

eduardo torroja  
oficina tecnica

VIADUCTO DEL ESLA

---

---

CAPITULO VII

SISTEMA DE MEDIDAS DE DEFORMACION  
Y CORRIMIENTOS, Y CONTROL A ESTABLECER DURANTE LA MARCHA DE LA OBRA

---

---

Fecha ... Febrero 1940

Núm. ... 363.154 .....



I N D I C E

Medida de las deformaciones longitudinales de las cuatro cabezas de la cercha metálica.

Sistema de auscultación para el estudio del comportamiento del arco una vez terminada su construcción.

Observaciones directas de los corrimientos.

Aparatos e ideas complementarios.

Instrucciones para la ejecución de obra.

---



SISTEMA DE MEDIDAS DE DEFORMACION Y CORRI-  
MIENTOS, Y CONTROL A ESTABLECER DURANTE LA  
MARCHA DE LA OBRA

---

---

No es necesario ponderar la importancia que tie-  
ne una obra de este género y la medida de las defor-  
maciones y tensiones reales que se producen en ella,  
tanto durante la construcción como durante la prime-  
ra época de su vida normal.

Interesa sobre todo durante la construcción por  
la anormalidad de las cargas que tiene que soportar,  
por el mayor peligro, que siempre existe durante el  
hormigonado, de que se produzcan sobrecargas superio-  
res a las previstas o en peores condiciones de repar-  
tición que las calculadas, y porque, dado el sistema  
de construcción, han de aceptarse necesariamente du-  
rante este periodo tensiones de trabajo superiores a  
las que ha de soportar en definitiva la obra, con coe-  
ficientes de seguridad menores.

Pero también interesa el estudio experimental  
de las deformaciones en régimen normal, porque dada  
la importancia de la obra, que sobrepasa los límites  
de todo lo construído hasta hoy, es de particular in-  
terés, para el progreso de la técnica, el determinar



la importancia de los esfuerzos secundarios, parásitos o anormales y el cumplimiento de las hipótesis generales de trabajo que se vienen aplicando.

Para este segundo punto tenemos afortunadamente una propuesta del entonces Ingeniero Asesor y Ministro de Obras Públicas Excm<sup>o</sup> Sr. Don Alfonso Peña, en la cual se proponía la utilización de auscultadores o aparatos de medida de la deformación interna de las diferentes roscas, pero es necesario, no solamente acoplarla al nuevo proceso de construcción, sino completarla con las otras instalaciones, pues, como en esa misma propuesta se indicaba, no se incluían en ella "aquellos aparatos que son inherentes a las operaciones a realizar durante la construcción por creer que ellos son de cuenta de la Contrata".

Rescindida la Contrata en los comienzos de la guerra y continuándose la obra por Administración, es evidente, que la responsabilidad de todas las operaciones inherentes a la ejecución tiene que pesar igualmente sobre la Dirección facultativa de la obra ejecutada por Administración, y por consiguiente, hemos de estudiar y detallar con particular cuidado las condiciones que han de exigirse a estas instalaciones de control durante la ejecución.

Vamos a dividir esta Memoria en tres partes distintas.

a) Medida de las deformaciones longitudinales a



todo lo largo de las cuatro aristas de la cercha metálica.

b) Medida de los corrimientos totales en diferentes puntos del arco.

c) Instalación de los aparatos necesarios para el estudio del comportamiento del arco durante su primer periodo de vida normal.

A este último punto se refiere, como ya hemos indicado, la propuesta del Excm<sup>o</sup> Sr. Don A. Peña, y ella nos exhime, por consiguiente, de entrar en su justificación, limitando nuestra propuesta al acoplamiento de estas instalaciones, a los nuevos elementos y nuevo proceso constructivo, división de roscas etc.

En cuanto a los otros dos puntos son, como vamos a ver, los necesarios para la determinación de las condiciones de trabajo en cualquier momento de la construcción.

MEDIDA DE LAS DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE LAS CUATRO CABEZAS DE LA CERCHA METALICA.-

Para el total hormigonado del arco se empieza por hormigonar cuatro roscas o cordones que enguelven estas aristas o cabezas de la cercha metálica. Primera y sistemáticamente han de hormigonarse los dos cordones superiores, manteniendo la cercha metálica con tres articulaciones en esta cabeza superior; después se hormigonan las dos cabezas inferiores y,



una vez hecho esto, se comprime mediante gatos hidráulicos la cabeza inferior para obligarla a entrar en carga y se hace el enclavamiento de la misma, con lo que queda el conjunto formando un arco empotrado de la misma forma que el arco definitivo y con una resistencia enormemente superior a la de la cercha metálica propiamente dicha y en condiciones de ir soportando sucesivamente los pesos de los restantes cordones del arco hasta su total hormigonado.

Interesa, por consiguiente, la determinación de las deformaciones de estos primeros cordones, o sea la deformación de las cuatro cabezas de la cercha, por que conocidas éstas conoceremos las condiciones de resistencia de la parte mas cargada del arco y la que está sometida durante mayor plazo a los esfuerzos anormales por efecto del hormigonado de las partes restantes.

Para la medida de estas deformaciones longitudinales de las cuatro cabezas, parece lo mas conveniente disponer aparatos de medida que nos den directamente la deformación o acortamiento total entre cada dos nudos. Los nudos están a distancias variables entre 5,88 y 6,90 metros, y como cada cabeza está formada por dos dobles T, es fácil alojar y sujetar debidamente los aparatos que deberán ir entubados de nudo a nudo.

El número total de aparatos que resulta por con-

A



siguiente en esta forma es de 128.

Las condiciones que han de cumplir estos aparatos son las siguientes: La sensibilidad puede ser del orden de la doble centésima de milímetro por metro, lo que equivale en el acero a una tensión unitaria de 40 kg/cm<sup>2</sup> y en el hormigón con un coeficiente de elasticidad del orden de 400,000 que puede preverse dados los ensayos efectuados representa una tensión de 8 kg/cm<sup>2</sup>. El exigir una mayor sensibilidad obliga naturalmente a encarecer la instalación, lo cual no es necesario por no tratarse de un estudio afinado de tensiones sino exclusivamente de un indicio para la seguridad de la obra durante su construcción.

Tampoco creemos conveniente disminuir la sensibilidad porque de nos| disminuirla a la quinta parte por ejemplo la economía en los aparatos de medida sería muy pequeña, y entonces la utilidad de la medida sería prácticamente nula.

Como los aparatos han de construirse antes de empezar el hormigonado y han de ir suministrando lecturas a medida que se va haciendo éste, interesa, sobre todo, que sean robustos y perfectamente defendidos para disminuir todo lo posible los percances.

Además de establecer la reserva de una medida directa, convendría, a ser posible, poder efectuarse sus lecturas a distancia, con objeto de centralizar en una cabina la medida de todas las deformaciones para que estas lecturas puedan hacerse con garantía y con



la mayor frecuencia posible, por personal independiente de la baranda de la obra, que pueda hacer todas las lecturas con la debida tranquilidad y comodidad dibujando los gráficos de deformación y acusando lo antes posible cualquier anormalidad.

Conviene, sin embargo insistir en que la condición esencial de los aparatos es la de dar unas lecturas completamente seguras, y, por tanto que sean lo mas simples y defendidos posible para disminuir las posibilidades de error.

El interés de estas medidas consiste fundamentalmente en su comparación continua con las deformaciones previstas para lo cual se han calculado en acpítulos anteriores todas estas deformaciones. El Ingeniero encargado de la obra, a la vista de estos datos y las lecturas que se efectúen podrá enjuiciar en cada caso las condiciones en que se encuentra la estructura y las medidas a tomar.

No hacemos ninguna consideración sobre los sistemas de lectura ni sobre el cálculo de errores probables en ellas porque tratándose de una medida directa entra dentro de las leyes corrientes de toda medición fina y sistemática, y porque pueden aplicarse a este sistema de medida muchas de las consideraciones que se hacen a propósito de la instalación complementaria de medida de los corrimientos totales que se detalla mas adelante.

