

cuyo alrededor se movían numerosos obreros que la alimentaban sin cesar, y en cuyo interior otros numerosísimos obreros empleaban los materiales que por ella entraban aplicándolos á las paredes de los tubos. Los hierros de las armadura entraban arrollados en forma de cilindros de pequeño diámetro, lo cual facilitaba luego su colocación.

Á pesar de la organización dada al trabajo, y de la racional subdivisión que se había hecho de él, no era posible que cada brigada pudiera trabajar de una manera continua, pues eran indispensables paradas periódicas en espera de terminar operaciones auxiliares. Por este principal motivo no se trabajaba por las noches, aunque dentro de los tubos era indiferente que fuese noche ó día. Las noches se aprovechaban para preparar andamios y armaduras, con objeto de que al día siguiente pudiera empezarse el trabajo sin retraso y continuarlo todo el día sin interrupción.

Como dentro de los tubos no había sitio para acopiar materiales, ni convenía hacerlo porque se aumentaban inútilmente las molestias de transportarlos á los puntos de empleo, tampoco se trabajaría de noche en buenas condiciones, pues no hay que pensar en que á tales horas pudiera hacerse regularmente el suministro de materiales, cosa ya bastante dificultosa de día.

Durante la ejecución de la camisa interior circulaban por los tubos muchas personas, y esto permitió multiplicar las observaciones sobre los puntos en que la camisa de palastro podría estar despegada del hormigón exterior. Con el sonido especial que producían los pasos sobre la camisa de palastro, formaba contraste el sonido que se producía al pisar en sitios donde se creía que la chapa estaba despegada del hormigón; en dichos sitios se agujereaba la camisa de palastro para comprobar si realmente estaba despegada; pero en muy pocos sitios se pudo comprobar esto, siendo casi siempre engañosa la indicación que daba el diferente sonido de los pasos y golpes en aquellas partes.

En algunos sitios solamente estaba despegada la chapa; sucedía esto en los tubos que no se habían moldeado con hormigón muy fluido, en los que correspondían á las camas incompletas que había en los cambios del Sosa y Ribabona, los cuales, como ya he dicho, se moldeaban con hormigón apisonado, no muy fluido en su parte inferior, con objeto de que los tubos se apoyasen sobre dicha parte y poder quitar los tacos de madera colocados provisionalmente. Como el apisonado de dichas partes no se podía hacer en buenas condiciones, en parte de ellas es donde el hormigón quedó separado de la camisa de palastro.

Pues en estos sitios en que había bolsadas entre la chapa y el hormigón exterior, se abrían dos agujeros, uno que servía para comprobar este hecho en cada bolsada y verter el cemento para rellenarla, y otro pequeño por el cual había de salir el aire al rellenar de cemento dicho espacio. El cemento se empleaba en forma de lechada bastante espesa. Una vez hecho este relleno de cemento se podía ejecutar la camisa interior.

La ejecución de esta camisa la comencé inoportunamente por incesantes é injustificados apremios de la Dirección del Canal. No debía haberla empezado hasta que las juntas estuviesen terminadas y perfectamente endurecidas, y la hube de empezar cuando apenas se había dado comienzo á las juntas; así es que cuando se aplicó á éstas la substancia elástica caliente y se hizo el hormigonado de ellas, ya estaba bastante adelantada la camisa interior.

Esta camisa se agrietó en las juntas al aplicar en caliente la substancia elástica, y cuando por aplicar ésta menos caliente no se produjo la grieta, se presentó al fraguar el hormigón de la junta, que, al contraerse, apretó los extremos de los tubos. Hubo que rehacer la camisa interior en todas aquellas juntas donde se había agrietado, y para evitar en lo sucesivo la repetición de este hecho, se disminuyó grandemente el avance de la camisa interior, que no se hacía hasta que las juntas estaban terminadas.

He expuesto el método definitivo que se empleaba para ejecutar la camisa interior, haciendo gracia al lector de los nume-

rosos tanteos hechos hasta llegar á él. Solamente citaré el procedimiento que se ensayó antes de haber llegado á la obra el cemento rápido que encargué en cuanto me convencí de la imposibilidad de emplear solamente portland lento. Consistía en aplicar el mortero á la parte superior, sosteniéndole hasta su fraguado, por medio de una cimbra; pero al descimbrar el primer trozo, que se había hecho muy lenta y trabajosamente, con grandes cuidados, se vino abajo el mortero con la cimbra, quedando así probado de una manera concluyente que no era posible ejecutar dicha camisa interior con cemento lento solamente.

