

# VIADUCTO MARTÍN GIL.

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

*Dada la extensión e importancia del tema que se trata en el presente trabajo que venimos publicando, comprenderá cuatro artículos en lugar de tres, que habíamos previsto. En este tercero se describen los procedimientos empleados para medir las deformaciones del arco y la organización y funcionamiento del Laboratorio instalado a pie de obra, quedando para el siguiente y último artículo la exposición de los principales detalles constructivos de la obra.*

## III

### Sistema de medida y control de movimientos y deformaciones del arco.

El plan establecido para la determinación de las deformaciones y movimientos del arco, fué orientado, a fin de conseguir estos datos, valiéndose, para lo primero, de dos sistemas distintos: uno, basado en la instalación de auscultadores de deformación interna, del tipo ICON, de cuerda vibrante, con sensi-

bilidad de milésima de milímetro, siguiendo la propuesta hecha por el entonces Ingeniero Asesor del Viaducto y hoy Ministro de Obras Públicas, Excelentísimo Sr. D. Alfonso Peña Boeuf, y otra, mediante elongámetros de tipo mecánico, también introducidos en la masa del arco, para conseguir una duplicidad de lecturas, que permitiera eliminar errores casuales.

Los auscultadores se establecieron en la forma indicada en la figura 1.<sup>a</sup>, en las secciones de arranque, riñones y clave, dejando en todas ellas clavijas de

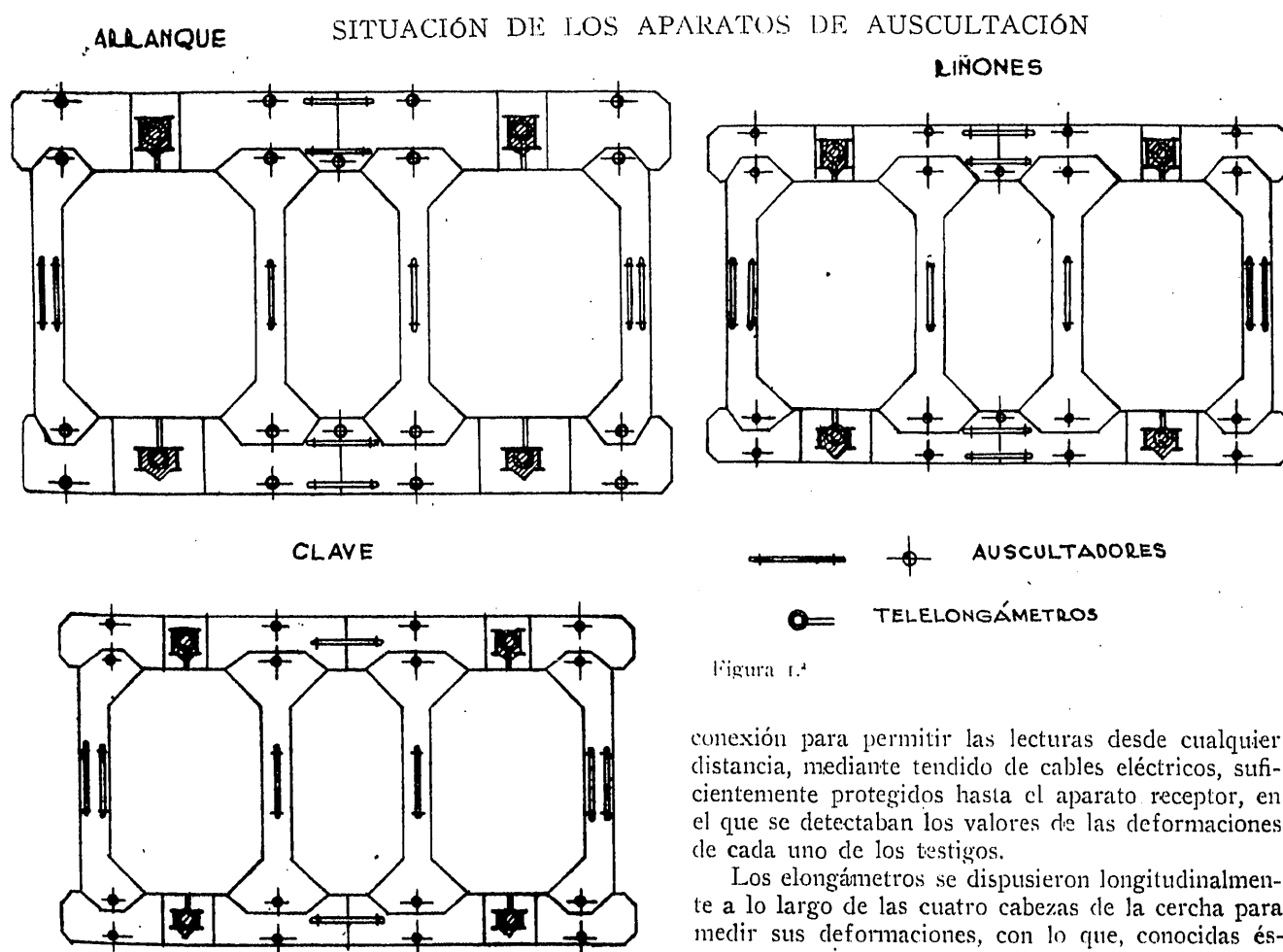


Figura 1.<sup>a</sup>

conexión para permitir las lecturas desde cualquier distancia, mediante tendido de cables eléctricos, suficientemente protegidos hasta el aparato receptor, en el que se detectaban los valores de las deformaciones de cada uno de los testigos.

Los elongámetros se dispusieron longitudinalmente a lo largo de las cuatro cabezas de la cercha para medir sus deformaciones, con lo que, conocidas és-

tas, se conocían las condiciones de resistencia de las partes más cargadas del arco y las que estaban sometidas durante mayor plazo a los esfuerzos anormales por defecto del hormigonado de las partes restantes.

Para la medida de estas deformaciones longitudinales de las cuatro cabezas, pareció lo más conveniente disponer aparatos de medida que dieran directamente la deformación o acortamiento total entre cada dos nudos. Como los nudos estaban a distancias variables entre 5,88 y 6,90 metros, y cada cabeza formada por dos dobles T, resultaba fácil alojar y sujetar debidamente los aparatos entubados de nudo a nudo.

