

La presa bóveda Blasco Ibáñez en el Río Turia

Sistema Profesor Peña Bœuf

I. MI INFORME PARA LA PRESA DE EMBALSE BLASCO IBÁÑEZ, EN EL RÍO TURIA.

Autorizada por el Gobierno español, me encargó, en marzo de 1935, la Delegación de los Servicios Hidráulicos del Río Turia un informe sobre la construcción de una presa-bóveda de 113 m. de altura, en el río Turia, según el sistema del profesor PEÑA BœUF. Mis estudios, aparte de cálculos teóricos, debían extenderse sobre ensayos de modelos hidráulicos e isostáticos. Estos ensayos se hicieron, de acuerdo con mis indicaciones, en el Laboratorio para construcciones fluviales, fundado por mí y dirigido actualmente por el profesor DR.-ING. WITTMANN, y en el Laboratorio para hormigón y hormigón armado, dirigido por el profesor DR.-ING. KAMMÜLLER (ambos instalados en la Escuela Superior Politécnica de Karlsruhe).

Una de las cuestiones más importantes a estudiar ha sido el aclarar si podría ejecutarse sin riesgo alguno el proyecto concebido, según las proposiciones del profesor PEÑA BœUF, de una presa de embalse de anillos independientes de muy reducido espesor y con chapas de plomo interpuestas, tanto en las juntas horizontales de separación como en las juntas radiales y verticales de arranque.

Inmediatamente después de haber sido otorgado el encargo, se prepararon los ensayos necesarios en los Institutos mencionados, debiéndose buscar nuevos métodos e idear nuevas instalaciones para los ensayos isostáticos, sumamente difíciles y sin precedentes hasta ahora.

A los ensayos asistió el ingeniero de Caminos don Vicente MUÑOZ POMER. En vista de que este señor todavía no tenía experiencia en la ejecución de ensayos, traté en lo posible de darle las instrucciones pertinentes. También mis colaboradores atendían perfectamente al Sr. MUÑOZ POMER, explicándole detalladamente el procedimiento, el método y las instalaciones utilizadas en los ensayos.

El Sr. POMER, por lo tanto, ha podido observar exactamente el desarrollo de los ensayos y darse cuenta, al mismo tiempo, de qué manera estaban venciendo paso a paso las dificultades, inevitables en el primer empleo de un nuevo procedimiento.

En presencia del Sr. POMER he discutido varias veces con mis colaboradores dichas dificultades y los caminos para su eliminación; así, pues, ha podido conocer mis ideas al respecto.

Antes de la terminación de los ensayos, el Sr. POMER marchó de Karlsruhe; por lo tanto, no ha podido conocer los resultados de los ensayos de control, como tampoco de los ensayos con un anillo cargado hasta su rotura, hechos después de su partida. También la elaboración de las ensayos en lo esencial se hizo después de la marcha del Sr. POMER. Parece, sin embargo, que el Sr. POMER llevó consigo una copia de los protocolos de ensayo, lo cual he sabido solamente más tarde.

Sin haberme puesto en antecedentes de sus intenciones, y sin haber solicitado mi conformidad, y aun antes de que yo mismo hubiera podido terminar mi

informe ni presentarlo a las autoridades, el Sr. POMER ha publicado en los números 21, 22 y 23 del año 1935 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS una serie de artículos sobre *Ensayos en Karlsruhe de las presas de embalse sistema profesor Peña Bœuf*. En estos artículos ha dado a la publicidad, por primera vez y sin tener mi conformidad, los métodos e instalaciones de ensayo concebidos por mí y mis colaboradores. Tampoco ha juzgado necesario remitir a mis colaboradores, o a mí mismo, copia de sus publicaciones; así que solamente en una fecha muy posterior a la de su publicación he podido enterarme del contenido de sus artículos y expresar mi opinión respecto a los mismos.

