

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

EL CANAL DE CASTILLA

En el preámbulo de la ley que autoriza al Gobierno para la construcción de las obras necesarias para convertir el Canal de Castilla en canal de riego se hace un sucinto y bien escrito resumen de la historia de esta importante obra.

No obstante haber publicado el proyecto de ley, hoy ya aprobado por las Cortes y sancionado por S. M. el Rey, creemos ha de interesar á los lectores de la REVISTA conocer el trazado del Canal y las muy importantes vicisitudes por que ha pasado esta obra en el período de su construcción, así como su estado actual y porvenir próximo.

Desde mediados del siglo XVI existía el propósito de construir un canal de navegación que atravesara Castilla, arrancando de las montañas de Reinosa para terminar en las estribaciones del Guadarrama. Es casi seguro que gentes venidas de Flandes con el Emperador Carlos I, debieron iniciar la idea, acostumbrados á estimar, en lo mucho que valía, ese medio de transporte tan empleado en Holanda. También es muy verosímil que no se formasen clara idea de la diversidad de condiciones de ambos países y que no pudieran apreciar las grandes dificultades que para realizar tamaña empresa habría que vencer.

Sea por estas causas, sea por las contiendas que en esa región se desarrollaron con motivo del ataque que sufrieron los fueros y libertades de Castilla, es lo cierto que el proyecto fué abandonado y no se tiene de él noticia hasta mediados del siglo XVIII, en tiempo de Fernando VI, cuando en el año de 1751 se nombraron comisionados técnicos que estudiasen la posibilidad de construir un canal de navegación.

Levantados los planos y comprobada la factibilidad de la obra, se hizo el proyecto, comprendiendo en el nuevo plan un ramal que tomando las aguas del río Carrión llegase hasta Medina de Ríoseco—bajo esta base comenzaron las obras en 1753 y desde esa fecha hasta 1757 se construyeron 27 kilómetros en el ramal de Campos—, habiéndose gastado 1.250.000 pesetas. En 1759 comenzaron las obras del Canal del Norte, en Alar del Rey, consignándose para ellas 50.000 pesetas mensuales, y aun cuando no debieron continuarse con la actividad que representa el gasto de esa cantidad, se cons-

truyeron sin grandes interrupciones unos 77 kilómetros, con lo cual se consiguió hacer posible la navegación hasta Calahorra de Campos, con un gasto de 12.500.000 pesetas y un período de tiempo de treinta y dos años.

Continuaron las obras en el ramal del Sur, desde el Serroón, donde bifurca el ramal de Campos, hasta las inmediaciones de Dueñas. En este trozo de sólo 17 kilómetros se emplearon ocho años y se gastaron algo más de 2 millones de pesetas. De modo que en cuarenta y siete años se construyeron 121 kilómetros de canal en tres ramales y se gastaron 64 millones de reales, ó sean 16 millones de nuestra actual moneda, quedando por construir según los proyectos de entonces otra longitud por lo menos igual, con la circunstancia agravante de que el terreno presentaba mayores dificultades por haber realizado las obras en la zona donde eran más fáciles.

En tal estado estaban los trabajos á fines del siglo XVIII, en cuya época se paralizaron por completo, pues á la penuria del Tesoro público se unieron las guerras y trastornos políticos, que no permitieron pensar en arbitrar medios para llevar á término tan útil empresa. No parece, sin embargo, que debió olvidarse por completo, puesto que en un Real decreto de 10 de Septiembre de 1828 se reconocía que el aumento del poder y riqueza del Reino estaban íntimamente ligados y dependían en gran parte de la continuación de las obras del Canal de Castilla, sin cuyo auxilio no podía prosperar la agricultura. Teniendo en cuenta el clamor general de los pueblos interesados en que terminase tan importante obra, consideróse como medio más eficaz para conseguirlo que se formase una Empresa ó Compañía particular que tomase á su cargo la terminación de las obras y la explotación del Canal. Con este objeto se convocó una Junta, presidida por el Capitán general de Castilla la Vieja, y compuesta de hacendados y personas ilustradas, que redactaron las condiciones en que había de hacerse la concesión. Entre las proposiciones de diferentes capitalistas fué preferida la presentada por D. Alejandro Aguado, Marqués de las Marismas del Guadalquivir, y así se le reconoció por Real cédula de 17 de Marzo de 1831.

En esta nueva fase parecía que las obras avanzarían con rapidez, tanto por el notorio crédito de la persona que se había puesto al frente de la Empresa, como por el corto plazo concedido en las cláusulas á que se había ajustado el contrato. Estas esperanzas no se realizaron, pues no bien

constituída la nueva Empresa surgieron obstáculos de diferentes géneros que impidieron su ordenada marcha.

Desde luego tropezóse con la falta de planos á que ajustar las obras. Se había creído que existirían los que debieron hacerse en 1753 al empezarse, pues no parecía posible que siendo éstas tan importantes no hubiese datos fijos para realizarlas; además, se tomó como base del contrato con el Gobierno que el coste del Canal hasta darle por terminado era de 35 á 40 millones de reales. Debía suponerse que este cálculo se fundaba en el conocimiento, con bastante precisión, de las que faltaban; pero lo cierto es que no había planos, y tuvo la Empresa que levantarlos á su costa.

Apenas vencido este primer tropiezo se vió la Empresa combatida, de una parte con clamores apasionados contra sus gestores y contra su dirección técnica, y de otra con las quejas de los particulares que aprovechaban los pastos de la laguna de la Nava, cuya propiedad le había sido concedida como compensación á los gastos que ocasionase el desagüe. Por último, hasta en el mismo Consejo del Monarca hubo algún Ministro que acusó á la Empresa, esgrimiendo contra ella los gravísimos cargos de irreligión é inhumanidad, diciendo que en el presidio que se había creado para auxiliar la ejecución de las obras estaban abandonadas las prácticas religiosas, y que el mal trato y peor asistencia que se daba á los penados producía graves enfermedades y anticipaba la muerte de muchos.

