

de donde se deduce

$$AM = \frac{OA \times BO}{BD} \text{ y } AM' = \frac{OA \times BO}{BD'}$$

y substituyendo por OA, OB, BD y BD' los valores que hemos dicho que representan, se obtienen:

$$AM = \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t - \alpha} \text{ y } AM' = \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t + \alpha}$$

que son exactamente las fórmulas (f): luego $AM = NI$ y $AM' = NI'$.

Comparando los lados homólogos de los triángulos OBE y OBE' respectivamente con los de sus semejantes ONP y ON'P' se tienen las dos proporciones $OB : PN :: BE : OP$ y $OB : P'N' :: BE' : OP'$ de las cuales se deducen

$$OP = \frac{PN \times BE}{OB} \text{ y } OP' = \frac{P'N' \times BE}{OB}$$

substituyendo PN y P'N' por sus iguales MA y M'A respectivamente: por éstas los valores antes deducidos, y por BE, BE' y OB los de α , α y 1 que anteriormente les hemos asignado, se obtienen las fórmulas

$$OP = \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t - \alpha} \times \alpha \text{ y } OP' = \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t + \alpha} \times \alpha$$

cuyos segundos miembros son en efecto los términos fraccionarios de los binomios encerrados en los paréntesis de las fórmulas (g).

La construcción gráfica indicada, reducida exclusivamente á la determinación de cuartas proporcionales, nos da directamente los anchos de expropiación en las ordenadas MA y M'A. No sucede lo mismo en lo que se refiere á las áreas, por cuanto con la construcción correspondiente sólo se obtiene una parte de la fórmula: á la longitud OP hay que añadir en el primer caso la cota c y la suma multiplicarla por la diferencia d de los anchos de explanación; y del valor de la cota c es preciso en el segundo restar la magnitud OP' y multiplicar también la diferencia por el citado valor de d .

Ahora bien, estas operaciones pueden efectuarse gráficamente de una manera muy sencilla. Supongamos que por un punto cualquiera G del eje de las y trazamos una paralela al de las x , y sobre ella en sentido de la derecha, á partir de aquel eje, marcamos una escala que sirva para medir longitudes de cotas y que tenga por origen el citado punto G. Si tomamos la longitud GQ igual á la cota, QI nos

representará la cantidad contenida dentro del paréntesis de la primera de las fórmulas (f), y QI' la encerrada en el paréntesis de la segunda. En efecto:

$$QI = QG + GI = QG + OP = c + \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t - \alpha}$$

$$\text{y } QI' = QG - GI' = QG - OP' = c - \frac{(l + \frac{1}{2}d)t + c}{t + \alpha}$$

Todo está, por lo tanto, reducido á efectuar la multiplicación de estas líneas QI y QI' por el valor de d , lo cual puede conseguirse fácilmente midiendo aquéllas con una regla dividida de antemano de tal modo, que sus divisiones estén con las de la escala de cotas en la relación que exista entre la unidad y el valor de d ; es decir, que si el valor de ésta fuera de 0^m,50, ó lo que es lo mismo, medio metro, cada división de la regla que ha de servir para apreciar las longitudes representativas de las áreas será igual á dos veces la división del mismo orden de la escala de cotas.

V. R. É INTILINI.

(Se continuará.)

LOS PUENTES DE FUNDICION

COMPARADOS CON LOS DE HIERRO FORJADO.

La idea de emplear el metal en la construcción de los puentes data de muy antiguo, pues en algunos libros de arquitectos italianos del siglo XVI se encuentra ya indicada; pero hasta 1779, en cuya fecha se terminó en Inglaterra la construcción del puente de fundición de Coalbrookdale de un solo arco de 30,62 metros de luz, puede decirse que no se llevó aquel pensamiento al terreno de la práctica.

En un principio se empleó la fundición bajo la forma de barras rectas ó curvas, tendiendo á asemejarse á las disposiciones en uso para los puentes de madera. Este sistema ha sido por completo abandonado, porque aparte de la dificultad de obtener en buenas condiciones piezas de hierro fundido de una longitud algo notable, y aún cuando se tomase la precaución de dar á la sección trasversal de aquéllas una forma no simétrica, á fin de tener en cuenta la diferencia de resistencias de este material á la compresión y á la tracción, los vicios inherentes á su fabricación, su fácil rotura bajo la influencia de los choques, y su escasa resistencia á los esfuerzos de tracción, son circunstancias que siempre deben ins-

pirar serios temores y que han motivado el que haya sido condenado este sistema.

Por analogía con los puentes de fábrica se empleó después la fundición bajo la forma de dovelas huecas; mas las primeras disposiciones que se idearon eran sumamente complicadas, de ejecución difícil, y con ellas no se conseguía una gran seguridad, por cuyo motivo también han sido abandonadas.

