

rra de fijación c y yuxtapuestos á lo largo del rodillo de papel, como hay de circuitos de registro en la fábrica y como el mismo papel comprende de columnas utilizables. La parte de la izquierda del mismo esquema indica la disposición dada á la resistencia individual de regulación r incluida en cada uno de los circuitos, ó por lo menos, en cada uno de los que lo exigen, así como el retorno común a dado á todos estos circuitos conectados al hilo h por medio de una tableta de conexión d .

El origen de corriente común á todos los circuitos de registro puede ser el circuito de alumbrado e á 110 voltios ó cualquier otro circuito de la fábrica, con tal que en el caso de un voltaje tan elevado se interponga un transformador de tensión t apropiado como está representado en la figura 1.^a

LOS TRANVÍAS ELÉCTRICOS Y LA ELECTRÓLISIS

POR

DEVAUX-CHARBONNEL

Generalmente los tranvías eléctricos utilizan los carriles como conductores de vuelta, pero estos conductores llenan muy imperfectamente su cometido. Dotados de una mediocre conductibilidad, disminuida también por causa de las juntas resistentes, colocados además en un centro, la tierra ordinaria cuya resistencia es muy débil (humedad, materias minerales ú orgánicas), dejan escapar de las corrientes que conducen una parte proporcional á sus voltajes. Estas corrientes derivadas, llamadas vagabundas, circulando por la tierra crean diferencias de potencial, penetran en las masas metálicas y salen produciendo la electrólisis, que puede desagregarlos ó destruirlos. Muy frecuentes y conocidos son los accidentes causados por este motivo en las canalizaciones de gas, de agua y de electricidad.

Este artículo es una exposición bastante detallada de las dificultades con que puede tropezar una Compañía de tranvías cuando se producen deterioros de esta clase en las canalizaciones eléctricas, debidas á las corrientes vagabundas que vuelven á la fábrica.

Estos hechos han dado origen en todos los países á un Reglamento particular. Devaux-Charbonnel se propone exponer más adelante las medidas tomadas en el extranjero; hoy se contenta con hablar del Reglamento francés.

Este Reglamento tiene por base un cierto número de hechos científicos, que en resumen se exponen en el artículo que damos á continuación.

LEYES DE LA ELECTRÓLISIS.—La fuerza electromotriz necesaria para producir la electrólisis del agua es de 1,49 voltios, si se la deduce de la ley de Thomson y del calor de formación del agua. Se sabe igualmente que para desprender los elementos O y H en el estado gaseoso, en presencia de electrodos metálicos, aun inatacables como el platino, es preciso aumentar esta cantidad en algunas décimas. También se admite, generalmente, que una fuerza electromotriz de dos voltios es lo que se precisa para descomponer el agua.

Si, por otra parte, se coloca un electrolito en el trayecto de una corriente, este electrolito entra en descomposición y absorbe una cierta fuerza electromotriz; obra como una fuerza contra-electromotriz. Parece, pues, que si la fuerza electromotriz del generador que produce la corriente, es inferior á la fuerza contra-electromotriz de electrólisis, no puede pasar corriente alguna. Esta aseveración se halla en algunas obras, especialmente en la *Colección de las constantes*, publicada últimamente por la Sociedad Francesa de física (pág. 639).

Admitiendo la exactitud de estos dos hechos fundamentales es como se han elaborado las reglas referentes á la tracción eléctrica. Nos ha parecido interesante intentar la comprobación de si

la práctica confirmaba estos datos que para algunas personas son indiscutibles bajo el aspecto de resultados científicos.

DISPOSICIÓN EXPERIMENTAL.—Después de varios tanteos nos hemos detenido en la siguiente disposición, por cierto muy sencilla.

Una pila de muy débil resistencia facilita la corriente que pasa á través de un miliamperímetro y una caja de resistencia y está cerrado por una llave á través de la cubeta electrolítica.

La misma llave puede, instantáneamente, cortar la corriente de la pila é insertar un voltímetro muy resistente y muy sensible (galvanómetro de Arsonval) entre los bornes de la cubeta.

Esta disposición tiene la ventaja de dar inmediatamente todos los informes investigados.

La intensidad de la corriente se puede graduar á voluntad y medirla en todo instante. La fuerza electromotriz de polarización se da por el voltímetro. La resistencia del electrolito se determina sin dificultad. Sea E la fuerza electromotriz de la pila, e la fuerza electromotriz de polarización, i la corriente y R la resistencia del electrolito, R todas las demás resistencias.

