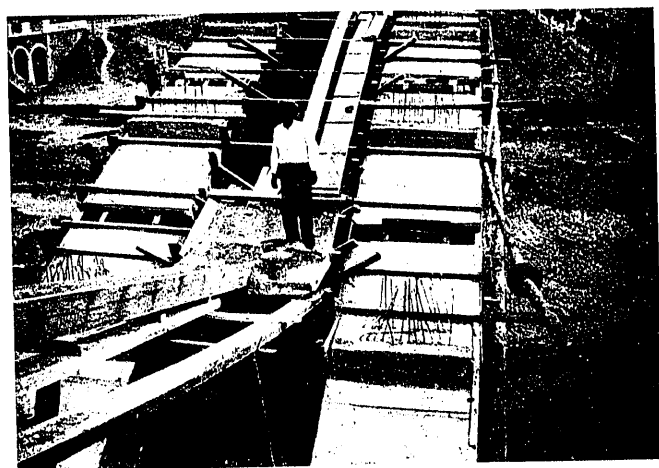


El puente sobre el río Guadalhorce, en Pizarra, Málaga¹

III. — PROCEDIMIENTOS Y DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN. PRÁCTICA DEL DESCIMBRAMIENTO Y CORRECCIÓN.

Fundaciones. — Hubo que prolongar el estribo izquierdo diez metros, mediante excavaciones en recinto de ataguías ejecutadas con agotamientos. Realizada la obra de cimentación, se procedió a construir el estribo de la citada margen y modificación del otro estribo, elevando luego los andamios para la construcción de los salmeres.



Fot. 12. — Juntas entre dovelas, con sus tres zonas libres.

Siendo 49,5 kg./cm.² la máxima carga que el hormigón había de soportar, y adoptando el conocido coeficiente de 0,28, debía disponerse de una mezcla capaz de dar 160 kg./cm.² como carga de rotura, a los tres meses de fabricado, con lo cual a los cuarenta y cinco días se obtienen aproximadamente 130 kilogramos/cm.² y 107 al mes de fabricado.

Tal resultado se consiguió con la escala 1 : 2 : 2, 8, que corresponde a 300 kg. de cemento y 350 litros de arena del tamaño número 14 (tamices americanos).

La construcción del arco se realizó a todo su espesor, pero con juntas radiales que se rellenaron después de construídas todas las dovelas del arco. Éstas se ejecutaron por el orden natural de las mismas desde los arranques a la clave y simultáneamente en los dos anillos, así como simétricamente, mediante cuatro tajos simultáneos. Se situaron las juntas, como más conveniente, correspondiéndose con los pies derechos de la cimbra, disponiendo al

efecto hormigoneras capaces de producir 60 m.³ diarios y permitiendo así la construcción de los anillos en cuatro días de trabajo, cumpliendo la condición esencial de que cada bloque constituya una sola pieza, sin juntas de hormigonado, no consintiendo ni aun la relativa, ocasionada por descanso del personal. El hormigón se ejecutó poco flúido, enérgicamente apisonado, y se procuró que los bloques fuesen formándose por capas concéntricas al intradós, con grueso uniforme.