B



Para terminar de justificar la conveniencia de hacer la medida directa de las deformaciones en estas cuatro líneas, podemos observar que no es posible sustituirla con eficacia por la determinación de los corrimientos de diferentes puntos de la cercha con el sistema que luego se expone, porque ese sistema (y es prácticamente imposible montar otro mas exacto) solamente alcanza sensibilidades del orden del milímetro. Por consiguiente con longitudes entre punto y punto observado menores de 50 metros la sensibilidad es ya menor que la prevista con los aparatos de medida directa de la deformación. Por consiguiente se nos pasaría por alto toda deformación de ese tipo que se extendiera a menos de 50 metros, y en el cálculo del arco ya hemos visto, que los valores de las tensiones varían mucho mas rápidamente a lo largo del arco por efecto de las variaciones y hasta inversiones de las flexiones durante el hormigonado. Es necesario pues, poder detectar variaciones de tensiones en longitudes cortas, a ser posible entre nudo y nudo, tanto mas cuanto que estas variaciones locales son precisamente las mas probables y peligrosas por cualquier defecto del material o de la construcción.

Esto no quiere decir que con estas medidas directas de las deformaciones en las cuatro cabezas quede totalmente resuelto el problema. Convendrá es

B



establecer sistemas de medida sobre las diagonales de los cuchillos que trabajan en condiciones duras y algo imprecisas por efecto del dovelado particularmente durante el hormigonado de tabiques, pero ello puede hacerse facil y económicamente con extensímetros corrientes de medida sobre superficie, fijando a cada diagonal puntos de "reperage" que permitan colocar su cesivamente un mismo aparato en las distintas diagonales, aun cuando ello sea menos exacto y mas incómodo que la medida sobre aparatos fijos, lo que exigirá un aparato por pieza.

Pero queda otro punto importante. No es posible establecer aparatos de medida sobre los sistemas de arriostamiento horizontal de trasdós e intradós que quedan embutidos en el hormigón porque el coste de la instalación sería prohibitivo. Tampoco interesa grandemente porque el trabajo de estos elementos se produce solamente con la flexión en planta del arco bajo el viento u otros efectos anormales, y estos fenómenos aun cuando son muy importantes, abarcan siempre zonas importantes de la estructura produciendo corri mientos apreciables simultáneamente en longitudes grandes del arco.

Su medida pues, se hace, mejor midiendo opticamente los corrimientos por medios topográficos especiales, como vamos a ver, que por composición de las deformaciones que se midieran en las diferentes pie-

C



zas.

Ya hemos dicho que no es posible económicamente hacer estas medidas en las piezas de los arriostramientos horizontales, pero aun cuando así fuera, no lograríamos apreciar con ello desplazamientos horizontales importantes y peligrosos. Es fácil comprobar que un desplazamiento uniforme de todo el arco que produzca en la clave corrimientos de cinco centímetros, por ejemplo, no produciría en las cabezas deformaciones longitudinales superiores a  $0,000,02$  y por tanto no serían apreciadas con los aparatos previstos para estas cabezas. Se ve pues la utilidad de la medida de los corrimientos, por el sistema que vamos a estudiar, conjuntamente con la medida de las deformaciones longitudinales que ya hemos detallado.

c



OBSERVACION DIRECTA DE LOS DESPLAZAMIENTOS

1) Con el sistema de observaciones que se propone, se trata de alcanzar los objetos siguientes:

1ª).- Obtener durante la construcción, en los periodos en que han de tenerse mayores alteraciones de forma en la cimbra y en el arco, con la mayor rapidez posible, las posiciones en el espacio de un cierto número de puntos importantes de la estructura como medio de información y vigilancia de la obra que se realiza, indispensable en este caso para la importancia que la obra tiene.

2ª).- Obtener sistemáticamente las posiciones de los puntos durante el periodo completo de ejecución, o mayor si se juzga necesario, para basar sobre estas observaciones el estudio de los efectos que producen en la obra las diferentes causas que sobre ella actúan y sus relaciones con las que se han hecho intervenir en el cálculo, para poder deducir resultados experimentales destinados a facilitar el



el proyecto de obras igualmente importantes.

2) Los puntos a observar se sitúan en las intersecciones de los paramentos verticales que limitan la cimbra, o la bóveda, con la superficie de intradós y se distribuyen de modo que se correspondan aproximadamente con las secciones mas importantes entre las empleadas para el cálculo. En la figura 1, se indica la situación de los vértices en el caso de tratarse de la cimbra, y en la figura 2 se indica la forma que se considera mas conveniente para la señal que en cada punto debe ser observada y que consiste en una esfera ennegrecida y mate, sujeta al vértice de un cono en la base del cual se fijará una pantalla blanqueada susceptible de ser iluminada durante las observaciones nocturnas; dándole las dimensiones convenientes para que desde los puntos de observación de la señal se vea su forma resaltar por contraste contra ella. Bastará que la pequeña esfera tenga dos centímetros de diámetro. Cuando exista dificultad para que la señal sea visible desde los puntos de observación elegidos, podrá colocarse ésta en el extremo de un vástago suficientemente rígido y cuya longitud sea lo mas corta posible.

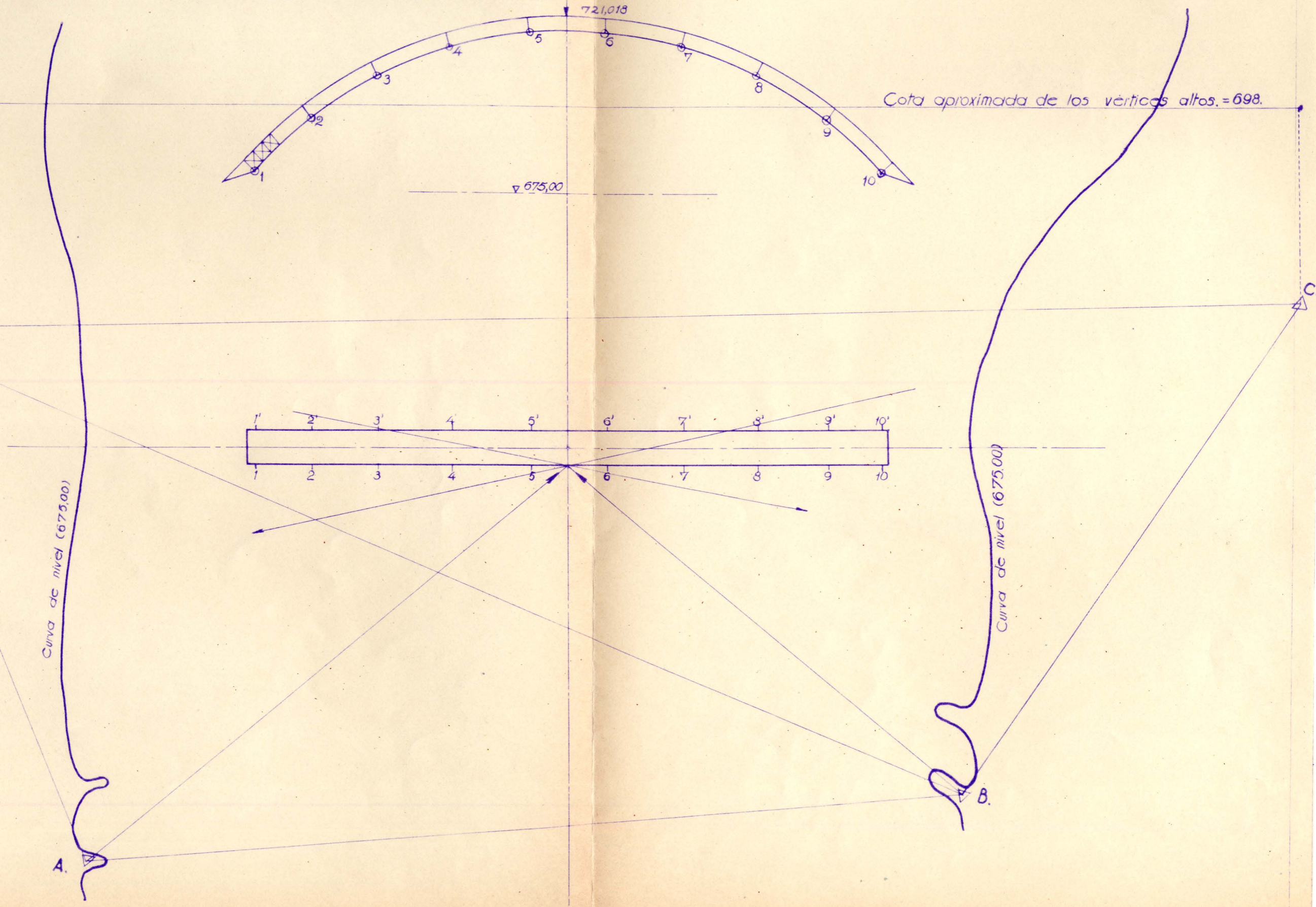
3) Los puntos de estación o de observación que aparecen mas convenientes porque desde ellos puede observarse la mayor parte de las señales formando las visuales que a cada una se dirijan un án-



Eduardo Torroja 12 / 9 / 1939 ord. Torroja traz. Prats  
 Oficina Técnica nº 363.209  
 proc. dtb. Acereedo comp.  
 Figura 1 de la observ.ª directa de los desplazamientos.

