

REVISTA EXTRANJERA

Influencia de la altitud sobre la temperatura de las máquinas eléctricas (Conclusión).

La Electric Company of Missouri dice que la temperatura del ambiente más baja y el descenso de temperatura repentino por las noches, que se tienen en los países de gran altitud, dispensan de hacer correcciones. Una cosa sola es necesario tener presente en el cálculo de las instalaciones de este género, y es la disminución de la presión atmosférica que influye en los sistemas de ventilación forzada, para los cuales en condiciones comunes de altimetría sería necesaria una potencia menor.

La Sociedad distribuidora de fuerza y luz del Pacífico, con las centrales en Los Angeles, en California, dice que nunca ha tenido presente la altitud en las instalaciones (1.524 metros) y menos, por lo tanto, se ha dedicado á hacer observaciones, ni experimentos sobre este asunto.

J. H. Rider, de Westminster (Londres), contesta que en general se olvida que una máquina está sujeta con el tiempo á calentarse mucho más que en el momento de la prueba; y este aumento de temperatura es debido, principalmente, al polvo que se filtra poco á poco en la máquina y se acumula en los pasos del aire, disminuyendo así la ventilación. Afirma, además, que para mayor regularidad deben escogerse los valores de la temperatura para la prueba al nivel del mar bastante bajos para tener en cuenta no sólo la corrección debida á la altitud, sino también la que hay que considerar por la obstrucción natural de los canales de ventilación.

Entre las respuestas dignas de mención debe citarse la de R. S. Masson de Los Angeles, el cual asegura que no es tanto la altitud por sí misma la que influye en el poder refrigerante del aire, como el estado de sequedad de éste. Una serie de pruebas efectuadas con una máquina de 600 kilovatios instalada á sólo 245 metros de altitud, en un lugar donde el aire es muy seco, ha demostrado que la máquina se recalentaba mucho más de lo previsto. Humedeciendo el aire de refrigeración y enviándole á los estatores por medio de cañerías, se ha obtenido en las mismas máquinas un aumento de potencia variable de 125 á 150 kilovatios con el mismo aumento de temperatura. Conviene recordar á este propósito que para examinar sólo la influencia de la humedad es necesario calentar el aire después de humedecerle para llevarle á la temperatura del ambiente teniendo en seguida un enfriamiento producido por la evaporación del agua. Estas pruebas, seguidas en baja altitud, merecerán el que se repitan en máquinas instaladas á grandes altitudes y los resultados serán, con seguridad, interesantes.

Entre los técnicos que responden negativamente figura el Ingeniero-Jefe de la Pacific Gas and Electric Company, de San Francisco de California, el cual afirma que no se ha notado nunca modificación alguna en el recalentamiento de los aparatos instalados en zonas de 1.000 á 2.590 metros. También la Sociedad que distribuye fuerza, calor y luz utilizando la energía hidráulica del Colorado y que tiene instalaciones á 1.828 y á 2.133 metros tiene para nada en cuenta la altitud.

K. C. Rondall, de Edgewood Park (Pennsylvania), no niega que la introducción de correcciones, según la altitud, no sea de algún interés, pero que sobre las máquinas eléctricas influyen en mayor grado el sistema de instalación, la ventilación y el funcionamiento que no la rarefacción del aire.

Consideraciones sobre la estabilidad de los taludes de gran altura en las presas.

En una nota publicada no ha mucho en esta REVISTA, acerca del incidente ocurrido en la presa de Charmes, indicamos el importante estudio hecho con ocasión de él por el Ingeniero mon-

sieur Frontard sobre las grandes presas de tierra, construidas en Francia.

Este estudio muestra que se producen algunas veces en los taludes de agua arriba derrumbamientos que no se explican bien por las teorías admitidas hasta ahora sobre la estabilidad de las tierras pulverulentas.