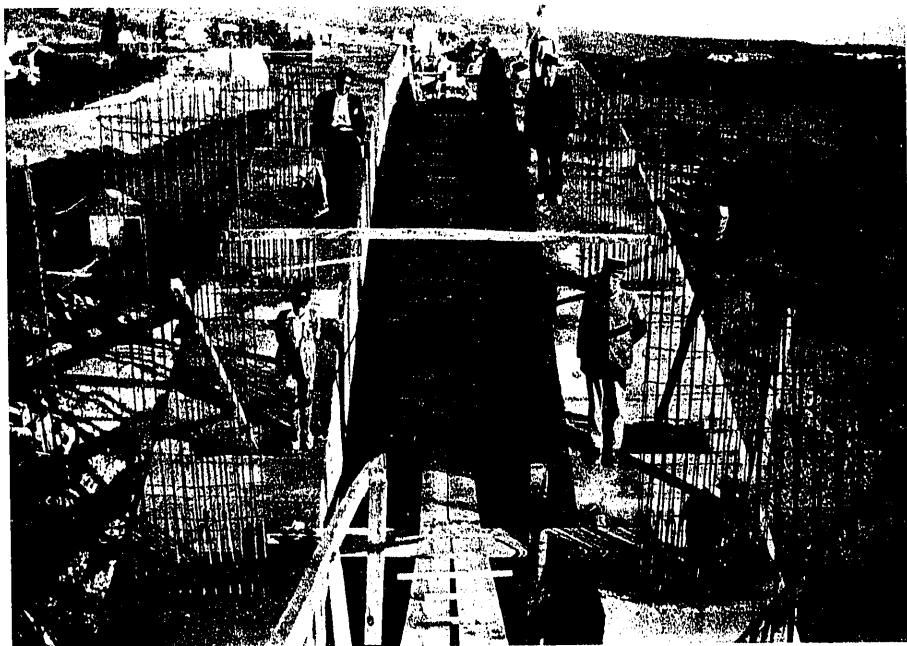
Las juntas corrientes entre dovelas se constituye-



Fot. 13. — Detalle de una junta.

ron mediante tableros formados por tres piezas, una central de 0,80 m. de longitud y dos laterales de 0,35 m. cada una. (Fotografías números 12 y 13.)

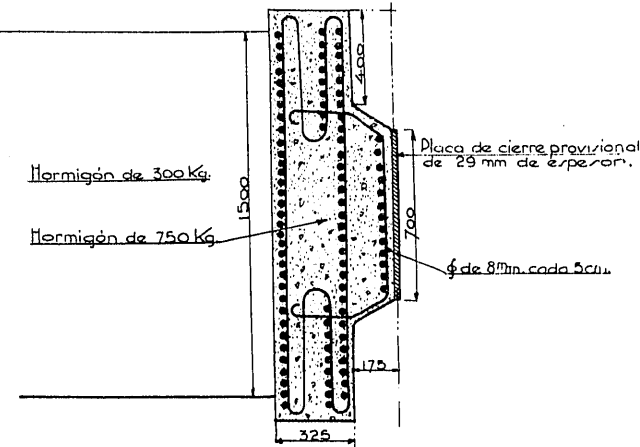
Se comenzó el relleno de juntas a los tres días siguientes a la terminación de los arcos, pero solamente las partes laterales (fotografía número 14), comen-



