

CAPÍTULO XI

TÍMPANOS

Tímpanos llenos. — Terraplén. — Altura de los tímpanos. — Aligeramientos en la antigüedad. — Aligeramientos longitudinales. — Aligeramientos transversales. — Aligeramientos en los dos sentidos. — Aligeramientos sobre pilas. — Materiales. — Aligeramientos de hormigón armado. — Dispositivos para las dilataciones.

Tímpanos llenos. — Se designa con el nombre de *tímpanos* de una bóveda los muros que se apoyan sobre aquélla y que contienen el terraplén, que sirve, a su vez, de apoyo a la plataforma del puente.

En todos los puentes, hasta mediados del siglo pasado, estos muros eran continuos en la superficie comprendida entre las boquillas de la bóveda y las impostas de coronación de la obra, que lo eran también de los muros de tímpano.

Estos muros cargan la bóveda, y sus espesores deben corresponder al empuje del terraplén, que es el único esfuerzo a que están sometidos.

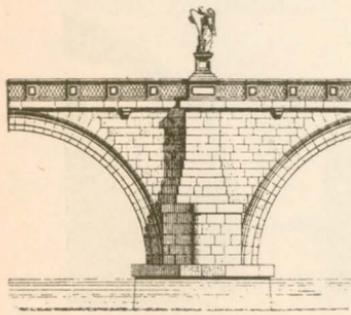


Fig. 209. Puente de Santo Angelo (Roma).

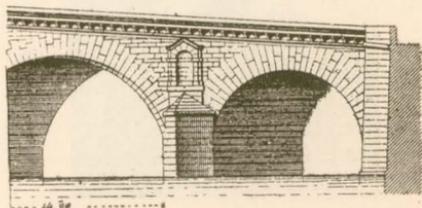


Fig. 210. Puente de Saint Michel (París).

Son, pues, elementos secundarios del puente.

A pesar de ello, en algunos puentes de poblaciones, romanos y de la Edad Media, se han construido de sillería, aparejada con las dovelas de la bóveda (figuras 209 y 210).

También lo hizo así Perronnet en sus puentes, y se ha seguido imitando en otros puentes monumentales.

Pero los encuentros de las hiladas horizontales del tímpano con las juntas de oblicuidad variable de la bóveda complican los despieces (figura 211).

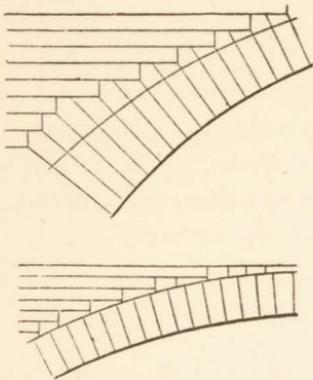


Fig. 211.

Como, por otra parte, es poco racional emplear en un elemento secundario materiales de elección y caros como la sillería, hoy día se construyen casi siempre los tímpanos con mampostería, ladrillo u hormigón (figuras 212 y 213).

Terraplén. — Los muros de estos tímpanos se construyen en los puentes corrientes con paramentos verticales, retranqueados de 5 a 10 cm. por dentro de la boquilla e imposta (fig. 214).

Es lo más frecuente que su paramento interior tenga talud

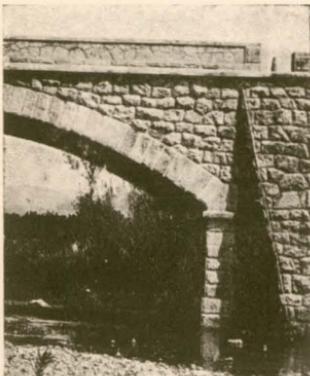


Fig. 212.



Fig. 213.

como en T o escalones horizontales como en T' , cuyo número aumenta con la altura creciente del tímpano desde la clave hasta los arranques.

El terraplén entonces actúa como una cuña y tiende a separar los dos tímpanos.

Pero es preferible disponer los taludes interiores verticales como en $T''T''$ (fig. 215).

Como el empuje del terraplén varía, los espesores de los tímpanos deben aumentar proporcionalmente.

Según dijimos en el tomo I (página 298), los espesores pueden fijarse en $1/3A$, siendo A la altura del terraplén aumentada en 0,50 metros para puentes de carretera, y 1 m. para los de ferrocarril.