Se tiene

$$i = \frac{E - e}{R + \rho}$$

Todas las cantidades que entran en esta fórmula son conocidas, excepto ρ ; se puede, pues, calcular.

Se puede también medirla sin necesidad de cálculos.

Poniendo la pila fuera de circuito se tendrá en el amperímetro una corriente

$$i' = \frac{e}{R + \rho}$$

Se deduce de ella inmediatamente la corriente I , que se produciría si no hubiese polarización.

$$I = i + i' = \frac{E}{R + \rho}$$

Para determinar ρ será, pues, suficiente colocar la cubeta fuera de circuito y reproducir en el amperímetro la corriente I , haciendo variar la resistencia de la caja. El aumento de resistencia será igual á ρ .

Es preferible la medida directa porque no exige el conocimiento del valor de las fuerzas electromotrices.

ELECTRÓLISIS Y POLARIZACIÓN.—He aquí los fenómenos que han sido comprobados:

Sean cuales fueren las condiciones del experimento, no es nunca nula la corriente. A medida que atraviesa el electrolito aumenta la polarización, tanto más rápidamente cuanto mayor sea la densidad de la corriente; pero parece que para cada densidad (intensidad por decímetro cuadrado de electrodo) existe un valor límite; por lo demás, la polarización no es nunca igual á la fuerza electromotriz de la pila, porque en este momento la corriente sería nula y la polarización no podría mantenerse en estas condiciones.

En efecto, desde que la pila se suprime, la polarización desaparece poco á poco. Existe, pues, desaparición de la polarización al mismo tiempo que la electricidad afluye á los electrodos y trabaja para crearla; en cada instante tiende á establecerse un cierto equilibrio.

Si la fuerza electromotriz de la pila es suficiente, á pesar de la reducción de la corriente producida por el desarrollo de la polarización, el aflujo de corriente es todavía bastante grande para permitir que la polarización se aumente. Aumenta constantemente

hasta el momento en que la electrólisis se manifiesta de un modo evidente, desprendimiento de gas sobre los electrodos ó depósito de iones.

En este momento la polarización toma un valor bien definido, que conserva, generalmente, aun si se aumenta la densidad de corriente, á menos de que nuevas descomposiciones sean posibles, en cuyo caso la polarización aumenta hasta un nuevo descanso y así sucesivamente.

En resumen, si por medio de un reóstato se gradúa la intensidad de la corriente, se observan los fenómenos siguientes:

A medida que la corriente aumenta, crece la polarización tomando valores estables en ciertos descansos correspondientes á fenómenos electrolíticos bien caracterizados; por lo demás la corriente nunca es nula, porque la polarización depende esencialmente de la existencia de la corriente.

POLARIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS.—Hemos estudiado especialmente la variación de la polarización con distintos electrodos.

Platino.—La fuerza contraelectromotriz de electrólisis con agua del Sena ha sido hallada á 1,70 voltios. La diferencia 0,21 con el valor teórico 1,49 se explica por el aumento de trabajo debido á la formación de los gases. Si el agua está ligeramente acidulada con sulfúrico ó ácido nítrico, no cambia el valor de la polarización. La presencia de ácido clorhídrico la rebaja á 1,47. En esto existe, probablemente, la acción del cloro en el electrodo positivo, porque los otros ácidos solamente tienen por efecto aumentar la conductibilidad de la solución. Siendo sus calores de formación más elevados que el del agua, no podrían descomponerse antes que ella.

El desprendimiento de gases no se produce más que cuando la densidad es de algunos miliamperios, cinco, aproximadamente, por decímetro cuadrado. La polarización conserva el valor 1,70 hasta las densidades de 500 miliamperios. Por debajo de 5 miliamperios es mucho más débil; disminuye y desaparece con la corriente.

ELECTRODOS ATACABLES.—Si se emplea como electrodo metales susceptibles de combinarse con el oxígeno, ó recubiertos con delgadas capas de óxido, reductibles por el hidrógeno, los fenómenos se presentan bajo una forma un poco más complicada. Los productos de la electrólisis del agua se combinan con los electrodos. El hidrógeno, por ejemplo, no se desprende sobre un cátodo de hierro, ligeramente oxidado, más que cuando el óxido ha sido reducido, igualmente el oxígeno sobre el ánodo se combina con el hierro, el cobre, el plomo, etc., y no aparece en el estado gaseoso más que cuando la producción es bastante intensa, para que una parte del gas no tenga tiempo de entrar en combinación.