Es cierto que estos cargos no fueron probados, antes al contrario, se demostró que eran gratuitos é hijos de la mala voluntad que algunos elementos oficiales tenían á la Empresa; pero también lo es que tal conjunto de obstáculos y dificultades mortificaron á muchos de los asociados, y se retiraron el Marqués de las Marismas y otros, quedando solos el Marqués de Remisa y el de Casa Irujo que tomaron las participaciones y responsabilidades de los socios dimisionarios. Con todas estas peripecias la situación de la Empresa no era nada brillante, pues no había que pensar en que por medio de una suscripción pública se allegasen los fondos necesarios para construir lo que faltaba, máxime que habiéndose hecho patente la inexactitud de los cálculos que habían servido de base para la concesión, no era posible indicar con certeza el capital con que había de constituirse la nueva Sociedad. Lo único evidente era el compromiso adquirido de hacer las obras indispensables para concluir el Canal y poderlo poner en explotación. Por este tiempo sobrevino el cambio político que representaba el advenimiento al trono de Isabel II, y en él confiaban la Empresa del Canal y otras, que esperaban que el nuevo régimen había de contribuir poderosamente al desarrollo de la riqueza pública. Pero la guerra civil que estalló el año de 1834 hizo muy difícil el reclutamiento de obreros voluntarios é imposible que los penados pudiesen prestar servicio alguno, pues unas veces no era prudente ocuparlos en las obras por miedo á que los atacasen los facciosos, y otras los empleaba el Gobierno en la fortificación de los pueblos. Como al poco tiempo el Erario público estaba abrumado con los gastos de la guerra, que necesariamente habían de ser atendidos con preferencia, no podía contribuir con la asignación señalada á la Empresa, lo cual dió lugar á la completa paralización de las obras y á que se gastasen cantidades de importancia en la administración y conservación del Canal, sin que se viese por eso la Empresa libre de acerbas críticas, antes al contrario, se puso en tela de juicio la legalidad del contrato, se la

acusó de monopolio y usurpación, y no sólo en España, sino en toda Europa, trataron de desacreditarla sus enemigos.

Al fin se reconoció que las concesiones hechas á los empresarios no eran excesivas, teniendo en cuenta las obligaciones que se les imponían y comparándolas con las otorgadas en otros países á Compañías que tomaban á su cargo obras análogas, y que los concesionarios habían cumplido con exactitud todas las cláusulas del contrato.

Después de empeñadas discusiones se aprobó la ley de 10 de Junio de 1841, autorizando al Gobierno para transigir con la Empresa las diferencias y reclamaciones pendientes.

En su consecuencia, se nombraron por ambas partes árbitros y amigables componedores, quienes ajustándose á las bases prescritas por el Gobierno y admitidas por la Empresa, y después de un detenido reconocimiento pericial de las obras, pronunciaron su laudo en 13 de Septiembre de 1841, en el cual se hacían varias modificaciones en lo consignado en la Real cédula de 17 de Marzo de 1831.

De este modo quedaron definitivamente fijadas las obligaciones y derechos de la Empresa, y habiendo recaído la aprobación del Gobierno y prestado su conformidad los empresarios, se elevó á escritura pública en 28 del mismo mes de Septiembre. Dicha escritura fué autorizada por el Ministro de Estado y Gobernación en representación del Gobierno, y por los Marqueses de Remisa y Casa Irujo como empresarios. Éstos constituyeron una Sociedad anónima con capital de 5 millones y medio de pesetas; pero el Gobierno les exigió que no había de encargarse del Canal hasta que estuviese terminado y en explotación el ramal de Campos hasta Róseco.

La escritura social lleva fecha de 10 de Febrero de 1842, con otra adicional de 19 de Julio del mismo año.

La Sociedad anónima se formó bajo la razón «Compañía del Canal de Castilla», y su duración debía ser de setenta años, contados desde el día en que se diesen por concluidas las obras. Éstas debían estarlo en el plazo de treinta meses, siempre que el Gobierno facilitase á la Empresa un contingente de 2.000 presidiarios, abonándole, además, dos y medio reales diarios por cada penado en concepto de alimentación y vestido, que quedaba á cargo de la Empresa, y si fuese menor el número de presidiarios destinados á las obras, se entendería prorrogado el plazo hasta completar el cupo de 18 millones de peonadas que debía facilitar el Gobierno. Además, la Empresa no podía ser obligada á dar á las obras más desarrollo que el convenido bajo la base de esos 2.000 penados que se ponían á su disposición.

Claro está que se cumplió por el Estado con esta cláusula, puesto que las obras no se terminaron hasta el 12 de Diciembre de 1849, y por Real orden de 11 de Noviembre de 1850 se declaró que la Compañía del Canal de Castilla empezaría á contar el plazo de setenta años desde aquella fecha; por lo tanto, termina en 12 de Diciembre de 1919.

Tal es, brevemente compendiada, la historia de la construcción del Canal de Castilla, cuyas obras duraron casi un siglo, puesto que empezadas en 1753 no se terminaron hasta fin de 1849. Según puede comprobarse en el plano, arranca en Alar del Rey, derivándose del río Pisuerga por medio de una sencilla presa. En el primer tramo, llamado del Norte, se conserva casi hasta el fin, en el valle de este río, pasando luego al del Carrión, del cual también se alimenta. Á los 85 kilómetros del origen se bifurca en dos ramales, uno llamado de Campos que se dirige al Oeste y termina en Medina de Róseco, con un desarrollo de 62 kilómetros. El otro se dirige



CANALES DE Castilla, Alfonso XIII y Arlanza.

PANTANOS DE ALIMENTACION

Príncipe Alfonso	8,000,000 metros cúbicos
Infante Jaime	4,600,000 "
Recozones	15,000,000 "
Otero	9,000,000 "
La Hoz	20,000,000 "

Canal de Castilla.