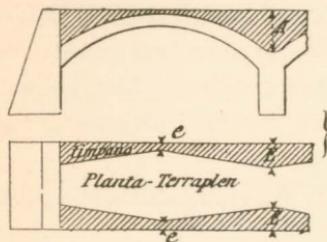


Fig. 216.

Para facilitar la construcción y que no resulte un paramento interior en curva, lo hacemos plano, partiendo del espesor máximo E en los arranques (fig. 216), y uniéndolo con el espesor mínimo e en la clave, que no debe prácticamente ser inferior a 0,50 m.

Respecto a la calidad del terraplén, hay que excluir en absoluto las tierras arcillosas, que se entumescen con el agua y se agrietan con la sequedad. Débese emplear arenas o gravas incompresibles y permeables.

Algunos Ingenieros lo han sustituido con hormigón pobre; es dinero tirado; mejor es la arena sola.

Altura de los tímpanos.— No hay criterio fijo respecto a la altura que han de alcanzar los tímpanos.

Casi todos los Ingenieros consideran necesario que la clave de la bóveda esté recubierta (fig. 217



Fig. 217.

A y B) por una capa e de terraplén de 0,50 m. mínimo, por-

que así creen que se reparten mejor las sobrecargas móviles.

El autor no encuentra justificada tal preocupación; debiendo ser el terraplén incompresible, los pavimentos de los caminos o el balasto de las vías no deben sufrir asientos, y se reparten las cargas por medio de unos y otros; para eso están pavimentos y balasto.

Así que en todos nuestros puentes hemos proyectado las impostas tangentes a las claves de las bóvedas sin que se nos haya ofrecido la menor dificultad constructiva, ni contratiempo, al paso de las mayores sobrecargas.

En cambio, ahorramos al puente y a sus avenidas la altura *abcd* de terraplén y de fábrica en tímpanos, y a la bóveda le reducimos el peso muerto en igual proporción.

Se ahorra además altura de rasante, o se aumenta desagüe. Todas son ventajas, sin inconveniente alguno.

Aligeramientos en la antigüedad. — Pero los tímpanos llenos, que son fáciles de construir, resultan muy pesados en cuanto las luces de los puentes exceden de 20 m., sobre todo en los arcos de medio punto, en que los tímpanos llegan a tener alturas considerables.

Ya los Romanos construyeron arcos de aligeramiento sobre las gruesas pilas de algunos puentes (fig. 218).

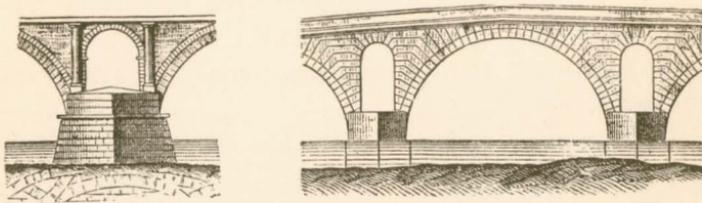


Fig. 218. Aligeramientos en puentes romanos.

Los Persas, en el siglo XII (Puente de la Joven), fueron más allá, pues además de construir arcos sobre las pilas, aligeraron longitudinalmente los tímpanos con bóvedas de ladrillo (figuras 219 y 220).

En la Edad Media también se aligeraron los tímpanos, pero en muy pocos puentes.

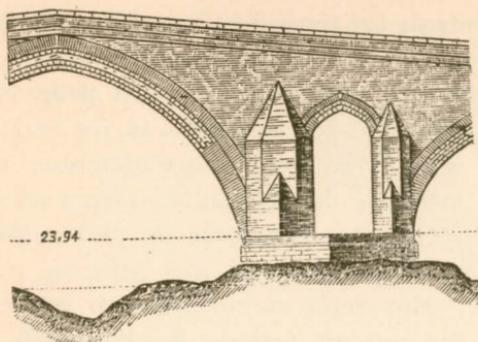


Fig. 219.

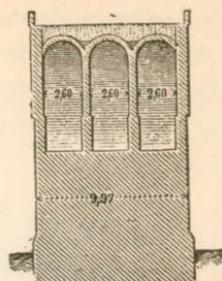


Fig. 220.

