

## EL EMPLEO DEL HORMIGON EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES <sup>(1)</sup>

POR

FRANCISCO MARDONES



Hasta no hace muchos años, los puentes contruidos con el carácter de definitivos han sido hechos casi esclusivamente de mampostería. Mas tarde, con la introduccion del hierro primero i del acero despues como materiales de construccion, la mampostería ha sido en gran parte reemplazada en las superestructuras por aquellos metales.

En tésis jeneral, esta suplantacion ha tenido su orijen en el costo de primer establecimiento de las obras.

He aquí el por qué:

El cálculo de las bóvedas de mampostería ha sido universalmente ejecutado fijando *a priori* sus dimensiones, valiéndose de fórmulas empíricas, y verificando en seguida su estabilidad por el procedimiento del trazado de la curva de

---

(1) Conferencia leida en el Instituto de Ingenieros de Chile. Un resumen con el título: «Los progresos del hormigon en la construccion de puentes», ha sido publicado en los *Anales* de aquella Corporacion.—V. pájinas 476 i siguientes.

los centros de presion. Ahora bien, sabido es que la posicion de esa curva es indeterminada en tanto que no se conozcan tres de sus puntos; i sabido es tambien, que la indeterminacion ha sido salvada imaginando que una vez practicado el descimbramiento de la bóveda, uno de esos puntos se coloca al límite superior del tercio central en la clave, i los otros dos al límite inferior del tercio central en las juntas de rotura. Basándose, pues, la verificacion de la estabilidad de las bóvedas en esta hipótesis, se atribuye a las presiones medias en las diversas secciones del arco, valores mui superiores a los que se obtendrian si la curva de los centros de presion pasara por los centros de las juntas de clave i de rotura; i consiguientemente, espesores tambien superiores a los que se necesitarian en este segundo caso, sin que, por lo demas, los valores indicados por el procedimiento tengan nada de positivo. Como es natural, los resultados son tan hipotéticos como el método que los proporciona.

Iguales o análogas observaciones que las indicadas para el método de Mery, que es el diseñado, merecen los propuestos por diversos injenieros como Durand Claye, Resal, Tourtay, etc., quienes, por la importancia de la cuestion, se han preocupado de ella con laudable interés, pero sin conseguir indicar para el problema una solucion realmente satisfactoria.

Por otra parte, encontrándose en el hierro i en el acero preciosas propiedades que en grado conveniente faltan en la mampostería: la elasticidad i la homogeneidad, el cálculo de las superestructuras metálicas, aunque no sea absolutamente perfecto, ha podido encuadrarse mejor dentro de ciertas normas.

Todas estas circunstancias, reflejándose directamente sobre el aspecto económico de la cuestion, especialmente por lo que atañe a las fundaciones, han traído como consecuencia que el costo de primera instalacion sea, en jeneral, mas considerable para la obra de mampostería que para la de superestructura metálica; i de aquí la manifiesta predileccion acordada por los injenieros al segundo tipo.

Pero, olvidando que al lado de las ventajas peculiares del hierro i del acero existen algunos inconvenientes en las superestructuras hechas con estos materiales; olvidando que su duracion es necesariamente limitada i que sólo puede prolongarse merced a una continua vijilancia i cuidados de conservacion que exigen gastos nada despreciables, se ha hecho de ellos un uso que no trepidamos en llamar inmoderado, prescribiendo la albañileria, aun en aquellos casos en que por las condiciones locales ella habria debido imponerse.

Mas tarde, cuando la esperiencia poniendo de manifiesto las ventajas de la obra de fábrica sobre el puente metálico, desde el punto de vista de su duracion indefinida, de sus escasos gastos de conservacion, de la vijilancia casi nula que exige, de sus mejores condiciones de establecimiento en los trozos accidentados de las vias, de sus menores exigencias de refuerzos para el caso de aumento de las cargas rodantes, del menor tiempo requerido para su ejecucion, de su mejor aspecto estético, etc., ha venido a patentizar cuán injustificada ha sido la exclusion de la albañileria en puentes de condiciones no escepcionales, ha vuelto a surgir la competencia entre los de fábrica i los metálicos; i con tales ventajas para los primeros, que hoi día se les prefiere casi uniformemente en todos los casos en que las características de la ubicacion lo permiten; aun en aquellos países en que, por el desarrollo alcanzado en la industria de la siderurjia, el costo de las construcciones metálicas es relativamente bajo.

No seria posible desconocer los progresos realizados en los últimos años en materia de construccion de puentes de albañileria, especialmente en lo que concierne a los procedimientos de construccion. Sin necesidad de citar un gran número de obras de esta especie, bástenos señalar este hecho:

Con escepcion del puente Trezzo, establecido en 1377 i destruido en 1416, i que tenia 71.25 m. de luz, no se ha construido hasta unos quince años mas que seis puentes de fábrica con arcos de luz superior a 50 m.: el *Cabin John* (Estados

Unidos, 1861) de 67.10 m. de luz, 17.47 m. de flecha i 2.90 m. de espesor en la clave; el *Gour Noir* (Francia, 1883) de 62 m. de luz i 16.10 m. de flecha; el *Lavaur* (Francia, 1884) de 61.50 m. de luz, 27.50 m. de flecha i 1.65 m. de espesor en la clave; el *Chester* (Inglaterra, 1833) de 60.96 m. de luz, 12.81 m. de flecha i 1.22 m. de espesor en la clave; el *Vieille Brionde* (Francia, 1854) de 54.20 m. de luz, 21 m. de flecha i 2.27 m. de espesor en la clave; el *Nogent-sur-Marne* (Francia, 1856) de 50 m. de luz, 25 m. de flecha i 1.80 m. de espesor en la clave.

El número de puentes de albañilería con arcos de 50 o mas metros de luz contruidos en los últimos años es bien considerable, mereciendo citarse especialmente el *Bollochingle* (Escosia, 1897) de 55.17 m. de luz; el *Max. Joseph* (Austria), de 64 m. de luz; el *Gutach* (Suiza, 1900) de 64 m. de luz i 16.10 m. de flecha; el *Schwandeholtzobel* (Suiza) de 57 m. de luz; el *Jaremcze* (Hungria, 1893) de 65 m. de luz i 17.90 m. de flecha; el *Adda* (Italia, 1903) de 70 m. de luz, 10 m. de flecha i 1.50 m. de espesor en la clave; el *Luxemburgo* (Francia, 1889-1903) de 84 m. de luz, 31 m. de flecha i 1.44 m. de espesor en la clave; i el *Federico Augusto* (Plauen, Alemania, 1903-1905) de 90 m. de luz, 18 m. de flecha i 1.50 m. de espesor en la clave.

Ha sido particularmente Alemania, en donde hasta hace unos veinticinco años no se habia construido sino escepcionalmente algun puente de fábrica de relativa importancia, el pais en donde mejor se ha hecho notar ahora la preferencia por los puentes de albañilería, preferencia consagrada oficialmente en las prescripciones para el cálculo de las superestructuras metálicas de puentes, que establecen que *el puente metálico no debe adoptarse sino cuando la construcción de un puente de albañilería sea impracticable o ménos ventajosa*.

No quiere decir esto que en otros paises la preferencia en que nos ocupamos sea ménos palpable: Austria, Francia, Estados Unidos, Italia, Suiza, España, etc., la han manifestado de un modo bien elocuente; i a tal punto, que se puede ya predecir fundadamente que ántes de muchos años el puente

metálico quedará reservado a los casos en que sea imposible establecer el puente de fábrica.

Es sugestiva la siguiente informacion tomada de las propias revistas de los paises a que se refiere. Como una norma jeneral las compañías Pensylvania Railroad, Illinois Central, Cincinnati-Indianapolis en Estados Unidos, Nürtingen a Neuffen en Alemania, Ferrocarriles del Adriático en Italia, Tarsis a Calaguas en España, etc., construyen hoy preferentemente todos sus puentes de mampostería, ya sea los puentes nuevos como los que hai que reemplazar a causa del incremento en el peso del material rodante i los que es necesario modificar a causa del aumento en el número de las vias.

Conjuntamente con los perfeccionamientos alcanzados en el arte de construir, han sido poderosos auxiliares de este resurgimiento de los puentes de albañilería, tanto la adaptacion de las articulaciones a las bóvedas de puentes como el empleo del hormigon, ya sea simplemente comprimido, ya sea armado.

---

El empleo de la triple articulacion, fijando de una manera invariable la posicion de la curva de los centros de presion ha convertido el problema, ántes indeterminado del cálculo de una bóveda, en uno estáticamente determinado, que permite fijar exactamente la magnitud de los esfuerzos en las diversas secciones para cualquier reparticion de las fuerzas solicitantes i que, en consecuencia, permite determinar los espesores mas convenientes para un trabajo prefijado del material; lo que significa que la masa total de la obra queda reducida a sus justas proporciones.

Por lo demas, en una bóveda con triple articulacion quedan casi enteramente eliminadas las influencias de las variaciones de temperatura, de los movimientos de los apoyos i del asiento de las cimbras, cuando no son mui considerables, i que causa de tantas preocupaciones han sido en las bóvedas empotradas.

Bien que la idea de adaptar la triple articulacion a los puentes de fábrica haya tenido su origen en Francia con Dupuy en 1870, i en términos mas precisos con Brosselin en 1877 con motivo de la construccion del puente Tolbiac, las primeras aplicaciones han sido hechas en Württemberg (Alemania), a partir de 1885, por Mr. Leibbrand. El siguiente cuadro reúne las principales características de las primeras obras construidas bajo la direccion de dicho ingeniero, i en las cuales las articulaciones están constituidas por láminas de plomo.

| DESIGNACIONES                                           |  | UNIDADES              | PUENTE SOBRE EL RIO:     |                            |                               |                             |                                 |                            |                     |
|---------------------------------------------------------|--|-----------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------|
|                                                         |  |                       | ENZ<br>cerca de<br>Hofen | ENZ<br>cerca de<br>Wiltbad | GLATT<br>cerca de<br>Neunneck | MURR<br>cerca de<br>Marbach | MURK.<br>cerca<br>de Baierbrunn | FORBAG<br>en<br>Baierbrunn | cerca de<br>Ehingen |
| Año de la construcción.....                             |  |                       | 1885                     | 1886                       | 1886                          | 1887                        | 1889                            | 1890                       | 1891                |
| Luz aparente.....                                       |  | m.                    | 28.00                    | 15.60                      | 17.00                         | 32.00                       | 33.00                           | 25.00                      | 18.00               |
| Flecha de la bóveda.....                                |  | "                     | 2.80                     | 3.25                       | 3.00                          | 3.00                        | 3.30                            | 3.03                       | 3.60                |
| Luz real entre fundaciones.....                         |  | "                     | 45.00                    | 20.60                      | 20.80                         | 43.50                       | 46.00                           | 6.60                       | 6.80                |
| Ancho del puente.....                                   |  | "                     | 3.90                     | 7.00                       | 5.50                          | 6.20                        | 6.60                            | 0.80                       | 1.00                |
| Espeor de la bóveda.....                                |  | "                     | 1.50                     | 0.80                       | 0.80                          | 1.50                        | 0.80                            | 0.60                       | 0.45                |
| En los arranques.....                                   |  | "                     | 1.00                     | 0.50                       | 0.40                          | 20                          | 20                              | 20                         | 20                  |
| En la clave.....                                        |  | "                     | 20                       | 20                         | 20                            | 20                          | 20                              | 130                        | 100                 |
| Juntas { Espesor.....                                   |  | mm.                   | 500                      | 200                        | 200                           | 500                         | 180                             | 110                        | 100                 |
| de plomo { Ancho.....                                   |  | "                     | 350                      | 200                        | 100                           | 400                         | 170                             |                            |                     |
| En los arranques.....                                   |  | "                     |                          |                            |                               |                             |                                 |                            |                     |
| Ancho.....                                              |  | "                     |                          |                            |                               |                             |                                 |                            |                     |
| Tiempo empleado en la construcción de la bóveda.....    |  | días                  | 7                        | 10                         | 36                            | 21                          | 13                              | 12                         | 22                  |
| " trascurrido hasta el descimbramiento.....             |  | "                     | 35                       | 14                         |                               | 41                          | 28                              | 18                         | 15                  |
| Descenso de la bóveda { En el descimbramiento.....      |  | mm.                   | 40                       | 11                         | 15                            | 39                          | 92                              | 20                         | 14                  |
| en la clave { Total.....                                |  | "                     | 56                       | 18                         | 15                            | 55                          | 163                             | 45                         | 14                  |
| Trabajo máximo { En las fundaciones.....                |  | kgm./cm. <sup>2</sup> | 8.4                      | 4.5                        | 4.7                           | 7                           | 17.8                            | 5.6                        | 6.9                 |
| " " los arranques.....                                  |  | "                     | 13.5                     | 10.5                       | 5.4                           | 16.1                        | 31.8                            | 18.5                       | 5.9                 |
| " " las juntas de rotura.....                           |  | "                     | 24.0                     | 21.0                       | 15.3                          | 23.1                        | 50.9                            | 56.4                       | 14.2                |
| " " la clave.....                                       |  | "                     | 18.0                     | 7.3                        | 8.2                           | 18.4                        | 40.8                            | 2.1                        | 8.9                 |
| Trabajo máximo unitario de la junta de plomo.....       |  | "                     | 60.0                     | 46.0                       | 36.0                          | 55.0                        | 115.0                           | 102.0                      | 61.0                |
| Tiempo empleado en la construcción.....                 |  | meses                 | 10                       | 5                          | 3                             | 8                           | 4                               | 4                          | 8                   |
| TOTAL.....                                              |  | francos               | 30396.25                 | 17946.25                   | 10000.00                      | 40351.25                    | 23387.50                        | 18262.50                   | 13825.00            |
| Costo { Por m. <sup>2</sup> cubierto.....               |  | "                     | 280.00                   | 163.75                     | 101.25                        | 205.00                      | 107.50                          | 110.00                     | 123.75              |
| de la obra { " m. <sup>2</sup> de superficie total..... |  | "                     | 177.50                   | 113.75                     | 78.75                         | 131.25                      | 88.75                           | 86.25                      | 88.75               |

Todos estos puentes son de estribos perdidos, cuyos perfiles están en jeneral, limitados por las prolongaciones de las curvas de intrados i trasdos; la curva de intrados es un arco carpanel, cuya parte aparente es el arco de círculo central

Los seis primeros son en parte de piedra i en parte de hormigon i el último totalmente de hormigon, salvo las cabezas de la bóveda que están revestidas con dovelas de piedras calcáreas del Jura; el hormigon está compuesto de una parte de cemento, dos de arena i seis de guijarros; en las juntas de fractura i en la clave van dos filas de dovelas de piedra tallada entre las cuales están colocadas las láminas de plomo.

La construccion de todos estos puentes ha sido el punto de partida de los progresos hoi alcanzados con la adaptacion de las articulaciones a las bóvedas. De las juntas reducidas de plomo se ha pasado a las articulaciones de piedras graníticas i a las metálicas, habiéndose llegado ya a establecer un puente rielero de 70 m. de luz sobre el rio Adda (Morbegno), sin que hayan faltado proyectos de 100 m. de luz con dicho dispositivo.

Tendremos ocasion de mencionar mas adelante algunas obras bien importantes con bóvedas articuladas. Entre tanto, he aqui algunos detalles del puente Adda, (lámina I), situado en la línea de Colico a Sondrio, que pertenece a la Sociedad de los Ferrocarriles del Adriático.

Consta de un sólo arco con triple articulacion, de 70 m. de luz i 10 m. de flecha. El espesor en la clave es de 1.50 m. i en los arranques de 2.20 m. El ancho del puente es de 5.26 m. en el centro i 6.25 m. en los estribos. La curva de intrados es una carpanel de tres centros, siendo de 75 m. el radio del arco central i de 50.55 m. el de los laterales. Los tímpanos están alijerados por galerias trasversales de 4.50 m. de luz cubiertas con bovedillas de medio punto. Las articulaciones son de hierro dulce con ejes de acero, habiéndose rellenado con mortero el hueco dejado entre ellas, después de haber terminado completamente la obra; de modo que la bóveda se halla articulada para el caso de la carga permanente i empotrada para la sobrecarga móvil.

La piedra sillar, labrada en todas sus caras, empleada en la construccion de la bóveda es un granito cuya resistencia de rotura por compresion llega a 1100 kg. cm.<sup>2</sup> El arco no trabaja por traccion en ningun punto i la presion máxima no excede de 56 kg. cm.<sup>2</sup>

Los piés derechos de las galerias transversales son de mamposteria ordinaria i el relleno entre paramentos de hormigon de cemento.

El mortero empleado en la bóveda está compuesto de 600 kg. de cemento por metro cúbico de arena. En los estribos i en los arcos secundarios se ha usado hormigon compuesto de 200 kg. de cemento Portland en los primeros i 300 kg. en los segundos, por 0.500 m.<sup>3</sup> de arena i 0.850 m.<sup>3</sup> de piedras partidas o sea cascote de piedras. El resto de la obra se ha hecho con mortero de cal hidráulica.

---

Otro de los factores que mas ha contribuido a dar impulso al establecimiento de puentes de fábrica, ha sido, sin duda, el gran contingente aportado por el empleo del hormigon, material que tan ventajosamente reemplaza, en muchos casos, a la piedra natural.

El hormigon, especie de conglomerado que se obtiene mezclando i apizonando convenientemente el mortero con gravas, guijarros, cascote de piedras u otros materiales, es de origen bien remoto; pero sus aplicaciones sólo han adquirido importante desarrollo con la fabricacion de los cementos, que por la rapidez del fraguado i por su resistencia, le han comunicado cualidades superiores a las que eran propias cuando se fabricaba con cales o puzolanas.

El empleo del hormigon en las bóvedas de puentes, por lo ménos en obras pequeñas, es bastante antiguo; pero su aplicacion en obras de alguna importancia sólo ha venido a desarrollarse en los últimos tiempos i con éxito cada vez mas creciente, como lo ha comprobado el gran número de puentes contruidos con este material i de los cuales nos ocuparemos mas adelante.

Notable influencia ejerce sobre la resistencia del hormigon, no sólo la buena calidad de los materiales que se emplean sino que tambien, la proporcion en que ellos entran, las condiciones en que se hace la fabricacion en la cancha i su colocacion en la obra.

Dos palabras sobre cada uno de estos puntos.

**Cemento.**—Los cementos que se emplean para confeccionar el hormigon con que se construyen las bóvedas de puentes son los denominados Portland o de fraguado lento, ya que por una parte, no hai ningun interes en que la masa endurezca rapidamente i que, por otra parte, se desea un cementante que proporcione para el hormigon la mayor resistencia posible.

Cualesquiera que sea la fábrica de donde proviene el cemento que debe emplearse, interesa scmeter a ensayos diversas muestras tomadas de las partidas que por no tener indicios de haber sufrido humedad sean declaradas admisibles. Esos ensayos estan destinados ha comprobar:

- 1.º El peso específico;
- 2.º La densidad aparente;
- 3.º La finura de la molienda;
- 4.º La composicion química;
- 5.º La duracion del fraguado;
- 6.º La deformacion en frio i en caliente, despues del fraguado; i
- 7.º La resistencia a la traccion en probetas de cemento puro i en probetas de mortero de cemento i arena normal.

1.º *Peso específico.*—El peso específico del cemento Portland fresco varia desde 3.12 a 3.25. A un cemento de buena calidad debe exijirsele que su peso específico no sea inferior a 3.

2.º *Densidad aparente.*—Se determina por el peso del volumen de un cubo de un litro de capacidad llenado por medio del plano inclinado, vertiendo el cemento suavemente, o bien por medio del embudo de cedazo en una medida cilíndrica de 0.10 m. de altura i de 1 litro de capacidad, evitando toda trepidacion al verter el cemento. Puede admitirse

como peso del litro de un buen cemento Portland un mínimum de 1000 gr. i un máximun de 1200 gr. en el primer caso, i un mínimum de 1200 gr. i un máximun de 1400 gr. en el segundo.

El ensayo debe practicarse siempre con el cemento que ha pasado por el tamiz de 4900 mallas por centímetro cuadrado.

3.º *Finura de la molienda.*—El cemento de buena calidad debe presentarse en polvo impalpable, puesto que si así no fuese los granos sólo se volverían completamente activos superficialmente al mezclarlos con el agua, conservando su parte central, sino del todo ajena, por lo ménos un tanto extraña al proceso de la mezcla. Puede estimarse que la actividad de los granos del cemento es inversamente proporcional a sus diámetros.

Racionalmente, es aceptable un cemento que sólo deje un residuo máximo de 5% en el cedazo de 900 mallas por centímetro cuadrado, i de 25% en el de 4900 mallas por centímetro cuadrado, siendo de 0.15 m m. el diámetro de los hilos en el primero, i de 0.05 m m. en el segundo.

4.º *Composicion química.*—Aunque el análisis químico sea insuficiente para juzgar de la calidad de un cemento, tiene, sin embargo, gran importancia i debe practicarse siempre que sea posible. Las proporciones de los diferentes elementos químicos que componen un buen cemento Portland varían dentro de límites bien restringidos, que, según Caudlot, son los siguientes:

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Cal.....             | 58.12 a 67.31% |
| Sílice.....          | 20.09 a 26.10  |
| Alúmina.....         | 5.20 a 10.60   |
| Oxido de hierro..... | 2.10 a 5.30    |
| Magnesia.....        | 0.33 a 2.30    |
| Acido sulfúrico..... | 0.26 a 1.78    |

En términos jenerales, debe estimarse inaceptable todo cemento Portland para el cual el análisis químico indique la presencia de mas de 1.8 % de ácido sulfúrico o la presencia

de sulfuros en cantidades dosificables; pudiendo, por otra parte, admitirse una tolerancia máxima de 4 % de óxido de hierro i 2 % de magnesia. Debe siempre exigirse un valor igual o superior a 0.45, para el índice de hidraulicidad, o sea para la relacion entre el peso total de la sílice combinada i la alúmina por una parte i la cal por otra.

5.º *Duracion del fraguado.*—El fenómeno del fraguado de un cemento es influenciado por diversas causas, especialmente por la composicion química i por la temperatura. Asi, por ejemplo, la presencia del sulfato o del cloruro de cal lo retrasa, mas o ménos segun la proporcion en que entran estos compuestos químicos; la presencia de los carbonatos o silicatos alcalinos lo acelera; la temperatura baja lo retarda, en tanto que la temperatura alta lo activa. La proporcion de agua empleada i la finura de la molienda influyen tambien grandemente en este fenómeno.

Tanto este ensayo como los siguientes deben efectuarse sobre pasta de consistencia normal. Se determina ésta por medio de la sonda de Tetmayer, de 0.02 m. de diámetro i 300 gr. de peso, sobre pasta encerrada en una caja cilíndrica de 0.04 m. de alto, i de 0.10 m. de diámetro, o sobre una tronco-cónica de la misma altura, i de 0.09 m. de diámetro superior, i 0.08 m. de diámetro inferior. La consistencia de la pasta se estima normal cuando la sonda penetra hasta unos 0.034 m., es decir cuando deja inferiormente una capa que no exceda de 0.006 m. de altura. La preparacion debe hacerse amasando con la espátula unos 400 gr. de cemento durante cinco minutos, contados desde el momento en que se agrega el agua, i el ensayo practicarse inmediatamente despues.

Se procede por tanteos sucesivos i sin aprovechar nunca el exceso de argamasa sobre la capacidad de la caja: se confecciona primero la pasta con una pequeña cantidad de agua a fin de formar una masa en la cual la sonda no penetre hasta la profundidad ántes indicada; i se repite en seguida la experimentacion tantas veces cuantas sean necesarias, agregando cada vez unos 20 gr. mas de agua, hasta que dos ensayos consecutivos den, el uno una pasta de consistencia su-

perior, i la otra inferior a la normal. Un último ensaye con una cantidad de agua igual al promedio de la empleada en los dos anteriores será el decisivo si repetido unas tres veces la sonda deja inferiormente una capa de 0.006 m. o poco menos. En caso contrario, se proseguirán las aproximaciones en forma análoga, tomando como cantidad de agua necesaria para formar pasta de consistencia normal la menor que se haya empleado en los tres últimos ensayes en los cuales la sonda haya dejado inferiormente una capa menor de 0.006 m.

Debe exigirse a un buen cemento Portland, en la hipótesis de que el ensayo se haga a una temperatura comprendida entre 15 i 18°, sobre una pasta de consistencia normal, un minimum de treinta minutos para el tiempo trascurrido entre el momento en que se ponga en contacto el cemento con el agua i el principio del fraguado, i un minimum de tres horas i un maximum de doce para la duracion del fraguado. El ensayo se hace con la aguja de Vicat de 1 mm.<sup>2</sup> de seccion i 300 gr. de peso, considerándose como *principio del fraguado*, el momento en el cual la masa encerrada en un depósito cilíndrico de 0.10 m. de diámetro i 0.04 m. de altura, o en uno tronco-cónico de 0.04 de alto, 0.09 m. de diámetro superior a 0.08 m. de diámetro inferior, no se deja penetrar hasta el fondo de la caja; i como su *fin* cuando la superficie de la pasta pueda sostener la aguja sin que ésta penetre en cantidad apreciable, inferior a 0.1 mm.