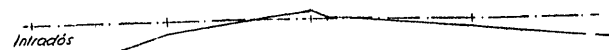
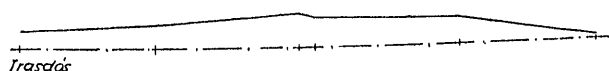
El número total de ellos resultó por consiguiente, en esta forma, de 128.

Las condiciones que habían de cumplir estos aparatos, eran las siguientes: sensibilidad del orden de la doble centésima de milímetro por metro, lo que

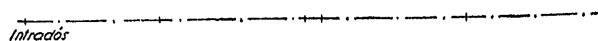
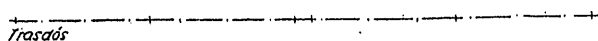
## DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE AUSCULTADORES

ZAMORA.

CORUÑA.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



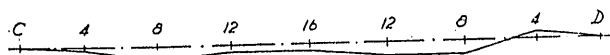
Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 2.<sup>a</sup>

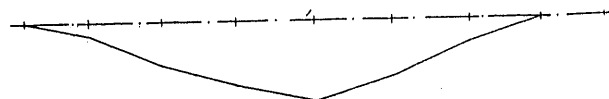
## CORRIMIENTOS TRANSVERSALES

ZAMORA.

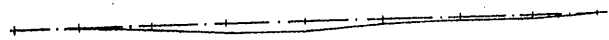
CORUÑA.



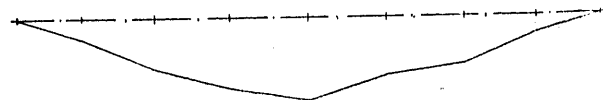
Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 3.<sup>a</sup>

equivale en el acero a una tensión unitaria de 40 kilogramos por centímetro cuadrado, y en el hormigón, con un módulo de elasticidad del orden de 400.000 que pudo preverse dados los ensayos efectuados, representa una tensión de 8 kg./cm.<sup>2</sup>. El exigir una mayor sensibilidad hubiera obligado, naturalmente, a encarecer la instalación, lo cual no parecía necesario, por no tratarse de un estudio afinado de tensiones, sino, exclusivamente, de un indicio para la seguridad de la obra durante su construcción.

La medida directa de las deformaciones en estas cuatro líneas, no podía sustituirse con eficacia por la determinación de los recorridos de diferentes puntos de la cercha con el sistema que luego se expone, ya que ese sistema solamente alcanzaba sensibilidades del orden de algunos milímetros, con dificultad. Por consiguiente, con longitudes, entre punto y punto observado, menores de 50 metros, la sensibilidad era ya menor que la prevista con los aparatos de medida directa de la deformación. Así, pues, se hubieran pasado por alto todas las deformaciones de ese tipo que se extendieran sobre menos de 50 metros, y por

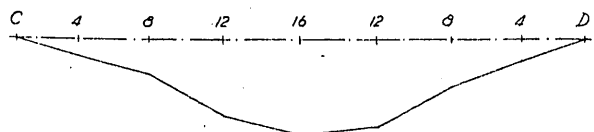
el cálculo del arco se veía que los valores de las tensiones variaban mucho más rápidamente a lo largo del arco por efecto de las variaciones y hasta inversiones de las flexiones durante el hormigonado. Era necesario, pues, poder detectar variaciones de tensiones en longitudes cortas, a ser posible entre nudo y nudo, tanto más cuanto que estas variaciones locales eran precisamente las más probables y peligrosas por cualquier defecto del material o de la construcción.

Para conocer completamente el trabajo de los distintos elementos quedaba otro punto importante. No resultaba posible, práctica y económicamente, establecer aparatos de medida sobre los sistemas de arriostamiento horizontal de trasdós e intradós que quedaban embutidos en el hormigón, porque el coste de

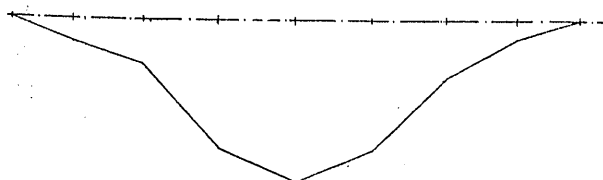
### CORRIMIENTOS VERTICALES

ZAMORA.

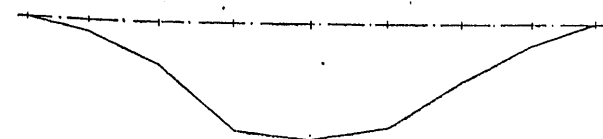
CORUÑA.



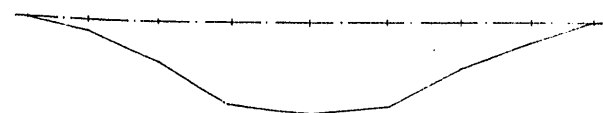
Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



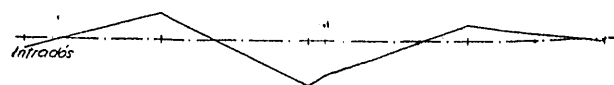
Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 4.<sup>a</sup>

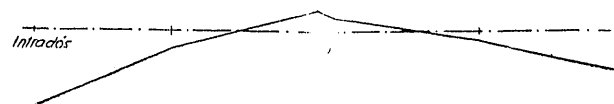
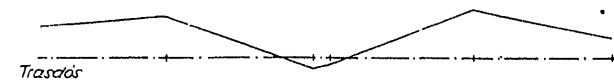
### DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE AUSCULTADORES

ZAMORA.

CORUÑA.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior e inferior.

Figura 5.<sup>a</sup>

la instalación hubiera sido prohibitivo. Pero como el trabajo de estos elementos se producía solamente con la flexión en planta del arco bajo el viento u otros efectos anormales, y estos fenómenos abarcaban siempre zonas grandes de la estructura, produciendo recorridos apreciables simultáneamente en longitudes grandes del arco. Su medida se hacía mejor midiendo ópticamente los movimientos por medios geodésicos.

Los puntos a observar se eligieron en las intersecciones de los paramentos verticales que limitan la bóveda y se distribuyeron de modo que se correspondieran, aproximadamente, con las secciones más importantes entre las empleadas para el cálculo. La señal que en cada punto debía ser observada consistía en una esfera ennegrecida y mate de dos centímetros de diámetro sujeta al vértice de un cono, en la base del cual se fijaba una pantalla blanqueada, susceptibles de ser iluminada durante las observaciones nocturnas; dándose las dimensiones convenientes para que, desde los puntos de observación de la señal, se viera resaltar por contraste contra la pantalla.

