

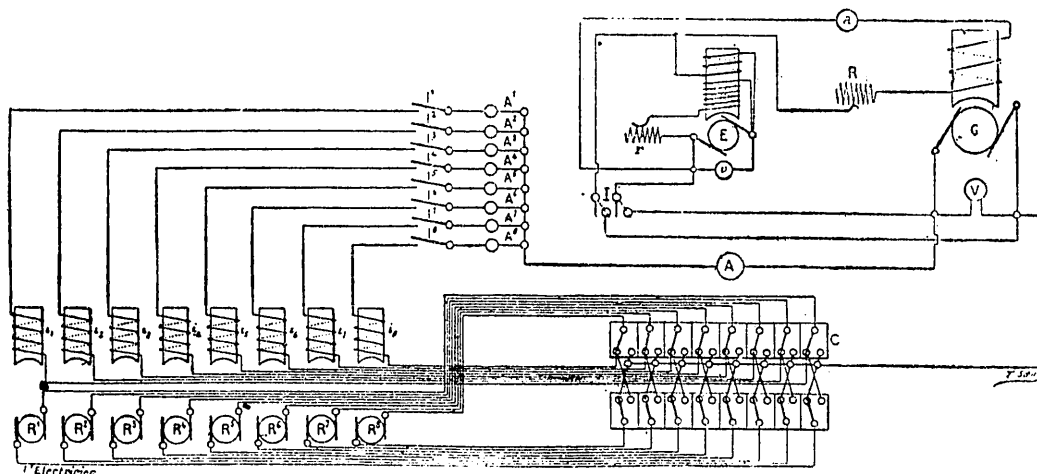


Fig. 13.—Diagrama de las conexiones.

A a A' ... A8.—Amperímetros.
 V v.—Voltímetros.
 G.—Dinamo generatriz.
 R.—Reóstato de excitación.
 Cp Cp.—Conductores principales.
 I1 ... I8.—Interruptores.

R1 ... R8.—Motores.
 E.—Dinamo excitatriz.
 Ce Ce.—Conductores para la excitación de la generatriz.
 r.—Reóstato.
 C.—Conmutador.

REVISTA EXTRANJERA

Causas de la rotura de la presa de Bouzey y consecuencias relativas á la estabilidad de los macizos de fábrica.

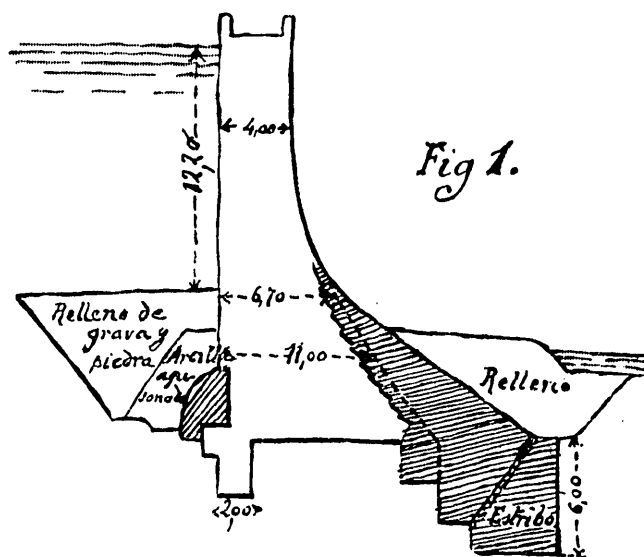
La catástrofe ocurrida en 27 de Abril de 1895, al romperse la presa del pantano de Bouzey, motivó estudios muy completos acerca de las causas de aquel siniestro, habiéndose llegado á deducir algunas consecuencias dignas de ser conocidas de los ingenieros, relativas á la estabilidad de las fábricas. Pero, antes de formular dichas consecuencias, convendrá hacer un resumen de las condiciones de la obra, de las circunstancias en que se produjo la rotura, y de las causas á que fué atribuida por los ingenieros que intervinieron en el expediente administrativo, en el proceso incoado á consecuencia de aquel suceso y en el examen de esta cuestión en la prensa técnica.

El pantano de Bouzey estaba situado en el valle del Avière, afluente del Mosela, y tenía por objeto la alimentación del tramo divisorio del canal del Este. Cubría una superficie de 128 hectáreas y embalsaba 7 millones de metros cúbicos. Su planta era rectilínea, con un desarrollo de 525 metros en la coronación, y la altura máxima de 22 metros. Se emprendieron las obras en 1878 y quedaron terminadas en 1880.