Si se sigue la variación de la polarización se halla, como en el caso de los electrodos inatacables, que se desarrolla con la corriente, pero pasa por ciertos descansos correspondientes á las distintas fases de las reacciones secundarias que se producen en los electrodos. Si se trata de agua sola ó ligeramente cargada de ácido ó de sales alcalinas, la polarización es siempre inferior á 1,70 voltios; con ciertos electrodos es á veces casi nula.

Se han ensayado distintos metales; á continuación damos los resultados:

Cobre.—Se producen descansos á 0,60 con una densidad de 10 miliamperios por decímetro cuadrado y á 1,2 con 20 miliamperios. Existe solamente desprendimiento de hidrógeno.

Se forma probablemente en el ánodo antes que el subóxido, después que el protóxido. Con agua muy poco acidulada, la polarización no es más que 0,32; por el contrario, con carbonato de sosa asciende á 1,15.

Hierro.—Se halla un descanso á 0,28 con 40 miliamperios.

Si la densidad alcanza á 90, el oxígeno se desprende y la polarización sube á 1,50. Con agua acidulada, desprendiéndose solamente el hidrógeno, se ha hallado 0,03.

Plomo.—La polarización es de 0,20; se puede alcanzar densidades de corriente muy grandes, 150 por ejemplo, sin percibir oxígeno libre. La polarización crece solamente hasta 0,28. Si se acidula, aumentando considerablemente la corriente, se puede producir el desprendimiento gaseoso. La polarización aumenta entonces hasta 1,84.

Hierro y plomo.—Dos casos pueden distinguirse según que el hierro sea ánodo ó cátodo. Si el hierro es ánodo se tiene para la polarización un primer descanso á 0,20, después un segundo á 0,37. El segundo corresponde á la aparición del hidrógeno gaseoso. Hasta entonces este hidrógeno había reducido, probablemente, una delgada capa de óxido de plomo. Si aumenta la densidad se llega á 1,70 con desprendimiento de oxígeno. La presencia de álcalis, de amoníaco, por ejemplo, aumenta la polarización. Se halla 1,30. Los ácidos, por el contrario, la disminuyen y pueden aún hacerla negativa. Esto no tiene nada de sorprendente, por ejemplo, el plomo y el hierro con el agua sola constituyen una pila cuya fuerza electromotriz ha alcanzado en los experimentos hasta 0,40; el hierro era negativo. Esta pila es, pues, de sentido contrario á la que la electrólisis tiende á cerrar.

Cuando el hierro es cátodo, la polarización es muy débil, hasta que el cátodo no está desembarazado de todo rastro de herrumbre. Desde que se desprende el oxígeno, la polarización alcanza 0,20, esta cantidad se sostiene con corrientes hasta de 70 miliamperios. Con mayores, aparece oxígeno sobre el plomo, la polarización aumenta hasta llegar á 1,70 en el momento en que la corriente alcanza á 200 y que el oxígeno se desprende abundantemente. En presencia de ácidos, que dan sales de plomo poco solubles, cloruro ó sulfato, la polarización aumenta, alcanza de 0,40 á 0,50. Con el ácido nítrico y aun con el ácido clorhídrico muy diluido, baja á 0,10.

CONCLUSIÓN.—El relato de los fenómenos experimentales demuestra lo complejo que es el asunto de la electrólisis del agua. La naturaleza de los electrodos desempeña un papel preponderante. Si se operase con productos puros, es muy probable que los resultados fuesen muy sencillos. La ley de Thomson se verificaría; la fuerza contraelectromotriz de electrólisis corresponde al calor de formación del agua, cuando se emplean electrodos inatacables. Cuando los electrodos son atacables, el paso de la corriente produce óxidos en el ánodo y provoca reducciones en el cátodo; es preciso tener en cuenta el calor de los productos formados, porque sirve para deducir el que es necesario para la electrólisis del agua; la ley de Thomson no debe verdaderamente aplicarse, más que cuando se tiene en cuenta todos los productos formados, así como las combinaciones que desprenden calor como las descomposiciones que lo absorben. Esta extensión de la ley es suficiente para explicar desde el punto de vista teórico los de la polarización obtenidos con electrodos atacables, valores que son inferiores al de la descomposición del agua sola.

