

trucción de este ferrocarril constituyen una buena parte de las dos Sociedades: *Compañía del Ferrocarril de Medina a Zamora y Orense a Vigo*, y *Sociedad Constructora Ferroviaria*, que, según es notorio, han sido las propulsoras de la ejecución de esta vía férrea y están, a su vez, apoyadas por Bancos poderosos de Barcelona y Galicia.

2.^a En la pronta realización del ferrocarril cifran, además, sus esperanzas las fábricas de Vasconia y Cataluña, todas exhaustas de pedidos, algunas al borde del cierre, aunque sostenidas por Bancos de Madrid y Bilbao, *por lo que ansian suministrar los cien millones de carriles y material móvil que aquella línea exigirá.*

3.^a Todas estas entidades y Bancos están además interesados en la prosperidad de la nueva Compañía del Oeste, de la que forman parte, y que habría de ser la favorecida con la apertura e inclusión en su red de la línea Zamora a Coruña, *que enlaza y centraliza todas sus demás vías.*

4.^a Es evidente también que los Gobiernos y el resto del país *acogerían con alborozo el abandono en favor de Galicia y como subvención ya invertida de los cien millones allí gastados.*

5.^a No parece tampoco dudoso que los constructores y fabricantes ganarán en las obras y en la fabricación del material un 10 por 100 de su importe total, o sean unos 44 millones, y que, en la situación angustiosa de la economía nacional, tendrían el rasgo patriótico de renunciar a esa utilidad inmediata, pensando en los beneficios de todo orden que les produciría la realización de aquel sueño ¹.

Si al gasto de 340 millones que falta ejecutar le restamos esos 44 millones de utilidad, resultarán sólo necesarios 296 millones para terminar y poner en explotación el ferrocarril.

Pues bien, el beneficio anual, calculado en 15 mi-

¹ Merced al derecho de tanteo en los concursos que consiguió la Sociedad Constructora y a los aranceles de que disfrutaban los fabricantes, es probable que aún les quedaría un beneficio apreciable. Muchos contratistas se contentarían hoy con no perder.

llones, equivale al 5 por 100 de interés para aquel desembolso.

Tratándose de una región tan rica y poblada como Galicia, según demuestra Machimbarrena, que ha de responder con un aumento considerable de tráfico, por el desarrollo industrial pesquero y agrícola que la construcción del nuevo ferrocarril provocará, es también seguro de que sus banqueros, comerciantes y propietarios no vacilarán en contribuir a un negocio que ofrece el *porvenir brillante que con tanto entusiasmo y convicción anuncian sus defensores.*

La solución óptima e incuestionable que aquel feliz conjunto de circunstancias me ha sugerido, consiste en que *terminen y exploten el ferrocarril los que tanto han de beneficiarse con la nueva línea.*

Así quedarán también satisfechos los demás españoles, que desean a gallegos y banqueros el mayor provecho en ese fructífero negocio, a cuya realización han contribuido aquéllos ya con una respetable subvención de cien millones.

Obsérvese, por último, que pudieran solucionarse análogamente los demás ferrocarriles en construcción, lo que permitiría a España reservar su potencia económica para las obras hidráulicas, que han de resolver el fatídico problema agrario, que es, quizá, el más urgente y grave de cuantos nos agobian.

J. EUGENIO RIBERA

* * *

Agradezco vivamente a mi querido amigo D. José Eugenio Ribera el tono cordial que, como esperaba, emplea en su artículo, al rebatir las afirmaciones de los míos, y el acatamiento general que presta a mis más fundamentales argumentos, que, como dije, no eran muchos de ellos de exactitud matemática, por lo que ha sido relativamente fácil discutirlos a persona tan experta en estas lides como Ribera.

Tampoco a mí me sería difícil la contrarreplica; pero, conseguido el objeto que me propuse de deshacer el mal sabor de boca que había producido el que Ribera publicó en el periódico *Ferrocarriles y Tranvías*, repartido muy profusamente, dejo al público, muy interesado, que sentencie.

