

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

LA CATASTROFE DEL PUENTE DE QUEBEC

Aun cuando la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS ya ha publicado dos artículos referentes al hundimiento del puente de Quebec, como en 13 de Febrero, fecha del último, aún no era conocido el informe oficial que sobre las causas que lo determinaron ha emitido la Comisión nombrada por el Gobierno del Canadá, no se tenían datos tan completos como al presente.

Según se recordará, el 29 de Agosto último por la tarde, quince minutos antes de dejar el trabajo, se desplomó todo el tramo de tierra y la parte construida del central.

En 31 del mismo mes empezó sus investigaciones la Comisión nombrada por el Gobierno del Canadá, lo cual demuestra que no son lentos los trámites oficiales en aquel país.

Componen la Comisión Mr. Henri Holgate, Ingeniero civil de Montreal; Mr. John G. Kerry, Ingeniero civil de Campbellford, y Mr. John Galbraith, Profesor de la Universidad de Toronto. Parece que la Comisión ofrece garantías de acierto, pues está constituida por dos Ingenieros prácticos en construcción de puentes y un Profesor, que puede asesorarlos en cuanto se relacione con la cuestión de cálculo. La prensa americana é inglesa le reconoce autoridad y competencia, estando también conformes en que las investigaciones se han hecho con el mayor escrúpulo y verdadero lujo de detalles. El informe ha sido presentado al Gobierno en 9 de Marzo último.

Contiene un resumen de sólo 11 páginas, aunque los 16 apéndices que le acompañan forman un volumen de muchos cientos. Hasta ahora no se ha reimpreso para el público, aun cuando se han hecho extractos muy completos, entre los que merece citarse en primer término el dado por el *Engineering Record*, que ocupa 20 páginas á tres columnas, de letra menuda. Las conclusiones del informe son las siguientes:

(a) El hundimiento del puente de Quebec reconoce por causa la rotura de las piezas inferiores del tramo de tierra, cerca de la pila. Esta rotura debe atribuirse á la defectuosa constitución de estas piezas.

(b) El esfuerzo que ha determinado la rotura no ha sido debido á condiciones anormales de tiempo ni accidentes fortuitos, pues todas las condiciones eran las que podían esperarse en el curso regular del montaje.

(c) El proyecto de las piezas que ocasionaron el hundimiento fué hecho por Mr. P. L. Szlapka, Ingeniero de la Compañía Phoenix-Bridge.

(d) Este proyecto fué examinado y aprobado por Mr. Theodoro Cooper, Ingeniero consultor de la Quebec Bridge and Railway Company.

(e) El hundimiento debe atribuirse á error de juicio de los Ingenieros antes nombrados.

(f) Este error de juicio no proviene de falta de conocimientos técnicos, ni de negligencia ó deseo de economía de material. Pero la sagacidad profesional de estos Ingenieros, puesta á prueba en uno de los problemas más difíciles de la época presente, ha resultado incapaz de resolverlo satisfactoriamente.

(g) Los cálculos para determinar las dimensiones de las piezas no están bien hechos; el trabajo que se aceptó como máximo era superior á todo lo admitido hasta ahora en la práctica. Estos cálculos fueron aceptados sin protesta ni observaciones por todos los interesados.

(h) Se ha cometido un grave error evaluando el peso muerto en cifra muy inferior á la real, y este error no ha sido corregido. Esto sólo era causa suficiente para haber condenado el proyecto de puente, aun cuando los arcos inferiores se hubiesen hecho con resistencia suficiente; porque si el puente se hubiese terminado con arreglo al proyecto, los esfuerzos á que hubiera estado sometido el acero hubieran sido muy superiores á los previstos, según los cuales se habían calculado sus diversas piezas.

Estos errores han sido cometidos por Mr. Szlapka, pero fueron aceptados por Mr. Cooper, y contribuyeron á precipitar el desastre.

(i) No creemos que el hundimiento del puente hubiera podido evitarse por medio de refuerzos que se hubieran puesto después del 27 de Agosto de 1907. Todos los esfuerzos que se hubieran hecho para consolidar lo construido eran tan peligrosos y expuestos á inevitables desgracias, que no podían intentarse razonablemente.

(j) Las desgracias que ocurrieron el 29 de Agosto de 1907 pudieron haberse evitado con un mejor criterio por parte de los encargados del montaje, tanto en representación de la Quebec Bridge and Railway Company, como de la Phoenix Bridge Company.

(k) La Quebec Bridge and Railway Company debía haber nombrado para inspeccionar el montaje un Ingeniero especialista en construcción de puentes con facultades de Ingeniero Jefe. Por no haber hecho esto, resultó una inspección insuficiente en todas las partes de la obra.

(l) El trabajo de la Phoenix Bridge Company, tanto respecto á la mano de obra como á los materiales empleados, ha sido bueno. Los defectos provienen de errores fundamentales del proyecto.