MARIANO LUÑA.

Junio, 1906.

NUEVA FORMULA PARA DETERMINAR EL ESPESOR EN LA CLAVE DE LAS BOVEDAS

DE MAMPOSTERIA

M. Davidesco, Director de trabajos en la villa de Bucarest, publica en los «Anales des Ponts et Chaussées» del último trimestre, un examen critico de las fórmulas de uso corriente para la determinación del espesor en la clave de las bóvedas de mampostería, estableciendo como resultado de su estudio una nueva fórmula á su juicio más racional. En efecto; según el autor, las fórmulas propuestas por los diferentes autores y constructores antiguos, no cuadran por su imperfección y su estructura con el estado actual de la ciencia, la cual, gracias á las determinaciones elásticas y especialmente á los trabajos de Castigliano, Kulmann y Winkler ha llegado á un grado de gran perfección en lo que se refiere al problema de la estabilidad de las bóvedas. Á pesar de esto, las fórmulas para el espesor en la clave siguen las mismas; nada se ha llevado á ellas de aquellos perfeccionamientos, ni para modificarlas, ni para establecer otras nuevas.

La cuestión es indudablemente interesante, no sólo por la utilidad práctica que una buena fórmula proporciona en las aplicaciones, sino también por la noción más verdadera que da á los Ingenieros sobre la variación del volumen de la bóveda cuando varía la luz.

Las fórmulas de uso corriente son, como ya saben nuestros lectores, las de Peironet, Lesguiller, Leveillé, Dupuit, Rankina, Croizette-Desnoyers y otros, cuya representación gráfica es ó una línea recta ó una parábola; y en este último caso las parábolas representativas dirigen todas su concavidad hacia el eje de las x positivas.

Dichas fórmulas son en verdad poco rigurosas: en ellas no intervienen para nada ni la densidad de los materiales, ni la sollicitación admitida, ni los datos particulares de cada caso; no son en realidad una expresión racional del espesor de la clave en función de los factores esenciales que intervienen en el equilibrio de la bóveda.

Los resultados obtenidos con ellas son extraordinariamente discordantes sobre todo para las grandes luces y finalmente la curvatura general de su línea representativa, es según M. Davidesco completamente falsa. Según él, la verdadera curva representativa de los espesores de la clave es de forma *hiperbólica*, dirigiendo su concavidad hacia el eje de las y positivas.

Para establecer la nueva fórmula, considera desde luego la hipótesis de que las curvas de intradós y trasdós sean parábolas, é indica después cómo debe transformarse para aplicarla á otras formas de bóvedas, tales como el arco de círculo, arco carpanel, elipse, etc.

Llamando:

l , la luz del puente;

e , el espesor en la clave;

h , la altura de la carga ó terraplén sobre las bóvedas en la clave;

h_0 , la altura de la sobrecarga expresada en terraplén;
 ε , la relación entre la densidad de los terraplenes y la de la mampostería, y
 m, n, p , los peraltes del intradós, del trasdós y de la línea media de la bóveda;

Las ecuaciones de estas curvas, con relación a la línea horizontal de la carga, serán:

$$y_1 = h_0 + h + e \frac{4m}{l} x^2$$

$$y_2 = h_0 + h + \frac{4n}{l} x^2$$

de donde resulta para la ordenada representativa de las piezas verticales que actúan sobre la bóveda la expresión

$$y = y_1 - y_2 + \varepsilon y_2$$

ó bien

$$y = e + \varepsilon (h_0 + \varepsilon h) + \frac{4(m - n + \varepsilon n)}{l} x^2,$$

que es la forma

$$y = a + b x^2.$$

Por otra parte, si se designa por

H , empuje en la clave;

P , peralte de la línea media;

f , flecha de esta línea $= p l$, y

$G x$ el peso del macizo de la bóveda (incluyendo la carga) comprendido entre el punto que está en la vertical de la clave y el punto de abscisa x ; se tendrá para la línea elástica de la bóveda la relación de equilibrio:

$$H \times f = \int_0^{\frac{l}{2}} G \cdot x \times dx. \quad (1)$$

Pero el peso $G x$ tiene por expresión:

$$G x = \gamma \int_0^x y dx = \gamma \left(a x + \frac{b x^3}{3} \right),$$

siendo γ = peso específico de la mampostería; introduciendo esta expresión en (1) se obtiene la relación.

