

finalmente en la Costa de Marfil, por medio de la cual piensan los franceses compartir con Inglaterra el tráfico del *hinterland* de la Costa de Oro.

La de 264 kilómetros que, atravesando el Cayor, va desde Dakar á San Luis, es una de las más antiguas del África intertropical. Empezada en 1882, se abrió á la circulación tres años después; pero, según parece, no ha sido hasta ahora de resultado muy satisfactorio, sea por su trazado costero, sea por lo elevado de las tarifas; por eso el movimiento mercantil sigue la antigua vía fluvial, á pesar del obstáculo que la barra del Senegal le opone cerca de su desembocadura, y el puerto de Dakar no adquiere gran importancia.

Al mismo tiempo que ésta se emprendió la construcción de otra línea férrea, ideada por el general Faidherbe, gobernador de la colonia, con objeto de enlazar los cursos navegables del Senegal y el Níger; obstáculos de toda naturaleza retardaron considerablemente los trabajos y aunque en 1890 pudo llegar á Bafoulabé la primera locomotora, ha habido necesidad después de rehacer las obras, no muy satisfactoriamente ejecutadas de primera intención. En 1892 se empezó á estudiar la continuación de la línea; poco después se emprendió ésta con ardor y hoy parece segura su prolongación hasta el Níger, que comprende 420 kilómetros de vía y varios puentes importantes, entre ellos uno de 400 metros sobre el Bafing y otro de 360 sobre el Bakhoy.

La terminación de esta obra dará una gran extensión al comercio del Senegal y significa un avance no despreciable para la realización del proyecto, émulo del transafricano inglés, de unión entre los dos Sudanes; proyecto que, por otra parte, acaba de experimentar un grave quebranto con la cuestión de Fachoda, donde ambas líneas habrían de cruzarse.

Digno de citarse es el ferrocarril de cremallera que se ha construído hace pocos años entre Funchal (capital de la isla de Madera) y la cima de la montaña que la domina, donde está situado el Santuario de Nuestra Señora de Belmonte, muy visitado por los *turistas*; y no menos dignos, por lo que á nosotros se refiere, los trabajos de esta clase que se han hecho en nuestras islas Canarias. Poco á propósito éstas para el establecimiento de vías férreas por las especiales condiciones de su terreno volcánico y á causa de la poca utilidad que ofrecen la poca afluencia de viajeros y escasez de producciones que transportar, cuentan, sin embargo, la de Tenerife, con un ferrocarril de vía estrecha construído para las obras del puerto, otro que no ha pasado de estudio entre Santa Cruz y el valle de la Orotava y un proyecto de tranvía eléctrico de 9 kilómetros desde el primero de estos puntos á la Laguna; y la de las Palmas, con un tranvía de vapor de 6 kilómetros, entre la capital y el puerto de la Luz, uno eléctrico en estudio y dos ferrocarriles de vía estrecha eléctricos también.

Hemos terminado con *los ferrocarriles de Africa*, y antes de poner punto á estos artículos, hagamos votos porque la primera ocasión que vuelva á tratarse de la materia en estas columnas, sea para agregar á las apuntadas alguna línea española que se interne tierra adentro desde cualquier punto de los 700 kilómetros de costa que nos pertenecen entre el cabo Blanco y el cabo Bojador.

RAMÓN S. DE LOS TERREROS.

## REVISTA EXTRANJERA

### Puentes de fábrica articulados (1).

#### Cap. II.—*Detalles de construcción de las bóvedas de fábrica con triple articulación.*

5. *Límite de los esfuerzos de compresión en la fábrica.*—Eliminando casi completamente todas las causas de incertidumbre en el cálculo y en la construcción de las bóvedas de fábrica, la triple articulación permite alcanzar, en cuanto á los esfuerzos de compresión que se pueden imponer á la obra, el límite compatible con la resistencia de los materiales que la constituyen. No hay ya necesidad de dejar un huelgo tan amplio como el que se admite en las bóvedas ordinarias para precaver todas las eventualidades á que estas obras se hallan expuestas.

Para estas últimas bóvedas, los constructores asignan al máximo de la compresión ejercida por centímetro cuadrado, un valor que varía entre 20 y 40 kilogramos (2).

Pero este dato no puede tener en la práctica una gran importancia, tanto por la imperfección y la incertidumbre de los cálculos como por las diversas causas de error debidas á los procedimientos de construcción, según se ha dicho anteriormente. Por estas razones, se puede afirmar fundadamente que se ignora la cifra del trabajo efectivo del material en los puentes existentes, y que no se puede deducir ningún dato seguro de la larga experiencia adquirida hasta ahora. Es probable, sin embargo, que la cifra de 40 kilogramos citada más arriba haya sido rebasada con mucho, sin que á pesar de ello haya llegado á peligrar la estabilidad de la obra.