En los siglos siguientes se abandonó esta tradición.

Sólo a mediados del XIX, y a medida que las luces aumentaban, se recordaron aquellos antiguos recursos constructivos.

Aligeramientos longitudinales.—Se construyeron en Francia con bóvedas de fábrica paralelas a los tímpanos.

Primeramente, con cierta timidez, se pusieron dos bóvedas (figura 221); después, tres (fig. 222); por último, cinco (fig. 223).

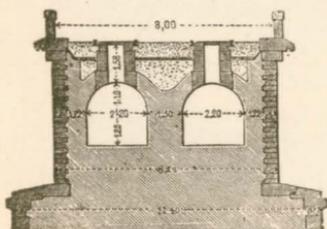


Fig. 221.

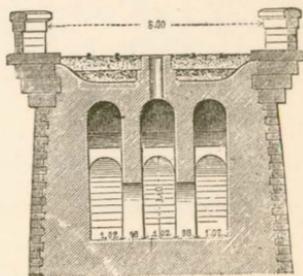


Fig. 222.

El número de pisos de bóvedas va aumentando con la altura de los tímpanos.

Para no ejercer empujes sensibles sobre los tímpanos, estas bóvedas son generalmente de medio punto; algunas veces se han hecho ojivales.

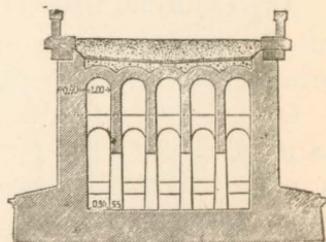


Fig. 223.

Sus luces no exceden de 2 m., y en algunos puentes van decre-

ciendo las luces desde el centro a los tímpanos; los tabiques tienen de 0,60 a 0,80 m. de grueso.

Para evitar los empujes sobre los tímpanos, siempre peligrosos, lo que exige a veces atirantarlos con barras metálicas, los ingleses construyen estos aligeramientos con tabiques de ladrillo de asta y media recubiertos con losas de piedra (figura 224).

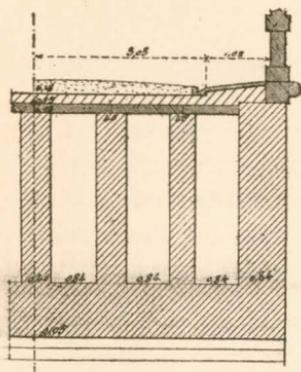


Fig. 224.

Hoy sería mejor construir estas losas con un forjado de hormigón armado, reduciéndose también el número de tabiques.

Como estos aligeramientos quedarían encerrados, se les ventila lateralmente por medio de ventanas circulares, a través del tímpano, que se utilizan como medio decorativo de estas grandes superficies.

Además, deben poder visitarse; a ese efecto, se abren unos agujeros de hombre en algunos puntos de las claves de bóvedas por donde puedan bajar los operarios; las bóvedas comunican entre sí, en sus partes bajas, por medio de puertas abiertas en los tabiques.

Tienen los aligeramientos longitudinales el inconveniente de que las sobrecargas sólo actúan a lo largo de las bóvedas en el apoyo de los tabiques.

Mantienen además el aspecto macizo y pesado de los grandes tímpanos.

Aligeramientos transversales.— Se evitan estos inconvenientes con los aligeramientos transversales.

Comenzaron éstos tímidamente sobre las pilas, el año 1856, con un arco sobre la pila (fig. 225), a semejanza de los puentes romanos.

Pero el Ingeniero Degrand (1), el

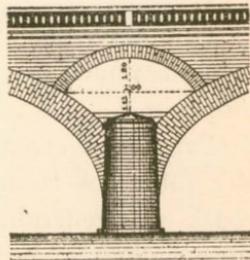


Fig. 225.

(1) Autor, con Resal, del conocido libro *Ponts en maçonnerie*.

año 1872, en el puente de Andelys (fig. 226) lo amplió con elegancia, y desde entonces se ha propagado esta disposición, que es casi obligada ya en todos los puentes de fábrica que exceden de 25 metros de luz, y aún más en grandes bóvedas, según luego veremos.

En España se han generalizado bastante (figuras 227 a 229).