Entre los puentes de esta clase que podríamos citar se encuentra el de Austerlitz, construido en París de 1800 á 1806, y de él dice M. Mary en su libro *Cours de ponts à l'Ecole centrale*: «Desgraciadamente este sistema no ha dado buenos resultados, y en 1855, cuando llamamos la atención de la Administración acerca del estado del puente de Austerlitz, se contaban en él de cuatro á cinco mil roturas, las cuales, mal que bien, se habían reemplazado con armaduras de hierro forjado; y al desmontar los arcos de fundición para sustituirlos con bóvedas de fábrica se ha observado que el número de aquellas ascendía á seis mil.»

El mal éxito del ensayo hecho en Francia en el puente de Austerlitz había condenado el empleo de la fundición, cuando Mr. Polonceau propuso dar á los arcos una sección ovoide, lo que fué aceptado para el puente de Carrousel construido en París en 1833.

En este puente, cuya disposición es conocida de todos los Ingenieros, además de la modificación introducida en los arcos, éstos, los tímpanos y los largueros se han dejado casi independientes los unos de los otros, con objeto de evitar en lo posible las tensiones oblicuas en el metal. Cada pieza goza, por lo tanto, de su elasticidad, y la obra vibra bajo el peso de los coches más ligeros.

El Ingeniero Poirée ha hecho experiencias sobre la flexibilidad de los arcos del puente de Carrousel, y ha observado que bajo la acción de una carga móvil de 18.000 kilogramos el descenso ha sido de 7 milímetros; las mayores oscilaciones no han excedido de 2 milímetros $\frac{3}{4}$ de amplitud. De estos resultados deduce M. Poirée que los movimientos tan sensibles de este puente son notablemente inferiores al valor que á primera vista pudiera creerse alcanzan, á juzgar por el efecto que producen.

Este puente ha resistido perfectamente hasta la fecha á un tránsito de los más activos; pero esto no obstante, todos los constructores consideran preferible establecer una gran solidaridad entre las diversas piezas que entran á componer un puente, aunando así su acción para resistir á los efectos de la car-

ga total, y contar con la elasticidad de la fundición únicamente para prestarse á las flexiones que son consecuencia de la desigualdad de presiones. Conviene también notar que la sección ovoide del arco le hace más deformable que si aquella afectase la forma de doble T, en la cual el metal se encuentra repartido en mayor cantidad hacia las cabezas superior é inferior, que reciben las mayores presiones.

En estos últimos años se han empleado diversas disposiciones más adecuadas á la naturaleza y condiciones del hierro fundido, y en cuya descripción no entramos, porque no respondiendo al objeto de estos apuntes, les daría una extensión de todo punto innecesaria.

El empleo de este material en la construcción de puentes cuenta hoy bastantes partidarios, llegando á sostener algunos Ingenieros que son los más económicos que ha ideado el arte de construir. Consideramos equivocada esta opinión, y á nuestro juicio son, por el contrario, los que por regla general resultan á un precio más elevado.

No insistiremos, por ser conocidos de todos los Ingenieros, en los graves inconvenientes del empleo del hierro fundido como material principal en la ejecución de los grandes puentes; es cierto que á pesar de ellos se han construido y siguen construyéndose puentes de fundición, porque cuando una obra metálica es necesaria en las grandes poblaciones, se impone siempre el hierro fundido como el único material que en estos casos permite decorar la construcción y ponerla en armonía con los edificios y monumentos que la rodean; entónces los Ingenieros admiten esta solución obligados por la necesidad, pero se precaven contra los peligros adoptando coeficientes de resistencia sumamente bajos, lo que conduce necesariamente á elevar el coste de la obra.

Es también verdad que en estos últimos años se han construido en Francia y en Argelia varios puentes de esta clase en sitios despoblados para dar paso á carreteras y ferro-carriles; pero se han hecho, no por razones de economía, sino por circunstancias de carácter puramente local, no siempre justificadas, entre las que ha sido parte el deseo de ensayar el nuevo sistema ideado por el constructor George Martin, que es indudablemente el más racional y el más económico de cuantos se han inventado hasta el presente, y sobre cuyas ventajas daremos después una ligera idea.

Y tan admitida se halla esta opinión, que todos los Ingenieros, aun aquellos más partidarios del hierro fundido, reconocen que los puentes de ésta

materia son, por regla general, más caros que los de hierro forjado.