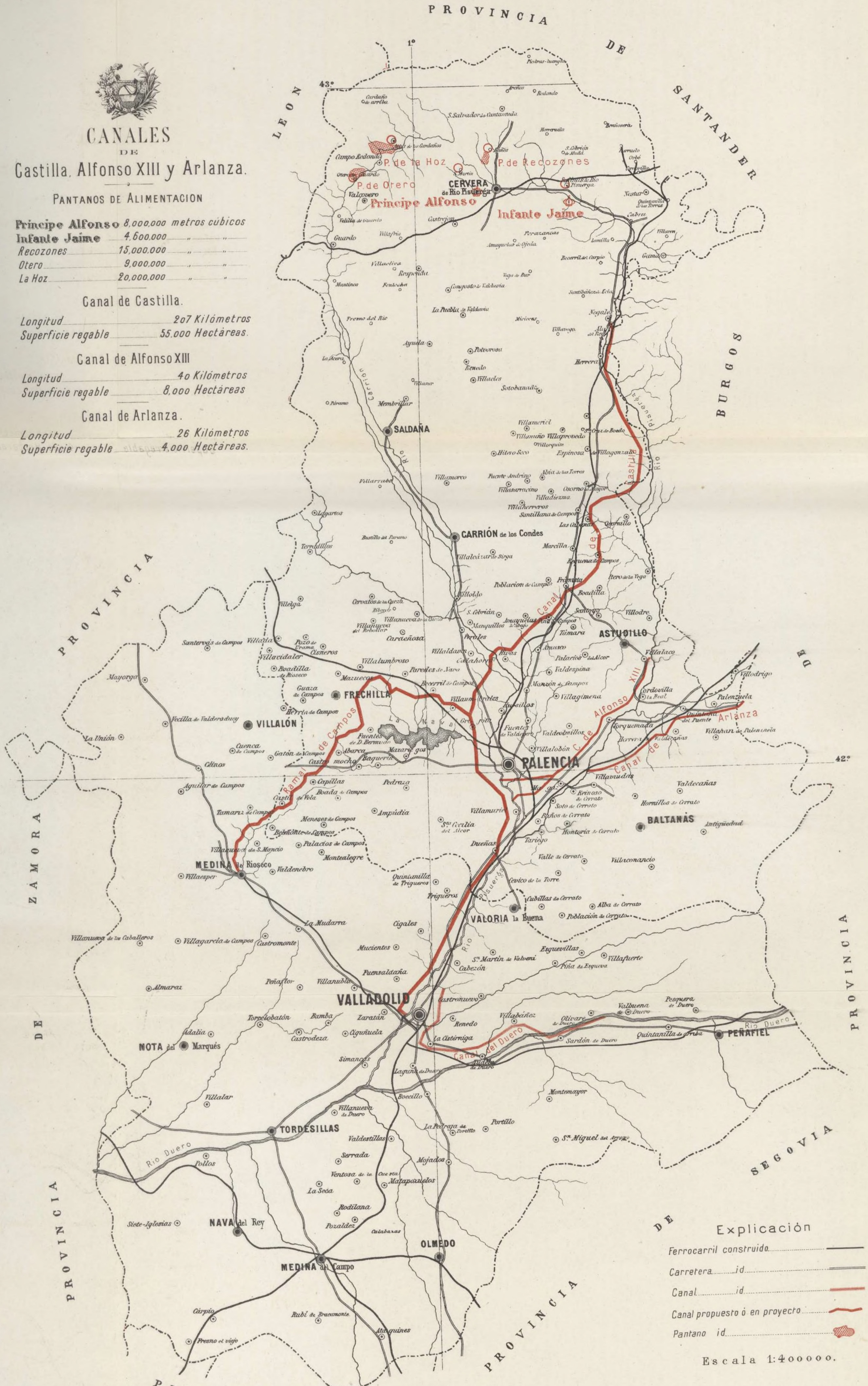
Longitud	207 Kilómetros
Superficie regable	55,000 Hectáreas.

Canal de Alfonso XIII

Longitud	40 Kilómetros
Superficie regable	8,000 Hectáreas

Canal de Arlanza.

Longitud	26 Kilómetros
Superficie regable	4,000 Hectáreas.



Explicación

- Ferrocarril construido.....
- Carretera.....id.....
- Canal.....id.....
- Canal propuesto ó en proyecto.....
- Pantano id.....

Escala 1:400000.

Madrid 14 de Abril de 1909
El Director General
Abilio Calderón

LIT. MENZES, PLAZA DE LOS MOSTENSES, 2.



hacia el Sur y termina en Valladolid, con un recorrido de 60 kilómetros, siendo la longitud total de 207 kilómetros.

Una vez construido el Canal de Castilla empezó á prestar servicio de transporte, principalmente para los granos y harinas que desde las provincias de Valladolid y Palencia se dirigían á la de Santander, ya para las fábricas allí existentes, ya para su embarque en el puerto, desde donde se enviaban en su mayor parte á Cuba.

También prestó excelentes servicios para el establecimiento de fábricas de harinas, aprovechando la energía que había disponible en los saltos que producían las esclusas. Cuando el Gobierno entregó el Canal á la Empresa existían ya diez y nueve molinos, y la Compañía instaló desde el principio fábricas de harinas en el extremo del ramal del Sur, sobre el arroyo Zaratán, en las esclusas 30, 31 y 40, habiendo después establecido otros aprovechamientos que constituyen hoy su principal utilización.

El Canal, como medio de transporte, ha perdido casi totalmente su valor, puesto que yendo su trazado paralelo al del ferrocarril del Norte en una gran parte de su extensión, sólo podía servir para llevar mercancías desde Valladolid, Medina de Ríoseco y Palencia á Alar del Rey, siendo necesario hacer allí la descarga y transbordo á los vagones del ferrocarril, y la operación inversa si las mercancías de importación se consignaban desde Santander á Alar del Rey, para ser reexpedidas por el Canal á Palencia, Valladolid ó Ríoseco.

Fácilmente se comprende que la Compañía del ferrocarril, por medio de una tarifa combinada, podía hacer mucho más ventajoso el transporte directo, y así ha venido á suceder que de hecho el Canal no presta servicio hace mucho tiempo como vía de transporte, limitándose á utilizar la energía disponible en los saltos que proporcionan las esclusas.