El puente sobre el río Huebra (fig. 227) está muy bien proporcionado. Proyecto de D. José Luis Martín.

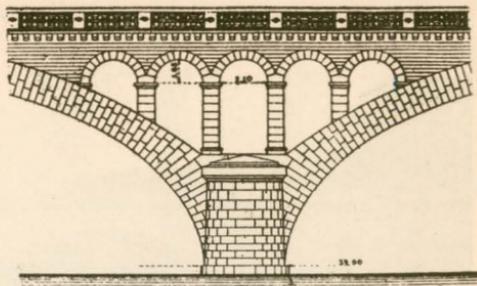


Fig. 226. Puente de Andelys.



Fig. 227. Sobre el río Huebra (Salamanca).



Fig. 228. Sobre el río Aguas (Almería).

El puente sobre el río Aguas (fig. 228), aunque bien proyectado por D. Fernando Martínez Herrera (1), tiene pilas estribos un poco gruesas.



Fig. 229.

El último de estos tres puentes (fig. 229) hubiera mejorado sensiblemente, de aspecto al menos, si los arcos de los muros de acceso fueran de mayor luz y altura, para reducir sus tímpanos, que son excesivos.

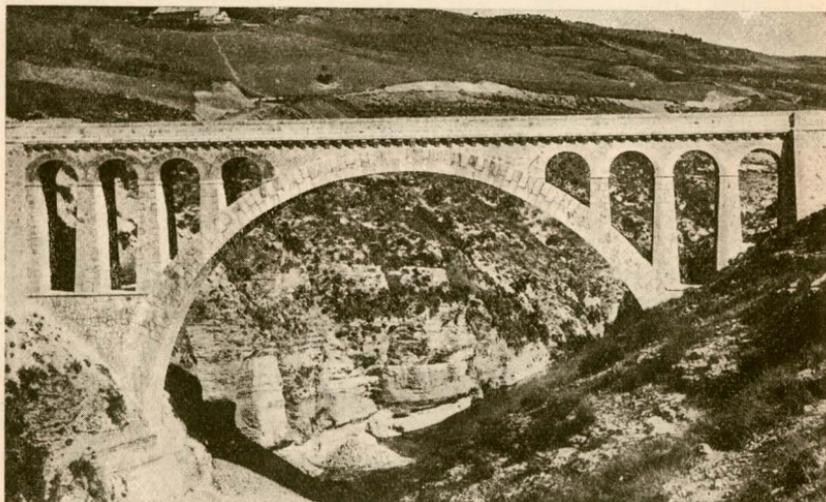


Fig. 230. Sobre el río Cacfa (Granada).

(1) Detalles en la *Revista de Obras Públicas*, 1.º octubre 1925.

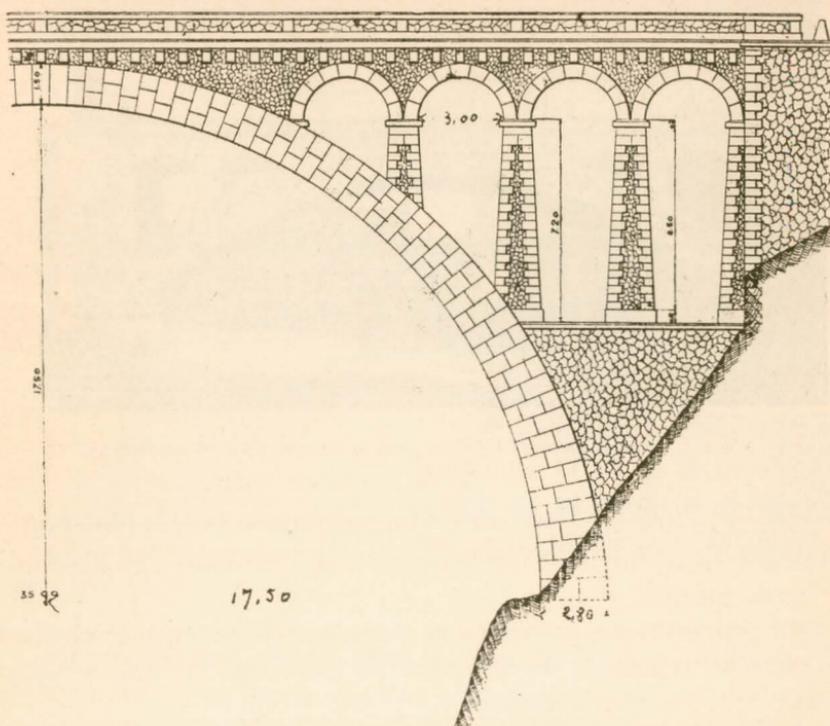


Fig. 231. Puente del Cacín.

