

## Una presa de hormigón colado

Recientes publicaciones extranjeras se han referido a la presa de Cignana, hoy en construcción en Italia, y ello me ha hecho pensar que interesaría a los lectores de la REVISTA una descripción de sus obras, que he tenido ocasión de visitar, gracias a la generosidad de la Escuela de Caminos, así como una exposición de los métodos allí utilizados para dosificación y empleo de hormigones.

La Societá Idroelettrica Marmore, adherida al grupo S. I. P. (Societá Idroelettrica Piemontesa), está ejecutando un amplio programa para aprovechar la energía del río Marmore y de su afluente el Laplana, tributarios del Dora Baltea, entre Laplana y Chatillon, en el alto valle de Aosta (Alpes italianos) y cerca del famoso Cervino.

El aprovechamiento comprende dos centrales en las que se instalarán hasta 150 000 CV.

La primera, situada en Maen, utiliza dos saltos, uno de 530 m, con agua del Marmore ( $2 \frac{1}{2} \text{ m}^3/\text{s}$ ) deri-

tal con agua del Marmore elevada por medio de bombas desde la conducción inferior. Es decir, que se trata de un aprovechamiento en que la acumulación natural se completa con la artificial, consiguiéndose así almacenar el agua necesaria para el invierno.

En el verano, en que el caudal del Marmore bastará para los suministros, será su agua la única que se utilice, elevando al lago en las horas de menor consumo. La diferente altura de los saltos permite almacenar gran cantidad de energía con caudal relativamente pequeño, y ello es una ventaja de la instalación, más pudiera decirse, una condición imprescindible de la acumulación artificial.

En cuanto a la segunda central, utiliza el agua procedente de la primera más la derivada del Marmore, hasta un total de  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ . La conducción en galería-canal tiene 9 km, y el salto conseguido es de 560 m.

### La presa de Cignana

Es quizá la obra más interesante de la instalación. Su altura máxima es de 70 m y su longitud de 400. Tiene perfil de gravedad, calculado, de acuerdo con las normas del reglamento italiano para presas de esta altura, en la hipótesis de subpresión triangular con valor  $\frac{2}{3}$  de la carga hidrostática en el paramento de aguas arriba.

El volumen de fábrica es de 140 000  $\text{m}^3$  y la carga unitaria máxima 14,5 kg/cm<sup>2</sup>.

En planta tiene forma ligeramente curva, más conveniente por la dirección de la roca de cimientos. Cada 30 m se ha dejado una junta de contracción.

El terreno de asiento está formado por esquistos con serpentina, duros y compactos. La presa se prolonga hacia el NE. por un muro que forma con aquella un ángulo casi recto, el cual tiene 15 m de altura máxima y 100 de longitud.