Además de las dos estaciones vértices se dispuso un tercero, que tenía por objeto proporcionar una tercera visual de comprobación de las dos visuales precedentes, permitiendo juzgar respecto de la calidad de las observaciones realizadas y de las situaciones dadas a los puntos y efectuar una compensación de errores.

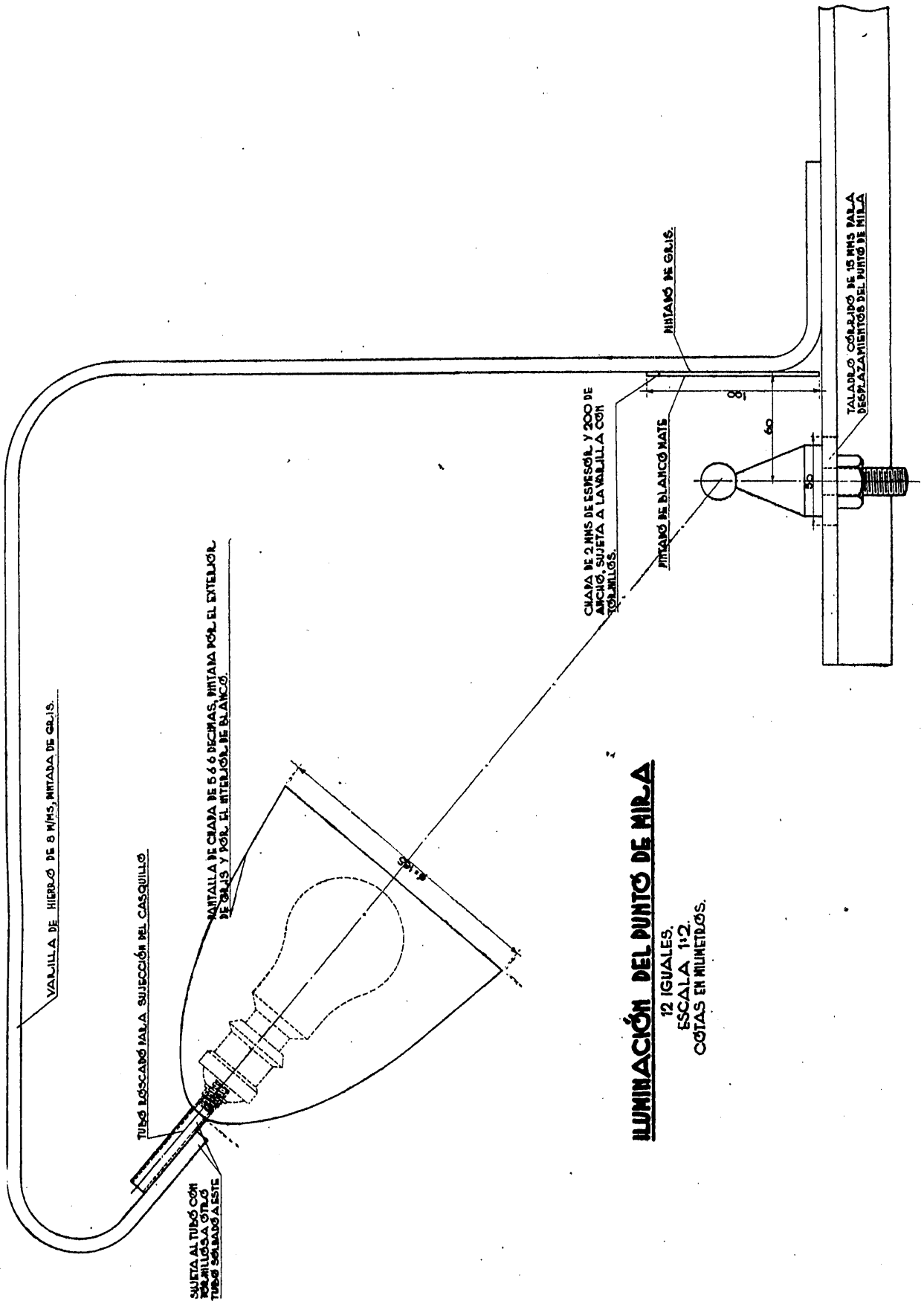


Figura 6.a

En estas tres estaciones se construyeron casetas de madera sólidamente instaladas, sobre firme de fábrica, con amplios ventanales, y en su parte interior, sobre bancada, también de fábrica, se situaron fijos, de una vez para todas, los teodolitos. Estos eran "Wild", con sensibilidad de un segundo.

Para conocer los recorridos de cada punto, se efectuaban simultáneamente las lecturas, desde las tres estaciones y, una vez referidas las de las miras

horizontales a las mismas esferas, se disponía de tres visuales, con ángulos conocidos, para determinar la posición de cada punto.

A fin de evitar la lentitud y dificultad del cálculo de cada una de las lecturas, se recurrió al empleo de unos ábacos, previamente preparados, uno para cada punto a observar, sobre los que se trazaban las líneas correspondientes a las tres visuales, cuya intersección (mejor dicho, el centro del triángulo formado