Resultaría interesante la comprobación de si esta concepción teórica resulta conforme á los hechos. Las cantidades que hemos hallado lo demuestran aproximadamente nada más. Es, en efecto, muy difícil obtener un fenómeno sencillo desligado de toda reacción parásita. La presencia de rastros de óxido sobre los cátodos, de impureza de metal en los ánodos es suficiente para modificar algunas veces grandemente los resultados obtenidos. Se puede, sin embargo, decir que, de una manera general, los hechos están de acuerdo con la teoría. Cuando, por ejemplo, se halla que con electrodos de hierro el desprendimiento gaseoso se produce con

1,50 solamente, esto demuestra claramente que á pesar del desprendimiento existe todavía una cierta combinación de oxígeno con el ánodo, puesto que con platino se halla 1,70.

Sea lo que fuere, desde el punto de vista práctico de estas investigaciones se puede deducir que la descomposición del agua, con formación de compuestos en los electrodos, está muy lejos de necesitar una fuerza electromotriz de 2 voltios. Limitándonos en particular al caso del hierro y del plomo, lo que nos coloca en las condiciones realizadas por una conducción de gas y un carril del tranvía eléctrico, comprobamos que si el plomo queda positivo, la fuerza electromotriz de electrólisis es de 0,20 y puede descender á 0,10 en presencia de ácidos diluidos. En el caso en que el plomo es negativo, la fuerza electromotriz es un poco más elevada, pero en circunstancias favorables en presencia de ácidos débiles una pila tiende á cerrarse naturalmente, lo que destruye la polarización. Resulta de ello que el ataque electrolítico ha disminuido, pero que la densidad de la corriente ha aumentado. Se puede, pues, sacar en conclusión de estos experimentos, que la corriente se deriva con facilidad de los carriles á las conducciones de plomo próximas, y que la vuelta en sentido inverso desde estas conducciones al carril produce electrólisis desde el momento en que el voltaje sea superior á 0,20.

Puede también preguntarse lo que sucede con voltajes más débiles. Por lo que puede juzgarse según el aspecto que toman los electrodos antes de que la polarización sea suficiente para que se produzcan los desprendimientos gaseosos, es casi imposible sacar en conclusión que ha existido ya ataque químico.

Se comprueba, en efecto, que la superficie del metal se empaña, que toma ciertas coloraciones, etc.; estaríamos, pues, obligados á deducir que el ataque químico es posible y aún más, que tiene lugar desde el momento que la corriente sale de un metal.

RESISTENCIA DE LA TIERRA.—Para apreciar los desgastes que pueden producirse por la electrólisis es indispensable conocer la resistencia del suelo y, por otra parte, el valor de la resistencia que existe entre dos masas análogas á un tubo y á un carril colocados en su superficie.

A continuación damos algunos de los resultados obtenidos para la resistencia:

Agua destilada.....	3×10^5
Agua del Sena ..	2×10^5
Agua acidulada.....	$4 \text{ á } 2 \times 10^2$
Tierra seca.....	8×10^6
Tierra con 1 por 100 de agua	9×10^4

Se ve que la resistencia de la tierra seca es muy grande, pero que disminuye mucho desde que se humedece ligeramente. Si la tierra está muy húmeda, su resistencia difiere muy poco de la del agua sola.

Para tener una idea de la resistencia de la tierra se pueden examinar las dos hipótesis siguientes: cilindro de 5 centímetros de diámetro concéntrico á otro cilindro cuyo diámetro fuese aumentando, ó excéntrico á otro cilindro de 25 centímetros de diámetro, cuya distancia al primero es variable, todo sumergido en un medio indefinido de resistencia conocida.

Tomando por resistencia $\rho = 10^4$, se puede formar el cuadro siguiente:

Se utiliza la fórmula

$$R = \frac{\rho}{4\pi \times 0,2172l} \begin{cases} \log \frac{a^2}{R_1 R_2} \text{ cilindros exteriores.} \\ \log \frac{R_2}{R_1} \text{ cilindros interiores.} \end{cases}$$

	Distancias. — Metros.	Resistencia por metro lineal. — Ohmios.
Cilindros exteriores.....	2,50	111
	25,00	185
	100,00	230
	1.000,00	300
R_1 del cilindro exterior....	2,50	80
	25,00	111
	250,00	160
	2.500,00	200

Se ve que á pesar de la diversidad de las hipótesis hechas, el valor de la resistencia está comprendido entre 100 y 300 y que no varía más que de 1 á 3 cuando las distancias aumentan de 2 metros á un kilómetro.

