

y

$$q = \frac{P'd'}{\frac{e}{2} + b} = \frac{P'd'}{b} \cdot \frac{b}{\frac{e}{2} + b}$$

es decir, una proporción próximamente igual á $\frac{r}{8}$ del empuje suplementario que ha ocasionado la sobrecarga; no hemos, pues, cometido un error grosero cuando hemos supuesto que la pila era poco rígida horizontalmente.

Por lo que concierne al momento de rotación debido á la sobrecarga, la pila lo absorbe casi por entero como acabamos de decir si su dimensión, es suficiente, como ocurre en las pilas estribos, y aun absorbe una proporción tal que M resulta negativo y el vértice gira en sentido opuesto á la sobrecarga.

Ya que conocemos las acciones que solicitan á la pila, podemos ahora ver en qué caso puede estar en estado de inestabilidad absoluta; es necesario para esto que en un punto el momento de la reacción sea suficiente para que haga salir fuera de la sección de la pila el punto de aplicación del peso total.

La región más expuesta es la de los arranques, puesto que allí la sección es mínima, así como el peso total y el momento de q es sensiblemente el máximo.

Si se hace el cálculo del peso total P_i en los arranques en un arco de medio punto, se ve designando por δ la densidad media de la bóveda y del relleno, que muy sensiblemente

$$P_i = 2\delta \left[\left(r + \frac{e'}{r} \right) \left(r + \frac{3e_0}{2r} \right) - \frac{\pi r^2}{4} \right].$$

Por otra parte, el momento de que q es sensiblemente

$$\frac{1}{2} P_i d'_i = \frac{\delta'}{4} \left(r + \frac{e'}{2} \right)^2$$

designando por d' la densidad de la sobrecarga uniformemente repartida; de donde se saca

$$\frac{\frac{1}{2} P_i e'}{\frac{1}{2} P_i d'_i} = \frac{4\delta e'}{\delta'} \left(1 - \frac{\pi}{4} + \frac{3e_0}{2r} - \frac{e'}{2r} + \frac{\pi e'}{4r} \right).$$

En las bóvedas de 20 metros y más de luz, la carga uniformemente repartida máxima es de 2 toneladas por metro cuadrado, y la densidad media δ es igualmente próxima de 2 toneladas; por otra parte, e' es próximamente $0,4r$ y la relación resulta $1,8e'$ que es notablemente elevada, por lo que se evita, no solamente la inestabilidad absoluta, sino también el trabajo de extensión.

En una bóveda de 5 metros de luz la relación $\frac{\delta}{\delta'}$ puede ser $\frac{2}{3}$ al paso de una locomotora, y la relación de momento puede ser $1,5e'$, y si e' es igual á $0,4r$, $1,5e'$ es apenas igual á 2, tanto que se evita la inestabilidad absoluta, pero no se evita el trabajo de extensión.

Encontraríamos preferible en estas condiciones adoptar para el valor de e' una regla en función de e , en lugar de r , tomando, por ejemplo:

$$e' = 4e \text{ ó } 3e$$

y la estabilidad de los viaductos de pequeña luz sería de este

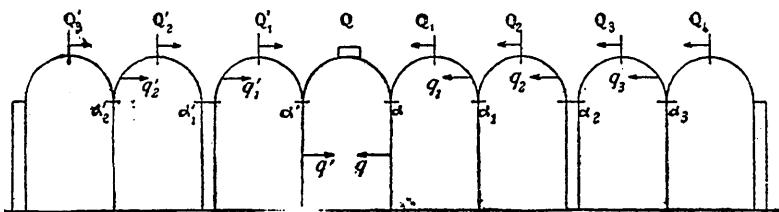
modo del mismo orden que el de la de los viaductos de grandes luces.

Esta regla unida á aquélla, según la cual

$$l = 4r$$

tendría igualmente la ventaja de mantener la constancia de la relación entre la rapidez de la bóveda y la de la pila, cualquiera que sea la altura del viaducto, y de impedir la rotación sensible de los arranques en el sentido de la sobrecarga.

Ejemplos de inestabilidad relativa de un viaducto.—Tomemos ahora un viaducto compuesto de muchos arcos; supongamos, por ejemplo, que hay ocho, estando los cuatro centrales comprendidos entre dos pilas estribos, y supongamos que el cuarto arco, partiendo de la izquierda, sea el único recargado (fig. 5.^a). Éste descende y empujará á las pilas y los arcos sucesivos en los dos sentidos. Designemos como antes por Q las modificaciones que este movimiento produce en el empuje, por q la reacción de las pilas y por α los desplazamientos horizontales.