También dijimos en aquella nota que el Inspector de Puentes y Calzadas M. Jean Résal había publicado casi al mismo tiempo que ocurría el accidente de la presa de Charmes una obra sobre la estabilidad de las tierras coherentes, cuyas conclusiones concuerdan con los datos de la experiencia y conducen á ideas nuevas sobre la estabilidad de los taludes de gran altura. La experiencia y la teoría se encuentran así de acuerdo para reconocer la necesidad de suavizar progresivamente los taludes que rebasan una cierta elevación, es decir, para hacer que se modifiquen los perfiles que han venido siendo clásicos desde hace más de un cuarto de siglo.

Nos proponemos insistir sobre este asunto, resumiendo para ello un artículo publicado por el Ingeniero de Puentes y Calzadas M. Jacquinet en *Le Génie Civil*.

Necesidad de suavizar progresivamente los taludes de mucha altura.—En la investigación minuciosa hecha sobre un gran número de presas ha observado M. Frontard que los derrumbamientos se han producido siempre en un dique en los puntos en que el terraplén alcanzaba su mayor altura, como lo prueba con diversos ejemplos.

Se creyó que comprimiendo las tierras cada vez más energicamente se aseguraría la estabilidad de los taludes. En los últimos años se ha llegado, por el empleo de rodillos compresores automáticos, á realizar una compresión energética. Esta compacidad es de gran importancia para la impermeabilidad del macizo, pero no aumenta tanto como se pensaba la estabilidad del talud.

Monsieur Galliot ha construido recientemente en el canal de Borgoña la presa de Grosbois con un talud cóncavo hacia agua arriba, y ningún derrumbamiento se ha producido en él, en tanto que en la de Charmes, cuyas tierras eran análogas y la altura sensiblemente la misma, se ha producido un derrumbamiento en el talud de agua arriba cuya inclinación era uniforme. La solución para las presas de mucha altura debe, pues, buscarse en la realización de un perfil cóncavo hacia agua arriba.

En las presas de tierra construidas fuera de Francia se ha dado á los taludes, principalmente al de agua arriba, una inclinación mucho más suave de la base al vértice, pero conservando una forma plana al talud. La masa de los terraplenes se encuentra muy aumentada, y, por consecuencia, los gastos, obteniéndose así condiciones de estabilidad peores que con taludes cóncavos menos costosos.

En la obra mencionada formula M. Résal la ley siguiente:

Dadas una tierra de cierta naturaleza y una cierta inclinación de talud, existe una altura peligrosa á partir de la cual debe suavizarse el talud.

Otra vez es necesario suavizarlo si continúa aumentando la altura y así sucesivamente; con lo cual llegamos á una forma cóncava.

Por otra parte, del análisis de las tierras en los diques examinados por M. Frontard, resulta claramente la siguiente ley:

La altura peligrosa aumenta con la proporción de arena gruesa contenida en las tierras.

Ningún derrumbamiento se ha producido en ciertas presas, mientras que en otras de poco más ó menos la misma altura y la misma inclinación de talud sí se han producido, dependiendo esto de la mayor ó menor cantidad de arena gruesa contenida en las tierras.

Comparando muestras de tierras que han servido para la construcción puede uno darse cuenta de la importancia de la proporción de arena gruesa desde el punto de vista de la estabilidad del talud.

La presa de Charmes y del Liez se construyeron con tierras análogas, con la misma inclinación de talud y sensiblemente con la misma altura, pero á la tierra del Liez se mezcló una cierta cantidad de arena gruesa procedente de una trinchera próxima, asegurándose así su estabilidad mientras que en Charmes se producía un derrumbamiento.

La arena fina no produce completamente el mismo efecto, y no debe considerarse como útil más que cuando los granos exceden de 5 milímetros ó mejor todavía de 2 ó 3 centímetros.

La altura peligrosa puede así indicarse como sigue, para la inclinación $\frac{3}{4}$, según las observaciones de M. Frontard.