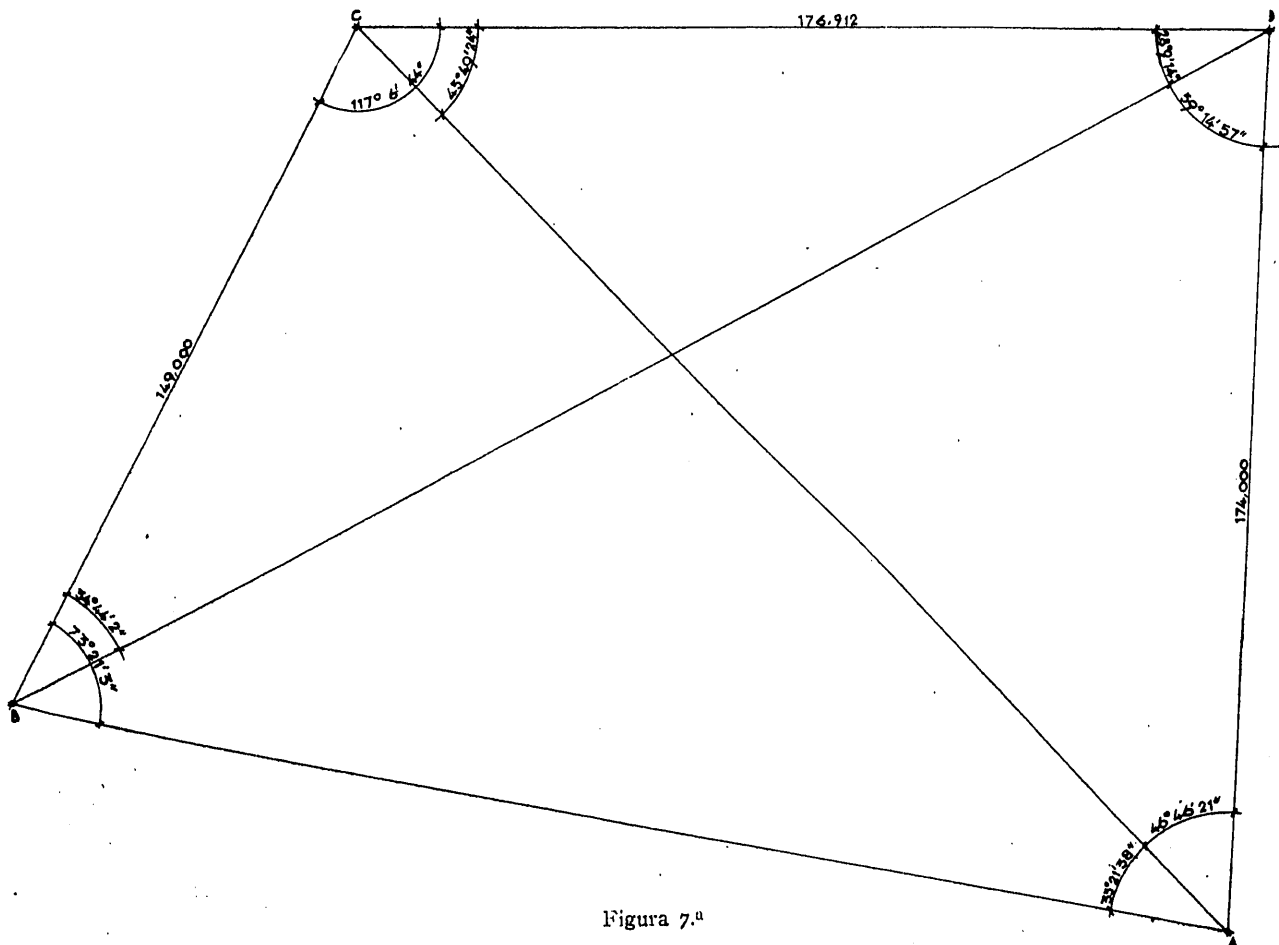
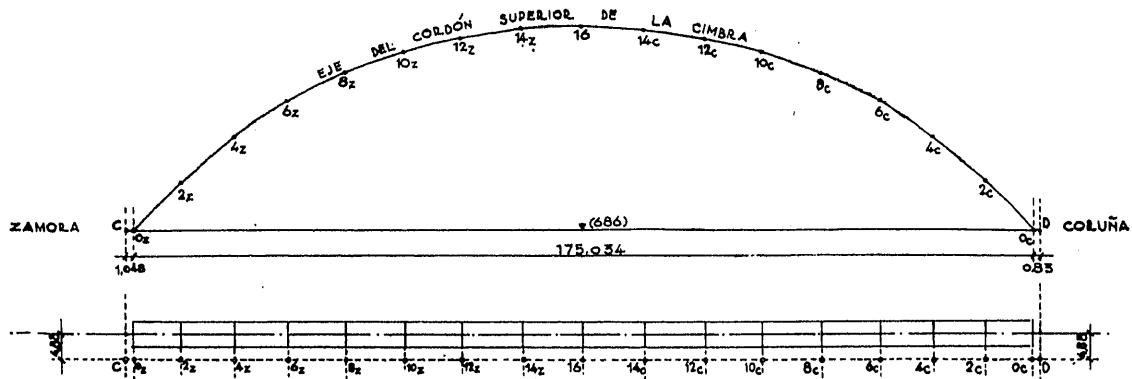


