

no haber carga variable, bastará dar una resistencia de cinco toneladas para la compresion. Sin embargo, solamente en las grandes construcciones puede apreciarse en la práctica la distincion entre ambos casos, y estos efectos jamás se perciben en los últimos brazos, que son los que reciben mayor esfuerzo, estando sujetos únicamente á los de una sola naturaleza.

17. Puede observarse por la Fig. 3.^a, que si el peso está colocado en la cabeza superior, hay seis puntos cargados, y solamente cinco poniéndolos en la inferior. La diferencia en tal caso es poco importante en la práctica, y el peso total del cuchillo cargado puede incluirse en la suma de los pesos, sean cinco ó seis, en cuyo caso cada peso de los cinco puntos cargados será algo mayor que el correspondiente á cualquiera de los seis, puesto que la carga total será la misma.

Cuchillos empotrados.

18. Los esfuerzos que se desarrollan en un cuchillo cargado, de esta naturaleza, son semejantes á los de la Fig. 1.^a, solo que están invertidos, sufriendo tension la cabeza superior y compresion la inferior. Es evidente que, suponiendo un peso colocado en *c*, Fig. 9.^a, el cual produce una flexion ó descenso en el extremo *c d*, se ocasiona un esfuerzo compresivo en cierta zona de *d á b*, y otro extensivo de *c á a*. Estando producidos los momentos correspondientes por el peso colocado en el extremo, ó sea la relacion de la longitud á la altura del cuchillo, y cuando esta es uniforme, como en la Fig. 9.^a, empieza en el extremo *c d* y aumenta regularmente hasta la seccion de em-

potramiento *a b*, en que es igual á $P \times \frac{L}{A}$, conservando las mismas notaciones que anteriormente. Tambien hay una presion vertical igual á *P* en el punto *b*, con una reaccion igual en el cuchillo, segun se ha dicho en el párrafo 3 con referencia á una pieza apoyada.

De lo expuesto se deduce, que si en un cuchillo empotrado, y con un peso en su extremo, va aumentando proporcionalmente la altura, como en la Fig. 10, los momentos en ambas cabezas serán uniformes en toda su longitud.

19. En el caso de una pieza empotrada, con pesos distribuidos uniformemente, el momento que se produce en la seccion de empotramiento es, por una ley conocida de la mecánica, igual al causado por el mismo peso colocado en la mitad de su longitud. Por lo tanto, el momento máximo en ambas cabezas, que, como hemos visto mas arriba, se verifica

en los puntos *a* y *b*, Fig. 9.^a, es igual á $P \times \frac{1}{2} \frac{L}{A}$ ó $\frac{1}{2} P \frac{L}{A}$, siendo el momento en *a b* igual al que

produciria la mitad del peso distribuido si se le colocara en la extremidad *cd*. Suponiendo la altura uniforme, la relacion del aumento del momento desde

el extremo á la seccion empotrada no es regular, como en el caso de un cuchillo cargado en su extremidad; pero es proporcional al cuadrado de las distancias desde el mismo punto. En este supuesto, tendremos, que si se divide en cinco partes iguales un cuchillo de esta naturaleza, y el momento en la seccion de empotramiento se hace igual á 1, los correspondientes á los otros puntos serán respectivamente, 0,64; 0,36; 0,16; 0,04 y 0,00 en el extremo (1), y si se multiplica por estos números el momento en la seccion de empotramiento, dará el correspondiente á cada uno de estos puntos.

De aquí se deduce, que si se disminuye la altura en esta proporcion, desde la seccion de empotramiento al extremo, como en la Fig. 11, los momentos en ambas cabezas serán iguales en toda su longitud, para el caso de tener un peso distribuido uniformemente.

La presion vertical en el punto *b* es equivalente al peso total *P*, produciendo una presion igual en la parte *a b*; y esta disminuye de una manera regular desde dicha seccion al extremo *c d* en que desaparece.

(Se continuará.)

BÓVEDAS DE LADRILLO.

En el número de los *Nouvelles annales de la construction*, correspondiente á Noviembre último, se inserta un artículo del ingeniero Mr. Fontaine sobre las esperiencias hechas para estudiar la estabilidad de las bóvedas de ladrillo. En ella se espresa que todas las teorías sobre este punto suponen apoyos fijos, materiales incompresibles y dovelas justapuestas sin intermedio de mortero, y no pueden tener aplicacion conveniente sino en tanto que se cumplen con estas circunstancias.

