

# TERCERA PARTE

---

## PEQUEÑAS OBRAS

(Llamamos así a todas las que tienen menos de 10 m. de luz)

---

CAPITULO VIII — Modelos oficiales para carreteras.

CAPITULO IX — Pequeñas obras especiales.

CAPITULO X — Pequeñas obras de hormigón armado.

CAPITULO XI — Desagüe de las pequeñas obras.

CAPITULO XII — Cimientos de las pequeñas obras.



## CAPÍTULO VIII

---

### **Modelos oficiales para carreteras**

Conveniencia de los modelos de tipo corriente.—Modelos oficiales antiguos.—Error fundamental de los antiguos modelos.—Nuevos modelos oficiales.—Supresión de las obras altas.—Caños y tajeas.—Alcantarillas y pontones.—Grupos de pequeñas obras.—Supresión de las fábricas mixtas.—Morteros y hormigones.—Elección de las bóvedas.—Supresión de las contraroscas.—Elección de los muros.—Tímpanos e impostas.—Pretilos.—Determinación de los espesores.

**Conveniencia de los modelos de tipos corrientes.**—En todos los encuentros de las vías de comunicación con los talwegs del terreno, hay que dar paso a las aguas, que se acumulan en ellos.

Deberán construirse por lo tanto un grandísimo número de pequeñas obras de desagüe, desde los caños y tajeas de 0,50 m. de luz, hasta los pontones de 8 y 9 m. de luz.

Cuando el terreno es accidentado, y el talweg tiene pendiente, hay que proyectar estas pequeñas obras a la *medida del terreno*.

Pero es más frecuente aún, que el perfil del terreno sea sensiblemente horizontal en el talweg y sus inmediaciones.

Entonces, las pequeñas obras de desagüe, para luces y alturas determinadas, pueden ser semejantes y hasta completamente iguales.

Para todos esos casos, se utilizan modelos generales, sancionados por larga experiencia.

Todos los países y hasta muchas Compañías de ferrocarriles, tienen sus modelos oficiales de pequeñas obras, de tipos corrientes.

**Modelos oficiales antiguos.**—En España los tenemos, desde el año 1861 en que fueron aprobados los primeros Modelos oficiales de tajeas, alcantarillas y pontones.

Fueron proyectados por una Comisión de Ingenieros, presidida por don Lucio del Valle.

Reproducimos en las Figs. 166 y 167 y como ejemplo, los modelos de alcantarilla números 54 y 62 ambos para 3 m. de luz, y alturas de 2 y 6 m. respectivamente, y los modelos de pontones números 46 y 58 para 6 m. de luz y alturas de 4 y 10 m.

El criterio seguido en aquellos modelos, fué de que, salvo en las tajeas, que podían cubrirse con alturas variables de terraplén, las alcantarillas y pontones debían tener siempre los cañones de sus bóvedas, inmediatamente debajo de la plataforma, para reducir así su longitud al ancho de la vía.

Este criterio, obliga a variar los modelos de cada obra y para cada luz, con las diferentes alturas de rasante, que son forzosamente variables.

De aquí la necesidad de multiplicar el número de modelos, hasta el punto de que aquella colección tiene:

62 modelos de tajeas y alcantarillas.

58 modelos de pontones.

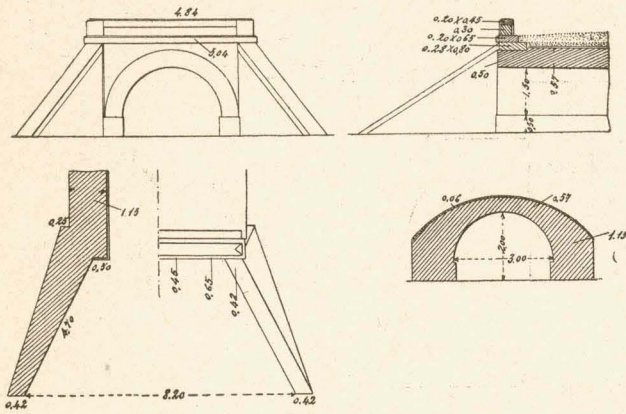
Total, 120 modelos.

**Error fundamental de los antiguos modelos.**—Pero no solo esta multiplicidad de modelos, complica la construcción, sino que la economía que se perseguía en estos modelos reduciendo la longitud de sus bóvedas, *es solo aparente*, ya que el aumento de volúmenes de los muros en ala, *representa un gasto mucho mayor* que la economía de las bóvedas.