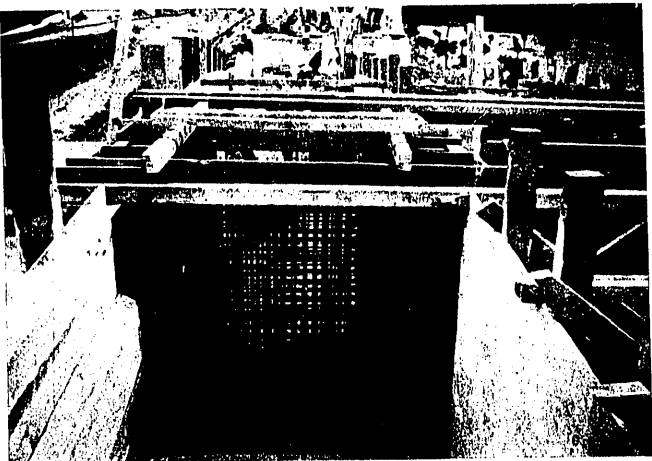
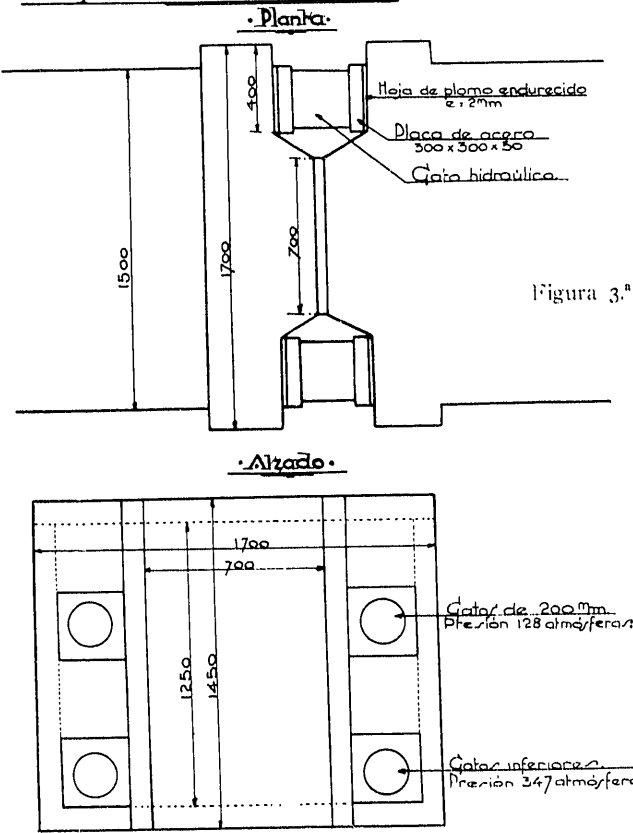
Fot. 14. — Juntas entre dovelas, hormigonadas sus zonas laterales.

¹ Véase el número anterior, página 207.

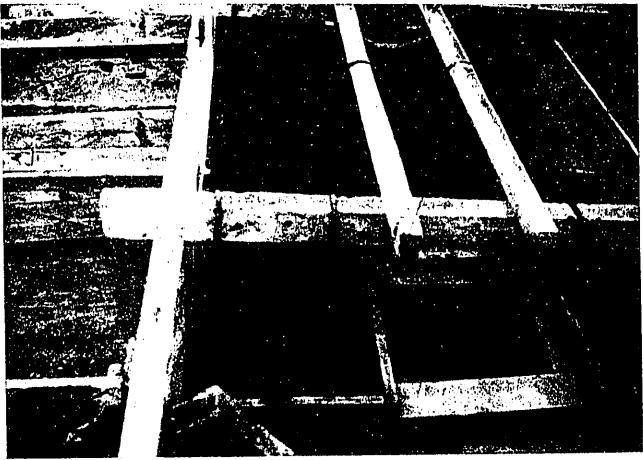
• Detalle de la junta de clave. •



• Disposición de los gatos al descimbrar. •



Fot. 15. — Junta de clave y armadura de las dovelas.

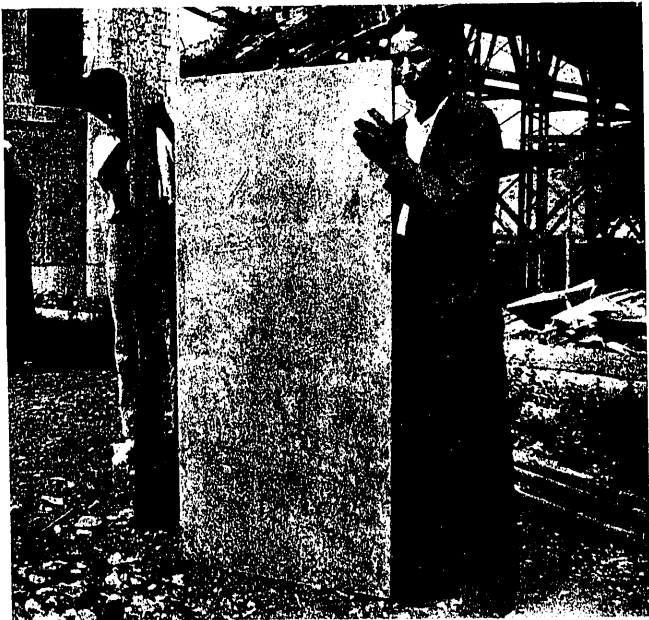


Fot. 16. — Junta de clave y vista de armaduras de dovelas.