	Metros.
Para una tierra que contenga 40 á 60 por 100 de arena gruesa.....	16 á 17
Idem id. 35 por 100 de idem id.....	15 á 16
Idem id. 10 á 12 por 100 de idem id.....	11 á 12
Idem id. 6 por 100 de idem id.....	7 á 8

Esto no es más que una primera indicación que será útilmente completada y precisada por experimentos ulteriores, los cuales permitirán, sin duda, operar con más atrevimiento con las tierras muy arenosas.

Forma y condiciones de los deslizamientos.—Todos los deslizamientos afectan formas análogas, sin embargo, la superficie

chura. En seguida un arco de círculo, tangente á este plano horizontal y pasando por la arista superior del talud. Bien entendido que la superficie así definida se aplica á un talud de $\frac{3}{4}$.

El movimiento se produce con una gran lentitud. Sabemos que en Charmes duró cincuenta y dos días.

Un plano jabonoso aparece sobre la superficie de deslizamiento desde que las tierras están en movimiento. Este plano jabonoso parece que es debido al frotamiento de la arcilla. Las tierras en movimiento conservan su compacidad; pero en la parte inferior, en un espesor que parece pequeño, están deslocadas y húmedas.

Explicación del derrumbamiento.—Monsieur Résal calcula esta superficie de derrumbamiento en función de la cohesión y del frotamiento.

Parece más sencillo, como aconseja M. Galliot, atribuir el derrumbamiento á un aplastamiento de las tierras bajo el peso de los terraplenes en la base. La forma de los deslizamientos en su base parece mostrar que así efectivamente sucede. Esta manera simplificada de considerar el problema bastará en el caso que nos ocupa.

Consideremos el conjunto de esta capa inferior bajo el talud y bajo el macizo central del dique. Bajo el macizo está constantemente oprimida por el peso del dique. Ahora bien, es una ley señalada por M. Résal *que una tierra se deja tanto menos penetrar por el agua cuanto más fuertemente está comprimida*. Es, pues, probable que en el interior del macizo, y particularmente en su base, la tierra permanezca firme.

Bajo el talud, por el contrario, la capa de la base está alternativamente comprimida ó sin comprimir, según que el depósito