Para demostrarlo, basta comparar los presupuestos de una *obra alta*, y una *obra baja* de igual luz, representadas comparativamente en la (Fig. 168) y se verá que estas últimas permi-



Alcantarilla mod.<sup>o</sup> n.<sup>o</sup> 54



Alcantarilla mod.<sup>o</sup> n.<sup>o</sup> 62

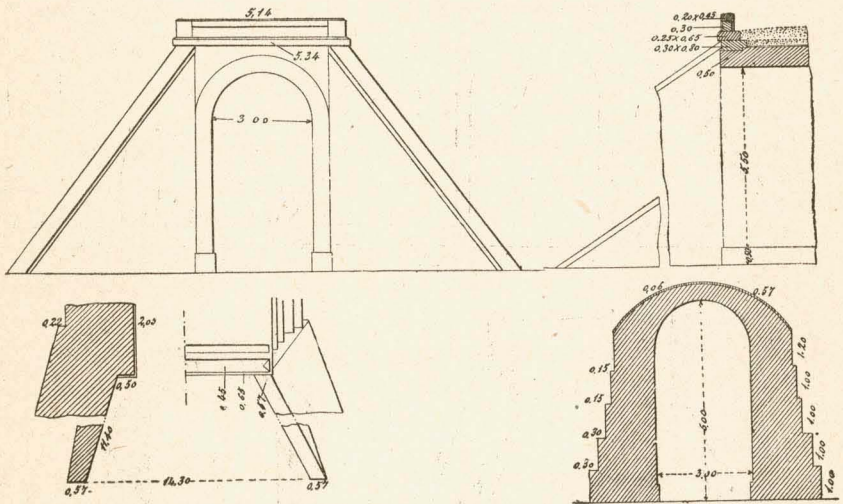


Fig. 166 — Modelos oficiales antiguos de las alcantarillas tipos números 54 y 62

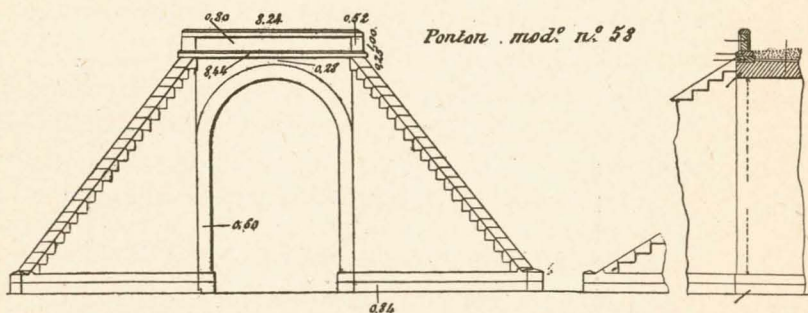
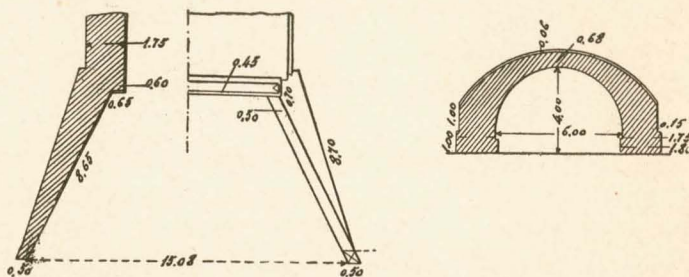
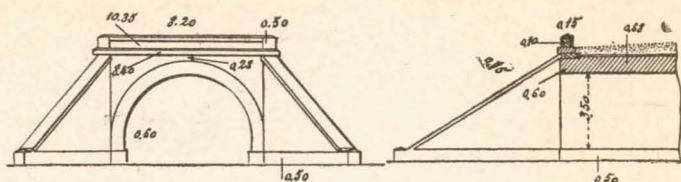
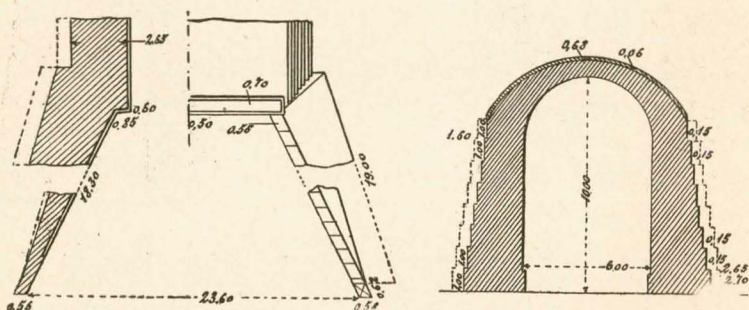
*Ponton mod.º n.º 46**Ponton mod.º n.º 53*

Fig. 167 — Modelos oficiales antiguos de los pontones tipos números 46 y 58

ten una economía que oscila entre 20 y 50 % (1). — Ambas tienen el mismo *desagüe lineal*, que es lo que interesa para el desagüe.

