
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

SUMARIO.—Notas sobre bóvedas, por Manuel Trucco.—Crónica extranjera, por Carlos Ehlers Dublé.—Memoria de la Junta Directiva correspondiente al período 1899-1900.—Bibliografía.—Revistas recibidas.

NOTAS SOBRE BÓVEDAS

INTRODUCCION

Nos proponemos en estos lijeros apuntes señalar, tan brevemente como nos sea posible, los inconvenientes que presentan los métodos de cálculo i los procedimientos de construcción comunmente empleados en la actualidad para las bóvedas de albañilería, dificultades que desgraciadamente han impedido que dicho material ocupe el lugar que le corresponde en la construcción de puentes, a pesar de los notables progresos realizados en los últimos tiempos en ese ramo del arte de la construcción.

Indicaremos también las ideas propuestas para salvar tales inconvenientes i dificultades; i muy principalmente, deseamos llamar la atención hácia los excelentes resultados obtenidos por von Leibbrand en Alemania con la construcción de puentes constituidos por bóvedas, jeneralmente de hormigon, con juntas reducidas o articuladas en la clave i en los arranques, dispositivo que no sólo satisface mas ampliamente las exigencias de la teoría, sino que hoy cuenta en su favor el apoyo valioso de la experiencia satisfactoria de muchos años

En nuestro propósito de estimular a nuestros colegas a preocuparse de los puentes de albañilería, citaremos las fuentes que hemos consultado, tanto con el objeto de vigorizar nuestras deducciones

cuanto, mui especialmente, para que los que lo deseen puedan complementar el presente estudio.

I sin duda que la autoridad de los buenos autores es mas decisiva i necesaria cuando se trata, como en nuestro caso, de trabajos basados en parte considerable en esperiencias, todavía no mui numerosas, que vienen a destruir muchas ideas arraigadas i muchas teorías, de empleo cómodo i espedito.

Ciertamente que no datan de hoi las prevenciones de los ingenieros para aceptar las diversas teorías propuestas para el cálculo de bóvedas, ni son de hoi tampoco los esfuerzos desarrollados para perfeccionarlas; pero es satisfactorio dejar constancia que son las esperiencias realizadas en estos últimos años sobre bóvedas de albañilería i de cemento armado, principalmente por la Sociedad Austriaca de Ingenieros i Arquitectos, las que han venido a abrir para dichas construcciones mas amplios horizontes i caminos mas seguros.

Es digno de llamar la atencion, desde luego, que las conclusiones arrojadas por tales esperiencias han inclinado poderosamente en favor de los puentes de albañilería la opinion de ingenieros eminentes—aun de aquellos que pertenecen a paises en los que las obras metálicas son de construccion relativamente económica i han alcanzado un prodijioso desarrollo.

“Las ventajas que ofrecen las bóvedas de albañilería bien proyectadas, dice Mr. David A Molitor, comparadas con las construcciones ménos durables de hierro i acero, han sido satisfactoriamente demostradas por la esperiencia moderna.

“El costo de conservacion de los puentes de hierro i acero, junto con sus mas o ménos limitadas cualidades de duracion, son a veces compensadas por la facilidad, sencillez i exactitud, del proyecto i de la construccion, de que son susceptibles. El tiempo requerido para la construccion puede tambien, en muchos casos, pesar fuertemente en su favor.

Sin embargo, las numerosas bóvedas de albañilería construidas algunos siglos ha—i unas cuantas que son prehistóricas—son pruebas indiscutibles de duracion. Pocas de estas bóvedas han necesita-

do reparaciones i su costo de conservacion ha sido casi nulo, hecho no realizable en los puentes de metal." (1)

El señor Molitor se propone en seguida "demostrar que las bóvedas de albañilería pueden ser construidas sobre cualquiera buena fundacion, como arcilla dura, i que *ellas admiten en el proyecto una exactitud completamente igual a la que se puede obtener en construcciones similares de hierro o acero. En muchos casos las bóvedas de hormigon han sido mas baratas en su primer costo, que los puentes metálicos. Además, las primeras poseen las ventajas adicionales de duracion i bajo costo de conservacion.*"