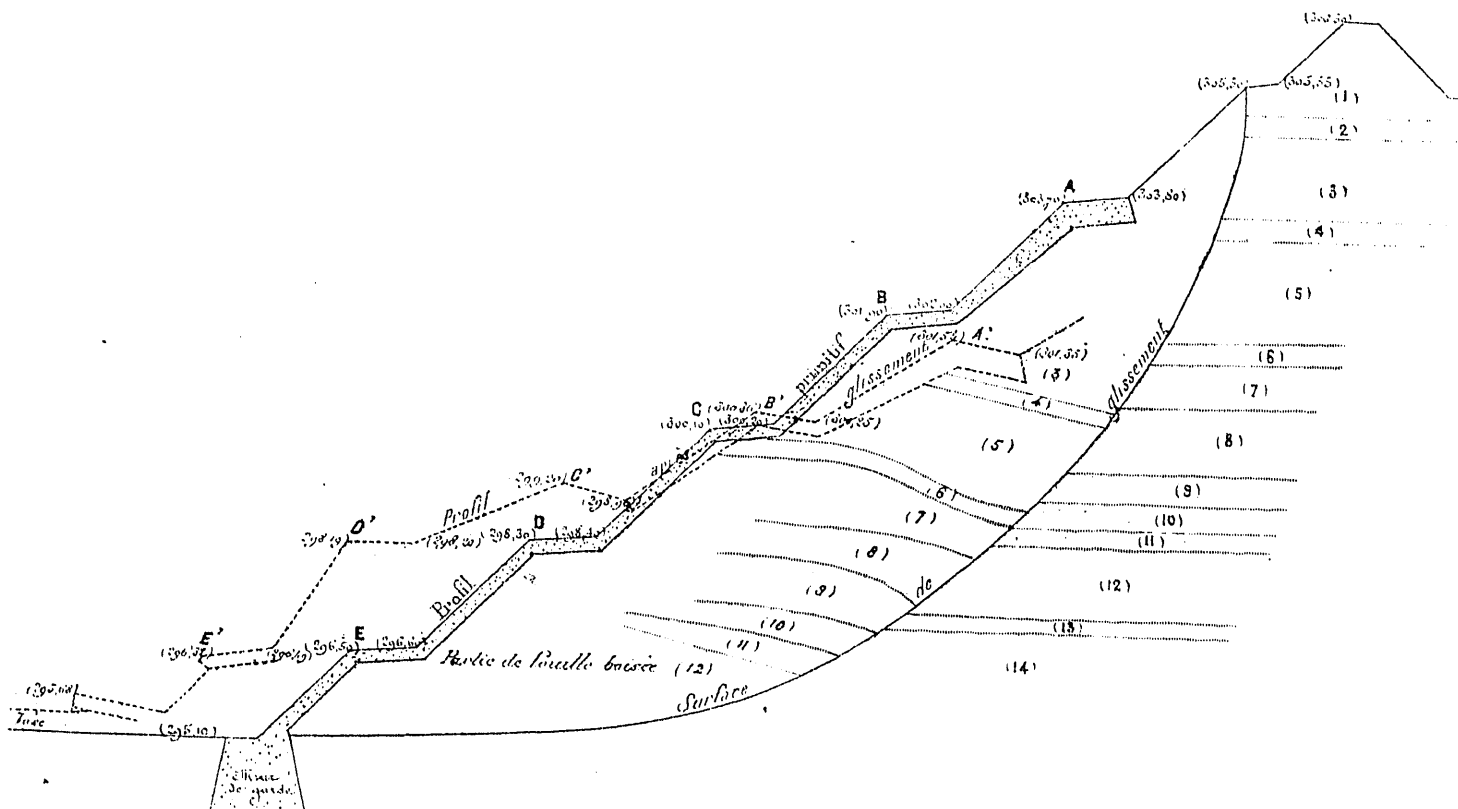


Fig. 1.ª

de derrumbamiento es á menudo complicada porque se producen varios derrumbamientos sucesivos. Por otra parte, esta superficie no ha sido siempre representada con suficiente cuidado. Algunos Ingenieros han encontrado formas cicloidales.

Consideremos el derrumbamiento representado en la figura 1.ª que se ha levantado cuidadosamente. Basta, para las conclusiones prácticas que tratamos de deducir, definir como sigue la superficie de derrumbamiento.

Un plano horizontal al pie del talud de 4 ó 5 metros de an-

esté lleno ó vacío. En este último caso la falta de compresión facilita la introducción del agua por capilaridad. Es una cosa análoga á la de una esponja embebida que pierde el agua cuando se la oprime y que la absorbe cuando la presión disminuye.

Así se explica por qué el terraplén es cada vez más húmedo en talud á medida que se aproxima á la base y por qué la capa inferior tiene una resistencia al aplastamiento mucho menor hacia el talud que en el interior del macizo.

Monsieur Frontard ha hecho constar que una cantidad de tie-

ra que contenía 25 por 100 de agua llegaba á no contener más que 15,9 por 100 cuando se la sometía á una presión de 4 kilogramos por centímetro cuadrado. Ha observado que esta expulsión de agua por la presión se hacía con una gran lentitud, varias semanas para un disco que no tenía más que 0,10 metros cuadrados de superficie horizontal y 5 centímetros de espesor.

Volviendo á la figura 1.^a, se puede admitir que en la *parte inferior* de la curva de deslizamiento, que es horizontal, *la tierra soporta el peso de la masa en movimiento y se aplasta bajo esta fuerza*. No es prudente contar con que este peso es notablemente disminuido por el frotamiento, porque la superficie jabonosa le reduce á casi nada.

Se tiene así un medio de verificar de antemano que el derrumbamiento no se producirá. Basta verificar que el terraplén en su parte inferior puede soportar sin aplastarse el peso de la masa que tiende á desprenderse. Se supondrá que este peso se reparte sobre 4 ó 5 metros cuando el talud es inferior á $\frac{1}{2}$ y se hará esta verificación á diferentes niveles, teniendo en cuenta la modificación que sufren los terraplenes bajo el agua y la disminución que puede sufrir su resistencia al aplastamiento.

