

Habla también el Sr. Morales en su conferencia de la necesidad de construir las líneas de distancia mínima entre Madrid y los puertos de Vigo, Valencia y Santander, y sabido es de todos que el trazado de esta última, el llamado *del meridiano*, sigue el itinerario Madrid Somosierra-Burgos-Santander, y reducirá la distancia de Madrid á Burgos, que hoy es de 369,611 kilómetros á 260, cuando más, y eso con débiles pendientes y curvas de amplitud suficiente para el desarrollo de grandes velocidades, aun cuando, con mayor tolerancia en el perfil, pudiera quedar reducida á 235 kilómetros.

La construcción de este ferrocarril implica, por consiguiente, el acortamiento de 110 kilómetros en la distancia Madrid Dax y electrificada la tracción entre Madrid y Burgos, podría hacerse el recorrido con velocidad de 80 kilómetros en *siete horas y cincuenta y cinco minutos*. Cerca de una hora de economía con relación al proyecto por Soria, Pamplona y el puerto de Urtiaga.

Parece, según esto, que cabe construir un directo, *más directo* que el que se planea y debe tenerse en cuenta esta posibilidad porque un error en cuestión tan fundamental sería funesto, y, como dice muy bien el Sr. Morales «vendrían otros, que se llamarían una empresa ó una potencia, y construirían la verdadera línea directa. ¿Qué habríamos conseguido entonces? Perder nuestro tiempo y dinero y quedar en el ridículo de ineptos ó de improvisores».

CARLOS FESSER,
Ingeniero de Caminos.

Indagación de las causas del hundimiento de la presa de Calaveras (CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS)

En Marzo de 1918 se ha producido un grave accidente durante la construcción de la presa de tierra de Calaveras, cerca de San Francisco, que estaba entonces á punto de terminarse: la parte superior de la obra, en una altura de unos 30 metros, se derrumbó deslizándose por el lado de agua arriba en una distancia de 100 metros, próximamente (fig. 1.^a).

Esta presa, construída por el método, muy empleado en América, del terraplenado hidráulico, estaba destinada á abastecer

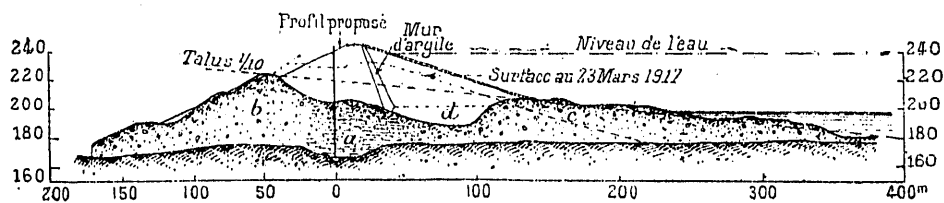


Fig. 1.^a—Corte transversal de la presa después del deslizamiento.

a, arcilla dura ó impermeable; *b*, terraplén duro pero permeable; *c*, terraplén desplazado, sólido y casi impermeable; *d*, terraplén blando que hay que quitar.

de agua á San Francisco. Desde que sobrevino el accidente los Ingenieros de la Spring Valley Water C.^o, que había emprendido esta obra, han hecho un estudio profundo de las causas que han podido producir este accidente. Las conclusiones de este estudio han sido publicadas por M. Allen Hazen en el *Engineering News Record*, y á esta revista se refiere M. L. R. M. en un artículo publicado en *Le Génie Civil*, artículo del que hacemos un resumen.

Señalaremos, con el autor, que la obra debía tener una altura de 73 metros, una longitud en la coronación de 396 metros y un espesor en la base de 370 metros. Su volumen total debía llegar á 2.400.000 metros cúbicos, y hubiera sido la más elevada de todas las presas del mundo.

La construcción de la presa comenzó hace cuatro años. Después de haber excavado en el emplazamiento del eje de la obra, una trinchera que descendía hasta la roca, se depositó una primera capa general de grava procedente del lado de agua arriba del valle y donde se extraían las piedras de un tamaño superior á 15 centímetros.