Si tales ideas se imponen i si tales economías pueden obtenerse en países como Estados Unidos, en donde, como se sabe, las grandes construcciones metálicas han tomado tanto vuelo i en donde, con tal motivo, se ha conseguido para ellas reducir en alto grado su precio i simplificar considerablemente su montaje; si análogas doctrinas se abren paso en Alemania, Austria, Francia, Suiza, etc., naciones que tambien tanto han cultivado ese ramo de la industria, hemos juzgado que a mayor título seria ventajoso, entre nosotros, estudiar detenidamente las aplicaciones de la albañilería, toda vez que la buena piedra de construccion nos es abundante, siéndonos, por el contrario, caro i poco familiar el empleo del hierro elaborado en las grandes obras

Conviene no olvidar tampoco que si se consigue una economía inmediata con el uso de la albañilería, aparte de las ventajas ya apuntadas, de mas larga duracion i fácil conservacion, no es un factor ménos digno de tomarse en consideracion el hecho de que el mayor empleo de la piedra podria ser un aliciente eficaz para el desarrollo de una industria propia. Cuanto al hierro elaborado, es sabido que apénas si deja en el país una fraccion del valor de la mano de obra; i creemos que trascurrirán muchos i mui largos años ántes que en tal sentido alcancemos algo mas.

(1) MOLITOR, M. Am. Soc. C. E.—*Three-hinged masonry arches; long spans especially considered.*—*American Society of Civil Engineers. Proceedings.*—Junio 1898 vol. XXIV.—N.º 6.

No quiere decir todo lo anterior que seamos partidarios de la albañilería a todo trance.

Bien sabemos que hai condiciones especiales, como los que se derivan de la escasez de altura disponible, de la naturaleza de las fundaciones etc., que imponen como solucion el empleo del hierro o del acero.

Pero es necesario convenir tambien que, aun cuando no existan tales circunstancias, las bóvedas de albañilería han inspirado cierto temor que ha logrado proscribirlas en muchos casos sin mayores fundamentos.

Nuestro propósito, como hemos dicho, no es otro que indicar en qué se basan tales desconfianzas i cómo se ha conseguido disiparlas.

I

BÓVEDAS ORDINARIAS DE MAMPOSTERÍA

§ 1.—MÉTODOS USUALES DE CÁLCULO

1.—*Marcha de los cálculos.*—En nuestra memoria justificativa del proyecto de prueba que hemos presentado a la Universidad Nacional para optar al título de Injeniero Civil, decíamos, mas o ménos, lo siguiente con motivo del cálculo de una bóveda: “El procedimiento práctico que se sigue para fijar el espesor de una bóveda de puente consiste en hacer uso de fórmulas empíricas que sólo toman en cuenta la luz del arco i el perfil de la curva de intrados, no interviniendo en dichas ecuaciones otros factores tan importantes como la naturaleza i la resistencia de los materiales, la reparticion e importancia de las sobrecargas, las condiciones de ejecucion, etc. De aquí que las conclusiones que se obtienen no sean decisivas i requieran que sean sometidas a procedimientos de comprobacion que tomando en consideracion por lo ménos los principales elementos que no han tenido cabida en las fórmulas empíricas, estudien la estabilidad de la construccion i den a conocer el grado de confianza que merezca.

“Entre las diversas fórmulas empíricas propuestas para el cálculo de las bóvedas de puentes, las mas recomendables (1) son las de M. Croizette Desnoyers, que contemplan las sobrecargas accidentales, es decir, la destinacion de la obra.”

2.—Por no ser el *Tratado de Puentes* de M. Croizette-Desnoyers un libro de fácil adquisicion, creemos útil reproducir aquí las fórmulas a que venimos refiriéndonos. Son las siguientes:

“ESPEORES EN LA CLAVE

“Para los *arcos de medio punto*, se toma:

$$e = 0.15 + 0.15\sqrt{2R} \text{ para puentes carreteros; i}$$

$$e = 0.20 + 0.17\sqrt{2R} \text{ ,, ,, de ferrocarril.}$$

“Aquí R es el radio de la bóveda.

“Para los *arcos escarzanos*, emplear las mismas fórmulas cuando la luz i el rebajo son débiles, tomando para R el radio del arco de círculo.