El más importante de los puentes españoles de este tipo es el construido sobre el río Cacín, para la carretera de segundo orden de Armilla a Alhama (Granada), terminado en 1909. Proyecto de D. José Perals. Es un arco de medio punto de 35 m. de luz (figuras 230 y 231), de sillería y mampostería careada, a pesar de lo que sólo costó 90.000 pesetas (antes guerra).

Las luces de estos arcos transversales varían de 1,50 a 5 m.

Aunque en algunos puentes se han hecho con arcos rebajados (figuras 232 y 233), nos parecen de mejor efecto, y producen menor empuje, los de medio punto, que son los más empleados

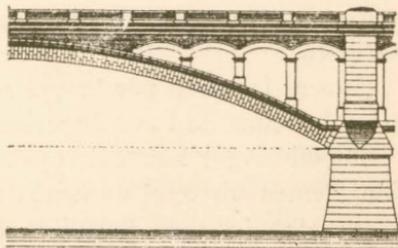


Fig. 232.



Fig. 233. Sobre el clamor de lo Selgua (línea de Zaragoza a Barcelona, Norte).

Ofrecen estos aligeramientos transversales ventajas indudables sobre los longitudinales, que justifican el abandono casi absoluto de estos últimos.

En primer lugar, favorecen el desagüe, porque cuando el nivel de crecidas supera al de arranque de los arcos, las aguas pasan a través de los aligeramientos.

Concentran y reparten las cargas de la bóveda en puntos fijos, pero en toda su anchura, lo que permite asegurarse de la situación de las curvas de presiones.

Por último, constituyen de por sí una decoración racional y sencilla de los tímpanos.

En cambio, ocasionan algún aumento de gasto en los paramentos, por la mano de obra más delicada que exigen esas arca-das vistas.

Esta es la razón por la que sólo conviene aligerar los tímpanos en las bóvedas de luces superiores a 20 m.

Sin embargo, hoy día, ejecutándolos con hormigón en masa, como hemos visto, el aumento de mano de obra se reduce sensiblemente, lo que permite aligerar los arcos hasta en luces de 12 m.

Aligeramientos en los dos sentidos. — Persiguiendo el aumento de ligereza en los tímpanos, se han aligerado algunos puentes en

los dos sentidos, con bóvedas transversales y longitudinales por arista (fig. 234).

Pero se aumenta así singularmente la mano de obra costosa de estos elementos, que hay que construir con gran perfección, y se agudizan los empujes de estas bovedillas, que siempre son un peligro para su estabilidad, por las violentas vibraciones que producen los pesados vehículos o trenes.

Hoy no se ejecutan así, porque el hormigón armado, según luego veremos, resuelve más satisfactoriamente el problema.

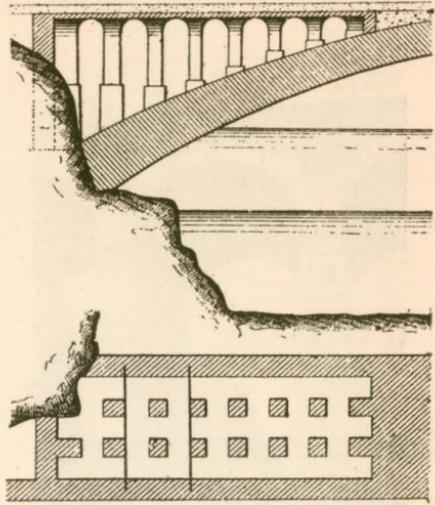


Fig. 234.

Aligeramientos sobre pilas. — Algunos Ingenieros, en los puentes de varios arcos, aligeran todo el tímpano, aun en la parte en que éste descansa sobre el tímpano (figuras 225, 226 y 236).