6.º *Deformacion*.—Un Portland de buena clase debe presentar ciertos caracteres de indeformabilidad en frio i en caliente. La indeformabilidad en frio se comprueba por medio de galletas-circulares confeccionadas sobre placas de vidrio. Estas galletas, de 0.08 a 0.10 m. de diámetro, i de 0.015 a 0.020 m. de espesor en el centro i adelgazadas en los bordes, se retiran de las placas unas veinticuatro horas despues de su confeccion i se sumerjen en agua tranquila a la temperatura de 15 a 18°. Estas muestras no deben agrietarse, ni sus bordes levantarse, o lo que es lo mismo, su cara inferior debe permanecer plana, cualquiera que sea el tiempo que se les mantenga en el agua. Si se prefiere conservar las galletas sobre

sus placas, no debe notarse en ningún tiempo que los bordes de las primeras se desprendan o abandonen su contacto con las segundas.

La indeformabilidad en caliente, puede verificarse con torlas análogas a las anteriores sumerjidas despues de terminado el fraguado en agua cuya temperatura se eleva gradualmente hasta  $100^{\circ}$ , manteniéndolas unas cuatro horas a esta temperatura que se deja bajar en seguida hasta los  $15$  a  $18^{\circ}$ , sin que deban producirse grietas ni pliegues, sin que los bordes se levanten i sin que se noten principios de disgregacion.

Mas comunmente este ensayo se practica en cajas cilindricas abiertas segun una jeneratriz i que lleva dos indices rectos i perpendiculares al eje, soldados uno en cada borde de la hendidura. La administracion francesa de Puentes i Calzadas, exige cilindros de  $0.03$  m. de diámetro i  $0.63$  m. de alto con indices de  $0.15$  m. de largo. Se llenan estas cajas, teniendo cuidado de mantener los indices en contacto sobre toda su longitud mediante un anillo; se sumerjen en agua a la temperatura de  $15$  a  $18^{\circ}$  hasta el fin del fraguado, se quita el anillo, observando si existe diferencia en las puntas de los indices; se aumenta en seguida la temperatura del agua hasta  $100^{\circ}$  durante un periodo de tiempo comprendido entre quince i treinta minutos; se mantiene el agua a esa temperatura durante seis horas consecutivas i se le deja despues enfriar hasta la temperatura inicial. Rechaza todo cemento para el cual la muestra en ensayo haya producido una separacion superior a  $0.006$  m. entre las puntas de los indices, o que presente grietas o principios de disgregacion.

7.º *Resistencia a la traccion.*—Es uno de los ensayos mas importantes para apreciar la calidad de un cemento. Se practica por medio de la balanza de Michaelis sobre probetas confeccionadas con pasta de cemento puro i con mortero de cemento i arena normal, tomando siempre como resultado el promedio de los obtenidos sobre cinco probetas por lo ménos, en cada una de las series que se desee i cuyo número no debe ser inferior a tres.

Las pastas deben formarse sobre placas de mármol o de

vidrio en la cantidad necesaria para confeccionar las cinco probetas, ejecutando el amasado enérgicamente con la espátula durante unos cinco minutos. De antemano deberá determinarse la cantidad de agua que sea indispensable para formar la pasta de consistencia normal.

El relleno de los moldes deberá efectuarse colocando en cada uno de ellos una cantidad de pasta superior a su capacidad i comprimiéndola fuertemente, ya sea a mano, ya sea mecánicamente con los aparatos especiales para este objeto, a fin de que no queden huecos; se debe retirar en seguida el escedente haciendo deslizar una hoja de cuchillo apoyada en los bordes del molde.

Las probetas de mortero se deben confeccionar con arena normal (que pasa por el cedazo de sesenta mallas i es retenida en el de ciento veinte mallas por centímetro cuadrado) en la proporcion, en peso, de una parte de cemento por tres de arena. En cuanto al amasado, determinacion de la cantidad de agua necesaria i relleno de los moldes, se debe efectuar de la manera indicada anteriormente.

Las probetas de pasta de cemento puro, despues de veinticuatro horas de esposicion al aire húmedo, i de las cuales doce horas por lo ménos fuera de los moldes, i de seis, veintisiete i ochenta i tres dias de inmersión en agua renovada, ya sea continuamente, ya sea cada dos dias, deberán dar como minimum las siguientes cifras medias de resistencia a la rotura:

25 kg./cm.<sup>2</sup>, 32 kg./cm.<sup>2</sup> i 45 kg./cm.<sup>2</sup> respectivamente.

Durante todo el tiempo empleado en estos ensayos interesa mantener la temperatura del aire ambiente entre unos 15 i 18°. A la misma temperatura deberá mantenerse el agua en que esten sumerjidas las muestras.

Las probetas de mortero normal, en las mismas condiciones que anteriormente, deberán dar como minimum las siguientes cifras medias de resistencia a la rotura:

15 kg./cm.<sup>2</sup>, 20 kg./cm.<sup>2</sup> i 25 kg./cm.<sup>2</sup> respectivamente.

Un cemento Portland que no satisfaga las condiciones indicadas, así como aquel para el cual ninguna de las series de ensayos acuse a los veintiocho dias un aumento igual o

superior a 5 kg./cm.<sup>2</sup>, tratándose del cemento puro, i 2 kg./cm.<sup>2</sup> tratándose del mortero normal, con respecto a la obtenida a los siete dias; o un aumento de resistencia a los ochenta i cuatro dias con respecto a la proporcionada a los veintiocho dias, no debe ser considerado como aceptable.

*Resistencia a la compresion.*—Conviene practicar tambien este ensayo siempre que se disponga de los elementos necesarios. Pueden fijarse como cifras de resistencia a la compresion las indicadas anteriormente amplificadas por ocho a lo ménos.

**Arena.**—Sin escluir incondicionalmente ni las arenas arcillosas ni las calizas, debe siempre preferirse las arenas silíceas, sean naturales o artificiales, perfectamente escentas de materias orgánicas i que no contengan mas de un 5% de arcilla; de granos no uniformes en tamaño i que no sean de estructura escamosa. Con respecto a las dimensiones de los granos, convienen las arenas constituidas por una mezcla de granos gruesos, medianos i finos, entendiéndose por granos gruesos los que pasan por agujeros de 5 mm. i son retenidos en los de 2 mm.; por granos medianos, los que pasan por agujeros de 2 mm. i son retenidos en los de 0.5 mm.; i por granos finos, los que pasan por agujeros de 0.5 mm. de diámetro. En todo caso, son preferibles las arenas que son retenidas en el cedazo de trescientas veinticuatro mallas por centímetro cuadrado i que pasan por el de veinte mallas por centímetro cuadrado, con tolerancia de 10% para el primero i de 5% para el segundo.

Es claro que para enlucidos i chapas conviene emplear arenas un poco mas finas: que pasen por el cedazo de cincuenta i seis mallas i sean retenidas en el de trescientas veinticuatro por centímetro cuadrado, con una tolerancia de 10% en ámbos.

Como las arenas se miden por su volúmen i sin comprimir las, importa preocuparse del estado de humedad. A igualdad de volúmen la arena húmeda pesa ménos que la arena seca, correspondiendo el máximum de disminucion de peso a un grado de humedad comprendido entre el 2 i el 5%. Resul-

ta, pues, que si las prescripciones de dosificación se refieren a arena seca, convendrá comprimirla cuando esté húmeda a fin de conseguir para el volumen un peso que se aproxime al de la arena seca sin compresión.

**Grava i piedras partidas.** Como resultado de experiencias de laboratorio puede establecerse que a igualdad de cemento por metro cúbico de mortero empleado se obtiene hormigones mas resistentes a la compresión adoptando piedras partidas que adoptando grava. Pero si se tiene en cuenta que el volumen de los huecos en el esqueleto de piedras partidas es superior al mismo volumen en el de grava, se necesita emplear para un mismo volumen de esqueleto mayor cantidad de mortero en el primer caso que en el segundo para obtener hormigones comparables desde el punto de vista de la resistencia i de la homogeneidad del conjunto. Por lo demas, la grava, por lo mismo que no necesita prepararse, cuesta menos que la piedra partida, i tiene sobre ésta apreciables ventajas desde el punto de vista de la fabricación del hormigon.

En cuanto a la adherencia del mortero con el esqueleto, la diferencia que se obtiene empleando grava o piedras machacadas no es de importancia. Ademas, para que sea superior en el segundo caso es necesario desembarazar completamente los fragmentos del polvo que queda adherido a su superficie, mediante un lavado mucho mas prolijo que el que requiere—i no siempre—la grava para quitarle las materias terrosas. En dos palabras: la mayor resistencia por compresión comprobada para los hormigones cuyo esqueleto es la piedra partida, con respecto a aquellos confeccionados con grava, está lejos de compensar el mayor costo del primero con respecto al segundo.

Estas consideraciones justifican sobradamente que sólo se recurra a las piedras partidas en aquellos casos en que no se dispone de grava.

En todo caso, i teniendo presente la conveniencia, por una parte, de tener un máximo racional de superficie de contacto del mortero con el esqueleto, i de reducir, por otra parte,

al mínimum el volúmen de huecos en el hormigon ya hecho, así como tambien las superficies de contacto de los fragmentos entre sí, conviene que éstos sean de magnitudes no uniformes i que se aproximen en lo posible a la forma esférica. Estas condiciones influyen tambien para dar la preferencia a la grava sobre las piedras machacadas, ya que en el primer caso es prácticamente fácil satisfacerlas sin sensible aumento de costo, mientras que en el segundo sólo pueden satisfacerse a espensas de un mayor gasto considerable.

Por lo que respecta a la magnitud de los fragmentos que deben emplearse, ella depende de los espesores de la fábrica a que el hormigon está destinado. En la jeneralidad de los casos son aceptables esqueletos cuyos fragmentos son retenidos en un anillo de 0.02 m. i pasan por uno de 0.06 m. i aun de 0.08 m. i hasta 0.10 m. cuando el hormigon ha de emplearse en fábricas de grandes espesores.

En todo caso, repetimos, conviene que el esqueleto esté formado por trozos de forma tan esférica como sea posible, i de magnitudes variables entre los límites extremos ya indicados, aceptando mayor tolerancia para el límite inferior que para el superior.

**Proporciones.**—La composicion de los hormigones se fija de diversos modos en los diferentes países; pero tiende a jeneralizarse la forma de  $x$  partes de cemento,  $mx$  partes de arena i  $nx$  partes de grava o de piedras partidas; en que las cantidades  $m$  i  $n$  varian dentro de límites bien restringidos.

En términos jenerales, la composicion de los hormigones se fija en vista de la resistencia que se desea obtener i de la naturaleza del agregado, especialmente de la del esqueleto.

Teniendo en cuenta que para las obras en que nos ocupamos interesa siempre obtener hormigon *lleno*, o *graso*, o *compacto* como tambien se le designa, es decir aquel en que los vacíos del esqueleto son totalmente ocupados por el mortero, con algun exeso, i en que el volúmen de los huecos de la arena queda llenado por la pasta de cemento, es natural que las proporciones se fijen en cada caso particular de acuerdo con la arena i el esqueleto que debé usarse.

El volúmen de los huecos en la arena es mui variable segun el tamaño de los granos i la uniformidad de sus magnitudes, siendo máximo en las arenas de grano fino, i mínimo en las arenas formadas por granos de magnitudes no uniformes.

Para las arenas indicadas anteriormente como convenientes, puede aceptarse que la proporcion de los huecos es de 35 a 40%.

En el esqueleto, el volúmen de los huecos varia tambien con el material i la uniformidad en la magnitud de los trozos. Segun el resultado de un gran número de esperiencias, aquel volúmen referido al total del esqueleto es:

- 33% a 40% para la grava en fragmentos desiguales;
- 40% a 44% para la grava en fragmentos uniformes;
- 44% a 50% para la piedra partida en fragmentos desiguales;
- 48 % a 56% para la piedra partida en fragmentos uniformes.

Como ántes lo hemos dicho, la composicion del hormigon deberia fijarse en cada caso particular de acuerdo con los resultados experimentales que se obtengan para el volúmen medio de los huecos en la arena i en el esqueleto que ha de usarse. Sin embargo, mui a menude se fija de antemano las proporciones de los componentes, siendo las mas usadas las siguientes:

|                                   |       |      |
|-----------------------------------|-------|------|
| Bóvedas.....                      | m=2.5 | n= 5 |
| Partes superiores de la obra. ... | m=3   | n= 6 |
| Fundaciones .....                 | m=4   | n= 8 |
| Rellenos { .....                  | m=4.5 | n= 9 |
|                                   | m=5   | n=10 |

Si teniendo en cuenta que el cemento experimenta una reduccion de volúmen al ser trasformado en pasta i que los huecos de la arena sufren tambien una reduccion por efecto del apisonado, imaginamos que el volúmen del mortero

hecho es el 75% de la suma de los volúmenes del cemento i arena empleados, podemos establecer la siguiente ecuacion:

$$0.75 (x+mx) + nx (1-i) = 1 \text{ m.}^3 \text{ de hormigon hecho.}$$

Ahora bien, tomando  $i=0.36$  como proporcion de los huecos en la grava e  $i=0.46$  en la piedra partida; e imaginando que la densidad del cemento en barril sea de 1.4 (1400 grs. por litro), podemos formar el siguiente cuadro:

| PROPORCION        | UN M. <sup>3</sup> DE HORMIGON CON ESQUELETO DE GRAVA |     |               |                   |                                       |      |
|-------------------|-------------------------------------------------------|-----|---------------|-------------------|---------------------------------------|------|
|                   | cemento<br>$x$                                        |     | arena<br>$mx$ | esqueleto<br>$nx$ | exceso de mortero<br>sobre los huecos |      |
|                   | ltrs.                                                 | kg. | ltrs.         | ltrs.             | ltrs.                                 | %    |
| 1 : 2.5 : 5 ..... | 172                                                   | 240 | 430           | 860               | 142                                   | 16.5 |
| 1 : 3 : 6 .....   | 146                                                   | 204 | 438           | 876               | 123                                   | 14.1 |
| 1 : 4 : 8 .....   | 113                                                   | 158 | 452           | 904               | 123                                   | 10.8 |
| 1 : 4.5 : 9 ..... | 101                                                   | 142 | 455           | 910               | 90                                    | 9.9  |
| 1 : 5 : 10 .....  | 92                                                    | 129 | 460           | 920               | 83                                    | 9.0  |

| PROPORCION        | UN M. <sup>3</sup> DE HORMIGON CON ESQUELETO DE PIEDRAS<br>PARTIDAS |     |               |                   |                                       |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-----|---------------|-------------------|---------------------------------------|-----|
|                   | cemento<br>$x$                                                      |     | arena<br>$mx$ | esqueleto<br>$nx$ | exceso de mortero<br>sobre los huecos |     |
|                   | ltrs.                                                               | kg. | ltrs.         | ltrs.             | ltrs.                                 | %   |
| 1 : 2.5 : 5 ..... | 188                                                                 | 263 | 470           | 940               | 61                                    | 6.4 |
| 1 : 3 : 6 .....   | 160                                                                 | 224 | 480           | 960               | 38                                    | 4.0 |
| 1 : 4 : 8 .....   | 124                                                                 | 174 | 496           | 992               | 9                                     | 0.9 |
| 1 : 4.5 : 9 ..... | 111                                                                 | 155 | 500           | 1000              | 2                                     | ..  |
| 1 : 5 : 10 .....  | 101                                                                 | 142 | 505           | 1010              | 10                                    | ..  |

El exceso de mortero sobre los huecos del esqueleto dado por la espresion:  $0.75 (x+mx) - i nx$ , se espresa comunmente en  $T\%$  referido al volúmen total de este último, i conviene que no sea inferior a  $10\%$ .

Como puede deducirse del cuadro anterior, para las proporciones indicadas es preferible, desde este último punto de vista, emplear esqueleto de grava que emplear esqueleto de piedras partidas. Lo es igualmente desde el punto de vista de la cantidad de materiales necesarios para formar  $1 \text{ m.}^3$  de hormigon.

Como en las faenas no es practicamente fácil dosificar el cemento al peso, i como por otra parte no seria conveniente hacerlo al volúmen que resulta influenciado por el grado de asentamiento con que se haga la medida, estimamos preferible espesar las cantidades de componentes que deben agregarse a un barril o fraccion de barril de cemento.

En tal caso, el siguiente cuadro da las indicaciones necesarias, suponiendo barriles normales, de  $170 \text{ kg.}$  de peso neto.

| PROPORCION       | MATERIALES |       |           |
|------------------|------------|-------|-----------|
|                  | cemento    | arena | esqueleto |
|                  | barril     | ltrs. | ltrs.     |
| 1 : 2.5 : 5..... | 1          | 304   | 608       |
| 1 : 3 : 6.....   | 1          | 364   | 728       |
| 1 : 4 : 8.....   | 1          | 486   | 972       |
| 1 : 4.5 : 9..... | 1          | 546   | 1092      |
| 1 : 5 : 10.....  | 1          | 607   | 1214      |

Debemos observar que las indicaciones del primero de los cuadros anteriores no tienen nada de absoluto, puesto que la consideracion de los huecos no es suficiente para determinar *a priori* el rendimiento del hormigon. Esta cuestion es mucho mas compleja de lo que a primera vista parece, puesto que en ella intervienen gran número de factores variables en cada caso particular, como la proporcion de agua empleada, las proporciones de los componentes, sus porcentajes de huecos, el entumecimiento del mortero, la enerjia del apisonado, etc. Sin embargo, sus cifras pueden aceptarse, para las proporciones indicadas para los huecos, como bastante aproximadas por exceso para fijar de antemano las cantidades de los diversos elementos que entran en 1 m.<sup>3</sup> de hormigon para cada una de las composiciones a que ellas se refieren.

**Fabricacion.**—La fabricacion de los hormigones se ejecuta a mano o en aparatos mecánicos llamados *hormigoneras*, estableciéndose la faena en un sitio próximo a la obra a fin de evitar los largos trasportes.

La fabricacion a mano debe efectuarse bajo techo i sobre un piso resistente i limpio, i nunca sobre el terreno natural. Se extenderá primeramente la arena i se agregará en seguida el aglomerante, operando siempre por pequeñas cantidades a fin de conseguir la mezcla íntima de estos dos elementos; sólo despues que este objetivo esté realizado debe agregarse el agua indispensable para el fraguado del cemento i el amasado de la pasta. Puede fijarse que ademas del agua necesaria para el fraguado es necesario agregar para el amasado de la pasta un número de litros igual al 20 a 30% del peso del cemento empleado, debiendo tenerse el cuidado de no dejar a la voluntad de los operarios la apreciacion de la cantidad de agua que debe agregarse á la mezcla seca, pues aquéllos, en vista de facilitar el amasado, tenderán siempre a emplear agua en exceso, con perjuicio de la calidad del mortero.

Una vez formada una pasta bien homogénea, se debe agregar el esqueleto perfectamente limpio i humedecido

hasta el grado de que sea incapaz de absorber el agua del mortero. El batido se efectúa revolviendo a pala i rastrillos, hasta conseguir una mezcla íntima, en que todos los fragmentos del esqueleto queden perfectamente envueltos por el mortero.

La fabricacion a máquina se efectúa en hormigoneras de diversos tipos. En algunas de ellas se fabrica previamente el mortero i se agrega despues el esqueleto; en otras, la mezcla de los diversos componentes se hace de una sola vez.

En jeneral, es preferible la fabricacion a máquina, por lo ménos desde el punto de vista de la uniformidad del producto; pero como exige mayores gastos de instalacion que la fabricacion a mano, su uso queda limitado a los casos en que la cantidad de hormigon que ha de necesitarse pasa de cierto limite, distinto para cada caso particular.

En uno i otro caso, la produccion unitaria de hormigon debe fijarse de acuerdo con la calidad del cemento que se emplea, con el procedimiento de fabricacion i con la naturaleza del trabajo que se ejecuta; teniendo presente, no sólo que su aplicacion en obra debe efectuarse ántes que el cemento haya comenzado a fraguar, sino tambien que dicho fenómeno esté mui poco avanzado en la capa ya apisonada cuando vaya a colocarse la siguiente.

**Colocacion en obra.**— El hormigon ya hecho se transporta al sitio de su ubicacion en vagonetas sobre rieles, carretillas u otros recipientes de mano o de transporte mecánico. Su aplicacion se hace dentro de moldes jeneralmente de madera cepillada i, a veces, cuando se trata de las fundaciones, dentro de la escavacion practicada de antemano.

Para la confeccion de las bóvedas, aquellos moldes están colocados sobre cimbras indeformables.

En todo caso, conviene colocar el hormigon dentro de los moldes por capas de 0.10 a 0.30 m. que se comprimen apisonándolas enérgicamente con pisones de madera o hierro i con el minimum de interrupcion de trabajo entre una capa i la siguiente. Se procura que las uniones o juntas obligadas por la interrupcion del trabajo queden en las pár-

tes mas fuertes de la construccion i se hacen en escalones, teniendo cuidado de limpiarlas cuidadosamente a fin de quitar la lechada i los fragmentos sueltos, i de recubrirlas con morteros frescos ántes de continuar aplicando la nueva capa de hormigon.

Tratándose de los cimientos, es útil agregar que debe procurarse mantener la escavacion en seco durante todo el tiempo que demore su ejecucion, siendo esta precaucion ménos importante cuando se emplea cemento de fraguado rápido.

En cuanto a la construccion de las bóvedas, la práctica mas universal es la de constituir las por trozos radiales, a manera de dovelas, ejerciendo el apisonado de cada trozo en el sentido de los radios i en el sentido tanjencial al intrados; o mejor en el sentido de los esfuerzos siempre que la disposicion de la obra lo permita.

Estos trozos deben construirse disponiéndolos de manera que la cimbra se vaya cargando lo mas uniformemente posible, i siempre simétricamente con respecto al eje vertical del arco.

Con el fin de no hacer sufrir al hormigon esfuerzos superiores a los que podria resistir ántes de que haya fraguado el núcleo central, el descimbramiento no debe ejecutarse hasta unas cuatro a ocho semanas despues de terminada completamente la bóveda, salvo en el caso de pequeños espesores en que este tiempo puede reducirse a dos o tres semanas.

Es conveniente mantener cubiertas las obras de hormigon, hasta algun tiempo despues de verificado el fenómeno del fraguado, con sacos o paja humedecida i regada de tiempo en tiempo; i siempre es indispensable mantenerlas al abrigo de los rayos solares.

Cada uno de los puntos de que tan suscintamente acabamos de ocuparnos: calidad de los materiales, proporciones, fabricacion i colocacion en la obra, tienen marcada influencia sobre los resultados finales i deben ser considerados con detenimiento, aislada i conjuntamente, en cada caso particular.

Sobre todos ellos se puede tener enseñanzas bien completas en las obras especiales i en los artículos de revistas.

Por lo demas, todas estas cuestiones siguen siendo estudiadas con interes por ingenieros i asociaciones en varios países, cuyas investigaciones tanto han contribuido al perfeccionamiento del empleo del hormigon en toda clase de construcciones.

He aquí algunas de las ventajas que se puede hacer notar a favor de los puentes de hormigon sobre los de mamposteria, son:

a) La mayor facilidad de construccion. En efecto, la mamposteria ofrece dificultades que tiene su origen en el costoso i lento manejo de los sillares, que exige un gasto considerable de tiempo para su preparacion en la cantera, su transporte al pié de la obra i su colocacion.

En cambio, el hormigon se compone en la misma cancha, en donde por lo jeneral se encuentra la piedrecilla i la arena, debiéndose trasportar sólo uno de los componentes, el cemento, que representa una fraccion bien reducida de la masa total;

b) La mayor homojeneidad que se obtiene con el hormigon que ejecutado con mortero de fraguado lento, endurece uniformemente formando verdaderos monolitos, á diferencia de la mamposteria en que habrá siempre juntas que interrumpen la homojeneidad i que determinan un conjunto ménos resistente que la piedra, por cuidadas que sean las juntas, i cualquiera que sea el material que en ellas se emplee;

c) Desde el punto de vista estético, el hormigon se presta, sin aumento sensible de costo, a la mas rica ornamentacion; tanto por lo que respecta moldurado como a la coloración;

d) El hormigon bien ejecutado i construido con buen cemento, es el único material para el cual los agentes atmosféricos son factores que contribuyen a su aumento de resistencia, a diferencia de la mayor parte de las piedras para las cuales dichos agentes son factores de destruccion, o por lo menos de disgregacion;

e) Desde el punto de vista del costo las ventajas del hormigon son aun mas apreciables.