$$H \times f = \frac{\gamma l^2}{4} \left(a \times \frac{b l^2}{48} \right)$$

que permite determinar la magnitud del empuje. En cuanto a su punto de aplicación varía naturalmente con la posición de la carga y los cambios de temperatura, pero para las bóvedas bien concebidas y cuidadosamente ejecutadas se puede admitir que no sale del tercio central de la junta.

Admitiendo entonces como hipótesis desfavorable, que tiene en cuenta todas las variaciones posibles, que el empuje actúa al tercio de la junta, tendremos designando por p la solicitación admitida para las mamposterías.

$$2 H = e p,$$

y por tanto

$$e p p = \frac{\gamma l^2}{2} \left(a + \frac{b l^2}{48} \right).$$

Sacando el valor de e y teniendo en cuenta las anteriores anotaciones y añadiendo al resultado una constante igual a 0,15 como coeficiente de construcción se llega a la expresión definitiva para espesor en la clave:

$$e = \frac{\gamma l [\varepsilon (h_0 + h) + \frac{1}{12} (m - n + \varepsilon n) l]}{2 p p - \gamma l} + 0,15 \quad (2)$$

Para tener una fórmula aplicable a los casos comunes de la práctica, es decir, para arcos de círculo, arcos carpaneles, etc. se atenderá al principio muy conocido referente a las bóvedas cargadas verticalmente, según el cual el empuje de la clave varía—para la misma carga en la clave—proporcionalmente al radio de curvatura correspondiente. Pero el radio de curvatura de la parábola considerada anteriormente, tiene por expresión:

$$R = \frac{1}{2b} = \frac{l}{8p},$$

designando entonces por r el radio de curvatura en la clave del intradós (elipse, arco carpanel ó arco de círculo) es suficiente multiplicar la fracción que figura en el segundo miembro de la fórmula (2) por la relación: $\frac{r}{R} = \frac{8 p v}{l}$ para tener la fórmula que conyene a las bóvedas que afectan estas formas.

La fórmula, por tanto, aplicable a todas las bóvedas, es

$$e = \frac{8 r \gamma [\varepsilon (h_0 + h) + \frac{1}{12} (m - n + \varepsilon n) l]}{2 p p - \gamma l} + 0,15.$$

La curva representativa de esta ecuación admite una asíntota vertical, lo que se podía prever *a priori*, porque siendo la resistencia de los materiales limitada, hay forzosamente un límite en la luz del que no se puede pasar por grande que sea el espesor de la bóveda. Es decir, que la fórmula anterior debe dar forzosamente para espesor de la bóveda un valor *infinito* correspondiente a un valor *finito* de la luz.

Esto está conforme, por otra parte, con lo que se sabe ya sobre la variación del volumen de los puentes metálicos, cuando se aumenta la luz del puente.—O.

LA MAQUINARIA PARA SONDEOS EN LOS ESTADOS UNIDOS

Transcribimos de nuestro colega el *Boletín de la Sociedad de Fomento Fabril*, de Santiago de Chile, el siguiente informe que el Sr. D. Félix Ovalle Vicuña ha pasado al Ministerio de Industria y Obras públicas de aquel país como resultado de la comisión que le fué conferida por el Gobierno de la República chilena:

«Sr. Ministro: Por decreto núm. 2.839, de fecha 28 de Agosto de 1905, fui comisionado por el Ministerio de Industria, que V. S. actualmente preside, para estudiar en Estados Unidos de Norte América las maquinarias más modernas ahí en uso de sondajes y su manejo, para ser aplicadas en Chile con ventaja en el estudio de la minería, de los terrenos salitres y de las corrientes artesianas.

Con el objeto de cumplir la referida comisión, me trasladé a los Estados Unidos, visitando en este país especialmente los Estados de Illinois y Pensilvania, lugares en que más se encuentra en ejercicio el uso de las perforadoras de sondajes.

Visité, además, las principales fábricas donde se construyen las mejores maquinarias de sonda. Éstas son: Pierce Well Engi-