El autor considera preferible interrumpir los aligeramientos en los paramentos de las pilas, cargando éstas con fábrica barata; considera que así aumenta la componente vertical del peso de la pila y, por tanto, reduce con ello *la oblicuidad del empuje máximo* (cuando un arco está cargado y el adyacente descargado); así se centra más la resultante, mejorándose la estabilidad de pila y cimienta.

Materiales. — Cuando el sillarejo es muy barato, puede emplearse en los paramentos de estos aligeramientos, pero rellenando tímpanos y paredes de pilas con mampostería (fig. 235).

Pero hoy es ya más general ejecutar los tímpanos aligerados con hormigón en masa (fig. 236), como se ha hecho en todos los puentes descritos en el capítulo anterior.

El efecto es análogo al de la piedra natural, y al cabo de muy

pocos años la pátina que adquieren unos y otros impide distinguirlos.

No parece dudosa la elección; repitiéndose los arcos de estos



Fig. 235. Puente sobre el Huebra.



Fig. 236. Puente-Torre Montalvo.

tímpanos, la mano de obra de sus cimbras y moldeos es muy inferior al del sillarejo y mamposterías, por lo que su reducido coste permite aligerar bóvedas hasta de 12 metros de luz, como dijimos antes.

Aligeramientos de hormigón armado. — En algunos puentes se han reforzado las pilas de hormigón de estos aligeramientos armándolos en toda su altura (fig. 201, pág. 187).

Así se evitan los pandeos de estos débiles apoyos, sometidos a los impactos del paso de los trenes.

Pero entonces nos parece preferible armar todo el tímpano, construyendo también el tablero de hormigón armado, aun sobre bóvedas de fábrica u hormigón en masa.

Puede apoyarse el tablero sobre la bóveda por medio de una de las tres soluciones de la figura 237:

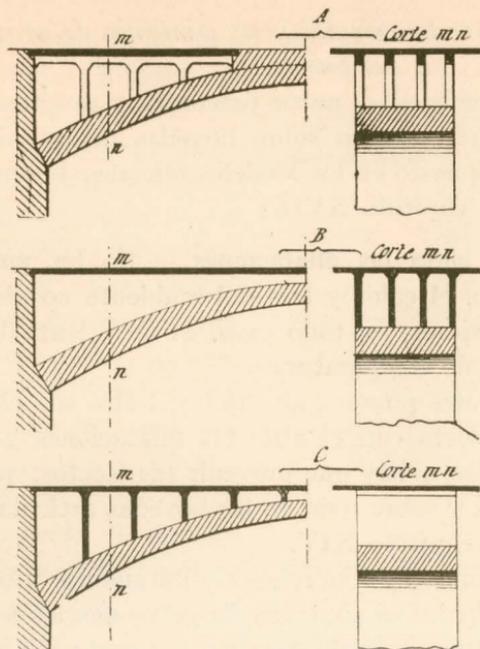


Fig. 237.

- A. El tablero de hormigón armado está constituido por un forjado y nervios longitudinales que se apoyan sobre pilares de igual material.
Es el más ligero y diáfano.
- B. El tablero es un simple forjado que se apoya sobre tabiques longitudinales de hormigón armado.
Su aspecto exterior es de tímpano macizo.
- C. Con tabiques transversales de hormigón armado que sostienen un simple forjado.

Ya estudiaremos en la tercera parte de este tomo otros detalles de estos tímpanos de hormigón armado, y las razones que nos aconsejan hoy dar casi siempre la preferencia a esta última disposición, que ofrece las ventajas que enumeramos ya al describir los aligeramientos transversales de fábrica, y *reduce el peso muerto del puente*, distribuyéndolo mejor sobre los arcos principales.

Ofrecen además estos tímpanos de hormigón armado otra ventaja muy apreciable: la de que *permiten con gran facilidad disponer una parte del tablero en voladizo*, por lo menos en los andenes, sobre los que no han de actuar sino sobrecargas uniformes. Así

pueden estrecharse las bóvedas y los cimientos de apoyos y se reduce sensiblemente el coste del puente.

Por tales ventajas, el autor preconiza y practica los tímpanos de hormigón armado aun sobre bóvedas de hormigón en masa, y así las ha propuesto en los Modelos oficiales de puentes de ferrocarriles. (Véase capítulo XVII.)