Esta grava se transportaba al emplazamiento de la presa á través de una cañería por medio de una corriente de agua suministrada por bombas centrífugas; contenía muy poca arcilla y arena fina. El agua corría con rapidez, y esta primera capa no tardó en formar una masa compacta y sólida de 12 á 15 metros de espesor. En cuanto se ha podido juzgar por los sondeos efectuados, este terraplén se ha mantenido bien y no ha tomado parte en el deslizamiento. Esta parte inferior estaba atravesada por una cañería de toma de agua de hormigón (fig. 2.^a).

Encima de esta primera capa se formó el terraplén, por una parte, de una especie de asperón tierno calcáreo, por otra parte, de tierras que se hallaban sobre este asperón calcáreo, todo ello procedente de las colinas próximas. El asperón, aunque parecía bastante compacto en el momento en que se extraía de la mina, se disgregaba en gran parte al contacto del aire y se reducía á un polvo fino semejante á la arcilla, conteniendo sobre todo carbonato y sulfato de cal y muy poca sílice. Estos materiales se transportaban sobre el terraplén en carretillas y vagones, sin someterlos á ninguna compresión, si no es la de los vehículos, de modo que el terraplén así formado se componía de una serie de capas de 1,20 á 1,50 metros de espesor, cuya parte superior sólo estaba comprimida en una profundidad de 15 á 20 centímetros. Sin embargo, bajo el peso del terraplén superior estas capas habían venido á ser compactas.

En cuanto á las tierras situadas sobre el asperón y que comprendían, además, la parte superior de estas últimas en descomposición, así como un poco de arcilla, estaban transportadas sobre el terraplén de la misma manera que las gravas, por el método hidráulico. El terraplén que formaban era tan estable y tan compacto como el del asperón. Las cantidades terraplenadas por estos dos métodos eran casi equivalentes.

El método seguido para formar el terraplén consistía en verter el asperón sobre el perímetro de la presa en talud hacia el interior, y en enviar las tierras mezcladas con agua al centro, como en una cubeta (fig. 2.^a). A medida que el terraplén aumentaba de altura la parte central se estrechaba, resultando de aquí que el terraplén superior, que tenía encima las capas húmedas y sin consistencia, ha debido hundirse hasta llegar á la capa infe-

rior de la grava. Los sondeos han mostrado, en efecto, que el centro del terraplén se componía, después del accidente, de masas de asperón rodeadas por la arcilla.

El análisis que se ha hecho de la parte central de la presa ha puesto de manifiesto que las tierras terraplenadas por el sistema hidráulico se habían transformado en una masa de aspecto arcilloso, compuesta de granos muy finos y completamente desprovistas de granos medios de 0,02 milímetros á 10 milímetros, en contra de lo que pasaba en la grava, que comprendía granos de todas dimensiones. Estas tierras de granos muy finos se han depositado en el fondo y á los lados de la cubeta central de los que aquéllas han llenado las paredes, y el agua no pudiendo escapar ha quedado aprisionado en el centro del terraplén for-

mando una masa semilíquida; es probable que hubieran sido necesarios varios años para que esta agua hubiera podido salir al exterior.

Los ensayos comparativos han mostrado que las tierras arrastradas por los deslizamientos contenían un 65 por 100 de huecos ocupados por el agua, mientras que las que permanecían en su sitio no contenían más que de un 45 á un 50 por 100. Según esto, se puede establecer en principio que las tierras susceptibles de transformarse por el agua en masas de granos muy finos y de aspecto arcilloso, son absolutamente impropias para ser empleadas como terraplén por el método hidráulico.

Para darse cuenta de cómo ha tenido lugar el deslizamiento, se han efectuado numerosos sondeos en la masa desplazada (fig. 2.^a). Se supone que una capa arcillosa existente bajo los terraplenes laterales ha actuado como lubricante y provocado

momento en que el deslizamiento se produjo, las tierras del terraplén estaban distribuídas como indica la figura 3.^a. Del lado de agua arriba la longitud de la base de deslizamiento, á partir del núcleo central semilíquido, era de 135,50 metros, de éstos, 64 metros para la mezcla de tierra y arcilla húmeda, con un peso de 1.372 toneladas y ofreciendo al deslizamiento una resistencia prácticamente nula; los 71,50 metros restantes correspondían al terraplén seco sólido, que sólo podía ofrecer una resistencia al deslizamiento y cuyo peso era de 548 toneladas.

