

El teorema de los momentos dará para la ecuación de equilibrio;

$$x^2 \mp f', x = \frac{1}{3} (f_1^2 - f_1'^2) = e^2 \mp f' e - \frac{1}{3} (f^2 - f'^2) \quad (B).$$

$$x^2 \mp f', x = e (e \mp f') - \frac{1}{3} (f^2 - f'^2) + \frac{1}{3} (f_1^2 - f_1'^2).$$

Haciendo con f, f', f_1, f_1' , todas las combinaciones posibles tendremos todos los casos que puedan ocurrir, en los que se reproducirán las construcciones que hemos verificado en los dos primeros problemas.

Hagamos, por ejemplo, $f' = 0, f_1' = 0$; es decir, transformemos un muro de talud exterior f en otro de talud también exterior f_1 , la fórmula (B) se reducirá á

$$x^2 = e^2 - \frac{1}{3} (f^2 - f_1^2).$$

Hagamos $f_1' = 0$ y $f = 0$; transformaremos un muro de talud interior f' en otro de talud exterior f_1 .

$$x^2 = e (e \mp f') + \frac{1}{3} (f'^2 + f_1^2)$$

construcciones hechas anteriormente.

La fórmula (B) comprende, además, los dos problemas primeros.

En efecto, haciendo $f = 0$ y $f' = 0$

$$x^2 \mp f', x = e^2 + \frac{1}{3} (f_1^2 - f_1'^2)$$

es decir, el problema primero.

Si $f_1 = 0$ y $f_1' = 0$

$$x^2 = e (e \mp f') - \frac{1}{3} (f^2 - f'^2)$$

ó el problema segundo reproducido.

A. IBARRETA.

LA CATÁSTROFE DEL VIADUCTO SOBRE EL TAY.

En los *Anales de Puentes y Calzadas* se ha publicado una interesante noticia acerca de los resultados que arrojan hasta el presente los estudios verificados por la Comisión encargada de investigar las causas que hayan podido ocasionar la espantosa catástrofe del viaducto del Tay; y aún cuando por aquellos resultados no se pueden conocer todavía con completa seguridad dichas causas, presentan gran interés para los ingenieros, porque dan alguna idea de ellas y pueden servir de muy útil enseñanza para comprender las minuciosas precauciones que es necesario tomar en la construcción de obras de esta naturaleza é importancia.

El viaducto del Tay, abierto al servicio diez y

nueve meses antes de ocurrir el terrible accidente, mide una longitud de 3.154 metros, dividida en 85 tramos, cuyas luces respectivas son las siguientes:

Metros.		Metros.		Metros.	
11 de	74,65	13 de	44,20	24 de	20,57
2 —	69,19	10 —	39,40	3 —	20,42
1 —	50,60	11 —	39,20	1 —	20,32
1 —	49,38	2 —	26,52	6 —	8,78

El piso, que tiene 4^m,57 de ancho, está sostenido por las dos vigas extremas. Todas las vigas son de celosía ordinaria, excepto las correspondientes al tramo de 50^m,60 de luz, que son de las llamadas *bow-strings*. Las vigas de los once tramos de 74^m,65 de luz y las de los dos de 69^m,19 son las que han venido abajo; y conviene advertir que no eran independientes las unas de las otras, sino que formaban tres series de tramos solidarios, de las cuales las dos primeras abrazaban cada una cuatro tramos, y la tercera cinco. Dirémos, por último, que el eje del viaducto, que afecta dos inclinaciones en sentido inverso, desde el centro de la construcción hacia los extremos, no es rectilíneo, y presenta en cada una de sus extremidades una curva de 400 metros de radio próximamente.

Catorce pilas solamente se construyeron de fábrica de ladrillo y cemento; casi todas las restantes, fundadas según diferentes sistemas, están constituidas por un macizo de mampostería, que llega á 1^m,50 por encima del nivel de las altas aguas, sobre el que se apoyan seis columnas formadas por tubos de hierro fundido rellenas de hormigón, las cuales afectan en planta la forma de un exágono alargado, cuya diagonal mayor es paralela á la dirección de la corriente, y están arriostradas por medio de piezas horizontales é inclinadas.

Entre las diversas causas á que puede atribuirse el accidente se presentan en primer término las siguientes: socavaciones debajo de una ó varias pilas, descarrilamiento del tren, rotura de las vigas ó de las pilas, ó finalmente, que estas últimas hayan sido derribadas por la presión del viento combinada con las vibraciones y oscilaciones producidas por el paso del tren.

Desde luego debe descartarse la primera de las causas que se acaban de enumerar, porque sondeos exactos, practicados antes y después de la catástrofe, han puesto de manifiesto de una manera evidente que, aún cuando el fondo del río ha sufrido alguna variación con la construcción del viaducto, ha sido de tan escasa importancia, que no ha podido ejercer influencia en la estabilidad de las pilas, cu-

yas fundaciones, por otra parte, no han experimentado movimiento alguno.