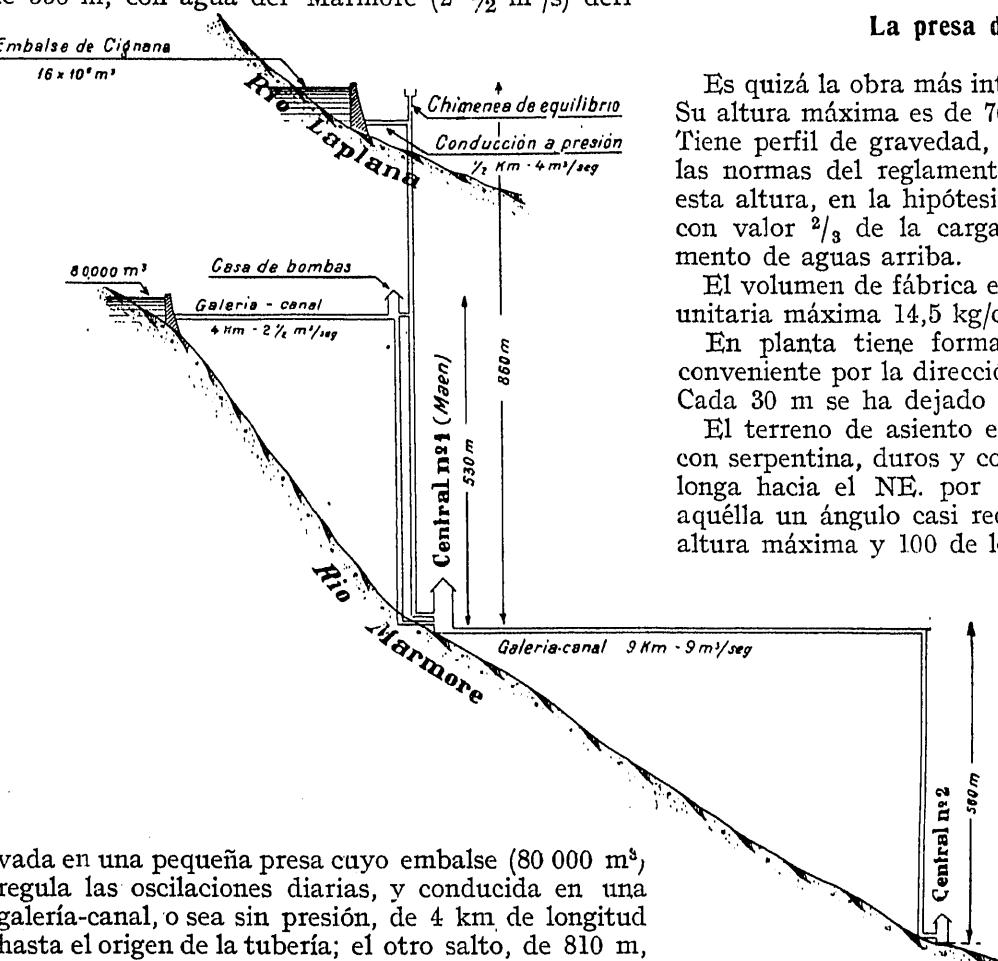


Fig. 1. Esquema general de los aprovechamientos de la Societá Idroelettrica Marmore.

vada en una pequeña presa cuyo embalse (80 000  $\text{m}^3$ , regula las oscilaciones diarias, y conducida en una galería-canal, o sea sin presión, de 4 km de longitud hasta el origen de la tubería; el otro salto, de 810 m, utiliza hasta  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  el caudal del Laplana, embalsado en Cignana.

El embalse tiene 16 millones de  $\text{m}^3$  y se obtiene gracias a una presa de 400 m de longitud en coronación y 70 m de altura máxima; recoge el agua de una cuenca de 13  $\text{km}^2$ , que dan una aportación anual de 13 millones de  $\text{m}^3$ , completándose la capacidad to-

tal con agua del Marmore elevada por medio de bombas desde la conducción inferior. Se escogió esta fábrica por su impermeabilidad y rapidez de construcción, facilitada por la existencia de próximos depósitos de grava y arena, y porque el método de colada permitía competir favorablemente en precios con la mampostería.

La grava y la arena, extraídas con una pala mecánica a unos 500 m de la presa, se transportan en

trenes de vagonetas arrastrados por locomotoras de vapor y son vertidas, desde una plataforma, en los silos respectivos (tres de arena y tres de grava), para pasar a los dosificadores automáticos y de éstos a la hormigonera.

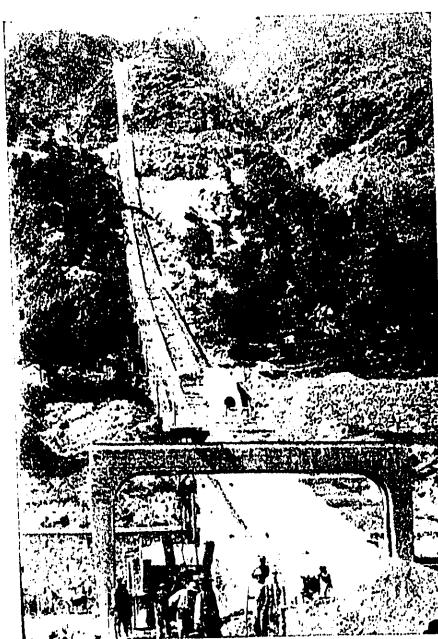


Fig. 2. Montaje de las tuberías, en Maen

Las bielas de cada par de silos (grava y arena) van montadas sobre el mismo eje, así que la maniobra de las compuertas *a* establece la relación entre los distintos elementos y, por consiguiente, la dosificación.