Vicente MACHIMBARRENA

La dosificación de los hormigones

I

No tiene nada de extraño que el estudio de los hormigones haya ocupado un lugar importante en la literatura técnica de los últimos años, puesto que por ser su uso tan general y vario y emplearse en la construcción de masas enormes en las obras hidráulicas, en los puertos, en cimentaciones y hasta en las mismas estructuras, una ligera disminución en su precio habrá de producir economías muy importantes. A esto se puede añadir el afán de poder alcanzar elevadas cargas específicas de trabajo para aumentar aún más su vasto campo de aplicación; recordemos que Freysinet, después de su experiencia en el puente de Plougastel, cree posible la construcción de puentes de cemento armado con luces del orden de 1 000 metros

y cargas de trabajo del hormigón hasta de 280 kilogramos por centímetro cuadrado.

Este estudio detallado no ha sido estéril, sino que ha conducido al descubrimiento de nuevas leyes y al empleo de nuevos métodos de trabajo, y, como consecuencia, a una economía apreciable en el empleo del hormigón. Por un lado, al conocerse de modo más exacto la influencia de los distintos elementos en el producto, se han podido obtener hormigones de las mismas cualidades útiles (resistencia específica, principalmente) a un precio menor; de otra parte, este mejor conocimiento, unido a un control intenso, pero, sobre todo, referido a los aspectos verdaderamente útiles, ha permitido disminuir el coeficiente de seguridad con la reducción de secciones correspondiente,

más la adicional producida por la disminución del peso propio.

Los autores que primeramente se han ocupado del asunto estudiaron principalmente la calidad de los materiales: dureza de la piedra, influencia de las impurezas de la arena y del agua de amasado, etc.; a la vez, el rápido y continuo progreso de la técnica de la fabricación del cemento ha sido el principal fundamento de la generalización de las obras de hormigón armado, hasta llegar a la introducción de los cementos especiales—de gran resistencia y aluminosos—, que han determinado una técnica y una economía nuevas para esta clase de obras.

Posteriormente se estudió el modo de mejorar las dosificaciones: primeramente, la mejor composición del árido (curva de Fuller-Thompson, 1907), y después, una vez descubierta la influencia perjudicial del exceso de agua, las relaciones entre la clase del árido y la cantidad de este elemento (módulo de finura de Abrams, 1920). A través de una literatura abundante, aunque muy confusa y desordenada, se han difundido por Europa estos dos conceptos americanos —curva de composición óptima y módulo de finura— a modo de recetas, pero generalmente desligados de la teoría completa que les dió origen, por lo que con frecuencia han sido empleados de un modo fragmentario o poco oportuno.

Recientemente hemos podido ver aplicados íntegramente los modernos métodos de dosificación en los pliegos de condiciones de algunas obras españolas importantes, y parece propicia la ocasión para recordar otra vez su utilidad y sus fundamentos, separándolos de algunos detalles operatorios más discutibles y poco prácticos, en general. La presente nota es, en parte, consecuencia de los ensayos que personalmente he realizado en el laboratorio de alumnos de la Escuela de Ingenieros de Caminos, y aprovecho con gusto esta ocasión para expresar mi reconocimiento a la Dirección y al profesor de la asignatura de Materiales de Construcción.

Cualidades de los hormigones

Antes de estudiar su dosificación es conveniente pasar una ligera revista a las propiedades de los hormigones que más generalmente pueden interesar.

Principalmente la *resistencia específica a la compresión* rara vez deja de tener interés; por lo menos, es necesario tener en cuenta un límite inferior, que alcanza valores muy distintos, según la índole de la obra y la parte de ella de que se trate. Además de las condiciones técnicas, da también interés a esta propiedad el que algunos pliegos de condiciones modernos la fijan como índice para definir la calidad del hormigón exigido, en vez de prescribir una cierta proporción de cemento.

Esta propiedad se ensaya directamente por la rotura de probetas a compresión o flexión, convenientemente armadas en este caso; parece innecesario recordar que para que esta clase de ensayos sean útiles y comparables entre sí es preciso detallar minuciosamente el procedimiento de fabricación y rotura de las probetas; mientras no exista un pliego de condiciones unificado será muy conveniente tener a la vista las reglas yanquis¹ y alemanas².

Otras muchas propiedades podrían considerarse; pero la dosificación afecta sólo en pequeña medida a algunas de ellas, como la *densidad*; y otras (impermeabilidad, resistencia al choque y al desgaste, estabilidad de fraguado, etc.), aparte de que aun no han sido estudiadas de un modo sistemático, sólo tienen interés especial en determinadas obras, y prescindiremos por ahora de su estudio.