Figura 7.<sup>a</sup>

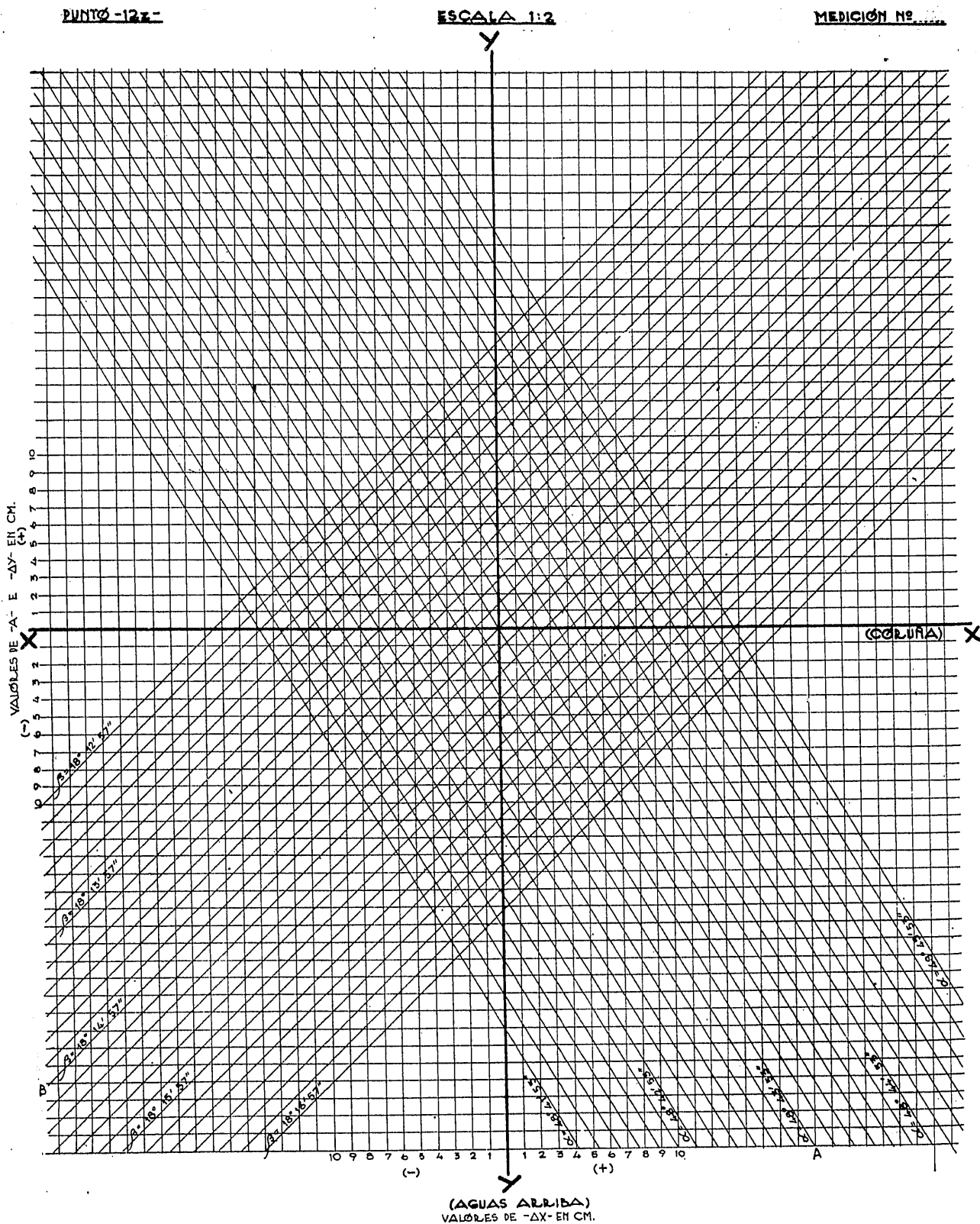
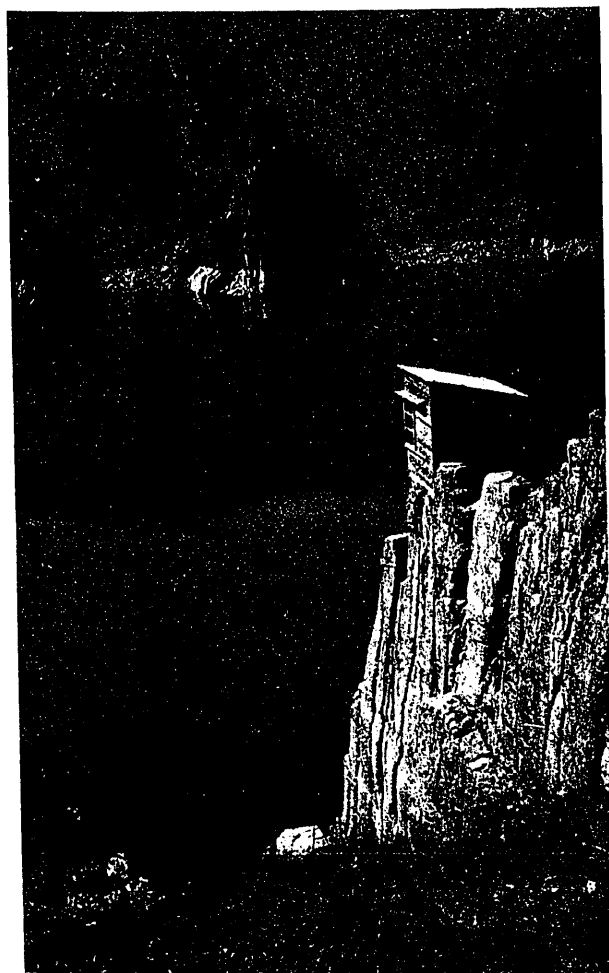


Fig. 8.<sup>a</sup> — VIADUCTO DEL ESIA. — Proyección horizontal de los corrimientos del arco.

por sus intersecciones) permitía obtener gráfica y rápidamente la nueva posición de cada punto con errores del orden de los 5 milímetros.

Estas observaciones se referían, principalmente, a los movimientos horizontales, tanto longitudinales como transversales. Para los verticales, se utilizaron miras soldadas a la armadura en posición vertical y una serie de estaciones de nivelación en ambas laderas, con plataforma de fábrica, para situar el nivel, y miras fijas de referencia, sobre tierra firme, empotradas a conveniente distancia de cada estación, para comprobación de las lecturas del nivel. Desde estas estaciones eran observables todas las miras del arco, deduciendo por nivelación directa los recorridos verticales.

También se tuvo mucho cuidado de establecer puntos de referencia en los estribos, y referencias fijas en las laderas, que pudieran en todo caso darnos a conocer cualquier movimiento de los estribos.



Caseta de observaciones en la margen izquierda.

Además de esto, durante el hormigonado, a fin de notar cualquier deformación transversal en las diagonales de la armadura rígida, se establecieron puntos de referencia para estas medidas.

Las variaciones de ambiente durante la ejecución de la obra, se leían en anemómetros y termómetros de máxima y mínima. Asimismo, se anotaban las variaciones de soleamiento, lluvia, humedad, etc.

Como dato curioso, podemos anotar que las velocidades de viento máximas que llegaron a registrarse fueron de 2 800 metros por minuto, exceptuando el ciclón de febrero de 1941, del que se hará mención en otro lugar, precisamente en un momento (16 de noviembre de 1940) en que estaba la armadura rígida del arco completa y solamente iniciado el hormigonado de la rosca superior, no obstante lo cual, el movimiento transversal que se observó en la clave fué de 10 centímetros solamente.

La toma de estos datos para estas observaciones, se efectuó durante toda la obra, por personal técnico fijo, especialmente adiestrado y que no tenía a su cargo, en la obra, más misión que la de atender constantemente a estas observaciones.

### Laboratorio de ensayos.

Teniendo en cuenta la importancia de esta obra, y muy especialmente el trabajo a que está sometido el hormigón, que como ya hemos dicho llega, aunque transitoriamente, a 105 kg./cm.<sup>2</sup> durante la construcción del arco, el pliego de condiciones facultativas del proyecto que sirvió de base a la subasta obligaba al contratista a la instalación de un laboratorio dotado de todos los elementos precisos para realizar los ensayos físicos, químicos y mecánicos de áridos y cemento.

Una de las casetas de madera que se construyeron en la ladera del lado Zamora, y a unos 15 metros aguas abajo del Viaducto, se habilitó para oficina técnica, administrativa y laboratorio, siendo la superficie destinada a este último la mitad de la caseta.