“Cuando el rebajo es mas notable, i sobre todo cuando la luz es fuerte, conviene disminuir el coeficiente del radical de la manera siguiente:

Rebajo	Puentes carreteros	Puentes para ferrocarril
$\frac{1}{6}$	$e = 0.15 + 0.14\sqrt{2R}$.	$e = 0.20 + 0.16\sqrt{2R}$.
$\frac{1}{8}$	$e = 0.15 + 0.13\sqrt{2R}$.	$e = 0.20 + 0.15\sqrt{2R}$.
$\frac{1}{10}$	$e = 0.15 + 0.12\sqrt{2R}$.	$e = 0.20 + 0.14\sqrt{2R}$.
$\frac{1}{12}$	$e = 0.15 + 0.11\sqrt{2R}$.	$e = 0.20 + 0.13\sqrt{2R}$.

R tiene siempre el mismo valor.

(1) Degrand et Résal, *Ponts en Maçonnerie*, t. I, pájs. 359 i 360.

“Para las *elipses*, cuyo rebajo es siempre mui limitado, adoptar solamente las fórmulas jenerales:

$$e = 0.15 + 0.15\sqrt{2R} \text{ para los puentes carreteros; i}$$

$$e = 0.20 + 0.17\sqrt{2R} \text{ para los puentes de ferrocarril.}$$

“ R es en este caso, no el radio de curvatura de la elipse en su vértice, sino el radio del arco de círculo del mismo rebajo.

ESPEORES EN LOS RIÑONES DE LA BÓVEDA

“Este espesor se aplica, para el medio punto i para las elipses, a la junta que corresponde a la mitad de la flecha; i debe ser igual al espesor de la clave multiplicado por un coeficiente que es:

2.00 para el medio punto;

1.80 para las elipses rebajadas a $\frac{1}{3}$,

1.60 „ „ „ „ a $\frac{1}{4}$,

1.40 „ „ „ „ a $\frac{1}{5}$.

“Para los *arcos escarzanos*, la junta cuya longitud debe ser fijada con relacion a la de la clave, es la junta normal al intrados en los arranques. Esa longitud es igual al espesor en la clave multiplicado por los coeficientes que siguen:

1.80 para rebajo de $\frac{1}{4}$

1.40 „ „ de $\frac{1}{6}$

1.25 „ „ de $\frac{1}{8}$

1.15 „ „ de $\frac{1}{10}$

1.10 „ „ de $\frac{1}{12}$

i de una manera análoga para los rebajos intermedios.

ESPEORES ENTRE LOS RIÑONES I LA CLAVE

“Estos espesores son determinados por la curva de trasdos, que es ordinariamente un arco de la misma naturaleza que la curva de intrados i que pasa por la estremidad de las juntas determinadas mas arriba.

“Sin embargo, en las bóvedas mui grandes, podrá ser necesario modificar de una manera sensible la curva del trasdos entre la clave i la junta de ruptura.” (Croizette-Desnoyers, *Ponts*, t. II).

3.—Fijados los espesores de la bóveda con auxilio de las fórmulas que dejamos apuntadas, llegaba el momento de verificar la estabilidad de la construccion, esto es, de preocuparse de que, con las dimensiones adoptadas, quedasen aseguradas las siguientes condiciones:

- a) Que el sólido no se deforme por rotacion.
- b) Que tampoco ceda por deslizamiento.
- c) Que la presion máxima por unidad superficial no sea superior en ninguna seccion a la tasa de trabajo del material empleado.

Como se sabe, el método universalmente adoptado en el estudio de la estabilidad de una bóveda, es el del trazado gráfico de la curva de presiones, segun el procedimiento de Méry, que, para salvar la indeterminacion que presenta el problema, supone fijado *a priori* tres puntos de dicha curva

Por lo demas, son conocidos los detalles del procedimiento para que podamos omitir su desarrollo.

Tal es la marcha jeneral de los cálculos que tiene por objeto determinar las dimensiones de una bóveda.

§ 2.—DEFICIENCIAS DE LOS MÉTODOS USUALES DE CÁLCULO

4.—Sin estudiar todavía las bases en que se funda el procedimiento de Méry, cabe notar desde luego que no es racional fijar los espesores de la bóveda, como se hace, sin atender debidamente a los

esfuerzos solicitantes: las fórmulas empíricas empleadas para calcular los espesores, no hacen intervenir en absoluto, como debiera suceder, la correlacion que, en conformidad a las leyes de la resistencia de los materiales, existe entre las dimensiones de cada seccion i las cargas que sobre ellas actúan.

Es por esto que, con el empleo de las fórmulas empíricas, como es sabido, se obtiene para las diversas secciones de una bóveda, presiones unitarias que discrepan entre sí en fuertes proporciones, a pesar de usarse un mismo material en toda la construccion.