Detallando un poco esta cuestion, de suyo tan importante, diremos:

1.º En los últimos años el precio de la piedra de talla ha aumentado considerablemente, mientras que el precio del cemento Portland ha disminuido talvez en un 50%, permaneciendo casi sin variacion el precio de la piedra partida, del cascajo i de la arena, que, por lo demas, se gobierna por condiciones absolutamente locales;

2.º El 75% al 80% de la masa total de la mampostería, es decir la piedra, debe trasportarse desde la cantera al sitio de la obra, recargando considerablemente el costo por los fletes; mientras que el cascajo i la arena están comunmente al alcance de la mano, o se preparan artificialmente al pié de la obra con piedras que, por lo mismo que pueden ser de calidad inferior, se encontrarán por lo jeneral a mucho menor distancia.

Ademas, i por lo mismo que el hormigon se prepara al pié de la obra, puede variarse convenientemente la dosis de los componentes en conformidad con la resistencia que se desea conseguir, o mas claro, con las presiones que el material debe soportar, obteniéndose por este capítulo un nuevo factor de economía. La mampostería no admite mas variacion que pasar del sillar a la piedra desvastada, obteniéndose asi una fuerte economía en el segundo caso con respecto al primero, pero que está léjos de ser comparable a la obtenida en el conjunto de la obra de hormigon en la cual la dosis de los componentes en cada una de sus partes armoniza con el objeto a que está destinada;

3.º En las obras de mampostería sólo pueden emplearse albañiles prácticos i, como el trabajo es delicado, el costo de la obra de mano resulta proporcionalmente alto. Por lo demás, el jornal de los obreros ha subido i tiene aun tendencias a subir mas, habiendo sido este aumento mucho mas considerable para los buenos albañiles que para los trabajadores corrientes. En los trabajos de hormigon, casi toda la construc-

ción puede ejecutarse con obreros comunes, de manera que el costo de la obra de mano resulta proporcionalmente bajo;

4.º Como el número de los buenos albañiles es muy limitado, éstos se ponen fácilmente de acuerdo para exigir mejores jornales, circunstancia que el contratista debe tomar muy en cuenta al formar el proyecto. Resulta, pues, de aquí un nuevo sobreprecio para la obra de mampostería, que, como hemos dicho, requiere albañiles especiales; i que no es sensible en la obra de hormigón para la cual es fácil preparar obreros corrientes.

Por otra parte, el avance efectivo de una faena en una obra de mampostería se ve, a menudo, seriamente retardado por la falta de algunos obreros que no han ejecutado a tiempo la parte del trabajo que se les ha encomendado; mientras que en una obra de hormigón la falta de algunos trabajadores nada significa, pues fácilmente se les reemplaza por otros; i

f) Las ventajas especiales del empleo de aquel material en las fundaciones, son demasiado conocidas para que sea necesario recordarlas aquí. Ellas son las que han determinado su uso tan estendido en esta parte de las construcciones.

---

He aquí, ahora, algunas informaciones relativas a un corto número de los muchos puentes construidos con este material, escluyendo aquellos puentes de fábrica en que el hormigón no entra sino en determinadas partes de la obra, como también los numerosos puentes de superestructura metálica en que la infraestructura está construida totalmente de hormigón.

Ha sido en España, en la carretera de Soria a Logroño, el año 1866, en donde se han edificado las primeras bóvedas de puente de alguna importancia construidas con hormigón de cemento. Fueron dos puentes: el uno sobre el río Lavalé, y el otro denominado Lumbreras, sobre el río Iregua. El primero con tres arcos escarzanos de 10 m. de luz i 2.34 m. de flecha, mide 7.40 m. entre paramentos.

El segundo, con tres arcos carpaneles de tres centros, de 10.216 m. de luz i 3.92 m. de flecha, mide 6.42 m. entre paramentos.

En los dos puentes el espesor, que en la clave es de 0.90, crece hacia los arranques. En ambas obras los paramentos vistos de la bóveda están revestidos con sillería arenisca; los sillares, con distinta entrada hacia el cañon, forman dientes que traban esta faja con el resto de la bóveda construida de hormigon. Los materiales constitutivos de éste han sido la piedra chancada de cuarcita i cuarzo puro, arena de mediana calidad estraida de los rios Lavalé e Iregua, i cemento Portland de procedencia española.

Posterior a éstos es el puente construido sobre el rio Isère en Francia, con 26 m. de luz i 2.60 m. de flecha, siendo 0.75 m. el espesor de la bóveda en la clave.

En realidad, ha sido despues del año 1880 cuando ha venido a tomar considerable amplitud el empleo del hormigon de cemento para bóvedas de puentes, especialmente en Alemania con los trabajos de Leibbrand ya mencionados. He aquí la descripcion de algunas de estas obras construidas despues de aquel año.

*Puente Erbach*, sobre el Danubio. Un solo arco de 32 m. de luz i 4 m de flecha, cuyos espesores son de 0.40 m. en la clave i de 0.70 m. en los arranques; los tímpanos están alijerados mediante arcos tambien de hormigon. En la clave y en los arranques se dispusieron juntas de asfalto, colocando así la bóveda en condiciones aproximadas a las de un arco con tres articulaciones.

La presion máxima unitaria en la bóveda alcanza a 30 kg. cm.<sup>2</sup> habiendo sido formado el hormigon por una parte de cemento, 1.25 a 1.50 de arena i 4 a 5 de grava.

El puente se descimbró ocho semanas despues de su terminacion; se anotó un descenso en la clave de 50 mm. que aumentó despues de hecho el relleno de la caja del camino.

*Puente Wisseritz*, construido con motivo de la ampliacion de la estacion de ferrocarriles de Dresde. Un solo arco obliquo con 18 m. de luz. Su altura libre es de 12.10 m. i recibe

un terraplen de 5.10 m. de altura. El espesor en la clave es de 1.05 m. i en los arranques, sobre el plano de los cimientos, de 4.15 m. Las presiones máximas alcanzan a 14 kg./cm.<sup>2</sup> en la bóveda i a 10 kg./cm.<sup>2</sup> sobre los cimientos de roca caliza. En los muros en ala i en los frentes de la obra, el hormigon está formado por una parte de cemento, siete de arena silícea i nueve de grava.

Se ocuparon 6000 m.<sup>3</sup> de hormigon con un costo total de 21000 fr.

*Puente Munderkingen*, sobre el Danubio, construido en 1893 (fig. 1). Está formado por un solo arco circular con estribos perdidos; la luz aparente es de 50 m. i la flecha de 5 m., siendo la luz efectiva entre cimientos de 59 m. Su ancho total es de 8 m., de los cuales 5.40 m. corresponden a la carretera i 1.30 m. a cada una de las dos aceras (Lámina II).

El puente es ligeramente oblicuo respecto al eje del rio. La bóveda lleva tres articulaciones, una en la clave i una en cada una de las juntas de rotura. Los tímpanos están alijeados por galerías longitudinales dispuestas en dos series. Uno de los estribos descansa sobre roca i el otro sobre un pilotaje clavado en el terreno de aluvion.

El cálculo se hizo admitiendo una sobrecarga de 400 kg. por m.<sup>2</sup>, haciendo abstraccion de las cargas concentradas, tales como cilindros compresores, etc., en razon del peso propio del puente que es bastante considerable.

El cuerpo de la bóveda es de hormigon de cemento, siendo las cabezas de ésta formadas por dovelas de piedra artificial tambien de hormigon de cemento. El espesor de la bóveda en la clave es de 1 m. i en los arranques de 1.10 m., siendo 34.2 kg./cm.<sup>2</sup> i 34.5 kg./cm.<sup>2</sup> respectivamente las presiones máximas que soporta. En los riñones el espesor es de 1.40 m. i la presion máxima allí admitida es de 38 kg./cm.<sup>2</sup>

Las articulaciones están constituidas por doce piezas aisladas de 0.50 m. de longitud; dos piezas de acero de 70 m m. de ancho por 25 m m. de espesor en que las superficies de contacto tienen perfil circular de 150 m m. de radio, forman el punto de articulacion; están fijadas en el medio de especies

de dovelas de palastros de acero de 0.50 m. de largo, 0.80 m. de ancho en el sentido del radio de la bóveda i 0.25 m. de espesor, que se apoyan sobre dovelas de piedra tallada que tienen por objeto repartir sobre una mayor superficie del hormigon de la bóveda la presion que reciben de las articula-

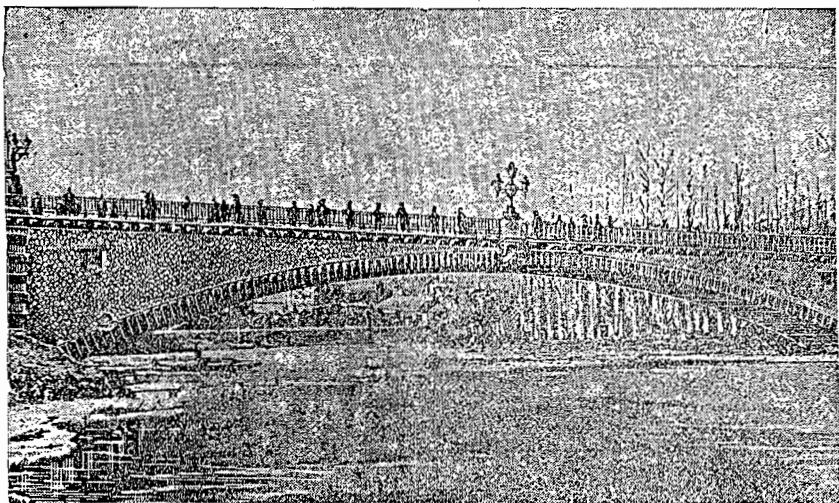


Fig. 1.—Puente Munderkiogen.

ciones. La presion uniformemente repartida sobre las dovelas alcanza a 75 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques; se ha admitido esta cifra bastante alta, tomando en cuenta que las dovelas transmiten su accion sobre una superficie de hormigon de 1.10 m. por 0.63 m. que es 40% mayor que la superficie de presion; i segun las esperiencias de Bach i de Durand Claye, la resistencia de las piedras es, en este caso, cerca de 16% mayor que cuando están cargadas sobre toda su superficie. Por lo demas, la construccion de la bóveda, en las vecindades de las articulaciones ha sido hecha con un cuidado especial, i la proporcion de cemento ha sido aumentada.

La construccion de la obra se hizo en siete meses. El des-cimbramiento, se efectuó cuatro semanas despues de terminada la bóveda, anotándose un descenso en la clave de 75

mm. a una temperatura de  $16^{\circ}$ , que subió a 147 mm. (temperatura de  $-3^{\circ}$ ) dos meses despues de entregado al tráfico.

La composicion del hormigon empleado fué la siguiente:

| DESIGNACION        | cemento | arena | grava | OBSERVACIONES                  |
|--------------------|---------|-------|-------|--------------------------------|
| Fundaciones....    | 1       | 2.5   | 5     | Sin bloques en la maza         |
| » ....             | 1       | 4     | 8     | Con $\frac{1}{4}$ bloques »    |
| Bóvedas.....       | 1       | 2.5   | 5     | Sin bloques »                  |
| Piedras artificia- | 1       | 3     | 6     | Para los paramentos<br>vistos. |
| les.....           | 1       | 4     | 8     |                                |
|                    | 1       | 5     | 10    |                                |
| Mortero de ce-     | 1       | 2     | ..    |                                |
| mento .....        |         |       |       |                                |

El costo de la construccion fué de 88750 fr., de los cuales 17500 corresponden a las fundaciones, 50500 fr. a la construccion del puente i 20750 fr. a las cimbras, gastos de supervijilancia i diversos.

Resulta que el costo por metro cuadrado cubierto ha sido de 221.90 fr.

*Puente Coulouvrenière*, sobre el Ródano en Jinebra (fig. 2) (Lám. III) construido el año 1895-96 con motivo de la Exposicion Nacional Suiza. Está formado por cuatro tramos: dos principales de 40 m. de luz i 5.50 m. de flecha separados por otro central de 14 m. de luz; i un cuarto en el costado de la derecha, de 12 m. de luz. La longitud total del puente es de 152 m. i su ancho de 18 m. útiles entre los pretiles, i de 20 m. en total.

Las fundaciones de la obra han exigido precauciones especiales, particularmente en el estribo de la izquierda, en don-

de la naturaleza del terreno requirió darle la consistencia necesaria. Al efecto, se hincaron 176 pilotes de 11 a 12 m. de longitud, obteniéndose una resistencia de 35 a 40 toneladas

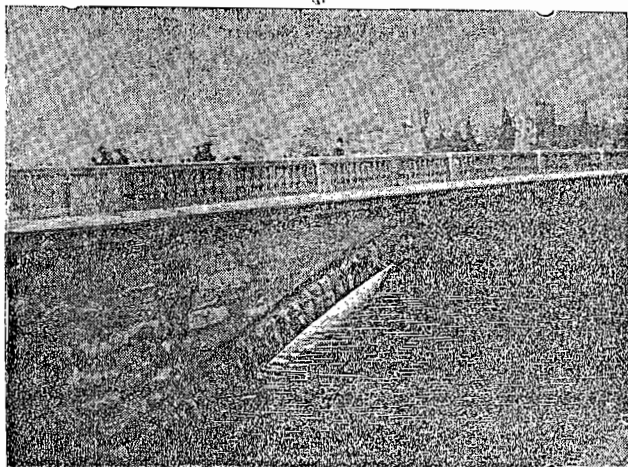


Fig. 2.—Puentes Coulouvrenière.—(Fot. del señor M. Trucco )

por pilote; en la orilla se clavaron otros 227 pilotes inclinados a  $30^\circ$  empleando para hincarlos un martinete especial oblicuo accionado, como para los anteriores, por un motor eléctrico.

Se empleó en las fundaciones hormigón formado con 200 kg. de cal por cada metro cúbico de arena i grava en las partes que debían soportar esfuerzos inferiores a 6 kg./cm.<sup>2</sup> mientras que en aquellas en que la fábrica debía soportar de 6 a 20 kg./cm.<sup>2</sup> se empleó hormigón compuesto con 200 a 300 kg. de cemento por metro cúbico de agregado.

Los dos arcos de 40 m. llevan tres articulaciones análogas a las empleadas en el puente Munderkingen. Las dovelas de palastro miden 0.50 m. de longitud i 0.28 m. de ancho, i 1 m. de altura en las de los arranques i 0.90 m. en las de la clave. Las rótulas de acero tienen 75 mm. de ancho por 25 mm. de espesor. El conjunto de una articulación se compone de 30 trozos cóncavos i 30 convexos, o sea un to-

tal de 180 trozos para las tres articulaciones de una misma bóveda. Las cajas de hierro han quedado completamente envueltas en el hormigon de la bóveda. A plomo de cada eje de articulacion se ha dejado una hendidura vertical hasta el nivel del piso, colocando en ella piezas de carton durante la aplicacion del hormigon; de esta manera se ha independizado completamente la bóveda de los pilares i de los estribos.

El espesor del arco varia entre 1.10 m. en la clave, 1.40 m. en los riñones, i 1 m. en los arranques. La aplicacion del hormigon se hizo por zonas trasversales de 1 m. de ancho, empleando cerca de 100 m.<sup>3</sup> de hormigon por dia, simultáneamente en varios puntos diferentes, a fin de repartir la presion sobre las cimbras de una manera uniforme. El hormigon empleado se formó con 425 kg. de cemento por metro cúbico de arena i grava.

Diariamente se practicaban ensayos del cemento, que provenia de Saint-Sulpice i de Reinfrenet; estos ensayos acusaron despues de veintiocho dias una resistencia media por compresion de 303 kg./cm.<sup>2</sup> que subió a 305 kg/cm.<sup>2</sup> a los ochenta i cuatro dias.

El hormigon se fabricó en hormigoneras accionadas por una turbina de 10 a 12 caballos i que proporcionaban unos 4 m.<sup>3</sup> por hora.

Para cada bóveda se emplearon trece cimbras que se apoyaban sobre ocho cepas de trece pilotes cada una, con interposicion de ciento cuatro cajas de arena para la bóveda de la derecha i de setenta i ocho para la de la izquierda. Durante la construccion el descenso de las cimbras fué de 20 mm. en la clave i de 40 mm. en los riñones, no habiéndose observado le menor descenso en los pilotes.

Seis semanas despues de terminada la bóveda de la derecha, i antes de la construccion de los timpanos, se procedió al descimbramiento registrándose un descenso de 22 mm. en la clave i de 16 mm. en los riñones. La bóveda de la izquierda se descimbró nueve semanas despues de terminada i se registró un descenso de 30 mm. en la clave i de 16.5 mm. en los riñones.

Las pilas, que soportan esfuerzos bien considerables, no experimentaron movimiento alguno, i sólo el estribo izquierdo presentó un pequeño asiento, que no alcanzó a 5 mm.

En los tímpanos de la bóveda, el espacio entré los muros de frente está aligerado con bóvedas longitudinales dispuestas en nueve filas, en tres pisos, i cuyos pilares de 0.45 m. de espesor están unidos, al nivel inferior del segundo piso, por tirantes articulados de hierro de 35 mm. de diámetro.

Los paramentos de la obra son tambien de hormigon, salvo en las pilas que están revestidos con piedra amarilla de Saint-Ymier i en los tímpanos que lo están con piedra blanca de Divonne (Vaud). La corniza jeneral del puente es de mármol azul de Saint Triphon i la balaustrada de granito rosado del Tessin. La obra presenta el aspecto de un puente monumental de piedra.

Las pruebas a que fué sometido el puente despues de su terminacion fueron las siguientes:

Se hizo pasar un tren (via angosta) de 70 T.; despues se estendió una carga de grava de 500 kg./m.<sup>2</sup>; finalmente, se hicieron pasar sucesivamente las dos locomotoras de la so-



Fig. 3.—Puente Insigkofen

ciudad del Gotardo i del Jura-Simplon que figuraron en la exposicion de Jinebra, i que representaban una carga de 150 T.; los aparatos rejistradores de flecha no acusaron el menor descenso durante cada una de estas pruebas.

*Puente Insigkofen*, sobre el Danubio (Hohenzollern) (fig. 3). construido en 1895. Está formado por un solo arco de 43 m. de luz i 4.38 m. de flecha. Los cimientos de hormigon descansan por un lado sobre roca, i por el otro sobre un banco de grava de 6 m. de espesor. El puente es de una sola via;

RÓTULA DE LOS ARRANQUES

RÓTULA DE LA CLAVE

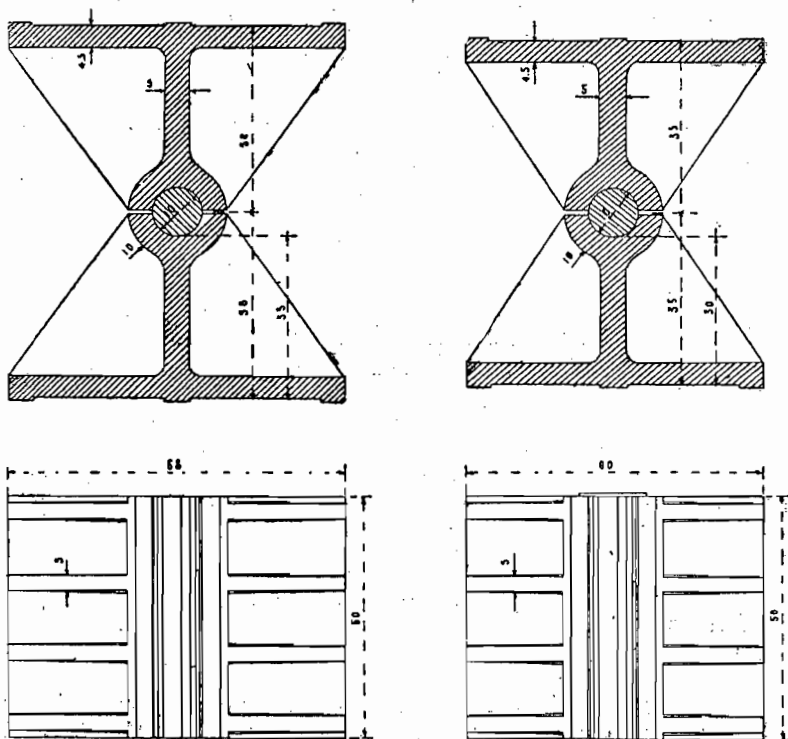


Fig. 4

su ancho entre pretiles es de 3.80 m. de los cuales 2.50 m. los ocupa la calzada i 0.65 m. cada una de las aceras. El

ancho de la bóveda crece de 3.60 m. en la clave a 4.60 m. en los arranques. El espesor del arco es de 0.70 m. en la clave, 1.10 m. en los riñones i 0.78 m. en los arranques. La presión máxima alcanza a 36.5 kg. / cm.<sup>2</sup> i el esfuerzo de tracción a 1 kg. / cm.<sup>2</sup>.

La bóveda lleva en la clave i en los arranques articulaciones descubiertas, (fig. 4), formadas por cojinetes de fundición que mantienen un eje de acero. Hai seis rótulas independientes en la clave i ocho en los arranques, siendo de 0.08 m. el espacio que las separa. La presión máxima sobre las superficies de contacto de los cojinetes con el hormigon alcanza a 42.5 kg. / cm.<sup>2</sup>, en la clave i a 31.1 kg. / cm.<sup>2</sup> en los arranques.

A fin de alijerar las fundaciones, los tímpanos son huecos: treinta i seis pilares que descansan sobre el trasdos de la bóveda i ligados entre sí en el sentido longitudinal por pequeños arcos, soportan el tablero del puente. Rodillos de dilatación colocados sobre los piés derechos permiten a la calzada seguir todos los movimientos de la bóveda. La calzada propiamente dicha está sostenida por fierros Zorès colocados al nivel de la rótula de la clave.

Las proporciones del hormigon empleado en las diversas partes de la obra, son las siguientes:

|              |                                  | Cemento | arena | grava |
|--------------|----------------------------------|---------|-------|-------|
| En la bóveda | { en la clave                    | 1       | 2.5   | 2.5   |
|              | { en los riñones                 | 1       | 2.5   | 4.5   |
|              | { en los arranques               | 1       | 2.5   | 3.5   |
| Estribos     | { parte inferior a los arranques | 1       | 3     | 6     |
|              | { muros                          | 1       | 4     | 8     |

Todo el hormigon se confeccionó a mano, alcanzando la producción a 36 m.<sup>3</sup> diarios por faena de once operarios de los cuales se ocuparon cinco en la confección, tres en el transporte i tres en la colocación. Esta se hizo por capas horizontales de 0.15 m. de espesor en las fundaciones.

Las cimbras, en número de cuatro, descansaron sobre nueve cepas de cuatro pilotes cada una por intermedio de cajas de arena. La colocación del hormigón, dentro de un molde de madera que formaba como un cajón único para toda la bóveda, se hizo por capas delgadas, horizontales, y por segmentos de 1 a 1.30 m. perpendiculares a la curva de las presiones. La bóveda se compone, pues, en realidad, de una serie de dovelas de hormigón con su ancho y su espesor propios; pero íntimamente ligadas las unas a las otras, gracias a la rapidez de la ejecución. De esta manera se avanzó con regularidad hasta las juntas de rotura, en donde se dejó vacíos de 1 a 1.20 m. y se continuó hacia la clave teniendo cuidado de descargar progresivamente este punto en donde se había previamente colocado una sobrecarga provisoria de 40 T. Por último se rellenaron los huecos dejados al lado de las rótulas y finalmente los dejados en los riñones.

Cinco semanas después de terminada la bóveda se procedió al descimbramiento, habiéndose anotado un descenso de 47 mm. en la clave durante la construcción (iniciada con una temperatura de 20° y terminada con una de 20°) y una de 7.6 mm. después del descimbramiento. Terminado éste, se completó la obra con la colocación de la chapa y la formación de la calzada. Tres semanas después se hicieron las primeras pruebas de resistencia. Se hizo pasar un rodillo de 3500 kg. observándose un levantamiento de 0.1 mm. en la clave mientras aquél recorría el primer tercio de la bóveda, y que desapareció al pasar por la junta de rotura para dar lugar a un descenso de 0.6 mm. Un rodillo de 6500 kg. produjo análogos resultados, habiendo sido ahora de 0.1 mm. el movimiento de subida y de bajada en la clave. Bajo una sobrecarga de 300 kg. / m<sup>2</sup> sobre todo el puente, el descenso en la clave fue de 0.6 mm. Una vez que el hormigón hubo adquirido su mayor endurecimiento se repitieron las pruebas con un rodillo a vapor de 15 T., y una carga uniforme de 600 kg. / m<sup>2</sup> con análogos buenos resultados.

La construcción de este puente demoró cuatro meses; su

costo alcanzó a 33250 fr. i se empleó en ella 624 m.<sup>3</sup> de hormigon.

*Puente sobre el Saal en Walsburg (Alemania).*—Tiene una longitud total de 64m. divididos en tres arcos de luces respectivamente iguales a 29, 18 i 12 m. siendo los rebajos correspondientes: 1/8.3, 1/7.2 i 1/5.3. El espesor en la clave es de 0.30 m. para el arco central (29 m); de 0.20 m. i 0.15 m. para los laterales. El ancho total es de 4.50 m.

Toda la obra es de hormigon; pero con el fin de aumentar su rijidez se ha dispuesto en las bóvedas un entramado de hierro análogo al que se emplea en las construcciones de cemento armado.