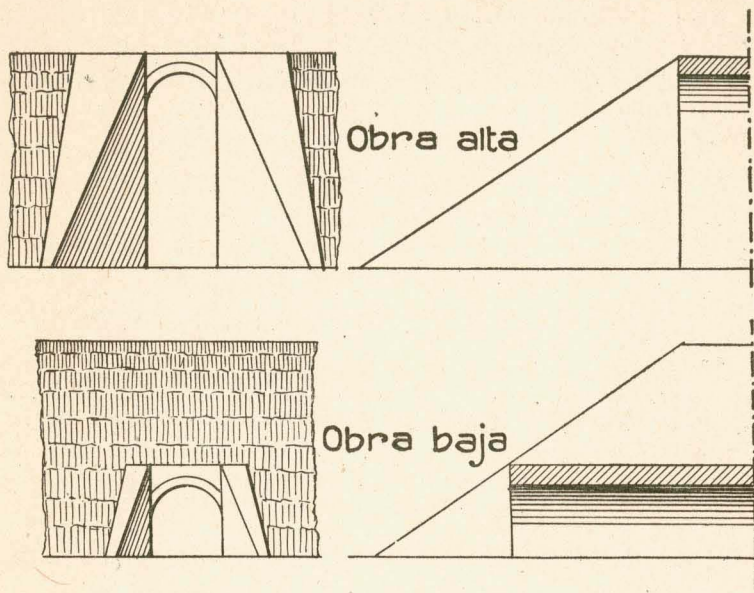


Fig. 168 — Comparación de una obra alta y una obra baja de igual luz

No deben pues construirse pequeñas obras altas, sino para pasos inferiores de otros caminos.

A este defecto de los antiguos modelos, que muchos Ingenieros observaron, se añade la deficiencia de espesores de algunos muros en ala y el inconveniente de los ángulos de estribos y aletas, que no solo perturban el desagüe de las obras, sino que ocasionan otro aumento de coste innecesario, así como la sillería y fábricas mixtas que también pueden suprimirse.

(1) En la Memoria de los nuevos modelos, que reproducimos en el Apéndice n.º 3, hemos hecho el cálculo para los antiguos modelos de alcantarillas números 54 y 62 y los pontones números 46 y 58, cuyos dibujos se representan en las Figs. 166 y 167. — Para un ancho de carretera de 6 m. y precios unitarios corrientes, los presupuestos de las alcantarillas y pontones altos, resultan ser de 12.072 y 49.017 pesetas, mientras que las obras bajas de igual desagüe lineal, solo costarían respectivamente, 9.340 y 29.275 pesetas. — Los alumnos han hecho cálculos análogos para todos los demás modelos; las diferencias son siempre semejantes.



**Nuevos modelos oficiales.**—Comprendiéndolo así, la Dirección general de Obras Públicas, me encomendó el estudio de nuevos Modelos de estas pequeñas obras de fábrica.

Los presentamos en las láminas 1.ª a 20 del final de este Tomo.

Fueron aprobados estos modelos por la Real Orden de 6 de Marzo de 1922 (1).

Deben pues emplearse en las *carreteras del Estado* y *Caminos vecinales*, en todos los casos corrientes, *en los que las condiciones del terreno lo permitan*.

En la Memoria, que acompañaba a nuestro Proyecto de estos Modelos, que reproducimos en el Apéndice n.º 3 de este Tomo, se justifican con detalle las disposiciones y dimensiones adoptadas.

En el Apéndice n.º 4, se reproducen asimismo las Condiciones facultativas especiales para estas pequeñas obras de fábrica que redactamos con arreglo a las opiniones que sobre los materiales y su ejecución, hemos formulado en la 1.ª Parte de este libro.

Resumiremos aquí las características esenciales de los nuevos modelos.