El cemento pasa desde la tolva en que es vertido a unos canales, por los que avanza impulsado por tornillos sin fin, cayendo por unas ventanas de abertura regulable a las balanzas automáticas, que se descargan en la hormigonera correspondiente al llegar a los 100 kg.

El agua se graduaba tomando con un sifón de un depósito colocado sobre la hormigonera. La profundidad que alcance la rama interior del sifón determinará la dosis de agua.

El estudio de la dosificación se hizo muy detenidamente antes de comenzarse las obras. Se contaba, a unos 500 m de la presa, con un gran banco de acarreos en que la grava y la arena se mezclaban naturalmente en una proporción aceptable.

Sin embargo, para conseguir una dosificación

perfectamente fija se prefirió cribar la mezcla separando la grava (15 a 70 mm) de la arena (0 a 15 mm).

Se fijó en 15 mm el tamaño de separación, porque para el módulo de finura requerido (5 a 6), y dada la composición del árido natural, daba sensiblemente volúmenes iguales de arena y grava, lo que facilitaba la construcción de los silos y la dosificación.

Para determinar la cantidad de cemento se partió de los ensayos, que pueden considerarse clásicos, de Abrams sobre la influencia de la relación

$$W = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}};$$

sin embargo, la ley de Abrams

$$R = \frac{985}{7^W} \text{ o } R = \frac{985}{9^W}$$

según la clase de cemento, fué modificada después de larga serie de experiencias, teniendo en cuenta las características del que había de emplearse, llegándose a las ecuaciones

$$R = \frac{950}{7^{2W}} + 30$$

$$R = \frac{900}{5^{2W}} + 30$$

más semejantes a las empleadas en Alemania, de las cuales la primera corresponde a un cemento normal y la segunda a otro de más alta resistencia, que en

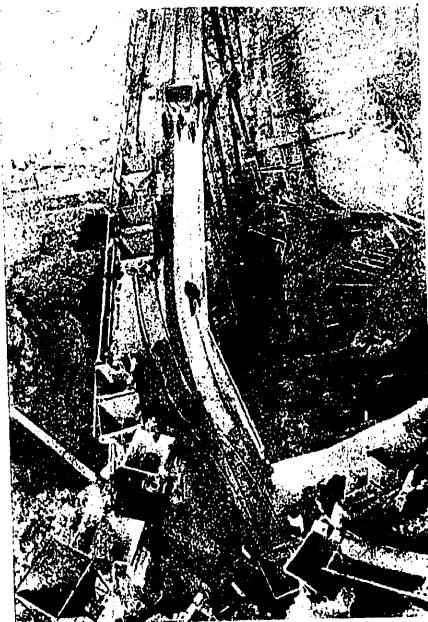


Fig. 4. Vista de la instalación desde las hormigoneras.

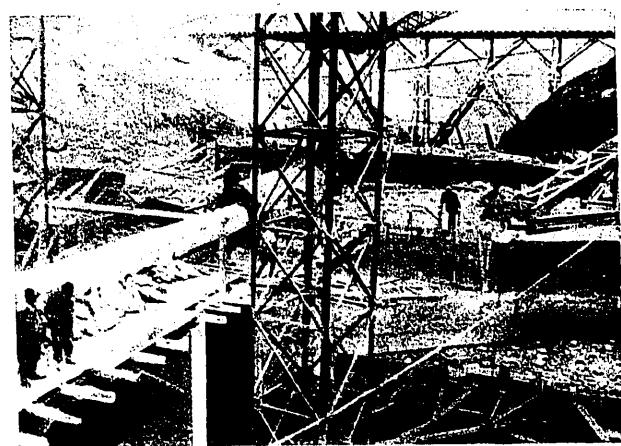


Fig. 5. Bloques de hormigón y encofrado.

definitiva fué adoptado, consiguiendo, gracias a las menores cantidades necesarias, una importante economía.