Hay otras causas que favorecen el desprendimiento de una masa deslizante en la superficie del talud.

Estos derrumbamientos se producen durante las primeras lluvias del otoño, en el momento en que el agua está en su nivel más bajo. En esta época, la parte superior de la presa se ha resecado por los calores del verano y aparecen algunas grietas. Cuando sobrevienen las grandes lluvias el agua penetra por estas grietas y se preparan los deslizamientos. Esta causa debe tener una acción limitada en las presas cuyos taludes están protegidos por revestimientos que disminuyen las probabilidades de desecación, y estará favorecida en los taludes más rectos y sin proteger.

En fin, cuando se vacía el embalse se hace que disminuya una fuerza que se opone al deslizamiento: la presión del agua sobre el talud de agua arriba. La componente horizontal es una fuerza directamente opuesta al movimiento que tiende á producirse; esta es una de las razones por la cual los derrumbamientos se producen siempre cuando el pantano está casi vacío.

Remedios.—La presa del Liez se ha consolidado veintiocho años después de la construcción por *contrafuertes exteriores*. Este talud no presentaba ningún síntoma de avería, pero advertidos por lo que había pasado en Charmes se ha querido aumentar la seguridad.

Los espolones están constituidos por bloques sumergidos en el agua. Tienen 4 ó 5 metros en la coronación y están espaciados 25 metros de eje á eje (fig. 2.^a).

Desempeñan un doble papel. Se oponen directamente al deslizamiento que, en la parte inferior del terraplén, es un movi-

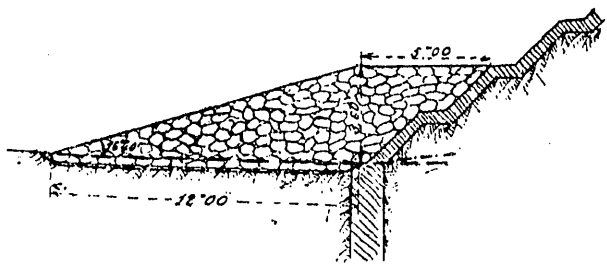


Fig. 2.^a

miento horizontal hacia agua arriba. No deben elevarse á más del tercio de la altura, porque en la parte superior su peso favorecería el deslizamiento que tiende á ser vertical en la parte superior.

Además tienen por efecto, gravitando con un peso constante sobre las tierras en la base del talud, disminuir las variaciones de presión sobre estos terraplenes. Hemos visto que estas varia-

ciones tenían como efecto causar una descomposición de las tierras y disminuir su resistencia al aplastamiento.

Se puede también *cubrir de escollera toda la parte inferior del talud*; pero este sistema presenta el inconveniente de hacer que el talud así cubierto no se pueda visitar.

Se han empleado, generalmente en Francia, *contrafuertes de pie, de mampostería*. En este caso es indispensable apoyarlos contra el muro de guarda sobre el cual llevan el esfuerzo horizontal que tiende á desarrollar el deslizamiento. Deben descenderse bastante para no ser atacados por debajo y deben elevarse bastante para que el talud no consolidado que quede encima de ellos sea inferior á la altura peligrosa.

Es inútil y aun perjudicial elevarlos más arriba, por la razón que hemos dicho á propósito de los espolones exteriores.

Estos espolones interiores soportan el peso de la masa que tiende á derrumbarse y se contraponen á ésta. No pueden ya producirse más que derrumbamientos localizados entre dos contrafuertes, pero estos movimientos parciales no serán posibles más que provocando desgarramientos del macizo en los planos verticales, desgarramientos que encuentran una resistencia enérgica de parte de los terraplenes.

Prácticamente ha probado la experiencia que este sistema de consolidación era muy eficaz en los límites en que se ha empleado. Se puede, por otra parte, someterla al cálculo suponiendo que la masa que actúa sobre un contrafuerte está limitada por la superficie de derrumbamiento y por dos planos verticales que pasan por en medio de los intervalos con los contrafuertes próximos.