PUNTOS	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7	7'	8	8'	9	9'	10	10'	2 REFERENCIAS.	
VERTICE A.	X	O	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	17 VISUALES + 2 = 19
VERTICE B.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X	O	X	O	O	O	17 VISUALES + 2 = 19
VERTICE C.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	16 VISUALES + 2 = 18
VERTICE D.	O	X	O	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16 VISUALES + 2 = 18
NUMERO DE OBSERVACIONES EN CADA PUNTO	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	66	74

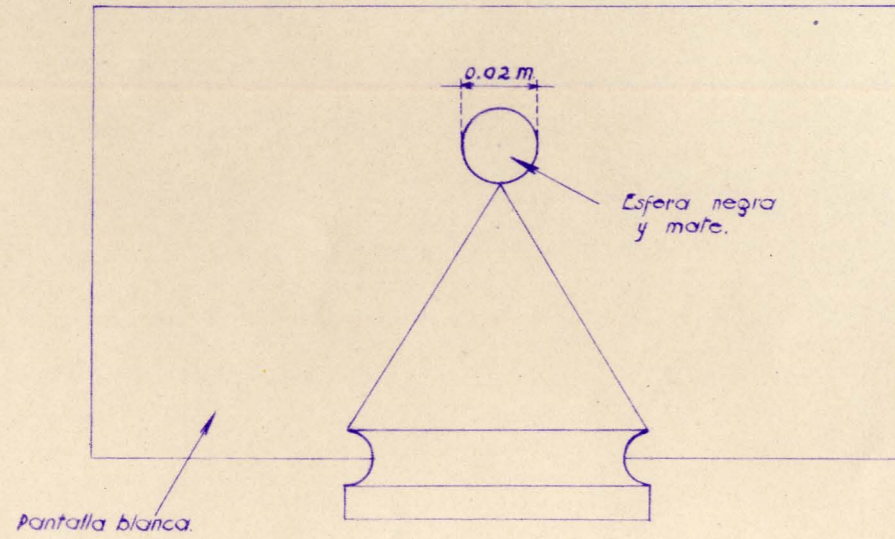
FIG 1 DE LA OBSERVACION DIRECTA DE LOS DESPLAZAMIENTOS





Eduardo Torroja 12/9/1939 ord. Torroja traz. Prats  
 Oficina Técnica nº 363.210 Figuras 2-3 y 4 de la observación directa de los desplazamientos.  
 proc. dib. Acevedo comp.

**FIG. 2.**



**FIG. 3.**

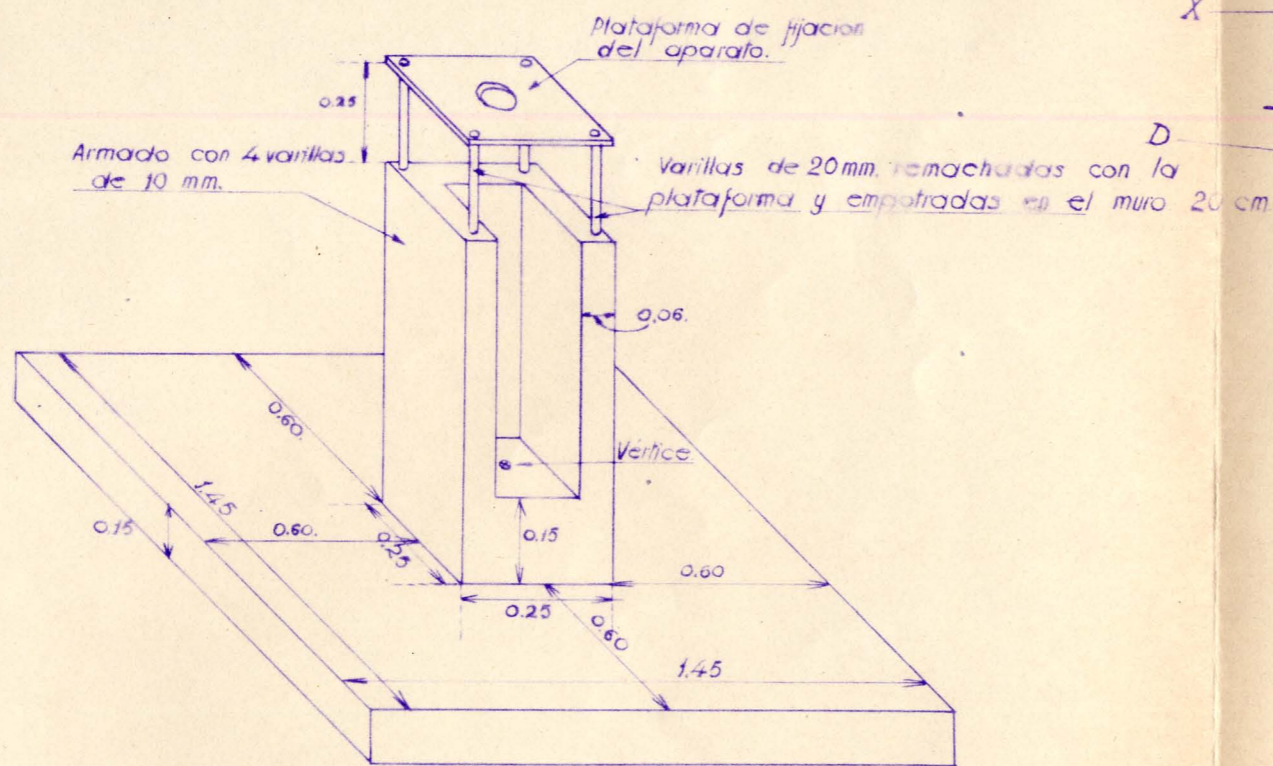
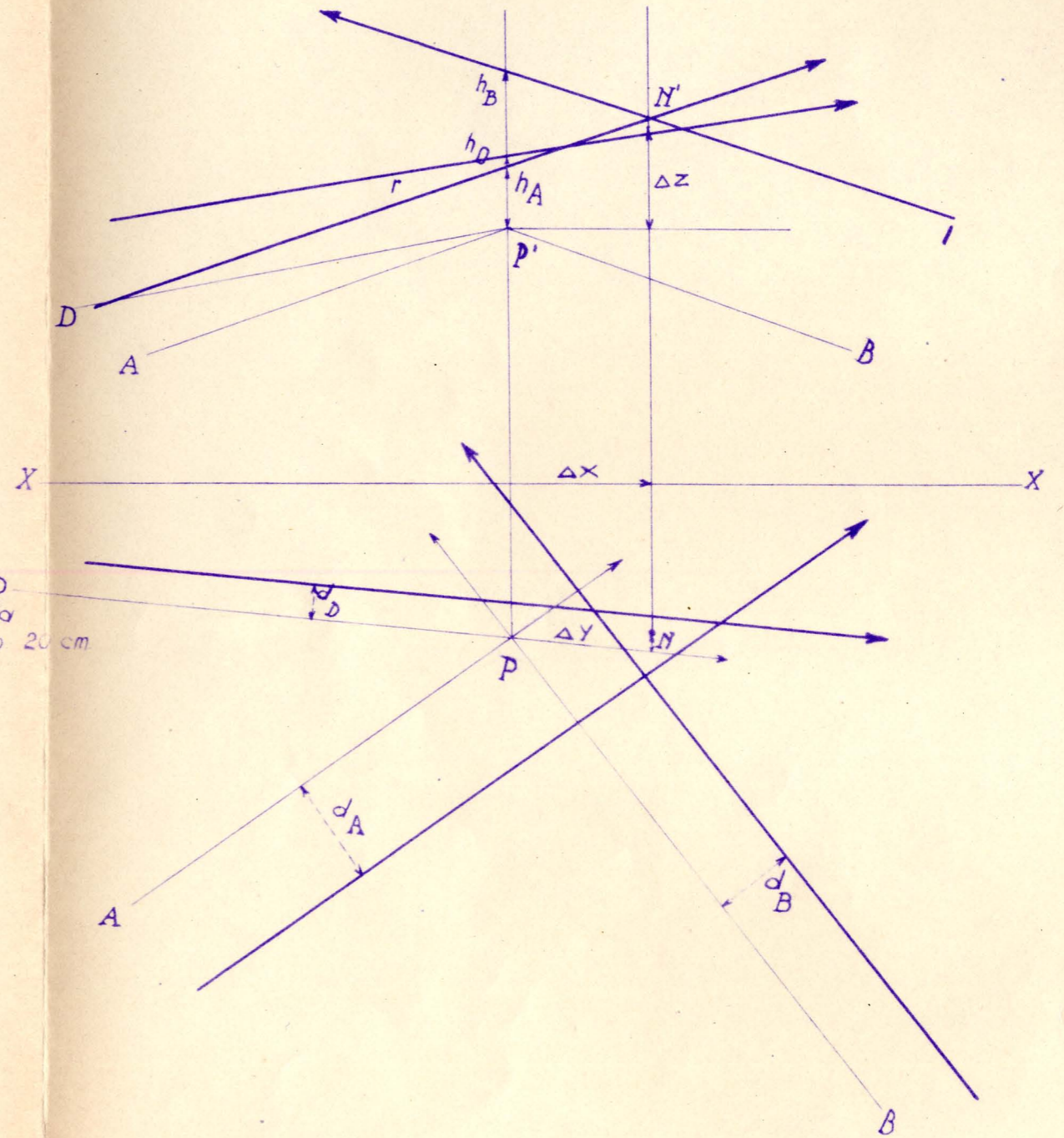