La cantidad de agua era un dato del problema: la estricta para conseguir la circulación en los canales,

que resultó ser de  $210 \text{ l/m}^3$ , y teniendo en cuenta las cargas de rotura, que el reglamento italiano exige correspondan a un coeficiente de seguridad de 6, se fijaron las proporciones siguientes:

## CUERPO DE LA PRESA

Hormigón de  $250 \text{ kg/m}^3$ :

|                          |     |      |
|--------------------------|-----|------|
| Grava (15 a 70 mm) ..... | 650 | 1300 |
| Arena (0 a 15 mm) .....  | 650 |      |
| Cemento .....            | 250 |      |

Agua .....

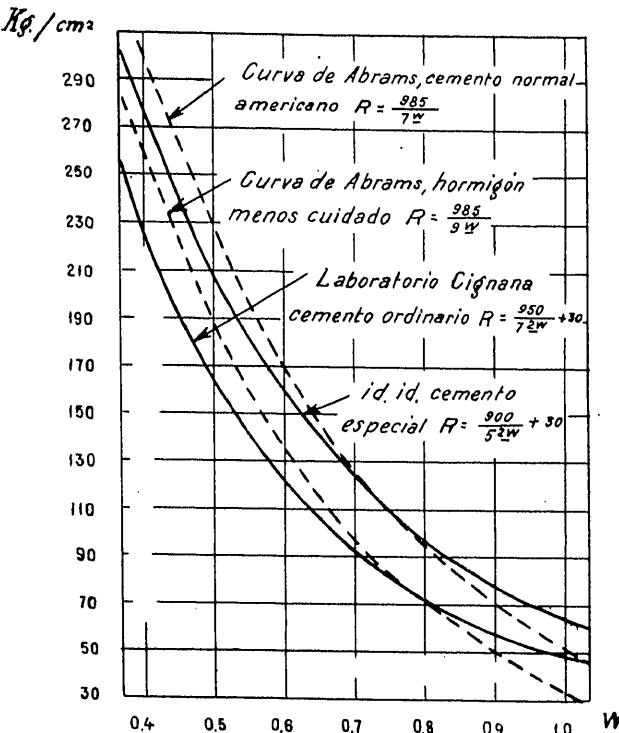


Fig. 6. Resistencia de un hormigón en función de la relación  $W = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$  según las experiencias de Abrams y del laboratorio de Cignana.

## PARAMENTO

Hormigón de  $300 \text{ kg/m}^3$ :

|               |         |      |
|---------------|---------|------|
| Grava .....   | 570 l   | 1200 |
| Arena .....   | 630 l   |      |
| Cemento ..... | 300 kgs |      |

Agua .....

El hormigón así obtenido alcanza una densidad de  $2,4$ , y la resistencia del de  $250 \text{ kg/m}^3$  es de  $115$  kilogramos por centímetro cuadrado a los veintiocho días.

Particular interés tiene el sistema seguido en Cignana para determinar el volumen de agua contenido en la arena.

Después de desechar la prueba de aplastamiento, de la que no se obtenían resultados satisfactorios, y puesto que desecar la arena era excesivamente lento, se recurrió al método a continuación descrito y que, fundándose en la variación de volumen de la arena húmeda, se ajusta casi exactamente a lo propuesto por Bolomey.

La ley que liga el volumen aparente de la arena con el agua embebida es  $V$  (fig. 7.a).