Se construyó un depósito de hormigón, para la conservación en agua de los cubos para ensayo; una estantería, para depositar los que se habían de ensayar, conservados en seco; unos moldes de hierro cepillado, con fácil y resistente montaje, de 0,20 X 0,20 X 0,20; otros, de las mismas características y de 250 cm.<sup>2</sup> de superficie de las caras; otros, para ensayos de morteros y pasta pura; se adquirieron cristales para determinar la estabilidad de volumen; agujas de expansión, de Vicat; tamices para determinar la finura de molido; aparatos de Schuman y Chatelier, para determinar la densidad; balanza Michaelis, para tracción y flexión; una serie de tamices para determinar el módulo de finura de los áridos;

una prensa para rotura a compresión, movida a mano; una balanza de precisión; ácidos y reactivos para los ensayos químicos, y un mechero con su crisol de platino, para calcinaciones, etc.

Bien pronto, y ante los imprecisos datos que la prensa nos daba, pues los platillos de compresión no tenían articulación de rótula, la rechazamos, y fué sustituida por una Amsler de 300 toneladas que había adquirido la fábrica "Alfa", que nos suministraba el cemento, y que fué cedida para su instalación en la obra mientras durasen los trabajos del Viaducto. Esta prensa, cuya fotografía acompañamos, tiene las siguientes características:

|                                                   |                |
|---------------------------------------------------|----------------|
| Presión máxima.....                               | 300 toneladas. |
| Dimensiones de los platillos de compresión .....  | 0,42 X 0,42    |
| Distancia entre los platillos de compresión ..... | 0,00 a 0,44    |
| Peso.....                                         | 2 000 kg.      |

La prensa es accionada por un motor eléctrico, y ha sido comprobada varias veces para asegurarnos



Prensa Amsler, de 300 toneladas, para ensayos a compresión.

de la certeza de los resultados, por un aparato de tarado también Amsler, y que nos confirmó la inalterabilidad de su funcionamiento. También nos cedió en las mismas condiciones la fábrica "Alfa" un aparato para medir la retracción del fraguado, que, aunque seguramente conocido por todos, pasamos a describirlo:

Con este aparato se mide la retracción del fraguado en prismas de hormigón de  $0,50 \times 0,10 \times 0,10$ , que se confeccionan al mismo tiempo que los cubos de compresión, con un molde de acero que acompaña al aparato, y cuya única particularidad consiste en que en las caras de  $0,10 \times 0,10$  tiene en su centro unas medias esferitas, para dejar su huella en el hormigón y poder alojar en ellas las bolitas de acero, que han de servir para las medidas sucesivas que es necesario realizar.

El dispositivo de medida, se compone de tres elementos distintos:

- 1.º Cuadro de sujeción.
- 2.º Cuadro de medida.
- 3.º Barra patrón o de comparación.

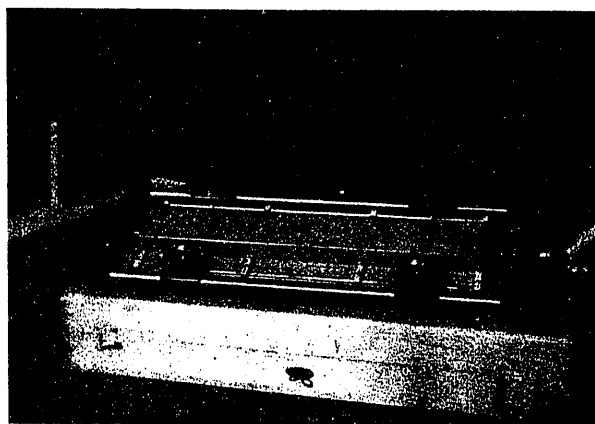
El cuadro de sujeción sirve para aplicar y sostener las dos bolas de acero contra el centro de las dos superficies frontales del prisma de hormigón, alojándose en las huellas dejadas por el molde, manteniendo este contacto íntimo y constante, desde el momento que se hace la primera lectura, hasta el final del ensayo, no debiendo cambiar ni mover el cuadro de la posición primitiva; por lo tanto, son necesarios tantos cuadros y tantos pares de esferitas, cuantos ensayos queramos realizar. El cuadro está compuesto de dos hierros redondos galvanizados y roscados en sus dos extremos, y dos piezas elásticas transversales, que son las que sujetan las esferas, alojándolas en unos taladros que tiene en el centro, y tensadas después por medio de tuercas que se roscan en los extremos de los redondos longitudinales.

El cuadro de medida sirve para determinar la variación de la distancia entre las bolas, o sea del prisma que se ensaya. Se compone de un cuadro rígido, que se coloca para realizar la medida, sobre los tirantes del cuadro de sujeción, por intermedio de unas ruedas (siendo las de uno de los lados acanaladas) y haciendo después girar el tornillo del micrómetro, que va colocado en una de las cabezas, hasta que se apoye contra la esferita, al mismo tiempo que el apoyo opuesto lo hace contra la bola del otro extremo. Para que el contacto entre estos puntos y las bolas tenga lugar siempre a una presión igual, el tornillo del micrómetro no está accionado directamente por el botón de maniobra, sino por intermedio de un resorte, que, al llegar a la tensión fijada, hace sonar un timbre. El tornillo micrométrico tiene un paso de un milímetro. Las vueltas completas se leen en una

reglilla graduada, y las centésimas de milímetro sobre el disco contador.

La barra de comparación o patrón sirve de base para referir a ella todas las medidas de los prismas. Una vez realizada la medida del prisma o de los prismas, se mide idénticamente el patrón, anotándose las diferencias de estas dos lecturas, siendo por lo tanto estas medidas independientes de las diferencias de longitud que experimente el cuadro de medidas. Aun cuando el patrón va alojado dentro de una envoltura de madera, es conveniente realizar las medidas a una misma temperatura, cosa que se consigue fácilmente en las que se realizan en los primeros días y en las anuales, por estar en la misma época del año, y con ello, a una temperatura semejante y fácilmente corregible en el laboratorio.