El empuje debido al núcleo central estaba evaluado en 387 toneladas. En estas condiciones, la relación del empuje al peso del terraplén sólido es de $\frac{387}{548} = 0,71$; si la relación se establece con el peso total, ésta viene á ser $\frac{387}{1.920} = 0,20$ como lo habia

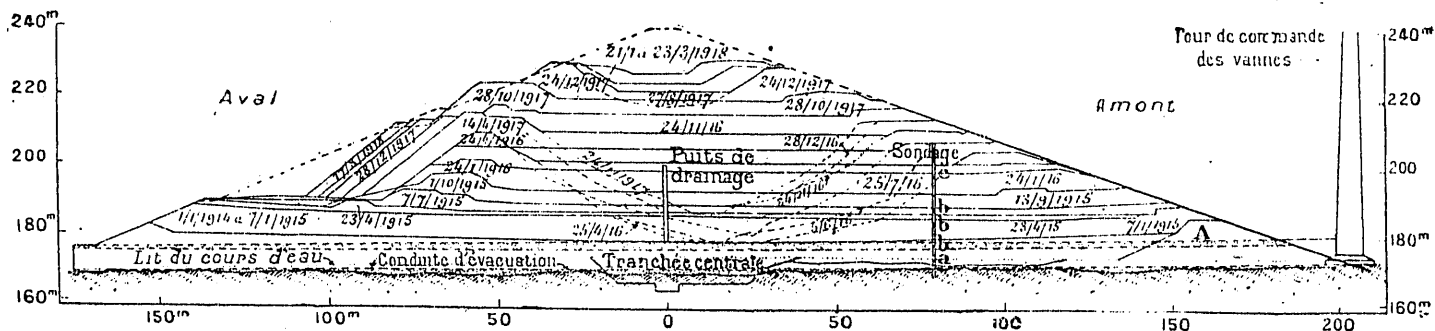


Fig. 2.^a—Corte transversal de la presa mostrando el perfil en las diferentes épocas de la construcción.

A, terraplén procedente de la trinchera central; a, arena y grava; b, arcilla y grava; c, arcilla y roca.

el deslizamiento de la parte superior; pero no se ha encontrado esta capa arcillosa y se cree que habiendo sido arrastrada con lo demás, se ha mezclado con las tierras derrumbadas. El terraplén superior del lado de agua abajo fué arrastrado en parte, pero no tardó en detenerse porque la parte blanda que ocupaba el centro de la presa fué expulsada desde el principio; el terraplén del lado de agua arriba continuó siendo arrastrado.

Resulta de aquí una serie de depresiones que no hubieran podido producirse si la masa se hubiera deslizado sobre una superficie sólida. Aparte de esta tierra resblandecida por el agua, todo el resto del terraplén se ha encontrado de una compacidad tal que no hubiera podido ciertamente resbalar sobre sí mismo. Se ha hecho constar, por otra parte, que el terraplén formado por una mezcla del asperón llevado por los vagones y por las tierras llevadas por la corriente de agua, era tan sólido, si no más, que

indicado M. Hazen. Haciendo el mismo cálculo en el lado de agua abajo se encuentra la relación $\frac{387}{791} = 0,49$ para el terraplén sólido seco y $\frac{387}{1.770} = 0,22$ para la totalidad del terraplén.

Deduce de lo anterior M. Henny que, en casos análogos, para que el deslizamiento no pueda producirse y el coeficiente de seguridad sea suficiente, será necesario que la relación del empuje al peso del terraplén sólido sea inferior á 0,70, debiéndose mantener á la proximidad de 0,50.