Someto tal manera de proceder al juicio de mis colegas españoles, que han merecido mi profundo respeto en larga colaboración para diferentes grandes obras hidráulicas, sea durante mis estancias en España o sea con ocasión de sus visitas en Karlsruhe. Desearía llamar también la atención sobre tal modo de proceder, que está en contradicción con todas las costumbres internacionales, y con el que jamás me he encontrado durante los treinta y cinco años que llevo en trabajos experimentales para obras hidráulicas, en colaboración con los ingenieros de más de treinta diferentes países.

II. EL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS DEL SR. MUÑOZ POMER.

Por lo que se refiere al *contenido* de los artículos del Sr. POMER, no me parece necesario ocuparme detalladamente de la severa crítica que sobre los ensayos isostáticos hechos en Karlsruhe se manifiesta en muchas columnas de sus artículos.

Los artículos dan la impresión de que en los ensayos de modelo se han observado considerables desplazamientos horizontales de los arranques en sus apoyos, necesarios para la eficacia del sistema PEÑA BœUF, mientras que, en realidad, *no* se han podido comprobar tales movimientos, por lo menos en valores prácticamente determinables.

Todos los detalles de mis estudios se desprenden de mi informe, traducido también al español¹. Abusaría, por lo tanto, de la atención de los lectores si entrase en los detalles de los artículos publicados por el Sr. POMER, y me limitaré a hacer resaltar brevemente el problema principal de mis estudios, esto tanto más cuanto que precisamente esta parte esencial de los resultados de mis ensayos aparece muy encubierta en los artículos del Sr. POMER.

III. ¿CÓMO TRABAJA EL SISTEMA PROFESOR PEÑA BœUF?

Es sobradamente conocido que una presa-bóveda con directriz circular, expuesta al empuje unilateral del agua, trabajaría bajo condiciones muy favorables,

¹ Dicho informe puede examinarse en las oficinas de mi representante en Madrid, "Pahama", Oficinas Técnico-Comerciales, Alarcón, 7.

si los diferentes arcos pudiesen apoyarse sin rozamiento en planos rígidos radiales, pues con motivo del fácil desplazamiento radial de los arranques en los planos de apoyo se mantendría exactamente la forma circular de los arcos para todas las cargas hidrostáticas posibles. Por consiguiente, asimismo, bajo variaciones de carga y de temperatura, y para deformaciones elásticas de los planos de apoyo, no podrían producirse momentos de flexión y se mantendría la repartición uniforme de las cargas de trabajo en las secciones enteras del arco.

Semejante repartición uniforme de las cargas de trabajo en las secciones enteras del arco, de conseguirse totalmente, sería sólo en el caso ideal de una forma exactamente circular del trasdós del arco y para planos verticales de apoyo exactamente radiales, lo que prácticamente nunca será posible. Esta repartición ideal permitiría aprovechar totalmente la resistencia del material de construcción y, calculando los anillos correctamente, produciría una gran economía en el costo de la presa.

Sin embargo, todos los esfuerzos hechos hasta ahora para obtener el "apoyo sin rozamiento" de los arranques de presas bóvedas no han tenido éxito, pues ha sido imposible eliminar prácticamente dicho rozamiento.

En todas las presas bóvedas ejecutadas hasta ahora están, pues, produciéndose momentos y reparticiones no uniformes de las cargas de trabajo con la variación de altura del agua embalsada, que obligan a reforzar el espesor de los arcos.

El profesor PRÉA BOUR trató primeramente de obtener el fácil desplazamiento de los arcos en las juntas de arranque y las juntas horizontales de separación entre los diferentes anillos, por medio de la *interposición de capas de asfalto*. En vista de la insuficiente duración del asfalto, más tarde ha sustituido las capas de asfalto por *chapas de plomo* sueltas, instaladas con 3 mm. de espesor en las juntas horizontales, y con 10 mm. de espesor en las juntas verticales de los arranques.

En el proyecto para la presa Blasco Ibáñez, en el río Turia, que me fué sometido, se habían previsto tales juntas con interposición de chapas de plomo.