Igualmente puede dibujarse la del peso de un litro

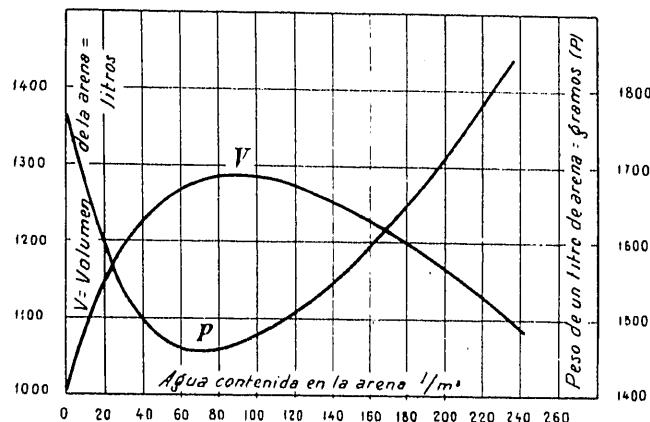


Fig. 7.a Variación del volumen  $V$  y del peso  $P$  de la arena en función de su humedad.

de arena en función de la misma variable,  $P$ .

Por consiguiente, dado el peso de un litro de arena, y sin más incertidumbre que la determinada por la existencia de dos ramas de la curva, la cual es bien fácil de resolver, se obtiene el tanto por ciento de agua y, por consiguiente, la que ha de añadirse para el amasado.

Pero aun es más fácil, con los datos así obtenidos, representar la curva que liga el peso del litro de arena húmeda con los volúmenes de agua a añadir en la hormigonera, pudiéndose, por tanto, fijar directamente el nivel del depósito de ésta (fig. 8.a).

El cemento se eleva desde el valle de Marmore con un plano inclinado y se transporta hasta el almacén, situado en la margen derecha, con una teleférica.

En la misma margen están los silos de grava, arena y cemento, situados sobre las hormigoneras, que son tres, de  $750 \text{ l}$  de capacidad.

Para la distribución se emplea una pasadera apoyada sobre castilletes metálicos; las vagonetas car-

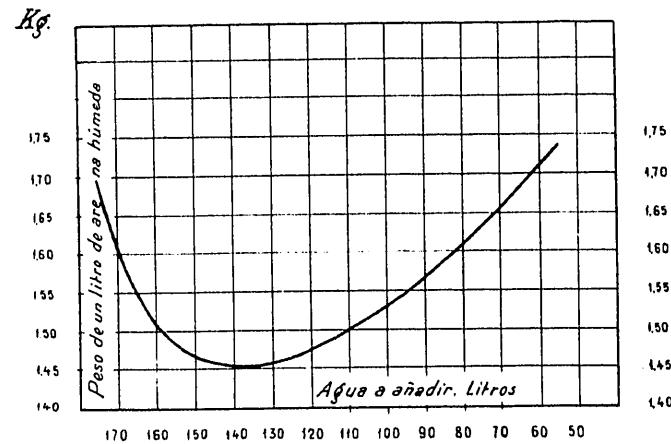


Fig. 8.a Agua que debe añadirse en la hormigonera (Cignana).

gadas al pie de las hormigoneras circulan por ella y son vertidas en las tolvas de los distribuidores, que son del tipo Ransome.

La pasadera, establecida a 35 m sobre el lecho del río y 10 bajo las hormigoneras, se elevará hasta éstas cuando sea preciso, y más tarde otros 10 m para al-

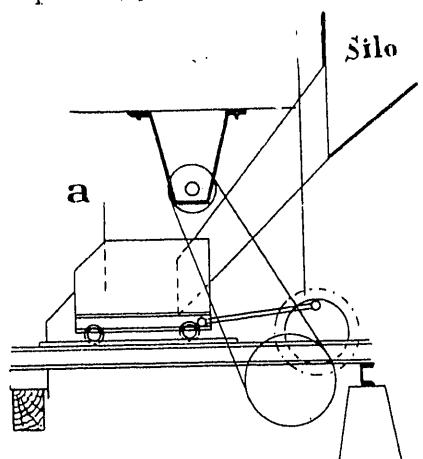


Fig. 9. Dosificador automático.

canzar la altura de la coronación, elevándose entonces el hormigón por medio de una torre.

La construcción se está llevando a cabo por la Empresa Umberto Girola, cuyos ingenieros nos han facilitado amablemente la mayor parte de los datos que aquí figuran.

\* \* \*

Viene la presa de Cignana a aumentar el número no escaso de las construidas con hormigón colado fábrica que con frecuencia ha sido mirada con recelo.