El mortero que se ha empleado en esta obra se componia de una parte de cemento Portland por tres de arena.

El puente se calculó para una sobrecarga rodante de vehículos de 8750 kg. arrastrados por cuatro caballos, mas una sobrecarga de 400 kg./m.<sup>2</sup> en el espacio que deja libre la calzada. En estas condiciones la presion máxima alcanza a 28.6 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave del arco central estando completamente cargado, i que sube a 31.12 kg./cm.<sup>2</sup> cargando solamente una semi bóveda.

He aquí cuales fueron las pruebas de recepcion: Se cargó desde luego las dos accras del arco central con sacos de arena a razon de 600 kg. por metro corrido de puente y se observó un descenso en la clave de 0.6 mm. Se hizo entónces avanzar por la calzada dos carretones cargados con 5250 kg. i arrastrados cada uno por cuatro caballos. Durante el paso del primero, la amplitud de las oscilaciones en la clave alcanzaron a 1.2 mm.; pero cuando aquél se detuvo el descenso se redujo a 0.6 mm. Bajo la accion del paso del segundo vehículo, las oscilaciones en la clave llegaron a 1.6 mm. de amplitud. El descenso fué sólo de 1.1 mm. para el conjunto de la carga fija de los dos vehículos, conservándose una flecha de 0.6 mm. despues de quitada la sobrecarga.

En seguida los dos vehículos se cargaron con 6250 kg. i la sobrecarga fija se aumentó a 686 kg. por metro corrido. Como carga estática el primer vehículo hizo bajar la clave en

1.2 mm; la adición del segundo hizo aumentar la flecha a 1.5 mm. Durante la marcha del convoi las oscilaciones llegaron a 2.2 mm. Quitada la carga móvil se conservó un descenso en la clave de 0.9 mm.

Se comprobó en seguida que la flecha alcanzaba sólo a 1.3 mm. cargando una semi-bóveda, i que las oscilaciones llegaban a 1.4 mm. durante la marcha del convoi.

Cuando se quitó toda sobrecarga, se pudo constatar una flecha de 0.4 mm. Este resultado pudo atribuirse a un asiento producido en la obra durante los ensayos; pero podría tambien explicarse por las consideraciones siguientes: el aparato rejistrador de los movimientos de flexion se componía de una palanca sencilla que amplificaba diez veces; la union entre el brazo de la palanca i el vértice del arco, estuvo realizada por medio de una cadena de laton de unos 5.50 m. de longitud. Es seguro que los resultados proporcionados por el aparato han debido estar influenciados por las variaciones de temperatura que han debido producirse durante el dia. Así, por ejemplo, imaginando para el cobre un coeficiente de dilatacion igual a 0.0001818 i admitiendo un aumento de 4° en la temperatura, el alargamiento total de la cadena habria sido de 0.4 mm. Desgraciadamente, no se hicieron anotaciones de temperatura a fin de haber podido corregir los errores que sus variaciones pueden haber introducido.

El costo de la obra ha alcanzado a unos 41500 fr. escluyendo los terraplenes de acceso i la construccion de la calzada. En otros términos, el metro corrido de puente ha costado unos 645 fr.; i el metro cuadrado superficial unos 144 fr.

*Puente sobre el Eyach*, en Ymnau, construido en 1896.—Es un solo arco articulado en los arranques i en la clave que tiene 30 m. de luz entre articulaciones i 3 m. de flecha. La bóveda, de un ancho de 2.50 m. en la clave i 3.50 en los arranques, tiene un espesor de 0.45 m. en el primer punto, 0.50 m. en los segundos i 0.80 m. en los riñones. El ancho útil del puente es de 4 m., de los cuales 2.50 m. están destinados a la calzada i 0.75 m. a cada una de las dos aceras.

Las articulaciones estan constituidas por piedras graniti-

cas (fig. 5) que forman filas continuas en todo el ancho de la bóveda.

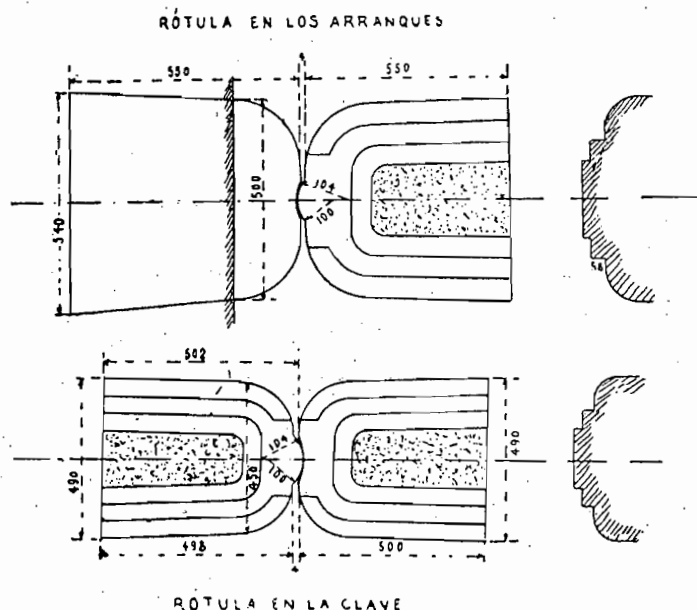


Fig. 5

El cálculo de las dimensiones se ha hecho para una sobrecarga uniforme de  $360 \text{ kg./m.}^2$  i para un cilindro a vapor de 15 t. El trabajo máximo del hormigon en la bóveda alcanza a  $34 \text{ kg./cm.}^2$  por compresion i  $4 \text{ kg./cm.}^2$  por traccion.

El descenso total de la clave, desde la construccion de la bóveda hasta despues del descimbramiento, fué de 3 mm., sin que se notara ningun movimiento en los estribos.

Los trabajos se ejecutaron en tres meses i medio con un costo total de 22500 francos, incluyendo los terraplenes de acceso.

*Puente Ehnigen*, sobre el Danubio, construido en 1897-1898. Consta de un arco central de 20 m. i dos laterales de 21 m., siendo 2.20 m. la flecha del primero. Los dos últimos son

arcos dicimétricos, pues los apoyos sobre los estribos están a un nivel inferior que los situados sobre los machones. El espesor de las bóvedas es de 0.70 m. en la clave, 0.90 m. en los arranques adyacentes a machones i 0.95 m. en los adyacentes a los estribos. Las articulaciones son formadas por láminas de plomo (fig. 6), de 20 mm. de espesor i 150 mm.

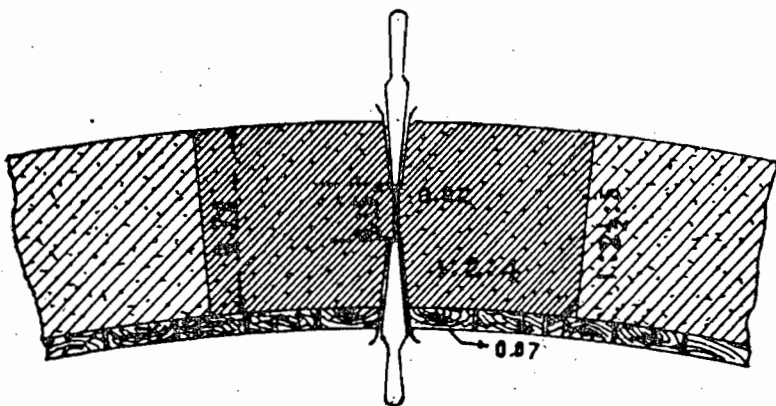


Fig. 6

de ancho, entre dovelas de hormigón de 1:2:4. La presión máxima sobre el plomo alcanza a 75 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave i a 83 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques.

El ancho de las bóvedas es de 7.50 m., para un ancho útil de 7.70 m. entre pretiles, de los cuales 5.50 m. están destinados a la calzada.

Los tímpanos, aligerados por galerías longitudinales, están independizados de los estribos por medio de juntas libres.

El cálculo de las dimensiones se hizo para una una sobrecarga uniforme de 400 kg./m.<sup>2</sup> i una carga rodante de 14 t. Las presiones alcanzan al máximo de 15.6 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave, 13.1 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques i 23 kg./cm.<sup>2</sup> en los riñones.

El hormigón está compuesto de una parte de cemento, 2.5 partes de arena i 5 partes de grava en la bóveda; en la proporción 1:4:8 para los macizos de fundación de las pilas; i

en la de 1:3:6 para los macizos de elevación de las pilas i estribos.

La colocación del hormigón en cada bóveda se hizo procediendo por bloques trasversales en forma de dovelas, iniciándose el trabajo simultáneamente por cuatro puntos (riñones i arranques) i siguiéndolo simultáneamente. Cada una de las dovelas se constituyó apisonando convenientemente el hormigón por capas de 0.30 m., siendo las últimas en ejecutarse las que encierran las articulaciones de plomo.

Una bóveda de prueba ejecutada en las mismas condiciones ha dado, después de treinta i dos meses, una resistencia a la rotura de 520 kg./cm.<sup>2</sup>

El descimbramiento se efectuó cuatro semanas después de terminada la bóveda i una vez completada la obra i con su carga completa se rellenaron con cemento las juntas de las articulaciones. El descenso total observado en la clave desde el momento de iniciar el descimbramiento ha sido de 20 a 25 mm.

Una particularidad especial de esta obra existe en las fundaciones. Sobre una capa calcárea sólida el terreno está formado por otra de grava homogénea de 3 a 4 m. de espesor, la cual se ha consolidado bajo uno de los estribos transformándola en hormigón por medio de inyecciones de una colada de cemento que se hizo penetrar hasta la capa calcárea. Los machones se fundaron sobre bloques de hormigón contruidos al abrigo de una ataguía de madera impermeabilizada por medio de inyecciones de colada de cemento por el exterior de las paredes. El estribo de la derecha se fundó directamente sobre un terreno arcilloso i sin necesidad de emplear procedimientos especiales.

El costo total de la obra, excluyendo unos 27916 francos invertidos en trabajos accesorios, ha sido de 82336 francos o sea unos 172.50 gr./ m.<sup>2</sup> de superficie cubierta.

*Puente en Kirchheinn*, sobre el Neckar, construido en 1895-1897 (fig. 7). Está formado por cuatro arcos, articulados en la clave i en los arranques, de 38 m. de luz i 5.80 m. de flecha. Las bóvedas en arco carpanel tienen 0.80 m. de espesor

en la clave i 0.90 en los arranques. Las articulaciones están formadas por piedras talladas separadas por láminas de plomo.

El ancho del puente entre barandillas metálicas es de 5.50 m., de los cuales 4 m. están ocupados por la calzada i 0.75 m. por cada una de las aceras.

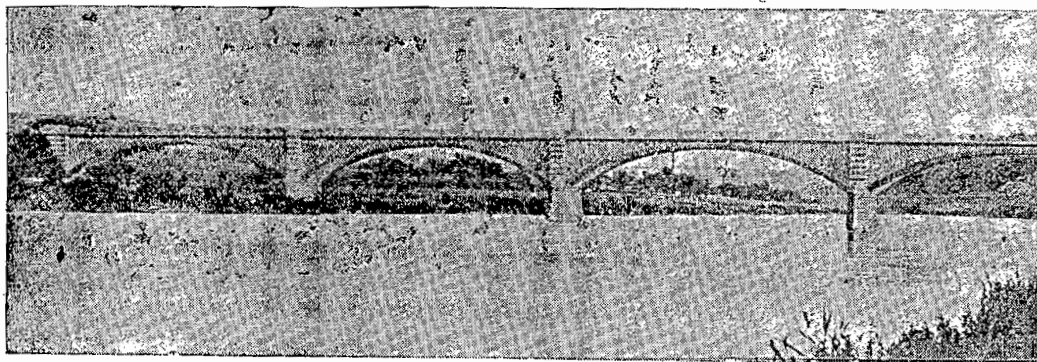


Fig. 7.—Puente Neckar en Kirchheim

Los timpanos están aligerados por galerías longitudinales dispuestas en tres series.

El hormigon de la bóveda está compuesto de una parte de cemento Portland, 2.5 partes de arena i 5 partes de grava.

El cálculo de las dimensiones se efectuó para una sobrecarga uniforme de  $400 \text{ kg./m.}^2$ , i la presión máxima en el hormigon alcanza a  $22 \text{ kg./cm.}^2$

El costo total de la obra alcanzó a 233000 fr.

*Puente Vauxhall*, en Londres construido en 1899 para reemplazar un antiguo puente de fundicion con arcos de 24 m. de luz. El nuevo puente de hormigon i cuyos paramentos están revestidos con piedras graníticas, tiene un arco central de 44.20 m. de luz i dos laterales de 40 m. Los arcos están rebajados a 1.10 i llevan articulaciones en la clave i en los arranques. El espesor de la bóveda en la clave i en los arranques es de 0.94 m. i en los riñones de 1.36 m. El ancho del puente es de 24 m. Los timpanos están aligerados por

medio de galerías longitudinales cubiertas con bóvedas de medio punto.

El hormigón está compuesto en la siguiente forma:

|                         |                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|
| Bóvedas . . . . .       | Una parte de cemento, cuatro partes de arena i grava. |
| Relleno i fundaciones   | Una parte de cemento, ocho partes de arena i grava.   |
| Partes superiores . . . | Una parte de cemento, cuatro partes de arena i grava. |
| » inferiores . . . .    | Una parte de cemento, seis partes de arena i grava.   |

*Puente sobre el Rosso* en Senigallia, en el Ferrocarril de Bolonia a Ancona, construido en 1889-1901, en sustitucion de otro que fué arrastrado por las aguas en las crecidas que se desarrollaron en ese rio en el mes de octubre de 1897 a causa de las lluvias torrenciales caidas en la rejion del

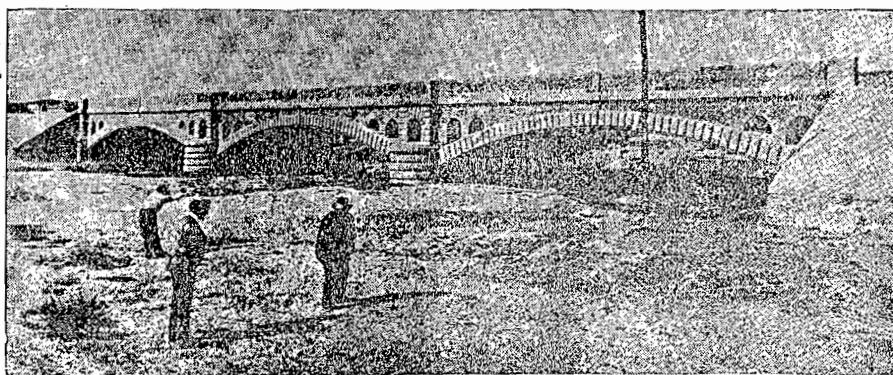


Fig. 8.—Ponte Rosso en Senigallia.

Adriático i que tantos perjuicios ocasionaron en la seccion Bolonia a Foggia, del citado ferrocarril, que se desarrolla por la orilla de la costa. (fig. 8.)

Siguiendo la norma jeneral adoptada por la administracion de los ferrocarriles del Mediodia, dueña de la línea, de no adoptar los puentes metálicos sino en casos de absoluta necesidad, i teniendo en cuenta que la sillería era demasiado costosa i que, ademas, la piedra de construccion que podia encontrarse en las vecindades era mui poco resistente, se prefirió construir la obra con hormigon de cemento.

El puente Rosso (lám. IV) se compone de tres arcos de 22 m. de luz i 2.20 m. de flecha, que llevan tres articulaciones de forma análoga a las empleadas en el Munderkingen i en el Coulouvrenière. Las bóvedas tienen 0.80 m. de espesor en la clave i 1 m. en los riñones i arranques. El ancho de la bóveda es de 8.56 m. El ancho del puente entre pretiles es de 8 m. ocupados por una doble via férrea.

Los cálculos han sido efectuados para el paso de dos trenes. La presion máxima en el hormigon es de 22.5 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave, 21.5 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques i 26.30 kg./cm.<sup>2</sup> en los riñones.

Las articulaciones se han envuelto en hormigon algun tiempo despues de terminados los trabajos, de modo que el arco trabaja como articulado al peso propio i como empotrado para la carga rodante. Del cálculo relativo a esta última hipótesis sobre la base del teorema de la elasticidad, resulta que si efectivamente se verificara la condicion de empotramiento perfecto, la presion unitaria máxima llegaria a 32 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques, 28 kg./cm.<sup>2</sup> en los riñones i 23 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave, sin producirse trabajo por traccion.

El hormigon empleado está compuesto de 425 kg. de cemento Portland por 0.500 m.<sup>3</sup> de arena i 0.800 m.<sup>3</sup> de grava; habiéndose exigido para las probetas de mortero de cemento i arena normal en la proporcion 1 : 3, una resistencia mínima de rotura por traccion de 25 kg./cm.<sup>2</sup> a los veintiocho dias i de 250 kg./cm.<sup>2</sup> por compresion.

El material empleado en la construccion del puente fué ensayado en el laboratorio anexo a la direccion de los trabajos en Ancona. Se verificaron tambien ensayos de control con el material preparado para la obra. Despues de siete

días, las muestras tomadas del hormigon confeccionado para la bóveda presentaron una resistencia a la compresion de 247 a 332 kg./cm.<sup>2</sup> i una resistencia a la traccion de 7.3 a 15.1 kg./cm.<sup>2</sup> Despues de veintiocho dias se obtuvieron: para la resistencia a la traccion 12.4 a 16.5 kg./cm.<sup>2</sup> i para la compresion 308 a 350 kg./cm.<sup>2</sup> Despues de ochenta i cuatro dias la resistencia por compresion resultó de 323 a 433 kg./cm.<sup>2</sup>

La fabricacion del hormigon para la bóveda se efectuó en una hormigonera cilíndrica de eje inclinado movida por un locomóvil. Para la construccion de las bóvedas, iniciada el 11 de abril i terminada el 13 de mayo de 1901, se procedió por trozos a manera de dovelas, de un ancho un poco superior a 1 m. a uno i otro lado del eje de los arcos, dejando como penúltimas dovelas las vecinas a la articulacion de la clave i terminando por las vecinas a las de los arranques, i alternando los trozos a fin de repartir lo mas uniformemente posible la presion sobre las cimbras. La confeccion de cada trozo se hizo en moldes de madera colocados sobre las cimbras. Estos moldes se prepararon de modo que el hormigon tomase la forma aparente de una obra de piedra aparejada.

Durante los trabajos, el descenso en la clave alcanzó un promedio de 35 mm. El descimbramiento se ejecutó cuatro semanas despues de terminadas las bóvedas i se anotó un nuevo descenso en la clave de 6 mm. en el arco central i de 10 mm. en los extremos. En prevision de estos asientos las cimbras se habian construido con un peralte de 50 mm.

Despues del descimbramiento se ejecutaron las partes superiores a las bóvedas dejando independientes los tímpanos de los apoyos. Aquéllos están aligerados por galerías trasversales i una pequeña galería longitudinal.

Finalmente se rellenaron los huecos de las articulaciones con mortero de cemento.

Las pruebas de recepcion se efectuaron con dos locomotoras acopladas i tanto para las estáticas como para las diná-

micas, los descensos observados en varios puntos resultaron poco superiores a 1 mm., i completamente elásticos.

*Puente sobre el Leine, entre Hanover i Grasdorf.*—Consta de un tramo central de 40 m. de luz i 4.50 m. de flecha i dos laterales de 6 m. El ancho del puente es de 6 m., de los cuales la calzada ocupa 2.80 m., las aceras 0.70 m. cada una i 0.90 m. cada una de dos banquetas reservadas para la instalacion de cañerías de agua.

Los espesores del arco principal son: 0.85 m. en la clave 1.16 m. en los riñones i 0.90 m. en los arranques. Las articulaciones son del sistema Köpke. Consisten en dos dovelas

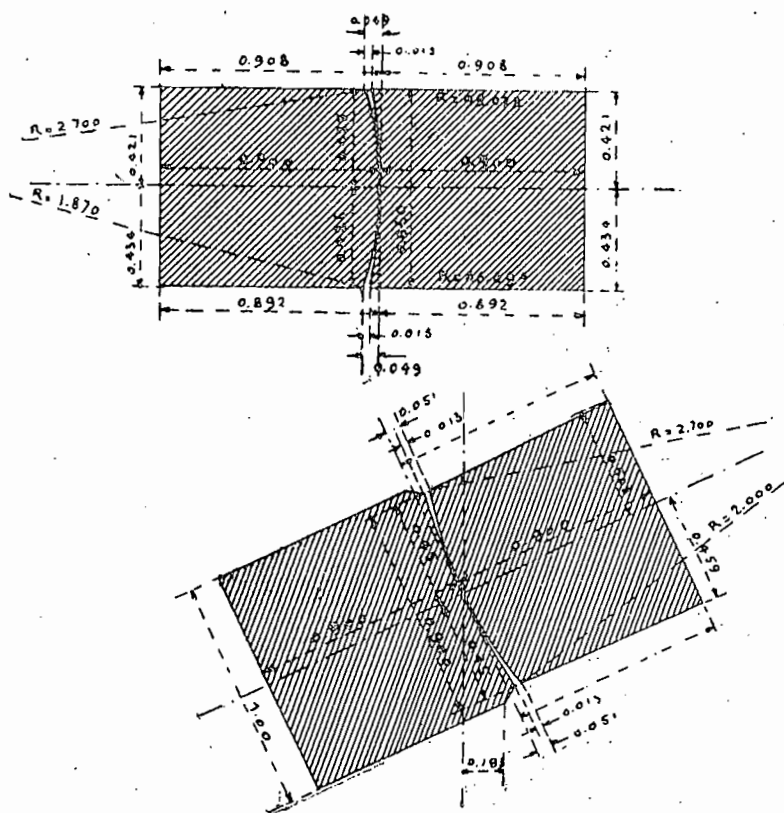


Fig. 9

de granito cuyas superficies de contacto son cilíndricas i de radios diferentes (fig. 9.)

La calzada toma apoyo sobre la bóveda por intermedio de arcadas de medio punto de 1.30 m. de luz i 0.40 m. de espesor en la clave, sobre piés derechos de 0.60 m. de espesor. A fin de permitir el funcionamiento de las rótulas, el arco contiguo al estribo es independiente de éste i está suspendido al arco vecino perteneciente al tímpano de la bóveda por medio de rieles envueltos por el hormigon. Entre los piés derechos de los tímpanos, el trasdos de la bóveda está cubierto por una chapa de cemento de 0.03 a 0.08 m. de espesor, otra de asfalto de 0.01 m. i finalmente una hoja de plomo.

Los estribos están constituidos por macizos de 13 m. de espesor i de 5 a 6 m. de altura que forman como la continuacion de la bóveda. Estos macizos llevan los arcos de 6 m. con sus piés derechos.

La obra está construida totalmente de hormigon, salvo las articulaciones que como hemos dicho son de piedras, i los paramentos de cabeza de los arcos que están revestidos con piedras graníticas de 0.80 m. de espesor.

El hormigon empleado en la obra está compuesto así:

| DESIGNACION                      | Cemento | Arena | Esqueleto            |
|----------------------------------|---------|-------|----------------------|
| Bóveda principal.....            | 1       | 2.5   | 5 piedras partidas   |
| Arcadas i sus piés derechos..... | 1       | 4     | 6 grava              |
| Bóveda de 6 m.....               | 1       | 3     | 4.5 piedras partidas |
| Piés derechos.....               | 1       | 4     | 6 grava              |
| Estribos.....                    | 1       | 4     | 6 »                  |

El puente ha sido calculado para una sobrecarga de 400

kg./m.<sup>2</sup>, para dejar paso a carros de 20 toneladas i para soportar los conductos de agua.

*Puentes sobre el Schlitz* (Austria) contruidos con el fin de salvar una derivacion abierta por este rio, uno de los mas torrenciales del Imperio, en el camino imperial de Goerz en una gran crecida que tuvo lugar en el mes de agosto de 1891. Se construyeron primero dos puentes provisorios de madera, i sólo cuando las crecidas posteriores, especialmente la de 1896, demostraron que el nuevo régimen del rio estaba definitivamente establecido, se resolvió reemplazar esos puentes por otros de carácter definitivo.

La facilidad de procurarse en los alrededores arena i grava de buena calidad, indujo a construir con hormigon estos dos puentes. Con el fin de dejar el máximo de desembocadura en aguas altas, se construyó cada uno de estos puentes con un solo arco de 30 m. de luz i 3.10 m. de flecha. Las bóvedas son en arco carpanel, provistas de tres articulaciones formadas por una rótula cilindrica de acero mantenida entre cojinetes de fundicion. Dichas bóvedas tienen 0.70 m. de espesor en la clave i en los arranques i 0.82 m. en los riñones. La presión máxima en el hormigon alcanza a 30 kg./cm.<sup>2</sup>

Los timpanos están aligerados con cuatro galerías longitudinales de 1.05 m. de luz sobre piés derechos que tienen 0.60 m. de espesor los centrales i 0.80 m. los de paramento.