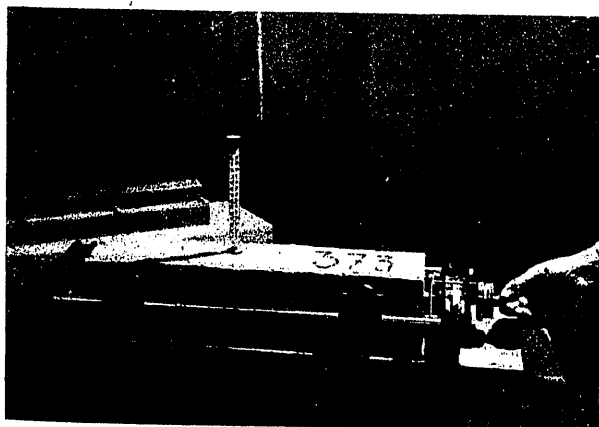
Este laboratorio funcionaba bajo la dirección del personal técnico encargado de la obra, y en él se



Medida de la barra patrón.

nas condiciones y ya analizado. Los ensayos no siempre comprendían el análisis químico, haciéndose éste cuando variaba la procedencia o había desconfianza del producto, y lo normal, era hacer las pruebas de estabilidad, expansión, pérdida al fuego, rotura de probetas a compresión, tracción y flexión y determinación de la finura de molido y calibre. Una vez unificada la procedencia (fábrica "Alfa", de Mataporquera), también se simplificó el trabajo del laboratorio, pues la regularidad de fabricación era completa, y los ensayos químicos se espaciaron, debiendo hacer constar que el tono del color del cemento, nos indicaba *a priori* la calidad del mismo, comprobada siempre con los ensayos realizados.

Los ensayos de la arena consistían, en esencia, en la determinación de arcilla, y en la de la materia orgánica y módulo de finura; para la primera se empleó el método de decantación, y para la segunda, el procedimiento de tratar la arena con una disolución de sosa cáustica al 3 por 100 y comparar el color del

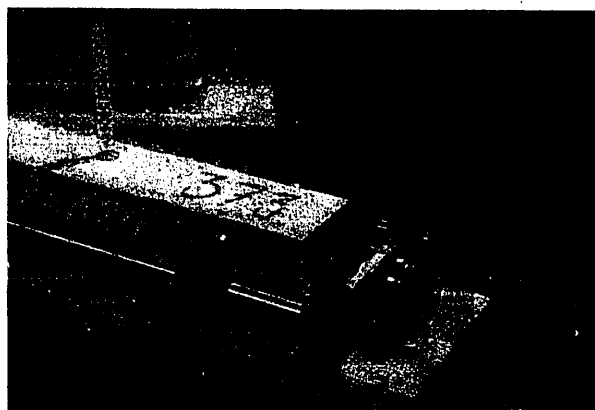


Medida de uno de los bloques de hormigón, de  $0,50 \times 0,10 \times 0,10$ , para determinar su retracción.

realizaban todos los ensayos de áridos, cemento y hormigones que se empleaban en la ejecución.

Durante la construcción de la obra por contrata, era más intensa y prolija la labor a realizar, ante todo en lo que a cemento y arena se refiere, pues variando con frecuencia la procedencia, era indispensable, antes de autorizar su empleo, verificar los análisis de ambos elementos, además de la diaria toma de muestras para ensayos a compresión del hormigón empleado en la obra, y de las indispensables modificaciones en la dosificación de áridos.

Los ensayos de cemento se hacían sistemáticamente en cada remesa, tomándose las muestras a medida que se apilaba en el almacén, haciéndose este apilado de tal forma, que se gastaba el más antiguo y se rotulaba con un cartel encarnado el que no había sido objeto de análisis; con uno verde, el que está ensayándose, y con uno blanco, el considerado en bue-



Tornillo micrométrico del cuadro de medida.

4.ª JEFATURA DE ESTUDIOS Y CONSTRUCCIONES DE F. C.  
(NOROESTE).

ENSAYO GEN

| Capacidad<br>de la<br>medida ... J | Tara<br>de la medida<br>... G | Peso de la<br>medida llena<br>de árido<br>... P = P-G | Peso aparente<br>del árido<br>anterior<br>$A = (P-G) : J$ | Volumen<br>en litros<br>de los huecos<br>del árido<br>... H | Núm. de litros<br>que faltan<br>para enrasar<br>la medida<br>... W | Volumen<br>reducido de<br>árido batido<br>... B = J-W | Peso aparente<br>del árido<br>batido<br>... C = $\frac{P-G}{B}$ | Coefficiente<br>de reducción<br>... e = B : J | Coefficiente<br>de huecos<br>... h = H |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| —                                  | —                             | —                                                     | —                                                         | —                                                           | —                                                                  | —                                                     | —                                                               | —                                             | —                                      |
| I.                                 | Kg.                           | Kg.                                                   | Kg.                                                       |                                                             |                                                                    | I.                                                    |                                                                 |                                               |                                        |
| 49,200                             | 6,450                         | P 96,750<br>P-G 90,300                                | 1,83                                                      | 8,800                                                       | 5,500                                                              | 43,700                                                | 2,06                                                            | 0,888                                         | 0,201                                  |
| 49,200                             | 6,450                         | P 96,250<br>P-G 89,800                                | 1,82                                                      | 9,800                                                       | 5,500                                                              | 43,700                                                | 2,05                                                            | 0,888                                         | 0,224                                  |
| 49,200                             | 6,450                         | P 96,750<br>P-G 90,300                                | 1,83                                                      | 11,160                                                      | 3,200                                                              | 46,000                                                | 1,96                                                            | 0,934                                         | 0,242                                  |
| 49,200                             | 6,450                         | P 90,750<br>P-G 84,300                                | 1,71                                                      | 10,480                                                      | 6,200                                                              | 43,000                                                | 1,96                                                            | 0,873                                         | 0,241                                  |

líquido con el de la escala tipo. De la arena del Due-ro obtuvimos una arena normal, para ensayos, que comparada con la de Leucate, que al principio em-pleábamos, nos dió resultados casi iguales en las pruebas conjuntas que hicimos.

La piedra para hormigón, toda ella fué de cuar-cita, y solamente hubimos de preocuparnos de que estuviese exenta de pizarra, para lo cual hubo de abandonarse la cantera, y recogerla de la que había extendida por las cercanías, que procedía de la des-trucción por las heladas y agentes atmosféricos, de los crestones que emergen del suelo.

Una vez realizadas las obras por administración y fijos y determinados los puntos de extracción de la piedra, arena y cemento, la principal preocupación fué su exacta dosificación para conseguir una máxima resistencia.