El elevado precio de los puentes de fundicion diamana, segun queda dicho, de la necesidad de adoptar coeficientes límites de resistencia sumamente bajos: es decir, de una gran prudencia. Se sabe, en efecto, que el hierro fundido resiste débilmente á los esfuerzos de traccion y de flexion, en términos que la Administracion francesa, por su circular de 15 de Junio de 1869, rechaza todos los proyectos en que resulten tracciones longitudinales ó trasversales que lleguen á un kilogramo por milímetro cuadrado. En cambio, es conocida tambien la gran resistencia de este material, cuando es homogéneo, á los esfuerzos de compresion estática; pero aparte de que la homogeneidad se consigue muy difícilmente, hay que tener en cuenta que la resistencia disminuye de una manera sensible por el cambio de agregacion molecular que á la larga producen los movimientos vibratorios: entónces un ligero choque rompe muchas veces una pieza que habia resistido presiones estáticas considerables; y por eso, aunque la resistencia á la compresion sea en absoluto mucho mayor en la fundicion que en el hierro forjado ó laminado, no se atreven los Ingenieros á cargar aquel primer material con más de 5 kilogramos por milímetro cuadrado, límite á que pocas veces se ha llegado; en tanto que sujetan sin temor el hierro dulce á esfuerzos de compresion de 6 kilogramos por la misma unidad superficial, y cuando las piezas resisten por traccion van hasta 7 y 8 kilogramos, aún en las más gigantescas construcciones.

Existen ademas consideraciones de otra especie que elevan el coste de los puentes de fundicion.

Racionalmente no puede emplearse este material más que en puentes de arco, y como la flecha de éstos experimenta variaciones muy sensibles con los cambios de temperatura, los pisos se desnivelan con la posicion que ocupa el sol respecto de la obra, y las cargas, en vez de repartirse uniformemente, como lo supone el cálculo, se distribuyen de una manera variable, lo que produce un exceso de presion en ciertos puntos sobre el resultado obtenido por el análisis. Claro es que esta circunstancia contribuye tambien á la adopcion de coeficientes de suma prudencia, y por tanto, tiende á elevar el coste del puente.

Ademas, los arcos de fundicion se deforman mucho bajo la accion de las sobrecargas accidentales; y como estas deformaciones repetidas continuamente acabarían por ocasionar más ó ménos tarde la ruina de la obra, es indispensable atenuarlas, ya que

no es posible evitarlas por completo. Esto se consigue aumentando notablemente la sobrecarga permanente y dando al arco una seccion de gran altura: medidas ambas que concuerdan para encarecer la obra. Y así se comprende que los dos puentes de fundicion construidos últimamente en Paris, los de San Luis y de Solferino, hayan costado más por metro superficial que los de fábrica de Alma y de Austerlitz, tambien de moderna construccion.

La circular de la Administracion de Puentes y Calzadas, citada há poco, admite como límite de la carga de la fundicion 5 kilogramos por milímetro cuadrado; pero exige que se compruebe que en ningun punto habrá esfuerzos de tension que alcancen á un kilogramo.

Si se examinan los principales puentes construidos se ve que pocas veces se ha llegado á aquella cifra. Entre las obras que cuentan ya algunos años de existencia pueden citarse el viaducto de la Mulatière, en Lyon, cuyo coeficiente de resistencia es sólo de 1,50 kilogramos; el de Saint-Denis, en el ferro-carril del Norte de Francia, con un coeficiente de 1,80 kilogramos, y el de Tarascon con 2,47. Entre las obras de fecha más reciente se cuentan los dos puentes ya citados de San Luis y Solferino, con 4,30 y 5 kilogramos respectivamente, y los puentes de Garibaldi y los Toccoes, en Niza, que se calcularon tambien con esta última cifra de 5 kilogramos. Pero debe advertirse que esta presion tenia sólo lugar para la carga de prueba, que era de 600 kilogramos por metro cuadrado para los dos puentes de Paris, y de 400 para los de Italia; en las cargas normales la presion máxima era de 3 kilogramos para los puentes de San Luis y de Solferino.

En los del sistema de George Martin tambien se ha adoptado generalmente el mismo límite de 5 kilogramos, y en este caso se hallan los puentes de Vichy y el de Oued-el-Hamman, en la carretera de Argel á Orán, y el viaducto de la Chiffa en el ferro-carril que une las mismas ciudades. No es extraño que esto suceda, porque la mejor distribucion del metal en los puentes de este sistema permite algun mayor atrevimiento á los constructores; pero es de advertir que en los casos en que se ha llegado al límite de 5 kilogramos no se sujetan á esta carga todas las piezas, sino solamente el arco; en los tímpanos, en las riostras, y en general donde son posibles las flexiones, no se pasa nunca de una carga de 2 kilogramos.