En realidad, dados los medios que existen para determinar *a priori* la resistencia de un hormigón, tal actitud como sistemática es infundada, y la cuestión se plantea en otros términos, no menos interesantes: los de la economía.

La proporción de agua influye sobre el hormigón, como muestra la figura 6.<sup>a</sup>. Así, para una resistencia dada, el hormigón más económico, ¿se obtendrá reduciendo la proporción de cemento, aun a costa de mayor complicación y gastos en los medios auxiliares? O, por el contrario, la simplificación de éstos, y, sobre todo, la rapidez que permite la colada, ¿son capaces de compensar el coste del aglomerante que sea necesario añadir?

La elección, en cada caso, estará influída por las circunstancias, y en particular por el volumen a construir, las características de los transportes, la inclinación de las márgenes y la calidad de los materiales; mas, como regla general, puede decirse que cuando las cargas de trabajo no rebasen  $15 \text{ kg/cm}^2$ , lo que representa, con el coeficiente de seguridad 8, en tantos casos adoptado, resistencias reales de  $120 \text{ kg/cm}^2$ , es decir, para presas de gravedad de altura hasta 50 y aun 60 m, el hormigón colado aventajará con frecuencia a los otros sistemas de construcción, sin que la dosis de cemento rebase límites antieconómicos ni ejerza un influjo pernicioso en la retracción subsiguiente al fraguado.

Cuando, por el contrario, se trate de presas de gravedad de altura superior a 60 m, o de presas-bóvedas, en las cuales las cargas de seguridad previstas alcancen cifras más importantes, será difícil obtener resistencias suficientes si el agua excede del 8 al 10 por 100 del volumen total.

Con este tanto por ciento de agua es posible hacer circular el hormigón por canales, si la pendiente es suficiente y la calidad y dosis de arena y grava son favorables. Se está entonces (y así ha ocurrido en Montejacque) en un caso intermedio.

El hormigón es hormigón colado si se atiende al sistema de distribución; pero la proporción de agua no corresponde a lo que de ordinario se designa con ese nombre.

Enrique BECERRIL  
Ingeniero de Caminos.

## La botadura de grandes cajones de hormigón armado

### Comprobación de unas fórmulas

Con el título «El empleo de grandes monolitos en la construcción de diques rompeolas», han sido publicados en esta REVISTA<sup>1</sup>, por el ingeniero director del puerto de San Esteban de Pravia, mi buen amigo D. Gustavo Piñuela y Martínez, un par de artículos en los que, con prolíjos cálculos, se estudiaba con todo detalle el proceso de la botadura de los citados cajones de hormigón armado construidos en gradas especiales y destinados después a formar el cuerpo de diques rompeolas.

Aplicaba después el Sr. Piñuela el resultado de sus cálculos al caso de los monolitos que actualmente se construyen en el vecino puerto del Musel (Gijón), y deducía, como consecuencia final, la distancia mínima desde el agua al frente del cajón, sin contar con

la cual existía el peligro de que el cajón se quedara en su camino detenido en la grada sin llegar a flotar, y estudiaba al mismo tiempo las velocidades adquiridas por el móvil en cada una de las tres posiciones siguientes: desde que empieza a deslizar hasta que entra en el agua; desde este momento hasta que flota, y luego hasta que se para.

El resultado numérico de estos cálculos tendría un gran valor si la experiencia los hubiese comprobado; pero, desgraciadamente, no se tenían datos suficientes que comprobaran los resultados de las fórmulas obtenidas por el Sr. Piñuela, razón ésta por la cual el que esto escribe decidió tomar con todo cuidado cuantos datos le fuera posible en la botadura de los cajones de hormigón armado que actualmente construye la Contrata de las Obras de Ampliación y Mejora del puerto de San Esteban de Pravia, cuyos trabajos tiene bajo su dirección desde el comienzo de las obras.

<sup>1</sup> Números de 15 sept. y 1.<sup>o</sup> de oct. 1927, páginas 345 y 376.