De este modo, suponiendo que sea aceptable la presion mas alta obtenida, las que le sean notablemente inferiores acusan un gasto exajerado de material i, como consecuencia, un exceso injustificado de coste.

I por cierto que en estas condiciones el ingeniero no consulta, ni con mucho, el problema que debe resolver, mas bien dicho, el espíritu de que debe estar animado en cada trabajo, que es al mismo tiempo el espíritu de la resistencia de los materiales: procurar que los diversos elementos de una construccion tengan las dimensiones *mínimas* para que el sólido, bajo la accion de las fuerzas solicitantes, no experimente esfuerzos moleculares superiores a los admitidos como tasa de seguridad para el material empleado.

En una palabra, respecto a este punto, el método usual sólo atiende a que las presiones no sean excesivas no preocupándose absolutamente del mayor o menor derroche de dinero.

5.—Por otra parte, las consideraciones anteriores suponen que el método de Méry dé a conocer realmente las tensiones moleculares desarrolladas en el material.

Pero la verdad es que, basado en meras hipótesis, mui discutibles, dicho método no es capaz de darnos el verdadero valor de las presiones ni indicacion *precisa* alguna acerca del grado de estabilidad de una bóveda.

Con razon M. Bourdelles dice que “se puede afirmar que se igno-

ra la tasa de trabajo alcanzada por los puentes existentes i que no se puede deducir ninguna luz segura de la larga esperiencia adquirida hasta el dia." (1)

En efecto: el método de Méry comprueba la estabilidad de una bóveda basándose en una curva *hipotética* de los centros de presiones, curva que podemos admitir como mas o ménos *probable*; pero en verdad nada nos demuestra que tal es la *curva efectiva* que realmente se desarrolla.

Es por esto que, como dice mui bien el Curso de Resistencia de Materiales de nuestra Universidad, dicho procedimiento no da ninguna conclusion positiva: sólo permite rechazar bóvedas que no serian estables en caso alguno por no admitir ninguna curva probable de presiones en condiciones satisfactorias; pero, a la inversa, no nos deja en situacion de mirar como asegurada la estabilidad de una bóveda, aun cuando admita curvas aceptables de presiones. (2)

La importancia de la cuestion ha preocupado a diversos ingenieros, orijinándose, de este modo, una serie de importantes investigaciones tendentes a modificar los procedimientos o a proponer nuevos

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1898, 3^{er} trim., pág. 31.

"A pesar de la perfeccion que los ingenieros franceses han alcanzado para construir puentes de mampostería, dice M. Humbert, queda siempre el inconveniente de que la investigacion del trabajo de los materiales no es posible sino valiéndose de hipótesis bastante arbitrarias." (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1897, 3^{er} trim., pág. 349.)

(2) Despues de esponer el metodo de Méry, Brune dice: "He creido deber esponer completamente el método de las curvas de presion, porque ésta era una ocasion de mostrar cómo se disponen i se reparten los esfuerzos en una bóveda, en seguida porque casi todos los constructores se sirven de él hoi dia; pero debo agregar que *mi opinion personal es que él no tiene valor sino desde el punto de vista histórico* i que conduce en la práctica a los resultados mas estraños."

I todavia el mismo Brune agrega: "Aconsejaría, pues, no perder tiempo en trazar tales curvas, que no indican nada." (*Planat, Mécanique appliquée á la Résistance des Matériaux*, vol. III., p. 243.)

Por su parte M. Ed. Collignon se espresa: "Se sabe que el problema de la estabilidad de las bóvedas se resuelve hoi dia por el método gráfico de la curva de presiones: se sabe tambien que esta curva no queda completamente definida por los datos in; mediatos del proyecto que se estudia: su trazado depende de ciertos datos accesorios que se elijen *a priori* i que imprimen a la solucion un carácter *arbitrario*." (Note sur quelques travaux récents relatifs á la théorie des voûtes, par M. Ed. Collignon, *Annales de Ponts et Chaussées* 1876—I.)

métodos de cálculo. Iríamos mui léjos si pretendiéramos analizar todos estos interesantes trabajos. Bástenos mencionar entre los mas característicos los de MM. Villarceaux, Durand-Claye, Résal, Tourtay, etc., los cuales, a pesar de su indiscutible mérito, no logran solucionar el problema en forma completamente satisfactoria: aparte de no ajustarse rigurosamente a la realidad de los hechos, muchos de ellos dan lugar a cálculos estremadamente laboriosos i suponen, casi todos, previamente fijadas las dimensiones de la obra. (1)