**Supresión de las obras altas.**—Así como en caños y tajeas, era ya costumbre, de no darles más altura que la necesaria para el desagüe lineal, se procederá con igual criterio en los nuevos Modelos de alcantarillas y pontones.

(1) Dicha orden dice textualmente:

*Dirección general de Obras Públicas*  
*Carreteras — Construcción*

S. M. el Rey (q. D. g.) conformándose con lo propuesto por esta Dirección general y de acuerdo con el dictamen de la Sección 1.ª del Consejo de Obras Públicas, ha tenido a bien aprobar la colección de modelos de pequeñas obras de fábrica para carreteras, contenida en el Proyecto suscrito por V. S. en 31 de Octubre del pasado año y al mismo tiempo estima conveniente se manifieste a V. S. la satisfacción con que se ha visto su trabajo, tanto por la perfección con que se ha hecho, como por lo práctico que ha de resultar en la redacción de proyectos de carreteras.

De orden del Sr. Ministro lo digo a V. S. para su conocimiento y demás efectos.

Dios guarde a V. S. muchos años.

Madrid, 6 de Marzo de 1922.

El Director general,  
A. Valenciano

Sr. Ingeniero Jefe, D. J. Eugenio Ribera.



Cuando la cota de terraplén sea superior a la altura del Modelo escogido, se prolongará el cañón de la obra, como se hacía antes con las tajeas.

Si las cotas del terraplén exceden de cierta altura, se aumentan los espesores de bóvedas y estribos de alcantarillas y pontones, con los escalones acotados en los planos de cada Modelo como se indica en la Fig. 169.

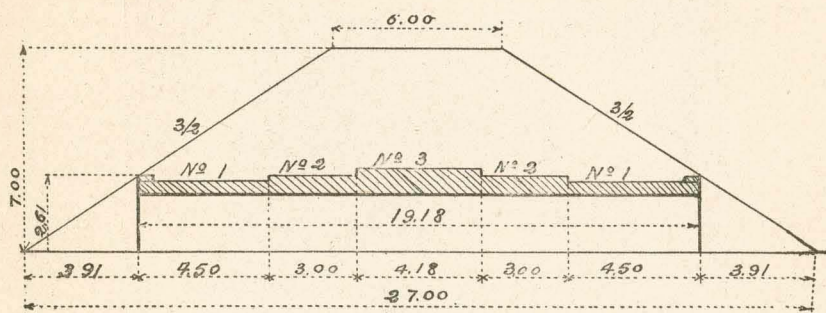


Fig. 169 — Bóveda escalonada para altos terraplenes

**Caños y tajeas.**—Los caños y tajeas no necesitan, en general, aumento de espesores, cualquiera que sea la altura de sus terraplenes.

Los caños (Lámina 1.<sup>a</sup>), son todos de sección circular, de 0,60 y 0,80 m. de luz, que se construirán *in-situ* (Art.º R).

Cuando lo necesiten, se reforzarán los tubos con armaduras de redondos de acero, que podrán ser directrices de 8 mm a 0,10 m. arriostrados por generatrices de 6 mm. a igual distancia, atados entre sí con alambre recocado.

Hay modelos de tajeas de 0,50 - de 0,75 y de 1,00 m. de luz, para alturas de estas mismas dimensiones (Láminas 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup>).

Se cubren las tajeas con losas de tapa, que pueden ser de piedra natural o artificial, o con bovedillas rebajadas al 1/5 o de medio punto.

Pueden también agruparse dos o más caños y tajeas iguales (Fig. 170).—Todas ellas llevan aletas normales, al eje de la vía.

**Alcantarillas y pontones.**—(Láminas 4.<sup>a</sup> a 20.<sup>a</sup>)

Hay cinco modelos de alcantarillas de 2 y 3 m. y 13 modelos de pontones de 4 a 8,50 m. de luz.

Para pequeñas alturas de terraplén, se han proyectado bóvedas rebajadas al  $1/5$ .

Cuando la cota de terraplén lo permita deben aplicarse los modelos con bóvedas de medio punto.