Con el auxilio de las curvas de presion y aplicando el principio de la menor resistencia, pueden averiguarse exactamente las reacciones producidas en el interior de una bóveda, y los puntos de aplicacion de la resultante de estas reacciones. Pero siendo desconocida la ley de la reparticion de las presiones en las juntas, resulta el problema indeterminado, á no suponer que las presiones elementales en la proximidad de la resultante sean proporcionales á las ordenadas de un trapecio, lo cual no es exacto sino entre ciertos limites; pero como principio general supone que los sólidos no tienen cohesion molecular. Tambien presentan las consideraciones teóricas mucha incertidumbre cuando los estribos son vigas metálicas flexibles, y los materiales están unidos entre sí, constituyendo la bóveda un monolito.

(1) Estos números son proporcionales á la série de los cuadrados aplicables en este caso, esto es, 25, 16, 9, 4, 1 y 0,00 en el extremo.

Con el objeto de dar mayor estabilidad, se multiplican los espesores teóricos por el coeficiente 1'5 á 2, según sean los materiales, lo cual, cuando se trata de grandes superficies embovedadas, es caro. Con el objeto de estudiar las cuestiones relativas al equilibrio de las bóvedas, se emprendieron los experimentos por el autor del artículo.

En la reseña histórica que precede á la de los experimentos dice que los que han tratado la cuestión de estabilidad de las bóvedas, han considerado durante mucho tiempo la parte superior como una cuña que actúa obrando sobre las partes superiores y laterales para hacerlas girar al rededor de la arista exterior de la base de los piés derechos. La teoría de *Lahire*, sin tener en cuenta la cohesión, ni el rozamiento en el plano de junta, conduce á dimensiones exageradas en los arranques y las tablas de *Prony* fundadas en este principio, han servido mucho tiempo para los cálculos de los puentes.

Unger modificó la teoría de *Lahire* introduciendo el rozamiento en los planos de juntas, pero sin ocuparse del equilibrio de rotación de las dovelas. *Coulomb* fue el primero que se ocupó de esto, pero dejó indeterminados los puntos de aplicación de los empujes y distribución de las fuerzas sobre las superficies en que actúan. Los ensayos directos de *Gaulhey*, *Rondelet*, y sobre todo por *Boisard*, han hecho considerar las bóvedas como si estuvieran formadas de cuatro partes, y actúasen unas sobre otras como si fuesen palancas articuladas. *Audoy* desarrolló los métodos de *Coulomb*, investigando por el análisis las juntas de rotura, y comparando los resultados obtenidos teóricamente con las dimensiones de antiguas obras, admitía que para tener en cuenta los defectos de cimentación, sobrecargas accidentales, mala construcción, movimientos y compresibilidad de los materiales, era necesario duplicar los resultados teóricos; pero no hizo más que reemplazar las fórmulas empíricas por otras analíticas complicadas y que exigían penosos tanteos. *Persy*, *Lamé*, *Clapeyron* y *Navier*, han modificado la teoría de *Coulomb* sin haber dado una solución verdaderamente aplicable; sin embargo que *Navier* dió un gran paso investigando la distribución de presiones.

Resulta que antes de los trabajos de *Mery* y *Moseley*, que han transformado la teoría introduciendo las curvas de presión, todos los cálculos se fundaban en considerar que cuando una bóveda está á punto de romperse se abre en el estrado por la clave, en el intrados por los riñones y los apoyos se mueven girando al rededor de las aristas exteriores de sus bases. Dándose á priori los puntos de articulación del sistema, y el espesor de la bóveda, sería fácil el establecer en cada caso las condiciones del equilibrio de las dovelas al rededor de las aristas que se consideran, y para hallarla bastaría aplicar la teoría de los momentos. Este método es indeterminado en la práctica, exigiendo ensayos, y no puede con él obtenerse los esfuerzos que actúan realmente en la bóveda suponiendo todas las fuerzas aplicadas en las aristas, lo cual no tiene lugar: así, á pesar de las

fórmulas empíricas de *Déjardin* y la experiencia de gran número de obras antiguas, los constructores no pueden sacar gran partido de ellas.