Dispositivos para las dilataciones. — En los puentes macizos de tipo antiguo, el calor y frío del ambiente no alcanzan apenas sus partes interiores; en todo caso, es muy lenta la propagación de los cambios de temperatura.

En los actuales puentes aligerados, todos sus elementos están en contacto directo con el aire; las dilataciones y contracciones son más sensibles, y hay que prevenir sus efectos, que se agudizan en los tímpanos y sobre todo en las bóvedas articuladas, que estudiaremos en el capítulo XIV.

Cuando en invierno sobrevienen súbitamente fríos prolongados, los arcos principales se contraen, la clave desciende y el tímpano se abre verticalmente encima de los arranques de aquéllos.

Si los aligeramientos se prolongan sobre las pilas o estribos, aquéllos se agrietan con frecuencia.

En muchos puentes con luces inferiores a 30 metros no se han tomado precauciones contra estas dilataciones, pero el autor ha propuesto, y han sido aceptados por la Dirección de Obras públicas para los Modelos de puentes en arco de hormigón armado, los dispositivos siguientes:

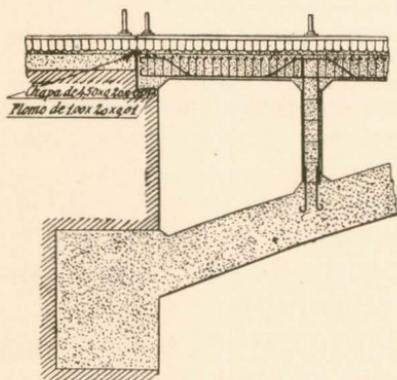


FIG. 238.

En los puentes de luces inferiores a 25 metros, se apoya el extremo del nervio del tablero sobre el estribo (figura 238) por intermedio de una chapa de plomo (1).

(1) Están especificadas estas precauciones en los artículos 11 y 22 del *Pliego de condiciones facultativas particulares* para los puentes en arco de hormigón armado para carreteras. (Véase Apéndice número 6 del tomo I.)

En los puentes de 25 metros de luz en adelante (fig. 239), los extremos de los tableros se apoyan sobre los tabiques inmediatos a los apoyos, cuyos tabiques, que llevarán la armadura conveniente, seguirán las variaciones térmicas del tablero. Quedará, pues, este primer tabique separado del estribo.

En ambos casos, y para evitar que en la junta de dilatación, que existirá entre los forjados de apoyos y tablero, se intercale la arena de la calzada o balasto, se recubrirá la junta con una chapa de palastro de $0,20 \times 0,01$, y con la longitud que tenga el pavimento.

Ya dijimos al ocuparnos de las calzadas (pág. 89) que cuando éstas se adoquinen con mortero portland deberá adoptarse la precaución de sentar sobre arena limpia las filas de adoquines inmediatas a las juntas.

Respecto a los anchos de estas juntas, que deberán dejarse en todos los paramentos de pilas y estribos, dependerán de las longitudes de los tableros, de las temperaturas con que se construyan esas zonas de forjados y de las oscilaciones térmicas máximas que se observen en la localidad; no necesitarán exceder de unos tres centímetros.

Esta última disposición fué propuesta por el autor en su Proyecto del puente de San Telmo, sobre el Guadalquivir, en Sevilla, para sus arcos de hormigón armado de 45 m. de luz, y así se está construyendo.

Nos parece la más eficaz, sencilla y económica de cuantas se han imaginado, según comprobaremos en los capítulos siguientes, cuando describamos los dispositivos empleados en algunas grandes bóvedas.

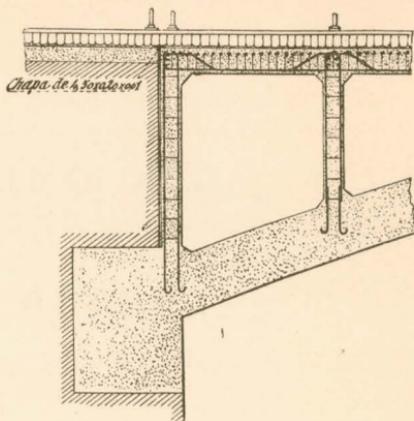


Fig. 239.