FIG. 2-3-4 DE LA OBSERVACION DIRECTA DE LOS DESPLAZAMIENTOS

**FIG. 4.**





gulo de intersección próximo a  $90^\circ$ , son los A y los B indicados en la figura 1. Se ha preferido este ángulo de intersección para que la indecisión en la posición del punto debida a la intersección sea la menor posible quedando los puntos, cuando no existe error grosero, bien determinados con solo las observaciones hechas desde los dos vértices A y B, desde los cuales quedarán determinados los puntos mas esenciales para satisfacer al primero de los objetos indicados en el párrafo 1. En la figura 3, se detalla la forma de los vértices, los cuales conviene queden protegidos del Sol y del viento así como el aparato de observación, por medio de un casetón de madera donde pueda también instalarse el operador y su ayudante.

Se proyectan además otros dos vértices próximos a la obra y algo alejados de la orilla para que los ángulos cenitales no sean excesivos, circunstancia que influye excesivamente en los valores azimutales cuando existe descorrección en la nivelación del aparato. Estos vértices C y D tienen por objeto proporcionar una tercera visual de comprobación de las dos visuales procedentes de A y B, permitiendo juzgar respecto a la calidad de las observaciones realizadas y de las situaciones dadas a los puntos y efectuar sin trabajo una compensación de errores. Su utilización no se considera indispensable en las determinaciones realizadas solo para la vigilancia de la obra.

D



Se han indicado en el cuadro las visuales que con facilidad parece probable obtener desde cada vértice.

4) En la figura 4, se ha representado en proyección de Monge el punto P. P' de coordenadas conocidas cuyos valores están próximos a los de las coordenadas del punto observado, y se han dibujado también las proyecciones de las visuales que unen las tres estaciones A, B y D con el punto P. El sistema de cálculo rápido de la posición del punto N próximo al P consiste en hallar las distancias d a que pasan del punto P las proyecciones horizontales de las visuales dirigidas desde A, B y D a N, dibujándolas sobre el gráfico paralelas a las trazadas por P, por serlo prácticamente y calculando las distancias verticales h, a que pasan de P' las proyecciones verticales de las mismas visuales, dibujándolas también respectivamente paralelas a las concurrentes en P'. La escala a que pueden dibujarse las distancias d dependen únicamente de la necesaria para que la determinación del punto N quede dentro de los límites del papel y ello se consigue con escala unidad, teniendo la precaución de modificar las coordenadas de P a medida que el movimiento de N lo exija. Bastará adoptar entonces para coordenadas de P las del punto N últimamente calculado. Así resul-



tará:

$$X_n = X_p + \Delta X.$$

$$Y_n = Y_p + \Delta Y.$$

$$Z_n = Z_p + \Delta Z.$$

Las primeras coordenadas a adoptar para P pueden ser deducidas gráficamente de los planos de posición de las señales o mejor calculadas trigonométricamente al realizar la triangulación indispensable para conocer las coordenadas de los cuatro vértices A, B, C, D.

5) Conocidas las coordenadas de P, se calcula el ángulo que la visual que uniría cada uno de los vértices A, B, C, D, a P forma con la dirección de uno de los ejes coordenadas de la triangulación; basta observar para ello que la tangente del ángulo que se desea respecto al eje Y, por ejemplo, vale:

$$\operatorname{tg} \theta_P = \frac{X_P - X_E}{Y_P - Y_E}$$

Con el fin de reducir lo mas posible los errores de orientación de la estación, se emplearán dos puntos de referencia para cada estación tomando como dirección origen el mismo eje elegido para calcular  $\theta$ . Los puntos de referencia provistos de señales iguales a las de los demás puntos, se colocarán en puntos fijos próximos a la obra para que puedan ser, como los demás, facilmente iluminados cuando se realicen observaciones nocturnas y formarán parte de



la triangulación inicial, de modo que sus coordenadas serán conocidas, y calculados de una vez para siempre sus azimutes con respecto a la estación que los emplee. El ángulo que será necesario agregar a las direcciones leídas en los aparatos para obtener los azimutes, será el valor medio entre los que resultarían si se considerase cada uno de los puntos de referencia solamente.

Deduciendo del azimute de cada punto el correspondiente  $\theta_p$ , se obtendrán pequeñas diferencias angulares  $\Delta\theta$ , que permiten calcular los valores  $d$  mediante la sencilla expresión

$$d = D \cdot \Delta\theta \quad \text{siendo} \quad \begin{cases} (D = \text{distancia horizontal desde la} \\ \text{estación a } P \text{ (valor conocido y} \\ \text{constante para varias observacio-} \\ \text{nes.} \end{cases}$$

Es posible sustituir  $\Delta\theta$  por  $\text{tg } \Delta\theta$ , dada la pequeñez del ángulo  $\Delta\theta$ .

6) Análogamente, conocida la distancia cenital  $\phi_p$  del punto aproximado  $P$  con respecto a las estaciones, se deducirá un valor de la distancia cenital del punto observado obteniéndose los pequeños ángulos  $\Delta\phi$ , siendo entonces inmediato el cálculo de los valores  $h$  mediante la sencilla expresión:

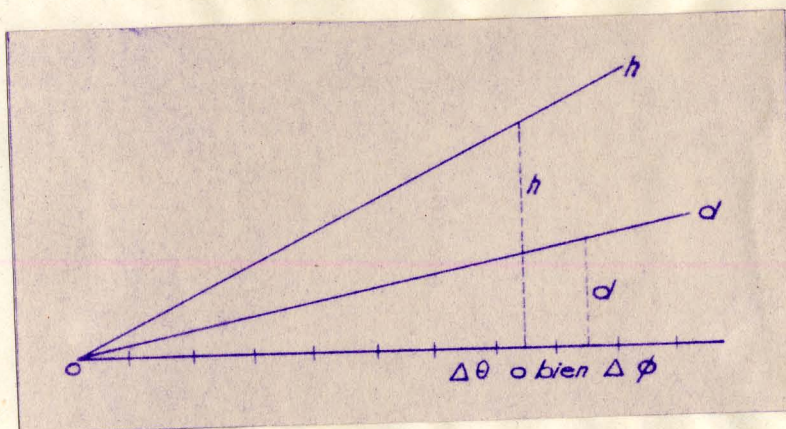
$$h = \frac{D}{\cos \phi} \cdot \frac{\text{tg } \Delta\phi}{\cos \phi} = \frac{D \text{ tg } \Delta\phi}{\cos^2 \phi} \quad \text{" o bien, por la pe}$$

queñez de  $\Delta\phi$ .