Está, por lo tanto, muy justificado que se procure estudiar si como canal de riego podrá tener aplicación esta importante obra, que en breve plazo habrá de revertir al Estado. Con este objeto se habían incluido en el plan de obras hidráulicas pantanos de alimentación puesto que el caudal de agua que hoy discurre por el Canal no es más que de 4 y medio metros cúbicos, y eso sólo durante los meses de otoño, invierno y primavera, pues en el verano los ríos Pisuerga y Carrión no disponen de ese volumen en los puntos de toma, el primero por realizarse ésta en la parte alta de su cuenca, y el segundo porque los riegos existentes disminuyen mucho su estiaje.

Para remediar esta penuria se incluyeron en el plan de obras hidráulicas de 1900 los pantanos de Entrepeñas, hoy Príncipe Alfonso; Peña Caballera, hoy Infante Jaime; Recozones, Otero y la Hoz; los tres primeros en la cuenca del Pisuerga y los dos últimos en la del Carrión.

Los llamados Príncipe Alfonso ó Infante Jaime tienen proyectos aprobados, y los otros tres están sólo en ante-proyecto. Una vez construidos estos embalses, podría dotarse al Canal con un volumen de 7 y medio metros cúbicos por segundo durante tres meses, con cuya cantidad podría asegurarse el riego de 25.000 hectáreas destinadas á cereales, suponiendo que se den dos riegos de primavera y uno de otoño, y que para uno de los primeros no sea necesario recurrir al agua de los embalses, puesto que en esa época los ríos tienen bastante en los puntos de alimentación del Canal para suministrar todo lo necesario para los riegos.

Aun cuando no se ha levantado el plano de la zona regable, de los reconocimientos practicados resulta que puede asegurarse que la superficie dominada por el Canal es mucho mayor de la consignada anteriormente; también la capacidad de transporte es mucha más de la supuesta; por lo tanto, el problema de su aprovechamiento es, en primer término, el de encontrar medio de aumentar los volúmenes embalsados, bien por aumento de los pantanos en proyecto, bien por la capacidad de éstos, si las condiciones del terreno son para ello favorables.

En ambos casos hay la seguridad de encontrar provechosa aplicación á toda el agua que pueda almacenarse, porque la zona dominada por el Canal es tan extensa, que aun sin suponerla dedicada á cultivo intensivo, ha de tener cabida para emplear toda el agua que pueda discurrir por el Canal. La transformación que esta mejora haya de producir en las provincias de Palencia y Valladolid es incalculable, puesto que sólo con asegurar la cosecha de cereales en la superficie servida por el Canal se habrá regenerado una gran parte de ambas provincias. Además, podrán también asegurarse los riegos de las vegas de Saldaña y Carrión en la cuenca de este último río antes de su confluencia con el Canal.

Claro es que tal ventaja implica el peligro de que no llegue al mismo todo el volumen que se le destine de los pantanos que alimentan la cuenca del Carrión, pero podrá conjurarse mediante un aforo exacto de los riegos actuales, que siempre habrán de salir beneficiados por la mayor regularidad que resulte en el régimen del río.

La ley, por otra parte, autoriza al Gobierno para concertar con la Empresa el utilizar el Canal para el riego desde el momento en que el volumen de agua embalsada en los pantanos permita disponer de la necesaria para este servicio; y como la Empresa ha de salir también beneficiada, si puede utilizar la energía de los saltos en los meses de verano en que ahora carece de agua, parece bien fácil el concierto de ambos intereses, puesto que, lejos de haber contraposición ó perjuicio, resulta beneficio en ambos conceptos; de modo que puede asegurarse que la aplicación de la nueva ley de transformación del Canal de Castilla en canal de riego ha de abrir una era de prosperidad para Castilla la Vieja, hoy tan necesitada de elementos que permitan mejorar su decadente agricultura.

P U E N T E S

Observaciones sobre la estabilidad de los viaductos.

M. Bonneau, Ingeniero de Puentes y Calzadas, ha publicado en los *Annales de Ponts et Chaussées*, tomo I, 1909, una nota referente á un estudio que ha llevado á cabo sobre las bóvedas y viaductos partiendo de ciertas hipótesis acerca de la deformación de los materiales empleados; fijándose principalmente en el caso de un viaducto ordinario, investiga lo que en esta obra ocurre basándose simplemente en los principios más elementales de la mecánica racional y de la resistencia de materiales, y haciendo uso solamente de dos ó tres resultados numéricos suministrados por el análisis, á fin de poder dar apreciaciones cuantitativas.

Casos de inestabilidad de un viaducto.—Un viaducto pue-

de caerse, ya porque sea inestable en el sentido de la mecánica racional, ya porque lo sea en el de la resistencia de los materiales.

La primera inestabilidad que llamaremos absoluta es la que resulta de la situación de un cuerpo que no puede contrarrestar las acciones que lo solicitan; por ejemplo, una mesa que es empujada horizontalmente y en la que la resultante del empuje y del peso propio sale fuera de la base de sustentación; esta inestabilidad es independiente de la naturaleza del cuerpo.

La segunda inestabilidad que llamaremos relativa es la que resulta de la situación de un cuerpo que está sometido en uno ó muchos puntos á acciones moleculares bastante importantes para determinar la desagregación de la materia y hacer que la forma primitiva cambie notablemente; por ejemplo, un piso cargado con exceso en el medio y que se rompe; esta inestabilidad depende evidentemente de la naturaleza del cuerpo.

Si tomamos una bóveda que se apoya entre dos estribos, estará en estado de inestabilidad absoluta cuando la resultante del empuje y del peso propio salga de la base de los estribos, y estará en estado de inestabilidad relativa cuando á consecuencia de la separación de los arranques la curva de presiones esté bastante próxima del trasdós en la clave y del intradós en los arranques, para que la materia no resista en estos puntos á la compresión que en ellos se desarrolla.