El ancho del puente es de 6.05 m. entre pretiles, de los cuales 4.60 m. están destinados a la calzada i el resto a las dos aceras. El ancho de la bóveda es 6.15 m.; el ancho entre paramentos de timpanos, de 5.95 m., i entre paramentos de muros de vuelta de 6.70 m.

El hormigon de las bóvedas está compuesto con una parte de cemento Portland, tres de arena i cinco de grava. Los ensayos de mortero en la proporcion de 1:3 dieron una resistencia de rotura por tracción de 18 a 20 kgr./cm.<sup>2</sup>; los del hormigon empleado en la bóveda acusaron una resistencia a la compresion de 270 kgr./cm.<sup>2</sup> despues de doce semanas; i los del hormigon empleado en los estribos, una de 200 kgr./cm.<sup>2</sup> igualmente despues de doce semanas.

La construcción de cada semi-bóveda se efectuó realizando por medio de moldes seis dovelas que se ejecutaron en el orden conveniente para cargar las cimbras de una manera simétrica. El descenso de éstas durante la construcción alcanzó a unos 50 mm. El descimbramiento dió lugar a un nuevo asiento que ha alcanzado a 34 mm. en la época de terminar completamente las obras. Las cimbras se habían construido con un peralte de 100 mm. en prevision de estos asientos.

Las pruebas de recepción de estos dos puentes fueron las siguientes: Se cargó primero una mitad del puente con una sobrecarga de 460 kgr./m.<sup>2</sup> observándose en la clave un descenso de 3.2 mm., que desapareció una vez quitada la carga. Se cargó en seguida cada puente con 460 kgr./m.<sup>2</sup> sobre toda la longitud, i se observó un descenso en la clave de 2.4 mm. que se redujo a 0.5 mm. despues de quitada la carga en uno de los puentes en el cual se observó tambien, en uno de los estribos, un desplazamiento lateral de cerca de 1 mm. Se hizo pasar finalmente, por cada puente, una sobrecarga rodante formada por un locomóvil de 6 t. i un vehículo cargado tambien con 6 t. que produjeron un descenso de 0.34 mm. en la clave i que desapareció junto con quitar la sobrecarga.

Los dos puentes, que tienen un aspecto arquitectural bien satisfactorio, conseguido por medio de relieves i molduras de paramento obtenidas por moldajes, han costado en conjunto apenas 70000 francos.

*Puente San Leandro* (California) con un arco carpanel de cinco centros de 24.76 m. de luz i 7.92 m. de flecha. Espesor en la clave: 0.91 m. Ancho total: 9.14 m. El hormigon está compuesto de una parte de cemento Portland, dos de arena i siete de piedra chancada, i se emplearon 2587 m.

*Puente Northampton* en el ferrocarril central, (New Jersey) construido para sustituir un puente metálico de doble vía. El nuevo puente, compuesto de dos arcos oblicuos de 15.78 m. 10.36 m. de luz respectivamente, franquea el Hoken dauqua Creak i da paso a tres vías. Se conservó la mayor parte de las albañilerías que soportaban el puente metálico agregán-

dole lo necesario para tener las dimensiones convenientes. El trabajo se ejecutó en catorce semanas i se emplearon 1751 m.<sup>3</sup> de hormigon.

*Puente Hürtfeld*, cerca de Unterkochen (Würtemberg), de 80 m. de largo sobre un trazado en curva de 80 m. de radio. Está constituido por cuatro arcos de medio punto de 15 m. de luz. Su costo fué de 1340 francos por metro corrido.

*Puente Koenitz*, en el ferrocarril del Gürbenthal, que establece una segunda comunicacion entre Berna i Thoun. El puente salva el camino de Koenitz con una bóveda de 23.40 m. de luz i 5.98 m. de flecha. Los tímpanos están aligerados con galerias longitudinales de 2.20 m. de luz. El arco tiene 0.80 m. de espesor en la clave i 1.50 m. en los arranques. El ancho del puente es de 4.22 m. en el centro i de 6 m. en los extremos. Las pruebas efectuadas con locomotoras de 14200 kgr. por eje acusaron un descenso en la clave de 0.7 mm.

La obra construida totalmente de hormigon con un cubo total de unos 563 m.<sup>3</sup> costó 15250 francos, mientras que el presupuesto de un puente metálico, proyectado primero, era de 26000 francos.

*Puente Steinach* (Würtemberg) en la línea de Nürtingen a Neuffen, en la cual todos los puentes son de hormigon. Un solo arco oblicuo con estribos perdidos, de 19.60 m. de luz i 3.51 m. de flecha. El espesor de la bóveda que en la region central de 4 m. de ancho es de 0.60 m. en la clave i 1.08 m. en los arranques, decrece en 0.10 m. en las cabezas. El hormigon está compuesto de una parte de cemento Portland i siete de grava i arena. El terraplen sobre el puente tiene un espesor de 1.85 m. El descimbramiento se ejecutó ocho semanas despues de terminada la bóveda sin que se produjera descenso apreciable.

En los ensayos bajo la carga de una locomotora de 29 t. colocada en la junta de rotura, se observó una flexion máxima de 0.5 mm. en el eje de la via i 0.4 mm. en las cabezas, que se redujeron a 0.1 mm. próximamente, una vez quitada la carga.

*Puente de las Segadas*, en Asturias, sobre el rio Nalon. (lá-

mina V). Un solo arco articulado en los arranques i en la clave; de 50 m. de luz entre articulaciones i 5.05 m. de flecha. El espesor de la bóveda es de 1 m. en la clave, de 1.10 m. en los arranques i de 1.40 m. en los riñones. Las articulaciones están formadas por ejes cilindricos de acero entre cojinetes de fundicion. Los timpanos están aligerados por galerías transversales de 1.50 m. de luz sobre piés derechos de 0.50 m. de espesor, cubiertas con bovedillas medio punto de 0.35 m. de espesor.

La obra está construida con hormigon, estando revestida con piedras talladas las cabezas del arco principal i de los arcos de avenida, i con ladrillos aprensados las cabezas de los arcos de los timpanos i los frentes de los piés derechos. La bóveda principal ha sido construida por trozos en forma de dovelas como en el Senigallia i otros.

El hormigon está compuesto de una parte de cemento Portland, 2.5 partes de arena i 5 partes de hormigon, habiéndose autorizado embeber en la maza del maciso de los estribos una cantidad de bloques de piedra en la proporcion de 1:4 del volúmen.

El cálculo de las dimensiones se hizo para una sobrecarga uniforme de 300 kg./m.<sup>2</sup>. Las presiones máximas admitidas alcanzan a 38.9 kg./cm.<sup>2</sup> en la clave i 40.5 kg./cm.<sup>2</sup> en los arranques. Estas cifras corresponden a la hipótesis de bóveda totalmente cargada; ellas serán, sin duda, un poco superiores, en la hipótesis de que sólo esté cargada una semi-bóveda; pero hai que observar que se ha admitido para la fábrica así como para el relleno de tierras, un peso de 2500 kilogramo por m.<sup>3</sup> En realidad, pues, las presiones máximas pueden ser inferiores a las indicadas.

*Puente Ashtabula*, en Ohio, construido en 1904 en remplazo de un doble puente de metal i mampostería. Tiene dos arcos de 22.56 m. i da paso a cuatro vías férreas.

*Puente Tay*, en Kinclaven, con seis arcos de 18.75 m. de luz i 4.11 m. de flecha; la curva de intrados de las bóvedas, compuesta de arcos de elipses, tiene una forma lijeramente

27 m. i 26 m. de luz rebajados tambien a 1:10. Toda la obra es de hormigon con paramentos revestidos con piedra calcárea.

El ancho del puente es de 20 m. entre pretiles, de los cuales 12 m. ocupa la calzada i 4 m. cada una de las aceras. Las articulaciones son cojinetes metálicos en la bóveda mayor i láminas de plomo de 5 mm. de espesor entre dovelas de granito, en las tres menores.

Los timpanos están alijerados por galerias longitudinales. El hormigon empleado está compuesto así:

|                             | Cemento | Areña | Grava |
|-----------------------------|---------|-------|-------|
| Fundaciones . . . . .       | 1       | 4     | 8     |
| Bóvedas . . . . .           | 1       | 2.5   | 5     |
| Partes superiores . . . . . | 1       | 3     | 6     |

Las bóvedas se construyeron ahora por trozos separados en forma de dovelas de 1.20 m. a 1.50 m. de ancho. El api-soneado en cada trozo se hizo por capas de 0.10 m. a 0.15 m.

El descenso en la clave durante el descimbramiento, ejecutado de seis a ocho semanas despues de terminadas las bóvedas, fué de 21 mm. para la bóveda mayor i de 6 a 12 mm., para las demas. En total, el descenso en la clave de la bóveda de 44 m., fué de 92 mm., de los cuales 48 mm. se produjeron durante la construccion hasta el descimbramiento; i 44 mm. durante esta operacion i hasta algun tiempo despues.

El costo total del puente fué de 725000 fr. o sea 265 fr. por metro cuadrado de superficie cubierta.

*Puente en Neckarhausen*, sobre el Neckar.— Un solo arco de hormigon, articulado en los arranques i en la clave, de 50 m. de luz entre articulaciones i 5.545 m. de flecha.

Los estribos forman como una prolongacion de la bóveda i están fundados de 8 m. a 8.75 m. bajo el nivel de los arranques (lám. VI.)

El ancho útil del puente es de 5.50 m. entre pretiles, de los cuales 4 m. están destinados a la calzada que descansa

ojival. El ancho entre pretilos es de 4.88 m. Su costo fué de 152500 francos.

*Puentes sobre el Ysar*, en Munich.—Con motivo de los destrozos causados por el Ysar en sus crecidas de 1900 a su paso por Munich, ha sido necesario, entre otros trabajos, proceder a la reconstrucción de cinco puentes, de los cuales unos están contruidos con hormigon i otros con piedra calcárea, siendo el rebajo de las bóvedas el elemento que ha determinado en cada caso la eleccion del material, teniendo presente que las presiones limites adoptadas ha sido de 35 kg./cm.<sup>2</sup> para el hormigon i de 50 kg./cm.<sup>2</sup> para la piedra. Así se ha empleado el hormigon en bóvedas rebajadas hasta 1:10 reservándose la piedra para aquellas de mayor rebajo. En todos los casos las bóvedas llevan articulaciones en la clave i en los arranques.

Una de estas obras, el puente *Cornelius*, contruido en 1902, se compone de dos partes: la una con un solo arco de 44 m. de luz rebajado a 1:12 i contruido de piedra, i la otra formada por dos arcos de 38.50 m. de luz cada uno i de 3.84 m de flecha, separados por un machon central de 4 m. de espesor, contruido totalmente de hormigon. El ancho del puente es de 18 m., de los cuales 12 m. están ocupados por la calzada.

La construcción de las bóvedas de este puente se hizo por capas de 0.15 a 0.20 m. sobre toda la superficie de la cimbra entre articulaciones, en lugar de proceder, como en otros puentes, por trozos en forma de dovelas, ejecutados en órden conveniente para cargar las cimbras de un modo uniforme.

Durante la construcción de uno de estos arcos, tuvo lugar un grave accidente: parece que a causa de mala construcción de las cimbras, éstas se rompieron bajo la carga, produciéndose el derrumbe de la bóveda.

El costo total de las dos partes de la obra fué de 910000 francos.

Otro de los puentes referidos es el *Reichenbach*, con un arco de 44 m. de luz i 4.40 de flecha, i tres menores de 28 m.

sobre un tablero sostenido por pilares aislados de seccion rectangular, los que a su vez reposan sobre la bóveda. El ancho de ésta es de 4.80 m. en la clave i 5.60 m. en los arranques. El espesor es de 0.85 m. en la clave i 1.20 m. en los riñones i 0.90 m. en los arranques.

Las articulaciones son metálicas i están constituidas por siete pares de cojinetes de fundicion en la clave i nueve en los arranques, que sostienen, cada un par, un eje de acero de 100 mm. de diámetro i 500 mm. de largo.

La obra está construida totalmente de hormigon, comprendiendo los paramentos formados por piedras artificiales. Las proporciones del hormigon son las siguientes:

| Designacion                           | Cemento | Arena | Esqueleto          | Observaciones                                                               |
|---------------------------------------|---------|-------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Fundaciones....                       | 1       | 3     | 6 grava .....      | La arena es artificial i proviene de la chancadura de pórfidos o calcáreas. |
| Pilares de los tímpanos.....          | 1       | 3     | 6 piedras partidas |                                                                             |
| Bóveda i otras partes superiores..... | 1       | 2     | 5 » »              |                                                                             |
| Piedras artificiales.....             | 1       | 2     | 4 » »              |                                                                             |

El cálculo de las dimensiones se hizo para una sobrecarga uniforme de 400 kgr./m.<sup>2</sup>, sobre las aceras i un rodillo compresor de 15 t. sobre la calzada. La presion del hormigon en la bóveda, se limitó a 40 kgr./cm.<sup>2</sup> i no se admitió trabajo por traccion.

Durante la construccion de la bóveda se ha observado un descenso de la clave de 57 a 68 mm. Sobre la cimbra se anotó un nuevo asiento de 10 mm. El descimbramiento, verificado ocho semanas despues de terminada la bóveda, orijinó un asiento de 12 mm. Siete meses despues del descimbra-

miento, se ha observado un nuevo descenso de 27 mm. a 31 mm. En prevision, las cimbras se construyeron con un peralte de 200 mm., que resultó ser excesivo, ya que el asiento total fué sólo de 106 a 122 mm.

El costo total de la obra alcanzó a 88000 fr., o sea unos 320 fr. por m.<sup>2</sup> de superficie cubierta.

*Puente del Sosa* (España).—Construido en 1904 para soportar dos tubos de 3.80 m. de diámetro destinados a escurrir los 35 m.<sup>3</sup> por segundo, que forman la dotacion de aguas del canal de Aragon i Cataluña. El puente tiene una longitud total 183 m. repartida, en una parte central de cinco arcos de intrados elíptico, de 15 m. de luz i 5 m. de flecha, separada por dos grandes estribos de las dos laterales que están formadas, la una por seis arcos de 3 m. de luz, i la otra por cuatro arcos de la misma dimension. El ancho jeneral del puente es de 11 m. i en los estribos de 13.50 m.

Se habia empezado el acopio de las piedras para la ejecucion de la obra; pero debido al costo i al tiempo gastado por la distancia a las canteras, se resolvió recurrir al empleo del hormigon. De este material son los cimientos i toda la elevacion, salvo los paramentos de los estribos i los piés derechos de los arcos de alijeramiento.

Se empleó en la obra un total de cerca de 10000 m.<sup>3</sup> de hormigon fabricado en hormigoneras verticales que producian de 100 a 120 m.<sup>3</sup> diarios. La buena organizacion de las faenas, permitió ejecutar en dieziocho horas una de las bóvedas principales que cubica 212 m.<sup>3</sup>

La carga a que quedan sometidas las bóvedas de este puente, de 6 t. por metro cuadrado, es bien escepcional. Los espesores son, en las bóvedas principales: 1.28 m. en la clave, 1.52 m. en los arranques i 1.15 m. en las partes intermedias; el eje es un arco carpanel. Las bóvedas menores tienen 0.69 m. de espesor en la clave, 0.66 m. en los arranques i 0.52 m. en las partes intermedias; el eje es la parábola de ecuacion:  $y^2 = 2,38 x$ .

La verificacion de la estabilidad se hizo simultáneamente por el método de Mery i por el de Resal, habiendo acusado

este último, una presión máxima en las bóvedas principales, de 14 kgr./cm.<sup>2</sup>, sin producirse trabajo por tracción.

He aquí la composición de los hormigones empleados:

| CEMENTO                                |                                                                 | COMPOSICION DEL HORMIGON |       |       |       |                                              | DESIGNACION          |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------------------|----------------------|
| Marca                                  | Resistencia a la tracción del mortero normal 1:3 a los 28 días. | Cemento                  | Arena | Grava | Agua  | Cubo de grava por m. <sup>3</sup> de mortero |                      |
|                                        | kgr./cm                                                         | kgr.                     | litr. | litr. | litr. | m. <sup>3</sup>                              |                      |
| Vicat, artificial, lento.              | 25                                                              | 200                      | 444   | 880   | 105   | 2.25                                         | Estribos i pilas     |
|                                        |                                                                 | 225                      | 500   | 880   | 105   | 2.00                                         | Bóvedas              |
|                                        |                                                                 | 300                      | 330   | 780   | 100   | 2.50                                         | Piedras artificiales |
| Lutsens i Fradera, natural, lento..... | 16.7                                                            | 150                      | 600   | 765   | 108   | 1.5                                          | Fundaciones          |
| Auguera, Calaf, natural, rápido.....   | 9.22                                                            | 100                      | 444   | 880   | 90    | 2.4                                          | Rellenode timpanos   |

En las dos primeras bóvedas, que se construyeron simultáneamente, la ejecución se hizo empezando por los arranques para cerrar en la clave; pero se observó que al llegar a los puntos tercios se produjeron grietas en el trasdos cerca de los arranques. Para evitar que este incidente, que por lo demás no tuvo consecuencias, volviera a producirse en las demás bóvedas, se construyeron éstas por trozos: se confeccionaron primero dos dovelas, a 4.12 m. a cada lado de la clave, dentro de moldes o encofrados; el trabajo se prosiguió, en seguida, colocando el hormigón hacia uno i otro lado de esta dovela.

El descenso de la clave, estando las bóvedas sobre sus cimbras, ha sido inapreciable en los aparatos empleados que amplificaban veinte veces los movimientos.

El costo del puente, hasta la cama de apoyo de los tubos de conducción, fué de 450000 pesetas, escluyendo honorarios

del personal técnico, pues el trabajo se hizo por admistracion. El costo del metro cuadrado de proyeccion horizontal resulta, pues, de 225 pesetas.

*Puente Rockville*, sobre el Susquehanna.—Uno de los numerosos puentes de fábrica que la Compañía del Ferrocarril de Pennsylvania ha construido en reemplazo de sus viejos puentes metálicos. Su longitud total es de cerca de 1165 m. i su ancho de 16 m. para dar paso a cuatro vias. Está compuesto de cuarenta i ocho arcos de unos 21 m. de luz (70 piés) divididos en seis secciones por medio de pila-estribos. Las bóvedas son en arco de círculo de 12.50 m. de radio para el intrados i de 15.25 m. para el trasdos. El espesor del arco es constante e igual a 1.07. La obra está construida totalmente de hormigon, salvo las cabezas de las bóvedas que están revestidas con piedra tallada.

*Viaducto de Santa Ana*, en el ferrocarril San Pedro, Los Angeles i Salt-Lake, proyectado primeramente de acero i construido de hormigon el año 1904 en vista del menor tiempo requerido para ejecutarlo. Tiene una longitud total de 300 m., repartidos en diez arcos de los cuales ocho tienen 26.21 m. de luz i los dos últimos, ubicados en uno de los estribos, 10.67 m. de luz.

El hormigon, confeccionado en una hormigonera colocada cerca de uno de los estribos, se trasportaba en carros al punto de la obra en que debia emplearse.

*Puente sobre el Big Muddy*, cerca de Carbondale, construido en 1901-1903, para establecer la doble via en el ferrocarril Yllinois Central i en sustitucion de un puente metálico simple via, viga Pratt, que habia sido construido en 1889. Tiene tres arcos elípticos de 42.67 m. de luz i 9.14 m. de flecha. El espesor de la bóveda es de 1.52 m. en la clave; el ancho total del puente es de 15.42 m. Los tímpanos están aliviados por galerias trasversales de hormigon armado. El costo total de la obra fué de 625000 fr. (\$ 125000.)

*Puente Etsch* en Forts (Austria) construido para sustituir un antiguo puente de madera. Está formado por un solo arco de 31.40 m. de luz i 3.10 m. de flecha; con articulaciones en

la clave i en los arranques, formadas por piezas de acero en contacto segun superficies cilíndricas, una cóncava i la otra convexa, i fijadas sobre cajas de palastros i cantoneras embebidas en el hormigon de la bóveda. El ancho es de 6.80 m. correspondiendo 4.80 m. a la calzada i 1 m. a cada una de las aceras.

El espesor del arco es de 0.70 m. en los arranques i en la clave i de 0.86 m. en los riñones.

El cálculo de las dimensiones se hizo para una sobrecarga uniforme de 460 kg./m.<sup>2</sup>, vehículos de 12 t. i un carro aislado de 40 t. La presión máxima en la bóveda es de 25 kg./cm.<sup>2</sup>

El hormigon de la bóveda, compuesto de una parte de cemento, dos i media partes de arena i cuatro partes de piedras partidas ha resistido en cubos de 0.15 m. de lado despues de cuatro, ocho i doce semanas respectivamente 414 kg./cm.<sup>2</sup>, 528 kg./cm.<sup>2</sup> i 722 kg./cm.<sup>2</sup>

El hormigon empleado en los estribos, compuesto de una parte de cemento, tres de arena i seis de piedras ha resistido, en las mismas condiciones anteriores, 327 kg./cm.<sup>2</sup>, 361 kg./cm.<sup>2</sup> i 456 kg./cm.<sup>2</sup>

La construccion de la bóveda se ejecutó en dos dias con un total de diecisiete horas i media de trabajo, lo que para 196 m.<sup>3</sup> representa un rendimiento de 11,2 m.<sup>3</sup> por hora.

El descimbramiento se ejecutó cuatro semanas despues de terminada la bóveda con un descenso en la clave de 11 a 14 mm., i uno de 14,5 mm. posteriormente, bajo el peso de la via. El descenso en la clave ántes del descimbramiento habia alcanzado a un total de 26.5 a 33. mm. El descenso total fué, pues, de 52 a 61.5 mm. Previendo estos asientos se habia construido la cimbra con un peralte de 100 mm.

En las pruebas, verificadas dos semanas despues del descimbramiento, se observó una flecha de 1 a 1.5 mm. que desapareció una vez quitada la carga.

El costo total de la obra, incluso un puente provisional i diversos trabajos accesorios en los que se invirtió 8700 fr. fué de 84400 fr. Un puente metálico, aprovechando los estribos existentes, se presupuestó por 80200 fr.

*Viaducto en la Avenida Conecticut*, en Washington, establecido en 1905. — Este puente construido con bloques de hormigon preparados de antemano, está ricamente ornamentado con molduras i relieves de hormigon amoldado. El largo total de la obra es de 300 m; su ancho 16 m., correspondiendo 11 m. a la calzada i 2.50 m. a cada una de las aceras. Está formado por cinco arcos centrales medio punto de 45 m. de luz i otros dos extremos de 25 m. de luz. Los cuatro machones centrales tienen 6 m. de largo, i 11 m. los dos vecinos a los estribos.

Por las condiciones especiales de ubicacion, (en el parque Nacional) hubo que tener mui en cuenta el aspecto decorativo de la obra; por esta razon en el concurso que para este puente tuvo lugar en 1897, fué eliminado el empleo del hierro, del acero i hasta del hormigon armado.

*Puentes en Chile* (1). — Los puentes construidos totalmente de hormigon en nuestro pais, son escasos i de escasa importancia.

En ciertas lineas de ferrocarril construidas en los últimos tiempos se ha recurrido con un poco de mas liberalidad al empleo de este material para constituir las fundaciones i hasta los apoyos de algunos puentes metálicos, especialmente en las lineas de Valdivia a Osorno, de Temuco a Carahue i de Pitrufquen a Loncoche, en donde tambien se ha construido con ese material muchas alcantarillas abiertas i abovedadas; las proporciones empleadas han sido de 1 : 3 : 7 primero i 1 : 3 : 6 despues; i el cubo total de hormigon empleado en las obras de arte de las dos últimas lineas (entre las cuales se cuentan unas sesenta i cuatro alcantarillas i la infraestructura, dos estribos i tres machones del puente accesorio del

---

(1) La tradicional falta de publicidad en informaciones acerca de las obras públicas que se construyen en nuestro pais, nos impide dar noticias completas acerca del empleo del hormigon en los puentes en Chile. Existiendo condiciones especiales que justifican el empleo de este material aquí mas que en otros paises, agradeceremos a nuestros colegas toda informacion al respecto.

Cholchol, los dos estribos del puente Chada, etc.) excede de 40000 m.<sup>3</sup>

El primer puente de importancia en que haya entrado el hormigon en la confeccion de la bóveda ha sido el construido sobre el rio Longavi (1884-1886), en la linea central de los Ferrocarriles del Estado, entre las estaciones de Longavi i Membrillo. Estaba compuesto de catorce tramos de 20 m. de luz i 2.80 m. de flecha, subdivididos en tres grupos por medio de pila-estribos. Las crecidas del año 1899, en que el nivel de las aguas subió a 0.60 m. sobre el nivel de la imposta, canalizaron la parte central del cauce i descalzando las fundaciones, produjeron la caída de los seis tramos del grupo central. Teniendo en cuenta la necesidad de dar al puente mayor desembocadura, i la dificultad de fundar a buena profundidad en los mismos puntos en que se encontraban los restos de los antiguos machones, en lugar de reconstruir la parte destruida en la misma forma primitiva se ha establecido la continuidad de la obra con la construccion de cuatro tramos metálicos de 32.30 m. de luz teórica.