Fig. 5.^a

Se puede notar desde luego que á la inversa de q y q' relativas al arco sobrecargado, todas las demás reacciones de las pilas están aplicadas en la proximidad del vértice, puesto que el elemento principal de la transmisión de los esfuerzos es el desplazamiento horizontal de la clave de las bóvedas sucesivas y que el momento de rotación es débil por razón de la poca rigidez de los arcos en este sentido.

Admitiremos, pues, que q está aplicado al vértice de las pilas.

Escribamos ahora las ecuaciones de proyección sobre la horizontal alrededor de cada pila.

$$Q_1 + q_3 = Q_3$$

$$Q_3 + q_2 = Q_2$$

$$Q_2 + q_1 = Q_1$$

$$Q_1 + q + Q = \frac{Pd'}{b}.$$

O.

(Se continuará.)

OBRAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO DEL SERVICIO DE RIEGOS EN LOS ESTADOS UNIDOS

CON ALGUNAS NOTAS SOBRE LA DESAGREGACIÓN DE LOS HORMIGONES
POR LA ACCIÓN DE LAS AGUAS ALCALINAS (1)

No constituye el objeto de la presente Memoria la descripción completa y detallada de las obras que tiene á su cargo el Servicio de riegos, en las cuales se consumen gran-

(1) Memor'a presentada por Mr. J. Y. Jewett en el Congreso XI de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales.—Atlantic City, New Jersey; Junio, 1908.

des cantidades de cemento, porque esto no interesa de una manera esencial á la Asociación, sino que se tratarán de aquellas obras de una manera general y desde el punto de vista de su relación con los materiales empleados y ensayos de los mismos.

El interés de las obras que construye el Servicio de riegos se funda, más que en la cantidad de cemento empleada, en la diversidad de aquéllas, en muchas de las cuales se establecen grandes macizos de tierra y piedra; además, en una obra situada á gran distancia de los centros habitados se ha instalado una fábrica de cemento; estas circunstancias contribuyen á que la cantidad total de cemento que hay que adquirir en el mercado no esté en relación con la magnitud de las obras ni con la importancia de sus presupuestos.

Las construcciones del Servicio de riegos que necesitan cemento comprenden la realización de veinticinco proyectos repartidos entre quince Estados y territorios que abarcan la mitad de la región occidental de la Nación, cuyas temperaturas oscilan entre 49° C. en Yuma (Arizona) y -40° C. al Norte de Montana. Entre aquellas construcciones figuran tres grandes presas, una de las cuales será la más alta del mundo, otras varias de menor importancia de hormigón en masa y de hormigón armado, además de vertederos, canales, túneles, instalaciones de bombas, tuberías, etc., etc.

Tal diversidad de obras, tanto por lo que se refiere á su objeto como por su emplazamiento, es causa de que los materiales convenientes para cada una de ellas sean muy distintos, encontrándose unas veces al pie de obra y siendo necesario en algunos casos transportarlos desde grandes distancias, después de estudios comparativos y de ensayos hechos en los Laboratorios. Son las arenas, especialmente, el material que más dificultades ha ofrecido, tanto que en algunas obras ha sido preciso triturar rocas calizas y graníticas para obtenerlas de buena calidad.

Conforme ya se ha indicado antes, no se describían detalladamente las obras, siendo suficiente lo indicado para comprender la gran variedad de circunstancias y de condiciones en que cada una de aquéllas se encuentra, y, por lo tanto, el estudio detenido que desde todos puntos de vista han tenido que realizar los Ingenieros encargados del proyecto y construcción de las mismas.

El cemento, cuyo consumo en el Servicio de riegos tiene una importancia excepcional, se adquirió en fábricas situadas en los Estados de Illinois, Kansas, Colorado, California, etcétera, con distancias de transporte de más de 2.400 kilómetros para las obras situadas en la región occidental. Se instalaron dos Laboratorios para los ensayos de cementos, uno en Chicago y otro más modesto en Berkeley (California).

Los pliegos de condiciones para la recepción de cementos son análogos al adoptado por la Asociación Americana para el ensayo de materiales, habiéndose adoptado los procedimientos recomendados por esta Asociación para verificar los ensayos correspondientes.