Si la tierra es seca ($\rho = 10^6$), la resistencia será cien veces mayor y, por consecuencia, superior á 10.000; será preciso una diferencia de potencial de 10 voltios para producir una corriente de una milésima por metro lineal; pero si la tierra está húmeda bastará que sea de un voltio para producir una corriente de tres á diez milésimas por metro lineal y, por consiguiente, una corriente próxima á una milésima por decímetro cuadrado de tubo de plomo.

ELECTRÓLISIS DE LOS TUBOS DE PLOMO.—Es, por otra parte, fácil el cálculo de la cantidad de plomo destruida por electrólisis.

Siendo la equivalente electroquímica de plomo 103, una cantidad de electricidad de 96.600 culombios descompondrá 103 gramos de plomo, ó sea, aproximadamente, 9,1 centímetros cúbicos, es decir, alrededor de una superficie de un decímetro cuadrado por un milímetro de espesor.

Ahora bien, un miliamperio durante un año y á razón de diez horas diarias produce 12.760 culombios. Le será, pues, preciso un período de siete años y medio para corroer un milímetro de espesor, ó trece años para perforar un tubo de dos milímetros.

Pero no será preciso más que un año para destruir el mismo tubo, si la corriente es quince veces más intensa, sea porque la resistencia del suelo es quince veces más débil á causa de circunstancias particulares (humedad, masas metálicas conductoras, etc.), ó bien sea porque la diferencia de potencial es de 15 voltios.

CONCLUSIONES.—De los hechos expuestos resulta, que en el caso de vuelta de la corriente por conductores descubiertos, colocados sobre el suelo (caso de los tranvías eléctricos), se derivarán siempre corrientes hacia las conducciones metálicas próximas. Casi siempre existirá producción de electrólisis, pero esta electrólisis no será realmente peligrosa más que en el caso en que la corriente derivada alcance una densidad suficiente.

Mientras que la densidad por decímetro cuadrado sea inferior á un milímetro-amperio, no habrá peligro de electrólisis. En el caso de un terreno seco, esto corresponde á diferencias de potencial de una centena de voltios, y para un terreno ligeramente húmedo á diferencias de uno á dos voltios. Así, pues, si el suelo estuviese siempre muy seco, muy excepcionalmente existiría electrólisis; sería preciso la rotura franca de una junta de carril, ó una avería en los *feeders*. Si está ligeramente húmeda, no habría electrólisis sensible si la elevación de voltaje no excediese de uno ó dos voltios; pero si las diferencias de potencial alcanzan á varios voltios, ó si la resistencia de la tierra se halla disminuída en algunos sitios por consecuencia de disposiciones locales desventajosas, podrán producirse desgastes de importancia.

Por lo demás, la corriente peligrosa es la que va de las conducciones á los carriles; se manifiesta en las zonas negativas, es decir, en las proximidades de la fábrica y en las uniones de los

peders de vuelta. Si en estos puntos existen masas metálicas en el suelo, ó bien si el terreno presenta una constitución física ó química favorable, humedad permanente, etc., habrá electrólisis.

INSTRUCCIÓN TÉCNICA.—Para evitar los peligros que acabamos de indicar, ¿qué remedios señala el Reglamento francés? Se hallan en el documento designado bajo el nombre de Instrucción técnica, puesto en ejecución por el Ministro de Obras públicas con la ley de 15 de Junio de 1906, resolución que se revisa cada dos ó tres años, siendo la última revisión la de 21 de Marzo de 1911.

Una primera prescripción de orden general, á la que no se da siempre la importancia suficiente, prohíbe formalmente (art. 37), el uso de la tierra para formar una parte del circuito de vuelta. Esta prohibición es muy prudente. Tiene por objeto proteger las instalaciones de corrientes débiles, teléfono, telégrafo, señales de ferrocarriles, que representan las más antiguas aplicaciones de la electricidad y que por haber llegado primero han utilizado la tierra como conductor, y que, además, teniendo en cuenta su importancia especial, deben estar garantizadas de toda perturbación. Tiene también la ventaja de prevenir contra todo accidente electrolítico.

Es natural que las instalaciones de tranvías que dejan derivar corriente á tierra, no respetan esta parte del Reglamento. La tolerancia no está explícitamente especificada en los textos, pero de hecho existe puesto que el artículo especial (núm. 28) que se refiere á la instalación de la vía, es decir, de los conductores de vuelta, dice que se tomarán todas las medidas necesarias para proteger las masas metálicas contra la acción nociva de las corrientes derivadas.

Sin embargo, parece natural que esta tolerancia no sea acep-

tada por los Reglamentos, mas que con la condición de que con ello no resulte ninguna perturbación ni perjuicio, y que, en caso contrario, la Compañía explotadora corra el riesgo de una multa.