$h = D' \Delta \phi$  siendo  $D'$  un valor conocido y constante para varias observaciones.

7) Resulta por consiguiente muy sencillo y menos expuesto a errores, sobre todo a partir del periodo en que los desplazamientos disminuyan su variación diaria, sustituir el cálculo de  $d$  y  $h$  por medio de un ábaco formado por tres rectas concurrentes con el de la figura y aun en el caso de tener que variar



con frecuencia las coordenadas del punto  $P$  será mejor, cada vez, construir el ábaco de rectas  $h$  y  $d$  correspondien-

te que efectuar el cálculo de las fórmulas, para el cual, puede emplearse la regla de cálculo.

En estas condiciones resulta inmediata la construcción del gráfico de la figura 4ª sin necesidad de ninguna operación trigonométrica y sin mas atención que la de situar las distancias  $d$  y  $h$ , hacia el lado en que crecen o decrecen los ángulos de la visual a  $P$  correspondiente según sean positivos o negativos los incrementos  $\Delta \theta$  ó  $\Delta \phi$ .

8) Análogo procedimiento puede permitir hallar,



inmediatamente después de observado desde las estaciones A y B, la posición de un punto, cuando se hayan reunido los resultados h y d de las observaciones de ambas estaciones por ejemplo en una de ellas. Para alcanzar este objeto así como para dar simultaneidad a las observaciones de cada vértice desde las estaciones A y B y también desde las demás, convendrá proveer las casetas de observación de teléfonos que permitan comunicar los resultados a la estación elegida como principal y también establecer en cada estación un zumbador que indique el instante en que la observación simultánea de los vértices ha de realizarse.

Sobre la misma hoja del gráfico de determinación de los puntos (figura 4), cabe construir sucesivamente las rectas correspondiente a muchas observaciones, debiéndose indicar como cota de cada punto hallado, el instante de su observación, siendo así posible construir con gran facilidad las curvas de los desplazamientos de los puntos en función del tiempo. Se demuestra que la posición mas probable del punto determinado por tres visuales desde puntos igualmente alejados se halla el baricentro del triángulo que forman; teniendo presente esta regla y alterándola a estima por tener en cuenta las diferentes distancias a los vértices, se alcanzarán determinaciones mas precisas que con la intersección simple de dos visuales



sobre todo si se tienen además en cuenta las visuales trazadas en proyección vertical, que han de concordar necesariamente con las horizontales. Además las dimensiones del triángulo de determinación, que no pueden pasar de un límite máximo, indican la bondad de los datos utilizados.

9) Para cada estación pueden agruparse en una hoja, y anotando los valores de las coordenadas del punto P que a cada punto se atribuye, los ábacos para cálculo de h y d que se han obtenido en cada observación, anotando el instante en que las observaciones se han realizado. De este modo se comprende la sencillez con que pueden obtenerse para cada punto y estación las curvas de distancias d y h en función del tiempo. Estas curvas que durante los periodos de observación simultánea no han de tener ninguna utilidad, servirán, durante los periodos en que pueda prescindirse de la tensión en el personal y del número tan importante de observaciones que con la observación simultánea han de obtenerse, así como del empleo de personal excesivo en la observación, para proporcionar los valores, menos rigurosos ciertamente, (pero suficientemente aproximados si los triángulos de determinación del punto tienen las debidas dimensiones) de los d y h simultáneos que deben intervenir en el cálculo.

Dada la relativa pequeñez de las deformaciones



que cabe esperar, a medida que aumentan las roscas del arco, parece indicado valerse de las curvas de simultaneidad para reducir el trabajo a tres turnos de ocho horas, durante las cuales pueden obtenerse por un solo operador y su ayusante la totalidad de las observaciones necesarias para determinar mas de una vez las posiciones de todos los puntos y hallar las correspondientes h y d. Por este medio podrían resultar quizá cinco determinaciones diarias (una cada cinco horas); intervalo que en las condiciones indicadas no parece excesivo para poder suponer una ley sencilla de variación de las curvas en cada intervalo poco alejada de la realidad.

10) Las observaciones han de realizarse tratando de conseguir un error en las lecturas de los ángulos, como máximo de  $\pm 1''$ , con aparatos de gran precisión con objeto de que no sea necesaria mas de una observación doble con lo cual se eviten los pequeños errores de puesta en estación del aparato. Por consiguiente, deben utilizarse aparatos de triangulación geodésica como los construídos por las casas Wild o Zeiss para este objeto, o en su defecto el nuevo teodolito Kern, mas económico quizá, en el caso de que disponga de los mismos modernos sistemas de lectura y de igual apreciación que los dos anteriores. Ninguno de estos tipos de aparatos obliga a desplazarse al observador para leer los ángu-



los azimutales y cenitales, condición importante para incrementar el número de observaciones en la mitad de tiempo. Según los catálogos de las tres ca-  
sas citadas, los tipos de aparatos convenientes son:

Wild -----

Zeiss -----

y quizá el Kern -----

No

Los tres aparatos elegidos van provistos de plomada optica, mediante la cual se admite la posibilidad de reducir el error planimétrico de posición del aparato a 0,33 m/m. También se admite que el aparato podrá situarse en la plataforma de que está provisto el vértice de modo que en altura sobre la señal sea conocida con un error menor de 0,33 m/m.



CALCULO DE LOS ERRORES EN LA DETERMINACION DE  
LOS PUNTOS

---

---

Puesto que el aparato ha de dar los ángulos con 1" de apreciación en la lectura, se admite un error máximo en las lecturas azimutales y cenitales de 1", lo cual equivale a un error medio cuadrático de  $\frac{1''}{3,3} = 0,3''$  sexagesimales, puesto que el coeficiente que relaciona los dos errores es según Gauss  $\frac{1}{3,3}$ . Las señales que deben observarse son esferas de dos centímetros de diámetro, las cuales a 250 metros de las estaciones quedan abarcadas dentro de un ángulo azimutal o cenital de  $\frac{0,02}{250}$  radianes, y correspondiendo a un radiante 206264,81 segundos sexagesimales, el ángulo con que ha de verse la esfera será de 16".

El aumento del anteojo siendo de 20 veces permite observar la imagen de la señal a la distancia de máxima visión donde aparecerá con un diámetro de  $\frac{0,4}{250} \times 0,25$ , si la distancia de visión es de 0,25, resultando un diámetro  $d = \frac{0,4}{1.000} = 0,4$  m/m, siendo posible efectuar la puntería partiendo la señal por la mitad por medio del retículo, con un error menor que 0,2 de su dimensión. El error de puntería resultará así de  $0,2 \times 16'' = 3,2''$  y el error medio cuadrático correspondiente de 1".

Admitiremos que el error angular de puntería pa



ra todas las demás señales se mantendrá constantemente igual a 1", puesto que estando situadas a distancia menor tendrán una imagen mayor que la considerada, siendo mas sencillo alcanzar este grado de error.