Se describe el sistema de curvas de presión de *Mery* indicando que es solo aplicable en pocos casos, pareciendo preferible la hipótesis de *Belanger* sobre la repartición de presiones entre dos sólidos elásticos, considerando por otra parte obras útiles para consultarse las de *Villavieu*, *Barlou*, *Carvallio*, *Gestner* y *Shubert*; pero ninguna de estas teorías ha hecho desaparecer la indeterminación que existe sobre los puntos de aplicación de los empujes, y su distribución en las juntas. Sin embargo, *Sheffer* ha dado la teoría más racional y la más completa, formulando y demostrando en toda su generalidad el principio de la menor resistencia enunciada por *Moseley*, obteniendo para todos los casos las curvas de presión real, pues *Mery* no da sino las de presión posibles. Para pasar á la práctica desecha el autor las hipótesis anteriores por no estar de acuerdo con un gran número de resultados de experiencia, y tiene en cuenta de una manera empírica la compresibilidad de los materiales, fundándolo en las construcciones sólidas ejecutadas. No quedando sino el hallar la ley de la distribución de presiones en la superficie de un cuerpo sólido homogéneo: es de creer que los trabajos de los Ingenieros dedicados á resolver esta cuestión conseguirán su objeto, siendo de desear se multipliquen los experimentos.

Pasa el autor á describir la primera bóveda en que hizo los experimentos para encontrar la resistencia, construida con ladrillos de cemento de 25 milímetros de grueso, colocados de plano, formando dos anillos concéntricos unidos con cemento, cargada por cierto tiempo y despues dejando caer de una altura de dos metros un tonel lleno de arena con peso de 200 kilogramos, cuyo choque hizo ceder á uno de los estribos, y agrietó la bóveda, que acabó de destruirse por un segundo choque. Este ensayo confirmó la apreciación relativa á la ley del trapecio en vista de las observaciones hechas durante el experimento, y que se detallan en el artículo.

Este experimento había demostrado que, aun empleando materiales tiernos, una bóveda en arco de círculo de 10 centímetros de espesor, con $\frac{1}{10}$ de flecha, podía resistir con seguridad una carga de 1,000 kilogramos por metro cuadrado.

La segunda experiencia se hizo sobre tres bóvedas contiguas de 100 metros de superficie total para estudiar la reacción de dos bóvedas extremas muy cargadas sobre la central.

Se hace la descripción de las bóvedas construidas, precauciones que se tuvieron presentes y resultados que se fueron obteniendo con la aplicación de las diversas cargas, deduciendo la consecuencia que el sistema de bóvedas delgadas con anillos sobrepuestos resiste bien á las presiones directas, pero no á los esfuerzos de un gran empuje contra los arranques.

El tercer ensayo se hizo sobre bóvedas de un solo orden de ladrillos huecos, con mortero de cal hidrúlica, siendo muy buen material y bien construido;

habiéndose cargado sucesivamente después de seca, observando los efectos en las bóvedas laterales y la central, las cuales se destruyeron haciendo conocer la necesidad de arriostrar.

En el cuarto experimento las bóvedas eran de hormigón, formando un solo bloque, empleando cemento y construyendo tres bóvedas contiguas apoyadas sobre barras de T, siendo el grueso de las bóvedas de 28 centímetros, y después de ocho días de descimbradas se procedió á cargar y á verificar los choques ya espesados con un coginete de 15 kilogramos desde la altura de un metro, habiéndose roto á los cinco choques.

De todos los experimentos deduce el autor que, cualquiera que sea el sistema, una bóveda aislada de 4 milímetros de luz, $\frac{1}{10}$ de flecha y $\frac{1}{10}$ de grueso en la clave, puede cargarse con 1,000 kilogramos por metro cuadrado. Que en una serie de bóvedas contiguas será necesario atirantar cuando la sobrecarga por metro cuadrado llegue á 500 kilogramos, cuando sean bóvedas formadas con ladrillos puestos de plano 760 kilogramos, si son de un solo anillo de ladrillos huecos, y de 1,000 kilogramos cuando sean de hormigón fabricado con el cemento del experimento.