La piedra empleada, como ya hemos dicho, fué la cuarcita, que era machacada en dos tamaños, de 10 a 30 mm., y de 30 a 50, habiéndose determinado que el mínimo de huecos se conseguía mezclando en partes iguales esos dos tamaños. El peso específico de la piedra era de 2,6.

La arena del Duero, extraída en las proximida-des de Zamora, estaba exenta de impurezas, era cuar-zosa y con buena composición granulométrica. Su peso específico era de 2,58.

El ensayo para determinar el mínimo de huecos, se hacía siguiendo el modelo que damos a conocer en estas páginas para indicar el método empleado.

El cemento utilizado ha sido, casi en la totalidad de la obra, y exclusivamente en el arco, el supercemen-to "Alfa".

Las características esenciales del mismo son las siguientes:

|                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| Pérdida al fuego.....                | de 0,50 a 2,00 % |
| SiO <sub>2</sub> .....               | de 20 a 22,00 %  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | de 5,8 a 6,50 %  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | de 3,5 a 4,00 %  |
| CaO .....                            | de 64 a 65,00 %  |
| MgO .....                            | de 0,5 a 1,00 %  |
| SO <sub>3</sub> .....                | de 2,3 a 2,40 %  |
| Peso específico.....                 | de 3,10 a 3,15   |

|               |                       | 3 dias.              | 7 dias.              | 28 dias.             |
|---------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|               |                       | Kg./cm. <sup>2</sup> | Kg./cm. <sup>2</sup> | Kg./cm. <sup>2</sup> |
| Pasta pura... | Rotura a tracción.... | 57                   | 70                   | 75                   |
|               | " a flexión.....      | 135                  | 140                  | 150                  |
|               | " a compresión        | 850                  | 1.000                | 1.300                |
| Mortero 1 : 3 | Rotura a tracción.... | 35                   | 40                   | 50                   |
|               | " a flexión.....      | 53                   | 65                   | 70                   |
|               | " a compresión        | 250                  | 400                  | 500                  |

## AL DEL ARIDO

## VIADUCTO «FRANCISCO MARTÍN GIL»

## LABORATORIO.

| peso específico<br>del árido<br>... Y =<br>(P-G)/(B-H) | Parámetro<br>... C : Y | Comprobación<br>huecos<br>árido batido<br>... h = (1-C:Y) | Aglomeración ...<br>... v = 0,100 | Aridez máxima<br>conforme<br>a los huecos<br>... m =<br>1<br>...<br>h (1 + v) × e | Cantidad<br>de cemento<br>necesario para<br>rellenar los<br>huecos ... D =<br>1000<br>m. c.<br>—<br>Litros. | OBSERVACIONES                                                                                                |
|--------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2,58                                                   | 0,798                  | 0,202                                                     | 0,100                             | 5,068                                                                             | 222                                                                                                         | Este ensayo se hace con 23 litros de piedra de 30 a 50 mm., 23 litros de 10 a 30 mm. y 22,5 litros de arena. |
| 2,59                                                   | 0,778                  | 0,222                                                     | 0,100                             | 4,570                                                                             | 246                                                                                                         | Este ensayo se hace con 46 litros de piedra de 30 a 50 mm. y 22,5 litros de arena.                           |
| 2,59                                                   | 0,756                  | 0,244                                                     | 0,100                             | 4,022                                                                             | 266                                                                                                         | Este ensayo se hace con 46 litros de piedra de 10 a 30 mm. y 22,5 litros de arena.                           |
| 2,59                                                   | 0,756                  | 0,243                                                     | 0,100                             | 4,291                                                                             | 266                                                                                                         | Este ensayo se hace con 24 litros de piedra de 30 a 50 mm., 24 litros de 10 a 30 mm. y 17,5 litros de arena. |

Perfecta estabilidad de volumen y ninguna expansión.

Principio de fraguado a las tres horas, y final del mismo, a las seis horas.

Los hormigones para el arco principal, fueron dosificados con arreglo a los resultados del cuadro de ensayo general del árido, teniendo en cuenta la mayor cantidad de cemento que los huecos exigían, y, por ello, se componía de 450 litros de piedra partida de 10 a 30 mm., 450 litros de 30 a 50, 500 litros de arena y 400 kilos de cemento; tenían un peso específico de 2,45 a 2,49, y la cantidad de agua variaba según el sitio de empleo, dependiendo de la mayor o menor cantidad de hierro.

Las resistencias a la compresión fueron las siguientes, en kilogramo por centímetro cuadrado, para los diferentes tipos de hormigón empleados:

|                                     |              | 7 días. | 28 días. | 3 meses. |
|-------------------------------------|--------------|---------|----------|----------|
| Hormigón de 150 kg. de cemento..... | Máxima ..... | 155     | 225      | 270      |
|                                     | Media .....  | 115     | 168      | 248      |
| Hormigón de 200 kg. de cemento..... | Máxima ..... | 199     | 290      | 332      |
|                                     | Media .....  | 131     | 192      | 262      |
| Hormigón de 300 kg. de cemento..... | Máxima ..... | 222     | 360      | 413      |
|                                     | Media .....  | 172     | 246      | 330      |
| Hormigón de 400 kg. de cemento..... | Máxima ..... | 552     | 630      | 676      |
|                                     | Media .....  | 350     | 480      | 550      |

Los resultados medios se refieren a las muestras tomadas del hormigón empleado en la obra; las máximas, a ensayos de laboratorio. De todos los ensayos se hacían seis cubos, conservándose la mitad en agua, y la otra mitad, al aire.

La retracción de fraguado determinada escrupulosamente ha dado como término medio 0,66 mm. por metro; la primera medida se hacía a las seis horas de la confección del prisma; la retracción a los siete días era de 0,20 mm., siendo por consiguiente de 0,46 milímetros la que corresponde al espacio de tiempo de siete días a un año, y que se refiere a hormigón conservado en seco y en laboratorio.

El trabajo realizado en este laboratorio ha sido muy intenso, sin que la urgencia de muchos análisis hubiese permitido realizarlos en otros laboratorios, por lo cual, creemos que en obras similares es indispensable contar siempre con una instalación parecida.

Como anejo al laboratorio, teníamos una elemental estación meteorológica, compuesta de un pluviómetro, un anemómetro y un termómetro de máxima y mínima.