Los ensayos y reconocimientos de las diferentes partidas de cemento se hacen en las fábricas antes de su expedición y no al pie de las obras, porque el precio de aquel material es sobre vagón en fábrica, siendo por cuenta de la Administración los transportes por ferrocarril y carretera. Ahora bien; como éstos tienen longitudes de mucha consideración, se comprende los inconvenientes tan graves que tendría el hacer los ensayos de las partidas de cemento al llegar este

material al pie de obra, después de abonados los gastos de transporte.

Los ensayos de las diferentes partidas de cemento se hacían con muestras tomadas en las fábricas con las precauciones debidas para que representasen con la mayor exactitud posible la composición media de aquéllas; las muestras se enviaban al Laboratorio, y si el resultado de los ensayos era satisfactorio, se aceptaba la partida á que se referían, la cual se expedía á la obra, verificándose la carga en presencia de un funcionario de la Administración, el cual precintaba los vagones.

Además de los ensayos para recibir ó rechazar los diferentes cargamentos, se hacen otros cuya duración llega hasta diez años, aunque la partida correspondiente sea de malas condiciones según el resultado de los ensayos abreviados. De vez en cuando se hacen también análisis químicos de los productos de cada marca, pero sin hacer depender de sus resultados la calificación del cemento; únicamente se determina el anhídrido sulfúrico en todas partidas.

Al decidir sobre la calidad de un cemento, en vista de los resultados que han dado los ensayos, se presentan varias dudas acerca del valor á importancia que hay que atribuirles; entre dichos ensayos figuran los relativos á la invariabilidad de volumen, al peso específico y á la dosis de anhídrido sulfúrico.

Por lo que se refiere al ensayo, que consiste en someter la pasta de cemento á la acción del agua caliente, ha sido y es práctica general en el Servicio de riegos rechazar todas las partidas en que este ensayo no ha dado resultado satisfactorio, manera de proceder que han justificado posteriormente los ensayos de larga duración.

Respecto de las dosis de anhídrido sulfúrico se ha de consignar que cementos en que aquélla era del 3,20 por 100 han dado, al cabo de dos años, resultados tan favorables como los de la misma marca en que dicha dosis era la normal, hecho que es suficiente para obligar á estudiar con detenimiento la influencia del anhídrido sulfúrico en la resistencia y desintegración de los morteros.

Destrucción de los hormigones por las aguas alcalinas.

En las regiones áridas de la región occidental de los Estados Unidos existen numerosos depósitos de sales alcalinas, las cuales se encuentran también en disolución en las aguas corrientes. Las bases de dichas sales son principalmente la potasa y la sosa, pero también se encuentran entre ellas la cal y la magnesia.

El gran desarrollo que han adquirido las obras hidráulicas en aquella región ha dado lugar á que los Ingenieros encargados de su construcción se preocuparan por la acción que sobre ellas pueden ejercer las aguas alcalinas, y estudiaran los efectos de éstas, así como los procedimientos para anularlas ó por lo menos para aminorarlas.

En las obras para el establecimiento de riegos en las vegas del río Sol (Estado de Montana), especialmente en las pequeñas acequias que están sumergidas parcialmente en los arroyos que recogen las aguas de los terrenos inmediatos, se han observado los efectos destructores de las aguas alcalinas sobre los hormigones, efectos que consistían en el reblandecimiento de la parte constantemente sumergida en un período de tres ó cuatro meses y en la aparición de grietas en la zona en contacto con la línea de agua, zona que alternativamente está húmeda y seca, grietas que determinan

finalmente la destrucción del hormigón en forma análoga ó como la producen las heladas. Estos fenómenos los describe de la siguiente manera el Ingeniero encargado de las obras:

«El examen de los trozos de hormigón que llevan tres ó cuatro meses en contacto con el agua alcalina demuestra que las partes sumergidas son mucho más blandas que las que han estado al aire; sin embargo, los efectos más notables se observan en la parte en contacto con la superficie del agua, en la cual el examen con el microscopio acusa la presencia de pequeños cristales, que expuestos al aire se convierten en polvo; esta cristalización se forma con aumento considerable de volumen, produciendo efectos completamente análogos á los de las heladas. Un trozo de acequia de hormigón, después de seis meses en contacto con las aguas alcalinas, apenas tenía resistencia y la parte correspondiente á la superficie de las aguas tenía el aspecto de una mezcla de arena y fango.»