Se indica también que hubieran tenido más generalidad los resultados si se hubiera podido aumentar el momento de inercia de las piezas de apoyo y no se hubiese fijado una flecha de $\frac{1}{10}$, pues se observó que el esfuerzo de compresión no llegaba á $\frac{1}{25}$ de la rotura, y habiendo reducido la flecha una mitad no se hubieran tenido presiones exageradas, y se hubieran disminuido los efectos de levantamiento de los apoyos, pudiéndose obtener una serie de bóvedas sin atirantar.

Se hacen después consideraciones sobre las curvas de presión en el cálculo de las bóvedas, considerando el principio de la menor resistencia enunciado por *Moseley*, que cuando un grupo de fuerzas está en equilibrio y hay cierto número de reacciones, cada una de ellas es un mínimo en relación á las condiciones en que se encuentra el sistema, y cuyo enunciado no es rigurosamente exacto, pues particularmente para cada caso de una bóveda, basta que las componentes horizontales sean un mínimo. Esto equivale á decir que entre todos los grupos de reacciones que mantienen una bóveda en equilibrio, el sólo posible es aquel que, en virtud de las propiedades físicas del sistema, las componentes horizontales sean simultáneamente un mínimo, de suerte que la curva de las presiones reales es la que dá el valor menor del empuje horizontal. Cuando bajo la acción de las fuerzas exteriores el equilibrio de la bóveda deja de existir, la curva de presiones varía, el valor del empuje horizontal aumenta y su máximo corresponde á la rotura.

Se ocupa después el autor de la determinación de las dos curvas que corresponden al mínimo y al máximo del empuje horizontal, aplicando la ley de los momentos é indicando los cálculos y construcciones gráficas, deducidas las teorías de *Mery y Schffler*, dando á conocer con ejemplos la marcha que debe seguirse en cada caso.

Indica se ocupará en otro artículo de diseñar los dibujos bajo el punto de vista de la resistencia de los materiales, dando á conocer nuevos documentos sobre la repartición de presiones.

PROYECTO DEL PLAN GENERAL

de

FERRO-CARRILES.

En nuestro número de 15 de Julio del año próximo pasado dimos cuenta á nuestros lectores de haberse constituido en 11 de Junio del mismo año la comisión especial nombrada para formar el proyecto del plan general de ferro-carriles. Hicimos también allí constar los principales acuerdos tomados por la comisión en el mismo día, entre los cuales se hallaba el nombramiento de la sub-comisión encargada de redactar las bases del plan, y de proceder después á la determinación de las líneas que, con las ya existentes, eran necesarias para completar nuestra red por ahora, debiendo todas ellas ser ejecutadas en el plazo que aproximadamente se fijase.

Cumpliendo, pues, con nuestros ofrecimientos, continuaremos hoy dando cuenta de la marcha seguida por la comisión en sus trabajos y del estado en que estos se encuentran.

La sub-comisión cumplió con el primero de sus encargos, presentando á la comisión las bases, en 17 de Julio del año próximo pasado, las cuales fueron aprobadas con ligeras modificaciones, quedando redactadas como sigue :

- 1.^a Poner á Madrid en comunicación con todas las capitales de provincias, ya directamente, ya por líneas transversales.
- 2.^a Poner en comunicación todos los centros productores con los puntos de consumo ó de exportación.
- 3.^a Enlazar nuestra red de la manera más conveniente con la de los países vecinos.
- 4.^a Ligar las grandes líneas entre los puntos que se elijan á fin de que el movimiento de unas á otras se verifique con el mejor resultado posible para las localidades de más importancia.
- 5.^a Establecer líneas transversales que puedan influir en el mejor porvenir de las que hoy se hallen en explotación, procurando no se perjudiquen tanto en estas como en todas las demás del proyecto los intereses de las empresas creadas, á no ser que el interés general exija lo contrario.
- 6.^a Tener presente las consideraciones ya económicas ó políticas, ya técnicas ó militares que puedan influir ó en modificar la dirección de una línea, ó aun en desecharla ó adoptarla.
- 7.^a Proponer el orden de preferencia de las diferentes líneas, teniendo en cuenta entre otras razones el mayor desarrollo, tanto de las carreteras ordinarias como de la producción agrícola y fabril, y las subvenciones con que en su caso se calcule puedan las provincias auxiliar su construcción.
- 8.^a Llamar la atención del Gobierno y de las provincias sobre la conveniencia de modificar los planes de carreteras generales, provinciales y caminos ve-