También deben descartarse las dos causas siguientes, porque de los trabajos practicados hasta ahora por buzos inteligentes parece deducirse que las vigas han permanecido intactas, y en los restos del piso no se encuentra ningún vestigio que pueda inducir á creer que ocurriese un descarrilamiento; comprobándose además esta opinión porque la velocidad del tren á su entrada en el puente era bastante pequeña, 4.500 metros próximamente.

Quedan en pié, por lo tanto, las dos últimas causas, ó sea la rotura de las pilas, ó que hayan sido derribadas por la acción impetuosa del viento: y es principalmente acerca de esta última sobre la que se ha discutido más hasta el presente, no estando conformes los ingenieros en la manera de tomar en cuenta su efecto en los cálculos de estabilidad. Creen unos que sólo debe considerarse la presión ejercida sobre la superficie de la viga directamente opuesta á la acción del viento, mientras que otros, por el contrario, juzgan que debe también influir el todo ó parte de la segunda viga; y otros, finalmente, opinan que es preciso hacer intervenir además la superficie del tren que atraviesa el puente. Careciendo de experimentos precisos para formar juicio en esta cuestión, es muy difícil resolverla; y según se admita una u otra de estas hipótesis, el punto de aplicación y la intensidad de la resultante total de los esfuerzos á que la pila está sometida varían en una proporción notable, entre límites bastante distantes. Parece, sin embargo, difícil admitir en el caso actual que la influencia sola del viento hubiese podido causar la catástrofe, si las pilas hubieran resistido como un conjunto perfectamente rígido, y si cada una de sus piezas componentes hubiese ofrecido la resistencia normal con que debía contarse.

Las declaraciones de numerosos testigos han venido á arrojar alguna luz sobre este punto importante. Resulta que gran número de los tubos de fundición que forman las columnas presentaban veteaduras, que se han rellenado con mastic, y se han empleado sin preocuparse de los graves inconvenientes y peligros que llevaba consigo para el porvenir esta manera de proceder. Después de su colocación en obra, y desde el momento en que el puente empezó á prestar servicio, se presentaron hendiduras en algunos tubos (declaraciones hechas en la sesión de la Comisión de 19 de Abril), y hubo que consolidarlos por medio de cinchos: uno de estos tubos correspondía justa-

mente á la parte del viaducto que ha venido abajo.

Las piezas de arriostamiento adolecían de no tener un ajuste perfecto; muchas de ellas crujían en el momento del paso de los trenes, prueba evidente de un juego que no debía nunca existir; los pasadores que las unen á las orejas de las columnas penetraban en agujeros demasiado grandes; la rigidez del sistema dependía, por lo tanto, únicamente de que estuviesen más ó menos apretadas las tuercas, y como éstas dejan siempre algo de juego, que va luego en aumento, la rigidez con que se contaba había dejado de existir al cabo de poco tiempo. Del mismo modo, los enlaces mantenidos tensos por medio de chabetas y contra-claves habían adquirido tal juego después de algunos meses de prestar servicio la construcción, que hubo necesidad de cambiar un cierto número de las primeras y de rellenar en otros puntos, por medio de piezas de hierro, el vacío que la chabeta y contra-clave no podían ocupar por sí solas. En vista de estos hechos, se comprende fácilmente que la rigidez del sistema metálico había cesado de existir mucho tiempo antes del día en que ocurrió el accidente; y no es de extrañar que bajo la acción del huracán, combinada con los sacudimientos ocasionados por el paso del tren, haya podido producirse la ruina de la construcción. Como las pilas tenían próximamente 23 metros de altura, el esfuerzo que tendía á volcarlas ha podido producir la rotura completa de uno de los cilindros hendidos anteriormente; y recordando la solidaridad que existía entre los tramos, se comprende que el desastre se haya extendido á las pilas inmediatas.

La información ha revelado además la insuficiencia de los medios de unión de la parte metálica con las fábricas. En lugar de armaduras de grandes dimensiones que proporcionasen una unión sólida, se emplearon pasadores que no atravesaban más que las dos primeras hiladas del zócalo, y cuyo vástago, que presenta una ligera conicidad hacia su parte inferior, había sido simplemente empotrado en cajas abiertas preventivamente. El enlace obtenido de este modo era, pues, de los más precarios, y se comprende fácilmente que se hayan empleado medios tan poco eficaces en uno de los puntos más importantes de la construcción.

Dirémos, para terminar, que el reborde de las columnas era tan pequeño, que la base inferior de las pilas metálicas tenía una extensión sumamente pequeña para asegurar al conjunto la estabilidad que se debe siempre exigir en obras de esta naturaleza y de tanta importancia.