(m) Ninguno de los que han contribuido á hacer el proyecto se dieron cuenta exacta de la magnitud de la obra, ni de la insuficiencia de los datos que sirvieron de base para llevarla á cabo. Los estudios y experimentos que hubieran sido precisos para obtener este conocimiento no se realizaron.

(n) Los conocimientos profesionales del presente, relativos á las columnas de acero comprimidas, no son suficientes para permitir á los Ingenieros proyectar económicamente estructuras tales como el puente de Quebec. Un puente de la luz adoptada puede, sin duda alguna, construirse con seguridad; pero dado el estado actual de nuestros conocimientos debe emplearse mayor cantidad de acero que sería preciso si estos conocimientos fueran más exactos (1).

(o) El crédito profesional de Mr. Cooper era tal, que su elección como Ingeniero Jefe estaba justificada, y la completa confianza que en su criterio tenían el Gobierno del Canadá, la Quebec Bridge and Railway Company y la Phoenix Bridge Company era merecida.

Estas conclusiones coinciden, en lo esencial, con las que se deducen del artículo de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 13 de Febrero último, y, por lo tanto, no hay para qué insistir sobre las causas que motivaron la catástrofe. No obstante, conviene hacer algunas observaciones, para dar más clara idea del alcance del informe de la Comisión oficial. El error de peso muerto á que se refiere la conclusión (h) era importante, según se deduce de las siguientes cifras que se refieren á la mitad del puente:

Pesos calculados.

	Kilogramos.
Medio tramo central.....	2.178.900
Tramo ménsula.....	5.942.240
Tramo de tierra.....	5.992.440

Pesos efectivos de la obra construída.

	Kilogramos.
Medio tramo central.....	2.562.300
Tramo ménsula.....	7.111.800
Tramo de tierra.....	7.793.235

El aumento es, por lo tanto, de más de 23 por 100, y como ya se había supuesto un trabajo por milímetro cuadrado bastante mayor que el corriente, resultaba el efectivo muy peligroso, y no se comprende cómo en vista de esas diferencias no se modificaron las secciones de los hierros en todo el proyecto. Por eso parece muy justificado el criterio de la Comisión oficial al afirmar que el puente estaba condenado á una ruina segura, aun cuando se hubiese terminado el montaje.

Lo que no se halla justificada es la conclusión (n), pues parece deducirse de ella, que la falta de exactitud de los datos que actualmente hay respecto á la resistencia del acero ha sido la causa de la mala distribución del material que se observa en las piezas comprimidas. Esto no puede en modo alguno admitirse, pues cuantos de un modo científico se han ocupado de la forma que debe darse á las piezas comprimidas, demuestran que la hueca, circular, es la más propia para resistir grandes presiones; y á mayor abundamiento, el ejemplo del puente del Forth constituye una prueba evidente del acuerdo que existe entre la teoría y la práctica.

Por otra parte, la misma Comisión oficial ha hecho una prueba de resistencia con una pieza del tamaño de un tercio de la cuerda núm. 9, que se supone fué la que inició el hundimiento.

(1) Esta es la traducción exacta de la conclusión (n); no obstante, Mr. G. Dupont, Ingeniero de Montreal, que publica en el *Genie Civil* del 4 de Abril un estudio sobre el hundimiento del puente de Quebec, la pone en francés del modo siguiente: «Nos connaissances actuelles, sur la resistance de colonnes d'acier comprimées de but, ne sont pas suffisamment établies par l'expérience pour permettre de construire un pont semblable à celui qui avait été projeté, avec aussi peu de matière, et pour une dépense aussi faible. Un pont du même grandeur, et du même système, peut être construit certainement avec toute garantie de solidité; mais avec les données actuelles de la science, il faudrait employer un volume de metal beaucoup plus considérable, que celui rigoureusement et mathématiquement nécessaire.»

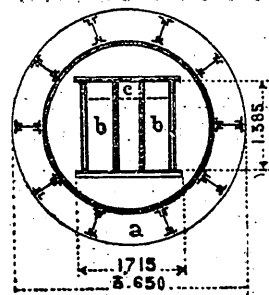
to, y el resultado ha sido que se rompió bajo una compresión de 12 k,5 por milímetro cuadrado, que viene á ser casi idéntica á la que debía soportar la del puente cuando cedió. De modo que, tanto las comprobaciones *à posteriori*, como los cálculos que debieron haberse hecho, demuestran que si éstos hubieran sido exactos, no habría que lamentar la catástrofe de Quebec.

Resulta verdaderamente extraordinario que ni la Comisión, ni, en general, la prensa americana, se hagan cargo de que el puente del Forth existe, ni de que, según todos los buenos tratados de construcciones metálicas que se han publicado en Europa, la forma adoptada y la distribución del material en las piezas comprimidas del puente de Quebec eran las menos propias para piezas largas sometidas á compresión.