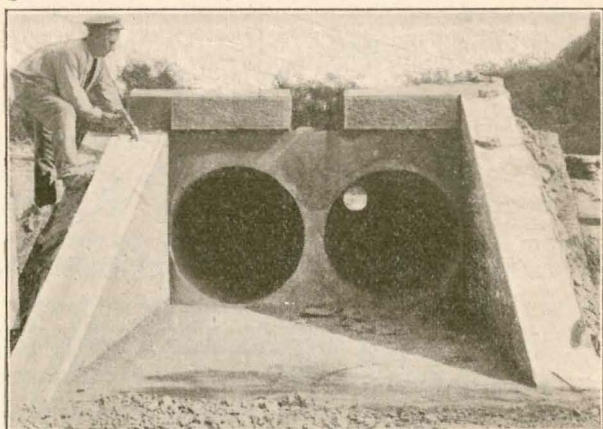


Fig. 170 — Grupo de caños

**Grupos de pequeñas obras.**—No solo los caños y tajeas, sino las alcantarillas y pontones, podrán adosarse formando grupos de dos o más desagües (Figs. 171 y 172), pues se favore-

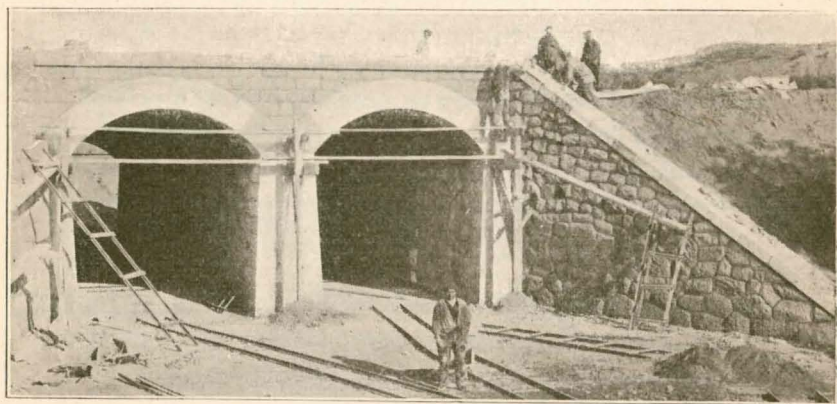


Fig. 171 — Grupo de alcantarillas



ce más la capacidad de desagüe, aumentando el *desagüe lineal* de las obras, que el desagüe superficial.

A este efecto, todos los modelos, están estudiados en los Planos para poderse agrupar.

Por esta razón, aun cuando el número de los nuevos modelos de estas pequeñas obras es en apariencia inferior a los 120

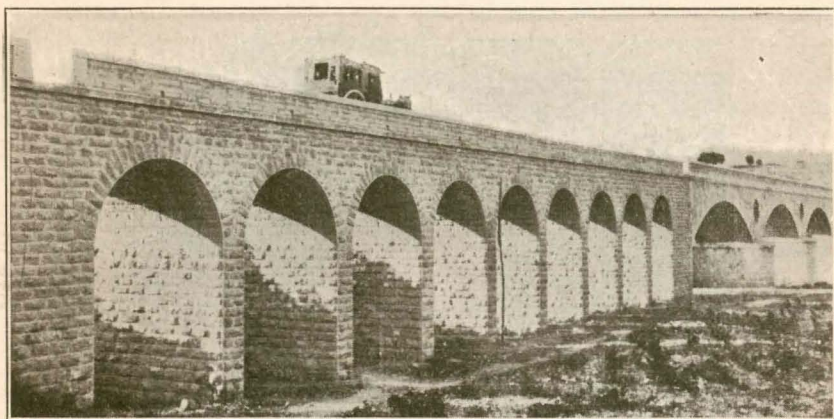


Fig. 172 — Grupo de pontones

de la colección antigua, pueden por de pronto servir para las obras dobles, y además, las alcantarilas y pontones de medio punto están proyectados para varias alturas de terraplén.

En esta nueva colección, tenemos pues, en realidad:

4	modelos de caños.
16	» de tajeas.
39	» de alcantarillas.
88	» de pontones.

Total, 147 modelos.

Resumamos las características de los nuevos modelos:

**Supresión de las fábricas mixtas.**—Es tradicional y muy frecuente el empleo de fábricas mixtas en las obras de desagüe, en las que se proyectan de sillería o sillarejo los frentes de bóvedas, zócalos de estribos y aletas, coronaciones e impostas de aletas y



tímpanos, y también es frecuente alternar las mamposterías, hormigones o ladrillo para el cuerpo de bóvedas y los macizos de apoyo o contención.

Con los morteros de cemento que preconizamos, estas fábricas mixtas no tienen el inconveniente de la desigualdad de asentos, que a veces quebrantan las obras (1), ya que con estos morteros no sufren asentos sensibles.