Este sistema tiene el inconveniente de romper la homogeneidad del macizo. Para obviar este inconveniente es bueno constituir la parte inferior del terraplén al pie del talud, entre los contrafuertes, con tierras bien comprimidas y que contengan una proporción bastante grande de arena.

Pero las consolidaciones que acabamos de examinar se emplean, sobre todo, para reparar una presa que ha sufrido un derrumbamiento y cuyo talud inspira inquietudes, ó también para una que se va á elevar. Cuando se trata de una en construcción se puede atacar más directamente el mal que se teme.

La primera precaución que ha de tomarse consiste en *suavizar el talud en su base* cuando la presa excede de la altura peligrosa. Esta es la ley de M. Résal, pudiéndose admitir que la curva de deslizamiento permanece sensiblemente la misma. El peso que tiende á aplastar la capa inferior del terraplén gravita entonces sobre una mayor base al pie del talud. El peso por metro cuadrado se encuentra así reducido.

Si se suavizase el talud hasta el vértice, como se ha hecho en las presas extranjeras, se aumentaría al mismo tiempo el volumen y el peso de la masa que tiende á derrumbarse.

He aquí por qué un talud plano es menos estable que un talud cóncavo.

En lugar de aumentar la superficie comprimida se puede obtener el mismo resultado *aumentando la resistencia al aplastamiento*.

Se obtiene este resultado mezclando una fuerte proporción de arena á la tierra del terraplén en el pie del dique. La mezcla íntima puede obtenerse con un rastrillo especial ó, mejor todavía, con un «desagregador» de que habla M. Frontard, y que es, en definitiva, una hormigonera que desmenuza la tierra al mismo tiempo que la mezcla con la arena. Se obtiene así un verdadero «hormigón de tierra», que es el material ideal para las presas.

Las presas de Torcy-Neuf y de Bourdon se han construido con este material, que se ha encontrado en el estado natural, y la del Liez con este mismo material obtenido artificialmente.

No es de ningún modo necesario construir así todo el cuerpo de la presa, sino solamente en la base del talud de agua arriba un macizo tanto más alto cuanto aquélla es más elevada.

Vemos aquí una aplicación de la segunda ley relatada al

principio de esta nota sobre la influencia de la arena; pero la aplicación está muy simplificada, puesto que nos conduce, en lugar de emplear tierra arenosa para todo el macizo del dique, á emplearla solamente en una pequeña parte. Esta es una gran simplificación cuando no se encuentra esta tierra en el estado natural.

Es útil prolongar esta capa hasta lo alto del talud y por encima de la coronación, pero con un espesor reducido de 1,50 metros. En efecto, la tierra mezclada con arena no se agrieta bajo la influencia de la sequedad, y la capa protectora así establecida previene las contracciones y las hendiduras que hemos señalado entre las causas de los derrumbamientos.

El talud puede suavizarse y al mismo tiempo proseguirse la mejora de los terraplenes.

Talud de agua abajo.—Todo lo que hemos dicho hasta aquí, siguiendo el artículo de M. Jacquinot, se aplica al talud de agua arriba. El de agua abajo no ha dado nunca lugar á de-

que la altura de la presa es mayor y, por consecuencia, el talud más suave en su base y nos conduce á creer que los terraplenes no convienen mucho para desempeñar el papel de sostén en el pie del talud, tanto más cuanto que aquéllos se conservan mal en esta parte y tanto peor por cuanto la presa es más alta, pues to que las variaciones de presión son entonces mayores cuando se vacía el embalse.

Es, pues, juicioso adjudicar este papel de sostén á la mampostería. Basta para esto elevar el muro de guarda y exigirle, sobre la altura que sobresalga del suelo natural, que sostenga el pie del talud. Se ha llegado así, para las presas de mucha altura, á un tipo mixto que presenta hacia agua arriba un muro de mampostería formando sostén y encima un talud cóncavo.