La figura 1.^a indica las secciones transversales de las piezas comprimidas en el puente del Forth y en el de Quebec.

FIG. 1.

Secciones transversales de los arcos inferiores en el puente de Forth y en el de Quebec.



Aun sin recurrir al cálculo, basta un poco de intuición profesional para comprender que la forma circular con los refuerzos interiores de doble T que van á lo largo de las generatrices, y las anillos *a*, que, de trecho en trecho, unen estos refuerzos, dan al tubo una resistencia extraordinaria que ha de hacer muy difíciles las flexiones. En cambio, los grupos *b* de planchas de acero que constituyen la parte resistente de las piezas comprimidas del puente de Quebec no tienen para evitar la flexión más que un arriostrado de cruces de San Andrés en la parte superior é inferior y los pequeños tabiques *c*, que en definitiva no proporcionan una gran rigidez. Añádase á esto el tener concentrada la masa en una sección pequeña relativamente á la longitud de las piezas, y se comprenderá que el error del proyecto era de tal magnitud, que seguramente no podía realizarse con éxito obra concebida bajo tan malos auspicios.

Ya se indicó en el anterior artículo que si las pruebas de resistencia que se hicieron para determinar la de las piezas sometidas á tensión se hubiesen hecho también para las sometidas á compresión, se habría modificado la forma de éstas y el modo de distribuir el material.

De todo lo dicho se deduce que, aun después de esta dura lección, los americanos no parece que están dispuestos á reconocer que el desastre ha sido debido á no haberse estudiado debidamente el proyecto, pues si bien esto resulta claramente probado de las conclusiones del informe, en la (n) intentan achacar el fracaso al estado de relativa imperfección de los conocimientos actuales de resistencia del acero.

Parece, al contrario, que si se hace un nuevo estudio del proyecto podrá construirse con la misma cantidad de material, ó en todo caso con muy poco más peso, porque el que resulta por metro lineal en Quebec es de 40.955 kilogramos y en el Forth de 31.822 kilogramos, y si bien es cierto que el tramo central del puente de Quebec tiene 27,44 metros más de luz que los centrales del Forth, debe tenerse en cuenta que las pilas de este último constituyen un verdadero empotramiento, y por tanto tie-

nen doble peso, por lo menos, que las correspondientes de Quebec, de modo que empleado ese exceso de acero en las vigas principales, ha de resultar que la estructura de Quebec no puede defenderse ni aun bajo el punto de la ligereza, que era una de las ventajas preconizadas del sistema americano. Este parece que tampoco debe recomendarse en lo que á la organización de los talleres se refiere, pues si bien se construyen las diversas piezas con perfección, el haber dividido excesivamente el trabajo hace que cada departamento funcione con independencia, lo cual quita unidad á la dirección, y, en definitiva, á la obra construída. Lo ocurrido en Quebec lo demuestra de un modo evidente. Los Ingenieros de los talleres no se ocupaban más que de la construcción de las piezas, sin parar mientes en si sus elementos estaban bien ó mal combinados, porque eso competía al departamento de proyectos. Este, á su vez, estaba dirigido por Mr. Szlapka, que no tenía práctica alguna de taller, pues había pasado desde la Escuela técnica al servicio de proyectos de la Compañía Phoenix, y en seis años llegó á Jefe. Esto, combinado con encomendar la dirección de la obra á Mr. Cooper, que residía en New-York, ha sido causa de que faltase unidad, tanto en la redacción del proyecto como en su ejecución, y cuando se presentaron los primeros indicios de flexión en el arco inferior, ni los Ingenieros encargados del montaje, ni el Inspector que representaba á la Compañía del ferrocarril, se atrevieron á suspender la obra sin orden de Mr. Cooper, que á su vez también estaba representado por otro Ingeniero sin facultades ejecutivas.

Todo ello revela una defectuosa organización que en este caso ha sido causa de numerosas desgracias, sin contar la pérdida de trabajo y material que se evalúa en más de 12 millones de pesetas oro.

Lo interesante ahora es la solución que está en estudio para aprovechar la parte de obra que aún puede utilizarse, y cuando se conozca el proyecto lo daremos á conocer á los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

CAPACIDAD Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS BUQUES DE VAPOR

M. John Ward, Presidente de la Sociedad de Ingenieros y Construcciones de buques de Escocia, en el discurso de inauguración pronunciado ante esta Sociedad ha llamado la atención acerca de los inmensos servicios proporcionados al comercio por los constructores marítimos. El coste de transporte se ha reducido en enormes proporciones por el empleo de barcos que pueden recibir grandes cantidades de mercancías y la solución de este problema no hubiera sido posible sin los progresos realizados en la construcción de las máquinas y de los cascos. El precio de coste de un buque no llega en la actualidad, por unidad de capacidad, á la mitad de lo que era hace solamente quince años. El gasto del servicio se ha reducido próximamente en las mismas proporciones de modo que puede decirse sin exageración que hoy día se matan dos pájaros de un tiro; es decir, que Inglaterra trae en la actualidad de sus colonias dos *boisseaux* de trigo por el mismo precio que pagaba antes para traer uno solo.