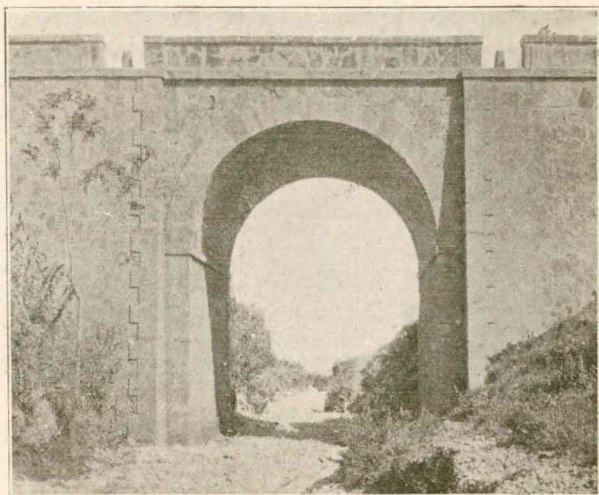


Fig. 173 — Pontón casi invisible para el transeunte

Pero si en los puentes puede convenir por motivos de decoración y aspecto, recurrir al empleo de la sillería y de las fábricas mixtas, en las pequeñas obras de desagüe, *que solo han de ser vistas por los camineros* (Fig. 173) deben suprimirse todas las fábricas caras y superfluas.

En cambio, es racional aumentar las dosificaciones de los morteros, con arreglo a la clase e intensidad de los esfuerzos a

(1) Un ejemplo de este defecto, es lo ocurrido en el puente del ferrocarril del Norte, sobre el río Manzanares, llamado de los Franceses, en el que por la desigualdad de asentos del mortero de cal empleado, se han separado los frentes de sillería, del cañón de ladrillo de las bóvedas, obligando a la Compañía del Norte a reconstruir esas bóvedas con hormigón hidráulico, en plena explotación, con el gasto y trabas consiguientes.

que están sometidas las diferentes partes de obra, tendiendo así a obtener monólitos de igual resistencia."

Para ello, se especifican dosificaciones variables, para los morteros y hormigones.

**Morteros y hormigones.**—De conformidad con lo que digimos en la primera parte de este Libro, en las Condiciones facultativas se exige que todas estas obras se ejecuten con morteros de portland, y en sus artículos J y K se detallan las dosificaciones de morteros y hormigones, que son en resumen:

**Morteros:** de 200 Kgs. portland por metro cúbico de arena, para fábricas de cimientos, estribos, pilas, muros y tímpanos; de 300 Kgs. para bóvedas y rejuntados.

**Hormigones:** de 200 Kgs. portland por 0,500 y 1,000 m<sup>3</sup> de arena y grava, para cimientos, pilas, muros y tímpanos; de 300 Kgs. portland para bóvedas; de 400 Kgs. para caños, losas e impostas.

Se construirán (Art. C.) los caños de hormigón, y las demás obras de mampostería preferentemente, pudiendo substituirse ésta por hormigón.

No se empleará más sillería, natural o artificial, que en losas de tapa para tajeas y en impostas de tímpanos.

No se recurrirá al empleo del ladrillo, sino cuando el de las mamposterías u hormigón resulte económicamente imposible.

**Elección de las bóvedas.**—Solo hemos proyectado bóvedas de medio punto y arcos escarzanos, rebajados a 1/5, destinándose éstos a los terraplenes de altura reducida.

También hemos tanteado bóvedas parabólicas (Fig. 174) y elípticas peraltadas, que aparentemente debían resistir al peso de terraplenes de gran altura.

Pero no las proponemos porque su cálculo estático, nos ha producido curvas de presiones más excéntricas que las obtenidas con bóvedas de medio punto de igual luz (1).

La fábrica que ha de constituir estas bóvedas, será indistintamente: hormigón, mampostería en bancos (llamada muchas veces rajuela), o ladrillo en último caso.

---

(1) Sabemos de varios casos de alcantarillas con bóvedas parabólicas, que se aplastaron bajo la presión de los terraplenes.



Todo el cañón de las bóvedas se construirá con el mismo material, incluso en los paramentos, de manera a formar un monolito continuo y homogéneo.

Por esta razón, suprimimos una disposición que consideramos viciosa.