Ante todo, mis estudios debían extenderse sobre la *durabilidad* de las chapas de plomo y sobre la posibilidad del fácil *desplazamiento* de los arranques en las juntas.

Al contestar estas dos cuestiones, he llegado a las siguientes conclusiones:

1.^a La duración de chapas de plomo interpuestas entre macizos de hormigón es muy pequeña, pues el plomo se descompone rápidamente bajo el efecto del hidrato cálcico libre procedente del lavado del hormigón, debido a las filtraciones.

2.^a El fácil desplazamiento de los macizos de hormigón, supuesto como condición fundamental para la eficacia del sistema PRÉA-BOUR, no se obtendrá con el empleo de chapas de plomo.

A estas conclusiones debo agregar lo siguiente:

1. La rápida descomposición del plomo por el hormigón se ha observado muchas veces. Dispongo de algunos informes de especialistas de fama sobre esta cuestión, los cuales últimamente se han completado por un informe amplio de los ferrocarriles del Estado de Suiza.

Todos estos informes concuerdan en que chapas de

plomo colocadas en contacto con hormigón y agua tienen muy pequeña duración.

Hay que desistir, por lo tanto, del empleo de chapas de plomo en las juntas de una presa de hormigón.

2. El fácil desplazamiento de macizos de hormigón sobre chapas de plomo podría ser posible únicamente en el caso de que el coeficiente de rozamiento entre estas dos materias fuera pequeño.

Sin embargo, de los ensayos hechos bajo diferentes condiciones para establecer el coeficiente de rozamiento entre hormigón y plomo se ha podido deducir, sin duda alguna, que dicho coeficiente es muy grande, como era de esperar. Varía entre 0,81 y 1,02 para las chapas sueltas laminadas, empleadas en los ensayos definitivos, bajo presiones diferentes, hasta 12 kg./cm.², es decir: el desplazamiento del hormigón sobre el plomo podría producirse solamente cuando el ángulo entre la resultante de cargas y la normal sobre el plano de apoyo sobrepasara los 39° hasta 45°.

Semejantes ángulos entre la resultante de presión en los arranques y el plano de apoyo prácticamente no pueden existir.

Por lo tanto, no se podrá calcular con el desplazamiento de los anillos de la presa Blasco Ibáñez sobre las chapas de plomo instaladas en las juntas verticales y radiales de los arranques.

Si bien con estas dos conclusiones se había ya contestado a la cuestión de si fuera conveniente o posible el empleo de chapas de plomo en las juntas de la presa, no obstante y a pesar de las dificultades grandes que eran de esperar, se hicieron los ensayos isostáticos en el modelo de un anillo circular, de acuerdo con el programa previsto.

En vista de que las deformaciones a obtener en un modelo de hormigón al cargarlo por un líquido habrían sido demasiado pequeñas, se ha hecho actuar en el trasdós del arco (construido de hormigón fino y muy rico) un sistema de prensas hidráulicas dispuestas radialmente a distancias iguales, con lo que ha sido posible someter el arco a una carga máxima total de 17 500 kg.

Con el fin de conseguir en lo posible un uniforme reparto de la presión de las prensas, entre los vástagos de las prensas y el arco se interpusieron zapatas de madera dura sobre hojas de cartón blando.

Como es natural, aunque contrario a la opinión expuesta por el Sr. POMER en la página 440 de su artículo, no tiene importancia alguna, si se hacía actuar un número par o impar de prensas, siempre en el supuesto de que a cada una de las prensas correspondía un sector del arco con el mismo desarrollo, como efectivamente se ha hecho en los ensayos. No entiendo, por lo tanto, por que razón una prensa que está actuando en el medio del arco debe "*favorecer el deparado del arco y su parcial empotramiento*", como pretende el Sr. POMER.

Las flexiones de la directriz del arco cargado por las prensas hidráulicas se establecieron por medio de muy sensibles flexímetros Zeiss, mientras que para la medición de eventuales desplazamientos de los arranques se utilizaban espejos Martens, más sensibles todavía.