Siendo la curva de las presiones una noción de la mecánica racional, se puede decir que la inestabilidad absoluta se producirá cuando esta curva se salga del contorno aparente de la obra; es necesario, pues, que de antemano esta curva se aproxime hasta el punto en que se produzca la inestabilidad relativa. El estudio de la primera inestabilidad da, por lo tanto, un límite dentro del cual la segunda puede todavía producirse.

Ejemplos de inestabilidad absoluta de un viaducto.—Tomemos un viaducto compuesto de dos arcos (fig. 1.^a), y supongamos que los estribos son invariables y que la pila intermedia tiene una rigidez nula en el sentido horizontal, de suerte que pueda ser reemplazada por un carretón de dilatación.

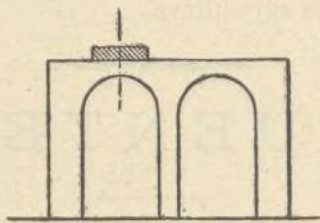


Fig. 1.ª

En el estado de reposo la estabilidad está asegurada por la fijeza de los estribos y la simetría del conjunto; el empuje es el mismo en los dos arcos y las curvas de presiones idénticas.

Carguemos ahora el arco de la izquierda; la carga da un empuje suplementario que por la izquierda encuentra su oposición en la resistencia del estribo, pero que por la derecha ha de venir necesariamente del arco próximo; el empuje debe, pues, aumentar en éste.

Este aumento desempeña el mismo papel que el esfuerzo horizontal sobre la mesa cuando ésta es bastante elevada para que la resultante del peso propio y del empuje total

salga del contorno aparente, y la inestabilidad absoluta será realizada; se llega así á esta noción muy clara; hay un límite que la sobrecarga del arco de la izquierda no debe rebasar.

Vamos á ver cuál deberá ser este límite.

Al mismo tiempo que el arco de la izquierda se peralta y que su empuje aumenta, el arco de la derecha se rebaja y su empuje disminuye; es necesario que la igualdad se realice antes de que una de las curvas de las presiones salga del contorno aparente del arco correspondiente.

El valor límite del empuje en el arco de la derecha se alcanza cuando la curva de las presiones es lo suficientemente aplastada para que toque el intradós en la clave y el trasdós en los arranques. Este valor es fácil de calcular escribiendo la igualdad de los momentos del empuje y del peso de la semibóveda en relación al punto de paso de la resultante en los arranques.

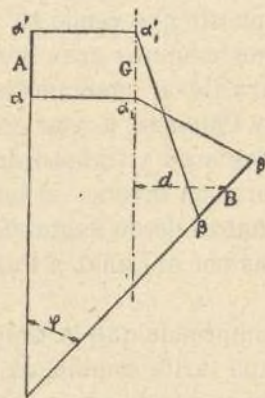


Fig. 2.ª

Representemos un esquema del semiarco (fig. 2.^a) con la sección $\alpha\alpha'$ de la clave, la $\beta\beta'$ del arranque y el centro de gravedad G de la bóveda; designemos por a la semiluz, por b la flecha, por d la distancia horizontal de G al centro del arranque, por e_0 y e_1 el espesor de las secciones extremas, por φ el ángulo que éstas forman entre sí y por P el peso de la semibóveda con su carga permanente. El valor límite del empuje es:

$$P \cdot \frac{d + e_1 \frac{\text{sen } \varphi}{2}}{b - 2 \frac{e_0 + e_1 \cos \varphi}{2}}$$

De la misma manera en el arco de la izquierda, el valor límite del empuje será, suponiendo que la sobrecarga es simétrica y designando por P' la mitad de su peso y por d' la distancia del centro de gravedad al del arranque:

$$P' \cdot \frac{d - \frac{e_1 \text{sen } \varphi}{2}}{b + \frac{e_0 + e_1 \cos \varphi}{2}} + \frac{P' \frac{d' - e_1 \text{sen } \varphi}{2}}{b + \frac{e_0 + e_1 \cos \varphi}{2}}$$

para no llegar á la inestabilidad es necesario que la segunda expresión sea siempre menor que la primera, es decir, que:

$$P' d' \left(1 - \frac{e_1 \text{sen } \varphi}{2d'}\right) \left(1 - \frac{e_0 + e_1 \cos \varphi}{2b}\right) < P e_1 \text{sen } \varphi + \frac{P d}{b} (e_0 + e_1 \cos \varphi)$$

Se puede satisfacer á esta desigualdad:

1.º Disminuyendo $P'd'$, es decir, si la forma y el peso del convoy son conocidos, ensanchando la bóveda;

2.º Aumentando e_0 y e_1 , es decir, empleando bóvedas espesas; y

3.º Aumentando P ó $\frac{Pd}{b}$, esto es, haciendo una bóveda cuya carga permanente y el empuje sean elevados.

Esto pone de manifiesto claramente cuán peligroso es variar sin discernimiento los tres elementos de que venimos hablando: ancho, espesor y carga permanente de las bóvedas de un viaducto.

Tomemos, por ejemplo, arcos caracterizados de la manera siguiente, que es corriente en la práctica usual:

$$\varphi = 60^\circ \quad b = \frac{7}{12} a \quad e_0 = \lambda a \quad e_1 = 2e_0$$

$$P = p_0 a + \frac{a^3}{6} \delta \quad Pd = p_0 \frac{a^2}{2} + \frac{a^3}{30} \delta$$

en donde p_0 es la carga permanente en la clave, δ la densidad media de la bóveda y de su carga permanente y λ un coeficiente que generalmente se coge de manera que el valor e_0 corresponde á una fórmula próxima de la siguiente:

$$e_0 = 0,18 (1 + \sqrt{2a})$$

de suerte que λ es próximamente un décimo cuando a es próximamente 10 metros.