Las bóvedas del puente no son continuas; están formadas con cuatro arcos aislados de 1.10 de altura i de un ancho de 1 m. en los dos centrales, colocados a plomo de los rieles de la via, i de 0.80 m. en los dos laterales. Están contruidos con dovelas de piedras artificiales, amoldadas en el sitio de la faena, i ligados entre si por tirantes de hierro i bovedillas de ladrillo. Los tímpanos son huecos i sus muros de paramento así como los pretilos están contruidos con albañilería de ladrillos.

El hormigon con que están formadas las piedras artificiales está compuesto de uno de cemento i tres partes de arena i gravilla, habiendo sido el costo del metro cúbico colocado de sólo \$ 17, en tanto que la piedra canteada habria costado \$ 22, el metro cúbico.

Talvez la primera obra de arte, en las lineas férreas, en que el hormigon haya entrado sin previo amoldamiento ha sido la alcantarilla de Quebrada Honda, construida en 1892 en el kilómetro 375 del ferrocarril de Huasco a Vallenar

(1) Tiene cerca de 70 m. de ancho, 2 m. de luz con bóveda de medio punto, i recibe un terraplen de 21 m. de altura. El hormigon empleado está compuesto de una parte de cemento, tres partes de arena i cinco partes de grava.

---

Otro de los factores que en gran escala ha contribuido a dar mayor impulso a la construccion de puentes de fábrica, ha sido la adaptacion del cemento armado o del hormigon armado a las vigas rectas o a las bóvedas de puente.

Entiéndese bajo la denominacion jeneral de *materiales armados* todos los procedimientos de construcciones en los cuales se combina un aglomerante o argamasa cualquiera con una armadura metálica embebida en aquél. Si el aglomerante es el mortero de cemento se realiza el *cemento armado* o *sidero cemento*; si el aglomerante es el hormigon se realiza el *hormigon armado*.

En todos los tiempos se ha ejecutado obras en las cuales se ha combinado mas o ménos ingeniosamente el hierro i la mampostería agregando aquel material en piezas que han tenido simplemente el carácter de refuerzos; pero la combinacion racional del hierro o del acero i de la albañilería aprovechando en buenas condiciones las propiedades resistentes de uno i otro material es de orijen bien reciente. Las primeras obras de cemento o de hormigon armado han aparecido entre los años 1860 i 1865, i han sido construidas casi simultáneamente por Monier i Coignet, aunque sin seguir un criterio científico definido, sino que mas bien guiados por consideraciones netamente empíricas.

Mas tarde se ha seguido en estas construcciones una orientacion mas racional distribuyendo el entramado metálico dentro del aglomerante en forma conveniente para que el primero soporte los esfuerzos de tension, dejando que el segundo soporte por sí solo los esfuerzos de compresion.

Una vez experimentadas las primeras construcciones de esta

---

(1) Informacion del ingeniero don W. Kulczewski.

especie la teoría ha venido a justificar *a posteriori* lo racional del procedimiento basándose en esperiencias directas sobre la elasticidad del hormigon armado, sobre la adherencia del metal i de la argamasa, sobre la conservacion del primero dentro de la segunda, sobre la dilatacion térmica, la conductibilidad i capacidad calorífica del conjunto, etc., etc.

El punto de partida del importante desarrollo que el procedimiento de construccion en referencia ha adquirido en los principales paises, ha sido, sin duda, el éxito obtenido en las obras construidas segun el sistema Monier, que ha sido el primero que haya obtenido una patente de invencion; especialmente desde que, en 1880, esta patente fué adquirida por una sociedad anónima de Berlin (2) que despues de proceder a diversas esperiencias para hacer resaltar las ventajas del sistema, construyó numerosas e importantes obras en Alemania, Austria i Hungría.

Mui poco tiempo despues, una segunda sociedad (1) establecida en Viena iniciaba la explotacion del sistema i hoi dia puede decirse que Austria es el pais en donde se ha ejecutado mayor número de construcciones de cemento o de hormigon armado.

A la fecha es bien considerable el número de sistemas patentados que se hacen la competencia en los diferentes paises. Entre aquéllos, i ademas del ya mencionado, merecen citarse especialmente por su gran número de aplicaciones a los puentes, los sistemas Hennebique, Melan, Möller, Bonna i Ribera.

Los diferentes sistemas de hormigon armado se diferencian en la forma i disposicion de las armaduras; i desde este punto de vista se clasifican en tres grupos:

1.º La armadura es un simple hierro T embebido en el hormigon. Estos sistemas tienen el inconveniente de no utilizar por completo el metal, i no pueden considerarse realmente como de hormigon armado;

---

(2) La «Actien Gesellschaft für Beton und Monierbau.»

(1) La Sociedad Wayss.

2.º La armadura está colocada solamente en la parte que trabaja por traccion, sin armaduras especiales que ligen la rejion tendida a la comprimida. Estos sistemas están ya casi enteramente abandonados; i

3.º La armadura está colocada sólo en la rejion tendida, o tanto en ésta como en la comprimida, disponiéndose o no una armadura especial que liga una i otra rejion. Están comprendidos en este tercer grupo la mayor parte de los sistemas hoy empleados; i entre éstos, aquellos que ya hemos mencionado por sus aplicaciones a las obras de arte de las vias de comunicacion.

La adaptacion del hormigon armado a los puentes ha sido, sin duda, coronada por el éxito mas completo, i hasta podríamos decir, asombroso. Es sugestivo el siguiente cuadro, que da el número de los construidos en once años segun el sistema Hennebique:

|                    | 1894 | 1895 | 1896 | 1897 | 1898 | 1899 | 1900 | 1901 | 1902 | 1903 | 1904 | Total<br>jeneral |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| Francia.....       | 3    | 2    | 5    | 6    | 20   | 28   | 30   | 43   | 64   | 56   | 96   | 353              |
| Otros paises ..... | 2    | 1    | 5    | 7    | 9    | 14   | 28   | 26   | 49   | 49   | 66   | 256              |
| TOTAL.....         | 5    | 3    | 10   | 13   | 29   | 42   | 58   | 69   | 113  | 105  | 162  | 609              |

Obsérvese que esta es la obra efectuada por los concesionarios de uno solo de los numerosos sistemas que se hacen la competencia.

En realidad, pensamos que la cuestion del hormigon armado no ha alcanzado aun toda la perfeccion de que parece ser susceptible.

A conseguir ese resultado tienden los continuados estudios i esperimentaciones que dia a dia practican eminentes ingenieros i constructores a la cabeza de quienes figura M. Considére que ha consagrado gran atencion a este jénero de construcciones.

De las experiencias practicadas por dicho ingeniero, i de las que con no ménos constancia han llevado a cabo Harel de la Noë, Hartman, Coignet, Tedesco, Resal i otros, se ha deducido una serie de conclusiones, aceptadas hoy universalmente, que han servido de base a los métodos de cálculo empleados. Pero, i por mas que las construcciones ejecutadas de acuerdo con aquellas deducciones hayan satisfecho sus fines del modo mas satisfactorio en todos i en cada uno de los tipos de obras en que este procedimiento de construccion ha sido empleado en las buenas condiciones que él exige, pensamos que aun queda mucho que estudiar; i así deben haberlo comprendido las diversas administraciones, pues hasta hoy no han dictado sino a título de provisorias algunas no muy completas cláusulas i condiciones para este tipo de obras.

Con todo, el estado actual de la cuestion del hormigon armado en los puentes es bastante satisfactorio, sin que pueda vanagloriarse de haber alcanzado aun a competir con el metal o la albañilería en las grandes luces.

En una obra de las que nos ocupamos, aparte de la racional distribucion de la armadura, tienen capital importancia las cuestiones que se relacionan con la calidad de los materiales empleados i con las condiciones de su preparacion i de su colocacion en la obra.

Nada hai que agregar a lo que en otra ocasion ya hemos dicho acerca de la calidad del cemento i de la arena.

En cuanto al esqueleto de grava o de piedras partidas queda escludido en las partes de la obra en que los espesores son pequeños, o sólo se admite la gravilla o arena muy gruesa mezclada con la arena que hemos indicado como buena para la fabricacion de morteros. En los demas casos se exige que los fragmentos del esqueleto pasen por anillos de 0.005 m. i sean retenidos en otros de 0.03 m. como máximo, debiendo procurarse que los trozos de diferentes magnitudes estén en proporcion tal, que reduzcan el mínimo el porcentaje de huecos.

En cuanto a las proporciones que conviene adoptar en

los diferentes casos no puede decirse nada en absoluto, pues ellas dependen de la naturaleza de la obra. En términos jenerales, se procura emplear morteros ricos, que no tengan ménos de 400 kg. de cemento por metro cúbico de arena, i una cantidad de esqueleto tal que sus huecos queden completamente ocupados por el mortero con algun exceso.

Se emplea comunmente las siguientes proporciones:

|                        | Cemento | Arena | Esqueleto |
|------------------------|---------|-------|-----------|
| En el tipo Hennebique  | 1       | 1.7   | 3.7       |
| » » » Möller . . . .   | 1       | 2.5   | 3.5       |
| » » » Melan . . . . .  | 1       | 2     | 4         |
| » » » Monier . . . . . | 1       | 3     | ...       |

Por lo que respecta a la fabricacion de los hormigones nada hai que agregar a lo que ya hemos dicho anteriormente.

En cuanto a las armaduras, se emplea para constituir las ya sea el hierro ya sea el acero, segun la magnitud de los esfuerzos, debiendo preferirse por lo jeneral, este último. Se exige a ámbos materiales las mismas características que se le exige a los empleados en la construccion de puentes.

La preparacion de las armaduras exige trabajos particulares inherentes al sistema de que se trate, i de los cuales no seria posible ocuparse sin dar demasiado desarrollo a esta conferencia.

La agregacion del aglomerante se hace dentro de moldes suficientemente rijidos para poder soportar, sin deformacion apreciable, los esfuerzos que se desarrollan durante la ejecucion: peso del hormigon, efectos del apisonado, carga de los operarios, etc.

Estos moldes se hacen por lo jeneral de madera cepillada en sus caras de contacto con el hormigon, i se construyen en forma que puedan armarse i desarmarse cómodamente. A veces, en ciertos sistemas, las armaduras tienen la suficiente rijidez para ser montadas de antemano, i se las aprovecha para sostener, conjuntamente con la cimbra, los moldes dentro de los cuales se coloca el hormigon.

La marcha jeneral que se sigue en la construccion depende naturalmente del sistema, i sus detalles pueden estudiarse provechosamente en las publicaciones periódicas, i en las obras especiales, particularmente en aquellas de que son autores Mr. Paul Christophe, i Mrs. C. Berger i V. Guillerme.

Las ventajas que pueden hacerse notar en favor de los puentes de hormigon armado tienen todas su orijen en los materiales empleados i en su racional combinacion, traduciéndose, principalmente, en su menor costo de primer establecimiento con respecto a cualquier otro tipo de carácter definitivo.

Ellos no tienen ninguno de los inconvenientes de los puentes metálicos i participan de todas las ventajas de los puentes de hormigon comprimido.

Así, por ejemplo, no tiene, como la obra metálica, los inconvenientes que se derivan de la accion de los agentes atmosféricos. El hierro i el acero se oxidan fácilmente al contacto del aire húmedo, por lo que hai que preocuparse de pintarlos periódicamente a fin de ponerlos al abrigo de esta causa de deterioracion que, sin esta medida precautoria, comprometeria en plazo mas o ménos largo la solidez de la obra. En cambio, para el puente de hormigon armado, como la parte al contacto del aire es la argamasa, los agentes atmosféricos son, como ya lo hemos dicho, factores que contribuyen a su aumento de resistencia.

No tiene tampoco, como el puente metálico los inconvenientes que se derivan de la repeticion de los esfuerzos que traen modificaciones moleculares que, en cierta medida, tienen como efecto hacer descender el coeficiente de seguridad; sin contar con las alteraciones que a la larga se producen en las ensambladuras. Este inconveniente que no se presenta en el puente de fábrica en que el peso muerto es mui superior al de la carga móvil, no tiene tampoco importancia en el de hormigon armado, en el cual las armaduras no pueden vibrar aisladamente, como puede llegar a suceder en las diferentes piezas del puente metálico, sino que ellas, embebidas como lo están en la argamasa no pueden tomar otro mo-

vimiento vibratorio que el del conjunto, que es mucho mas ríjido que en el puente metálico i de peso muerto mui superior.

El único inconveniente estriba en que la ejecucion de una obra de esta naturaleza requiere particular prolijidad, lo que significa que sólo puede encomendarse a obreros especiales bajo la direccion de constructores experimentados, o, por lo ménos, a obreros inteligentes, bajo la direccion de un constructor estudioso i contraído.

Por otra parte, el empleo de la triple articulacion en los puentes del hormigon armado allega nuevo contijente a las ventajas peculiares del sistema. Como lo espresa Mr. Cristophe: «la triple articulacion para los puentes de hormigon armado, como para los arcos metálicos i para las bóvedas ordinarias es el tipo mas racional.»

No permitiéndonos la índole de esta conferencia entrar en detalles circunstanciados de cada uno de los diversos sistemas, nos limitaremos a indicar en pocas palabras las principales características de algunos de ellos bajo el punto de vista peculiar a la naturaleza de las obras de que tratamos.

**Sistema Monier**—La armadura está formada por un entramado completo en el intrados, i de una segunda armadura en el trasdos, que partiendo de los arranques se une a la primera a cierta distancia de éstos (fig. 10 B) o permanece paralela a la primera en toda su estension, limitada a veces (fig. 10 C), i completa otras veces (fig. 10 A); siendo esta última disposicion la mas usada en bóvedas de luz superior a 5 m.

En todo caso, cada armadura se compone de dos series de barras: las de resistencia que siguen la direccion paralela a la directriz de la bóveda, i las de reparticion colocadas sobre las anteriores i paralelamente a las jeneratrices de la superficie de duela. Para uno i otro sistema de barras se usan hierros de seccion circular o cuadrada, que se ligan unas a otras por ataduras de alambre.

Entre los puentes de mas de 5 m. de luz construidos segun este sistema podemos mencionar:

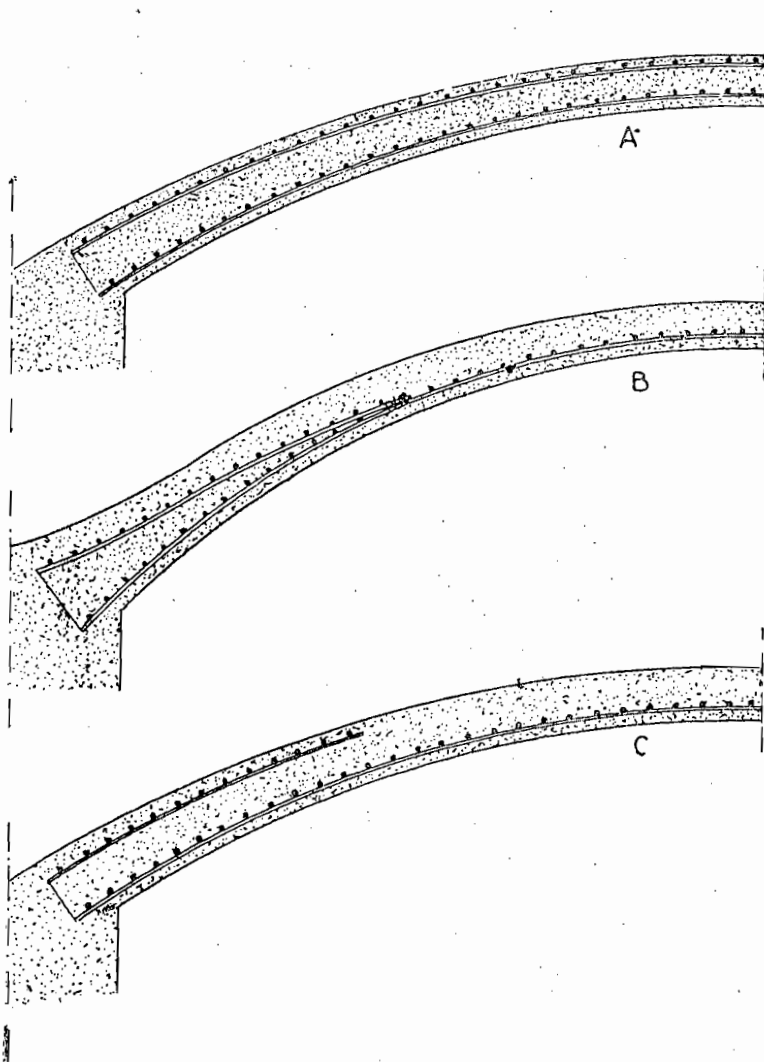


Fig. 10

*Puente Mödling.*—(Austria). Dos arcos de 9 m. de luz i 1.10 m. de flecha, con 0.15 m. de espesor en la clave i 0.30 m. en los arranques. La armadura de intrados tiene barras de resistencia de 10 mm. i barras de reparticion de 7mm., formando

mallas de 0.083 m. La red de trasdos abarca sólo las rejiones adyacentes a los arranques.

*Puente rielero Matzleinsdorf.*—De 10 m. de luz, 1 m. de flecha, 0.15 m. de espesor en la clave, i 0.20 m. en los arranques. Las barras de resistencia son de 10 mm. i las de reparacion de 7 mm., formando mallas de 0.55 m.

*Puente Borsi.*—(Hungria); De 13 m. de luz, 3.70 m. de flecha, i 0.20 m. de espesor en la clave. Una red de intrados bifurcada en la rejion de los arranques.

*Puente Draulitten.*—De 26.80 m. de luz, 6.40 m. de flecha, 0.60 m. de espesor en la clave i 0.80 m. en los arranques. Una armadura en el intrados i una segunda, parcial, en el trasdos, en las rejiones de los arranques.

*Puente Wildegg.*—(Suiza). De 37.22 m. de luz, 3.50 m. de flecha, 0.17 m. de espesor en la clave i 0.25 m. en los arranques. Armadura doble.

*Puente Ebhausen.*—(Würtemberg). De 20 m. de luz, 2.50 m. de flecha i 0.20 m. de espesor en la clave.

*Puente Waidhofen* (Austria) de 44 m. de luz.

*Puente Nymphenbourg* (Baviera) de 17.30 m. de luz, 1.84 m. de flecha, 0.30 m. de espesor en la clave i 1.20 m. en los arranques.

*Puente Bialka* (Austria) de 26.30 m. de luz, 6.60 m. de flecha. 0.32 m. de espesor en la clave i 0.45 m. en los arranques.

*Pasadera en Brème*, de 40 m. de luz, 4.50 m. de flecha, 0.25 m. de espesor en la clave i 0.55 m. en los arranques.

*Puente Brandella* (Italia) de 19 m. de luz, 2.75 m. de flecha, 0.60 m. de espesor en la clave i 0.90 m. en los arranques.

*El puente Newark* (Estados Unidos) de 16.54 m. de luz, 3.20 m. de flecha i 0.76 m. de espesor en la clave. Las barras de resistencia tienen 32 mm. de diámetro, son independientes en cada semi bóveda i se prolongan mas allá de la clave sobre una longitud de 1.52 m. para las de intrados i de 0.76 m. para las de trasdos; de modo que la separacion de las barras de cada serie que es de 0.30 m. en los arranques, se reduce á 0.15 m. en la rejion central. En los riñones de la bóveda se ha agregado barras auxiliares de 7.92 m. de largo, en los inter-

valos de las principales. Las barras de reparticion tienen 19 mm. de diámetro, están separadas de 0.61 m. i van colocadas alternativamente por arriba i por debajo de las barras de intrados i de trasdos. El puente cubre una calle i da paso a una doble via de ferrocarril.

El viaducto *Herkimer* (Estados Unidos), consta de diez tramos de los cuales siete tienen 18.90 m. de luz i los otros tres 20.27 m. Los primeros tienen una flecha de 3.66 m. i los segundos una de 4.27 m., teniendo todos un espesor de 0.53 m. en la clave i de 1.37 m. en los arranques. Las barras de intrados i de trasdos tienen 20 mm. de diámetro i están separadas de 0.28 m.

La pasadera *Falkenau*, de 16.50 m. de luz, 2 m. de ancho, 0.25 m. de espesor en la clave i 0.38 m. en los arranques.

**Sistema Hennebique.**—Entre los puentes construidos segun este sistema hai que distinguir: 1.º los constituidos por un simple forjado horizontal; 2.º los constituidos por vigas rectas con forjado entre ellas; i 3.º los puentes en arco.

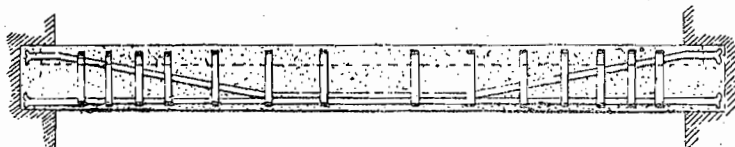


Fig. 11

1.º Para los primeros el entramado está constituido por dos series de barras de seccion circular colocadas en el sentido del eje. En la primera serie las barras son rectas i están colocadas a unos 25 mm. de la cara inferior; en la segunda serie, las barras colocadas en planos frontales como las anteriores, están dispuestas cerca de la rejion tendida en la parte central i dobladas hácia arriba en las laterales, de manera que en los arranques vienen a quedar cerca de la cara superior (fig. 11) a fin de soportar allí los esfuerzos de traccion que se desarrollan en la seccion de empotramiento. Las barras de una i otra serie van colocadas, sea una a plomo de la otra, sea en posiciones alternadas.

En ciertos casos especiales, el forjado se arma tambien con otra serie de barras colocadas en direccion normal a las anteriores. En todo caso, la armadura de la rejion tendida está ligada a la rejion comprimida por medio de horquillas formadas por hierros planos de 20 a 50 mm. de ancho i de 1.5 a 3 mm. de espesor en la forma que indica la figura 10. Su

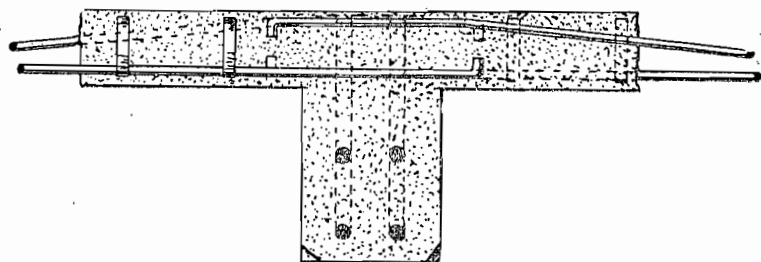


Fig. 12

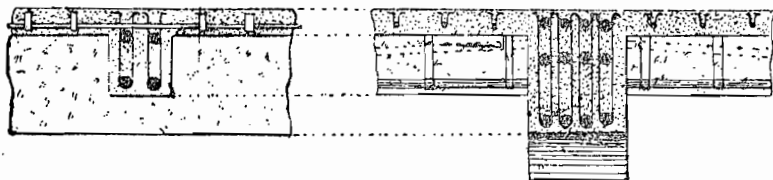


Fig. 13

papel no es sólo el indicado sino que tambien oponerse a los esfuerzos de deslizamiento, i sobre todo soportar los esfuerzos de corte.

Este tipo no es aplicable sino a los puentes de luz mui reducida. Entre ellos podemos mencionar el del *Abbage*, en San Mauricio, construido en 1897. Es un paso inferior oblicuo de 3.50 m. de luz i 0.30 m. de espesor, que da paso a dos líneas de ferrocarril de via normal.

2.º En los segundos, la viga afecta generalmente la forma

de una simple T constituida por un nervio i por los dos medios tramos adyacentes del forjado que forma como el tablero del puente (fig. 12). Comunmente las vigas se colocan de 1.50 a 2 m. de distancia, i a veces se disponen tambien nervios trasversales que desempeñan el papel de los travesaños (fig. 13.)

Los nervios presentan generalmente una seccion rectangular i su armadura comprende los mismos elementos que en el forjado.

Entre los puentes de este tipo mencionaremos:

*Puente del Tratto* (Italia) con tramos de 11.40 m. de luz.

Tres puentes en la *Maladiere* (Suiza) con 15 m. de luz libre; de estas tres obras, la una es una pasadera de 1.60 m. de ancho, la otra es un puente de 4 m. de ancho, i la tercera uno de 7.50 m. de ancho. En este último las vigas son lijeramente encorvadas i tienen 1 m. de alto; el forjado tiene 0.18 m. de espesor.

El puente *Jonnage* (Lyon), de 12 m. de luz; el forjado tiene 0.15 m. de espesor i está armado por cada metro corrido por seis barras de 15 mm. alternativamente rectas i encorvadas; descansa sobre cuatro vigas de 0.60 m. armadas cada una con tres pares de barras de 42 mm. de diámetro.