Las flexiones medidas en la clave del *modelo principal*, con chapas de plomo, dispuestas con 1 mm. de espesor en las juntas de arranque, coincidían casi con las flexiones calculadas para un *arco empotrado*. Para la sucesión máxima de cargas sobre el trasdós de 0,0

Presa-Bóveda Blasco-Ibáñez en el Río Turia.

Plano

Diagrama de las flexiones medidas en sentido radial para cargas continuas de diferente valor.

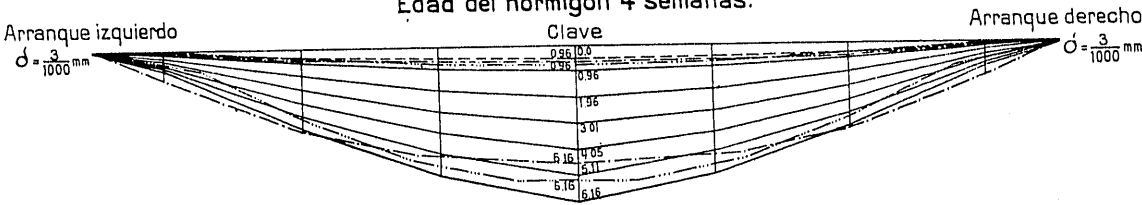
Para comparación con las flexiones medidas se han indicado también las flexiones calculadas para el arco con dos articulaciones y el arco empotrado, para la presión mínima y la presión máxima.

Escala de las longitudes desarrolladas 1:10 del modelo
Escala de las flexiones en el modelo 200:1.
(1 cm del dibujo = una flexión de 0.2 mm).

Los números indicados en las 3 figuras significan las presiones radiales del arco de modelo en kg/cm².
 δ = desplazamiento máximo promedio de los arranques

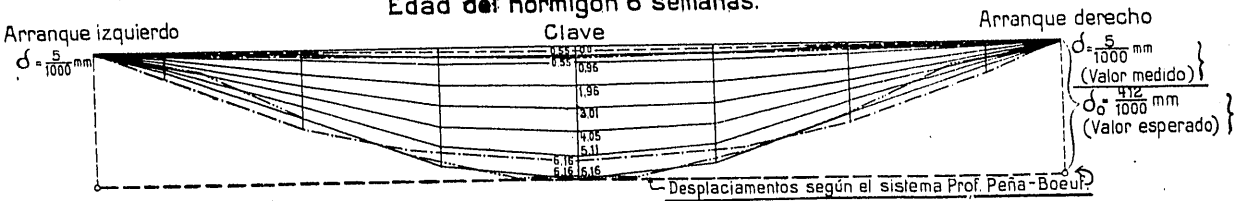
I. Modelo preliminar.

Chapas de plomo hormigonadas sobre las juntas de arranque con 3.5 mm de espesor.
Edad del hormigón 4 semanas.



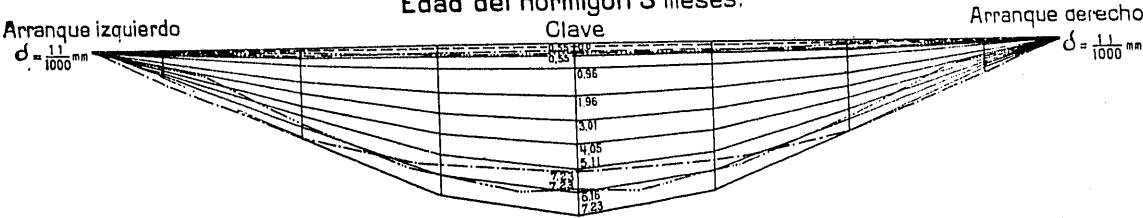
II. Modelo principal.

Chapas sueltas de plomo instaladas en las juntas de arranque con 1.0 mm de espesor.
Edad del hormigón 6 semanas.



III. Modelo de comparación.

Sin chapas de plomo en las juntas de arranque.
Edad del hormigón 3 meses.