Estos efectos hay que atribuirlos única y exclusivamente á la acción de las aguas alcalinas y no á la mala construcción de las obras, pues éstas se ejecutaron por administración bajo la inspección inmediata de los funcionarios del Servicio de riegos, existiendo seguridad absoluta de que se aplicaron sin excepción alguna todos los buenos principios de construcción.

Para estudiar los hechos antes consignados en relación con la destrucción de los hormigones, se empezó por hacer el análisis químico de las aguas, obteniéndose el siguiente resultado:

	Miligramos por litro.
Sulfato cálcico (CaSO_4).....	1.690
Sulfato magnésico (Mg.SO_4).....	6.870
Carbonato magnésico básico ($\text{Mg.H}^2\text{CO}_3$).....	305
Cloruro magnésico (Mg.Cl^2).....	192
Cloruro potásico (KCl).....	20
Total de materia sólida.....	9.077
Peso después de calcinada.....	8.855
Pérdida al fuego.....	222

Del análisis anterior se deduce que la principal sustancia mineral que contiene el agua es el sulfato de magnesia, lo cual indica que la acción del agua en cuestión sobre los hormigones debe ser completamente análoga á la del mar, puesto que en ésta se atribuye á dicha sustancia la destrucción de los morteros.

La acción del agua del mar sobre los hormigones ha sido objeto de muchos estudios é investigaciones, especialmente en Europa, admitiéndose generalmente la explicación de que el sulfato de magnesia de la primera reacciona sobre el hidrato de cal de los segundos, formándose sulfato cálcico, el cual á su vez se combina con la alúmina del cemento constituyendo un sulfo-aluminato cálcico. Sobre los efectos tan perjudiciales de estos compuestos dice Mr. Le Chatelier en la Memoria que con el título de *Influencia del agua del mar sobre los cementos* presentó en el Congreso que celebró en Bruselas el año 1906 la Asociación Internacional para Ensayo de Materiales:

«Cuando el sulfato cálcico existe en las aguas naturales ó cuando se forma por virtud de una acción química entre el

sulfato de magnesia del agua y los compuestos cálcicos del cemento, reacciona sobre el aluminato cálcico formando el sulfo-aluminato cálcico, cuya cristalización se verifica con un aumento tan considerable de volumen que puede producir la destrucción del hormigón; efecto parecido al que se produce cuando se hidrata la cal viva, pero que es mucho más lento que este último.»

Á su vez, el Dr. William Michaelis, de Alemania, publicó en 1896 una Memoria titulada *Influencia del agua del mar sobre los morteros hidráulicos*, en la cual dice:

«La formación del sulfato cálcico con dos equivalentes de agua se verifica con un aumento de volumen tan considerable que es suficiente por sí solo para destruir la cohesión que adquieren los morteros durante el período de absorción del agua. Al mismo tiempo que el sulfato cálcico se forman también aluminatos cálcicos que producen efectos completamente análogos.»

Estas causas de destrucción de los hormigones son contrarrestadas en parte por la tendencia que tienen á llenar los poros de este material otras sales que se forman con las reacciones antes explicadas, como sucede, por ejemplo, con el hidrato magnésico, el cual reduce, por lo tanto, la permeabilidad del hormigón.

Todas estas acciones químicas y mecánicas son proporcionales á las dosis de alúmina, respecto de cuyo particular dice el Dr. Michaelis:

«Los cementos Portland, ricos en alúmina, se descomponen con relativa facilidad en una disolución de sulfato de cal; muchas obras marítimas construídas con tales cementos se han salvado de una completa ruina, gracias á una carbonatación completa, al relleno de sus poros, etc.»

De lo dicho anteriormente resulta evidente que las aguas que contienen sulfato de magnesia producen sobre los morteros de cemento efectos completamente análogos á los de las aguas del mar. Tanto estas como aquellas aguas contienen también otras sustancias alcalinas, principalmente sulfatos y carbonatos sódicos, siendo muy probable que los efectos de los primeros sean perjudiciales, sea cualquiera la forma en que se presenten, respecto de cuyo particular dice Michaeli en la Memoria antes citada:

«La influencia que ejerce el agua del mar sobre los hormigones no hay que atribuir la exclusivamente al sulfato de magnesia, puesto que el elemento destructor característico es el anhídrido sulfúrico que pueda haber en el agua ó el que constituye los sulfatos solubles; ahora bien, lo que sucede es que el sulfato de magnesia, además de ser una de las sales que en mayor cantidad contiene el agua del mar, ejerce una acción mucho más rápida que los demás sulfatos.»