zando por los arranques y concluyendo de modo simétrico en cada arco, empleando al efecto hormigón de mayor riqueza, con gravilla más fina, cuidadosa y enérgicamente apisonada. Transcurrida una semana del cerrado del arco, se completaron las juntas con el relleno del resto de las mismas, siguiendo iguales precauciones; plazo que no conviene acortar para que el hormigón de las juntas tenga ya la consistencia debida.

Se procuró que el hormigón de las juntas fuese de resistencia específica vez y media superior que el de las bóvedas, lo que se consiguió con la graduación 1 : 1,2 : 3, que corresponde a 500 kg. de cemento por 300 litros de arena y 840 litros de gravilla de 37 mm.

Los bordes de las juntas de clave, de hormigón cuidadosamente constituido y apisonado, armado con la fuerte cuantía que indica la ligadura correspondiente, se construyeron así para que la rigidez grande de las piezas armadas repartiase uniformemente la presión concentrada de los gatos sobre toda la masa. Las dimensiones de estas piezas fueron las adoptadas en el puente de Villeneuve (fig. 3.ª).

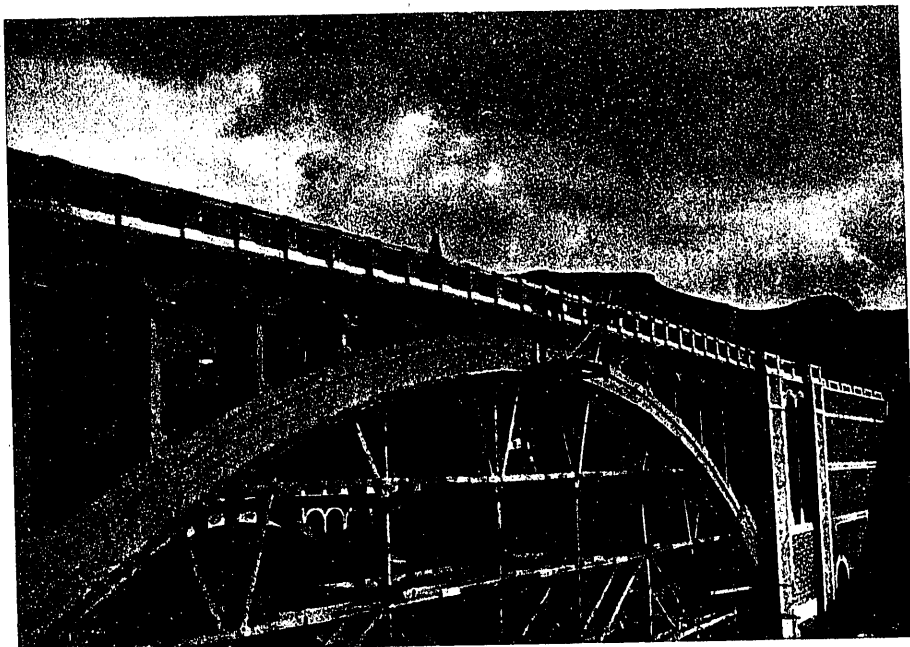


Fot. 17. — Placas de cierre para la clave.

La circunstancia de que la posición de los gatos al descimbramiento deba dejar libre en el centro la mayor zona posible, y al mismo tiempo la colocación de los aparatos convenientes para tratar de obtener comprobaciones, hacen que los gatos tengan que colocarse excesivamente al borde de la placa de apoyo, si ésta se construye de las dimensiones normales. Tal inconveniente lo hemos salvado como se indica en las figuras que acompañan a este artículo, dando un sobreancho en los dos sentidos a las placas de 10 cm., solución que se aprovecha para poner de manifiesto, como en las fotografías se observa, la importante pieza que constituye la clave.