A estas propiedades, que pudiéramos llamar definitivas, se ha de añadir otra, de carácter temporal:

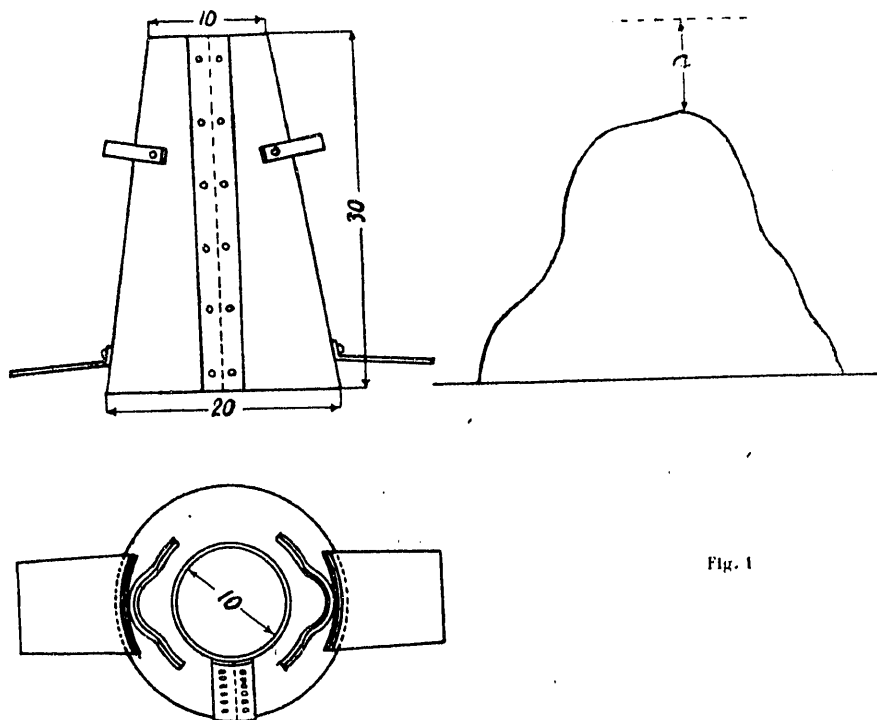


Fig. 1

la mayor o menor *manejabilidad* ("workability") durante su colocación en obra antes del fraguado.

El estudio de la *manejabilidad*, en la que se influye principalmente variando la dosificación del agua, ha adquirido gran importancia desde que se conoció de modo preciso la influencia perjudicial del exceso de este elemento en la resistencia del hormigón.

Es corriente hoy determinar la *manejabilidad* del hormigón a pie de obra en las obras importantes empleando sencillos procedimientos de medida. El más cómodo es el empleo del cono de Abrams ("slump test"), usado principalmente en los Estados Unidos, que consiste en un molde tronco-cónico de las dimensiones acotadas en la figura 1, abiertas las dos bases. Sobre un tablero se rellena de hormigón con tres capas de 10 cm, que se apisonan ligeramente, y tres minutos después de lleno se levanta el molde. El

¹ *Proceedings of the Am. Soc. C. E.*, octubre 1924.

² *Hütte*, ed. española, t. III, pág. 238.

asiento a , medido en centímetros (o en pulgadas), o sea la diferencia entre la altura del molde y la del montón formado por el hormigón, es la medida de la fluidez.

También se han empleado otros métodos análogos, propuestos por distintos experimentadores. Con frecuencia se usa en Europa un cono de menor altura que el americano; después de elevado el molde, el tablero recibe cierto número de sacudidas por medio de una excéntrica, y se determina el diámetro de la base del montón formado por la pasta; la relación de este diámetro al del molde es la medida f de la fluidez. La tabla siguiente (debida a Magnel) permite pasar aproximadamente de una escala a otra y expresa los nombres vulgares correspondientes:

Nombre vulgar	Método de ensayo	
	Asiento	Sacudidas
Muy seco, terroso.	0-1 cm.	$f=1,1$ a $1,2$
Plástico.	1-3 "	$1,2$ a $1,3$
Semifluido, jugoso.	3-10 "	$1,3$ a $1,8$
Fluido.	10-15 "	$1,8$ a $2,3$
Líquido.	15-20 "	$2,3$ a $2,6$

En muchos pliegos de condiciones—especialmente yanquis—se prescribe la fluidez del hormigón que se ha de emplear en las diversas partes de la obra; el "Joint Committee of Concrete Construction" hace las siguientes recomendaciones:

Clase de obra	Asiento máximo en cm
Hormigón en masa.	7,5
Hormigón armado:	
a) Columnas y pequeños espesores verticales.	15
b) Espesores grandes.	7,5
c) Pequeñas secciones horizontales limitadas.	20
Carreteras y pavimentos:	
a) Terminados a mano.	7,5
b) Terminados a máquina.	2,5
Mortero para terminado de pavimentos.	5,0

* * *

El "slump test" es, sin embargo, un método muy imperfecto para determinar por sí solo la manejabilidad de la pasta. Ocurre con algunos hormigones de "slump" elevado, especialmente cuando les falta arena fina, que son muy ásperos y difíciles de apisonar y manejar, se disgregan en sus materiales fácilmente y se transportan con dificultad por canaletas de no añadirse una cierta proporción de arena muy fina (como se hizo, por ejemplo, en la presa del lago de Artouste). Además, hormigones del mismo "slump" tienen con frecuencia trabajabilidad muy distinta si están hechos con materiales diferentes; por ejemplo, si unos son de río y otros de machaqueo.

Y es que la manejabilidad está influida por dos propiedades físicas distintas: una, la fluidez, es la que determina exclusivamente el asiento o "slump"; la otra, a la que llamaremos trabazón, y es semejante a la "viscosidad" o "consistencia", hace que la mezcla sea de buen manejar y no se disgregue en sus elementos; a esta propiedad pocas veces se han referido explícitamente los que han tratado esta materia; pero desempeña un papel muy importante en la obra e influye decisivamente (como veremos) en la

dosificación; tampoco se ha generalizado ningún método para su ensayo o medida.

Influencia de la composición de los hormigones en la resistencia a la compresión

El mayor avance moderno de la ciencia en el estudio de los hormigones es seguramente el descubrimiento de la ley de Abrams¹, que define cuál es esta influencia; fué descubierto al analizar los resultados de una copiosísima serie de ensayos realizados en el Lewis Institute, y ha sido comprobada por numerosas experiencias posteriores.

Se supone hoy que, para igual calidad de los materiales, la resistencia es por completo independiente de la cantidad de cemento y de la de arena y grava que entran en el metro cúbico de hormigón terminado, así como de la composición y forma del árido, y depende exclusivamente de la relación de los pesos de agua y cemento, con una ley parecida a la que se representa en la figura 2.

Desde luego, no es cierto este principio si se enuncia de un modo tan general; pero sí lo es, muy aproximadamente, dentro del campo de las aplicaciones, esto es, para los morteros y hormigones trabajables y compactos dentro de todo el campo de las dosificaciones corrientes.

Esta ley es suficientemente conocida por los ingenieros españoles para que necesite ser demostrada; no dejaré, sin embargo, de citar algunos trabajos literarios que publican resultados de numerosos ensayos, suficientes para que se pueda formar un juicio preciso sobre su exactitud y campo de aplicación².

La función ha sido definida algebraicamente de muchos modos. Duff A. Abrams (del Lewis Institute, de Chicago) la presenta en la forma

$$R = \frac{A}{B^{1,5}}$$

siendo A y B dos variables que dependen principalmente de la calidad del cemento y de los materiales y de las condiciones del ensayo. Como valores medios se pueden considerar $A=1000$ y $B=7$, para obtener el resultado en kg/cm², pero deben ser determinados en cada caso.

Otro investigador, el profesor Otto Graf, de Stuttgart, la escribe así:

$$R = \frac{R_n}{400} \left(\frac{1640}{7^{2w}} + 30 \right)$$

¹ "Design of Concrete Mixtures" y "Quantities of Materials for Concrete", Boletín del Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago 1920.

² Abrams: los dos artículos citados.

Fuller y Thompson: *Engineering News, Engineering Record, Proceedings of the Am. Soc. of C. E.*, 1907.