La fundación del muro de sostenimiento, debajo del suelo natural, constituiría el muro de guarda. El ángulo muy agudo de un talud suavizado en su base se encuentra, por este medio, suprimido. La impermeabilidad no pierde nada por ello, antes suce-

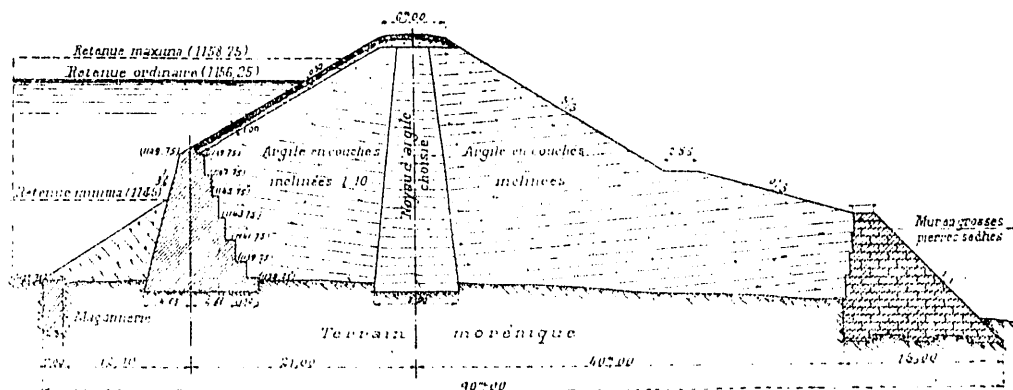


Fig. 3.ª

rrumbamientos, excepto en un caso especial en la presa de Cercey, el que, sin embargo, fué afortunado, porque el accidente hubiera tenido grandes probabilidades de producirse en el momento en que el depósito estaba lleno, lo que hubiera ocasionado una catástrofe.

El talud de agua abajo no está sometido á las mismas causas de destrucción que el de agua arriba: alternativas de humedad y sequía, presión variable. Está, sin embargo, sometido á las intemperies y principalmente á las grietas de desecación que se llenan de agua en las primeras lluvias.

En definitiva, los derrumbamientos del talud de agua abajo son menos probables que los del de agua arriba, pero pueden tener consecuencias más graves. Se tomarán, pues, las mismas precauciones en los dos taludes.

Consecuencias en lo que se refiere á las presas de tierra de mucha altura.—Consideremos la figura 1.ª Llevando el muro de guarda ligeramente recto, hacia el interior del macizo, se economizaría un volumen importante de tierras y una gran superficie de revestimiento de talud; para esto sería necesario aumentar ligeramente la altura del muro de guarda.

Esta consideración es tanto más digna de atención cuanto

de lo contrario si el muro de sostenimiento tiene, por el lado de las tierras, un retallo que sujete la junta tierras-mampostería cuando el terraplén venga á aplanarse. Es curioso observar—dice el autor—que las presas más antiguas construidas en Francia, el de Saint-Féréol (canal del Mediodía) y el de Couzon (canal de Givors), presentan una aplicación de este principio.

El profesor Luigi Luigi, en un estudio reciente sobre las presas, publicado en el *Giornale del Genio Civile*, da un perfil establecido según el tipo mixto (fig. 3.ª) para formar un pantano destinado á abastecer á una fábrica hidroeléctrica. Esta presa, la mayor de este género construída hasta ahora en Italia, está establecida en Lagastrello, en el alto valle del Enza, á 1.160 metros de altitud y á 85 kilómetros de Parma.

Sin embargo, el muro de sostenimiento no es necesario que sea tan alto y conviene unirlo al muro de guarda.

En definitiva, según M. Jacquinot, algunos accidentes señalados en ciertas presas, de tierra, no deben hacer que los ingenieros renuncien á un material tan económico. Ninguno de estos accidentes ha tenido consecuencias graves, y ahora que se conocen las causas y los remedios parece posible que puedan evitarse en lo porvenir.