A falta de otros datos prácticos hay, pues, que aceptar los resultados suministrados para las diversas clases de fábrica por los experimentos de laboratorio.

Aun admitido esto, se tropieza con grandes dificultades. Es cierto que se dispone de gran abundancia de datos sobre la resistencia de los morteros de cal y de cemento, así como sobre las piedras de diversas clases; pero existen dudas muy graves relativamente á la carga límite que se puede imponer con seguridad á las fábricas construídas con estos materiales. Este límite varía mucho, por otra parte, con las circunstancias que acompañan á la ejecución de las obras, como el esmero y la mayor ó menor habilidad de los operarios.

La oscuridad que reina en esta materia ha sido disipada por el Ingeniero Jefe Sr. Tourtay en un caso particular, el relativo á una fábrica con juntas labradas con bujarda ó martellina y rellenas de mortero ó de una lechada de cemento (3). Resulta de los experimentos efectuados en el laboratorio de ensayos de la Escuela de puentes y calzadas que la lechada de cemento puro permite obtener monolitos cuya resistencia al aplastamiento no difiere sensiblemente de la correspondiente á la piedra empleada. Las juntas de mortero, cuyo espesor conviene indudablemente reducir todo lo posible, aseguran á la fábrica una resistencia

(1) Véase el número anterior.

(2) Mr. Tourtay admite que el máximo esfuerzo de compresión puede exceder de 40 kilogramos

(3) Mr. Tourtay estima que las juntas deben ser de muy poco espesor; pero el citado experimento de Souppes tiende á probar que esta condición no es indispensable. Conveniría, sin embargo, aclarar esta cuestión experimentalmente.

al aplastamiento muy superior á la que corresponde á la naturaleza del mortero empleado; pero esta resistencia es siempre muy inferior á la de la piedra.

El empleo de la lechada de cemento puro resuelve, según esto, el problema, puesto que es fácil determinar por un ensayo previo la resistencia al aplastamiento de la piedra escogida. Permite, además, obtener el máximo de resistencia á que se puede someter esta piedra, y en fin suministra la gran ventaja de prevenir los defectos de construcción, á causa de la facilidad y de la seguridad de buena ejecución que proporciona el empleo de lechadas.

No obstante, para tener en cuenta los defectos de ejecución posibles, las diferencias en la calidad de los materiales, y en una palabra, todas las eventualidades que deben tenerse en cuenta en las obras, convendrá, conforme al uso, no pasar en el cálculo de la décima parte de la resistencia á la rotura. Pero, debe observarse que se podrá contar obrando así con una gran seguridad, probablemente excesiva. Experimentos recientes realizados en el taller de ensayos de la Escuelas de puentes y calzadas á petición del servicio de faros han demostrado, en efecto, que el límite de los esfuerzos elásticos de compresión es próximamente la mitad de los que determinan la rotura por aplastamiento. Admitiendo, como parece probable, que los esfuerzos dinámicos no producen deformaciones permanentes mientras no llegan al límite de elasticidad (1) resulta que ordinariamente se admiten coeficientes inferiores á la mitad de este límite ó á la cuarta parte de la resistencia al aplastamiento, en cuanto á la compresión estática, ó sea cerca de  $\frac{1}{3}$ , como se admite generalmente para el hierro. El coeficiente  $\frac{1}{10}$  admitido para la fábrica supone una prudencia quizás excesiva.

6. *Procedimiento de ejecución de las fábricas.*—Hay un interés capital en reducir al mínimo el espesor y el peso de una bóveda de fábrica, tanto para realizar la mayor resistencia correspondiente á un límite dado del esfuerzo de compresión, como para disminuir, hasta donde es posible, el peso de los estribos y de las cimbras, así como los asientos perjudiciales que éstas provocan durante la construcción. Hay, por consiguiente, gran ventaja en emplear dovelas con las juntas abujardadas y ligarlas por medio de lechadas de cemento puro, puesto que así se obtiene el máximo de resistencia al aplastamiento compatible con la naturaleza de la piedra que se emplea. Resultará, es cierto, un aumento en el precio de la fábrica; pero será compensado por la economía que se realizará en el cubo de la bóveda, de las cimbras y de los estribos, y sobre todo, por las garantías que asegura este sistema en cuanto á la buena ejecución de la obra.