Young y Walcott: *Proceedings of the Am. Soc. for Testing Materials*, 1920.

Graf: *Der Aufbau des Mörtels und des Betons*. Springer, 1929.

Magnel: *La Technique des Travaux*, 1927.

Bolomey: *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 1927 y 1931.

Graf, Genel y otros: *Beton u. Eisen*, 1928 y 1929.

Mc Millan: "Basic Principles of Concrete Making", *Engineering News-Record*, 1929.

Wynn: "The design of Concrete Mixtures", *Concrete and Construction Engineering*, 1926 y 1930.

Pueden consultarse también las ediciones modernas de los manuales de hormigón armado: Hool, Santarella, etc.

siendo R_n el valor de la resistencia normal del mortero de cemento a los veintiocho días, determinada con arreglo a las instrucciones oficiales, y w la relación ponderal agua-cemento. Otros autores de varias naciones han propuesto fórmulas diferentes; pero todas coinciden aproximadamente, siendo frecuente

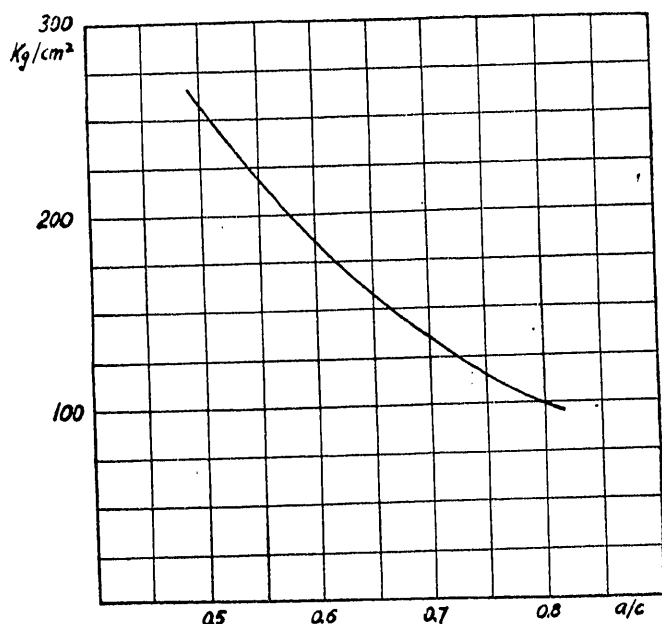


Fig. 2

sustituir dicha ley en la zona de aplicación por una recta, para mayor sencillez.

La universalidad y concordancia de estos resultados ¹ bastarían para que la ley de Abrams pudiera ser aplicada sin reparo; pero la mejor recomendación está en que ya ha sido adoptada por varias Administraciones, y especialmente (de un modo absoluto) por la que regula la construcción de las mayores masas de hormigón en el mundo: la de los Estados Unidos. Nada más instructivo que el pliego normal redactado por una de sus mayores autoridades, el "U. S. Joint Committee von Standard Specifications for Concrete and Reinf. Concrete Construction" ², que dice como sigue:

Calidad del hormigón

a) La carga de trabajo para el proyecto de estructuras de hormigón armado debe basarse en la resistencia mínima, a los veintiocho días, del hormigón que ha de emplearse en la estructura. Todos los planos presentados para su aprobación o que se empleen en la obra deben indicar claramente la resistencia del hormigón que se ha supuesto en el proyecto para cada una de las partes de la obra. La resistencia del hormigón debe ser fijada en función de la relación agua-cemento por uno de los modos siguientes:

1.—Por la curva establecida para materiales corrientes (*average curve*).

¹ Es cierto que se han enunciado leyes mucho más complejas en las que interviene también como variable la proporción de espacios vacíos; pero la pequeña variación de éstos, independiente de la relación agua-cemento para los hormigones que reúnen las condiciones que hemos exigido como fundamentales, corrobora la posibilidad de su aplicación con carácter de muy aproximados.

² *Proceedings of the Am. Soc. of C. E.*, octubre 1924.

2.—Por ensayos directos con los materiales que se empleen en la estructura (*job curve*).

b) Se entiende por relación agua-cemento la cantidad total de agua que forma parte de la mezcla, incluyendo la contenida en el árido, expresada en función de la cantidad de cemento. La relación agua-cemento se expresará en galones por saco de cemento (de 94 libras en U. S. A.).