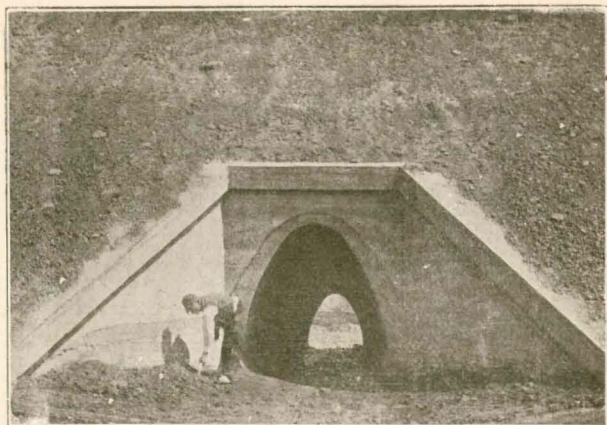


Fig. 174 — Alcantarilla con bóveda parabólica

Es frecuente, casi general, que los frentes de las bóvedas en los paramentos, se ejecuten con espesor uniforme, mientras que entre los tímpanos, se trasdosan estas bóvedas con los espesores crecientes de la clave a los arranques, que demandan las curvas de presiones.

Al ejecutarse todo el cañón de la bóveda con igual material, aparecerán pues sus frentes con todo su espesor.—No hay razón estética que aconseje disimularlo.

**Supresión de las chapas o contraroscas.**—Designánse así unos enlucidos de 2 a 5 cm. de grueso, ejecutados con mortero, con hormigón fino y a veces hasta con asfalto, con los que tradicionalmente viene defendiéndose el trasdos de las bóvedas, contra las filtraciones de agua, que a través de los terraplenes, penetraban en las juntas del dovelage.

Pero esta precaución, que era conveniente cuando las bóvedas se construían con morteros de cal grasa, resulta supérflua,



empleando morteros hidráulicos, que por su rápido endurecimiento no pueden ser arrastrados ni disueltos por las filtraciones.

Y como estas chapas tampoco contribuyen a su resistencia, proponemos suprimirlas, tanto más que los huecos que queden en la fábrica se colmatarán muy pronto.

En los grupos de varias luces, habrá que dejar en la intersección de las semi-bóvedas contiguas, unos drenages de piedra, que se desagüarán por mechinales, a través del arranque de los arcos.

**Elección de los muros.**—Pueden los terraplenes de estas obras estar sostenidos por muros en vuelta o en ala, de forma e inclinación variables, como hemos visto en la Figura 129 - Página 157.

Hemos perseguido la disposición más económica, para los casos corrientes, pues claro está que algunos perfiles transversales, exigen muros de formas variadas y hasta desiguales. (Fig. 130 - Pág. 159).

De minuciosos estudios comparativos que hemos hecho al efecto, resulta que la disposición más económica es la que proponemos.

La característica de estos muros en ala consiste en que sus paramentos interiores son verticales y además normales al eje del camino.

Sus coronaciones a lo largo del terraplén tienen un espesor constante, de 0,30 m. para los caños y tajeas n.º 1, de 0,40 m. para las demás tajeas y las alcantarillas, y de 0,50 m. en los pontones.

El talud exterior de estas aletas, será el necesario para su estabilidad, y así resulta que en alcantarillas y pontones, tienen sus bases cierta inclinación respecto a los paramentos de la obra, que favorece la entrada y salida de las aguas.

Con los paramentos interiores normales al eje del camino, el empuje de los terraplenes es menor que si fuesen oblicuos.

El talud exterior de los muros, reduce sus espesores, para igual estabilidad.

Estos muros se construirán de mampostería, de hormigón ciclópeo o de ladrillo.

Con arreglo al criterio de reducir las fábricas mixtas, suprimimos los zócalos y las coronaciones de sillería que solían darse a estas obras.—Bastará disponer los mampuestos en sentido normal a los paramentos y si fueran de ladrillo, construyendo estas cornisas a sardinel.

**Tímpanos e impostas.**—Simplificamos los tímpanos cuanto sea posible.

Por de pronto, reducimos su altura a lo indispensable, haciendo que el trasdós de la bóveda sea tangente a la imposta (1).

El paramento interior de estos tímpanos, también se proyecta vertical, y sus espesores proporcionales a su altura.

En cuanto a las impostas, única pieza de sillería o piedra artificial que proyectamos, tendrá espesores de 0,20 m. en tajeas y alcantarillas, y 0,25 m. en pontones, con los tizones indispensables.