El 13 de Marzo de 1884 ocurrió una avería importante; una parte de la presa, de 135 metros de longitud, experimentó un movimiento brusco hacia aguas abajo, y tomó en planta una forma cóncava hacia aguas arriba con una flecha de 0m,34, sin dejar de permanecer vertical. El gasto de los manantiales que existían aguas abajo, á causa de las filtraciones, aumentó de 75 á 232 litros por segundo. Sin embargo, los ingenieros encargados de la explotación no creyeron necesario tomar la precaución de vaciar el depósito ó de reducir la cantidad de agua almacenada, y la obra siguió prestando servicio con grandes alturas de agua.

En 1888 se redactó el proyecto de reparación y consolidación de la presa, bajo la dirección del Inspector Sr. Dupuy. La fig. 1.ª da idea de este proyecto; se reducía á aumentar los espesores de la base, principalmente aguas abajo, por medio de un macizo

de fábrica ligado al cuerpo de la presa antigua y apoyado en un fuerte estribo. Aguas arriba también se añadió un nuevo zócalo para ampliar la base por este lado. Todas las fábricas nuevas aparecen rayadas en la figura.



Terminadas las obras en 1890, el pantano funcionó de un modo normal hasta el 27 de Abril de 1895, en que se rompió repentinamente la presa y fué arrastrada una longitud de 170 metros con una altura media de 10m,50, hallándose el embalse casi lleno y causando una espantosa catástrofe. La corriente destruyó por completo las aldeas de Bouzey, Avière, Uxegney, Domèvre y Oncourt, ocasionó graves destrozos en el canal del Este y en varias líneas férreas, y produjo la muerte de ochenta y seis personas. Se estimaron los perjuicios en 7.200.000 francos, reconociéndose responsable el Estado de los daños materiales.

Varios son los defectos que se han señalado á esta obra, y que han podido contribuir en mayor ó en menor escala á ese desastroso resultado.

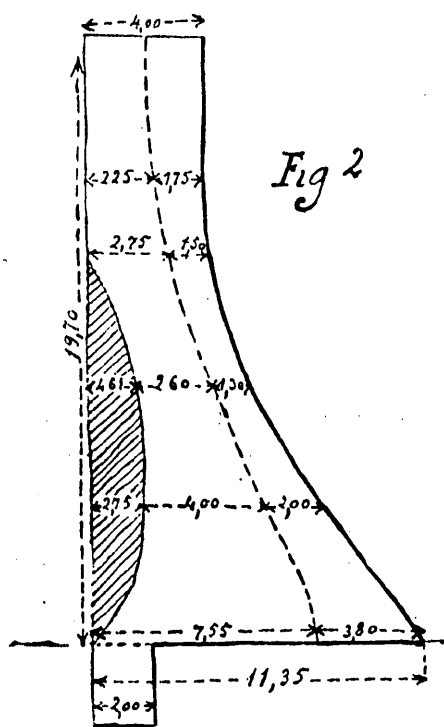
Según las declaraciones de los peritos que intervinieron en el proceso, el terreno en que se apoyaba la presa no reunía las condiciones que deben exigirse en una obra de esta clase.

Los materiales eran de mala calidad y no habían sido sometidos á ensayos. Se había admitido en el proyecto que la piedra empleada en la presa alcanzaría una resistencia absoluta comprendida entre 300 y 600 kilogramos por centímetro cuadrado á la compresión, y que no bajaría de 10 kilogramos su resistencia á la tensión; los ensayos verificados después de la rotura han hecho ver que la primera oscilaba entre 223 y 396 kilogramos, mientras la resistencia á la tensión descendía á veces á 2^{kg}, 297. Es una prueba patente de los errores gravísimos que se pueden cometer en estas apreciaciones y un argumento más para demostrar la necesidad de que se emprendan en España estudios experimentales de resistencia de materiales, instalando con urgencia un laboratorio en la Escuela de Caminos, como lo hemos pedido repetidas veces desde estas columnas.

También dejaba que desear el mortero, por ser la arena de mala calidad.

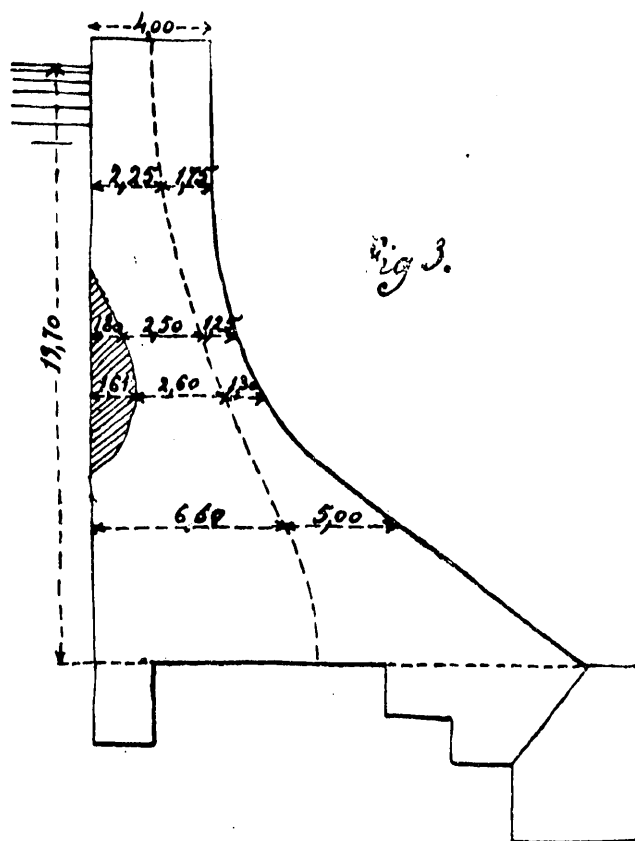
Uno de los puntos que más directamente interesan á los ingenieros en general es el examen del perfil, que ha sido juzgado demasiado débil, habiéndose llamado la atención, sobre todo, acerca de la existencia de zonas en que la fábrica trabajaba por tensión.