6.—Mas aun. Admitiendo que pueda abrigarse confianza respecto a que, en la bóveda estudiada, se desarrollase efectivamente la curva de presión dada por el procedimiento de Méry, que es el mas espedito, o la obtenida segun las ideas de MM. Résal i Tourtay, que son mas prolijas, pero que dan lugar a cálculos sumamente largos i laboriosos—admitiendo como *efectivas* tales curvas, decimos, no llegaremos tampoco a resultados rigurosos: los obtendríamos si en la realidad de los hechos se mantuvieran estrictamente invariables las condiciones en que las curvas fueran deducidas, lo que no sucede, puesto que los cálculos no hacen intervenir las propiedades de los morteros, la diferencia de uniformidad de los materiales, las variaciones de la luz o de la longitud de la bóveda por efecto de la temperatura o del descimbramiento.

I se comprende que la mayor o menor contracción de los morteros al fraguar, así como las demas causas apuntadas, pueden hacer que las condiciones de trabajo del material sean mui diversas a las arrojadas por el cálculo. (2)

Léjos de mantenerse la invariabilidad que supone el cálculo para la curva de presiones, en las bóvedas ya construidas hácese sentir los fenómenos que acabamos de indicar, los cuales entrañan movimientos correspondientes, mas o ménos considerables, en la curva de presiones admitida como efectiva.

(1) El análisis de las memorias a que nos hemos venido refiriendo, encuéntranse en los Tratados de puentes o en los estudios especiales sobre bóvedas. Así, pueden consultarse sobre el particular a Dupuit, Degrand et Résal, Croizette-Desnoyers, Morandière, Debauxe etc. i los *Annales des Ponts et Chaussées*.

(2) Degrand et Résal, *Ponts en maçonnerie*, t. I.

De esta manera, la curva de presiones puede modificarse profundamente, desarrollándose en la bóveda trabajos moleculares suplementarios imprevistos.

7.—Las fuertes variaciones de la temperatura, que tampoco son tomadas en cuenta en los cálculos, hacen sufrir también considerablemente al material.

La elevación de la temperatura aumenta el empuje, lo que hace subir la curva de presiones en los arranques i bajar en la clave. Lo contrario sucede con los descensos de temperatura.

La observación ha comprobado que en numerosas bóvedas, debido a variaciones de la temperatura, la clave experimentaba oscilaciones verticales i se producían grietas, que se abrían o se cerraban según las estaciones. Innecesario de todo punto nos parece insistir sobre el peligro manifiesto que indican tales grietas; máxime si se trata de un puente canal. (1)

Es cierto que las dilataciones debidas a la temperatura son mucho ménos importantes en la mampostería que en el fierro; pero, en cambio, la resistencia de aquellos materiales notablemente inferior a la de éste, lo que explica que las tensiones oriñadas en las bóvedas,

(1) Guillemain (*Rivières et Canaux*, 1885, t. I, pág. 185) dice: "Bajo la influencia de las variaciones de temperatura, los materiales que constituyen las bóvedas aumentan o disminuyen de volúmen, i la bóveda decae o se peralta en la clave, en una cantidad que no ha sido medida, pero que ciertamente es apreciable. Los tímpanos para seguir este movimiento, están obligados a razar verticalmente sobre el punto fijo, es decir, sobre las pilas; i cuanto mas altos son los tímpanos, mas ancha es necesariamente la grieta en su parte superior." Espone en seguida M. Guillemain lo difícil que es impedir las filtraciones que, por esta causa, se producen en los puentes canales de mampostería, por tratarse de materiales tan poco elásticos, i agrega que hasta ahora, es necesario reconocerlo, no se ha alcanzado el éxito.

Mas temibles todavía son estas grietas si en ellas se desarrolla la fuerza expansiva del hielo.

A este respecto, M. Guillemain insinúa un dispositivo que, en su idea matriz, tiene muchos puntos de contacto con el empleado, algunos años despues, en el puente de Coulouvrenière, descrito mas adelante: "Talvez no seria imposible disponer, dice, por encima de cada pila una junta vertical que permite los muy débiles movimientos que dan oriñen a las filtraciones, rellenando dicha junta con una sustancia elástica frecuentemente renovada; sin embargo, no habiéndose hecho ningun ensayo, no podemos sino señalar este orden de ideas."

por variaciones de la temperatura, adquieran tal importancia que produzcan la ruptura del material o la dislocacion de las juntas.