Por lo demás, las consecuencias de esta tolerancia están limitadas en los distintos párrafos del artículo que se refieren á la conductibilidad de la vía y de las juntas y á la pérdida de carga kilométrica.

En resumen, puede decirse que el empleo de conductores descubiertos para la vuelta de las corrientes en los tranvías eléctricos, de un modo general, no presentará peligros, si la conductibilidad de estos conductores está asegurada con dimensiones suficientes, con conexiones cuidadosas, y si se han tomado las disposiciones necesarias para evitar en ellos una sensible elevación de voltaje. Parece sean suficientes las reglas dictadas sobre este particular por la Instrucción técnica; pero la observación muy estricta del Reglamento no será una garantía absoluta contra la electrólisis. Siempre son de temer accidentes debidos á circunstancias particulares y locales.

Sería, pues, conveniente que la Instrucción indicase claramente que las prescripciones dictadas son necesarias para evitar los accidentes, pero que no son suficientes y que en algunos casos se hace indispensable tomar medidas particulares de protección. Debe llamarse la atención de las Compañías explotadoras, del peligro permanente que sus canalizaciones hacen correr á las próximas y de la responsabilidad que incurren en caso de accidente, aun cuando se hayan observado estrictamente todas las prescripciones reglamentarias.

II.

REVISTA EXTRANJERA

Accidente y restauración del dique de Charmes (Francia) (Conclusión).

La reparación de averías tan importantes era evidentemente una operación delicada: así es que, al redactar el proyecto, el ingeniero que se había encargado de él, M. Frontard, tuvo que dedicarse á una investigación profunda sobre las condiciones de resistencia de las obras similares, así como á experimentos directos. Los resultados de estos experimentos y de esta investigación están ampliamente relatados—según indica M. Dumas—en una Memoria publicada en los *Annales des Ponts et Chaussées*.

Preciosas indicaciones se suministraron también para la formación del proyecto por el Inspector general de Puentes y Calzadas M. Jean Résal, que acababa precisamente de publicar una nueva *teoría de las tierras coherentes*.

Combinando así las enseñanzas de la práctica y de la teoría, es como ha sido redactado el proyecto de reparación del dique de Charmes, y los profundos estudios que han servido para su elaboración constituyen, como dice el autor del artículo que extractamos, una documentación muy útil. Nos limitaremos á resumir las disposiciones adoptadas y las obras á que han dado lugar.

REPARACIÓN DE LA PRESA.—El volumen de las tierras que habían participado del deslizamiento del talud del dique de Charmes llegaba, según los cálculos que resultaban de los sondeos de Diciembre de 1909, á 20.000 metros cúbicos, próximamente. Dichas tierras estaban completamente dislocadas, y no se podía pensar en dejarlas en este estado; era necesario removerlas enteramente.

Se decidió en principio que se reconstituyese el talud por medio de las mismas tierras, apisonadas por los mismos procedimientos y bien unidas al macizo sano, convenientemente recortado, según un perfil en escalera. Para mayor seguridad se admitió que el recorte se llevase, en la parte inferior, hasta 2,50 metros por debajo de la coronación del muro de guarda: así se encontraba asegurada una buena fundación al nuevo talud.

También se adoptaron dos disposiciones nuevas:

1.^a La mejora física de las tierras por incorporación de una notable proporción de grava menuda.

2.^a La construcción de contrafuertes de consolidación.

1.^a *Mejora de las tierras por la incorporación de grava.*—La inaptitud física de las tierras del dique de Charmes para obtener un talud mojado inclinado 1,5/1 de más de 14 ó 15 metros de altura era debida á la cantidad insuficiente de arena gruesa que contenía. Era, pues, muy natural pensar en reforzar ésta artificialmente. Esta operación había ya sido aplicada con feliz éxito al dique de la Liez, á la que debía ciertamente su estabilidad bien probada en un transcurso de tiempo de veinticinco años.

Los «morteros de tierra» obtenidos por amasamiento de las mezclas de este género, poseen cualidades de dureza, de resistencia á las alternativas de humedad y de sequía, de impermeabilidad y aun de incompresibilidad, notablemente superiores á los de los amasamientos puros; lo cual bien se reconoce en la actualidad. Esta última cualidad tenía, en este caso, una importancia particular porque un apilamiento, aún ligero, del nuevo talud con relación al macizo intacto del dique hubiese, en efecto, podido traer una desunión y una tendencia al deslizamiento,