000 kilowatios-amperios, desaguando directamente al Adda mediante dos canales de descarga, una capaz para 4,5 m.³/sg. de 1 180 m. de desarrollo, construidos separadamente por haberse empezado la explotación de los saltos a medida que iban siendo construidos, lo que, como es natural, se hizo escalonadamente.

En un edificio contiguo están colocados los transformadores y la instalación de alta tensión, y allí convergen las líneas procedentes de los otros saltos, desde donde parte la red general de distribución que queda conectada, como las de todos los saltos italianos, a las de las Sociedades vecinas, mediante estaciones transformadoras o convertidoras, según los casos, con lo que se ha conseguido una verdadera red nacional, para cuya implantación no han sido obstáculos las diferencias de tensiones de las diversas líneas ni las distintas frecuencias de 50, 45 y 42 períodos que se emplean en Italia.

Santiago GOSÉ,
Ingeniero de Caminos.

Flexión en piezas rectangulares de hormigón armado

Los procedimientos corrientemente empleados para calcular estas secciones, a más de precisar un cierto número de operaciones auxiliares, tienen el gran inconveniente de exigir tanteos, pues son más bien comprobaciones de la resistencia de la sección, y la molestia de estos tanteos aumenta, naturalmente, con la falta de experiencia del proyectista.

El procedimiento que vamos a indicar, además de su generalidad y sencillez de ejecución, tiene la gran ventaja de suprimir en absoluto estos tanteos, dando en todos los casos la sección más económica.

Las notaciones empleadas, así como las relaciones fundamentales, están tomadas de la obra *Hormigón armado*, de D. Alfonso Peña.

Desde luego, podemos sentar que la sección más económica es la asimétrica, en que tanto el hormigón como el acero trabajen a la máxima cifra admisible. Para el acero admitimos 1 200 kg./cm.², y para el hormigón (648 : r) kg./cm.²

La fórmula que da el trabajo en el acero, en el caso de flexión compuesta, es:

$$\sigma_A = \frac{F \cdot r \cdot (1 - \varphi)}{a \cdot c \cdot \left[\frac{\varphi^2}{2} - r q (1 - \varphi) \right]} \quad [1]$$

y la del hormigón:

$$\sigma_H = \frac{F \cdot \varphi}{a \cdot c \cdot \left[\frac{\varphi^2}{2} - r q (1 - \varphi) \right]} \quad [2]$$

dividiendo ambas fórmulas, después de obligar a que $\sigma_A = A$ y $\sigma_H = H$, se tiene:

$$\frac{A}{H} = \frac{r(1 - \varphi)}{\varphi},$$

de donde se deduce

$$\varphi = \frac{r H}{r H + A} \quad [3]$$

dando a H y a A los valores previamente fijados se tiene $\varphi = 0,351$, valor obtenido en la citada obra.

De la ecuación que da la profundidad de la fibra neutra que para $K = 0$ es

$$\left. \begin{aligned} \varphi^3 + 3 \left(e_1 - \frac{1}{2} \right) \varphi^2 + 6 r q \left(e_1 + \frac{1}{2} \right) \varphi - \\ - 6 r q \left(e_1 + \frac{1}{2} \right) = 0 \end{aligned} \right\} [4]$$

se deduce

$$r q = \frac{\varphi^2}{2(1-\varphi)} \cdot \frac{e_1 - \frac{1}{2} + \frac{\varphi}{3}}{e_1 + \frac{1}{2}} \quad [5]$$

Dándole a φ el valor 0,351, se tiene:

$$q = \frac{0,095}{r} \cdot \frac{e_1 - 0,383}{e_1 + 0,500} \quad I$$

sustituyendo en las fórmulas [1] y [2] el valor de $r q$ dado por la [5], se tiene:

$$\begin{aligned} A = \frac{F \cdot r \cdot (1-\varphi)}{a \cdot c \left[\frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi^2}{2(1-\varphi)} \cdot \frac{e_1 - \frac{1}{2} + \frac{\varphi}{3}}{e_1 + \frac{1}{2}} \cdot (1-\varphi) \right]} = \\ = \frac{F \cdot r \cdot (1-\varphi) \left(e_1 + \frac{1}{2} \right)}{a \cdot c \cdot \frac{\varphi^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{3} \right)} \quad [6] \end{aligned}$$

Haciendo $e = c : c$, se tiene:

$$\frac{A \varphi^2 \left(1 - \frac{\varphi}{3} \right)}{2 F r (1-\varphi)} a c^2 - \frac{1}{2} c - e = 0 \quad [7]$$

dándole a φ y a A los valores antes determinados queda

$$\frac{100}{F \cdot r} a c^2 - \frac{1}{2} c - e = 0 \quad II$$

Las ecuaciones I y II nos dan la solución buscada.