Antes de proceder á la reconstrucción de la presa, era indispensable saber si el terraplén existente después del accidente era de suficiente solidez para poder conservarse tal como estaba. Se ha reconocido que bajo la masa derrumbada se encontraba una capa de grava permeable por donde penetraba el agua hasta



Fig. 3.^a

el formado por el asperón solo. Es, pues, cierto que el terraplén construído de esta manera debía de ser estable, y que el accidente ha sido debido solamente al método empleado para efectuar la mezcla de las dos clases de materiales.

Es interesante investigar cuál era el coeficiente de frotamiento en el momento del accidente. Con este objeto, M. Hazen supone que el deslizamiento se ha efectuado, según un plan horizontal, y que el empuje que le ha determinado provenía del núcleo central semilíquido, cuyo ángulo del tatud natural puede considerarse como nulo. Partiendo de estos datos ha encontrado que la relación del empuje al peso total del terraplén era de 0,20.

En un artículo posterior—á que también hace referencia el autor—publicado en la misma revista *Engineering News Record*, M. D. C Henny confirma este resultado, suponiendo que en el

el centro de la presa. Hacia el centro, en los 24 metros de terraplén que quedaba, la parte inferior en 16 á 17 metros de espesor estaba compacta, pero la parte superior estaba demasiado blanda para poder emplearse útilmente en la reconstrucción de la presa. En cuanto á la porción de agua abajo, que tenía una altura de 49 metros sobre el *thalweg* del valle, estaba de tal modo compacta que el agua en el fondo de los sondeos se mantenía á un nivel 30 metros más elevado que el del agua en la parte de la presa situada del lado de agua arriba, lo que claramente indicaba que la parte inferior del terraplén era completamente impermeable.

Era, además, necesario tomar algunas medidas preliminares de precaución: la evacuación del agua de agua arriba se efectuaba por una cañería de hormigón colocada en la parte infe-

rior transversal de la presa y que se comunicaba con la torre de maniobra de las compuertas por una cañería de 65 decímetros cuadrados de sección.

Bajo el empuje de las tierras la torre había sido derribada y arrastrada; la cañería de hormigón había resistido, pero estaba obstruida por los escombros y su entrada estaba cubierta por 18 metros de tierra, de manera que era imposible utilizarla para evacuar el agua que estaba acumulada hacia agua arriba, y cuyo volumen era, próximamente, de 13 á 14 millones de metros cúbicos. Era urgente evacuar esta agua, cuyo volumen podía aumentar de un momento á otro.

Con este objeto se construyó fuera de la presa un túnel de 75 decímetros cúbicos de sección y 450 metros de longitud en la roca y capaz de dar salida á un volumen de agua de 43 metros cúbicos por segundo. Una vez evacuada el agua, se ha prolongado el túnel hasta el punto conveniente para establecer en él la presa.

Una segunda precaución que tenía que tomarse era llenar lo más rápidamente posible la depresión que se había producido hacia el centro de la presa y que corría el riesgo de ser invadida por las aguas, con gran perjuicio para el terraplén de agua abajo; llenóse, en efecto, con tierras comprimidas por el rodillo. Si bien este terraplén se ha juzgado casi impermeable, se construirá más tarde para mayor seguridad un muro de protección del lado de agua arriba.

En fin, una tercera precaución ha sido colocar un cajón sin fondo en el emplazamiento de la antigua torre para desalojar la cañería central de hormigón y asegurar así una corriente suplementaria de 44 metros cúbicos por segundo, cuando el nivel del agua llegue á 18 metros por encima de la toma del túnel.

Se podrá entonces reconstruir la presa hasta la altura proyectada, porque las causas que produjeron el accidente no existirán ya. Sin embargo, se tendrá cuidado de eliminar una parte de las tierras blandas que se reemplazará por tierras más compactas. Se necesitará más de un millón de metros cúbicos para terminar la presa. Este terraplén se hará en seco, ó bien por el sistema hidráulico por medio de grava, si este procedimiento es más económico. Tal vez se emplearán también esquistos que se encuentran en la parte oriental del valle, á la proximidad de la presa, y que parece que deben ser más ventajosos que los materiales precedentemente empleados. En todo caso, se excluirán completamente las tierras susceptibles de transformarse en una especie de arcilla de granos muy finos al contacto con el agua.