Explicación:	
—	Flexiones medidas
- - -	Flexión después de la descarga
· · ·	Flexión calculada para el arco con dos articulaciones
· · ·	Flexión calculada para el arco empotrado.

Karlsruhe/Baden-Baden Diciembre 1935

Este grabado es, aproximadamente, 0,85 del diagrama original.

a 6,16 kg./cm.², dichas flexiones se midieron en 0,412 milímetros. En el caso de que se hubiera producido un desplazamiento libre de los arranques en las chapas de plomo, como lo supone el sistema PEÑA-BOEUR, también los arranques debían haberse movido más o menos por la misma medida, es decir, por 0,412 mm.

En realidad, se comprobó para el modelo provisional solamente un desplazamiento medio de los arranques de 0,003 mm. y para el *modelo principal* de 0,005 mm., con un promedio total, por consiguiente, de sólo 0,004 mm., es decir el *desplazamiento de los arranques no alcanzaba aún LA CENTÉSIMA PARTE del valor supuesto y esperado por el profesor PEÑA-BOEUR*.

Si bien este valor de 0,004 mm. debe considerarse como muy pequeño, ha sido necesario reducirlo considerablemente, por la razón siguiente: Las plumas medidoras pudieron sujetarse en el modelo únicamente de tal manera que su punto fijo con presiones crecientes de las prensas, y a causa del alargamiento elástico del marco, se alejaban un poco del arranque hacia arriba. Dicho alargamiento elástico, que según un cálculo aproximado alcanzó el valor de 0,004 mm., debe restarse del desplazamiento medido de los arranques para obtener el valor exacto real del mismo. Hecha esta corrección, el valor exacto y real del desplazamiento de los arranques ha sido más o menos *cero*, como era de esperar según el resultado de los ensayos hechos para establecer el coeficiente de rozamiento entre hornigón y plomo.

El gráfico adjunto de las líneas de flexiones demuestra la insignificante influencia de los desplazamientos de los arranques, *no corregidos todavía*, y que ha sido casi imposible de representar gráficamente.

Fijemos nuestra atención especialmente sobre la línea rayada y recta dibujada debajo de la línea de flexiones establecida por los ensayos en el modelo principal (véase fig. 2.^a del plano).

Para una sucesión de cargas de 0,0 hasta 6,16 kilogramos por centímetro cuadrado habría debido obtenerse esta línea rayada y recta, si las suposiciones del sistema profesor PEÑA-BOEUR se hubieran cumplido, pues en este caso todos los desplazamientos radiales habrían debido tener más o menos el mismo valor.

La línea de flexiones establecida en realidad demuestra, sin embargo, una flexión casi nula en los arranques, comprobada en la totalidad de las líneas de flexiones establecidas (unas cuatrocientas).

No creo que *este resultado, muy importante, de los ensayos hechos en el modelo isostático* puede desprenderse en las amplias exposiciones del Sr. POMER, tampoco estudiándolas detenidamente, pues en la página 441 de su artículo habla (bastardilla) de "desplazamientos radiales en los arranques" encontrados en los ensayos, mientras que en realidad se ha comprobado la casi inmovilidad de los arranques.

A mi juicio, de los ensayos resulta decisivamente que los desplazamientos de los arranques esperados, en realidad no se producirán. Son inútiles todos los esfuerzos del Sr. POMER de atribuir a las deficiencias del modelo o a la asimetría de los valores medidos los desplazamientos mínimos de los arranques, que alcanzaban menos de la centésima parte de los valores esperados, pues es completamente imposible que di-

chas deficiencias pudieran haber reducido en la totalidad de las numerosas mediciones tomadas los valores reales acerca de su centésima parte, y aun menos. Semejante conclusión aparece completamente infundada e ilógica.

Según estos resultados, una presa con chapas de plomo en las juntas de arranque debe trabajar como una presa corriente con arranques empotrados, pues los desplazamientos de los arranques no se producen.

Presas-bóvedas corrientes se han construido, sin embargo, en centenares de casos en todas las partes del mundo, y no es admisible y debe considerarse como peligroso reducir el espesor normal de los arcos por causa de que se hayan puesto chapas de plomo en las juntas de arranque.