Así admitiendo el coeficiente de dilatacion de $\frac{7}{10^6}$ encontrado por M. Perrodil, coeficiente que es un poco inferior al del vidrio, ha encontrado M. Tourtay para el puente Boucicaut que "si la bóveda sufiere un descenso de 15° de temperatura, la curva de presion que bajo la accion de las cargas pasaba mui próximamente por el tercio inferior de la junta de los arranques descenderia hasta el cuarto de esta junta, lo que incrementaba la presion de 38 a 47 kilógramos. En la clave, la curva de presion, que pasaba ántes a 0.08 encima del medio de la junta, se elevaba a 0.12 encima de este mismo punto."

Cuando las bóvedas son de espesores de consideracion, como es obvio, se debilitan considerablemente los efectos de la temperatura; pero en todo caso existe verdadero interes en atenuar el trabajo molecular, que ella ocasiona, favoreciendo la libre dilatacion de la obra, lo que se consigue como en los puentes metálicos, por la triple articulacion, dispositivo que únicamente hace variar en mui débil cantidad la altura de la clave, manteniendo sensiblemente inalterable la curva de presion

8. Las bóvedas experimentan, ademas, otras deformaciones que modifican las condiciones en que trabaja el material. Queremos solamente referirnos a las deformaciones sobre las cimbras i a las debidas al descimbramiento, para no hablar mas que de las principales.

A medida que avanza la construccion de la bóveda, las cimbras sufren deformaciones elásticas correspondientes a las cargas que sobre ellas actúan. Miéntas que el mortero sea plástico, la bóveda sigue sin dificultad los movimientos de sus cimbras; pero tan pronto como fragua aquél la construccion resiste todo cambio de forma, desarrollándose, con tal motivo, en su interior trabajos moleculares que modifican la curva de presion.

Al ocuparnos, siquiera sea suscintamente, de las deformaciones que experimenta la seccion recta del intrados de una bóveda, cuando se quitan las cimbras, debemos observar que hasta las ideas funda-

mentales mismas, que al respecto reinan en la actualidad, discrepan notablemente de las sustentadas por los mas ilustres injenieros a fines del siglo pasado: hoi dia. en pugna con la conocida teoría de Perronnet, se emplea toda suerte de precauciones para reducir a un mínimum los asientos de la bóveda debido al descimbramiento, considerándolos, con razon, como perjudiciales a la estabilidad de la obra.

I merced a los progresos realizados en nuestro siglo en el arte de construir i en los elementos de construccion, se ha conseguido felizmente reducir tales movimientos en proporciones considerables: por cierto que hoi estaríamos mui léjos de considerar satisfactoria la construccion de una bóveda que por descimbramiento sufriese un descenso de la clave de 0,77metro, cifra alcanzada en el puente de Neugli, construido por Perronnet. (1)

Réstanos para terminar este punto, señalar en dos palabras los efectos e inconvenientes del descimbramiento.

M. Tourtay, en su interesante memoria sobre el puente de Boucicaut (A. P. C. 1892, p. 445), se preocupa con bastante detenimiento de los efectos perjudiciales que resultan del incremento de las presiones debidas a las variaciones de temperatura i al descenso de la clave por el descimbramiento; i dice: “No es, por otra parte, desde el solo punto de vista de las variaciones de la temperatura que habria interés en mejorar los procedimientos del descimbramiento de las bóvedas de albañilería. Ellas están a este respecto en condiciones mucho ménos favorables que los arcos metálicos

“Para estos últimos, en efecto, se llega fácilmente a hacer pasar la curva de presion en medio del arco en los arranques con auxilio de una articulacion, obteniéndose así en esta rejion, en el momento del descimbramiento, una reparticion uniforme de las presiones.

“En las bóvedas de albañilería, al contrario, con el método usual de descimbramiento, el descenso de la bóveda hace nacer forzosamente presiones mucho mas considerables en la parte inferior

(1) Croizette-Desnoyers, *Ponts*.

de las juntas de los arranques que en la parte alta de esas secciones.”