Es muy probable que los carbonatos y cloruros de las aguas no sean perjudiciales á los hormigones en contacto en ellas, y en relación con este particular tiene interés consignar el hecho de que con anterioridad al conocimiento del análisis químico de las aguas en cuestión, y creyendo que la principal sal que contenían era el carbonato sódico, se hicieron una serie de ensayos comparativos con probetas sumergidas en el agua ordinaria del laboratorio y en agua saturada con carbonato sódico, siendo mucho mayores las resistencias de las segundas que las correspondientes á las primeras.

En confirmación de lo expuesto se indicará que la Estación experimental de la Escuela de Agricultura de Montana ha publicado en uno de sus Boietines un estudio acerca de

los efectos de las aguas alcalinas sobre los cementos Portland, en el cual se consignan los resultados de la información hecha con motivo de la destrucción de las alcantarillas de la ciudad de Montana, cuya causa determinante son los sulfatos de cal, sosa y magnesia que contienen las aguas. Además de los morteros y cementos confeccionados con cemento Portland, también han sido atacados por las aguas los ladrillos de los muros y las areniscas con que se construyeron los cimientos.

Para anular la acción destructiva de las aguas alcalinas sobre los hormigones, la mejor solución consiste en que éstos sean completamente impermeables, resultado que puede conseguirse con distintos procedimientos, respecto de cuya eficacia relativa hay gran diversidad de opiniones. Cuando se trata de hormigones que han de estar sumergidos en el agua del mar se recomienda el empleo de mezclas ricas en cemento; la adición de puzolanas que se combinan con la cal libre, el empleo de cementos cuya dosis de cal sea pequeña, a mezcla con los materiales que constituyen el hormigón y al tiempo del amasado de ciertas sustancias que contribuyen a la impermeabilidad, etc.

La arena y la piedra, especialmente la primera, tienen una influencia preponderante sobre la permeabilidad de los hormigones, pues puede contener sustancias alcalinas que favorezcan la destrucción de las materias. Con motivo del proyecto de una de las obras á cargo del Servicio de riegos, se estudió una arena que reunía condiciones excelentes desde el punto de vista físico, no así desde el químico, pues su análisis dió el siguiente resultado:

Silice (SiO_2).....	67,03
Alúmina (Al_2O_3).....	6,85
Oxido férrico (Fe_2O_3).....	2,50
Oxido de manganeso (MnO).....	0,02
Cal (CaO).....	10,72
Magnesia (MgO).....	1,72
Anhidrido sulfúrico (SO_3).....	Señales.
Alcalis. ... } Sosa (Na_2O).....	1,74
} Potasa (K_2O).....	1,51
Agua á 100°C	0,14
Pérdida al fuego.....	8,16
Total.....	100,39

Como resumen de todo lo expuesto, se pueden establecer las siguientes conclusiones respecto de lo que se debe hacer cuando se proyecta una obra hidráulica para evitar la destrucción de los morteros:

- 1.ª Un estudio sobre la naturaleza y composición de los «alcalis» que se encuentren en el emplazamiento de las obras.
- 2.ª Un estudio minucioso de los materiales disponibles para confeccionar los hormigones, esto es, de la arena y de la piedra.
- 3.ª Estudio de los procedimientos más convenientes para disminuir todo lo posible la permeabilidad de los hormigones.
- 4.ª Empleo de un cemento Portland de excelente calidad.

Apéndice.

Copia de una carta dirigida al autor de esta Memoria por Mr. F. W. Brown, gerente de una Compañía dedicada á la fabricación de cemento Portland:

«En contestación á mi carta del 6 de Junio, he de manifestarle que por lo que se refiere á la acción de las aguas alcalinas sobre los hormigones, únicamente podré exponer algunas ideas generales, porque esta cuestión no se ha estudiado todavía con detalle suficiente desde el punto de vista experimental, habiendo mucho que aprender acerca del particular. Es indiscutible que los hormigones se confeccionan, por regla general, con tan poco esmero, que constantemente existe el peligro de que absorban las aguas alcalinas.