El hormigón de estas juntas está fuertemente mezclado con capas de redondos dispuestos alternativamente, ya que tenía que ser capaz de resistir presiones unitarias de 200 kg./cm.², aunque si el descimbramiento correspondiese a las condiciones de cálculo, la presión unitaria efectiva no había de alcanzar más que 90 kilogramos/cm.² (Fotografías números 15 y 16.)

Aun con la cuantía de armaduras propuesta, no contando al hormigón zunchado como resistente más que vez y media el del hormigón sin zunchar, y necesitándose hormigón que zunchado resistiese a 400 kilogramos/cm.² y sin armadura a 270 kg./cm.², se empleó hormigón de 750 kg. de cemento por 300



Fot. 18. — El puente preparado para las operaciones de descimbramiento y corrección. En la clave, el andamio para realizarlas.

litros de arena y 800 litros de gravilla menor de 15 milímetros.

Gatos. — Como antes dijimos, debían ser capaces de proporcionar 300 toneladas, correspondientes al efecto de las cargas en el instante del descimbramiento y al esfuerzo suplementario de corrección. Se emplearon gatos de 0,20 m. de diámetro, capaces de dar un empuje de 600 toneladas, con lo cual quedaba margen para contingencias imprevistas, ya que trabajando en las condiciones que en los cálculos se prevén, vimos lo harían a presión menor de 250 atmósferas.

Cada elemento va provisto de un manómetro y grifo de retención para inmovilizarle a una presión dada. Están unidos por tuberías en comunicación cada grupo con una bomba y unidos por un conducto con grifo de corte. La instalación y cada gato se probaron a 700 atmósferas.

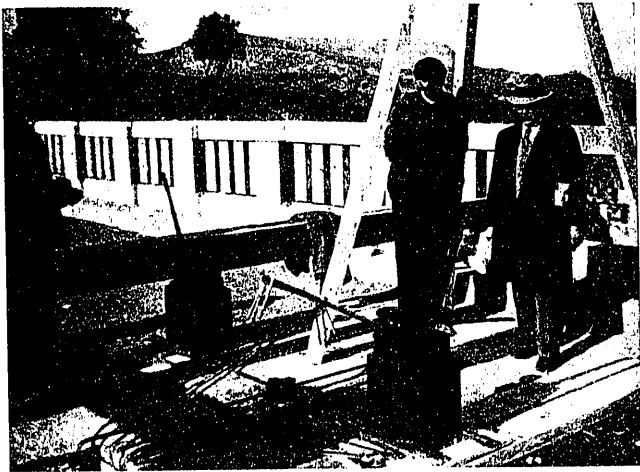
Como, según dijimos, el empuje producido por los gatos había de actuar a 210 mm. más bajo que el centro de la clave, esto se consiguió fácilmente maniobrando los gatos dispuestos éstos como indica una de las figuras adjuntas, pues pudiendo hacerse independientes las presiones de los superiores e inferiores, y siendo desiguales, en la debida escala, se desplaza la resultante en el sentido deseado.

Es evidente que al producir los gatos un empuje de valor y posición iguales a los determinados, la clave abriría una cantidad igual a la prevista, o sea, 23 milímetros y con las caras paralelas, si las condiciones supuestas y las efectivas fuesen coincidentes, lo que da una comprobación de los cálculos o una rectificación respecto a los diversos coeficientes empleados, entre ellos el de elasticidad. Tal es lo que efectuamos, según luego diremos.

La instalación de los gatos fué antes cuidadosamente probada en una zanja abierta al efecto en la ladera de la margen derecha, donde queda al descubierto el conglomerado; de esta manera, al tiempo que se probó la instalación, se obtuvieron datos fidedignos de la resistencia del terreno de fundación.



Fot. 19. — Situación de los gatos hidráulicos en la junta de clave.



Fot. 20. — Instalación de descimbramientos y corrección de la clave.