Electrificación de ferrocarriles ⁽¹⁾

POR

D. JOSÉ LUIS VALENTÍ Y DORDA

Ingeniero de Caminos.

Ventajas económicas.

Si nos atenemos á la natural clasificación del aspecto económico de toda Empresa en ingresos, gastos de establecimiento y gastos de explotación, y estudiamos la influencia que sobre estos capítulos de una Empresa ferroviaria pueda tener la utilización de la tracción eléctrica, claro es que se habrán puesto de relieve todas las ventajas económicas que ésta pueda ofrecer. Al inten-

tarlo no haremos en general más que glosar los principios ya expuestos al tratar de las ventajas técnicas de la electrificación.

Ingresos.—Indudablemente es en este capítulo en el que la electrificación ejerce su mas favorable influencia, por la posibilidad, merced al aumento de capacidad de las instalaciones, de servir las necesidades del tráfico de una manera más perfecta. Especialmente en las líneas en las que domina el tráfico de viajeros, la preferencia del público por la tracción eléctrica es innegable y obedece á las mayores velocidades comerciales posibles con ésta, más exactitud, frecuencia y seguridad del servicio, la comodidad y limpieza, etc., lo que es causa de que actualmente sean ya pocos los ferrocarriles de turismo en los que no se adopte ó estudie la electrificación (el Estado suizo pretende electrificar toda su red) y que ésta esté ya implantada en casi la totalidad de los ferrocarriles de tráfico urbano y suburbano. Muchos de ellos han duplicado sus ingresos en un periodo de diez años merced á la electrificación, mejorando notablemente el coeficiente de explotación.

Muchas estadísticas podríamos citar comprobadoras de este aserto, pero tratándose de una cuestión en la que hay que atender á tantísimas circunstancias, no sería fácil que ningún dato estadístico tuviera aplicación al caso que la práctica pudiera ofrecer. El problema de calcular los ingresos probables de un ferrocarril es enormemente complicado y unas cuantas estadísticas de esta índole poco podrían facilitarlas: baste saber que la electrificación de una línea se traduce seguramente en un aumento apreciable de los ingresos, y la proporción de ese aumento ha de estudiarse detenidamente en cada caso particular, no olvidando las peculiaridades que el tráfico á realizar por la línea pudiera ofrecer. Creemos que en las páginas anteriores y en algunas de las que siguen hay datos y apreciaciones que pueden servir de guía en este trabajo.

Gastos de establecimiento.—Hay dos casos fundamentales distintos en todo problema de electrificación, según se trate de construir una línea ferroviaria con tracción eléctrica ó haya que instalar ésta en una línea ya construída y explotada con vapor. En el primer caso, claro es que la tracción eléctrica imprime sus especiales y favorables características á todos los elementos que han de utilizarse para el transporte, pues desde el trazado á elegir para la línea hasta los depósitos del material tractor, disposiciones de seguridad, calefacción de los vehículos, etc., en todo deja sentir su influencia; pero el caso más general, sobre todo hasta ahora en que la tracción eléctrica contaba muy pocos años de existencia, es el de que se trate de electrificar una línea ya construída, teniendo que adaptar gran parte de instalaciones y material, y abandonando ó deshaciéndose de otra parte, no siempre en buenas condiciones: así pues, en este segundo caso, á la pérdida que supone la falta de aprovechamiento de todas las ventajas de la tracción eléctrica en el establecimiento de la línea, hay que agregar el gasto que supone la modificación y abandono ó desprecio de material é instalaciones. Estudiemos primeramente los gastos propios de electrificación de todo ferrocarril y luego trataremos de evaluar estas ventajas y pérdidas.

Los gastos inherentes á toda electrificación son los de adquisición del material tractor é instalación de la línea de contacto; el coste de las subestaciones transformadoras, líneas de transporte de energía y centrales productoras de ésta, no siempre corre á cargo de la Empresa explotadora del ferrocarril, pues puede ésta adquirir la energía de otra entidad y no correr á su cargo el total ó parte de dichos gastos.

A continuación damos unos cuadros con precios de adquisición de material tractor eléctrico:

(1) Véase el número anterior.