El comercio universal y también la civilización han sacado grandes provechos de estos progresos, porque no solamente la rapidez de los viajes ha aumentado mientras que el coste ha disminuído, sino que esta reducción de tiempo en las travesías ha producido un contingente mucho más numeroso de viajeros. El bienestar ha recibido un incremento considerable debido al aumento de las dimensiones de los buques, las instalaciones han venido á ser más cómodas y la estabilidad ha crecido singular-

mente hasta un punto que se puede, sin exageración, comparar un gran paquebot á un hotel flotante. Pero el progreso más notable ha sido, sin disputa, el incremento de la velocidad.

Esta tendencia se ha hecho sobre todo más patente en los servicios transatlánticos. La velocidad ha pasado en ellos, en el espacio de treinta años, de 16 nudos á 23; el progreso ha sido menos sensible en otras partes; así, en las líneas del Sur del África, las cifras correspondientes no son más que 14 y 19; para las de la América del Sur, 14 y 18; para la Australia y el Extremo Oriente, 15,5 y 18,5 y, en fin, para los servicios de la Mancha y del Mediterráneo, 14 y 22,5.

En la época de la guerra de secesión se habían construído en Europa varios buques destinados á forzar el bloqueo de los puertos americanos y en los cuales se sacrificó todo á la velocidad; algunos de ellos alcanzaron 17 nudos, la que se consideró entonces como fenomenal; en la actualidad es una velocidad casi ordinaria.

La flota mercante de Inglaterra posee actualmente 123 buques, que tienen una velocidad mayor de 18 nudos; las marinas extranjeras cuentan con 57 en análogas condiciones; con más de 20 nudos se encuentran 52 barcos ingleses y 30 extranjeros. En la marina militar los progresos son todavía más notables; así la marina inglesa tiene 47 buques con velocidades mayores de 22 nudos, mientras que todas las marinas extranjeras reunidas no presentan más que 90. En cuanto á los torpederos, Inglaterra posee 89 con más de 30 nudos, y sólo 75 todas las demás marinas extranjeras reunidas.

Los constructores de buques no se detienen ante dificultades insuperables con tal de conseguir velocidades superiores aun á 25 nudos. La cuestión radica únicamente en el orden financiero, y por esto es por lo que la línea transatlántica figura á la cabeza, por razón de la velocidad. Esta tiene un campo de los más fecundos en el transporte de viajeros á precios muy remuneradores.

Durante mucho tiempo del año los paquebots tienen listas de 1.000 á 1.500 pasajeros y no tienen entonces necesidad de preocuparse de tomar mercancías.

En las líneas de Australia y del Extremo Oriente ocurren las cosas de muy distinto modo, y si los buques de estas líneas transportan bastantes viajeros que abandonan á Europa en cambio vuelven á menudo casi vacíos. Es necesario entonces transportar mercancías y la cuestión se reduce á buscar la velocidad más económica para un paquebot, que tiene que atender al triple servicio simultáneo de viajeros, equipajes y mercancías.

Se puede admitir que la velocidad más ventajosa sería la de 10 á 12 nudos si no se tratase más que del transporte de mercancías. Si suponemos un buque que desplace 16.000 toneladas, cuya longitud fuese de 146 metros para una velocidad de 12 nudos, de 183 para una de 22 nudos, encontramos que las potencias motoras en caballos indicados serían las siguientes para las velocidades comprendidas en los límites que acabamos de indicar:

Para 12 nudos próximamente, 4.500 caballos.

Para 15 idem id., 8.700.

Para 18 idem id., 16.000.

Para 20 idem id., 20.000.

Para 22 idem id., 25.000.

Cada 1.000 caballos adicionales corresponden á un peso de 180 á 200 toneladas y á un aumento de superficie de la cámara de las máquinas de 32 á 37,2 metros; todo esto lleva consigo un incremento en el peso y en las dimensiones del casco, y este incremento necesita á su vez un recrecimiento de potencia en el aparato motor para mantener la velocidad.

El buque de 12 nudos podría llevar próximamente 10.000 toneladas, y no consumiría más que 70 toneladas de carbón cada veinticuatro horas.

El buque de 22 nudos consumiría 400 toneladas y no podría llevar más que 3.000 toneladas.

Así se explica cómo el paquebot transatlántico ha debido, para