Las mediciones de flexiones hechas en el modelo no pueden referirse, por lo tanto, a una presa-bóveda del sistema PEÑA-BOEUR, sino a una presa-bóveda corriente con arranques empotrados.

* * *

El hecho de que en los ensayos, a pesar del esmero puesto en juego, no se haya logrado *simetría de los esfuerzos* con respecto al eje medio del arco, debe tomarse como advertencia para todos los ingenieros constructores de presas-bóvedas, pues no creo que en la práctica será posible conseguir mejor simetría en la repartición de cargas de trabajo que en un ensayo de modelo hecho cuidadosamente en un laboratorio.

La desigualdad de los valores medidos en puntos simétricos al eje del arco, tanto en las cargas de trabajo como en las flexiones, no puede tener influencia considerable en el resultado esencial de los ensayos, es decir la comprobación de la falta completa de desplazamientos radiales de los arranques. He concluido mi informe en diciembre de 1935 para no retrasar más la fecha de su entrega. Sin embargo, he encargado al profesor KAMMÜLLER proseguir los ensayos para comprobar si los resultados obtenidos en los ensayos anteriores pueden mejorarse a base de las experiencias hechas mientras tanto.

Con tal fin, se ha reforzado fuertemente el marco utilizado para la sustentación del anillo, pues aparentemente la asimetría observada debía atribuirse principalmente a la disposición un poco asimétrica, así como a la elasticidad desigual de los planos de apoyo.

Efectivamente, en estos *ensayos de control*, hechos en abril de 1936, se ha conseguido una simetría mucho mejor de las líneas de flexiones y cargas de trabajo en las dos mitades del arco.

El resultado más importante de estos ensayos de control consiste en que se han establecido líneas de flexiones muy parecidas a las obtenidas anteriormente. El valor medio de las *flexiones en el medio del arco* coincide exactamente con el valor anteriormente medido, pues en las tres sucesiones de cargas se encontró para la carga máxima total de 6,16 kg./cm.² en el trasdós del arco un valor medio, medido por los flexímetros Zeiss, de

0,454 mm.

es decir, exactamente el mismo valor que resultó como valor promedio de las tres mediciones insertas en la página 41 de mi informe, para la flexión en el medio del arco.

Por otra parte, los *desplazamientos radiales de los arranques* se establecieron por medio de las plumas medidoras con espejos Martens para las mismas sucesiones de cargas sólo en: 0,00365 mm., 0,0034 milímetros y 0,0031 mm., o sea en el promedio en 0,00337 mm., en cifra redonda, en

0,003 mm.

Ahora, pues, en la segunda mitad de mayo de 1936, se hizo una *nueva serie de ensayos* para establecer, cómo se distribuye este valor insignificante, medido en las plumas medidoras, sobre el alargamiento del tramo del marco, entre los dos puntos de sujeción de las plumas y sobre el eventual desplazamiento de los arranques en los apoyos. Estos ensayos de control tenían por objeto comprobar con seguridad el alargamiento que sufre el marco bajo la presión de las prensas hidráulicas, entre las puntas terminales de las plumas medidoras.

Para tal fin, las plumas medidoras, sujetadas en los ensayos anteriores con su cabeza superior en el marco y con su cabeza inferior en el arranque, ahora también con su cabeza inferior se sujetaron en el arco, inmediatamente por debajo de su arranque.

Restando los alargamientos del marco, medidos por medio de estas plumas, de los desplazamientos de los arranques observados anteriormente, éstos últimos han podido comprobarse con seguridad.

Este procedimiento, efectivamente, comprobó el resultado, previsto de antemano por el autor, pues el alargamiento del marco después de la traslación de las plumas medidores, también se estableció en el promedio en 0,0028 mm., o en cifra redonda, también en

0,003 mm.

Este valor medio, con una exactitud de una milésima de milímetro, corresponde al desplazamiento medido anteriormente en las plumas medidoras.