En todos los casos prácticos son datos: La r del hormigón empleado, la fuerza F y la excentricidad absoluta e .

Fijando bien el canto c , la anchura a o una relación entre ambas de la ecuación II, se deducen las dimensiones de la sección, y de la I la cuantía más conveniente.

En el caso de ser dadas las dimensiones de la sección y que busquemos la cuantía necesaria se puede, naturalmente, obligar a que trabaje al máximo, bien el acero o bien el hormigón, pero no ambos materiales a la vez.

Para determinar la cuantía basta buscar en las adjuntas tablas para la r y la c , previamente fijadas, el cociente $F : ac$, y en esa columna tendremos la cuantía necesaria.

Estas tablas están obtenidas determinando directamente la máxima compresión resistida por la sección de 1×1 cm. En ellas se separan por una línea las zonas en que trabajan al máximo el hormigón y el acero, respectivamente; al mismo tiempo, en las proximidades de esta línea es donde los materiales están mejor aprovechados.

Traducidas en gráficos dichas tablas se comprue-

ba, por la forma de la curva, que la interpolación lineal es admisible y da cuantías por exceso.

Las fórmulas precedentes indican que para excentricidades relativas inferiores a 0,383 no es económica la armadura, pues basta la resistencia de la zona comprimida del hormigón; por lo tanto, para excentricidades inferiores, el canto debe calcularse por la fórmula

$$a \cdot c = \frac{2 F}{3 \times \frac{648}{r} \left(\frac{1}{2} - e_1 \right)} = \frac{F \cdot r}{972 \left[\frac{1}{2} - e_1 \right]}$$

de la compresión compuesta en secciones de hormigón en masa.

Para el caso de flexión simple basta hacer en las fórmulas anteriores $F = 0$, $e = \infty$ y $F \cdot e = M$. La fórmula I queda:

$$q = \frac{0,095}{r}$$

y la II, después de multiplicar por F

$$\frac{100}{r} a c^2 - \frac{1}{2} F c - F e = 0,$$

o sea:

$$\frac{100}{r} a c^2 - M = 0,$$

de donde

$$a c^2 = \frac{M r}{100},$$

poniendo las dimensiones en centímetros y los momentos en mkg., queda

$$a c^2 = M r.$$

Estas fórmulas, que podrían deducirse también directamente de un modo análogo al empleado para deducir las de flexión compuesta, se usan de igual modo que aquéllas y son aún más prácticas por su sencillez.

Para el caso de armar una sección dada para que resista un momento dado, basta buscar en las adjuntas tablas el cociente $M : ac^2$ y ver la q en la columna correspondiente.

Naturalmente, éstas fórmulas son aplicables a las secciones en T , en U , en L , en Π , etc., cuando puedan considerarse como derivadas de las rectangulares, es decir, cuando la fibra neutra no salga de la cabeza.

Rafael CANDAU PARIAS,
ingeniero de Caminos.

FLEXIÓN SIMPLE.- Momentos en metros-kilos resistidos por la sección de 1×1 cm. para $K = 0$

Cuantías.	$r = 8$	$r = 10$	$r = 12$	$r = 15$
0,001	0,011525	0,011384	0,011242	0,011145
0,002	0,022681	0,022517	0,022317	0,021993
0,003	0,033643	0,033369	0,033040	0,032546
0,004	0,044432	0,044144	0,043798	0,043279
0,005	0,055086	0,054645	0,054098	0,053321
0,006	0,065976	0,064576	0,062895	0,060374
0,007	0,076866	0,074329	0,071283	0,066718
0,008	0,087757	0,082883	0,077035	0,068262
0,009	0,098647	0,091437	0,082831	0,069807
0,010	0,106883	0,098138	0,088644	0,071903
0,015	0,135735	0,124174	0,098143	0,081492
0,020	0,148577	0,133299	0,106427	0,087465
0,030	0,166912	0,149320	0,116281	0,096542
0,040	0,179757	0,160973	0,123524	0,104621
0,050	0,184741	0,165067	0,130921	0,110034

Compresiones en kilogramos resistidas por la sección de 1×1 cm. para $r = 8$ y $K = 0$

e	q = 0,001	q = 0,002	q = 0,003	q = 0,004	q = 0,005	q = 0,006	q = 0,007	q = 0,008
0,00	81,648	82,296	82,944	83,592	84,240	84,888	85,536	86,184
0,25	30,752	31,109	31,383	31,591	31,802	31,972	32,128	32,284
0,50	10,189	13,488	14,696	15,652	16,507	17,305	17,749	18,315
0,75	3,273	6,096	8,190	9,622	10,823	11,634	12,181	12,655
1,00	2,006	3,782	5,440	6,988	8,162	8,850	9,382	9,751
1,50	1,233	2,323	3,291	4,241	5,072	5,745	6,236	6,620
2,00	0,815	1,512	2,205	2,854	3,457	4,007	4,433	4,853
2,50	0,565	1,096	1,642	2,135	2,604	3,073	3,564	3,932
3,00	0,459	0,912	1,294	1,716	2,101	2,490	2,884	3,216
4,00	0,320	0,636	0,951	1,242	1,537	1,802	2,108	2,402
5,00	0,254	0,502	0,748	0,973	1,209	1,421	1,653	1,865
6,00	0,203	0,405	0,594	0,795	0,986	1,163	1,395	1,534
10,00	0,122	0,232	0,361	0,487	0,612	0,726	0,830	0,932