Y ha de tenerse ademas muy presente al hacer los cálculos que la presion aumenta cuando se coloca

sobre el piso la carga de prueba del puente, que según el artículo 37 de las condiciones ha de extenderse sobre la mitad del tramo. Entonces las secciones más cargadas son las de los riñones; en la mitad del tramo que sostiene la carga la máxima presión se halla en el trasdós, y en la otra mitad la presión máxima tiene igual valor y obra en el punto correspondiente del intrados.

Conociendo los Ingenieros partidarios de los puentes de fundición la perniciosa influencia que en la distribución de las presiones ejercen las cargas accidentales, tratan de oponerse á las deformaciones producidas por éstas sobrecargas por el medio más directo y conveniente, es decir, dando á la sección transversal de los cuchillos una gran altura; habiéndose llegado en algunos casos á 1,30 metros, que es de las mayores que presentan las obras construidas hasta el día. Pero esto obliga á dar á las placas un espesor muy pequeño, que resulta insuficiente para una buena fabricación; y es, por lo tanto, preciso aumentar este grueso, no sólo por las exigencias del hierro fundido, sino para disminuir la presión por unidad superficial en las secciones y huir de los esfuerzos de tensión, que si no son temibles para una sobrecarga uniforme, crecen de una manera muy notable para otras distribuciones de la carga de prueba. Dada la naturaleza del material y el sistema de unión de las dovelas generalmente empleado, es esencialísimo también para la resistencia de la obra que los esfuerzos de tensión sean mínimos en todas partes.

En resumen: para mantener los arcos de fundición en los límites de resistencia admitidos, atenuando en lo posible las deformaciones producidas por las cargas accidentales, es necesario aumentar el peso de la sobrecarga permanente, y calcular el espesor de los cuchillos de tal suerte que la presión máxima en la clave no llegue á 5 kilogramos, lo que ocasiona un aumento importante en el metal y otro correspondiente en el presupuesto.

(Se continuará.)

LOS CAMINOS DE HIERRO DE BÉLGICA EN 1878 (1).

En 31 de Diciembre de 1878 la longitud total efectiva de la red de caminos de hierro de Bélgica explotados por el Estado y por las Compañías, tenidos en cuenta solamente los comprendidos en el

(1) Extracto de un artículo publicado en el periódico *Revue générale des chemins de fer*.

territorio de dicha nación, media 3.740 kilómetros, de los cuales 1.444 de doble vía, y los 2.296 restantes de una vía; en cuyas cifras, según queda dicho, no están incluidos 221 kilómetros explotados por Compañías belgas en territorio extranjero.

Las vías férreas explotadas por el Estado han tenido durante el año 1878 un aumento de 323 kilómetros, correspondiendo 91 á líneas nuevas abiertas á la circulación, y 232 pertenecientes á líneas de Flandes redimidas por el Estado belga.

La longitud de la red de caminos de hierro explotados por las Compañías ha disminuido durante 1878 en 225 kilómetros, ó sea en 15,16 por 100.

Durante el mismo período el Estado ha explotado 66,31 por 100 de la totalidad de las vías férreas de Bélgica; en 1877 esta relación era de 59 por 100.

En 31 de Diciembre de 1878 los caminos de hierro explotados por el Estado belga representaban un capital de 941.597.769,29 francos: 774.447.942,91 francos, importe del coste de la vía, edificios y dependencias de las estaciones, y 167.149.826,38 francos, valor del material de tracción y transporte. En dicha fecha existían en estos ferro-carriles 478 estaciones, comprendiendo 78 principales y 400 secundarias; durante 1878 se han abierto al servicio tres de las primeras y 18 de las segundas.

Los 821 kilómetros construidos por el Estado en este ejercicio han resultado por término medio á 468.982,53 francos por kilómetro, en cuya cantidad está comprendido el costo del material móvil.

En el año 1877, en los caminos de hierro explotados por el Estado la longitud en doble vía era el 55,86 por 100 de la total de la red, y la de una vía el 44,14 por 100; en 1878 éstas relaciones han sido respectivamente 55,16 por 100 y 44,84 por 100.

El siguiente cuadro indica el material de tracción y de transporte existente en los caminos de hierro de Bélgica en el ejercicio en cuestión:

DESIGNACION DE LOS VEHÍCULOS.	CAMINOS DE HIERRO EXPLOTADOS		
	Por el Estado	Redimidos por el Estado. (Líneas de Flandes).	Por las Compañías.
Locomotoras.....	1.080	28	466
Téñders.....	780	17	315
Coches de diversas clases.	2.379	83	823
Vagones de mercancías (gran velocidad).....	828	36	456
Vagones de mercancías (pequeña velocidad)...	30.398	346	13.103

Durante el mismo año han circulado en los ferro-carriles del Estado 39.163.822 viajeros, obtenién-