La presión de los gatos se repartía por unas placas de acero de 30×30 cm., apoyadas, a su vez, en otras de plomo endurecido, para que su contacto sea eficaz y uniforme en toda la superficie de las placas.

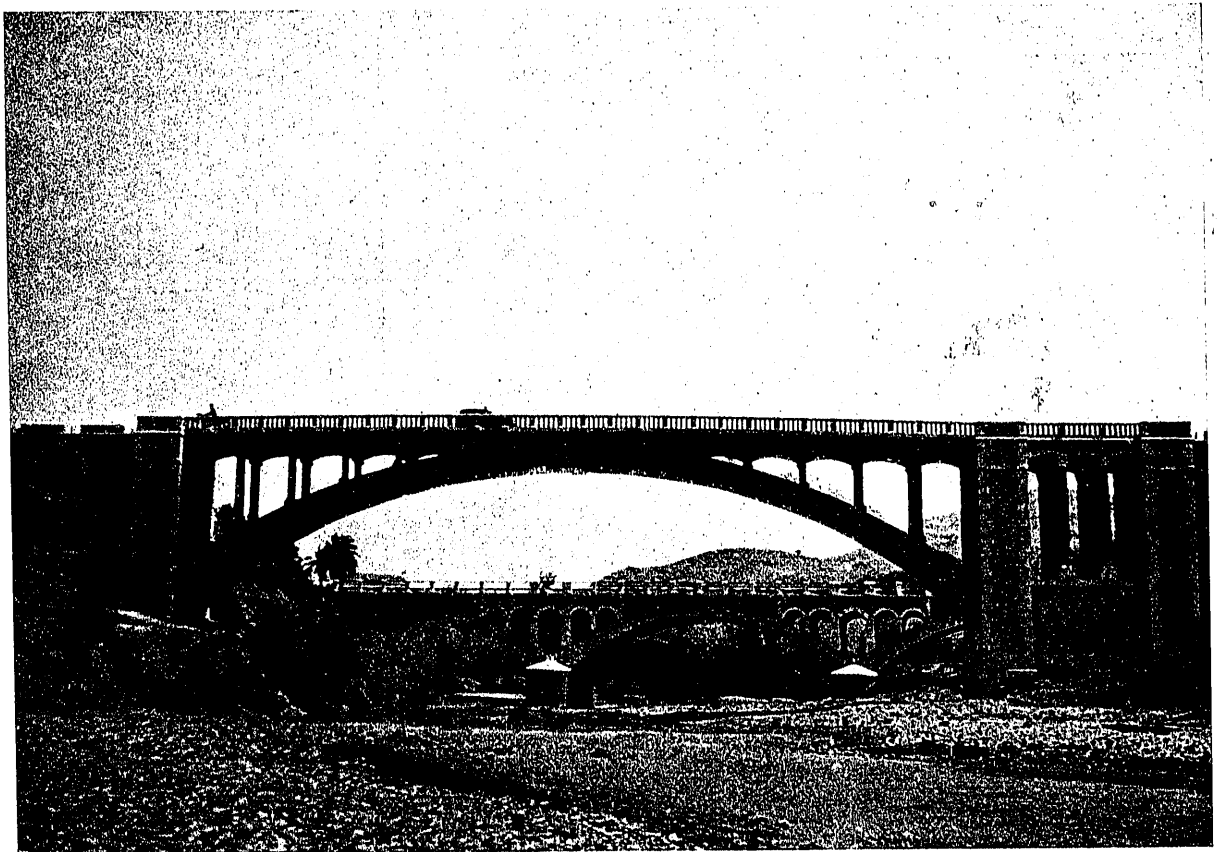
Placas de cierre. — Cálculado en 23 mm. el espesor de las placas, se construyeron de hormigón armado, y por las fuertes presiones a que accidentalmente habían de estar sometidas, se fabricaron con gran esmero, y siendo esto difícil de realizar en tan débiles espesores, para eludir esto se cerraron los arcos durante su construcción sobre placas provisionales de 29 milímetros de grueso, cuya misión no era otra que formar una junta inicial de este espesor; estas placas se engrasaron por ambos lados para evitar su

adherencia al hormigón de los arcos, y dan por resultado que el grueso de las placas definitivas haya de ser el de las provisionales, aumentando en la magnitud hallada por la corrección, es decir, en total para la junta, 52 mm. Esto se consiguió fácilmente con una placa de 50 mm., enlucida con pasta de cemento por ambos lados.