Relación agua-cemento para materiales corrientes. Cuando no se hayan hecho ensayos previos con los materiales que han de ser empleados en la obra, la relación agua-cemento no debe exceder de los valores indicados en la tabla siguiente. (Las dosificaciones que se indican en el cuadro son sólo aproximadas, y puede ser necesario modificarlas para obtener una trabajabilidad conveniente):

Resistencia supuesta del hormigón ¹

Relación a/c	Relación a/c	Relación a/c	Mezcla aproximada	Resistencia a la compresión supuesta a los 28 días	
				Libras por pulgada cuadrada	Kg/cm²
Medida en peso	En galones yanquis por saco de 94 libras	En galones imperiales por saco de 87,5 libras	Volumen de cemento: Volumen de arena + volumen de grava (secos)		
<i>Hormigón plástico</i>					
0,732	8 1/4	6,19	1 : 7	1 500	105
0,666	7 1/2	5,63	1 : 6	2 000	140
0,600	6 3/4	5,07	1 : 5 1/4	2 500	175
0,533	6	4,5	1 : 4 1/2	3 000	210

Hormigón moderadamente fluido

0,732	8 1/4	6,19	1 : 6 1/2	1 500	105
0,666	7 1/2	5,63	1 : 5 1/2	2 000	140
0,600	6 3/4	5,07	1 : 4 3/4	2 500	175
0,533	6	4,05	1 : 4	3 000	210

Relación agua-cemento por ensayo de los materiales.—Cuando se realicen ensayos para establecer las relaciones agua-cemento que corresponden a distintas resistencias del hormigón, estos ensayos se han de hacer antes de empezar los trabajos empleando los materiales propuestos para la obra. Se establecerá una curva que represente la relación entre la resistencia media del hormigón a los veintiocho días y la relación agua-cemento, para una serie de valores que incluya todas las resistencias indicadas en los planos. Los ensayos deben referirse, por lo menos, a cuatro relaciones distintas y a cuatro muestras, por lo menos, para cada relación. La relación empleada en la obra corresponderá a una resistencia 15 por 100 mayor que la resistencia mínima indicada en los planos, y se demostrará de un modo satisfactorio que esta relación no ha sido excedida.

No se introducirá ninguna variación en los materiales sin que con nuevos ensayos se haya determinado otra vez la relación agua-cemento que ha de ser empleada.

Dosificación del hormigón y consistencia.—Con cualquier relación agua-cemento, la proporción del árido al cemento será tal, que se obtenga un hormigón que se introduzca fácilmente en los ángulos y aristas y entre las barras de la armadura, sin apisonado excesivo y sin dejar que el material se segregue ni fluya a la superficie el agua libre.

¹ Obsérvese que varía linealmente con la relación a/c.

La composición del agregado debe ser tal, que el tamiz número 4 no retenga menos del tercio ni más de los dos tercios del total; la cantidad de material grueso no será tan grande que produzca mezclas ásperas de colocar (*harshness*) o deje oquedades en la estructura.

Los métodos de medida de los materiales que componen el hormigón habrán de permitir la comprobación exacta de la relación agua-cemento.

* * *

Sin duda, la lectura de este pliego de condiciones habrá de ser muy extraña para los que estén acostumbrados a manejar pliegos que suelen decir:

"El hormigón tipo A estará formado por 350 kilogramos de cemento, 400 litros de arena y 800 litros de grava, y la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla jugosa. Esta mezcla representa aproximadamente un metro cúbico de obra terminada."

Pero lo cierto es que, con arreglo a aquel pliego (u otros muy semejantes, en los que tampoco se habla para nada de la cantidad de cemento), se han construido enormes volúmenes de hormigón en las cimentaciones de los célebres puentes de Kill van Kull y colgado del Hudson, en Fort Lee, en las obras del puerto de Nueva York, en muchas grandes presas y

todos los pavimentos de hormigón que se emplean en las carreteras de los Estados Unidos; sólo en el año 1928 se construyeron unos 120 000 000 de m³.