e	q = 0,009	q = 0,010	q = 0,015	q = 0,020	q = 0,030	q = 0,040	q = 0,050
0,00	86,832	87,480	90,720	93,960	100,440	106,920	113,400
0,25	32,456	32,542	33,038	33,268	33,883	34,214	34,443
0,50	18,679	19,055	20,275	20,896	22,367	23,105	23,633
0,75	13,036	13,370	14,641	15,214	16,453	17,281	17,955
1,00	10,096	10,334	11,480	12,043	13,124	13,893	14,364
1,50	6,918	7,145	8,123	8,635	9,481	10,006	10,463
2,00	5,173	5,468	6,176	6,576	7,375	7,983	8,314
2,50	4,208	4,431	5,020	5,405	6,033	6,422	6,730
3,00	3,521	3,731	4,241	4,599	5,106	5,494	5,782
4,00	2,605	2,833	3,222	3,482	3,876	4,182	4,384
5,00	2,091	2,280	2,608	2,830	3,184	3,398	3,555
6,00	1,716	1,890	2,182	2,347	2,586	2,698	2,752
10,00	1,038	1,127	1,375	1,502	1,750	1,830	1,862

Compresiones en kilogramos resistidas por la sección de 1×1 cm. para $r = 10$ y $K = 0$

e	q = 0,001	q = 0,002	q = 0,003	q = 0,004	q = 0,005	q = 0,006	q = 0,007	q = 0,008
0,00	65,448	66,096	66,744	67,392	68,040	68,688	69,336	69,984
0,25	24,687	24,927	25,215	25,431	25,611	25,773	25,912	26,001
0,50	9,572	11,439	12,513	13,330	13,985	14,480	14,839	15,243
0,75	3,182	5,943	7,652	8,759	9,382	9,887	10,355	10,732
1,00	1,969	3,696	5,159	6,236	6,905	7,533	7,970	8,319
1,50	1,168	2,209	3,065	3,830	4,538	5,101	5,487	5,746
2,00	0,786	1,627	2,164	2,807	3,403	3,905	4,216	4,405
2,50	0,552	1,076	1,617	2,101	2,563	3,024	3,326	3,545
3,00	0,448	0,898	1,273	1,690	2,071	2,464	2,735	2,935
4,00	0,315	0,626	0,936	1,222	1,512	1,772	1,994	2,149
5,00	0,250	0,494	0,736	0,957	1,189	1,396	1,590	1,738
6,00	0,200	0,397	0,587	0,786	0,975	1,150	1,306	1,457
10,00	0,120	0,239	0,357	0,476	0,600	0,710	0,811	0,901

e	q = 0,009	q = 0,010	q = 0,015	q = 0,020	q = 0,030	q = 0,040	q = 0,050
0,00	70,632	71,280	74,520	77,760	84,240	90,720	97,200
0,25	26,082	26,175	26,650	26,831	27,309	27,754	28,084
0,50	15,552	15,820	16,828	17,495	18,353	18,986	19,270
0,75	11,053	11,259	12,259	12,930	13,805	14,504	15,096
1,00	8,558	8,761	9,654	10,263	11,068	11,571	11,966
1,50	5,931	6,091	6,799	7,308	7,940	8,370	8,686
2,00	4,594	4,680	5,252	5,656	6,167	6,556	6,816
2,50	3,693	3,809	4,275	4,626	5,074	5,384	5,614
3,00	3,080	3,167	3,611	3,907	4,307	4,569	4,768
4,00	2,316	2,440	2,756	2,986	3,292	3,507	3,668
5,00	1,851	1,962	2,230	2,472	2,670	2,844	2,977
6,00	1,565	1,654	1,876	2,034	2,242	2,402	2,511
10,00	0,969	1,002	1,200	1,368	1,522	1,631	1,664