Mas adelante agrega que si se llega a realizar para las bóvedas de albañilería condiciones de descimbramiento análogas a las de los arcos metálicos, es decir, si se consigue hacer pasar en ese momento la curva de presiones por el centro de las juntas de la clave i de los arranques, *las bóvedas quedarían en condiciones de trabajo mas favorables que los arcos de metal.* (1)

El estudio de la contraccion de los morteros i las esperiencias ejecutadas por M. Croizette Desnoyers sobre los fenómenos que se producen en el descimbramiento, permiten afirmar, dice M. Résal, (2) que la curva de presiones se peralta tanto mas cuanto mas se hayan aproximado las dovelas durante el descimbramiento; i éste, en jeneral, tienecomo consecuencia modificar la curva de presiones, aproximándola al trasdos en la clave i al intrados en la junta de rotura, lo que implica un aumento en el trabajo de compresion de la mampostería en esas secciones. *Pueden así, agrega M. Résal, desarrollarse presiones inaceptables i aun salir la curva de presiones fuera del macizo, condiciones que acarrearían la ruina de la obra.*

9.—*Consecuencias.*—Hemos señalado tan sucintamente como nos ha sido posible, los inconvenientes i deficiencias de los métodos usuales de cálculo i algunas de las causas principales que influyen en la estabilidad de una bóveda. “Pensamos, que tomando en cuenta estas influencias diversas i ejecutando el proyecto del puente, segun base racionales i procedimientos rigurosos de cálculo, se llegaria fácilmente a reducir en una fuerte proporcion los espesores admitidos hasta ahora para los puentes de piedra, i a ejecutar obras mas ligeras i, por consecuencia, ménos costosas que los antiguos puentes i tan sólidos como ellos, obteniendo una mejor reparticion de las albañilerías i una utilizacion mas juiciosa de los materiales. (3)

(1) Sobre los efectos de la temperatura i del descimbramiento puede consultarse con mucha utilidad la memoria de M. Tourtay sobre “*Determination des pressions réelles dans les voûtes surbaissées en forme de chaînette*” (A. P. C. 1888), a la cual nos referiremos mas adelante.

(2) Degrand et Résal, *Ponts en Maconnerie*, t. I, páj. 133.

(3) Résal, Obra citada, t. I, páj. 220.

De todo lo anterior podemos concluir reconociendo que hai verdadero interes en perseguir el logro de los siguientes objetivos:

1.—Realizar una disposicion conveniente para las bóvedas de albañilería que permite *fixar tres puntos obligados de paso de la curva de presiones*, lo que haria espedito i rápido el trazado de la *curva efectiva* i, como consecuencia, la determinacion de los *verdaderos esfuerzos soportados por cada seccion* de la obra *en los diversos estados de solicitacion*.

Satisfechos estos requisitos, las bóvedas entrarian a figurar como sistemas estáticamente determinados.

2.—Evitar o reducir a un mínimo el suplemento de trabajo molecular debido a las *variaciones de temperatura*, a las deformaciones por *descimbramiento, flexion de los apoyos, etc.*; *lo que se logra con detalles especiales de construccion.*

3. - Poder determinar fácilmente los *espesores mínimos* que se deben adoptar para el material empleado, lo que asimismo *reduce los gastos* de la construccion, *el peso* de la bóveda i, por consiguiente, el *empuje* sobre los apoyos, etc ; *el peso de las cimbras* i las deformaciones de éstas, *todo lo cual puede obtenerse con nuevos métodos de cálculo que permitan determinar las dimensiones de las diversas secciones en funcion de las fuerzas que la solicitan.*

Haremos ver que todos estos requisitos pueden alcanzarse i, en consecuencia, que todos los inconvenientes que hemos señalado para las bóvedas ordinarias pueden ser casi completamente conjurados con el empleo de la triple articulacion, que mantiene la invariabilidad casi absoluta de las curvas de presiones, sujetas en todo caso a pasar por las articulaciones, las que no varían de posicion sino en cantidades insignificantes por las deformaciones de la bóveda o de los apoyos, cuando quedan dentro de los límites ordinarios, no habiendo, de este modo, por qué temer las consecuencias de estos movimientos que son tan peligrosos en las bóvedas empotradas en los arranques. (1)

(1) A. P. C. 1898, 3^{er} trimestre, páj. 31.

Analizaremos mas detenidamente los dispositivos que satisfacen el primer punto de nuestras conclusiones en el capítulo II de estas notas i sucesivamente nos ocuparemos en seguida de los otros dos puntos de nuestras conclusiones.

(Continuará).

MANUEL TRUCCO.