Consideramos a la distancia de 250 metros las señales de los vértices auxiliares de orientación de cada estación. Por ser dos estos vértices, el error medio cuadrático en la orientación de las observaciones valdrá, componiendo previamente los errores de observación y lectura en cada uno,  $\sqrt{(0,3^2 + 1^2)} = \sqrt{1,09}$

$$\mu_o^2 = \sqrt{\frac{0,3^2 + 1^2}{2}} = 0" 74$$

El error en las direcciones azimutales será, por consiguiente:

$$\mu_A = \sqrt{0" 74^2 + 1,09} = 1" 28$$

El error de orientación en las lecturas cenitales debido a la utilización de niveles de burbuja partida, depende de la precisión de éstos; admitiremos a estima, que el error medio cuadrático correspondiente a esta causa es de 0" 3, como el de lectura. Por consiguiente, el error medio cuadrático en los ángulos cenitales valdrá:



$$\mu_c^2 = 2 \times 0''3^2 + 1''^2 = 1''18 \quad \mu_c = 1,09''$$

Se contem además errores en la posición del aparato, cuyas componentes según los ejes X, Y, Z, se suman elevados al cuadrado, con los cuadrados de los que han de calcularse correspondientes a la determinación del punto. No los tendremos en cuenta, por esta razón, hasta haber calculado estos. Mediante la plomada óptica podemos admitir que el error medio cuadrático de la separación entre el punto real y el teórico es de 0,1 m/m que corresponde a la separación máxima de 0,33 m/m antes dado. Se sabe que el error medio cuadrático que corresponderá tanto a X como a Y ha de ser el mismo valor dado de 0,1 m/m. Podemos igualmente admitir el mismo valor con respecto al eje Z si se disponen, sólidamente fijadas en la pared de las casetas de observación, reglas verticales divididas en milímetros, cuyo origen ha sido correctamente nivelado con respecto a la señal que define la estación, para, mediante el anteojo del teodolito, colocado perfectamente horizontal, leer en ella la altura de aparato.

A la distancia horizontal D (expresada en metros) entre el punto observado y el de estación, al error angular  $\mu_A$  corresponde un error en longitud que puede representarse por un pequeño vector horizontal perpendicular a la visual y cuyo módulo será



$$(e) = \mu \frac{D}{206,265} \text{ m/m.}$$

Las proyecciones del vector según los ejes X, Y, se rán los errores medios cuadráticos originados en las coordenadas, por el error de la observación N considerada. Siendo el azimut de la observación se tendrá:

$$\mu_{X_N} = \mu_A \frac{D_N}{206,27} \text{ sen } \theta$$

$$\mu_{Y_N} = \mu_A \frac{D_N}{206,27} \text{ cos } \theta$$

Siendo necesarias dos observaciones independientes para determinar el punto, el error medio cuadrático en X y en Y correspondiente a esta determinación será:

$$\mu_X^2 = \mu_A^2 \left( \frac{1}{206,27} \right)^2 \left[ D_1^2 \text{ sen}^2 \theta_1 + D_2^2 \text{ sen}^2 \theta_2 \right]$$

$$\mu_Y^2 = \mu_A^2 \left( \frac{1}{206,27} \right)^2 \left[ D_1^2 \text{ cos}^2 \theta_1 + D_2^2 \text{ cos}^2 \theta_2 \right]$$

En el caso en que fueran tres las observaciones que intervinieran en la determinación del punto, por ser tres las combinaciones que pueden formarse con ellas tomadas de dos en dos se obtendrán combinaciones diferentes correspondientes a cada una de ellas



los errores indicados en los subíndices (1,2) (1,3) (2,3) y por consiguiente se obtendrá:

$$\mu_X = \sqrt{\frac{\mu_X^2(1,2) + \mu_X^2(1,3) + \mu_X^2(2,3)}{3}}$$

$$\mu_Y = \sqrt{\frac{\mu_Y^2(1,2) + \mu_Y^2(1,3) + \mu_Y^2(2,3)}{3}}$$

Observese que la precisión aumenta considerablemente con el número de observaciones que intervienen en la determinación de cada punto. Se recomienda no obstante el empleo de solo tres observaciones en vez de las dos estrictamente precisas para alejar la posibilidad de utilizar en el cálculo los errores groseros.

Debido en general, a la pequeña inclinación de las visuales (grandes ángulos cenitales  $\phi$ ) se prescinde de la influencia que el error  $\mu_c$  tienen en  $\mu_X$  y en  $\mu_Y$ , y siguiendo esta hipótesis se han establecido las expresiones anteriores. Una vez determinada la posición planimétrica del punto, cada observación altimétrica da un valor para calcular la cota del punto con un error medio cuadrático que valdrá, siendo  $\phi$  el ángulo cenital



$$\mu = \mu_c \frac{D_N}{206,27} \frac{1}{\text{sen}^2 \phi}$$

Cuando las visuales que intervengan sean en número n el error medio cuadrático en la cota del punto se rá:

$$\mu_z = \frac{\mu_c}{206,27} \sqrt{\frac{\sum_n \frac{D^2}{\text{sen}^2 \phi}}{n}}$$

En el caso en que  $\phi$  se alejase de  $90^\circ$  excesivamente, sería preciso, para una determinación correcta del punto efectuar su determinación simultáneamente en las dos proyecciones del gráfico, y tener en cuenta para el error el pequeño vector situado en el plano vertical de la visual y perpendicular a ésta, cuyo módulo es:

$$(e) = \mu_c \frac{1}{206,27} D_N$$

Este vector es el que se ha empleado para obtener  $\mu_c$ . Las componentes horizontales del mismo en la hipótesis actual, dejarán de ser despreciables, y por lo tanto, a los valores  $\mu_x^2$ ,  $\mu_y^2$ , correspondientes a la visual habrá que agregar respectivamente:

$$\frac{\mu_c^2 D_N^2}{(206,27)^2} \cos^2 \phi \cos^2 \theta \quad \text{y} \quad \frac{\mu_c^2 D_N^2}{(206,27)^2} \cos^2 \phi \text{sen}^2 \theta .$$



APLICACION A UN CASO CONCRETO.-

Para formarse idea de los resultados del cálculo lo que precede se supone determinado un punto desde las estaciones A, B, y C, suponiendo

$$D_A = 200 \text{ m.} \quad D_B = 200 \text{ m.} \quad D_C = 250 \text{ m.}$$

y los ángulos  $\theta$  y  $\phi$ , siendo:

$$\theta_A = 45^\circ$$

$$\phi_A = 65^\circ$$

$$\theta_B = 45^\circ + (90^\circ)$$

$$\phi_B = 65^\circ$$

$$\theta_C = 90^\circ$$

$$\phi_C = 70^\circ$$

$$\cos^2 \theta_A = 0,50 \quad \sin^2 \theta_A = 0,50 \quad \cos^2 \phi_A = 0,179$$

$$\cos^2 \theta_B = 0,50 \quad \sin^2 \theta_B = 0,50 \quad \cos^2 \phi_B = 0,179$$

$$\cos^2 \theta_C = 0 \quad \sin^2 \theta_C = 1 \quad \cos^2 \phi_C = 0,117$$

$$\text{sen}^{-2} \phi_A = 1,22$$

$$\text{sen}^{-2} \phi_B = 1,22$$

$$\text{sen}^{-2} \phi_C = 1,13$$



eduardo torroja  
oficina tecnica

$$\mu_{X(1,2)}^2 = \left(\frac{1,28}{206,27}\right)^2 \left[ \frac{200^2 \times 0,5^2}{(20,000)} + \frac{200^2 \times 0,5^2}{(20,000)} \right] =$$

$$= 0,76 \quad \mu_X (1,2) = 0,87 \text{ m/m.}$$

$$\mu_X^2 (1,3) = \left(\frac{1,28}{206,27}\right)^2 \left[ \frac{200^2 \times 0,5^2}{(72,500)} + \frac{250^2 \times 1,0^2}{(72,500)} \right] =$$

$$= 2,755 \quad "$$

$$\mu_X (1,3) = 1,66 \text{ m/m.}$$

$$\mu_X (2,3) = 1,66 \text{ m/m.}$$

$$\mu_Y (1,2) = 0,87 \dots\dots\dots$$

$$\mu_Y (1,3) = \sqrt{0,0000,38 \times 10,000} = 0,615 \text{ m/m}$$

$$\mu_Y (2,3) = \dots\dots\dots = 0,615 \text{ m/m}$$

$$\mu_Z = \frac{1,09}{206,27} \sqrt{\frac{2 \times 200^2 \times 1,22 + 250^2 \times 1,13}{3}} = 1,42 \text{ m/m}$$

$$\mu_X = \sqrt{\frac{0,76 + (2,755) \times 2}{3} + \frac{1,09^2}{3 \times 206,27} (2 \times 200^2 \times 0,179 \times$$

$$\times 0,50 + 0) = 1,48 \text{ m/m.}$$

$$\mu_Y = \sqrt{\frac{0,76 + 2 \times 0,38}{3} + \frac{1,09^2}{3 \times 206,27} (2 \times 0,179 \times 0,50 \times 200^2 +$$

$$+ 250^2 \times 0,117 \times 1) = 0,82 \text{ m/m.}$$

Teniendo en cuenta los errores de posición del apa-



rato, se tendrá:

$$\mu_z = \sqrt{1,42^2 + 0,1^2} = ; \sqrt{2,02 + 0,01} = \sqrt{2,03} = 1,425 \text{ m/m}$$

$$\mu_x = \sqrt{1,48^2 + 0,1^2} = \sqrt{2,18 + 0,01} = \sqrt{2,19} = 1,48 \text{ m/m}$$

$$\mu_y = \sqrt{0,82^2 + 0,1^2} = \sqrt{0,68 + 0,01} = \sqrt{0,69} = 0,83 \text{ m/m}$$