La figura 2 da á conocer la posición de la curva de presiones en la primitiva presa, y la parte rayada representa la región sometida á tensiones cuando el pantano estaba lleno.



La figura 3 hace ver la reducción que experimentó esa región después de haber sido reforzada la obra; quedó muy limitada en altura y penetrando menos hacia el interior del macizo; pero esto, claro está, en el supuesto de que se hubiera enlazado perfectamente la fábrica antigua con la nueva, y acerca de ello han manifestado dudas algunos ingenieros.

Las tensiones máximas de 1,5 kilogramos en el paramento de aguas arriba se han considerado mucho más peligrosas que las máximas compresiones de 8 ^{kg} en el paramento de aguas abajo, pues éstas resultan muy moderadas á pesar del error cometido en la apreciación de la resistencia de la piedra. Por otra parte, la variación del nivel del agua es causa de que en ciertas



zonas de la obra el material esté sometido alternativamente á tensiones y á compresiones, facilitando la iniciación de grietas, que constituyen un grave peligro. En efecto, una vez empezada á formarse una grieta horizontal, la subpresión que obra contra el techo tiende á agrandarla, aumentando su profundidad, y dando por resultado la aproximación de la resultante que obra sobre esa junta horizontal al paramento de aguas abajo, lo cual equivale á una reducción del espesor, que ocasiona á su vez un aumento en la compresión aguas abajo y otro en la tensión aguas arriba. Teniendo en cuenta además el efecto de la subpresión, se ve que todas estas circunstancias contribuyen á que pueda sobrevenir el vuelco del macizo superpuesto.

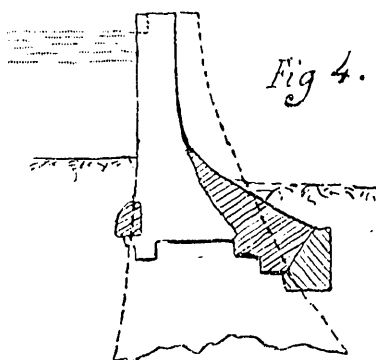
Respecto al peligro que ofrecen las grietas verticales, puede verse la nota de M. Durand-Claye, cuya traducción insertamos en nuestro número de 10 de Junio último.

Algunos ingenieros, y entre ellos M. Lévy, han atribuido también alguna influencia en la rotura de la presa de Bouzey al esfuerzo cortante, que pudo adquirir un valor de 3,5 kilogramos por centímetro cuadrado, según cálculo de aquel eminente matemático.

En suma, casi todos los ingenieros que han estudiado este interesante asunto han convenido en que el perfil de la presa de Bouzey era uno de los más débiles que se han adoptado en obras de esta clase. En la figura 4.^a aparecen superpuestos, para poder ser comparados fácilmente, los perfiles de las presas de Bouzey y de Furens.

Se ha censurado mucho la planta rectilínea en una presa de tan considerable longitud. Una presa rectilínea tan larga no puede soportar las dilataciones y las contracciones debidas á los cambios de temperatura sin que se produzcan desgarraduras longitudinales, porque las oscilaciones de la temperatura son mucho más acentuadas en la región superior que en la parte enterrada. La forma curva se presta mejor á experimentar las pe-

queñas deformaciones debidas á la variación de temperatura, sin que por ello se originen desgarramientos.



Los peritos llamados á declarar en el proceso consideraron muy defectuoso el susodicho proyecto de reparación, por haberse limitado á reforzar la base sin introducir ninguna mejora en la parte media y superior. Sostuvieron que esas obras fueron más bien perjudiciales que útiles, por haber obligado á destruir algunas partes de la mampostería antigua para ligar las dos fábricas, sin que se hubiera llegado á conseguir un buen enlace de ambas.