Compresiones en kilogramos resistidas por la sección de 1×1 cm. para $r = 12$ y $K = 0$

e	q = 0,001	q = 0,002	q = 0,003	q = 0,004	q = 0,005	q = 0,006	q = 0,007	q = 0,008
0,00	54,648	55,296	55,994	56,592	57,240	57,888	58,536	59,184
0,25	20,624	20,901	21,143	21,315	21,474	21,610	21,737	21,840
0,50	8,004	9,518	10,583	11,496	12,017	12,383	12,752	13,008
0,75	3,265	5,460	6,935	7,753	8,297	8,691	9,036	9,296
1,00	1,938	3,619	4,906	5,850	6,381	6,783	7,052	7,280
1,50	1,144	2,156	2,915	3,678	4,206	4,606	4,811	5,023
2,00	0,716	1,481	1,942	2,509	3,029	3,484	3,701	3,857
2,50	0,513	1,009	1,523	1,978	2,412	2,854	3,030	3,141
3,00	0,422	0,834	1,231	1,640	2,013	2,398	2,529	2,634
4,00	0,304	0,600	0,902	1,200	1,489	1,746	1,891	2,012
5,00	0,246	0,488	0,727	0,949	1,179	1,384	1,530	1,619
6,00	0,197	0,392	0,582	0,780	0,958	1,142	1,290	1,357
10,00	0,118	0,235	0,351	0,466	0,586	0,686	0,773	0,823

e	q = 0,009	q = 0,010	q = 0,015	q = 0,020	q = 0,030	q = 0,040	q = 0,050
0,00	59,832	60,480	63,720	66,960	73,440	79,920	86,400
0,25	21,938	22,025	22,359	22,588	22,946	23,085	23,133
0,50	13,128	13,571	14,381	14,911	15,577	16,002	16,130
0,75	9,551	9,760	10,573	11,115	11,809	12,248	12,520
1,00	7,461	7,637	8,369	8,863	9,507	9,918	10,205
1,50	5,204	5,349	5,924	6,321	6,848	7,188	7,383
2,00	3,996	4,118	4,585	4,917	5,357	5,690	5,845
2,50	3,264	3,347	3,747	4,022	4,396	4,692	4,818
3,00	2,732	2,815	3,160	3,404	3,731	3,945	4,057
4,00	2,092	2,148	2,423	2,604	2,865	3,033	3,113
5,00	1,693	1,739	1,955	2,107	2,335	2,465	2,566
6,00	1,411	1,455	1,637	1,776	1,954	2,072	2,132
10,00	0,862	0,890	1,002	1,092	1,196	1,276	1,322

Compresiones en kilogramos resistidas por la sección de 1×1 cm. para $r = 15$ y $K = 0$

e	q = 0,001	q = 0,002	q = 0,003	q = 0,004	q = 0,005	q = 0,008	q = 0,007	q = 0,006
0,00	43,848	44,496	45,144	45,792	46,440	47,088	47,736	48,384
0,25	16,459	16,701	16,950	17,160	17,309	17,431	17,536	17,620
0,50	6,556	8,309	9,064	9,593	9,948	10,238	10,515	10,756
0,75	3,018	4,157	5,753	6,504	7,018	7,332	7,561	7,762
1,00	1,887	3,359	4,261	4,861	5,303	5,648	5,891	6,110
1,50	1,064	1,951	2,755	3,325	3,722	3,941	4,124	4,278
2,00	0,678	1,424	1,963	2,440	2,784	3,022	3,156	3,304
2,50	0,485	0,900	1,411	1,914	2,260	2,498	2,597	2,706
3,00	0,416	0,825	1,234	1,648	1,892	2,067	2,157	2,253
4,00	0,296	0,585	0,874	1,166	1,408	1,571	1,662	1,738
5,00	0,241	0,474	0,711	0,945	1,142	1,267	1,329	1,391
6,00	0,195	0,380	0,563	0,755	0,929	1,059	1,117	1,164
10,00	0,116	0,229	0,341	0,451	0,556	0,631	0,679	0,712

e	q = 0,009	q = 0,010	q = 0,015	q = 0,020	q = 0,030	q = 0,040	q = 0,050
0,00	49,032	49,680	52,920	56,160	62,640	69,120	75,600
0,25	17,694	17,766	18,029	18,182	18,381	18,507	18,561
0,50	10,963	11,218	11,836	12,135	12,705	12,904	13,084
0,75	7,972	8,172	8,797	9,098	9,675	10,016	10,235
1,00	6,284	6,436	7,004	7,452	8,051	8,254	8,398
1,50	4,406	4,533	4,985	5,213	5,641	5,906	6,074
2,00	3,421	3,502	3,873	4,029	4,407	4,676	4,721
2,50	2,771	2,850	3,169	3,382	3,795	4,088	4,326
3,00	2,342	2,407	2,682	2,871	3,307	3,622	3,782
4,00	1,782	1,837	2,052	2,187	2,395	2,513	2,594
5,00	1,440	1,487	1,665	1,780	1,950	2,053	2,122
6,00	1,209	1,251	1,392	1,495	1,636	1,748	1,813
10,00	0,739	0,760	0,849	0,903	0,988	1,062	1,111