Se observa que el error medio cuadrático queda comprendido, como debe ser, entre los valores extremos de las determinaciones con dos visuales. En el caso considerado se han elegido las visuales que parten de A y B de modo que se corten con el ángulo mas favorable posible. Por otra parte debemos también indicar que las determinaciones del punto hechas si multáneamente en las proyecciones horizontal y vertical aumentan el grado de certeza en la posición del punto porque alejan el error de elección, el cual es tanto menor cuanto mas se aproxima la posición elegida a la media de las posiciones halladas; este error de elección del punto, no está incluido dentro del error medio cuadrático calculado, pero se elimina con tanta mayor probabilidad cuanto mayor es el número de visuales que intervienen en la determinación. En estas consideraciones se funda la regla que se dió de elegir el punto en el baricentro del triángulo de determinación cuando se emplean tres visuales.



SISTEMA DE AUSCULTACION PARA EL ESTUDIO  
DEL COMPORTAMIENTO DEL ARCO UNA VEZ TER  
MINADA SU CONSTRUCCION

---

---

Ya dijimos en la primera parte de este estudio que sobre el particular existe una Memoria del Excm<sup>o</sup> Sr. Don Alfonso Peña aprobada por la Superioridad a propósito de este asunto, y que únicamente hemos de tratar ahora del acoplamiento de esta instalación al nuevo proceso constructivo; empezaremos pues por copiar la parte explicativa de dicha Memoria.

↓  
No

PROPUESTA DE INSTALACION DE APARATOS DE  
PRUEBAS PARA EL VIADUCTO SOBRE EL RIO  
ESLA.  
FERROCARRIL DE ZAMORA A LA CORUÑA

---

---

»Como Ingeniero Asesor de esta obra en la cual especialmente se plantean y tratamos de resolver interesantes cuestiones referentes a los esfuerzos secundarios, que adquieren excepcional importancia en obras de esta cuantía, tenemos especial interés en conocer la mayor o menor divergencia que respecto a nuestros cálculos ha de introducir la realidad, interés que, en definitiva, ha de redundar en prove-



cho de la técnica. Por ello, nos permitimos presentar esta propuesta, con objeto de que, perfeccionada por las restantes personas que integran la Comisión, si en su mejor criterio así lo juzgan oportuno, se llegue cuanto antes a la instalación de los elementos precisos, ya que, contando con los inevitables plazos de trámite no hay tiempo que perder, dada la marcha de la obra, puesto que los aparatos han de situarse durante la ejecución de los trabajos del arco.

Consiste la presente propuesta en el montaje de auscultadores de deformación en el arco principal.

Si bien la importancia de la obra justificaría indudablemente el empleo de gran número de auscultadores distribuidos en toda la longitud del arco para determinar experimentalmente tanto su forma de trabajo como las anomalías que pueda presentar con relación a las teorías e hipótesis admitidas, la necesidad de encajarlo dentro de una cifra prudencial de presupuesto, aconseja, a nuestro juicio, limitar el estudio de las secciones.

Haremos para ello dos propuestas, una que podríamos llamar normal, con los auscultadores que entendemos son precisos, y otra, que denominamos mínima y que marca un límite inferior del cual no debemos descender, si se quiere que los resultados



obtenidos sean de alguna eficacia.

Debería, a nuestro juicio, efectuarse el estudio en nueve secciones, que serían: los dos arranques, la clave, los dos riñones y cuatro secciones intermedias (dos entre arranques y riñones y otras dos entre éstos y clave). Pero, siendo lo mas importante el estudio del reparto de tensiones dentro de cada sección, para lo cual es necesario colocar un cierto número de auscultadores en cada una de ellas, conveniencia mas acusada habida cuenta la estructura tabicada del arco, será preferible disminuir el número de secciones a seis, esto es, dos secciones de arranque, dos en los riñones y dos en la clave y prodigar, en cambio, el número de auscultadores en cada sección. Indicamos dos secciones en la clave, con objeto de que podamos tener doble lectura, lo mismo que sucede ya con los riñones y arranques al objeto de obtener resultados mas seguros y concordantes. Sección particularmente interesante es la clave, donde de no hacerse en la forma dispuesta, pudieran obtenerse resultados erróneos a causa de la distinta contracción de cualquiera de las masas, de las proximidades de juntas de hormigonado, presencia de los gatos hidráulicos del descimbramiento, etc.

No es aconsejable, siguiendo el camino de la economía, la supresión del estudio de las secciones de



riñones, ya que entonces sería difícil deducir consecuencias de algún interés de las lecturas obtenidas. Consideramos, por consiguiente, un mínimo de seis, como secciones de investigación.

Dentro de cada sección, conviene, a nuestro juicio, disponer en cada tabique de la bóveda dos auscultadores en las fibras extremas, otros dos en los arranques del cartabón y un sistema de triple auscultación en el centro, con objeto de medir la dirección e intensidad del esfuerzo cortante máximo.

Resultan, en esta tesitura, siete auscultadores por tabique, y como la bóveda tiene cuatro tabiques, resulta un total de 28 auscultadores por sección.

Creemos precisos los 28 aparatos por sección. Los auscultadores de los tabiques interiores son precisos por entender que ha de ser fundamentalmente interésante el estudio de las diferencias de tensión que aparezcan entre uno y otro de estos tabiques por efecto de las diferentes condiciones de humedad, acción solar, etc., fenómenos todos ellos que pueden provocar no solamente diferentes repartos de tensiones dentro de la sección sino también flexiones transversales o de pandeo que tienden a deformar el arco en su proyección horizontal. Las indicaciones acerca de esta diferencia de tensión ha de dar también datos muy útiles durante el periodo de descimbramiento para asegurar la uniformidad de cargas en toda la



sección transversal.

La reducción de otros de los restantes auscultadores de cada sección, no la creemos aconsejable, ya que los resultados no puede dárseles valor mas que cuando se refieren a la medida de observación en número suficientemente grande y en diferentes puntos para alcanzar todas las homogeneidades o alteraciones del fenómeno, y sería lamentable no tener resultados prácticos solo por evitar un pequeño aumento en el presupuesto, anulando el gasto total. Por otra parte, hay un gasto inicial común a la instalación cualquiera que sea el número de auscultadores, gasto que representa el mayor sumando de los que integran el total, por lo cual vale más incrementar los demás teniendo la seguridad de la deducción de datos útiles que no disminuir estos sumandos y anular éstos y el primero, al no deducir cifras utilizables.

Siguiendo estas normas, esto es, estableciendo seis planos de auscultación y 28 auscultadores por plano, resulta un total de 168 auscultadores; a cada uno de los cuales. para los efectos de la valoración, asignamos una longitud media de cable de 55 metros, estableciendo al efecto el aparato central de lectura en la clave, utilizando cualquiera de las cámaras del arco tabicado.

Como condiciones de los auscultadores, deberán prescribirse las siguientes, que cumplen los que ac



tualmente se construyen: apreciar las variaciones que están destinados a medir, abarcando una zona de un radio de unos tres metros; por lo tanto, a la vista de esto, se hará la distribución de los aparatos, tanto en el sentido horizontal como en el vertical, apreciando deformaciones con una aproximación de la milésima de milímetro las de deformación y la décima de grado centígrado de temperatura.