Algunos ingenieros han atribuido gran influencia al invierno crudo de 1894-1895. En nuestro número de 13 de Mayo del año último publicamos la traducción de una nota de M. Dupuy sobre la influencia del hielo en la estabilidad de las presas, acompañándola de algunos comentarios para rebatir los razonamientos en que se funda su autor. M. Dumas, en un artículo publicado en *Le Génie civil* de 24 de Julio del mismo año, afirma que la explicación de M. Dupuy ha logrado pocos adeptos, y la rechaza á su vez, fundándose en las mismas razones que expusimos en la nota mencionada.

M. Langlois, uno de los peritos de la causa incoada á consecuencia del siniestro, ha dado á conocer á la Sociedad de ingenieros civiles una memoria titulada *Consecuencias que se deducen del estudio técnico de la catástrofe de Bouzey*.

Divide su estudio en tres partes:

1.º Errores cometidos en la construcción de la presa de Bouzey.

2.º Reglas que se deben observar en la construcción de una presa.

3.º Cálculo racional de una presa curva.

En la sesión de 15 de Octubre trató únicamente de la primera parte, cuyas consecuencias vamos á exponer á continuación, sin perjuicio de completar este estudio cuando lleguen á nuestro poder los extractos de las sesiones siguientes.

1.º *Terreno de cimentación*.—Fué incompletamente reconocido, y no era insocavable é incompresible, como lo supusieron los ingenieros.

Se reconoció su permeabilidad, pero fué combatida de un modo ineficaz por medio de un rastrillo, que no evitó las filtraciones.

La carencia de raigales para ligar la base con el terreno facilitó el movimiento que se produjo en 1884.

2.º *Materiales*.—Se emplearon mampuestos de la localidad, no ensayados previamente, y resultaron menos resistentes de lo que habían supuesto los ingenieros. El pulimento de sus superficies y los granos de mica de que están sembrados dificultaban la adherencia entre la piedra y el mortero.

El mortero, que no fué ensayado con la dosificación que luego se adoptó en la obra, era de mediana calidad. Siendo poco resistente y muy poroso, por haberse empleado arena de grano muy fino, que contenía arcilla, este mortero no pudo oponer suficiente resistencia á las tensiones del paramento de aguas arriba y á los esfuerzos parásitos debidos á la dilatación.

3.º *Perfil*.—La debilidad excesiva del perfil ha dado por resultado las siguientes consecuencias:

a) La resistencia de la presa al deslizamiento estaba apenas asegurada, aun sin subpresión en la base, y con mayor razón existiendo aquélla á causa de las filtraciones.

b) La resistencia al vuelco estaba asegurada sin subpresión, pero no con la subpresión existente.

c) Con la máxima carga de agua, se desarrollaban aguas arriba tensiones de bastante importancia, que se cambiaban en compresiones cuando descendía el nivel.

De aquí resultó que se abrieron grietas en ciertos puntos del paramento de aguas arriba, provocando la ruina de la obra.

4.º *Trazado rectilíneo*.—El trazado rectilíneo, con una longitud de 520 metros en la coronación, constituye un error grave, que ha sido puesto en evidencia por una teoría nueva debida á M. Langlois.

La forma recta es causa del desarrollo en la masa de la fábrica de esfuerzos parásitos de tensión, de compresión y de tronchadura longitudinal, cuya importancia se puede medir por las numerosas grietas debidas á las variaciones de temperatura.

Estos esfuerzos fatigaron mucho la obra, y, combinándose con las tensiones de aguas arriba procedentes de la debilidad del perfil, contribuyeron á la catástrofe ocurrida el 27 de Abril de 1895.

Abastecimiento de aguas por medio de un motor de viento.

En la revista inglesa *Journal of the Royal Agricultural Society* ha publicado Mr. A. L. J. Morley un interesante artículo acerca del empleo de la potencia del viento para abastecer de agua pueblos de poco vecindario, describiendo las obras que se han llevado á cabo, con excelente resultado, para asegurar el agua potable necesaria á dos pueblos contiguos de las posesiones de Lord Spencer, en Northamptonshire.

Se eleva el agua desde una profundidad de 60 metros, por medio de una bomba accionada por un motor de viento, sistema Titts, conduciéndola á un depósito situado en la ladera á 139 metros sobre el nivel del mar, desde donde se distribuye á todos los puntos de consumo por la acción de la gravedad.

El depósito es doble y su capacidad 180.000 galones (718 metros cúbicos.)

El consumo diario en invierno es de 22.715 litros y en verano unos 28.000 litros.

El coste del depósito fué de 530 libras esterlinas; el del motor 275, y el total de la obra, incluyendo la tubería de hierro, cuyo desarrollo es de bastante consideración, 2.250 libras esterlinas. Unos 600 habitantes se surten de agua con esta instalación. En los cuatro años que lleva funcionando, no se ha notado jamás escasez de agua por falta de viento, ni ha habido motivo alguno para temerla.