El puente *Tonneverre*, de un largo total de 21 m. divididos en tres tramos, de los cuales el central tiene 11.50 m. de luz.

El puente *Reignier* (Savoya), de mas de 80 m. de largo divididos en tramos de 8.10 m.; el forjado de 0.15 m. de espesor descansa sobre dos vigas longitudinales i nervios trasversales.

El puente *Gresse* (Grenoble), con tres tramos de 10 m. de luz; lleva dos vigas de 0.70 m. de alto por 0.30 m. de ancho i separadas de 2.40 m.

La pasadera del *Iverdon*, de 13 m. de luz; lleva dos vigas de 0.60 m. de alto separadas de 1.50 m.; el forjado tiene una lijera curvatura con una contraflecha de 0.10 m.

El puente *Rolle*, oblicuo a  $24^{\circ}$  con una luz recta de 3.90 m. i una oblicua de 4.25 m.; lleva cuatro vigas separadas de 1.80m. i da paso a dos vias de ferrocarril (Jura-Simplon.)

3.º En este tercer tipo se conserva, en principio, la estructura de los forjados i de las vigas rectas. Se pueden distinguir dos grupos distintos; en el primero el forjado plano que forma como el tablero del puente, constituye el trasdos del arco, siendo curvos solamente los nervios que afectan la for-

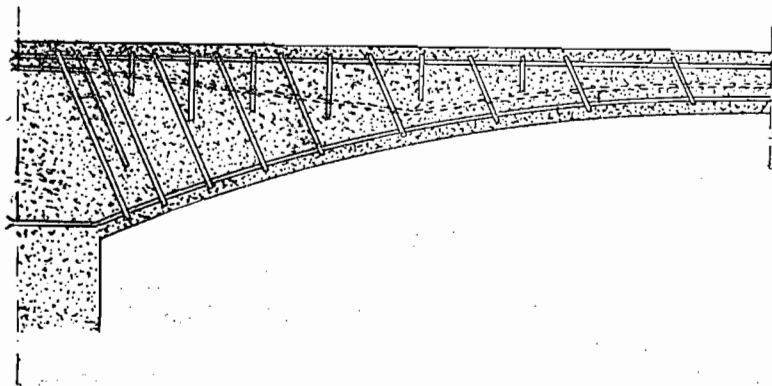


Fig. 14

ma de arcos de tímpanos llenos (fig. 14) i en el segundo, el tablero, cuando existe, es distinto del arco que está constituido por un forjado curvo reforzado por nervios en el intrados (fig. 15.)

Entre los del primer grupo mencionaremos:

El puente *Tarbes* (Pirineos), con tres tramos de 12.92 m. de luz i 1.30 m. de flecha. El tablero está sostenido por dos arcos separados de 2.60 m. i cuya altura mínima es de 0.20 m.

El puente canal *Evilard* (Suiza), con dos tramos de 12 m. de luz i 0.50 m. de flecha; el forjado está sostenido por tres arcos separados de 1.26 m. En estos arcos no hai sino barras de intrados i barras de trasdos, habiéndose suprimido la barras encorvadas.

La pasadera *Lorient*, con un tramo central de 17.15 m. de luz; el tablero está sostenido por dos arcos rebajados a 1:2 i ligados por nervios trasversales.

El puente *Debilly* (Paris), de 14 m. de luz i de 30 m. de an-

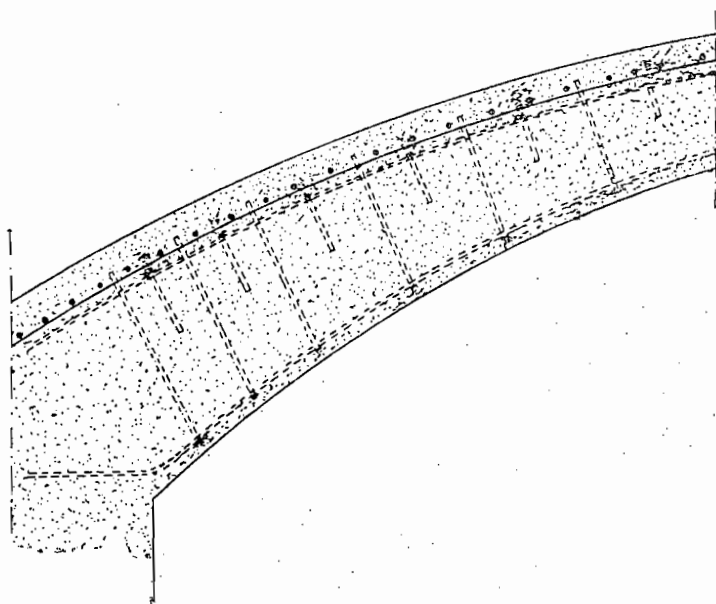


Fig 15

cho. El forjado de 0.10 m. de espesor está sostenido por doce arcos distantes de unos 2.50 m. que tienen 0.60 m. de flecha i están ligados por nervios transversales. El ancho de los arcos es de 0.25 m. i su espesor o altura de 0.30 m. en la clave i de 1 m. i 0.90 m. respectivamente en los arranques; están armados con barras de intrados i barras encorvadas en forma de catenaria; las barras de trasdos se han conservado sólo en los extremos.

La pasadera sobre el canal *Midi*, en Tolosa, tiene 42 m. de luz, 4.85 m. de flecha, 1.50 m. de ancho en el centro i 2.90 m. en los extremos. La curva de intrados es una carpanel de tres centros. La bóveda está constituida por un forjado curvo cuyo espesor de 0.30 m. en la clave disminuye progresivamente hasta llegar a 0.15 m. en los extremos; está armado por barras inferiores i barras encorvadas de 8 mm. ligadas al hormigon por horquillas verticales. Forman cuerpo con este forjado dos nervios longitudinales en arco cuya altura es de

0.65 m. en la clave i de 1.55 m. en los arranques. Cada uno de estos arcos presenta una pared interior plana i una exterior cilíndrica, llevando así el espesor de 0.40 m. en la clave

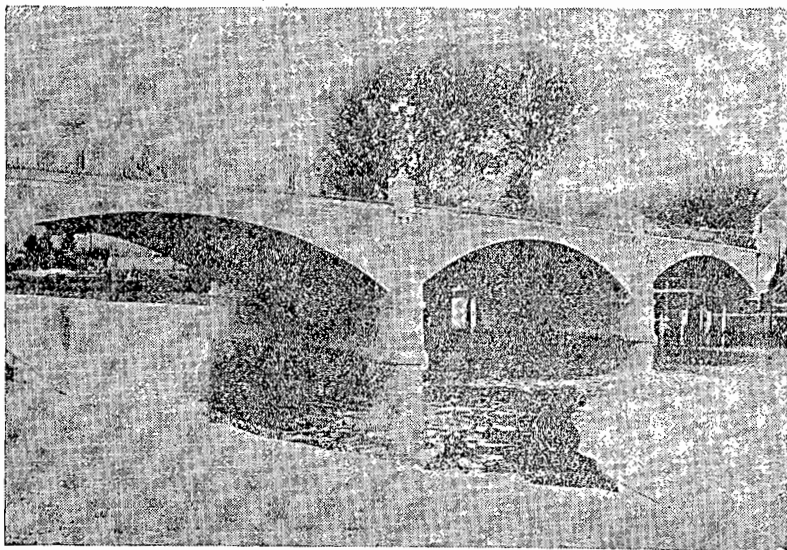


Fig. 16.—Puenle Aisne

a 1.10 m. en los arranques; la armadura de los arcos consta de seis barras de intrados de 32 mm. i cuatro de trasdos de 20 mm. ligadas al hormigon por horquillas de hierros planos.

El puente *Aisne*, en Soisson (Francia) (fig. 16), con tres tramos oblicuos a 30°: uno central de 24.48 m. de luz i los laterales de 24.25 m. El ancho total del puente es de 14 m. entre pretilos i da paso a una via carretera i a un ferrocarril de trocha de 1 m. El rebajo medio de los arcos es de 1:10.

El forjado que forma el tablero tiene 0.12 a 0.16 m. de espesor i está reforzado longitudinalmente por siete nervios en arco, desigualmente espaciados, i cuya altura es de 0.30 m. en la clave, 2.52 m. en los estribos i 2.75 m. en los machones; su espesor varia de 0.30 m. en la clave a 0.60 m.

para los cinco nervios centrales, i es sólo de 0.25 m. en toda la longitud de los nervios laterales. Trasversalmente el forjado lleva nervios espaciados de 3.50 m. bajo la vía carretera i de 1.75 m. bajo la vía férrea, i que son solidarios a la vez del forjado que soportan i de los arcos longitudinales; su altura es de 0.30 m. i su espesor de 0.20 m.

La armadura de los arcos está formada por dos o tres haces de barras circulares; cada haz comprende cuatro barras superpuestas i a intervalos variables. La barra superior está colocada en el forjado, que en realidad forma parte del arco mismo, a una distancia de unos 40 mm. de la cara superior; las otras tres barras están casi en contacto en la clave i se separan progresivamente permaneciendo la inferior a una distancia constante del intrados; la superior se levanta poco a poco hasta penetrar en el forjado cerca de los arranques, en tanto que la tercera se mantiene sensiblemente equidistante de las dos anteriores. Se ve, pues, que se ha agregado una cuarta barra al sistema corriente.

En resumen, la sección transversal del arco presenta en los de cabeza ocho barras de 18 mm. de diámetro, i en los centrales doce de 30 mm. en el arco medio (bajo la calzada) i de 28 mm. en los demas.

Las horquillas están distribuidas en dos grupos; en el uno toman la barra de intrados i están dirigidas hacia arriba en dirección normal a la superficie de duela; en el otro, toman la barra del forjado i quedan dirigidas verticalmente hacia abajo colocándose en los intervalos de las primeras.

El puente *Bade* (Austria) de 23.60 m. de luz, 2.36 m. de flecha i 12 m. de ancho. El espesor en la clave es de 0.40 m. i en los arranques de 2.60 m. Las armaduras son análogas a las del puente Aisne.

El puente *Dora* (Italia) con dos tramos de 20 m. de luz, 2 m. de flecha i 14.20 m. de ancho. El forjado de 0.16 m. de espesor que forma el tablero del puente está reforzado longitudinalmente por ocho nervios en arco de 0.30 m. de ancho espaciados a 1.60 m. i transversalmente por nervios de  $0.20 \times 0.40$  m.

Las armaduras tienen la disposicion usual del sistema.

Entre los del segundo grupo mencionaremos:

El puente *Painperdu* sobre el Lys (Gante), (fig. 17) con un solo tramo oblicuo de 20.60 m. de luz recta i de 21.92 m., segun el eje, i una flecha de 2.79 m. El forjado es curvo i está reforzado por ocho nervios de 0.25 m. de espesor i cuya altura varia de 0.38 m. en la clave a 2 m. en los arranques; ellos están separados de 1.68 m. i están armados sólo por barras

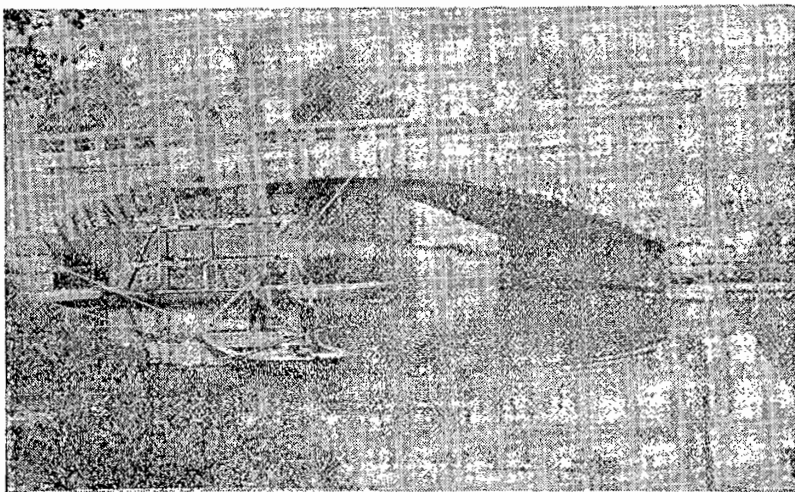


Fig. 17.— Puente Painperdu

de intrados i barras de trasdos de 40 mm. de diámetro; es decir, que no existen barras encorvadas. Las horquillas están colocadas a 0.40 m. en los arranques i a 1 m. en la clave. A fin de ocultar estos nervios se ha agregado un plafond que forma como el intrados de una bóveda continua. El forjado de trasdos tiene un espesor constante de 0.14 m. i está armado transversalmente por barras rectas i barras encorvadas de 14 mm. a 0.20 m. de distancia. El forjado de plafond tiene un espesor de 0.06 m. i está armado transversalmente por hierros circulares de 5 mm. a 0.10 m. de distancia.

El puente *Chatellerault*, de una longitud total de 135 m., divididos en tres tramos: el central de 50 m. de luz i 4.80 m. de flecha, i los laterales de 40 m. de luz i 4 m. de flecha (fig. 18). El tablero constituido por un forjado plano con nervios está sostenido por intermedio de postes verticales de

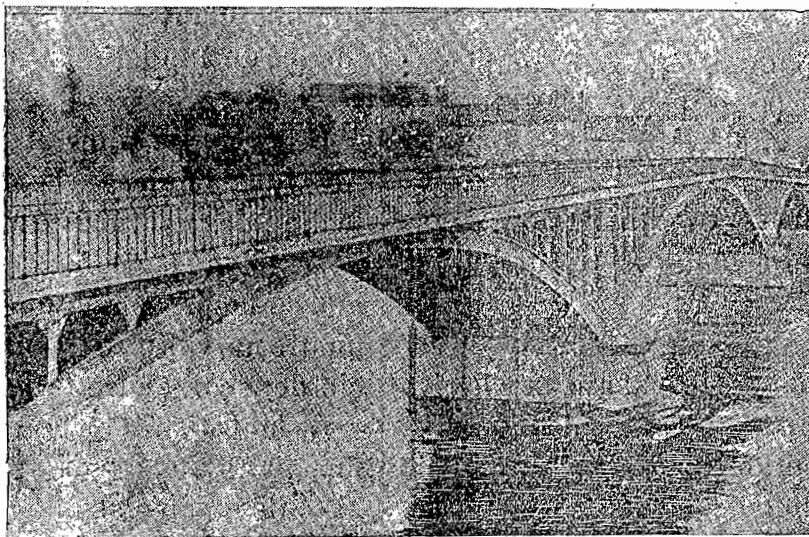


Fig. 18 - Puente Chatellerault

sección cuadrada de 0.20 m. de lado, separados de 2 m. i que se apoyan sobre la bóveda constituida por un forjado curvo reforzado por cuatro nervios longitudinales de 0.50 m. de ancho. Comprendiendo el forjado, los nervios tienen 0.53 m. de altura en la clave i 0.59 m. en los arranques en el tramo central i 0.45 m. i 0.80 m. respectivamente en los tramos laterales.

El puente *Bormida* (Italia) de 57 m. de luz, 3.20 m. de flecha i 5.80 m. de ancho; el espesor es de 0.60 m. en la clave i 1 m. en los arranques. El forjado está reforzado por cuatro nervios en arco de 0.50 m. de ancho, espaciados de 1.10 m.

Los tímpanos están formados por pilares verticales que reciben el forjado que constituye el tablero.

**Sistema Melan.**—Consiste simplemente en armar la bóveda de hormigon con una serie de arcos paralelos formados por hierros simples o doble T, que se utilizan tambien para sostener la cimbra.

Se ve, pues, que se aumenta la importancia de las barras de resistencia disminuyendo, i aun haciendo desaparecer las barras de reparticion. A veces, i cuando se trata de bóvedas de gran luz, se reemplaza los arcos T por arcos enrejados, en que las cabezas vienen a constituir las barras de resistencia de las armaduras de trasdos i de intrados. En todo

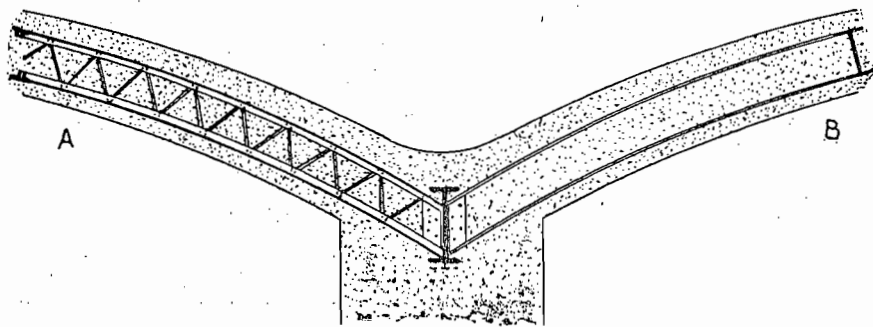


Fig. 19

caso, los arcos no están ligados unos a otros por armaduras metálicas sino en los arranques i sólo en casos especiales muy importantes en otros puntos. Si el puente consta de varios tramos, los arcos metálicos se ensamblan a una viga transversal colocada en los machones hacia el plano de los arranques (fig. 19). Este sistema se presta tambien a la construcción de bóvedas con triple articulacion.

Entre los puentes del sistema Melan mencionaremos:

El puente *Michigan* (Estados Unidos) en el ferrocarril a Detroit (fig. 20). Es una de las primeras aplicaciones del hormigon armado a las vias férreas hechas en Estados Unidos.

Es un puente oblicuo de 15.24 m. de luz i 2.89 m. de flecha; su ancho es de 30.50 m. i su espesor en la clave de 0.46 m. Las

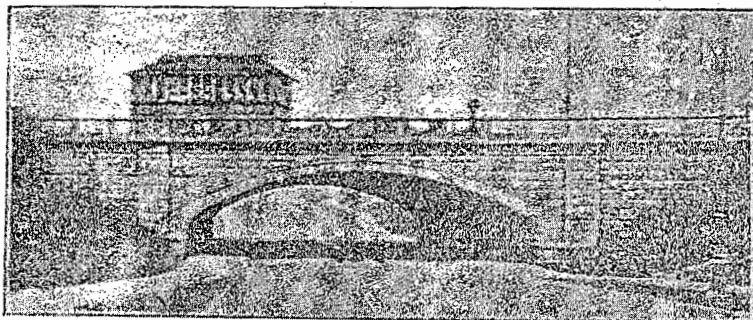


Fig. 20

armaduras son arcos enrejados, separados de 0.76 m. i de una altura de 0.381 m. en la clave i 0.610 m. en los arranques; las cabezas están formadas por dos cantoneras de  $102 \times 102 \times 13$  i el enrejado está constituido por hierros planos de  $127 \times 12$  con una parte de alma llena en la clave i en los arranques.

El puente *Neutra* (Hungría) (fig. 21), con seis tramos de 17 m. de luz i 1.13 m. de flecha. La bóveda abarca todo el espacio comprendido entre el intrados i la calzada; es decir

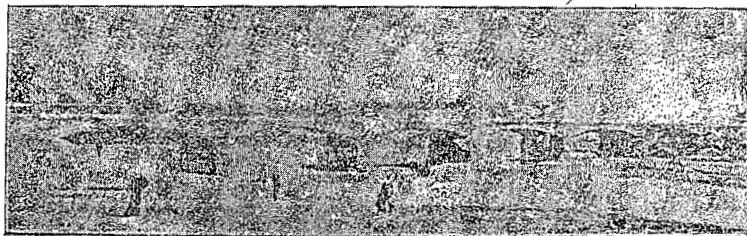


Fig. 21

que el trasdos es plano. Las armaduras metálicas son arcos con una cabeza plana i la otra curva, separados 0.50 m. uno de otro.

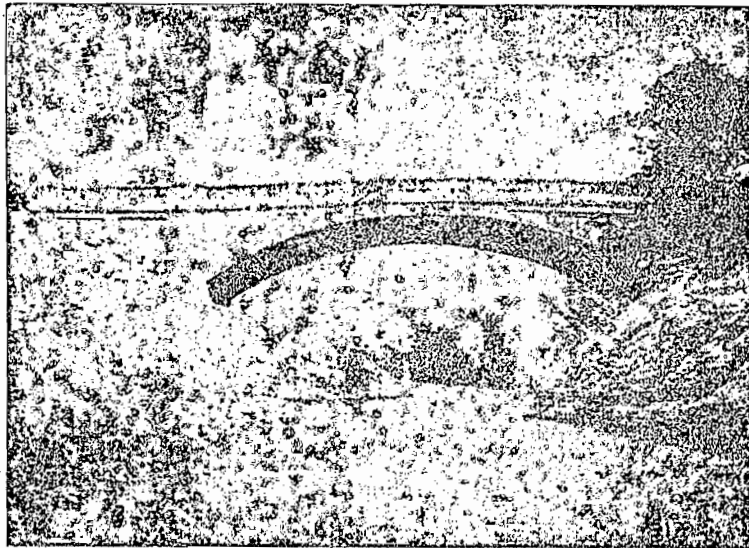


Fig. 22

El puente *Edempark* (Estados Unidos) (fig. 22), de 21.30 m de luz, 3 m. de flecha i 10.30 m. de ancho; el espesor en la



Fig. 23

clave es de 0.38 m. i en los arranques de 1.22 m.; los arcos metálicos tienen 0.23 m. de altura i están separados de 1 m.

El puente *Topoka* (Estados Unidos) (fig. 23) con cinco tramos, de los cuales uno con 38.40 m. de luz, dos con 33.80 m i dos con 30.10 m., siendo de 1 : 5 el rebajo medio. Las armaduras son arcos enrejados de 0.45 m. de altura en la clave i 0.65 m. en los arranques, i separados a 0.90 m. Para el tramo mayor los espesores son 0.50 m. i 2.50 m. respectivamente.

El puente *Paterson* (Estados Unidos) con tres tramos de 26.90 m. a 27.10 m. de luz, 0.38 m. de espesor en la clave i 1.67 en los arranques.

El puente *Sarajevo* (Bosnia) (fig. 24) con un tramo de 25.76 m. de luz, 2.54 m. de flecha, un ancho de 11.65 m. i un espe-

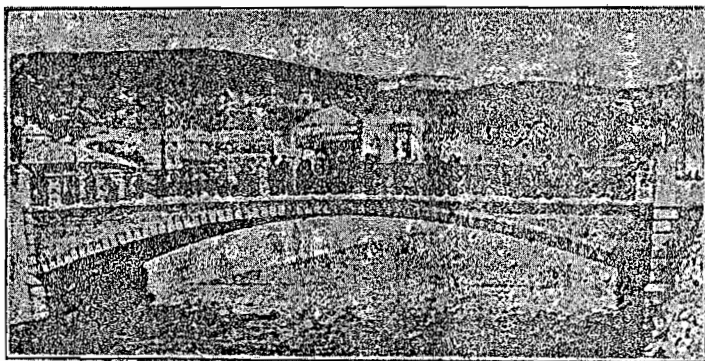
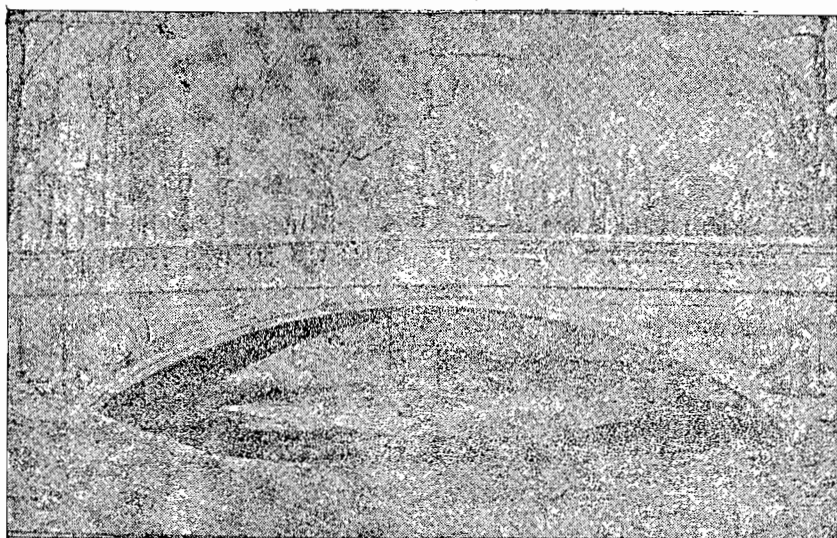


Fig. 24

sor en la clave de 0.30 m. La armadura está constituida por arcos separados de 0.60 m.

(Este puente así como el *Neutra* han sido construidos por Wunsch.)

El puente *Franklin* (Estados Unidos) (fig 25) con un solo tramo de 18.50 m. de luz, 4.75 m. de flecha i 9.75 m. de ancho; el espesor en la clave es de 0.28 m. i en los arranques de 0.76 m. La armadura está constituida por hierros doble T de 200 mm. de alto espaciados a 1 m.