Se ha comprobado, por lo tanto, con toda seguridad, que en los ensayos de modelo, tampoco instalando chapas de plomo en las juntas verticales de arranque, no se producen desplazamientos radiales de los arranques, prácticamente determinables.

Según este resultado, los arcos apoyados sobre chapas de plomo trabajan de la misma manera como arcos empotrados.

Por consiguiente, también en los arcos apoyados sobre chapas de plomo deben producirse momentos de flexión por alteraciones en la presión hidrostática, por variaciones de temperatura, por retracciones de fraguado y movimientos elásticos de los apoyos. Dichos momentos considerables deben tenerse en cuenta en el cálculo de los arcos, si no las cargas de trabajo en el hormigón sobrepasarán considerablemente los límites admisibles.

La falta de esfuerzos de tracción en los anillos de modelo investigados, mencionada particularmente por el Sr. POMER, se explica muy sencillamente por la circunstancia de que los arcos elegidos para la aclaración de la cuestión principal de los desplazamientos de los arranques, corresponden a un anillo ubicado en el cuarto superior de la presa, donde esfuerzos de tracción no se producen tampoco en presas corrientes con arranques empotrados.

En los tres cuartos inferiores de la presa Blasco Ibáñez, sin embargo, para los perfiles propuestos se producen esfuerzos de tracción muy considerables, los que ya para el perfil más fuerte de los dos estudiados (con un espesor del anillo inferior de 34,9 m.), según los cálculos analíticos hechos, alcanzan el valor completamente inadmisibles de 35 kg./cm.², en media altura de la presa, y esto sólo a causa del empuje del agua.

No cabe duda que el Sr. POMER habría tenido que llamar la atención sobre este particular, si hubiera querido evitar que de sus exposiciones se derivaran conclusiones falsas.

Por otra parte, el Sr. POMER también habría debido indicar para evitar conclusiones falsas, que los *desplazamientos negativos de los arranques*, es decir, dirigidos en contra del empuje del agua, mencionados por él y observados en uno de los ensayos iniciales, alcanzaban solamente milésimas de milímetro, y, por lo tanto, no han podido comprobarse con seguridad, a pesar de la gran exactitud de las mediciones.

Para terminar con estas opiniones, no puedo dejar de manifestar mi profundo sentimiento de que un ingeniero joven, poco después de haber echado una primera y corta ojeada al terreno de experimentación técnica — cuyas dificultades extraordinarias aparentemente no ha entendido todavía en toda su complejidad — se haya propuesto condenar en términos severos en las columnas de una revista acreditada los trabajos de un laboratorio que dispone de gran experiencia y es conocido hasta más allá de las fronteras alemanas.

Yo mismo opino que en los ensayos hechos por primera vez se ha abierto un camino que en lo futuro se seguirá muchas veces y que promete dar resultados muy útiles.

Me parece que el Sr. MUÑOZ POMER no se ha dado cuenta de la enorme responsabilidad con que cargó al redactar sus artículos, aparentemente con el propósito principal de convencer a los lectores de que los desplazamientos de arranque, necesarios para la eficacia del sistema profesor PRÉVA BÉUF, se hayan producido y comprobado efectivamente en los ensayos de Karlsruhe, cuando en realidad no ha sido así. Sus conclusiones podrían tener consecuencias graves, si encontrasen aceptación.

Th. REHBOCK.

Karlsruhe, Baden-Baden, 25 mayo 1936.

Contestación al artículo del Profesor Th. Rehbock

No hubiera escrito ni publicado nada sobre los ensayos de la presa-bóveda de anillos, verificados en Karlsruhe, porque aun disgustado por la forma en que fueron ejecutados y comentados, mi extremada prudencia tiende siempre a evitar cualquier enojosa

discusión. Pero el tono en que está redactado el artículo remitido a esta Revista por el profesor Rehbock, y las consecuencias que en él deduce son de tal naturaleza, que no puedo dejar de contestar poniendo la verdad en toda su pureza.