Gracias á él, se podrá adoptar un coeficiente que se aproxime á 30 kilogramos por centímetro cuadrado como trabajo límite por compresión para las calizas de mediana calidad, y será posible llegar á 100 kilogramos cuando se disponga de materiales graníticos ó porfídicos. Con una elección oportuna de la naturaleza de las dovelas, será así posible, en todos los casos, aun para luces excepcionales, obtener, con una sola dovela, el espesor total de la bóveda, lo cual facilitará mucho la ejecución de las

juntas de lechadas (1). El relleno de las juntas no debe emprenderse, como se ha indicado ya, sino después de colocadas todas las dovelas sobre cuñas sólidamente establecidas (2). La parte inferior de la junta debería ser mantenida en el intradós por medio de una varilla sujeta horizontalmente á la cimbra y guarnecida convenientemente para evitar que se derrame la lechada. En cuanto á esta lechada deberá ser lo más espesa posible y de un cemento de fraguado lento cuya cal libre convendrá que sea hidratada y carbonatada, zarandeando el material y exponiéndolo al aire durante bastante tiempo.

La triple articulación no es, sin embargo, incompatible con el empleo del hormigón y de la mampostería de cal y de cemento. Se podrá recurrir á este sistema de construcción, sobre todo para las bóvedas de luces inferiores á 30 metros; pero se perderán en parte las ventajas que se acaban de enumerar. Será necesario entonces, para evitar las grietas antes del descimbramiento, ejecutar la mampostería ó el hormigón por macizos aislados é independientes que constituyen dovelas, las cuales se ligarán más tarde sin acuñar las juntas. Quedará alguna incertidumbre acerca de la cifra que se podrá admitir como resistencia á la compresión del material empleado en la construcción de la bóveda, incertidumbre que no puede ser eliminada más que empleando dovelas abujardadas y juntas de lechadas de cemento puro (3).

(1) Se demuestra por el cálculo que es posible construir una bóveda de 100 metros de luz, rebajada al  $\frac{1}{10}$ , para puente de carretera, con un espesor que no exceda de un metro.

(2) En las bóvedas articuladas, las dovelas, á causa de su pequeño espesor, podrán sostenerse por sí mismas apoyadas sobre la cimbra por su cara de intradós, sin ejercer una compresión exagerada sobre las cuñas interpuestas entre la cimbra y la dovela. No obstante, cuando por ser grandes las luces y pequeños los rebajamientos convenga prevenir los inconvenientes de una compresión demasiado grande sobre las cuñas situadas cerca de los arranques, se podrá conseguir fácilmente este resultado, sosteniendo de trecho en trecho las hiladas horizontales de dovelas é impidiendo así, cerca de los arranques de la bóveda, la

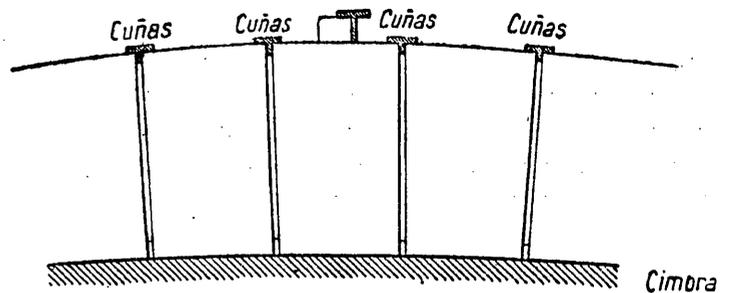


Fig. 1.ª

transmisión de una presión excesiva (figura 1). En estas hiladas las dovelas deberán tener, sobre el trasdós, un resalto por el cual se podrán apoyar lateralmente en un hierro en T, sujeto en sus extremos, fuera de las cabezas de la bóveda, por medio de un tirante y de un apoyo fijados sobre la cimbra.

(3) Los experimentos realizados en la Escuela de puentes y calzadas han demostrado que el empleo de la bujarda ó martellina, por aplastar y pulverizar la piedra en su superficie, es perjudicial para la adherencia del mortero. Aunque esta adherencia no tenga gran importancia en una bóveda, donde los materiales trabajan sólo por compresión, convendrá barrer y lavar con cuidado la superficie de las dovelas después de labradas para quitar todo el material aplastado y no adherente.

(1) Se ha comprobado este hecho, en los experimentos citados, en lo tocante á la tracción con el cemento puro. Se ha comprobado la aplicación á este material de las leyes de Wohler, repitiendo hasta trescientas mil veces los esfuerzos dinámicos.