Para prever el caso de que la fibra media de los arcos no hubiese coincidido exactamente con el plano vertical de centros de salmeres, iniciándose una flexión lateral, conveniente de evitar, y siendo un medio práctico y fácil de realizarlo, poner placas que en sus bordes verticales tengan espesores distintos, se construyeron además placas con 3 mm. de sobregrueso en un extremo respecto al otro, colocando el borde más fino en el lado hacia el cual se inicia el pandeo. No fué preciso el empleo de estas placas, y en previsión de que los coeficientes efectivos difiriesen de los experimentales, a causa especialmente del retraso sufrido hasta poder disponer de los aparatos de descimbramiento, se construyó una placa uniforme de espesor mínimo (fotografía 17).

Todas estas placas fueron confeccionadas con mortero de 1 000 kg. de cemento por metro cúbico de arena escogida, y armadas con dos capas de cabillos de 8 mm., dispuestos a 50 mm. de distancia en los dos sentidos de la placa; su confección, en molde perfecto cuidadosamente apisonadas, y empleando mortero seco, enrasadas y aplanadas de modo preciso.

Ensayos previos. — Como anteriormente hemos dicho, como determinación previa al descimbramiento, se investigaron: El coeficiente de elasticidad de la mezcla adoptada para hormigón de los arcos; el coeficiente de retracción de fraguado de la misma mezcla



Fot. 21. — Vista general de la obra terminada. Al fondo, el puente de los F. C. Andaluces.

y la variación de la retracción según el tiempo (este ensayo se prolongó hasta completar el período de un año); la carga de rotura por compresión. Esto en lo que se refiere a los materiales, para los medios o elementos de la construcción, durante la ejecución de los anillos, se instalaron tres flexímetros registradores, por anillo, uno en la clave, anotando las deformaciones al terminar cada trozo de dovela y junta. Para los gatos, como ya hemos dicho, se probaron independientemente a 700 atmósferas, en taller, y a 500 en la zanja de pruebas.

Descimbramiento. — Debía efectuarse, según se prevía en los cálculos, a los cuarenta y cinco días de cerrado el arco; sin embargo, se retrasó considerablemente a causa de dificultades de índole burocrática relacionadas con la adquisición de los aparatos de descimbramiento; por lo cual, si bien se alcanzaron las presiones previstas en los cálculos, la apertura de la junta de clave fué menor y no se pudo colocar la placa del grueso máximo.

Estaban contruídos al verificarse el descimbramiento, como se había supuesto, los tabiques, largueros y piso, excepto el pavimento, y cortado el tablero por sus juntas de dilatación en clave y estribos (fotografía número 18).

Se hicieron con gran cuidado, porque así lo requiere el sistema, las observaciones de las incidencias y movimientos de las distintas partes de la obra durante el descimbramiento y corrección. Para ello se instalaron los aparatos necesarios para acusar los movimientos de la cimbra y de los arcos. Fueron estos aparatos: un Manet en cada una de las pletinas embutidas en el trasdós de los arranques de los anillos; un aparato topográfico en el eje del puente, encima de uno de los estribos; los flexímetros antes indicados, un aparato Manet en cada una de las juntas de clave, para observar las cantidades que abrían los anillos bajo la

presión de los gatos, y un flexímetro relacionando cada anillo con la cimbra, para saber cuánto se levantan aquéllos sobre la cimbra. Por último, los manómetros de los gatos y un termómetro para observar la temperatura ambiente.