El funcionamiento de los aparatos deberá realizarse de tal modo que haga prácticamente imposible todo error, a cuyo efecto deberá efectuarse sin palancas, engranajes ni transmisiones mecánicas de ningún género, detectando directamente las deformaciones por leyes físicas invariables, como así se realiza en los modernos auscultadores, y, por consiguiente, aunque no pueda evitarse en absoluto que los aparatos se estropeen o dejen de funcionar por algún mal trato, rotura etc., no obstante los errores de lectura quedan totalmente eliminados y, por consiguiente, las variaciones que se observen de unos aparatos a otros no podrán achacarse a errores del aparato, sino a alteraciones del material cuyos cambios de volumen son debidos a una gran cantidad de causas, como han demostrado modernas experimentaciones, motivo precisamente del interés que despiertan estos estudios.



Además de los auscultadores, la instalación central debe contener el Telemicrodefómetro o aparato central, necesario para hacer la lectura de todos los auscultadores, tanto de deformación como de temperatura o de subpresión.

Cualquiera que sea el número de zonas que deban estudiarse, y sea cualquiera el número de aparatos que se instalen, no hace falta adquirir mas que un aparato central, ya que, como decimos, éste sirve para hacer la lectura de todos los auscultadores instalados.

No incluimos en esta propuesta aquellos aparatos que son inherentes a las operaciones a realizar durante la construcción, por creer que ellos son de cuenta de la contrata. De todos modos, estos, en lo que al descimbramiento se refiere, han de permitir efectuar las observaciones de las incidencias y movimientos de las distintas partes de la obra durante el descimbramiento y corrección, para los cual se instalarán los aparatos necesarios para acusar los movimientos de la cimbra y de los arcos, siendo precisos, por lo menos, los siguientes: un aparato Magnet en cada una de las pletinas embutidas en el trasdós de los arranques del arco, un aparato topográfico en el eje del puente, encima de uno de los estribos; tres flexímetros registradores, uno en la vlave que anoten las deformaciones de la cimbra al cons-



truir la bóveda; dos aparatos Manet en la junta de la clave para observar la cantidad que abre el arco bajo la presión de los aparatos de descimbramiento y observar la uniformidad o divergencia lateral de esta junta, dos flexímetros relacionado el arco con la cimbra, uno en cada frente, para saber cuanto se levanta el arco sobre la cimbra; para observar el asiento de los apoyos y el movimiento de los tabiques de tímpanos también se instalarán los aparatos de medida que permitan, con error menor de 2 milímetros efectuar las observaciones. Por último, los aparatos precisos para el manejo de los gatos, manómetros, etc. Para los viaductos de acceso podrán aprovecharse los flexímetros citados, así como para los pórticos del arco central.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, presentamos el adjunto presupuesto de instalación, con dos valoraciones, la primera corresponde al programa desarrollado y que, según creemos haber justificado, consideramos preciso para la investigación. Y una segunda valoración, en la cual se reduce el estudio a cuatro secciones solamente. Nos permitimos, no obstante, no aconsejar esta segunda valoración que en su carácter de mínimo presentamos, ya que no existe la seguridad, como ocurre en la primera, de poder deducir consecuencias técnicamente aprovechables.

Reducir aun mas el número de auscultadores no



es practicamente posible, siendomentonces preferible/<sup>no</sup>efectuar instalación alguna.

Ahora bien; la importancia de la obra, el interés que por ello mismo ha despertado, no solamente en nuestra nación, sino en el extranjero, y las provechosas enseñanzas que para la técnica de la construcción en general y de los grandes arcos en particular, pueden y deben deducirse durante la ejecución del arco central y después de construído, nos parece motivo mas que suficiente para no escatimar los medios necesarios. Así lo han entendido aquellas naciones que han tenido ocasión de realizar obras de esta cuantía, Francia con el Puente de Plougastel, y últimamente Suecia con el de Treneberg-Sound. "

Madrid, 7 de Abril de 1936.

EL INGENIERO

Firmado, Don Alfonso Peña Boeuf.



Comprendemos que resultaría un absurdo atrevimiento hacer ninguna indicación o modificación sobre esta Memoria. Pero como el proceso de hormigonado es totalmente distintos del previsto inicialmente, nos permitimos indicar la posibilidad de modificar ligeramente dentro de cada sección el reparto de los auscultadores sin otro valor que el de una indicación por si la Superioridad considerara conveniente aceptarlo; Superioridad que en este caso particular está precisamente rematada en su cargo ministerial por el mismo Autor de la propuesta anterior.

Dentro de cada elemento formado por un tabique y sus cabezas correspondientes, proponemos mantener la distribución siguiente:

Dos auscultadores en las fibras extremas, es decir, próximas a la cabeza superior e inferior a unos diez centímetros por ejemplo del paramento.

Dos auscultadores en las fibras extremas de las roscas correspondientes a los tabiques, es decir, en el centro de gravedad del ensanchamiento o cabeza que forman éstos, o mejor a diez centímetros de la junta de hormigonado con la cabeza.

En cuanto a los triángulos de auscultadores en los centros de tabiques, proponemos sustituirlos con la disposición siguiente: En las secciones de arranque y de riñones, colocar en plano vertical y



perpendicularmente a la fibra neutra dos auscultadores en los tabiques exteriores y un auscultador en cada uno de los tabiques interiores. En los centros o planos medios de las cabezas superior e inferior, también perpendicularmente a la directriz del arco, pero en posición horizontal, colocar en las secciones de arranque y ríñones dos auscultadores, uno junto a la cara superior de la cabeza correspondiente y otro junto a la cabeza inferior. Y por último, reducir cada par de estos últimos auscultadores a uno solo en el centro de las cabezas en las secciones de clave.

La justificación a nuestro juicio de esta modificación, es la siguiente:

No coincidiendo los ejes de las cerchas con los ejes de tabiques, sino, por el contrario, quedando en los centros de vano entre tabique y tabique, los esfuerzos cortantes ya no quedan concentrados en los tabiques sino que en parte quedan soportados por estas diagonales independientes, pero además, estos esfuerzos cortantes, que tienen ahora su mayor importancia durante el proceso de ejecución, se reducen prácticamente a cero una vez terminado el hormigonado del arco, como se ha podido comprobar en los calculos, porque el peso propio de la estructura es enormemente superior al peso de la sobrecarga y porque la directriz corresponde con gran exactitud al



funicular de pesos propios. En estas condiciones, el arco trabaja, una vez terminado, prácticamente a compresión simple, y solamente son de esperar flexiones y esfuerzos transversales por efecto de la posible deformación lenta de la directriz a lo largo del tiempo durante los primeros meses de vida, de deformación lenta que a nuestro juicio debe compensarse, pasados algunos meses de la terminación, mediante una nueva maniobra de los gatos hidráulicos, como se ha indicado en otros de los estudios que se han desarrollado para el proyecto total de este arco.

En estas condiciones, parece que pierde interés la medida de la deformación a esfuerzo cortante en los tabiques. Por otra parte, en el estudio de los posibles esfuerzos secundarios y parásitos de la estructura, se ha observado que tiene alguna importancia la desigual dilatación y retracción de los tabiques exteriores con relación a los interiores por las diferentes condiciones térmicas y de ambiente a que han de estar sometidos.

Pero mayor importancia tiene todavía el desigual calentamiento de una a otra cara de un mismo tabique exterior por efecto del soleamiento. Como esta transmisión de efecto térmico en tabiques de algún espesor es poco conocida, creemos que sería de una gran utilidad el colocar un auscultador en la cara exte-



y otro en la cara interior de los tabiques externos, y un auscultador solamente en el centro de los tabiques internos ya que estos últimos han de ir sometidos a iguales condiciones de ambiente sensiblemente por una y otra cara.

La disposición de auscultadores horizontales normales al eje del arco en la cabeza superior e inferior también junto a la cara externa y a la cara interna, tiene por objeto el completar este estudio de desigualdad de deformaciones de una cara a otra en el espesor de las cabezas y de determinar, en combinación con los auscultadores de los tabiques, las deformaciones transversales de la sección por efecto de Poisson.

En las secciones de clave reducimos estos dos auscultadores a uno solo, porque, quedando estas secciones tapadas por el tablero, sus condiciones de ambiente de una a otra cara son muchos mas uniformes, y porque de este modo se puede mantener el mismo número total de auscultadores de la proposición primitiva.

Madrid, Febrero de 1940