Conviene aquí llamar la atención sobre el hecho de que el nuevo sistema no tiene nada de revolucionario y coincide con el antiguo método de hacer depender la resistencia supuesta del hormigón y la carga de trabajo exclusivamente de la dosis de cemento, porque entre dos mezclas, si los demás elementos son iguales, una que tenga poco cemento necesita casi la misma cantidad de agua que otra mucho más rica para ser igualmente manejable; la relación agua-cemento es, por tanto, mayor en aquella, y su resistencia, según la ley de Abrams, es menor; el criterio antiguo y el americano moderno están, por tanto, de acuerdo.

La ley de Abrams sólo viene a expresar de un modo muy sencillo un hecho conocido, explicando, a la vez, la anomalía, también observada anteriormente, de que los hormigones con la misma dosis de cemento y la misma composición aparentemente ofrecen con frecuencia resistencias muy distintas. Este conocimiento más completo de los hechos y la sencillez de la ley han sido el origen de las modernas modificaciones interesantes en los pliegos de condiciones, de que nos ocuparemos en el número próximo.

Ramón RÍOS
Ingeniero de Caminos

Una visita a Italia¹

II

La instalación hidroeléctrica de Farneta

La instalación hidroeléctrica de Farneta, propiedad del «Consorcio Emiliani di Bonifica», se explota actualmente por la «Società Emiliana di Esercizi Electrici».

Iniciada a fines de 1924 y llevada a feliz término en el año 1928, bajo la dirección y personal técnico especializado de la misma Sociedad, utiliza el agua de dos torrentes, el Dolo y el Dragone, ambos afluentes del Secchia, en la provincia de Módena; las cuencas alimentadoras de los embalses creados en ambos torrentes tienen, aproximadamente, una extensión de 44 km² la del Dolo y 36 km² la del Dragone.

Visitamos esta instalación durante nuestro viaje a Italia, amablemente acompañados por el ingeniero de la Sociedad Emiliana Lorenzo Gambigliani, que fué, a su vez, director de los trabajos durante el comienzo y organización de los mismos.

El viaje hasta el lugar de ubicación de la presa sobre el Dolo (única construída actualmente, ya que la del Dragone está en proyecto) es cómodo y rápido: puede hacerse fácilmente en automóvil desde la histórica ciudad de Parma, sede de la Sociedad, en cuatro horas escasas y a través de un bellissimo paisaje de los Apeninos.

Como hemos dicho, dos son los torrentes aprovechados: el del Dolo y el del Dragone; el agua derivada

de este segundo torrente, altimétricamente superior a la del Dragone en 166 m (ya que las cotas respectivas son de 916 m y 750 m), se incorpora actualmente al embalse producido en el torrente Dolo, sin aprovechar dicho salto. La derivación del agua en el torrente Dragone, y hasta la construcción de la

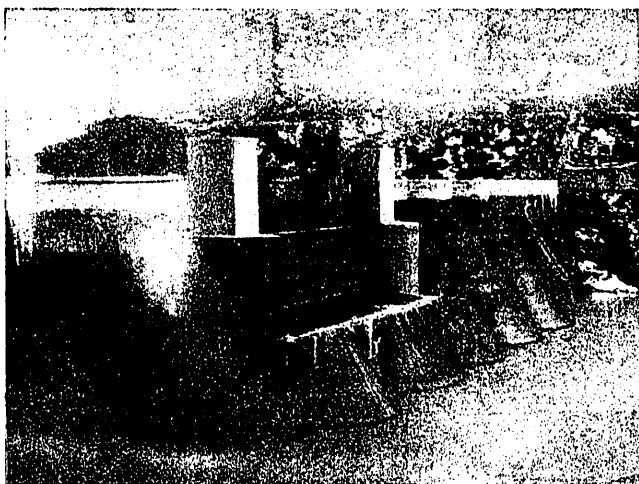


Fig. 1.ª Presa Dolo, vista por el lado de aguas arriba

presa definitiva, se efectúa mediante una presa de gaviones metálicos, de unos 2 m de altura media y 35 m de longitud; el canal de derivación, que arranca de la margen izquierda, tiene en su origen una alineación recta de 390 m de longitud, construída toda ella de madera, que conduce el agua a la galería, ya defi-

¹ Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 1.º de marzo de 1931, página 83.