Para estos valores de los datos, la desigualdad que hemos indicado anteriormente se convierte en la siguiente:

$$0,70 P'd' < \lambda a^2 (3,5p_0 + 0,40a\delta),$$

y cuando la sobrecarga está uniformemente repartida á razón de un peso p' , por metro cuadrado, en la siguiente:

$$0,70 \frac{P'_0 a^2}{2} < \lambda a^2 (3,5p_0 + 0,40a\delta).$$

Si se quiere reservar un cierto margen de manera, por ejemplo, que las oscilaciones de la curva de presiones no rebasen la mitad de la amplitud total que hemos determinado, la desigualdad á satisfacer será la siguiente:

$$0,80 p'_0 < \lambda (3,5p_0 + 0,40a\delta).$$

Cuando la luz es de 20 metros próximamente, la sobrecarga constituida por un convoy de vagones de 50 toneladas puede llegar á 8 toneladas por metro lineal, ó sean 2 toneladas por metro cuadrado en una bóveda de 4 metros de anchura. En estas condiciones la desigualdad es:

$$0,45p_0 + 0,50\delta > 2,$$

que es satisfecha con las dimensiones ordinariamente adoptadas.

Si la luz es de 8 metros, la carga más desfavorable está constituida por una locomotora del tren tipo colocada en la clave, y para que la amplitud de la oscilación de la curva de presiones no rebase la mitad del límite indicado es necesario que

$$p_0 + \frac{\delta}{2} < 3,5,$$

condición que no se cumple generalmente con las dimensiones ordinarias.

En todos los casos se ve cuán falsa es la idea que tienen de la estabilidad de un viaducto los constructores, cuando quieren satisfacer á la condición de que la curva de las presiones no salga del tercio central.

Si en lugar de suponer que los arranques de dos arcos próximos se desplazan sobre un carretón horizontal, se admite que pueden también girar alrededor de un eje, el momento de la sobrecarga con relación á este eje provocará una rotación que no se contendrá más que después de una cierta deformación de la curva de presiones. Se tiene aquí una nueva causa de inestabilidad absoluta que presenta, sin embargo, mucho menos peligro que la precedente, puesto que las pilas tienen en este sentido una rigidez suficiente.

En la práctica estos casos de inestabilidad absoluta se transforman en casos de inestabilidad relativa á causa de la presencia de las pilas, pero hay interés en tratarlos desde el primer punto de vista por la claridad de los resultados.

Examinemos ahora lo que ocurre en la pila: es suficiente el suponer que el movimiento horizontal del carretón de dilatación y su movimiento de rotación están impedidos por dos resortes.

Es fácil ver desde luego que bajo la acción de la sobrecarga el vértice de la pila se mueve hacia la derecha y que por consecuencia el punto de aplicación de la reacción debe estar en la zona que corresponde á este desplazamiento; además, si la rigidez no es muy grande el vértice tiende á girar en el sentido de la sobrecarga y el punto de aplicación se encontrará en la zona correspondiente.

La parte común á estas dos zonas se determina fácilmente; es generalmente poco extensa en una pila de igual resistencia: es la región comprendida entre el tercio inferior y el medio.

Si la rotación del vértice es nula, el punto de aplicación está exactamente en el medio.

Examinemos la cuestión más de cerca escribiendo las ecuaciones de equilibrio del sólido formado por los dos semi arcos y la parte superior de la pila (fig. 3.ª)

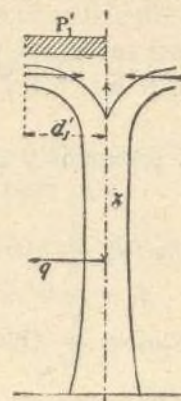


Fig. 3.ª

Designemos por Q_0 el empuje de cada arco en reposo, la acción de la sobrecarga produce un empuje suplementario igual á $\frac{P'd'}{b}$ que está equilibrado por una disminución Q en el empuje inicial del arco sobrecargado, un aumento Q en el arco próximo y la reacción q de la pila, se tiene, por lo tanto:

$$\frac{P'd'}{b} Q + Q' + q.$$

Si P' y d' son el peso de la sobrecarga contada hasta el eje de la pila y la distancia del centro de gravedad á este eje, el momento $P'd'$ está equilibrado por el par de empujes sobre los arcos, el momento de reacción m de la pila y el momento de reacción M desarrollado por la rotación de los arranques;

$$P'_1 d'_1 = (Q_0 + Q') u_0 + m + M,$$

en donde u_0 designa la distancia vertical de los empujes definitivos en los dos arcos y

$$m = qz,$$

siendo z la distancia del punto de aplicación de q á la horizontal del vértice de los arcos.

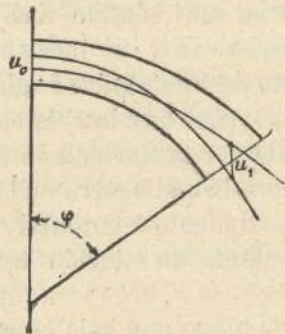


Fig. 4.ª

Se puede, por otra parte, demostrar que $(Q_0 + Q')u_0$ es pequeño con relación á $P'_1 d'_1$. En efecto, se tiene (fig. 4.ª):

$$Q + Q' = Q_0 \left(\frac{u_0 \operatorname{sen} \varphi}{d} + \frac{u_0 + u_1 \operatorname{cos} \varphi}{b} \right)$$

de donde

$$(Q + Q') b = Q_0 u_0 + Q_0 u_1 (\operatorname{cos} \varphi + \frac{b}{d} \operatorname{sen} \varphi).$$

En el segundo miembro el segundo término es siempre de tres á cuatro veces más grande que el primero; por lo tanto

$$Q_0 u_0 < \frac{1}{4} (Q + Q') b$$

y

$$(Q_0 + Q') u_0 < \frac{1}{4} (Q + Q') b + Q' u_0,$$

y como Q y Q' son muy próximos y u_0 es menor que $\frac{b}{4}$

$$(Q_0 + Q') u_0 < \frac{3}{8} (Q + Q') b$$

ó bien

$$(Q_0 + Q') u_0 < \frac{3}{8} (P'_1 d'_1 - qb)$$

y como $P'_1 d'_1$ es generalmente muy próximo de $\frac{3}{2} P'_1 d'_1$ se tiene

$$(Q_0 + Q') u_0 < \frac{1}{5} P'_1 d'_1.$$

La ecuación de los momentos puede, por lo tanto, escribirse así:

$$\lambda P'_1 d'_1 = qz + M$$

siendo λ próximo de la unidad.