Para observar el asiento de los apoyos, se instalaron aparatos de medida para determinar, con menor error de 2 mm., el asiento y retroceso que pudieran experimentar los estribos; instalando un aparato bajo cada salmer y anotando sus indicaciones al comienzo, al fin del descimbramiento del arco y cada doce horas después de descimbrados los anillos, durante cuarenta y ocho horas.

Para efectuar el descimbramiento, preparada la instalación de todos los aparatos para éste (fotografías 19 y 20) y para las observaciones, y probado el funcionamiento normal de todos, se colocó sobre la junta una cabria para cada anillo, con objeto de poder presentar en la junta la placa precisa lo más rápidamente posible, y abiertos los arcos por actuación en los acumuladores hidráulicos de cada grupo, guardando siempre entre los del plano superior e inferior la relación de presiones calculadas, se dejó la placa de cierre de espesor mínimo, alcanzada la presión calculada, y se hizo salir lentamente el líquido de los cuerpos de bomba para el cierre sobre las placas.

El despegue de la cimbra se hizo sin dificultad y el resto de la obra fué terminado normalmente (fotografía 21). Ésta ha sido contruída, con todo esmero, por el contratista Sr. Pérez Plá, y las provechosas enseñanzas adquiridas especialmente en los trabajos de descimbramiento y corrección, han de sufrir una interesante ampliación y nos serán de utilidad para efectuar aplicación análoga, pero en mayor cuantía para las obras del viaducto sobre el Esla.

César VILLALBA GRANDA,
Ingeniero de Caminos.

Sobre la cubicación de embalses

Recientemente, el Sr. González Quijano, en sus artículos sobre "Cubicación de embalses" (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 15 julio, 1.º y 15 agosto 1935), ha expuesto interesantes aspectos de esta cuestión invitando a los compañeros a comunicarle los datos que poseyeran. También D. Clemente Sáenz, en comunicación al XIV Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Santiago, trató tema semejante, indicando algunas consecuencias prácticas como las que el Sr. González Lacasa ha utilizado en su proyecto de pantano de Ortigosa de Cameros.

Como dice el Sr. González Quijano, hay en la literatura técnica abundantes antecedentes de la asimilación de las curvas características de un embalse a expresiones analíticas de la forma ax^n , y por mi parte, hace tiempo que he venido comparando las curvas de volumen de los embalses que he estudiado con parábolas de tercer orden de la fórmula sencilla $v = kh^3$ y utilizando algunas de las propiedades de carácter elemental que de aquí se derivan. Aun prescindiendo del interés científico de la cuestión, se facilita en forma considerable, por esta asimilación,

el cálculo aproximado de la capacidad reguladora y de la altura de la toma de agua más convenientes.

En la figura 2.ª se presentan, en escala logarítmica, las leyes altura-volumen de varios embalses en cuyos proyectos he intervenido; puede comprobarse su forma casi rectilínea y en conjunto su paralelismo

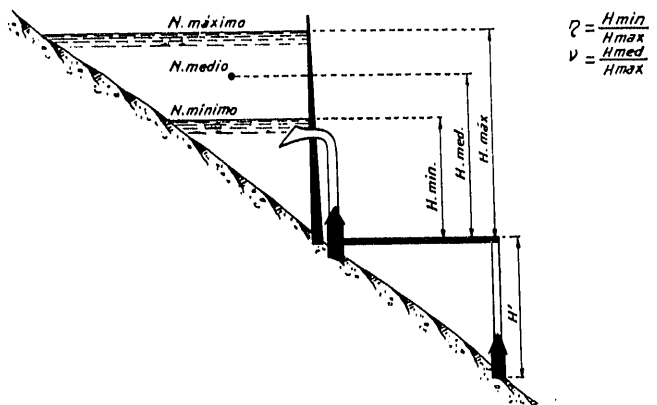


Figura 1.ª