Las arcillas de la región occidental de los Estados Unidos contienen dosis pequeñas de sales alcalinas que disuelven las aguas, las cuales llegan á contener desde 715 hasta 14.300 miligramos por litro de dichas sales, que generalmente son sulfatos de sosa y de magnesia; también se suelen encontrar otros sulfatos y carbonatos, pero los dos primeros son los que más perjudican á los hormigones, según se ha comprobado repetidas veces. El sulfato de cal es peligroso cuando el hormigón se contiene en gran cantidad; las aguas le disuelven muy poco, por cuya razón rara vez será de temer la acción del que éstas puedan contener.

Se admite que es el ácido sulfúrico el elemento que determina la destrucción de los morteros. cuestión, sin embargo, que es objeto de discusión, puesto que los sulfatos de magnesia y de sosa son más perjudiciales que el de cal cuando la cantidad de aquel ácido en unos y otros es la misma. Es cierto también que los sulfatos producen efectos peores que los carbonatos y cloruros, hecho que se debe atribuir principalmente al agua de cristalización, que es muy importante en los primeros y en cuya dosis influyen los agentes atmosféricos, siendo distinta la que corresponde á la sal disuelta de la que ésta posee en estado sólido.

Por lo que se refiere al sulfato de cal, sucede que sus efectos son peores cuando es amorfo, lo mismo que cuando ha sido calcinado.

Los sulfatos poseen otra cualidad que favorece la destrucción de los morteros, y es la facilidad con que constituyen sales dobles; es decir, que un sulfato de magnesia ó de sosa sustituye parte de sus bases por la cal, la alúmina ó el hierro de los cementos, á los que se les priva por este medio de sustancias cristalinas, que son reemplazadas por álcalis solubles. Dichas sales dobles son principalmente sulfoaluminatos, y pueden obtenerse por levigación de un mortero constituido por una mezcla de sulfatos y cemento, en el cual la acción del aire, al producir la evaporación del agua, da lugar á la formación de cristales de aquella sal doble, los cuales se han encontrado en tal mortero.

El hecho real y positivo es que cuando en un hormigón de cemento se depositan los sulfatos que están disueltos en las aguas que pasan á través de su masa, y éstas se evaporan por cualquier circunstancia, depositando dichas sales, aumenta extraordinariamente la dosis de sulfatos que contiene el hormigón, el cual se destruye rápidamente.

Hay dos procedimientos para evitar los efectos de las aguas alcalinas de los terrenos sobre los hormigones en ellos construídos: 1.º, impedir que las aguas lleguen á estar en contacto con el hormigón por medio de un buen sistema de saneamiento: 2.º, construir hormigones impermeables. Cuando un hormigón está expuesto á la acción de aguas alcalinas, las zonas que sufren los efectos de éstas son aquellas que alternativamente están secas y humedecidas, mientras que las que constantemente están en contacto con el agua ó al aire se conservan perfectamente. El remedio

más eficaz para evitar la destrucción de los morteros por la acción de las aguas alcalinas consiste en emplear cementos cuya dosis de cal sea relativamente pequeña.

Sin embargo, las condiciones que han de reunir los cementos Portland para que los morteros y hormigones con

ellos confeccionados se conserven indefinidamente en toda clase de aguas, constituyen un problema que todavía no está resuelto y el cual tiene que ser objeto de mucho estudio y de numerosas experiencias.»

Ω.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Comparación entre los diferentes medios de transporte de la energía eléctrica.

En un informe presentado al reciente Congreso de Electricidad de Marsella, M. Boissonas hace la comparación entre los diferentes sistemas de transporte de la energía eléctrica. La corriente continua, con sus baterías de acumuladores y sus elevadores de tensión, conserva sus partidarios, y la corriente alterna, simple ó trifásica, funciona perfectamente en numerosas é importantes instalaciones.

Para los transportes de energía á gran distancia, la solución que se debe adoptar depende esencialmente del grado de regulación exigido, en cada caso, para la distribución secundaria de la energía.

Las reglas que hay que seguir están hoy definidas con bastante precisión para que los transportes por corriente trifásica, los más usados para grandes distancias, puedan emprenderse sin dificultades invencibles hasta 200 kilómetros, con tensiones próximas á 60.000 voltios y una frecuencia de 50 períodos por segundo. Para ir más lejos, será necesario bajar la frecuencia, y un proyecto reciente de transporte de energía del Ródano á París (450 kilómetros), está hecho con una tensión de 120.000 voltios con una frecuencia de 25 solamente.