Es fácil ver en estos elementos cuál debe ser la rapidez de la pila para que su vértice no gire en el sentido de la sobrecarga; se tendrá, en efecto, en este caso

$$\frac{P'_1 d'_1}{b} = Q + Q' + q$$

y

$$\lambda P'_1 d'_1 = q \left(\frac{l}{2} + b \right),$$

siendo

$$q = 12 \frac{E'I'}{l^3} \alpha$$

designando por E' , I' y l el coeficiente de elasticidad, el momento de inercia y la altura de la pila y por α el desplazamiento horizontal del vértice.

Por otra parte, si las bóvedas no están muy apretadas

$$Q = Q' = K \frac{EI}{r^3} \alpha$$

designando por E , I y r el coeficiente de elasticidad, el momento de inercia en la clave y el radio de un arco, y por K un coeficiente que se determine en la teoría analítica de las bóvedas, y cuyo valor es próximamente 80 para el tipo de arco de 10 á 12 metros de luz que hemos admitido.

Llevando estas condiciones á la ecuación de momento, se tiene

$$1 + \frac{K}{6} \frac{EI}{E'I'} \frac{l^3}{r^3} = \frac{P'_1 d'_1}{\lambda P'_1 d'_1} \left(\frac{l}{2b} + 1 \right).$$

Si se supone que sensiblemente

$$\frac{P'_1 d'_1}{\lambda P'_1 d'_1} = 1$$

$$\frac{Ee^3}{L'e'^3} \cdot \frac{l^3}{r^3} = \frac{6l}{Kr} = \frac{1}{13} \frac{l}{r}$$

como sucede frecuentemente que

$$l = 4r$$

y

$$e = \frac{r}{10}$$

en estas condiciones si

$$E = E'$$

se debe tener

$$e' = 0,6r;$$

es decir, una dimensión muy superior á la que se adopta para las pilas de los grandes viaductos donde la regla habitual es

$$e' = 0,42.$$

Es verdad que hemos supuesto una pila de igual resistencia, y, por lo tanto, que sus dimensiones aumentan hacia la base, pero el coeficiente E' es un poco más débil que E , y aun admitiendo que nos hayamos equivocado en un 100 por 100 sobre la rigidez de la pila, todavía encontraremos

$$e' = 0,46r,$$

que es claramente superior á la dimensión habitual.

Resulta de aquí que con las dimensiones corrientes, el vértice de la pila girará ligeramente en el sentido de la sobrecarga, y el punto de aplicación de la reacción de la pila estará un poco por debajo de la mitad de la altura. El estudio analítico demuestra que M no alcanza valores notables más que cuando e' está en la mitad del valor admitido corrientemente; por lo tanto, se tendrá sensiblemente

$$qz = \frac{4}{5} P'_1 d'_1 = P'_1 d'_1$$

y

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

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_1 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

$$P_1 = 2\delta \left[\left(r + \frac{e'}{r} \right) \left(r + \frac{3e_0}{2r} \right) - \frac{\pi r^2}{4} \right].$$

Por otra parte, el momento de que q es sensiblemente

$$\frac{1}{2} P_1 d_1 = \frac{\delta'}{4} \left(r + \frac{e'}{2} \right)^2$$

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

$$\frac{\frac{1}{2} P_1 e'}{\frac{1}{2} P_1 d_1} = \frac{4\delta e'}{\delta'} \left(1 - \frac{\pi}{4} + \frac{3e_0}{2r} - \frac{e'}{2r} + \frac{\pi e'}{4r} \right).$$

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.

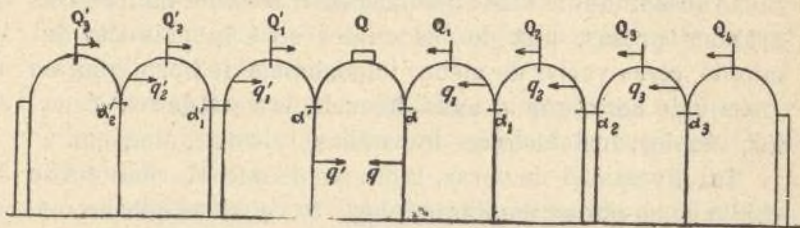


Fig. 5.^a

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 (Mg.H ² CO ³).....	305
Cloruro magnésico (Mg.Cl ²).....	192
Cloruro potásico (KCl).....	20
<hr/>	
Total de materia sólida.....	9.077
Peso después de calcinada.....	8.855
<hr/>	
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 atribuirlos 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 Boletines 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 á 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 ² O ³).....	6,85
Oxido férrico (Fe ₂ O 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 ² O),	1,74
{ Potasa (K ² O).....	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.º Un estudio sobre la naturaleza y composición de los «alcalis» que se encuentren en el emplazamiento de las obras.
- 2.º Un estudio minucioso de los materiales disponibles para confeccionar los hormigones, esto es, de la arena y de la piedra.
- 3.º Estudio de los procedimientos más convenientes para disminuir todo lo posible la permeabilidad de los hormigones.
- 4.º 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. Boissanas 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. Boissanas 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 Azimontí, 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 Azimontí se resumen en el *Giornale del Genio Civile* de Diciembre. La fórmula es la siguiente:

$$l_0 = \frac{i + 6}{20} P \cdot l.$$

en la cual:

l_0 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.

Juntas de carriles.—(Nota de M. Pellarin, Ingeniero de Puentes y Calzadas.—*Annales des Ponts et Chaussées.*)

En el momento actual, el problema del aumento del peso por eje del material móvil está á la orden del día; los trenes son cada vez más pesados y también se les quiere arrastrar con mayor velocidad. Para ello son necesarios motores muy potentes y de mayor adherencia, para poder utilizar su potencia; y se pretenden realizar pesos adherentes de 50 toneladas para las máquinas de gran velocidad, y de 100 toneladas para las de mercancías.