**Pretilos.**—No proyectamos pretilos para estos modelos, por considerarlos como obras accesorias, cuyas dimensiones y materiales pueden variar mucho con las circunstancias locales, la altura de la obra y los obreros de que se disponga.

**Determinación de los espesores.**—El exclusivo empleo de morteros de cemento y la supresión de las fábricas mixtas, que propuse para estas pequeñas obras de fábrica, al permitir mayores coeficientes de trabajo, parecía llevar consigo una sensible reducción en sus dimensiones, con la consiguiente economía.

Parece efectivamente poco racional, que se adopten en estas fábricas coeficientes de seguridad de 8 y hasta de 10, siendo así que en obras metálicas o de hormigón armado, no exceden de 4.

Pero deben tenerse presente tres circunstancias:

a) En primer lugar, pongámonos en la realidad y recuérdese que estas pequeñas obras, *se ejecutan al principio de los trabajos* y en sitios donde la vigilancia es más difícil y por ende menos frecuente. Es prácticamente difícil inspeccionar en ellas la elección de materiales y su mano de obra.

---

(1) Muchos Ingenieros creen necesario interponer entre el firme o el balasto y las bóvedas, una capa de terraplén que haga de colchón repartidor.—Es una de tantas opiniones tradicionales que considero sin fundamento, ya que el firme o el balasto, se bastan para repartir las presiones sobre el terraplén consolidado.



Precisan pues estas obras tener *un margen de seguridad mayor*, que, por ejemplo, para un puente, en que la inspección puede ser permanente.

b) Las dimensiones de estas obras, necesitan *un mínimo práctico* para su ejecución y además no basta que resistan sus elementos; es necesario que sean *estables*. La estabilidad exige también gruesos mínimos en bóvedas, y sobre todo en muros.

c) Por último, debemos reconocer, que a pesar de los indiscutibles progresos de la mecánica, no existen procedimientos exactos de cálculo, para fijar las dimensiones de aquellos elementos.

Algunos Ingenieros presumen de aproximarse a la verdad, aplicando la teoría elástica, pero *¿de qué sirve la investigación laboriosa de los decimales, si no hay seguridad en las hipótesis, es decir, en las unidades?*

Pretender que las bóvedas y muros de mampostería trabajen como sólidos, homogéneos y elásticos, que los terraplenes empujen como prismas, que la cohesión y el rozamiento de las tierras se sometan a hipótesis elegantes y a leyes matemáticas, parecenme ilusiones de cerebros alucinados por las especulaciones científicas.

Yo también padecí algún tanto esa jactancia y hasta procuré en el caso presente obtener reducción de dimensiones, merced a las teorías modernas.

Pero cuando observé que las fórmulas que establecí, me daban, apesar de sus muchas integrales, resultados absurdos, hube de renunciar a pretenciosas innovaciones, que sería peligroso aplicar a estas pequeñas obras, sometidas a iguales o mayores esfuerzos que los grandes puentes.—Recordemos en efecto, que además de las sobrecargas corrientes, pueden estar sometidas, a las enormes presiones verticales y empujes laterales, de grandes terraplenes, cuyas leyes exactas casi desconocemos, porque ni pueden escogerse las tierras que los constituyen, ni puede sobre todo preverse ni reglamentarse su *régimen de humedad*, que tanto influye en su cohesión y rozamiento.

Así es que después de laboriosas y estériles tentativas, me decidí a renunciar a todos los cálculos fundados en hipótesis de dudosa exactitud.



He preferido recurrir una vez más a la experiencia, que es la más segura de todas las hipótesis, el verdadero fundamento del arte de la construcción, y según afirma Poincaré: «*el manantial único de la verdad*» (1).

En el Capítulo IV del Apéndice n.º 3, de este libro, se detallan las reglas prácticas y las fórmulas empíricas que hemos aplicado para determinar los espesores de caños, tajeas, bóvedas, estribos, pilas, tímpanos y aletas.

Asimismo justificamos los aumentos que deben darse a bóvedas y estribos cuando sobre las obras pequeñas pesan altos terraplenes.

Pueden aplicarse esas reglas y fórmulas, que considero inútil reproducir aquí, a los proyectos especiales de pequeñas obras, cuando los modelos oficiales, que acabamos de examinar, no puedan ajustarse al terreno.



---

(1) La science et l'hypothese, por Henri Poincaré—París 1912—Pág. 167.