Es claro que para ciertas aplicaciones habrá necesidad de aumentar esta frecuencia en la red secundaria de distribución, lo que desgraciadamente no puede hacerse sin pérdida de energía.

Para facilitar la regulación de la tensión de distribución en el caso de la corriente trifásica, se afecta unas veces una fase determinada al alumbrado, y otras se instalan las redes secundarias con un hilo neutro.

Por otra parte, el favor que se ha dispensado siempre á la corriente trifásica ha sido combatido desde hace algún tiempo por la corriente alterna simple, sobre todo en materia de tracción eléctrica. Esta evolución proviene de los perfeccionamientos llevados á cabo en los motores de corriente alterna y á la facilidad de realizar líneas aéreas de contacto con un solo hilo, como para la corriente continua, en tanto que la corriente trifásica exige dos hilos, cuyo aislamiento mutuo es difícil. La tensión de 15.000 voltios ha podido utilizarse, en cambio, directamente sobre estas líneas de un solo hilo.

Es posible proceder, además, á las combinaciones más diversas, por vía de acoplamiento entre los transformadores y los motores; se puede también transformar completamente la corriente alterna en continua para la transmisión directa á los motores montados sobre los ejes de cada coche automotor.

No obstante las ventajas de las corrientes de alta tensión, no se puede pasar, por lo que á esto se refiere, de ciertos límites impuestos por la resistencia de los aislantes fabricados industrialmente. Se ha demostrado recientemente que los cables subterráneos no soportan más de 100.000 voltios alternativos, en tanto que se les puede hacer resistir 300.000 continuos. He aquí una indicación que podría ser importante si el voltaje de los

dinamos no estuviese prácticamente limitado ahora en 4.000 voltios próximamente.

Las altas tensiones, en corriente continua, exigen, por lo tanto, la marcha *en serie* de un gran número de dinamos, sistema cuyo empleo ha sido hasta aquí excepcional. M. Boissonas señala una interesante combinación de transporte por corriente continua y de transporte por corriente trifásica, que permite enlazar entre sí muchas redes secundarias de distribución, y, por consecuencia, que se alivien mutuamente las fábricas generatrices, por medio de convertidores.

Sucede frecuentemente, en efecto, que redes ensanchadas poco á poco están alimentadas por diversas fábricas independientes, incapaces, por consecuencia, de aliviarse mutuamente, siguiendo las fluctuaciones del pedido de corriente, y funcionando, por lo tanto, con un débil rendimiento.

Es oportuno en este caso acoplar en paralelo las redes secundarias, por medio de convertidores cuyos motores son de corriente continua-serie, y cuyas generatrices son alternadores que permiten combatir, por su sobreexcitación, los efectos perjudiciales del desacuñado, y de solucionar las dificultades de regulación, aliviando á la red en los puntos más cargados.

El sistema continuo-serie funciona entonces en buenas condiciones, puesto que está limitado á algunos centros de distribución, donde la energía es suministrada á potencia constante, y donde la corriente trifásica que provee á la vez á una gran parte de la distribución, da, además, la aportación necesaria para hacer frente á las variaciones de gasto.

Longitud virtual de una vía férrea.

El cálculo de las longitudes virtuales de las líneas de los caminos de hierro, es decir, de las longitudes de las líneas ideales rectas y horizontales, que se pueden sustituir por las líneas reales, con sus pendientes y sus rampas, y sobre las cuales el punto de explotación es el mismo, se hace según fórmulas poco precisas y variables según los autores.

El Profesor Azimonti, de Milán, ha estudiado una fórmula teórica, derivada de la fórmula italiana de la Convención de los Caminos de hierro de 1885, que presenta enfrente de las fórmulas empíricas frecuentemente empleadas.

Los cálculos del Profesor Azimonti se resumen en el *Giornale del Genio Civile* de Diciembre. La fórmula es la siguiente:

$$l_o = \frac{i + 6}{20} P \cdot l.$$

en la cual:

l_o es la longitud virtual.

l la longitud verdadera.

i la pendiente por 1.000.

P el peso total del tren-tipo.

Los números dados por esta fórmula teórica están de acuerdo con los resultados reunidos por M. Jacquier y obtenidos después de numerosas observaciones estadísticas.