La división de este peso en un gran número de ejes presenta el inconveniente de aumentar la superficie de asiento rígido, y la solución de máquinas con trenes articulados da lugar á numerosas sujeciones; hay, pues, que llegar al peso máximo por eje compatible con el estado de la vía.

En Francia se ha llegado á 18 toneladas por eje, en Inglaterra á 20 toneladas, en Bélgica á 10,5, y se encuentran 28 toneladas más allá del Atlántico.

Es evidente que los puntos en donde este incremento de carga obligan á ciertas restricciones, son principalmente las obras de arte y las juntas de los carriles; y en estas últimas, por razón de la complejidad de las acciones que en ellas se ejercen, no pueden hacerse más que estudios prácticos y experimentales.

El autor de la nota á que nos venimos refiriendo, da cuenta de una misión que ha cumplido en Bélgica, Italia, Suiza, y Holanda, con objeto de estudiar esta cuestión de las juntas de los carriles.

Nos limitaremos nosotros á mencionar aquello cuya necesidad en los momentos actuales es reconocida por todos los países, y que es la siguiente:

- 1.º Tener un tipo de carril robusto, que pese de 40 á 48 kilogramos, no más, con una altura de 145 milímetros próximamente.
- 2.º Aproximar las traviesas de junta lo más posible, de 480 á 520 milímetros de eje á eje.
- 3.º Aproximar las traviesas de contra-junta, de manera que el carril pueda considerarse como una viga de tramos solidarios; se adopta una separación de eje á eje de 550 á 650 milímetros; y
- 4.º Emplear bridas de gran momento de inercia, y muy largas, descansando sobre las traviesas de junta; estas bridas se fijan enérgicamente contra el carril ó las traviesas de junta.

Empleo del «montaje en cascada» en las instalaciones eléctricas, con velocidad variable.

M. Heyland ha estudiado y designado con el nombre de montaje en cascada, un conjunto de disposiciones, de las que la *Industrie Électrique* del 10 de Marzo da la descripción y expone las ventajas.

El principio de este montaje consiste en intercalar en el circuito de un alternomotor provisto de anillos colectores, un motor auxiliar con excitación independiente.

Este motor auxiliar posee una tensión propia, que se regula por la excitación, y esta tensión regula la del inducido del primer motor. Al mismo tiempo el motor auxiliar desempeña el papel de convertidor, y transforma en continua una parte de la energía del motor principal; esta corriente acciona entonces el motor de trabajo, es decir, el que mueve la máquina (lamina-dor, máquina de extracción, etc.) en vez del motor principal.

En todos los casos en que el pedido de potencia es muy irregular, estas disposiciones tienen la ventaja de permitir una regulación perfecta de la velocidad, entre muy amplios límites, y sin ninguna transformación de la energía primaria, estando el motor principal acoplado directamente sobre la red, de lo que resulta una gran seguridad de funcionamiento, con arranque y

acción del freno progresivos, regularidad que aún puede aumentar con el empleo de un volante.

Todas estas ventajas se obtienen sin el empleo de regulador que actúe sobre el deslizamiento y sin intercalar resistencias. En todos los casos, arranque ó marcha normal, el desacuñado es reducido y el sistema asegura una regulación automática de la red. Se puede operar también con corriente trifásica como con corriente alterna simple.

En los casos de la tracción eléctrica, se obtendrá una amplia reducción en los accesorios de la locomotora, y será posible, sobre todo, el suprimir el transformador de tensión y alimentar directamente los motores. Desaparecerán igualmente los demás inconvenientes de la corriente alterna simple, tales como la gran llamada de corriente en el arranque y las chispas de conmutación.

La comparación con la corriente alterna simple desde el punto de vista económico dará también un resultado favorable.

Determinación de la tensión máxima del vapor.

En la *Zeits. des Ver. deuts. Ingen.* del 20 de Febrero, MM. Holborn y Henning dan cuenta de los ensayos que han hecho para comprobar la tensión del vapor saturado á temperaturas comprendidas entre 50 y 200 grados, dadas por Regnault.

Esta comprobación se ha hecho por medio de un cilindro de cobre de 15 centímetros de diámetro y 32 centímetros de longitud, en el cual se vaporizó el agua calentándola por medio de una corriente eléctrica y que estaba en comunicación indirecta con una atmósfera artificial mantenida á una presión determinada. La temperatura del vapor se medía con un termómetro de hilo de platino, y la presión por medio de un manómetro de mercurio al aire libre de 12 metros de altura.

Los ensayos, hechos con toda la precisión deseable, han dado los resultados siguientes:

Por debajo de la presión atmosférica, las presiones observadas han sido un poco más elevadas para las mismas temperaturas, y lo contrario ha ocurrido para las presiones superiores á 760 milímetros de mercurio.

Las diferencias no han pasado, sin embargo, de un 0,5 por 100.

Perfeccionamientos realizados en los hogares de las calderas de cargamento mecánico.

El *Electrical Engineering* del 11 de Febrero analiza una Memoria presentada recientemente en la Bradford Engineering Society, por M. Bennis, sobre la alimentación de los hogares de las calderas.

El autor agrupa estos aparatos en cuatro clases:

1.º La primera clase que comprende los distribuidores continuos, se compone de una tolva colocada en la base de cada chimenea, y se coloca el carbón en una placa oscilante que le proyecta sobre la parrilla.

2.º Los distribuidores intermitentes comprenden dos tolvas para cada hogar. Una caja colocada debajo de cada tolva recibe el carbón, que es empujado por una placa que posee un movimiento de vaivén sobre una pala que tiene la forma de una V; esta pala, movida por un perfil y un resorte, distribuye el combustible sobre la cuarta parte del hogar, y durante este tiempo el otro cuarto se pone incandescente.

3.º Los distribuidores con cadenas poseen una sola tolva que dirige el carbón á dos cajas que unos émbolos empujan alternativamente sobre una placa perforadora, donde empieza á arder, y de un modo progresivo hasta el fondo del hogar; y

4.º El tipo de la cuarta clase se parece al precedente, pero el combustible es ayudado en su combustión por coque ya incandescente; de este modo se quemán la totalidad de los gases.