Puente Franklin. Fig. 25

La pasadera *Skodsborg* (Dinamarca) de 21.85 m. de luz, 2.58 m. de flecha i 3.14 m. de ancho; el espesor en la clave es de 0.25 m. i en los arranques de 0.36 m. La armadura está constituida por rieles Vignola de 28 kg. separados de 0.75 m. El tablero, formado por bovedillas Monier de 2.24 m. de luz i 0.05 m. de espesor, descansa sobre la bóveda por intermedio de pilares de hormigon armado de 0.10 m. de espesor.

Dos puentes *Illinois Street* i *Meridian Street* (Indianopolis E. U.) ámbos con tres tramos de 22.20 m. de luz i 2.25 m. de flecha; el espesor en la clave es de 0.40 m. La armadura está formada por vigas doble T de acero de 0.25 m. de alto i 30 kg. de peso por metro corrido.

La pasadera *Hansatonic* (Massachusetts, E. U.) de 30.48 m. de luz, 3.05 m. de flecha i 2.29 m. de ancho; el espesor en la clave es de 0.23 m. i en los arranques de 0.76 m. Está armada por cuatro arcos doble T de 0.178 m. de alto i de 22.3 kg. de peso.

El puente *Payerbach* (Austria) de 26 m. de luz, 1.80 m. de flecha i 5.50 m. de ancho; el espesor en la clave es de 0.45 m. i en los arranques de 1.46 m. La armadura está formada por seis arcos enrejados, de acero, separados de 1 m.

El puente *Chauderon-Montbenon* (Suiza) con seis tramos de 28.80 m. de luz separados por machones de 3.50 m. de espesor. Imitando el dispositivo adoptado por M. Sejourné en el viaducto de Luxembourg, está compuesto de dos partes independientes de 5.80 m. de ancho cada una, separadas por un intervalo de 5 m. i sobre las cuales toman apoyo las bovedillas de alijeramiento de los tímpanos. El forjado que forma el tablero descansa sobre estas bovedillas i salva el intervalo entre los dos trozos por medio de una bóveda rebajada a 1 : 10. Cada seccion está reforzada por cinco arcos metálicos enrejados.

El viaducto sobre el *Tagliamento* en Pinzano (Italia), con tramos de 48 m. de luz separados por machones de 4 m. de espesor. Estas bóvedas, cuya flecha es de 24 m., soportan un viaducto superior formado por pequeñas bóvedas de 10.50 m. de luz. Lo mismo que en el puente anterior las bóvedas principales están divididas en dos partes de 2 m. de ancho en la clave i 3 m. en los arranques, reunidas por un forjado horizontal que forma el tablero del puente. Cada seccion de 1 m. de espesor en la clave i 1.50 m. en los arranques, está todavia alijerada por un hueco de 0.50 m. de profundidad practicado en el intrados, que reduce, en definitiva, cada una de ellas a dos arcos frontales reunidos por un forjado superior.

La armadura de cada uno de estos arcos está formada por un arco metálico enrejado del tipo corriente.

El puente *Yellowstone* (Estados Unidos), de 36.57 m. de luz, 4.37 m. de flecha i 5.65 m. de ancho; su espesor en la clave es de 0.61 m. i en los arranques de 1.22 m. La armadura consiste en diez arcos enrejados de 0.30 m. a 0.57 m. de altura ligados cada 3.65 m. por barras de acero apertadas a las cabezas.

El puente *Jesenic* (Austria) de 19.27 m. de luz i 3.82 m. de

flecha. La bóveda está articulada en los arranques i en la clave, i su espesor es de 0.40 m. en el primer punto, 0.35 m. en el segundo i 0.45 m. en los riñones. Los tímpanos están aligerados por medio de tres bovedillas armadas. La armadura de la bóveda principal consiste en seis arcos enrejados colocados a 1 m. de distancia, i reunidos trasversalmente por tirantes de seccion **U**.

Las articulaciones de las armaduras están constituidas por rótulas cilíndricas de acero entre cojinetes de fundicion. En la parte de hormigon se ha realizado las articulaciones por medio de dovelas de piedra tallada que toman contacto segun superficies cilíndricas, la una cóncava i la otra convexa.

El puente *Stery* (Austria) de 42.20 m. de luz, 2.85 m. de flecha i 6 m. de ancho. El espesor en la clave es de 0.60 m., en los riñones de 0.80 m., i en los arranques de 0.70 m. La armadura consiste en seis arcos enrejados de 0.50 m. de altura en los arranques i en la clave i de 0.70 m. en los riñones; están formados por cuatro cantoneras de  $120 \times 120 \times 15$  i un enrejado Warren de hierros planos de  $90 \times 10$ , i reunidos trasversalmente por seis travesaños enrejados.

Como en el Jesenic, la bóveda está provista de triple articulacion.

El puente *Francisco José* (Austria) de 33 m. de luz, 4.70 m. de flecha i 14 m. de ancho; el espesor en la clave es de 0.50 m., en los riñones de 0.68 m. i en los arranques de 0.65 m. Como en los dos puentes anteriores, la bóveda está provista de triple articulacion.

**Sistema Möller.**—En este sistema el forjado está reforzado por nervios armados por una barra plana suspendida que viene a anclarse en los arranques. Sobre estas barras se remachan trasversalmente i de trecho en trecho, trozos de cantoneras cuya longitud no sobrepasa el ancho del hierro plano. Los nervios tienen la forma de catenaria i la armadura sigue paralelamente a su límite inferior; su altura se anula en los apoyos, en donde el forjado tiene su mayor espesor

El forjado se arma transversalmente sea por medio de hierros doble T o por escuadras.

En los puentes similares a los de vigas rectas, el forjado es plano superiormente (fig. 26 A); en los similares a los

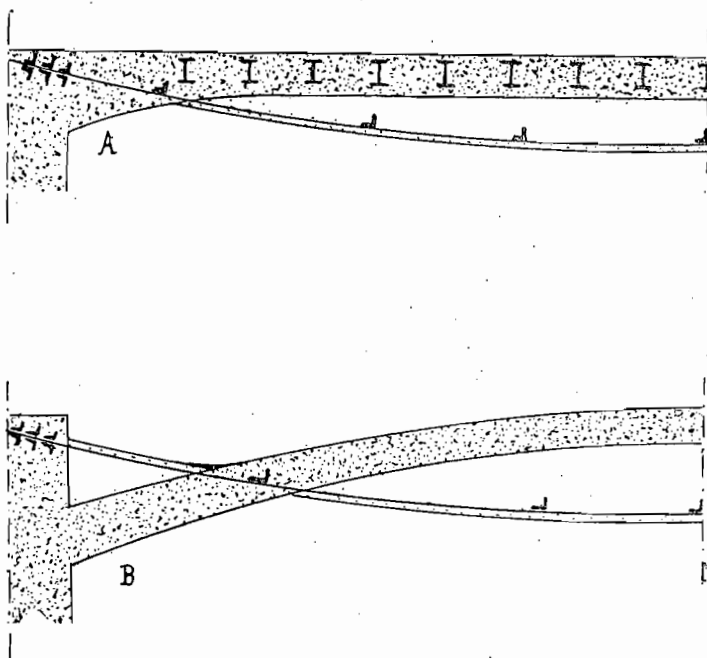


Fig. 26

puentes en arco, el forjado tiene la forma de bóveda (fig. 26 B); los nervios conservan su forma i refuerzan el forjado por la parte inferior en la region central i por la superior en los extremos.

Entre los puentes rectos del sistema Möller podemos mencionar:

La pasadera en *Brünswick*, estacion del oeste, con un tramo de 9.10 m. i dos de 4.80 m. de luz. El forjado tiene 0.10 m. de espesor i está reforzado por tres nervios cuya altura máxima es de 0.35 m. para el tramo mayor i 0.22 m.

para los otros, i que están armados con hierros planos de  $120 \times 10$  i  $100 \times 8$  respectivamente.

La pasadera en *Kreiensen*, con cuatro tramos de 11.40 m. i uno de 12.40 m. de luz. El forjado está armado con cantoneras i reforzado por dos nervios armados con hierros planos de  $150 \times 14$  provistos de seis trozos de escuadra.

El puente *Pleissemühlengraben* en Leipzig, de 11 m. de luz i 133 m. de ancho. El forjado tiene 0.25 m. i está armado por doble T de  $100 \times 50 / 4.5 \times 6.8$  i reforzado longitudinalmente por nervios de 0.73 m. de alto i 0.35 m. de ancho, espaciados a 1.15 m. i armados con hierros planos de  $320 \times 22$  provistos de seis trozos de escuadras de  $80 \times 80 \times 12$ .

El puente *Braunschweig* sobre el Ocher, de 23 m. de luz. El forjado está armado longitudinalmente por vigas doble T, i reforzado por ocho nervios armados en la forma ordinaria; i de los cuales los cinco centrales, bajo la calzada, tienen mayor altura que los restantes.

**Sistema Bonna.**—El principio jeneral de este sistema, consiste en realizar la indeformabilidad de un entramado metálico ligero, pero que pueda resistir sólo a todos los esfuerzos de tension, reduciendo considerablemente la importancia de los ensambles i reemplazándolos por eclisajes sencillos, remachados o apernados. El hormigon que envuelve los elementos de este entramado, casi siempre de forma tubular, forma un block que resiste los esfuerzos de compresion i de torsion.

La forma i distribucion de las piezas metálicas, es diversa en cada aplicacion particular.

Entre varios puentes de este sistema podemos citar:

El puente *Liancourt* de 7.50 m. de luz i 4.50 m. de ancho, que da paso a una línea férrea de vía ancha. El forjado está compuesto de una serie de bóvedas trasversales de hormigon de 0.75 m. de luz i 0.06 m. de espesor en la clave, armadas con hierros T. Estas bóvedas descansan sobre hierros doble T, que toman apoyo sobre cuatro vigas tubulares de seccion rectangular, formadas por escuadras enrejadas con hierros planos.

El puente *Grand Morin* en Esbly, de 10 m. de luz. Está constituido por un forjado armado longitudinalmente por hierros circulares de 8 mm. i transversalmente por especie de viguetas formadas por dos hierros planos de  $25 \times 19$  colocados cada 1.37 m. Este forjado está sostenido por dos vigas de 1 m. de alto i 0.50 m. de ancho, armadas por hierros planos colocados verticalmente: en la parte inferior hai seis de  $40 \times 19$  i uno de  $25 \times 19$ , a media altura hai siete de  $25 \times 19$ , i superiormente otros siete de  $40 \times 19$ . Estos hierros quedan colocados formando seis grupos de tres en un mismo plano vertical, i un séptimo grupo de dos solamente; cada grupo forma como una viga merced al enrejado vertical de hierros planos apernados a los anteriores. Las armaduras superior e inferior forman propiamente la viga, estando destinada la intermedia a recibir la carga soportada por las armaduras transversales del forjado i transmitirla a las anteriores.

El puente *Gers*, en Auch, de 21 m. de luz, 2 m. de flecha i 5.80 de ancho. El forjado de 0.15 m. está armado superior en inferiormente por hierros circulares en el sentido transversal, e inferiormente por barras longitudinales tambien de seccion circular. Está sostenido por cuatro vigas longitudinales armadas con hierros planos, i que descansan sobre cuatro arcos por intermedio de postes verticales en los tímpanos.

Los arcos están armados con tres pares de hierros planos de  $50 \times 11$ , reunidos los de un mismo par por montantes dobles de  $35 \times 8$ . Los hierros que arman las vigas del forjado, son de  $35 \times 10$  i  $30 \times 7$  i se remachan a los de los arcos en los puntos de interseccion.

**Sistema Ribera.**—Este sistema, imaginado por el ingeniero español don Eujenio Ribera, que despues de haber adquirido justa reputacion en materia de construccion de puentes metálicos, ha seguido con verdadero interes los progresos de los puentes de fábrica i de hormigon armado, tiene como punto de partida análogos principios que el sistema Melan.

La armadura metálica de las bóvedas está constituida por vigas doble T, sencillas o armadas, que tienen por sí solas resistencia i solidaridad suficiente para sostener el peso

muerto del hormigon en que quedan envueltas, teniendo este que resistir, una vez fraguado, los esfuerzos originados por el peso del tablero i la sobrecarga.

La bóveda puede ser continua sobre todo el ancho, o formada por varios arcos sobre los cuales se apoyan los pilares que sostienen el tablero. En este caso, el arco de seccion rectangular, lleva aparte de su armadura, un tejido metálico empotrado en la masa de hormigon i a pequeña distancia de los paramentos.

El forjado que forma el tablero está armado inferiormente por barras de resistencia i de reparticion de seccion circular. Queda reforzado por nervios trasversales: viguetas; i a veces tambien por nervios longitudinales armados por barras de

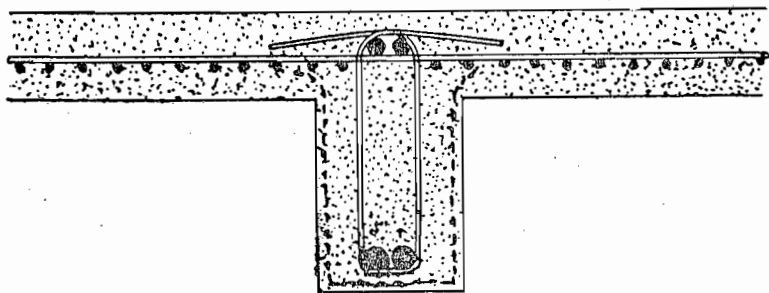


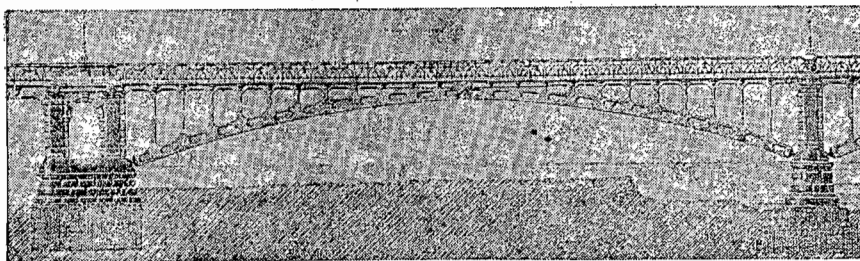
Fig. 27

seccion circular, superior e inferiormente, ligándose estas barras por horquillas que se doblan cruzándose por arriba de las barras superiores, i completándose la armadura por medio de un tejido metálico (fig. 27.)

Entre los puentes de este sistema, podemos mencionar:

El puente *Mieres* (Asturias) (fig. 28) con dos tramos en arco de 35 m. de luz i 3.50 m. de flecha, i tres tramos rectos de 10.50 m. de luz.

En los tramos en arco, el forjado de la calzada tiene 0.17 m. de espesor en el centro i 0.12 m. en los costados adyacen-



Puente. Mieres Fig. 28

tes a los andenes; se apoya sobre un entramado de viguetas i largueros, es decir de nervios trasversales i longitudinales. La armadura del forjado está constituida por barras cruzadas de 9 mm. de diámetro a 0.125 m. de distancia en los dos sentidos; los largueros situados a 1.66 m. de distancia tienen 0.20 m. de alto i 0.15 m. de ancho i están armados inferiormente por una barra de 36 mm. de diámetro en los centrales i 30 mm. en los laterales; las barras superiores son de 15 mm. Las viguetas están colocadas a 1.50 m. i tienen 0.18 m. de ancho por 0.25 m. de alto; la armadura superior es una barra de 25 mm. i la inferior de 28 mm.

Tanto en los nervios longitudinales como en los trasversales, el tejido metálico es de 3 mm. de diámetro i 60 mm. de malla; i las horquillas de 5 mm. colocadas a 0.20 m. de distancia.

El tablero descansa sobre pilares de  $0.15 \times 0.18$  m. armados con cuatro barras de 12 mm. reunidas a cada 0.40 m. de altura por alambres de 5 mm.

Las bóvedas llevan articulaciones en la clave i en los arranques; tienen 5.50 m. de ancho, 0.50 m. de espesor en la clave, 0.70 m. en los riñones i 0.60 m. en los arranques. Están armadas con cuatro arcos metálicos, distantes de 1.66 m., constituidos por cuatro escuadras de  $100 \times 100 \times 10$  que forman las cabezas, montantes de  $80 \times 80 \times 8$  i enrejado de  $80 \times 8$ ; trasversalmente están reunidos por ocho viguetas formadas por escuadras de  $65 \times 65 \times 7$ .

Las articulaciones son ejes de acero entre cojinetes de fundición para los arcos metálicos, i dovelas de hormigon rico amoldadas previamente i que toman contacto segun superficies cilindricas de radios diferentes con interposicion de láminas de plomo de 2 mm. de espesor, en las partes comprendidas entre los arcos metálicos.

En los tramos rectos, el forjado i los nervios trasversales

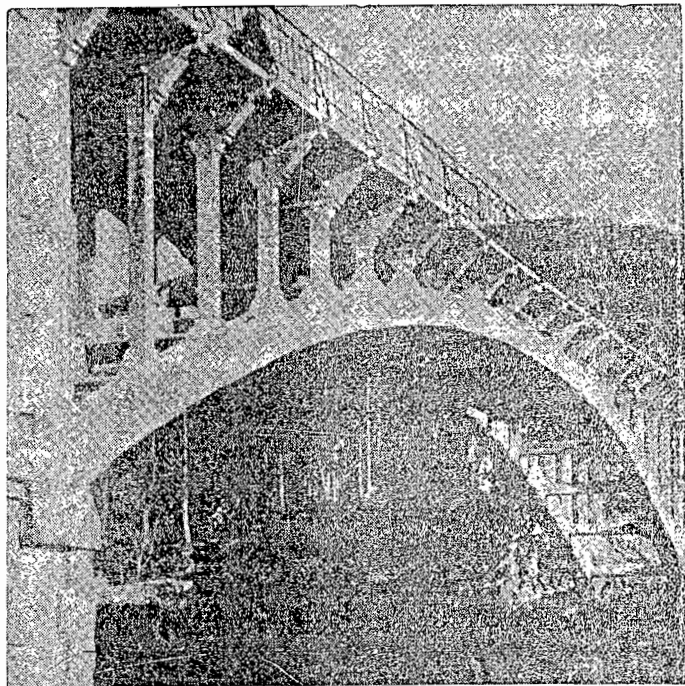


Fig. 29

son iguales a los de los tramos en arco. Los largueros están constituidos por vigas longitudinales de 0.78 m. de alto i 0.25 m. de ancho. Están armadas superiormente por dos barras de 25 mm. de diámetro i de las cuales sólo una abarca toda la longitud de la viga, i la otra sólo abarca 2 m. a partir de cada extremo; superiormente llevan tres barras las vigas la-

terales i cuatro las centrales siendo todas ellas de 40 mm. La armadura se completa con un tejido metálico, análogo al ya indicado, i horquillas verticales de 9 mm. a distancias crecientes desde las secciones de empotramiento hácia el centro.

El puente *Golbardo* (fig. 29) con un solo tramo de 30 m. de luz i 4 m. de flecha. Está constituido por dos arcos de paramento de  $0.50 \times 0.50$ , armados por dos vigas doble T de acero de  $200 \times 90 / 11.3 \times 7.5$ , a las que se ha dado en caliente la curvatura correspondiente, empotradas en los estribos por intermedio de chapas de palastro de 10 mm. Los arcos están arriostrados transversalmente, cada 2.30 m. por medio de viguetas de  $10 \times 25$  que llevan barras de 20 mm. apernadas a las vigas que arman los arcos. Sobre éstos están empotrados los piés de pilares verticales situados cada 1.50 m. i que sostienen el tablero. Las cabezas de estos pilares están ligadas transversalmente por viguetas que sobresa-len 0.50 m. de los planos de paramento de los arcos para sostener los andenes. Estos andenes i el forjado que forma el tablero se han construido por medio de placas de hormigon armado de 0.08 m. de espesor moldeadas previamente; i se ha completado el espesor de 0.14 m. estendiendo sobre estas placas una segunda capa de hormigon que liga todos estos elementos i que da al tablero una rijidez completa.

El hormigon de los arcos, riostras i viguetas lleva, aparte de sus armaduras, un fuerte tejido metálico conforme al sistema. Los pilares están armados por cuatro barras circulares de 10 mm. arriostradas cada 0.50 m. por ataduras de alambre de 5 mm.

El puente *Ganso*, con un solo tramo de 17.40 m. de luz i 2.30 m. de flecha. Su disposicion jeneral es completamente análoga a la del Golbardo. Los dos arcos tienen una seccion de  $0.40 \times 0.40$ , i las vigas doble T de acero que los arman tienen  $150 \times 74 / 9.5$ . Los pilares tienen  $0.15 \times 0.20$  de seccion i están situados a 1.50 m. de distancia; las cabezas de estos pilares van arriostradas por viguetas de  $0.15 \times 0.20$  de seccion transversal, i el forjado que descansa sobre ellas tiene 0.14 m. de espesor.

Los arcos están arriostrados a plomo de cada par de pilares por viguetas trasversales de  $0.15 \times 0.20$  cuyas armaduras están ensambladas a las de los arcos.

Las armaduras de todos los elementos de la obra están dispuestas en conformidad con el sistema Ribera.

El puente *Urumea*, en San Sebastian.—Es un puente monumental, ricamente ornamentado, que tiene 88 m. de largo total i 20 m. de ancho. Se compone de tres tramos de 24 m. de luz i 2.20 m. de flecha, separados por dos pilas de 3 m. de ancho. Las bóvedas están armadas por trece cuchillos o vigas de forma doble T dispuestas conforme a la patente del sistema.

Sobre las bóvedas se apoyan una serie de tabiques longitudinales de 0.20 m. de espesor i separados de 1.50 m. que abarcan toda la longitud del puente i sirven de base al tablero de 0.15 m. de espesor, sobre el cual va colocado el asfalto que forma el pavimento del puente.

**Otros sistemas.**—Entre los numerosísimos otros sistemas que los ya mencionados, algunos se prestan bien para ser utilizados en la construccion de puentes, como los sistemas Tacher, Piketty, etc.

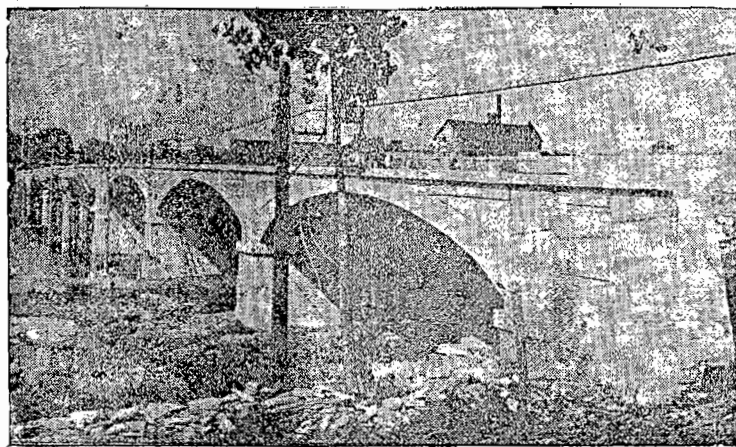


Fig. 30

Muchas veces, i esto nos parece lo mas racional, en lugar de encerrarse dentro del marco rijido de la patente de un sistema dado, se utilizan disposiciones peculiares a diversos sistemas, combinándolas i aprovechándolas convenientemente en cada caso particular; otras veces un mismo constructor no adopta en sus diferentes obras un sistema bien definido, sino que lo modifica cada vez de acuerdo con las condiciones particulares de la construccion de que se trata.

Todas estas circunstancias agregadas a que la mayor parte de los diversos sistemas patentados, productos mas bien de la ingeniosidad de los constructores que de la utilizacion de principios científicos diversos no difieren sustancialmente desde el punto de vista técnico, dificultan mucho la tarea de clasificar metódicamente; por grupos bien definidos, los múltiples ejemplos de puentes contruidos de hormigon o de cemento armado.

Los ejemplos que hemos citado contribuyen a dar idea del valioso concurso aportado por este procedimiento de construccion al establecimiento de puentes.

#### CONCLUSIONES

Como resultado de lo que queda dicho en el curso de esta conferencia i teniendo ademas presente:

1.º Que no existiendo en nuestro pais la industria del hierro, el 90 al 95% del valor total de la superestructura de los puentes metálicos debe ser cubierto en el extranjero;

2.º Que tanto por el grado de dureza de las buenas piedras de construccion nacionales, como por el escaso número de buenos canteros i albañiles el valor de la obra de mano en las mamposterias es relativamente alto;

3.º Que en la jeneralidad de nuestros rios se encuentran en abundancia el cascajo i la arena de buena calidad;

4.º Que las administraciones de los servicios disponen de los elementos necesarios para practicar ensayos de resistencia de los morteros i hormigones en cada caso particular; i

5.º Que la fabricacion de cales i cementos existe como

una industria nacional que día a día alcanza mayor desarrollo i perfeccionamiento;

Podemos concluir:

*Siempre que las condiciones locales lo permitan, el puente de fábrica debe preferirse al puente metálico; i en la jeneralidad de los casos habrá conveniencia en recurrir al empleo del hormigon, ya sea simplemente comprimido, ya sea armado, i muchas veces simultáneamente a la triple articulacion.*

